



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE MINAS

**BENCHMARKING DE SISTEMAS DE MANEJO DE MATERIALES
IMPLEMENTADOS EN LA MINA EL TENIENTE Y ANÁLISIS DEL RIESGO PARA LA
SELECCIÓN DEL MANEJO DE MATERIALES DE UN NUEVO SECTOR
PRODUCTIVO**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL DE MINAS

MAXIMILIANO TEMPLAR DÍAZ JIMÉNEZ

PROFESOR GUÍA:

MARCELO VARGAS VERGARA

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

JOSÉ MIGUEL CASTRO FARÍAS

ISAAC NAVIA MORENO

SANTIAGO DE CHILE

2017

**RESUMEN DE MEMORIA PARA OPTAR
AL TÍTULO DE:** Ingeniero Civil de Minas

POR: Maximiliano Templar Díaz Jiménez

FECHA: 11/04/2017

PROF. GUÍA: Marcelo Antonio Vargas Vergara

**BENCHMARKING DE SISTEMAS DE MANEJO DE MATERIALES
IMPLEMENTADOS EN LA MINA EL TENIENTE Y ANALISIS DEL RIESGO PARA LA
SELECCIÓN DEL MANEJO DE MATERIALES DE UN NUEVO SECTOR
PRODUCTIVO**

La selección de un buen sistema de manejo de materiales en minería subterránea es clave para que los proyectos sean competitivos en la industria. En ellos interactúan un conjunto de variables que se relacionan entre ellas, por lo que saber qué aspectos son los más relevantes y como es su comportamiento adquiere gran importancia.

Actualmente la división El Teniente se encuentra en el desarrollo de nuevos proyectos en cartera, denominado Plan de Desarrollo Alternativo (PDA), el cual busca darle flexibilidad al negocio divisional, asegurando el desarrollo de su Plan de Negocios y Desarrollo (PND). Los dos primeros proyectos corresponden a sector A y sector B, ambos en etapa de pre-factibilidad.

En este trabajo se recopila información interna de la división referente al sistema de manejo de materiales de distintos sectores de la mina El Teniente, siendo estos: sector 1, sector 2, sector 3, sector 4, sector 5 y sector 6. Se comparan los costos de capital y operacionales estimados en su etapa de factibilidad, con los costos efectivamente realizados en la fase pre-operacional para los costos de capital y costos efectuados el año 2016 para los costos de operación. También, mediante un benchmarking, se comparan los distintos sistemas de los sectores mencionados, esto con el objetivo de reconocer las principales semejanzas y diferencias entre ellos, para posteriormente enmarcar con los proyectos A y B del PDA.

Según esta comparación los ítems que presentan mayor relevancia en los costos son preparación e infraestructura para el capital, y extracción y transporte intermedio para la operación, que a su vez son los que presentan las diferencias de estimación más grandes. Los equipos LHD son comunes a todos los sectores, variando sus capacidades con tendencia al alza si las condiciones lo permiten. Se aprecia como en zonas en que se puedan generar estallidos de rocas o colapsos, o que poseen proyecciones de expansión, se privilegia la flexibilidad otorgada por los camiones en el nivel de acarreo, con inversiones menores, pero costos operacionales más altos.

Finalmente, contextualizando lo realizado con los proyectos PDA, se observa como A y B son altamente competitivos en sus costos de operación. Poseen costos de capital más altos a otros sectores asociado a mayores estándares de construcción como también al cambio del criterio en la definición de capital. Sin embargo, aun considerando lo anterior, hay una mejora en la eficiencia de capital en relación a las reservas comparándola con los últimos proyectos realizados por la división. Se sugiere poner atención en las estimaciones de costos de extracción y transporte intermedio, junto con profundizar este trabajo añadiendo aspectos geomecánicos.

Abstract

The selection of a correct handling material system in underground mining it is very important to make competitive projects in the industry. In them they interact a set of variables that are related among them, so know what aspects are the most relevant and how it is their behavior acquires great importance.

Actually, the division “El Teniente” is currently developing of new portfolio projects, called “Plan de Desarrollo Alternativo” (PDA), which seeks to give flexibility to the divisional business, ensuring the development of it is “Plan de Negocios y Desarrollo” (PND). The first two projects correspond to A and B, both in the pre-feasibility stage.

This work compiles internal information from the division regarding the material handling system of different sectors of “El Teniente” mine, being these: sector 1, sector 2, sector 3, sector 4, sector 5 and sector 6. It compares the capital and operational costs estimated in its feasibility stage with the costs incurred in the pre-operational phase for the capital costs and costs incurred in 2016 for operating costs. Also, through a benchmarking, the different systems of the sectors are compared with the aim of recognizing the main similarities and differences between them, to later integrate with the PDA A and B projects.

According to this comparison the items that present the mayor relevance in the costs are the preparation and the infrastructure for the capital, and extraction and intermediate transport for the operation, which in turn present the greatest differences in estimation. LHD equipment are common to all sectors, varying their capacities with upward trend if conditions permit. It can be appreciated that in areas where they can generate bursts of rocks or collapses or that have expansion projections, the flexibility given by the trucks at the level of haulage is favored, with smaller investments but higher operational costs.

Finally, contextualizing with the PDA projects, we can observe how the A and B are highly competitive in their operational costs. They have the highest capital costs compared with other sectors, associated with higher construction standards, as well as the change of criteria in the definition of capital. However, even considering the above, there is an improvement in the efficiency of capital in relation to reserves compared to the last projects realized by the division. It is recommended to pay attention to the estimates of extraction and intermediate transport costs, along with to deepen this work by adding geomechanical aspects.

A la vida y sus vueltas...
...con sus caminos y sorpresas.

Agradecimientos

En este largo ciclo académico que llevamos recorriendo desde nuestra infancia, motivados por aprender y crecer como personas, dedico este espacio para agradecer a todas esas personas y contextos que me ayudaron en mi desarrollo, que en parte se refleja en este trabajo de memoria.

Este trabajo contó con el gran apoyo de mi profesor guía Marcelo Vargas, gracias Marcelo por tu mirada profesional y humana que ha permitido mi desarrollo como ingeniero e iniciar mi carrera con mucha energía y motivación. También agradecer a José Miguel Castro, miembro de mi comisión, por apoyarme con su experiencia y a Isaac Navia por su gran disponibilidad y consejos durante el desarrollo de mi memoria. Agradecer también a todas las personas de la división El Teniente que me brindaron ayuda en la búsqueda de información y consultas que me fueron surgiendo, destacando la gerencia de proyectos en donde se realizó este trabajo.

Agradecer a mi familia, partiendo por Liliana, mi madre, por todas las enseñanzas que nos dio a mí y a mi hermana desde pequeños, siempre en un contexto de amor y cariño. Cata, hermana, gracias por estar ahí en cada momento en que lo necesite, con una sonrisa y palabras de aliento, y Álvaro que siempre me ha recibido como uno más de su familia, otorgándome su ayuda y soporte.

Durante todos los años de carrera conté con mis grandes amigos, con los que compartí viajes y experiencias. Gracias Gianni por todos estos años de amistad y alegría, riéndonos de las tragedias de forma tal que todo pareciera más simple, permitiéndome ver otros puntos de vista en los momentos más difíciles. Gracias Campitox y Dani Na, amigos de la vida que quedan pese a las distancias. Al grupo extremo, Imanol, Chalo y Pelado, por todos esos viajes que hasta el día de hoy tenemos, conociendo el mundo y motivándonos entre nosotros en las diferentes etapas. También agradecer a Pablo Tello por toda la ayuda que me brindo frente a mis dudas, dándome confianza en el desarrollo de este trabajo, y por esas conversaciones reflexivas que generaban nuevas ideas. Al grupo memoristas de la división, los cuales nos dimos apoyo en el proceso, en particular a Javier y Santiago con quienes compartí el día a día. Por último, a todos quienes fueron parte de mí camino, a los amigos de la U, la administración del departamento de minas, amigos del colegio y todos aquellos que estuvieron en algún momento dándome ánimo y buena onda durante la carrera.

Finalizar por ti Karina, gracias por este amor que compartimos, has sido un pilar fundamental en este proceso, agradecer es poco para decirte lo importante que eres en mí. Compartir contigo y tu familia, junto con tus palabras de aliento y amor, fueron mi fuente de energía y motivación. Te amo cariño.

Tabla de Contenido

1	Introducción	1
1.1	Contexto del trabajo.....	3
1.2	Objetivos	5
1.2.1	Objetivo General.....	5
1.2.2	Objetivos Específicos	5
1.3	Alcances.....	5
1.4	Metodología	6
1.4.1	Revisión de antecedentes de ingeniería.....	6
1.4.2	Revisión de desempeño operacional.....	7
1.4.3	Análisis de información y Benchmarking	7
1.4.4	Análisis de riesgo para nuevos sectores productivos	7
1.4.5	Conclusiones.....	7
1.5	Estructura del trabajo	8
2	Antecedentes	9
2.1	Resumen del capítulo.....	9
2.2	Antecedentes generales de El Teniente.....	9
2.3	Concepto de Benchmarking.....	11
2.4	Sistemas de manejo de materiales en Block/Panel Caving.....	12
2.5	Variantes del Panel Caving.....	14
2.5.1	Hundimiento Convencional.....	15
2.5.2	Hundimiento Previo.....	16
2.5.3	Hundimiento Avanzado.....	17
2.6	Costos de capital	18
2.7	Costos operacionales.....	18
2.7.1	Costos operaciones unitarias	18
2.7.2	Costos transversales mina.....	19
2.8	Actualización monetaria	19
3	Características de los sistemas de manejo de materiales proyectadas para cada sector.....	21
3.1	Resumen del capítulo.....	21
3.2	Sector 1	21
3.3	Sector 2	23

3.4	Sector 3	24
3.4.1	Fase 1 – Sector 3.....	26
3.4.2	Fase 2 – Sector 3.....	27
3.4.3	Fase 3 – Sector 3.....	27
3.4.4	Fase 4 – Sector 3.....	27
3.4.5	Fase 5 – Sector 3.....	28
3.5	Sector 4	28
3.6	Sector 5	29
3.7	Sector 6	31
3.7.1	Fase 1 – Sector 6.....	32
3.7.2	Fase 2 – Sector 6.....	32
4	Características operacionales de los sistemas de manejo de materiales para cada sector.....	33
4.1	Resumen del capítulo.....	33
4.2	Sector 1	34
4.3	Sector 2	35
4.4	Sector 3	36
4.5	Sector 4	37
4.6	Sector 5	38
4.7	Sector 6	39
5	Análisis de los sistemas de manejo de materiales	41
5.1	Resumen del capítulo.....	41
5.2	Aspectos generales de los sectores	41
5.2.1	Producción	41
5.2.2	Ley Media.....	42
5.2.3	Reservas.....	44
5.2.4	Finos	44
5.3	Costos de Capital	45
5.4	Costos Operacionales.....	48
5.5	Características de los sistemas de manejo de materiales	51
6	Contexto del trabajo para nuevos sectores productivos	53
6.1	Resumen del capítulo.....	53
6.2	Proyecto A	53
6.3	Proyecto B.....	55
6.4	Análisis de los sistemas de manejo de materiales.....	56

6.5	Análisis de riesgo de los proyectos.....	59
7	Conclusiones.....	62
8	Recomendaciones.....	65
9	Bibliografía.....	66
10	Anexos.....	67
10.1	Anexo A: Costos de Capital.....	67
10.2	Anexo B: Costos de operación.....	76
10.3	Anexo C: Fases Sector 3.....	85
10.4	Anexo D: Análisis de Riesgo.....	86

Índice de Figuras

Figura 1: Diagrama del método de hundimiento Panel Caving. (Henderson, Doepken 1982)	1
Figura 2: Diagrama de sectores en la mina El Teniente.	2
Figura 3: Metodología del trabajo.	6
Figura 4: Localización geográfica de la división El Teniente.	9
Figura 5: Diagrama de sectores en la mina El Teniente.	10
Figura 6: Metodología Benchmarking (Rico, 1997).	11
Figura 7: Ejemplo malla Teniente (Castro R. 2007).	13
Figura 8: Zonas generadas por esfuerzos inducidos (Cavieres P. 2014).	14
Figura 9: Diagrama de panel caving con hundimiento convencional (Brannon, 2011).	15
Figura 10: Vista longitudinal panel caving con hundimiento convencional (Alvarez, 2009).	15
Figura 11: Diagrama de panel caving con hundimiento previo (Brannon, 2011).	16
Figura 12: Vista longitudinal panel caving con hundimiento previo (Alvarez, 2009).	16
Figura 13: Diagrama de panel caving con hundimiento avanzado (Brannon, 2011).	17
Figura 14: Vista longitudinal panel caving con hundimiento avanzado (Alvarez, 2009).	17
Figura 15: Diagrama sistema de manejo de materiales sector 1.....	22
Figura 16. Diagrama sistema de manejo de materiales sector 2.....	24
Figura 17: Ubicación de las fases del sector 3.....	25
Figura 18: Diagrama sistema de manejo de materiales sector 3.....	26
Figura 19: Diagrama sistema de manejo de materiales sector Sector 4.	29
Figura 20: Diagrama sistema de manejo de materiales sector Sector 5.	30
Figura 21: Diagrama sistema de manejo de materiales sector 6.....	32
Figura 22: Disposición general de los sectores. Vista en planta.	33
Figura 23: Plano nivel de producción y transporte intermedio sector 1.....	34
Figura 24: Plano nivel de producción y transporte intermedio sector 2.....	35
Figura 25: Plano nivel de producción sector 3.	37
Figura 26: Plano nivel de producción y transporte intermedio sector 4.....	38
Figura 27: Plano nivel de producción y transporte intermedio sector 5.....	39
Figura 28: Plano nivel de producción y transporte intermedio sector 6.....	40
Figura 29: Diagrama de sistema de manejo de minerales de los distintos sectores de El Teniente. Elaboración propia en base a datos de la división.	51
Figura 30: Diagrama sistema de manejo de materiales proyecto A.	54
Figura 31: Plano nivel de producción proyecto A.....	54
Figura 32: Diagrama sistema de manejo de materiales proyecto B.	55
Figura 33: Plano nivel de producción y transporte intermedio proyecto B.....	56

Índice de Tablas

Tabla 1: Sistema de producción en minas explotadas mediante block/panel caving (Rubio, 2006).	12
Tabla 2: Moneda Control 2016, Codelco.	20
Tabla 3: Niveles Sector 1.....	22
Tabla 4: Orientaciones Comerciales Sector 1.	23
Tabla 5: Niveles Sector 2.....	23
Tabla 6: Orientaciones Comerciales Sector 2.	24
Tabla 7: Niveles Sector 3.....	25
Tabla 8: Orientaciones Comerciales Sector 3 - Fase 1.....	26
Tabla 9: Orientaciones Comerciales Sector 3 - Fase 2.....	27
Tabla 10: Orientaciones Comerciales Sector 3 - Fase 3.....	27
Tabla 11: Orientaciones Comerciales Sector 3 - Fase 4.....	27
Tabla 12: Orientaciones Comerciales Sector 3 - Fase 5.....	28
Tabla 13: Niveles Sector 4.....	28
Tabla 14: Orientaciones Comerciales Sector 4.....	29
Tabla 15: Niveles Sector 5.....	30
Tabla 16: Orientaciones Comerciales Sector 5.....	30
Tabla 17: Niveles Sector 6.....	31
Tabla 18: Orientaciones Comerciales Sector 6 – Fase 1.	32
Tabla 19: Orientaciones Comerciales Sector 6 – Fase 2.	32
Tabla 20: Diferencias de capital por sector de la división El Teniente.	46
Tabla 21: Diferencias de costos operacionales por sector de la división El Teniente.....	49
Tabla 22: Niveles Proyecto A.....	53
Tabla 23: Niveles proyecto B.	55
Tabla 24: Matriz de Riesgo (PMBOK® Guide, 2013).....	60
Tabla 25: Valoración del Riesgo	60
Tabla 26: Riesgo costos de capital proyectos A y B.	60
Tabla 27: Riesgo costos de operación proyectos A y B.	61

Índice de Gráficos

Gráfico 1: Plan de desarrollo alternativo. Presentación PDA PSC.	3
Gráfico 2: Precio del cobre Nominal 1990 - 2016. Elaboración propia en base a datos de Cochilco.	4
Gráfico 3: Producción de mineral por sectores de la división El Teniente. Elaboración propia en base a datos de la división.	42
Gráfico 4: Leyes medias de cobre de los sectores de la división El Teniente. Elaboración propia en base a datos de la división.	43
Gráfico 5: Leyes medias de cobre de operaciones y proyectos mineros. Modificado de Wood Mackenzie y Codelco.	43
Gráfico 6: Reservas minerales por sector de la división El Teniente. Elaboración propia en base a datos de la división.	44
Gráfico 7: Finos de cobre por sector de la división El Teniente. Elaboración propia en base a datos de la división.	45
Gráfico 8: Comparación de costos de capital (CAPEX) proyectados vs reales en distintos sectores de la división El Teniente.	46
Gráfico 9: Comparación de costos de capital (CAPEX) proyectados vs reales con desglose por actividad. Elaboración propia en base a datos de la división.	47
Gráfico 10: Índice costos de capital sobre cobre fino para los distintos sectores de la división El Teniente. Elaboración propia en base a datos de la división.	48
Gráfico 11: Comparación costos operacionales (OPEX) proyectados vs reales en distintos sectores de la división El Teniente. Elaboración propia en base a datos de la división.	49
Gráfico 12: Comparación costos operacionales (OPEX) proyectados vs reales con desglose por actividad. Elaboración propia en base a datos de la división.	50
Gráfico 13: Comparación costos de capital entre sectores con proyectos PDA. Elaboración propia en base a datos de la división.	57
Gráfico 14: Comparación costos de operación entre sectores con proyectos PDA. Elaboración propia en base a datos de la división.	58
Gráfico 15: Comparación índice capex/régimen entre sectores con proyectos PDA. Elaboración propia en base a datos de la división.	58
Gráfico 16: Comparación índice capex/reservas entre sectores con proyectos PDA. Elaboración propia en base a datos de la división.	59

1 Introducción

La minería en Chile es una actividad económica de gran relevancia, tanto a nivel nacional como mundial. Mediante ésta se extraen diversos minerales de la corteza terrestre, los que componen las materias primas para productos industriales, materiales de construcción o base energética de los procesos según el tipo de mineral del que se trate. En particular, en lo referente al cobre, Chile produce el 30% del cobre mundial y posee el 29% de las reservas mundiales del metal (Cochilco, 2015), ocupando así en la actualidad, el puesto número uno en el ranking de países exportadores de cobre.

La Corporación Chilena del Cobre (Codelco) produce el 33% del cobre a nivel nacional y el 10% a nivel mundial. Dentro de sus divisiones se encuentra El Teniente, división que durante el 2016 produjo 466 mil toneladas de cobre fino, es la de mayor producción de cobre dentro de Codelco, lugar en donde se realiza el presente trabajo de memoria.

El Teniente es la mina subterránea de cobre más grande del mundo que, a su vez, considerando las alteraciones minerales del yacimiento, tiene como subproducto molibdeno. Inició su producción en el año 1905, teniendo hasta el día de hoy 112 años de operación. A lo largo del tiempo, considerando los avances tecnológicos y características del yacimiento a medida que se ha desarrollado su extracción, se han usado diversos métodos de explotación, siendo el método “Panel Caving” o “Hundimiento por Paneles” el método aplicado desde la década de los ochenta hasta la actualidad. En este método de extracción se aprovechan los efectos gravitacionales y tensiones internas del macizo rocoso para así generar fracturas en el mismo, de tal manera que estas se vayan propagando a medida que se genera la extracción de mineral en el nivel de producción (Brown, 2003). La figura 1 presenta un diagrama de este método en sus distintas fases.

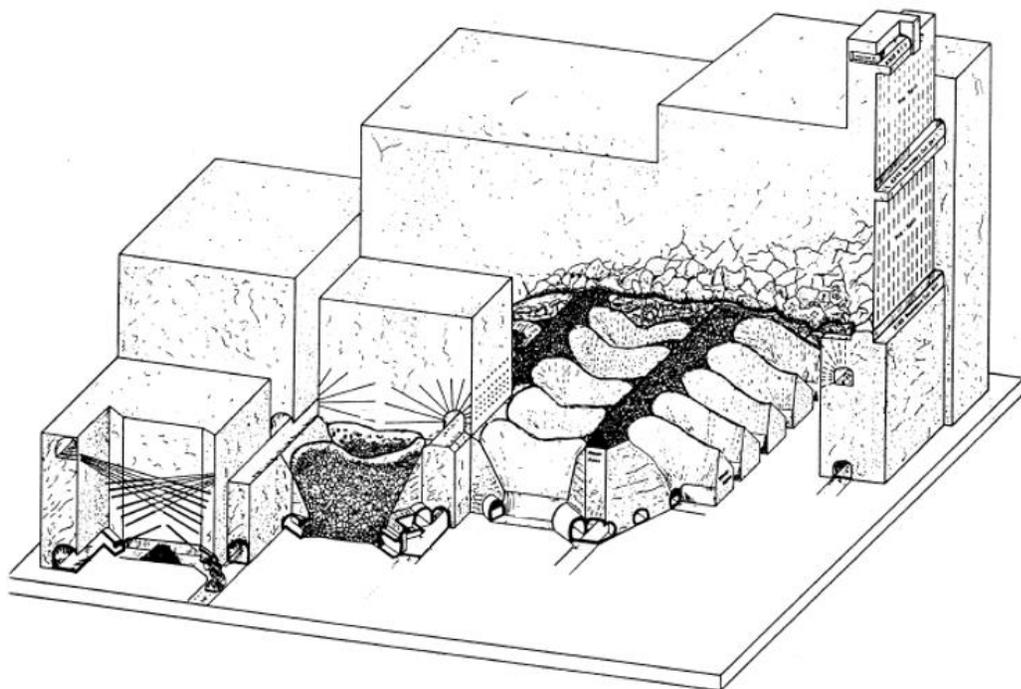


Figura 1: Diagrama del método de hundimiento Panel Caving. (Henderson, Doepken 1982)

El hundimiento es conseguido gracias a la socavación que se genera en la base del cuerpo mineralizado. Esta socavación otorga inestabilidad en el macizo produciendo las fracturas mencionadas, que luego se propagan gracias a las bateas que conectan el nivel de hundimiento con el de producción, permitiendo la extracción del mineral.

En la actualidad la división El Teniente considerando todos sus sectores en operación, generan un ritmo de producción equivalente a 126 ktpd de mineral. Este ritmo de producción se pretende ampliar mediante el proyecto Nuevo Nivel Mina, proyecto que actualmente está en proceso de reformulación, en el cual se está construyendo infraestructura de accesos y ventilación, junto con el desarrollo de galerías en el área mineralizada. Esta reformulación ha generado el atraso de la puesta en marcha estimada para el proyecto.

La Figura 2 muestra diferentes sectores de la mina El Teniente, la mayoría de estos actualmente en operación. Estos sectores se encuentran rodeando un cuerpo masivo sin valor económico denominado “Pipa”. En la parte inferior del diagrama se encuentra la zona considerada para el proyecto Nuevo Nivel Mina (NNM).

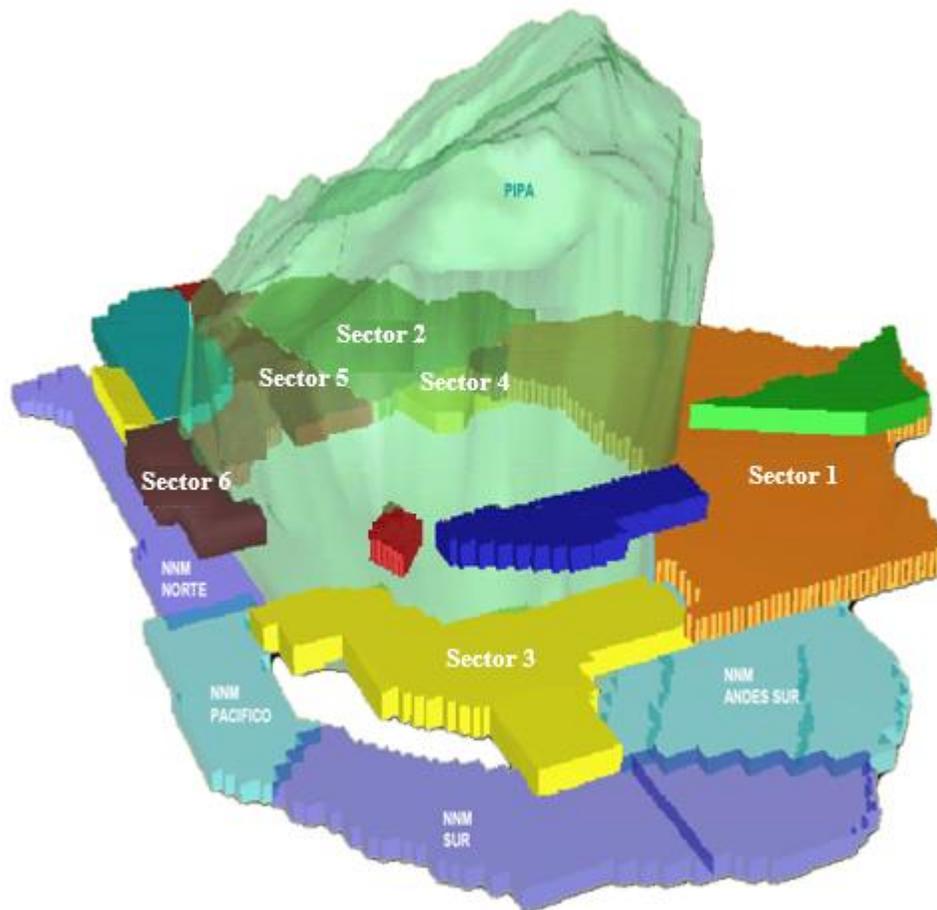


Figura 2: Diagrama de sectores en la mina El Teniente.

1.1 Contexto del trabajo

En consideración a los riesgos asociados a la ejecución del proyecto Nuevo Nivel Mina, es necesario habilitar opciones de crecimiento que permitan disminuir la incertidumbre del Plan Minero en la División el Teniente (PND), incorporando flexibilidad al Negocio Divisional:

- Durante el año 2015, División El Teniente en conjunto con NCL desarrolló a nivel de perfil (FEL 1) el estudio de un Plan alternativo de desarrollo (Plan B). Que identifica una oportunidad de negocio asociada a la explotación de un escalón de profundización a través de la materialización de una cartera de proyectos mineros.
- Los dos primeros proyectos de esta cartera corresponden a la explotación de los sectores A y B, cuya ingeniería de pre-factibilidad está siendo desarrollada por la gerencia de proyectos de la división.

El siguiente gráfico se presenta el plan de desarrollo alternativo considerado por la división.

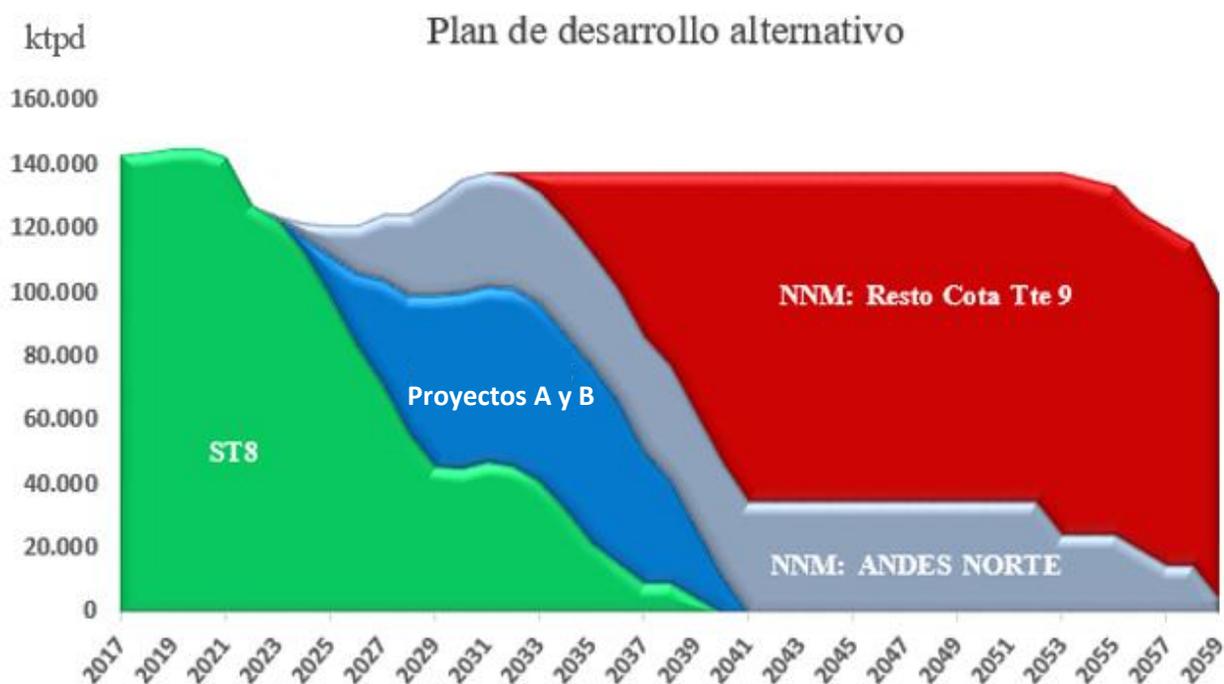


Gráfico 1: Plan de desarrollo alternativo. Presentación PDA PSC.

Por otra parte, la situación de los commodities presenta una baja en sus precios desde hace algunos años, por lo que la realización de proyectos y prácticas que sean competitivas en la industria adquiere gran relevancia. En ese sentido estudiar lo realizado en proyectos pasados y su comportamiento actual apuntan a este objetivo de la división.

El siguiente gráfico muestra el comportamiento del precio del cobre a partir del año 1990 hasta el 2016, horizonte en el que se desarrolla el presente trabajo de memoria.

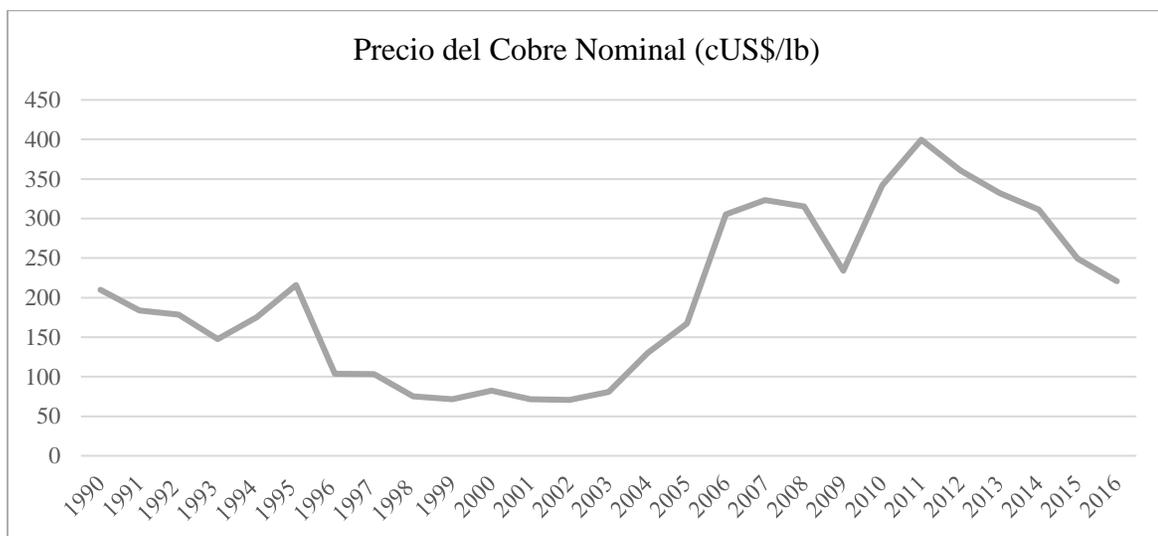


Gráfico 2: Precio del cobre Nominal 1990 - 2016. Elaboración propia en base a datos de Cochilco.

En este contexto se desarrolla el presente trabajo de memoria, que busca aprovechar la basta información que se tiene en la división, referente a los sistemas de manejo de materiales, para así observar y analizar las características de cada uno de los sectores y compararlas con su fase de proyecto y operación, y a su vez, sacar provecho de este análisis para poner en contexto con los actuales proyectos en cartera que posee la división, que corresponden a los proyectos A y B.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Analizar los sistemas de manejo de materiales actualmente en operación en la mina El Teniente, considerando criterios de diseño de ingeniería, costos de capital y operación problemáticas operacionales y productividad, para finalmente obtener una comparación entre los diseños proyectados para cada uno de los sectores y la operación actual de los mismos.

En base a este benchmarking se evalúan, en términos comparativos, los diseños seleccionados para los nuevos sectores productivos que conformarán el Plan de Desarrollo Alternativo (PDA) de la división, correspondientes a los proyectos A y B.

1.2.2 Objetivos Específicos

1. Recopilar información referente a los proyectos a analizar.
2. Identificar claramente el sistema de manejo de materiales de cada sector.
3. Obtener la información de costos de inversión (Capex) y operación (Opex) asociados al sistema de manejo de materiales de los proyectos abarcados.
4. Realizar análisis del sistema de manejo de materiales en operación de cada uno de los sectores a abarcar.
5. Comparar el sistema de manejo de materiales planificado en la etapa de proyecto con el analizado en operación para cada uno de los sectores estudiados.
6. Analizar los sistemas de manejo de materiales entre sectores, observando las justificaciones y contextos que generan su desarrollo.
7. Basado en el análisis del sistema de manejo de materiales de los distintos sectores, poner en contexto con los nuevos proyectos A y B.
8. Realizar conclusiones y recomendaciones acerca de la selección del sistema de manejo de materiales, considerando los proyectos A y B.

1.3 Alcances

Los sistemas de manejo de materiales considerados en este trabajo son de los sectores presentados en el diagrama de la figura 2 previamente mostrada, siendo estos:

- Sector 1
- Sector 2
- Sector 3
- Sector 4
- Sector 5
- Sector 6

A continuación, se señalan consideraciones en el presente trabajo, las que permiten alinear lo desarrollado en éste con los objetivos definidos.

- En términos de las características de los sistemas de manejo de materiales se analizan a partir del nivel de producción hasta el nivel de transporte intermedio. También se utilizan

los costos de chancador exterior mina para los sectores que no posean chancado interior, y de esta forma realizar comparaciones representativas.

- Los costos de capital a analizar corresponden a los reportados en las aprobaciones para inversión (API) que dan inicio a la puesta en marcha de los proyectos y con la información reportada en el sistema SAP. De manera complementaria se apoya la información con los informes de post-evaluación para algunos de los proyectos. Los costos de inversión utilizados corresponden a los pre-operacionales.
- Los costos operacionales a analizar corresponden a los reportados en los APIs para cada uno de los sectores y los costos operacionales que hay en los sectores durante el año 2016. Estos costos no consideran los costos de preparación, transporte principal (TT8) ni administración.

1.4 Metodología

La metodología a utilizar se presenta en el siguiente diagrama. Posteriormente se describe cada una de sus etapas.

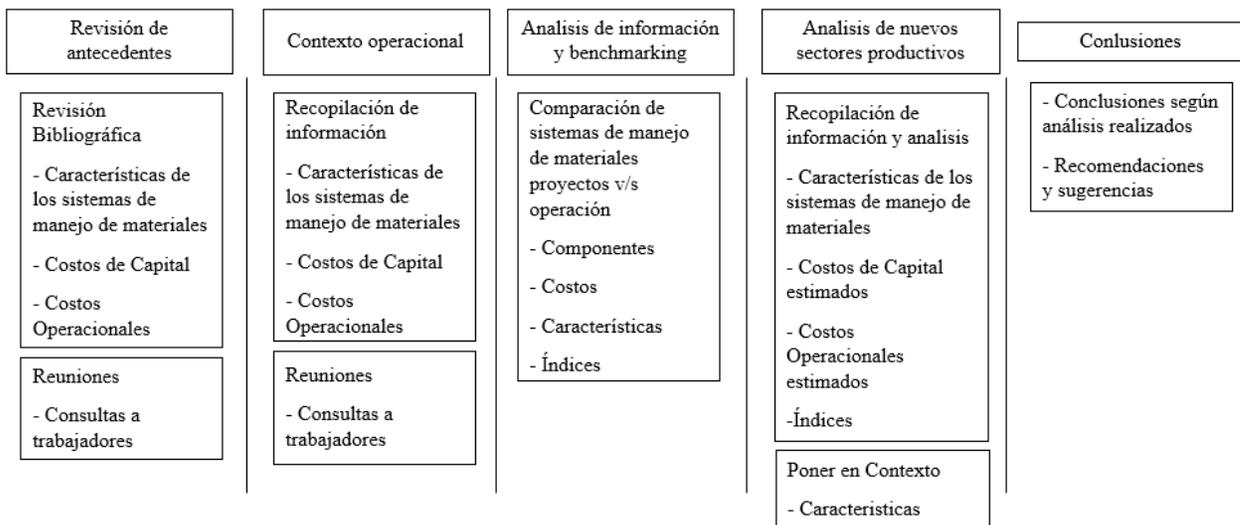


Figura 3: Metodología del trabajo.

1.4.1 Revisión de antecedentes de ingeniería

Para dar comienzo al trabajo se requiere de la información de los sectores involucrados, en particular la información respecto al sistema de manejo de materiales. Los documentos claves que recopilan esta información son las aprobaciones para inversión (API) correspondientes a la etapa final de la ingeniería de factibilidad, para posteriormente dar inicio a la ejecución del proyecto. Cabe destacar que estos documentos poseen la información más elaborada a nivel de proyecto, ya que como se mencionó, una vez aprobado el documento se da marcha a la ejecución de los proyectos basados en la información de los mismos. También se recopila información en base a consultas a trabajadores, determinado así el contexto de desarrollo de los proyectos, tomando en cuenta que algunos de estos sectores presentan más de 10 años de operación.

Con la información recopilada se obtienen las características de los sistemas de manejo de materiales, los costos de capital y operacionales que fueron estimados en el documento según las orientaciones comerciales a la fecha de elaboración. La información mencionada se complementa con los informes de post-evaluación desarrollados por la gerencia de administración de la división.

1.4.2 Revisión de desempeño operacional

Con la información clara y definida de cada uno de los sectores, se adquiere la información respecto a su operación. Se caracteriza el sistema de manejo de materiales, respectivos componentes, y costos de operación asociados. Con lo anterior se logra obtener la información de lo que se está realizando en cada sector.

1.4.3 Análisis de información y Benchmarking

Se analiza y estudia los sistemas de manejo de materiales diseñados para cada sector. A su vez, se relaciona la información de los proyectos y la operación de cada uno, se analizan los sistemas de manejo de materiales, observando similitudes y justificaciones que llevaron a su desarrollo. Se actualizan los costos con las orientaciones comerciales 2016 de tal forma de comparar los proyectados presentados en el API con los costos de capital realizados reportados en la plataforma SAP y los costos de operación del año 2016.

1.4.4 Análisis de riesgo para nuevos sectores productivos

Con el trabajo realizado previamente, se utiliza la información analizada para poner en contexto con los primeros proyectos del plan de desarrollo alternativo de la gerencia de proyectos de la división. Estos proyectos corresponden a A y B, que actualmente se encuentran en estudio de pre-factibilidad.

1.4.5 Conclusiones

Finalmente se definen los aspectos claves del trabajo, estudiando las comparaciones hechas para posteriormente realizar recomendaciones y sugerencias en base al trabajo que se llevó a cabo. Este trabajo recopila información valiosa para la división, señalando los aspectos comunes entre sectores y destacando los de principal relevancia con el fin de apoyar la realización de futuros proyectos de la mina El Teniente.

1.5 Estructura del trabajo

Este trabajo se divide en ocho capítulos, los cuales se describen a continuación:

- Capítulo 1: En este capítulo se presenta una introducción al tema, en donde se trata el contexto del trabajo, sus objetivos y alcances, metodología y estructura del trabajo.
- Capítulo 2: Este capítulo hace mención a antecedentes de la mina El Teniente, su ubicación, características del yacimiento, entre otras características generales. Se presentan antecedentes bibliográficos asociados a los conceptos que se desarrollan.
- Capítulo 3: Presenta los sistemas de manejo de materiales de cada una de los sectores, señalando sus características y componentes considerados en la etapa de proyecto.
- Capítulo 4: En este capítulo muestra el desempeño operacional investigado para cada uno de los sectores, señalando las características observadas y sus costos operacionales.
- Capítulo 5: En este capítulo se realiza el análisis de los sistemas de manejo de materiales para cada una de los sectores, desde el punto de vista cuantitativo y cualitativo, generando también un benchmarking entre los sistemas de manejo de materiales.
- Capítulo 6: En este capítulo pone en contexto los sectores analizados con los proyectos del plan de desarrollo alternativo de la división El Teniente, correspondientes a A y B.
- Capítulo 7: En este capítulo se presentan las conclusiones finales de este trabajo realizado.
- Capítulo 8: En este capítulo se dan recomendaciones observadas, las que otorgan lineamientos para trabajos futuros.

2 Antecedentes

2.1 Resumen del capítulo

En este capítulo se presentan los antecedentes de la faena en donde se realiza el trabajo de memoria. Se da conocimiento de aspectos generales de la división El Teniente, tales como su ubicación en la sexta región, cercana a la ciudad de Rancagua, y algunas características del yacimiento como la ley de cobre media que posee (0.57 %) y la distribución de sus sectores dentro de la mina. Algunos conceptos a utilizar en el trabajo de memoria también se describen en este apartado, tales como el concepto de benchmarking, parte del título de la memoria, el cual corresponde a la búsqueda por mejorar las prácticas que se realizan en una compañía, mediante la comparación y evaluación de las mismas respecto a otras, comparación que permite obtener información según cierto objetivo. Se presentan algunas generalidades de los sistemas de manejo de materiales y métodos de explotación Block/Panel Caving, junto con las variantes de Panel Caving. También se señala el quiebre de costos tanto para los costos de capital como operacionales, este último dividido en dos grandes grupos, los costos por operaciones unitarias y los costos transversales. Finalmente se plantean las ecuaciones a utilizar para realizar la correcta actualización de costos según el tipo de moneda de que se trate (nacional o extranjera).

2.2 Antecedentes generales de El Teniente

La mina El Teniente se encuentra ubicada en la zona cordillerana de la comuna de Machalí, a una distancia aproximada de 44 km al Noroeste de la ciudad del Rancagua en la VI región del Libertador General Bernardo O'Higgins, a 2.100 metros sobre el nivel del mar. En la siguiente figura se presenta un mapa con la ubicación de la mina El Teniente y sectores asociados a ella.

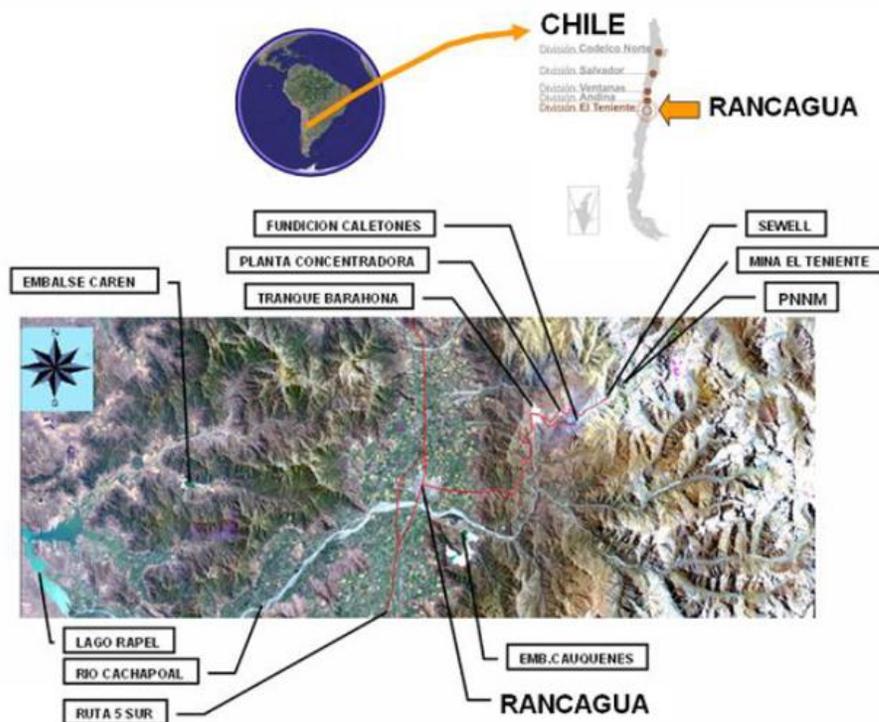


Figura 4: Localización geográfica de la división El Teniente.

El yacimiento está conformado por un cuerpo geológico que tiene la forma de un cono o pipa de mineral, el cual no posee valor económico. Sin embargo, alrededor de éste hay una importante zona mineralizada con valor económico, estimada en más de 18.000 millones de toneladas con ley promedio de 0,57% CuT de recursos geológicos, lo que garantiza la explotación del sector por más de 100 años a los actuales niveles de extracción (126 ktpd). En la zona sin valor económico se ha desarrollado la infraestructura principal de la mina, ya que presenta gran estabilidad geomecánica, junto con permitir acceso a los distintos sectores. La explotación del mineral se realiza desde sus inicios alrededor de la Pipa, es acá donde se emplazan los distintos niveles asociados a la producción y transporte del mineral hacia el exterior. La figura 5 presenta una vista isométrica de lo descrito.

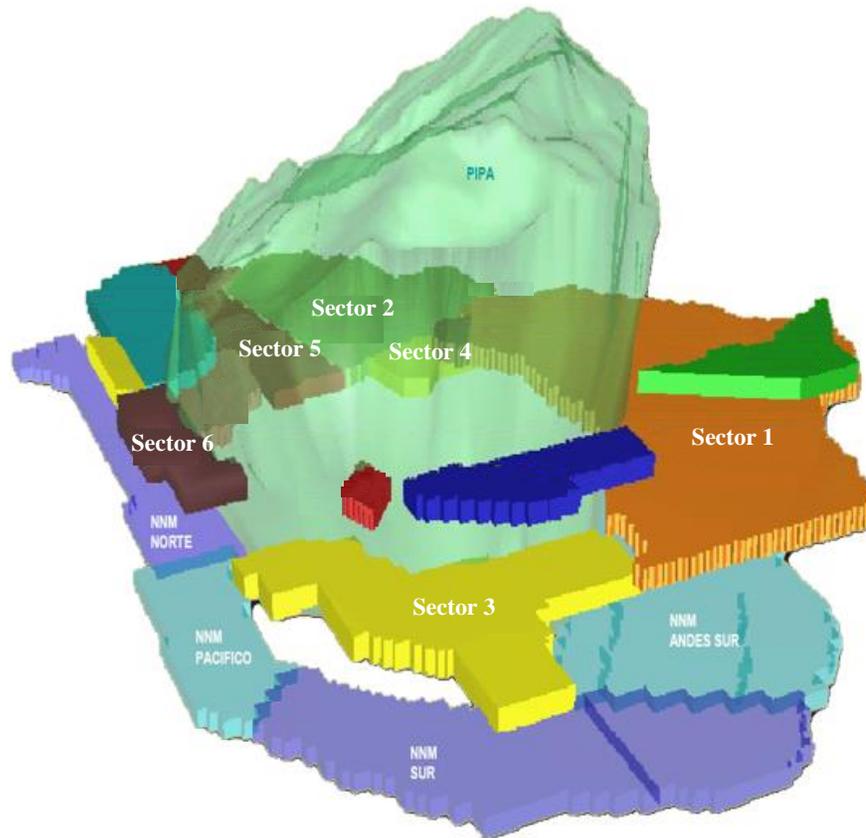


Figura 5: Diagrama de sectores en la mina El Teniente.

El método de extracción utilizado es el Panel Caving, con ciertas variantes según el sector. Todos los sectores poseen en común el nivel de transporte principal Teniente 8 (TT8) que es el encargado de sacar el mineral de la mina hacia la planta de tratamiento.

2.3 Concepto de Benchmarking

El concepto de benchmarking se origina en topografía, disciplina en la cual se utiliza para referirse a la medición de una posición actual con respecto a un punto de referencia denominado “benchmark”. De manera más general se refiere a “*la búsqueda de las mejores prácticas que conducirán a un desempeño superior de la organización*” (Camp, 1993). En ese sentido adquiere gran relevancia para una compañía, ya que permite medir y comparar distintos aspectos, tanto dentro de sí misma como con otras.

Algunos expertos establecen (Rico, 1997) que las empresas están en constante desarrollo de las siguientes cuatro actividades:

- Aprender
- Innovar
- Implantar lo aprendido
- Mejorarlo continuamente

Donde estas son potenciadas tanto por las necesidades del mercado, como por la empresa misma en su afán de ser sustentable en el negocio y/o crecer. A continuación, se plantea una metodología del benchmarking.

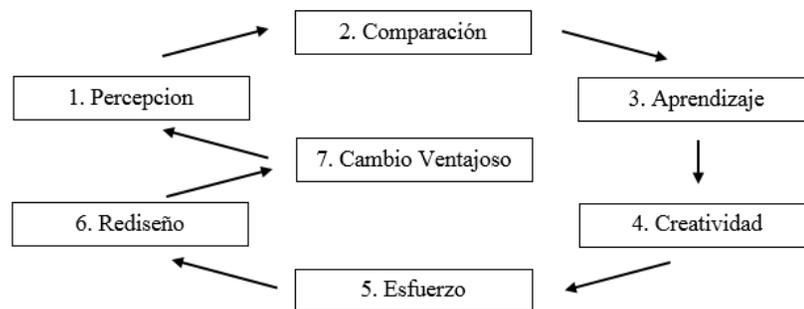


Figura 6: Metodología Benchmarking (Rico, 1997).

Tomando como referencia lo anterior se lleva a cabo el presente trabajo, en el que según la investigación y posteriores análisis se pretende obtener un cambio ventajoso para la división, en particular en lo referente a proyectos de esta, que permita usar esta información para futuros proyectos.

2.4 Sistemas de manejo de materiales en Block/Panel Caving

Si bien en la división El Teniente se utiliza el método Panel Caving, cabe destacar que respecto al método Block Caving las diferencias radican en su forma de abarcar el cuerpo mineralizado en términos de propagación de esfuerzos y desarrollos asociados, lo que tiene impactos en los retornos de capital para los proyectos, no así en los fundamentos del hundimiento. También existe una tendencia a utilizar el método Block Caving en mineral secundario y Panel Caving en mineral primario.

Siendo el sistema de manejo de materiales un aspecto clave en la rentabilidad del negocio, y a su vez, dado que las condiciones del macizo y ubicación de las zonas mineralizadas son heterogéneas, su aplicación posee múltiples variaciones. El desarrollo de los sistemas de manejo de materiales se ha dado en gran parte la experiencia adquirida a través de los años, junto con los avances tecnológicos que se han logrado en esta materia.

Ya en los últimos años el uso de equipos LHD en los niveles de producción es lo usual, generándose variaciones en las capacidades de los equipos según los ritmos de producción asociados, las granulometrías y parámetros de diseño del sistema. Luego de esto existen diversas formas de sacar el mineral para llevarlo a la planta, como carga directa a camiones, o piques que van a un nivel de transporte intermedio con distintos equipos, según lo que determine su respectiva evaluación económica y aspectos técnicos asociados.

En la siguiente tabla se presentan algunas faenas que utilizan métodos Block/Panel Caving. En esta tabla se aprecia el gran uso de los equipos LHD en el nivel de producción, también se muestra el producto que extraen.

Tabla 1: Sistema de producción en minas explotadas mediante block/panel caving (Rubio, 2006).

Mina	País	Layout	Producto
El Teniente	Chile	LHD/parrillas	Cobre
El Salvador	Chile	LHD	Cobre
Andina	Chile	LHD/parrillas	Cobre
Henderson	EE.UU.	LHD	Molibdeno
Bell	Canadá	LHD	Asbestos
Premier	Sudáfrica	LHD	Diamante
Shabanie	Zimbawe	LHD	Cobre
Philex	Filipinas	LHD/parrillas	Cobre
Lutopan	Filipinas	Parrillas	Cobre
Freeport	Indonesia	LHD	Cobre/oro
Northparkes	Australia	LHD	Cobre/oro

Las faenas mostradas poseen distintas configuraciones de malla de extracción. En este trabajo la malla de extracción es la misma para todos los sectores, siendo esta la malla tipo Teniente que se muestra a continuación.

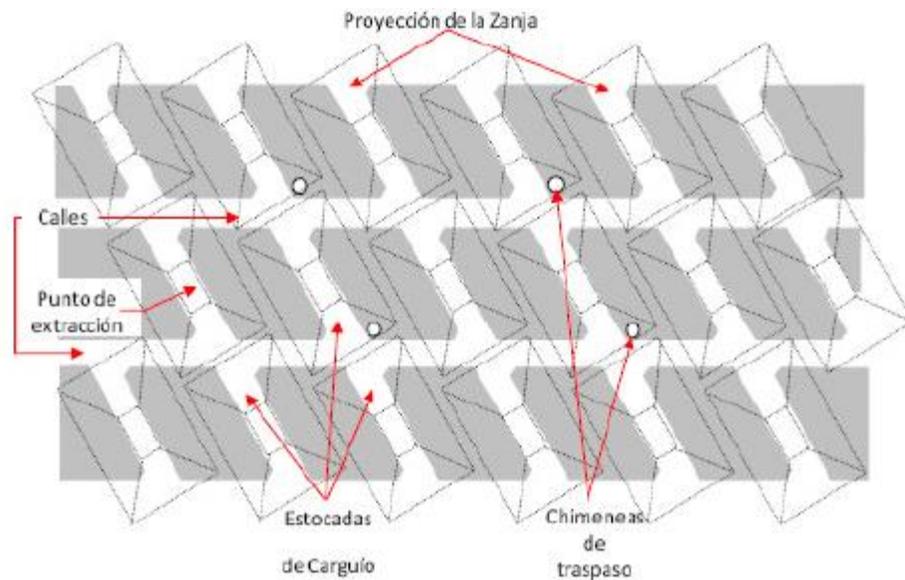


Figura 7: Ejemplo malla Teniente (Castro R. 2007).

El carguío del mineral se realiza en los puntos de extracción mediante los equipos LHD, que posteriormente se dirigen a los puntos de vaciado por chimeneas de traspaso en calle, zanja o cabecera según sea el caso.

Posteriormente, según el sector, se realiza un nivel de carguío intermedio o carguío directo según el sector y las definiciones técnicas y económicas asociadas. Finalmente se cuenta con un nivel de transporte principal mediante trenes que recolectan todo el mineral de la mina.

2.5 Variantes del Panel Caving

El método Panel Caving, si bien presenta ciertas características propias como lo son el aprovechamiento de la gravedad en la roca para generar el hundimiento y generación de fracturas, socavando así el macizo para iniciar el hundimiento y la propagación de los esfuerzos a medida que se avanza en la extracción, también presenta ciertas variantes en su aplicación.

Las variantes están relacionadas a la distribución de esfuerzos que se genera a medida que avanza el hundimiento. Existe una zona en donde se realiza la extracción, la socavación, una zona fortificada y una zona en que se realizan los desarrollos. El siguiente diagrama muestra de manera general las principales zonas señaladas y las zonas de esfuerzo generadas por la redistribución producto del avance del frente.

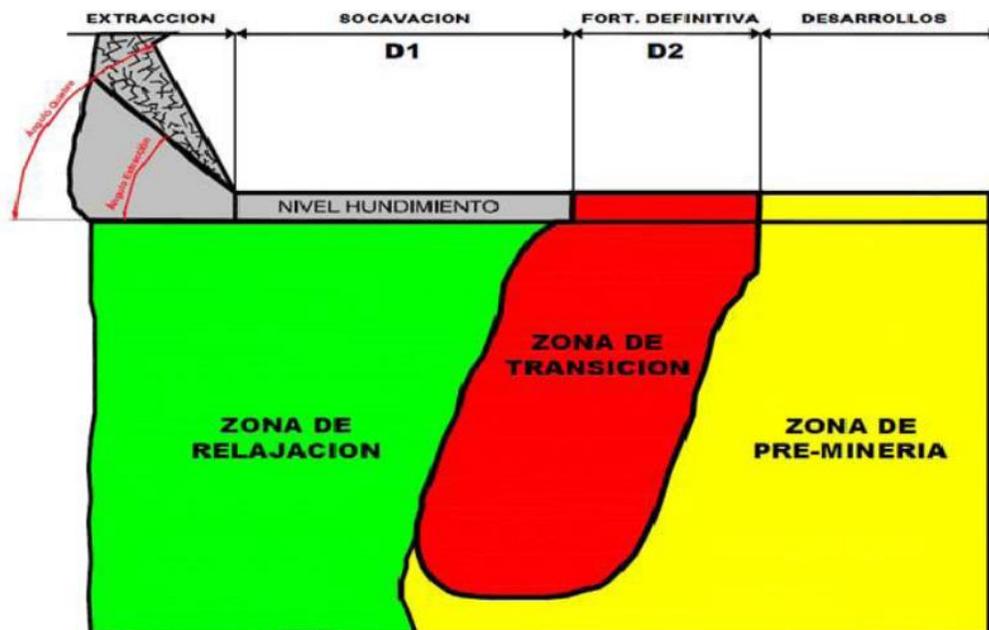


Figura 8: Zonas generadas por esfuerzos inducidos (Cavieres P. 2014).

Se destacan 3 zonas:

- Zona de relajación: Zona en donde ya se ha generado el hundimiento por lo que se considera una zona favorable para realizar actividades tales como la extracción.
- Zona de transición: En la zona de transición, la distribución de esfuerzos es dinámica producto del avance del frente de socavación, generándose magnitudes altas de esfuerzo, por lo que se consideran una zona peligrosa para realizar labores, razón por la cual debe estar con fortificación definitiva. La extensión de la zona de transición depende de las características de macizo rocoso, altura de columna, variante de hundimiento, geometría del frente de hundimiento, entre otras cosas.
- Zona de pre-minería: La zona de pre-minería es una zona estable en donde se están desarrollando labores de minería como desarrollos y fortificación, lugar que posteriormente será zona de transición.

2.5.1 Hundimiento Convencional

El hundimiento convencional se caracteriza en que los desarrollos en las galerías de producción están “adelantados” respecto al frente de socavación. La distancia depende de las características de cada sector productivo. La construcción de zanjas en el nivel de producción, también va adelantada respecto al frente de socavación. A continuación se presenta una imagen isométrica del esta variante.

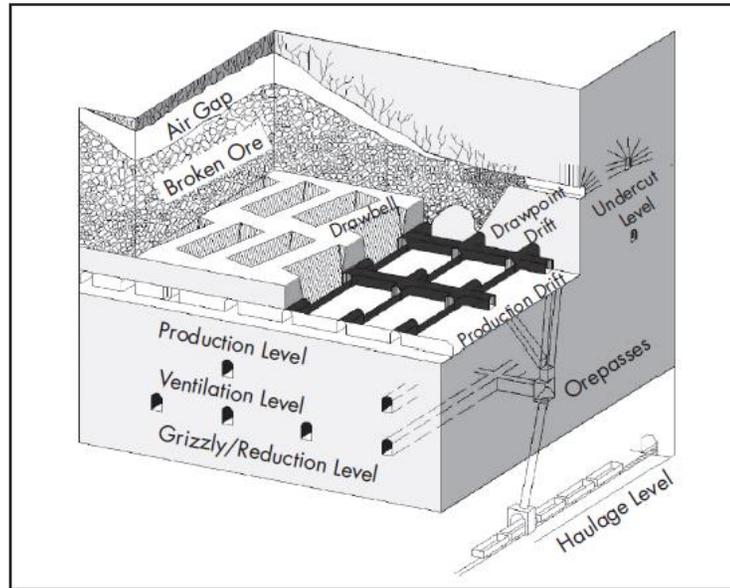


Figura 9: Diagrama de panel caving con hundimiento convencional (Brannon, 2011).

En esta variante los frentes hundimiento y de extracción prácticamente coinciden. Ya que las labores en el nivel de producción están completamente desarrolladas por delante del frente de hundimiento, estas son afectadas por la zona de transición (o abutment stress) que se forma delante de dicho frente (esquematisada con flechas rojas verticales en la figura 8). Esta variante permite enfocar las labores en el avance del hundimiento y desempeño de la producción, ya que las calles y zanjas se encuentran desarrolladas otorgando mayor flexibilidad operacional.

En la figura 8 se muestran las trayectorias de los esfuerzos principales mayores (indicadas con flechas negras en línea punteada).

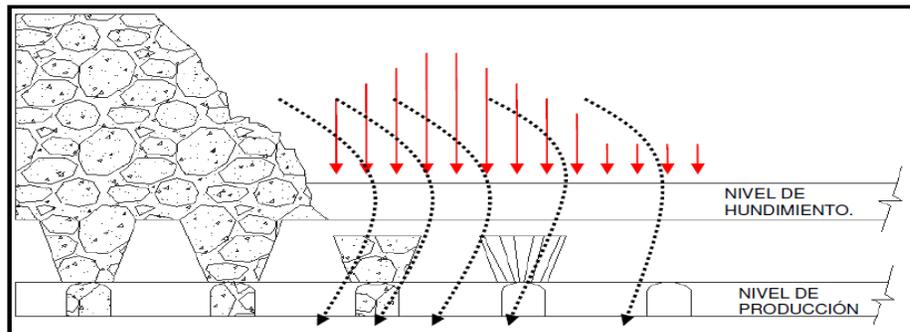


Figura 10: Vista longitudinal panel caving con hundimiento convencional (Alvarez, 2009).

2.5.2 Hundimiento Previo

El hundimiento previo se caracteriza por realizar la socavación antes de que se desarrollen las labores en el nivel de producción. Su objetivo es realizar el hundimiento he ir avanzando con el frente hasta que se ubique por delante de los futuros frentes de extracción y preparación. A continuación se presenta una imagen isométrica de esta variante.

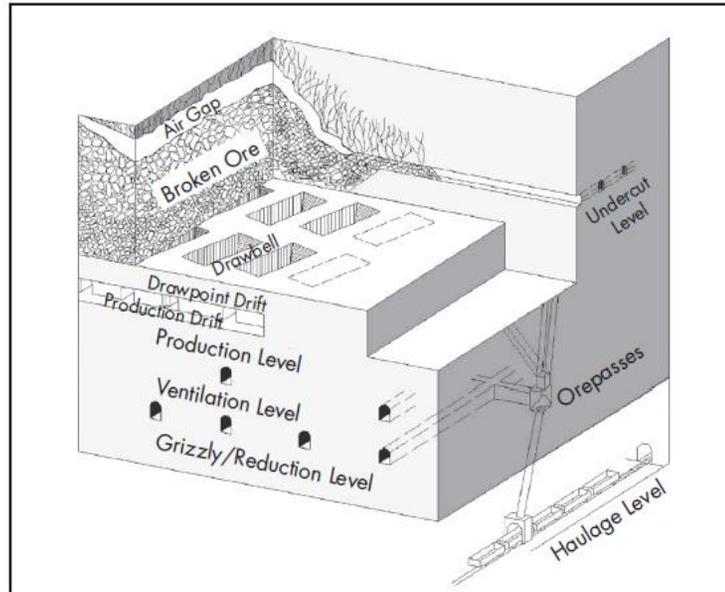


Figura 11: Diagrama de panel caving con hundimiento previo (Brannon, 2011).

En esta variante se busca alejar la zona de transición del frente de extracción y desarrollar todas las labores del nivel de producción bajo área socavada, dando así mayor estabilidad y seguridad constructiva a los desarrollos involucrados. El frente de socavación va adelantado respecto al frente de extracción, así las labores del nivel de producción no se terminan de desarrollar ni se abren las bateas hasta que se ubican bajo área socavada, a cierta distancia detrás del frente de socavación. Con esta redistribución de esfuerzos y cambio en los desarrollos constructivos, se logra reducir el daño final inducido en los pilares del nivel de producción comparado con el caso de la variante con hundimiento convencional, sin embargo, requiere de una alta coordinación entre labores para no generar interferencias.

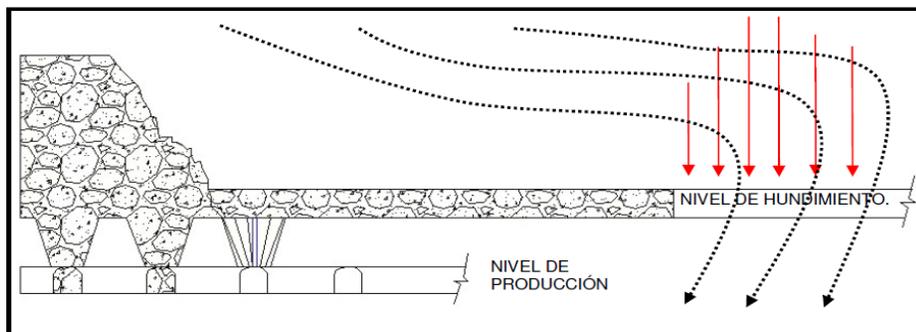


Figura 12: Vista longitudinal panel caving con hundimiento previo (Alvarez, 2009).

2.5.3 Hundimiento Avanzado

Esta variante se caracteriza por desarrollar la socavación adelantada respecto a la apertura de las bateas. En este caso si se desarrollan labores en nivel de producción previas a la socavación, siendo estas las calles del mismo nivel. Se socava el nivel de hundimiento, avanzando con el frente hasta que éste se ubica a cierta distancia por delante del futuro frente de extracción.

Luego, se desarrollan las restantes labores del nivel de producción en el sector que se ubica ahora bajo área socavada. También se realiza la apertura de las bateas de extracción, bajo área socavada, para luego dar inicio a las actividades de extracción de mineral, a una cierta distancia de los frentes de socavación y de preparación.

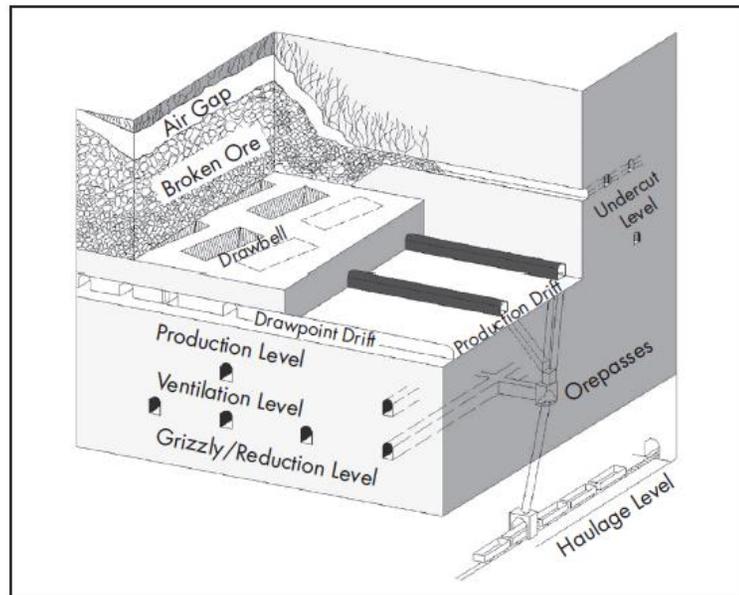


Figura 13: Diagrama de panel caving con hundimiento avanzado (Brannon, 2011).

En esta variante se busca alejar la zona de transición del frente de extracción, estando éste bajo área socavada, a la vez evita posibles interferencias al ya tener desarrolladas las galerías del nivel de producción, dando así mayor holgura, estabilidad y seguridad.

Con esta redistribución de esfuerzos y cambio en los desarrollos constructivos, se logra reducir daños en las galerías, y generar una extracción más segura.

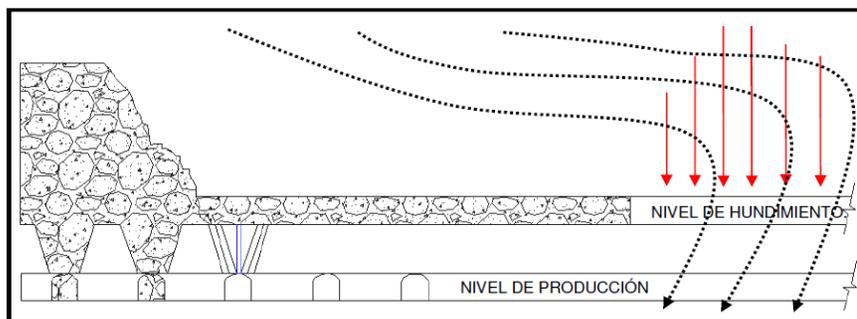


Figura 14: Vista longitudinal panel caving con hundimiento avanzado (Alvarez, 2009).

2.6 Costos de capital

Para el presente trabajo se realiza el siguiente quiebre para los costos de capital.

- Preparación
- Sistema de manejo de materiales
- Infraestructura
- Equipos
- Ingeniería
- Costos del Dueño

Los costos de preparación corresponden a los costos de desarrollo realizados en los distintos niveles del sistema de extracción, tales como las galerías de hundimiento, el nivel de producción, nivel de acarreo y nivel ventilación. Los costos por sistema de manejo de materiales corresponden a los gastos incurridos por la habilitación y adquisición, con directa relación al manejo del mineral, tales como chancadores, galerías del transporte principal, entre otros, sin considerar los equipos de transporte. La infraestructura corresponde a los costos que permiten la habilitación de cada uno de los niveles, considerando los suministros necesarios para ello. El costo por equipos es el asociado a la extracción de mineral en los distintos niveles. Los costos de ingeniería corresponden a los trabajos desarrollados para poder llevar a cabo la ejecución de los proyectos y los estudios durante el desarrollo de los mismos. Finalmente, los costos del dueño son los gastos asociados a la administración de contratos y gastos para llevar a cabo las labores de construcción. Los costos asociados a contingencias son distribuidos entre los componentes de este quiebre, ya que, al momento de compararlos con los gastos reales realizados, los valores por contingencia son 0 al haber sido gastados dentro del transcurso de la ejecución del proyecto.

2.7 Costos operacionales

Los costos operacionales de la mina se pueden dividir en dos grandes grupos, uno que involucra las operaciones unitarias que se realizan en cada sector, y otro los costos transversales de la mina, los que abarcan a todos los sectores. No se consideran los costos de preparación asociados. Para los posteriores análisis no se incluyen los costos por administración ni transporte principal. A continuación se describen estos costos.

2.7.1 Costos operaciones unitarias

Entendiéndose las operaciones unitarias de la mina, como el conjunto de actividades que se realizan para llevar a cabo el proceso de extracción y manejo del mineral, considerando todos los aspectos que intervengan en ellos. Se clasifican en las siguientes.

- Extracción
- Reducción Secundaria
- Reparación Infraestructura y servicios
- Transporte Intermedio
- Chancador Interior Mina

Estas operaciones poseen ciertos valores dependiendo del sector en el que se esté. A su vez, algunos de los sectores no poseen todas de estas operaciones, por lo que el costo asociado a esas

actividades se considera 0 en esos casos. Para el caso de los sectores con un quiebre de costos operacionales distinto, se normalizó a este, pudiendo realizar así las comparaciones.

2.7.2 Costos transversales mina

Dentro de la mina hay costos que aplican a todos los sectores, exceptuando el chancado exterior que no se realizan en caso de haber ocurrido al interior. Estos costos se señalan a continuación.

- Chancador Exterior Mina
- Ferrocarril Teniente 8
- Administración

Como se mencionó el chancador primario se realiza para el mineral que no ha sido chancado previamente en la mina por no contar con este en su diseño de manejo de materiales, por lo que para los sectores que ya poseen chancado en el interior este valor es 0. El ferrocarril se encarga de recolectar el mineral de todos los sectores de la mina para llevarlo a la planta de tratamiento. La administración considera la supervisión de área y general.

2.8 Actualización monetaria

Un aspecto importante para realizar análisis comparativos que sean representativos entre los proyectos y la operación, es considerar las diferencias temporales entre estos, de tal manera de poder normalizar los costos mediante una adecuada corrección monetaria.

Para actualizar los valores se utiliza la ecuación 1 y la ecuación 2 para los valores en moneda nacional y extranjera respectivamente.

$$P_x = P_{base} \times \frac{TC_{base}}{IPC_{base}} \times \frac{IPC_{nuevo}}{TC_{nuevo}} \quad (1)$$

Donde:

- P_x = Valor actualizado para moneda nacional (USD).
- P_{base} = Valor base en moneda nacional a actualizar (USD).
- TC_{base} = Tasa de cambio según cierto año.
- TC_{nuevo} = Tasa de cambio actual.
- IPC_{base} = Índice de precios al consumidor según cierto año.
- IPC_{nuevo} = Índice de precios al consumidor actual.

$$P_y = P_{base} \times \frac{IPM_{nuevo}}{IPM_{base}} \quad (2)$$

Donde:

- P_y = Valor actualizado para moneda extranjera (USD).
- IPM_{nuevo} = Índice de precios al por mayor según cierto año.
- IPM_{base} = Índice de precios al por mayor actual.

Los valores a actualizar se llevan a moneda control 2016 con base 2013 siendo esta la presentada en la tabla 2.

Tabla 2: Moneda Control 2016, Codelco.

Año	2016
Tasa de Cambio	714
IPC	113,8
IPM	197,9

Se considera para los costos de capital y operacionales que el 80% del costo corresponde a moneda nacional y el resto extranjera, exceptuando los casos en que se cuenta con el detalle.

3 Características de los sistemas de manejo de materiales proyectadas para cada sector

3.1 Resumen del capítulo

Cada sector de la mina El Teniente posee ciertas características respecto a su sistema de manejo de materiales, las cuales fueron formuladas en su etapa de proyecto, como también características generales del sector, tales como la cantidad de reservas y ley media. Esta información es recopilada en base a los APIs inversionales de los proyectos, documentos de post-evaluación y información asociada a los proyectos. En este capítulo, con la información de los sectores a abarcar, se señalan las características de cada uno. Un aspecto en común de todos los sectores estudiados es el nivel de transporte principal Teniente 8 en la cota 1984 msnm, el cual tiene ferrocarriles para cada sector los que recolectan el mineral y trasladan a la planta de procesamiento Colon, ahí el mineral es procesado por el chancador primario en caso de que no haya sido así previamente en el interior de la mina, y posteriormente continua con el proceso de tratamiento de la planta. El carguío de mineral, desde los puntos de extracción en el nivel de producción se realiza mediante el uso de equipos LHD para todos los sectores estudiados. En este capítulo también se presentan las orientaciones comerciales según el tipo de cambio que se consideró, aspecto relevante para realizar las correctas actualizaciones. Se presentan diagramas de cada sistema de manejo de materiales, identificándose sus niveles y componentes, junto con los costos de capital y operacionales para cada uno. En el caso del sector 1, este se ejecutó en tres fases de inversión, las que son presentadas de manera global. El sector 3 también se llevó a cabo en fases, siendo estas 5, cada una con su sistema de manejo de materiales, los cuales son análogos entre fases. De estas fases mencionadas en el sector 3, solo se consideran las fases 3 y 4 para los posteriores análisis de costos operacionales, la fase 1 está terminada, la fase 2 está en cierre y la 5 aun no comienza, sin embargo, se presentan las características para todas las fases en este capítulo. El sector 4 tuvo una reformulación en su API original al año siguiente de su emisión, este API reformulado es el presentado en este capítulo por considerarse el representativo al sector. En el sector 5 y 6 se señalan los costos operacionales estimados en el API para el año 2016, la cual no es su etapa de régimen y así compararlos con la misma etapa de dicho año, este último sector se proyectó en dos fases. Los costos presentados están en la moneda control señalada en cada sector, a excepción de los globales para los sectores que tienen fases, siendo estos los sectores 3 y 6. Para los costos operacionales no se considera los costos por preparación, transporte principal ni administración.

3.2 Sector 1

Con la información recopilada, principalmente en base los documentos API - 94052, API - 95002, API - T00M401 y el informe de post-evaluación realizado el 2010, se presentan las siguientes características del sector.

El sector 1 se encuentra en la zona Este del yacimiento, inició su producción en 1997. Sus reservas estimadas son de 370 millones de toneladas, con una ley de cobre media de 1,01 %. Su producción en régimen se diseñó para generar 45.000 tpd. En este sector se proyectó utilizar panel

caving con hundimiento previo y una malla de 15 x 17 metros. El sector 1 tiene las siguientes cotas para los niveles de hundimiento, producción y acarreo, respectivamente.

Tabla 3: Niveles Sector 1.

Nivel	Elevación (msnm)
Hundimiento	2.210
Producción	2.192
Acarreo	2.162

El sistema de manejo de materiales del sector comienza con la carga de mineral desde los puntos de extracción mediante equipos LHD de 7 yd³, estos una vez realizado el carguío, se dirigen a los puntos de vaciado para descargar el mineral. Una parrilla separa las colpas grandes, siendo estas reducidas con un martillo picador ubicado al costado del punto de vaciado, desde estos puntos el mineral es trasladado mediante piques a un ferrocarril el ubicado en el nivel de acarreo Teniente 6, el cual lo recolecta y traslada a tolvas de los piques principales, los que descargan el mineral en el ferrocarril del nivel de transporte principal Teniente 8. El diagrama de la figura 13 muestra el sistema de manejo de materiales del sector.

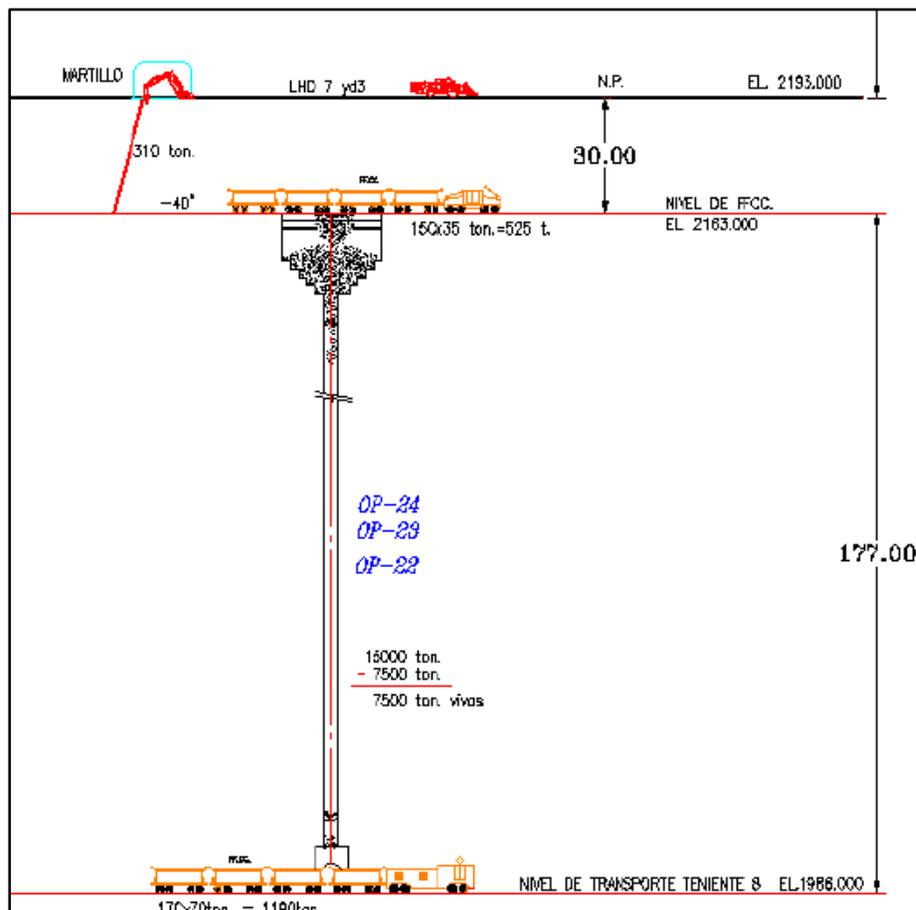


Figura 15: Diagrama sistema de manejo de materiales sector 1.

Este sector proyecta un gasto de capital asociado de 261,7 MUS\$ y un costo operacional de 4,19 US\$/ton. Los parámetros comerciales considerados para el sector 1 se presentan a continuación.

Tabla 4: Orientaciones Comerciales Sector 1.

Año base	1999
Tasa de Cambio	502
IPC	64,5
IPM	124,8

3.3 Sector 2

Con la información recopilada en base los documentos API - T00M428 y el informe cierre del sector, se presentan las siguientes características.

El sector 2 se encuentra en la zona Norte del yacimiento, inició su operación el 2004. Sus reservas estimadas son de 125 millones de toneladas, con una ley de cobre media de 1,14 %. Su producción en régimen se diseñó para generar 35.000 tpd. En este sector se utiliza panel caving con hundimiento previo y una malla de 15 x 20 metros. El sector 2 tiene las siguientes cotas para los niveles de hundimiento, producción y acarreo respectivamente.

Tabla 5: Niveles Sector 2.

Nivel	Elevación (msnm)
Hundimiento	2.120
Producción	2.102
Acarreo	2.068

El sistema de manejo de materiales del sector comienza con la carga de mineral desde los puntos de extracción mediante equipos LHD de 7 yd³, estos una vez realizado el carguío, se dirigen a los puntos de vaciado para descargar el mineral. Una parrilla separa las colpas grandes, siendo estas reducidas con un martillo picador ubicado al costado del punto de vaciado. Piques llevan a camiones de 80 toneladas el mineral al nivel de acarreo en el Teniente 6 que son cargados mediante equipos Plate-feeder, una vez realizado el carguío lo trasladan a tolvas de los piques principales que descargan el mineral en el ferrocarril del nivel de transporte principal Teniente 8. El diagrama de la figura 14 muestra el sistema de manejo de materiales del sector.

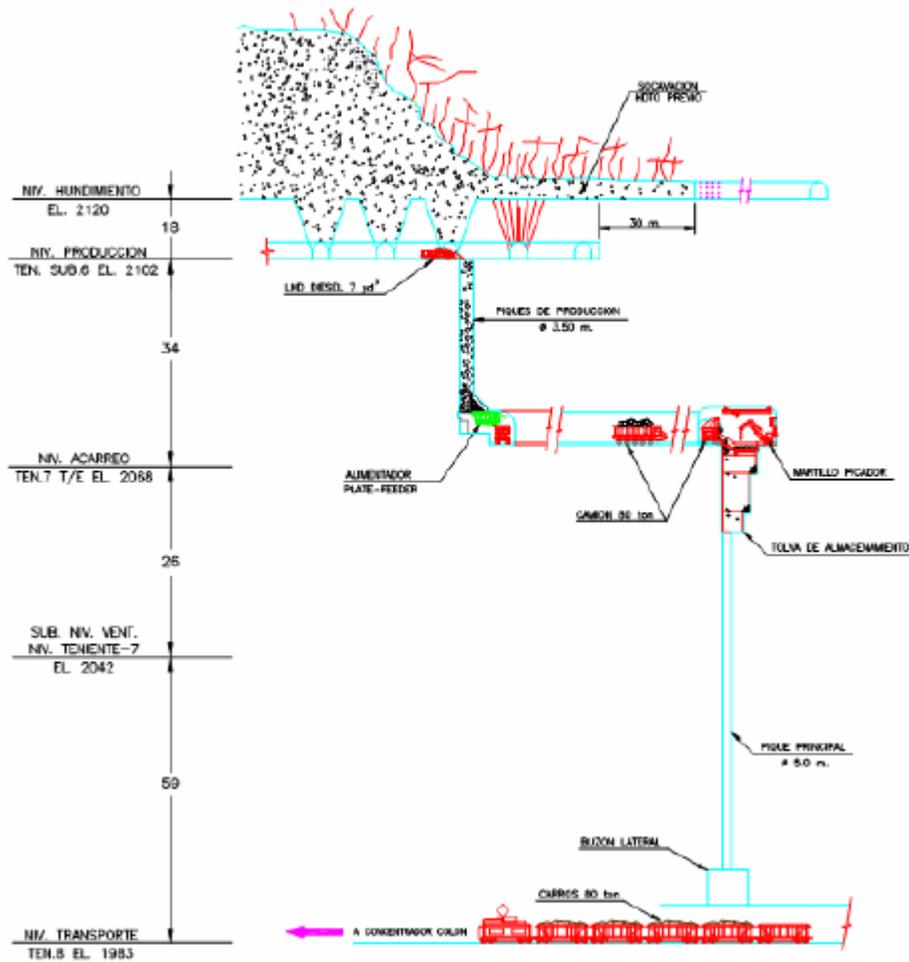


Figura 16. Diagrama sistema de manejo de materiales sector 2.

Este sector proyectó un gasto de capital asociado de 82,2 MUS\$ que luego fue reformulado a 69,8 MUS\$ y con un costo operacional de 1,96 US\$/ton. Los parámetros comerciales considerados se presentan a continuación.

Tabla 6: Orientaciones Comerciales Sector 2.

Año base	1999
Tasa de Cambio	502
IPC	64,5
IPM	124,8

3.4 Sector 3

El sector 3 se planteó en 5 fases, las cuales tienen un sistema de manejo de materiales análogo entre ellas. Para los posteriores análisis de costos operacionales solo se consideran las fases 3 y 4, ya que la fase 1 se encuentra terminada, la fase 2 en etapa de ramp-down y la fase 5 pronto a comenzar producción. En la figura 15 se muestra un diagrama de las fases para este sector.

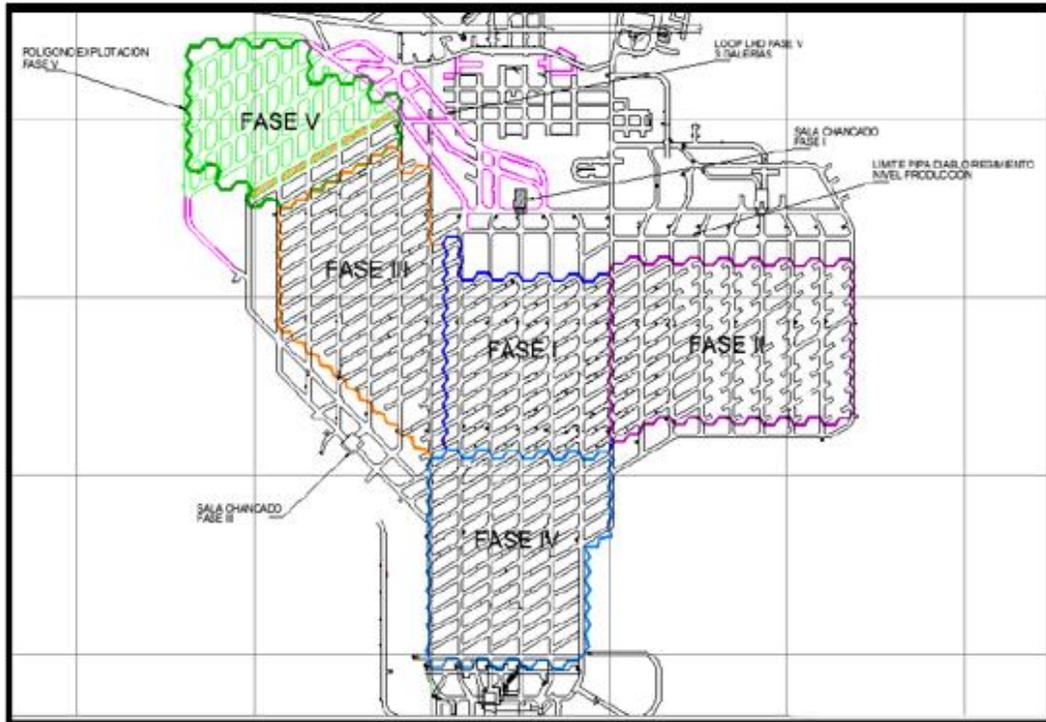


Figura 17: Ubicación de las fases del sector 3.

El sector 3 se ubica en el sector Sur-Oeste del yacimiento, sus reservas estimadas son de 213 millones de toneladas y posee una ley de cobre media de 0,87 %. Se determina un tonelaje en régimen de 28.000 tpd. El sector Central y Este será explotado con el método de Hundimiento Avanzado y el sector Sur y Noroeste será con Hundimiento Convencional. La malla usada es de 17 x 20 m. El sector 3 tiene las siguientes cotas para los niveles de hundimiento, producción y acarreo, respectivamente.

Tabla 7: Niveles Sector 3.

Nivel	Elevación (msnm)
Hundimiento	2.210
Producción	2.190
Acarreo	2.160

En el nivel de producción equipos LHD de 13 yd³ ejecutan el carguío y posteriormente descarga en los puntos de vaciado, en estos puntos hay instaladas parrillas con martillos que reducen las colpas que no pasan por la misma. El mineral pasante llega a un chancador de mandíbulas que posteriormente descarga en correas encargadas de llevar el bajo tamaño a piques que dejan el mineral en el ferrocarril ubicado en el nivel de transporte principal Teniente 8. En la figura 16 se presenta un diagrama del sistema.

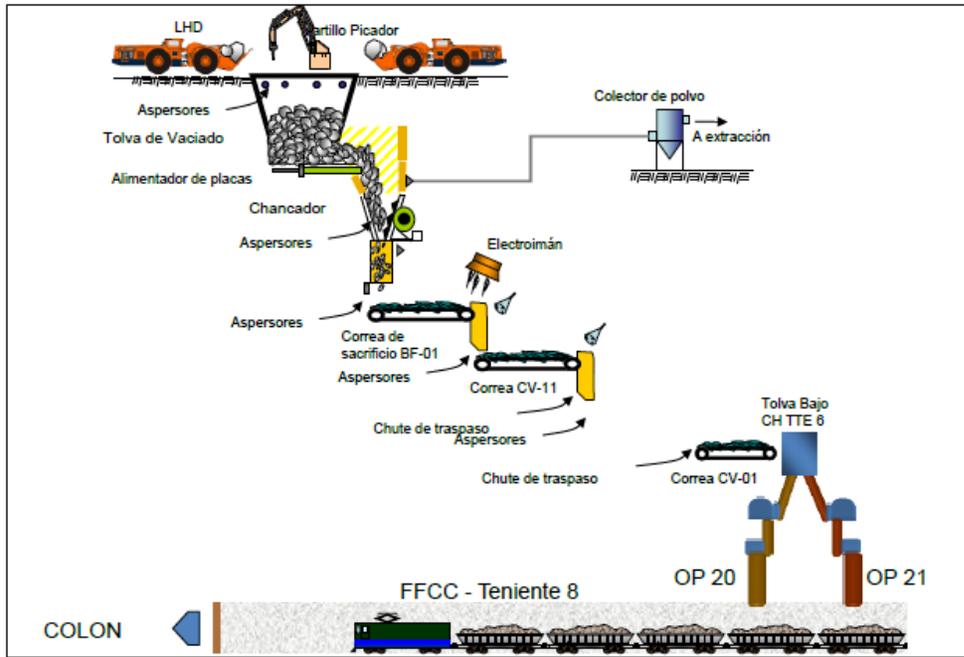


Figura 18: Diagrama sistema de manejo de materiales sector 3.

Este sector, tomando en cuenta todas sus fases, presenta una inversión total de 326,8 MUS\$ en moneda control 2016, y un costo operacional estimado promedio considerando las fases señaladas de 2,3 US\$/ton.

Cada fase tiene ciertas características económicas que se presentan a continuación.

3.4.1 Fase 1 – Sector 3

Para esta fase el documento base es el API – T01M02. Esta fase posee 99 millones de toneladas de reservas y una ley de cobre media de 0,94 %. Se contemplan 10.000 tpd de producción en régimen. La variante de Panel Caving para esta fase es el hundimiento avanzado y convencional. Se estima una inversión de 84,2 MUS\$ y un costo operacional promedio de 1,14 US\$/ton. Los parámetros comerciales considerados se presentan a continuación.

Tabla 8: Orientaciones Comerciales Sector 3 - Fase 1.

Año	2000
Tasa de Cambio	540
IPC	66,8
IPM	129,2

Cabe destacar que esta primera fase es la que contempla la adquisición de la correa que lleva el mineral a el nivel de transporte principal TT8. Es decir, la correa que será usada por todas las fases posteriores.

3.4.2 Fase 2 – Sector 3

Para esta fase el documento base es el API – T05M408. Esta fase posee 28 millones de toneladas de reservas y una ley de cobre media de 0,9 %. Se contemplan 10.000 tpd de producción en régimen con equipos LHD de 13 yd³. La variante de Panel Caving para esta fase es el hundimiento avanzado. Se estima una inversión de 19,2 MUS\$ y un costo operacional promedio de 2,47 US\$/ton considerando TT8 y administración. Los parámetros comerciales considerados se presentan a continuación.

Tabla 9: Orientaciones Comerciales Sector 3 - Fase 2.

Año	2005
Tasa de Cambio	585
IPC	76,0
IPM	147,1

3.4.3 Fase 3 – Sector 3

Para esta fase el documento base es el API – T09M416. Esta fase posee 35 millones de toneladas de reservas y una ley de cobre media de 0,73 %. Se contemplan 10.000 tpd de producción en régimen con equipos LHD de 13 yd³. La variante de Panel Caving para esta fase es el hundimiento avanzado. Se estima una inversión de 62,6 MUS\$ y un costo operacional promedio de 2,13 US\$/ton. Los parámetros comerciales considerados se presentan a continuación.

Tabla 10: Orientaciones Comerciales Sector 3 - Fase 3.

Año	2009
Tasa de Cambio	658
IPC	95,0
IPM	193,5

3.4.4 Fase 4 – Sector 3

Para esta fase el documento base es el API – T11M409. Esta fase posee 35 millones de toneladas de reservas y una ley de cobre media de 0,94 %. Se contemplan 10.000 tpd de producción en régimen con el uso de equipos LHD de 13 yd³. La variante de Panel Caving para esta fase es el hundimiento avanzado. Se estima una inversión de 67,7 MUS\$ y un costo operacional promedio de 2,31 US\$/ton. Los parámetros comerciales considerados se presentan a continuación.

Tabla 11: Orientaciones Comerciales Sector 3 - Fase 4.

Año	2010
Tasa de Cambio	560
IPC	92,8
IPM	182,6

3.4.5 Fase 5 – Sector 3

Para esta fase el documento base es el API – T15M400. Esta fase posee 15 millones de toneladas de reservas y una ley de cobre media de 0,82 %. Se contemplan 8.000 tpd de producción en régimen con el uso de equipos LHD de 15 yd³. La variante de Panel Caving para esta fase es el hundimiento avanzado. Se estima una inversión de 60,8 MUS\$ y un costo operacional promedio de 4,96 US\$/ton. Los parámetros comerciales considerados se presentan a continuación.

Tabla 12: Orientaciones Comerciales Sector 3 - Fase 5.

Año	2015
Tasa de Cambio	585
IPC	107,4
IPM	209,8

3.5 Sector 4

Con la información recopilada, base a los documentos API - T06M400 que posteriormente fue reformulado en el API - T07M416, y el informe de post-evaluación se presentan las siguientes características del sector considerando las ultimas reformulaciones realizadas.

El sector 4 se encuentra en la zona Nor-Este del yacimiento. Sus reservas estimadas son de 34 millones de toneladas, con una ley de cobre media de 1,33 %. Su producción en régimen se diseñó para generar 17.000 tpd. En este sector se utiliza panel caving con hundimiento avanzado y uso de pre acondicionamiento con fracturamiento hidráulico, una malla de 15 x 20 metros y una distancia media de transporte de 25 metros. El sector 4 tiene las siguientes cotas para los niveles de hundimiento, producción y acarreo, respectivamente.

Tabla 13: Niveles Sector 4.

Nivel	Elevación (msnm)
Hundimiento	2.120
Producción	2.102
Acarreo	2.070

El sistema de manejo de materiales del sector comienza con la carga de mineral desde los puntos de extracción mediante equipos LHD de 7 yd³, estos una vez realizado el carguío, se dirigen a los puntos de vaciado para descargar el mineral. Una parrilla separa las colpas grandes, siendo estas reducidas con un martillo picador ubicado al costado del punto de vaciado. El mineral se traslada mediante piques a un nivel de transporte intermedio, en el que equipos LHD de 13 yd³ cargan y posteriormente descargan en otro pique que lleva el mineral al ferrocarril del nivel de transporte principal Teniente 8. El diagrama de la figura 17 muestra el sistema de manejo de materiales del sector.

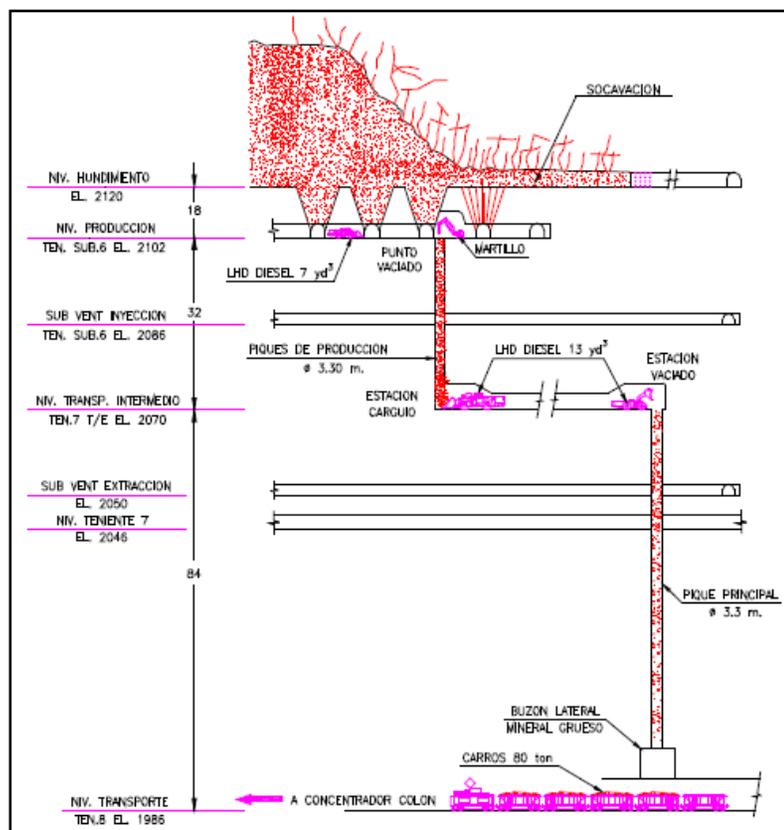


Figura 19: Diagrama sistema de manejo de materiales sector Sector 4.

Este sector posee un gasto de capital asociado de 129,9 MUS\$ y un costo operacional de 3,06 US\$/ton. Los parámetros comerciales considerados se presentan a continuación.

Tabla 14: Orientaciones Comerciales Sector 4.

Año	2008
Tasa de Cambio	532
IPC	85,3
IPM	175,9

3.6 Sector 5

Con la información recopilada, y principalmente en base al documento API - T13M417 se presentan las siguientes características del sector.

El sector 5 se encuentra en la zona Norte del yacimiento. Sus reservas estimadas son de 39 millones de toneladas, con una ley de cobre media de 1,17 %. Su producción en régimen se diseñó para generar 17.000 tpd. En este sector se utiliza panel caving con hundimiento convencional y uso de pre-acondicionamiento con fracturamiento hidráulico (FH) y debilitamiento dinámico con explosivos (DDE), una malla de 15 x 20 metros. El sector 5 tiene las siguientes cotas para los niveles de hundimiento, producción y acarreo, respectivamente.

Tabla 15: Niveles Sector 5.

Nivel	Elevación (msnm)
Hundimiento	2.120
Producción	2.102
Acarreo	2.068

El sistema de manejo de materiales del sector comienza con la carga de mineral desde los puntos de extracción mediante equipos LHD de 10 yd³, estos una vez realizado el carguío, se dirigen a los puntos de vaciado para descargar el mineral. Una parrilla separa las colpas grandes, siendo estas reducidas con un martillo picador ubicado al costado del punto de vaciado. El mineral se traslada mediante piques a un nivel de transporte intermedio, en el que camiones de 80 toneladas cargan y posteriormente descargan en otros piques que lleva el mineral al ferrocarril del nivel de transporte principal Teniente 8. El diagrama de la figura 18 muestra el sistema de manejo de materiales del sector.

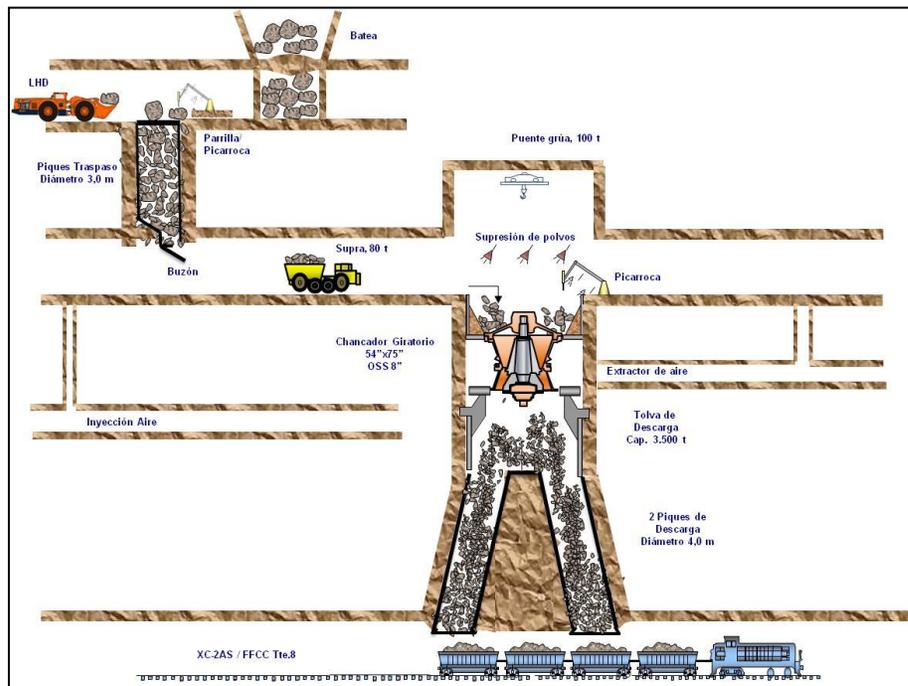


Figura 20: Diagrama sistema de manejo de materiales sector Sector 5.

Este sector posee un gasto de capital asociado de 270,1 MUS\$. El sector tiene un costo operacional para el año 2016 en su etapa de ramp-up de 5,63 US\$/ton. Los parámetros comerciales considerados se presentan a continuación.

Tabla 16: Orientaciones Comerciales Sector 5.

Año	2012
Tasa de Cambio	472
IPC	97,6
IPM	204,4

3.7 Sector 6

Con la información recopilada, y principalmente en base a los documentos API - T13M407 y API - T15M410 esto debido a que se contempló en dos fases.

El sector se encuentra en la zona Nor-Oeste del yacimiento. Sus reservas estimadas son en un principio de 16,6 millones de toneladas que posteriormente se aumentaron 23,1 millones de toneladas en donde el 66% corresponde a roca secundaria y 34% a primaria. Para la fase 1 se estimó una ley de cobre media de 0,97 % que luego bajo a 0,87 % por el aumento de reservas. Su producción en régimen se diseñó para generar 15.000 tpd. En este sector se utiliza panel caving con hundimiento convencional y uso de pre-acondicionamiento con fracturamiento hidráulico (FH), tiene una malla de 15 x 20 metros. EL sector 6 tiene las siguientes cotas para los niveles de hundimiento, producción y acarreo, respectivamente.

Tabla 17: Niveles Sector 6.

Nivel	Elevación (msnm)
Hundimiento	2.265
Producción	2.247
Acarreo	2.243

El sistema de manejo de materiales del sector comienza con la carga de mineral desde los puntos de extracción mediante equipos LHD de 15 yd³, estos una vez realizado el carguío, se dirigen a descargar de manera directa en camiones de 60 toneladas, la flota es de 7 equipos en ambos casos. Los camiones llevan el mineral y descargan en los puntos de vaciado donde hay instaladas parrillas, las que separan las colpas grandes, siendo estas reducidas con un martillo picador ubicado al costado del punto de vaciado. El mineral se traslada mediante piques a un chancador de mandíbulas. Una vez realizado el chancado se lleva el mineral en piques al ferrocarril del nivel de transporte principal Teniente 8. El diagrama de la figura 19 muestra el sistema de manejo de materiales del sector.

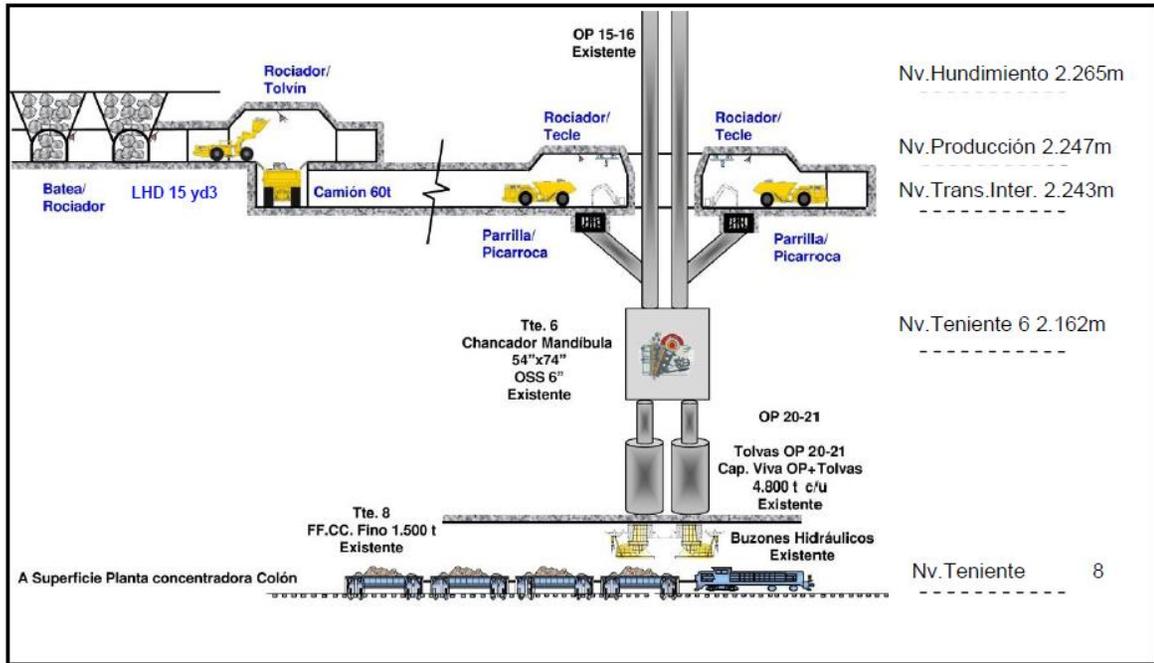


Figura 21: Diagrama sistema de manejo de materiales sector 6.

El sector tiene un costo operacional para el año 2016 en su etapa de ramp-up de 10,9 US\$/ton considerando la fase 2, sin incluir los costos de preparación, TT8 ni administración.

3.7.1 Fase 1 – Sector 6

Esta fase posee un costo de capital de 190,6 MUS\$. Los parámetros comerciales considerados se presentan a continuación.

Tabla 18: Orientaciones Comerciales Sector 6 – Fase 1.

Año	2013
Tasa de Cambio	496
IPC	100,9
IPM	206,9

3.7.2 Fase 2 – Sector 6

Esta fase posee un gasto de capital asociado de 48,4 MUS\$. Los parámetros comerciales considerados se presentan a continuación.

Tabla 19: Orientaciones Comerciales Sector 6 – Fase 2.

Año	2015
Tasa de Cambio	585
IPC	107,4
IPM	209,8

4 Características operacionales de los sistemas de manejo de materiales para cada sector

4.1 Resumen del capítulo

Con el transcurso de la operación se presentan eventos que no fueron contemplados al momento de realizar el proyecto, dentro de los más habituales se destacan los estallidos de rocas, colapsos, costos no considerados, entre otros. Este capítulo presenta algunas consideraciones a tomar en cuenta al momento de realizar los análisis comparativos de costos y características del sistema de manejo de materiales, los cuales explican en parte las desviaciones que puedan existir entre los proyectos y operación a nivel de costos y características. A su vez, lo anterior genera mayor contexto para comprender la condición actual de los proyectos. El sector 1 fue uno de los primeros sectores en introducirse en roca primaria, actualmente no ha logrado llegar a la producción en régimen planificada. El sector 2 ha generado sinergias con lo que antes era sub-6, aprovechando infraestructura y desarrollos del sector, actualmente se encuentra operando a régimen según lo planeado. El sector 3 fue diseñado en 5 fases análogas entre ellas. Este sector ha presentado problemas de agua/barro disminuyendo en algunas de sus fases la producción planificada, sin embargo, el 2016 estuvo muy cercano a cumplir con el régimen. El sector 4 se encuentra en una zona con altos esfuerzos, situación que ha generado dificultades producto de estallidos de roca y colapsos, actualmente su producción está bajo la planificada. El sector 5 y 6 son sectores que se encuentran en etapa de ramp-up, ambos bajo lo proyectado para el 2016.

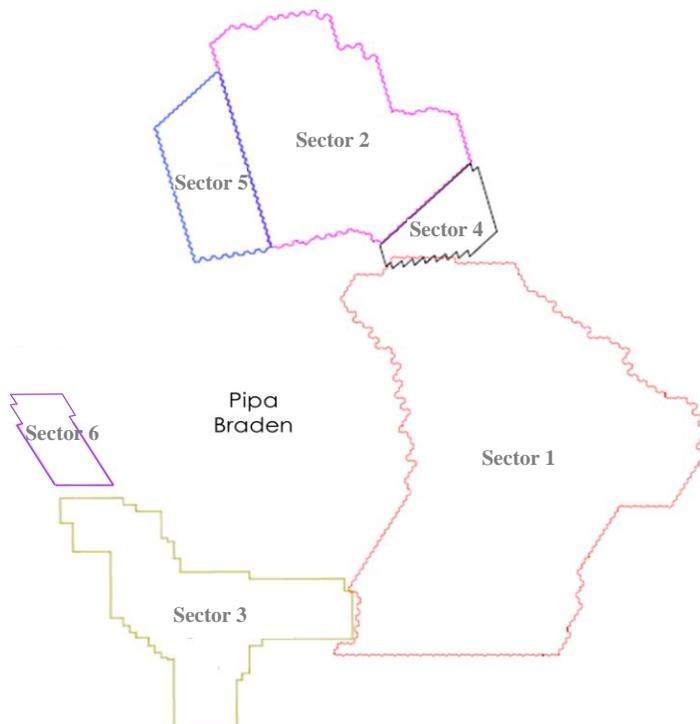


Figura 22: Disposición general de los sectores. Vista en planta.

4.2 Sector 1

Este sector fue uno de los primeros en introducirse a zonas de altos esfuerzos en roca primaria. Inicia su operación en 1997. Su desarrollo fue en paralelo con el denominado “Plan experimental de mina Sub-6” ejecutado entre 1994 y 1997, el cual fomento el avance del sector 1 permitiendo su desarrollo de mejor forma. Los principales conocimientos fueron en el ámbito de la geotécnia, de la que en ese entonces se tenían grandes incertidumbres, reduciendo así eventos sísmicos mayores. Considerando lo anterior se realizaron distintas variantes del Panel Caving a través de la operación y se usaron piques cortos (30 m) con el fin de reducir el daño en los sistemas de traspaso.

Uno de los principales cambios presentados en el sector fue la variante de explotación, que de hundimiento previo definido en su ingeniería a detalle se cambió a avanzado luego de unos años de estar operando, esto para reducir las interferencias que existían producto de la compleja coordinación que requiere la variante previo, otorgando más flexibilidad, dado que en la variante avanzado se desarrollan las galerías de producción de forma previa, manteniendo los aspectos de seguridad otorgados por la redistribución de esfuerzos. También, en un comienzo el sector considero el uso de camiones en su nivel de transporte intermedio, pero sin embargo finalmente se decidió tren por aspectos operacionales, ambientales y económicos.

El año 2001 el sector 1 se ve afectado por la pérdida de área productiva, la cual afectó el plan de producción proyectado, lo que dio inicio al cambio en la variante, este cambio también permitía una mayor tasa de incorporación de área para compensar la pérdida ocurrida. Sin embargo, los colapsos mantienen al sector en rangos productivos de 30 a 40 ktpd, no logrando estar en lo comprometido en API correspondiente a 45 ktpd. A continuación se presenta un plano del nivel de producción (negro) y transporte intermedio (azul) del sector, el cual posee un área aproximada de 629.000 m² y distancias entre puntos de vaciado de 100 metros ubicados en calle.

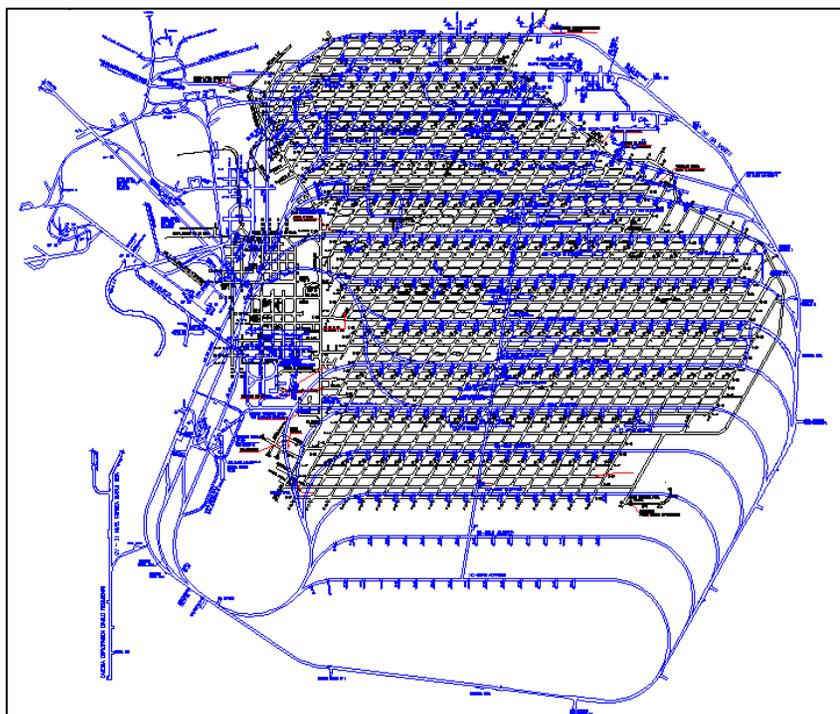


Figura 23: Plano nivel de producción y transporte intermedio sector 1.

4.3 Sector 2

Este sector inició su operación el año 2004. Su ubicación le permitió generar sinergias con el sector Sub-6, tomando infraestructura y desarrollos del mismo, lo que redujo en gran medida los costos de capital asociados a estos ítems.

El sector a su vez, posee gran flexibilidad en su nivel de transporte intermedio, ya que mediante el uso de camiones se tienen mayores alternativas de redistribución de la ruta frente a inconvenientes geomecánicos que puedan inhabilitar algún sector, lo anterior considerando los esfuerzos producidos por la zona de transición que afectan el nivel de acarreo.

Este sector presentó problemas, respecto a lo planificado, en el uso de plate-feeders, equipos que finalmente fueron dados de baja del sector afectando la productividad esperada. También los camiones del nivel de transporte intermedio no lograron cumplir con la productividad que se proyectó, generando un aumento en la flota de camiones, lo que también aumentó los costos.

Hoy en día el sector se encuentra en régimen superando lo planificado de 35 ktpd encontrándose en 37 ktpd durante el 2016. A continuación se presenta un plano del nivel de producción (negro) y transporte intermedio (azul) del sector, el cual posee un área aproximada de 190.000 m² y distancias entre puntos de vaciado de 140 metros ubicados en calle.

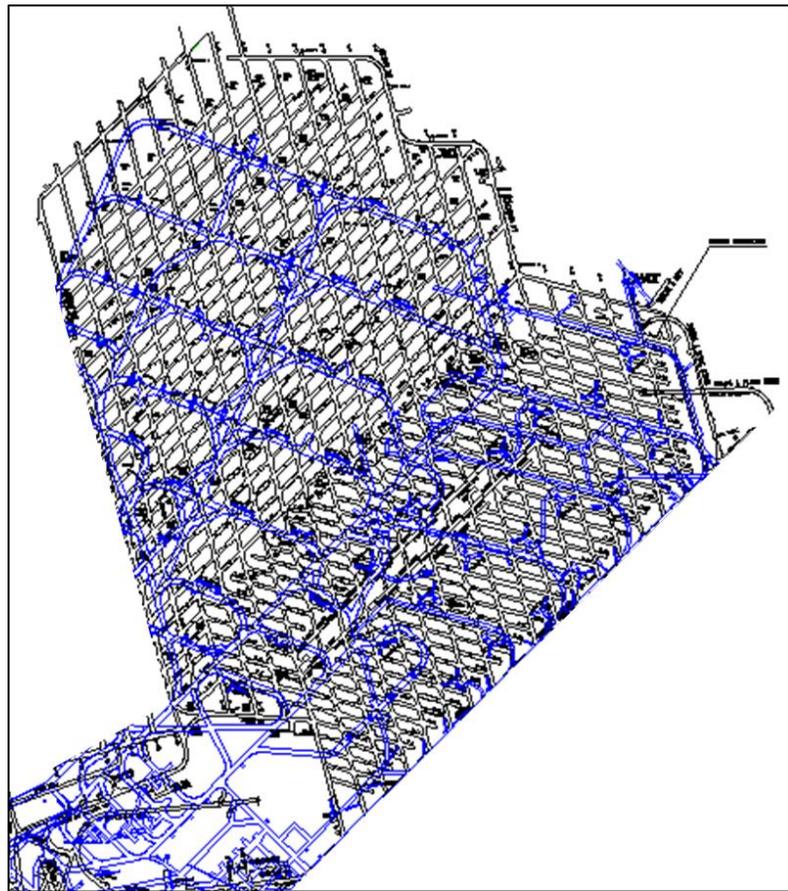


Figura 24: Plano nivel de producción y transporte intermedio sector 2.

4.4 Sector 3

Este sector inició su operación el año 2005. Se diseñó para ser explotado en 5 fases, esto considerando su geometría irregular, y a su vez aprovechando el hundimiento mediante el avance de 3 frentes. Actualmente la primera fase ya se cerró, la fase 2 se encuentra en proceso de ramp-down, la fase 3 y 4 en régimen y la última pronto a iniciar producción. Cada una de estas fases fue planificada para tener un chancador asociado a ellas, sin embargo, actualmente se plantea utilizar el chancado de la fase uno para tratar el mineral de la fase 5 y así generar ahorros en costos y aprovechar la capacidad instalada.

Uno de los principales problemas presentados en el sector corresponde a los ocasionados por agua/barro, el cual generó la disminución de las alturas de columna planificadas a extraer, disminuyendo la producción proyectada para el sector. Por otro lado, el sector planteo utilizar equipos LHD semi-automáticos, pero que sin embargo, dada la relevancia del sector, incertidumbre de la productividad de los mismos, y considerando las características de la mina que generan un ambiente hostil para la instrumentación, se prefirió operar de forma manual, lo cual aumenta los costos asociados a mano de obra y por ende aumento en los costos de extracción.

En este sector se utiliza chancado al interior de la mina con puntos de vaciado en cabecera, donde el mineral luego de ser chancado, es trasladado por correas al nivel Teniente 8, situación que otorga una disminución en los costos operacionales, pero que sin embargo aumenta la inversión, principalmente por las excavaciones asociadas a la sala de chancado. El uso de las correas entrega continuidad al proceso productivo y, como se mencionó, disminución de los costos operacionales, en contraste con la flexibilidad de otros sistemas, pero que para esta zona en la que no se presentan esfuerzos considerados riesgosos, que puedan comprometer el sistema de transporte de mineral a Teniente 8, adquieren gran eficacia.

La tasa de extracción en régimen para el sector es de 28 ktpd, encontrándose durante el 2016 en 26 ktpd, muy cercano a lo planificado. A continuación se presenta un plano del nivel de producción del sector, el cual posee un área de 222.000 m² y una distancia máxima de transporte a los puntos de vaciado de 240 metros, los cuales están ubicados en cabecera.

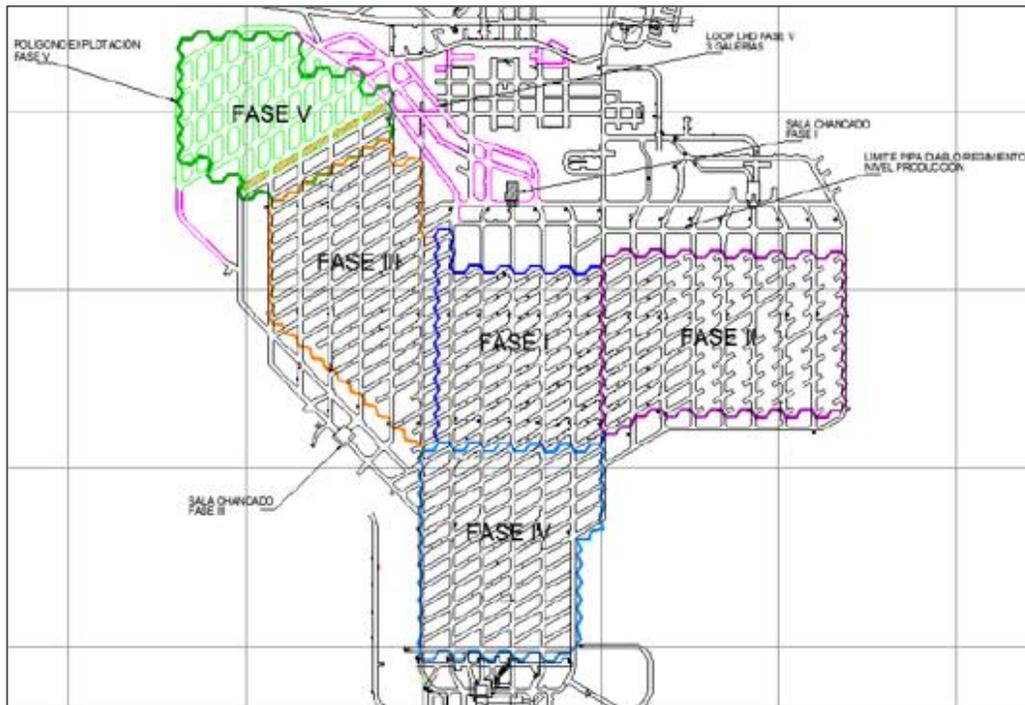


Figura 25: Plano nivel de producción sector 3.

4.5 Sector 4

El sector 4 inició su operación el año 2010. Su desarrollo se encuentra en un área de alta sismicidad, relacionada a la concentración de esfuerzos generada por la explotación de los sectores aledaños, sector 1 y sector 2, en conjunto con las condiciones in situ ya complejas en términos de esfuerzos. Dicho lo anterior el sector no ha logrado entregar la producción para la cual fue planificado. En este sector se utilizan equipos LHD telecomandados en producción y acarreo que son menos productivos que los manuales pero otorgan mayor seguridad dadas las condiciones de esfuerzos descritas.

El sector estuvo cerrado durante 7 meses producto de los estallidos de roca el año 2012. El retomar la operación se tradujo en un cambio en la variante desde hundimiento avanzado a convencional con hidrofacturamiento.

Actualmente el sector se encuentra sub utilizado, siendo su producción 7 ktpd habiendo sido planificado para 17 ktpd. A continuación se presenta un plano del nivel de producción (negro) y transporte intermedio (azul) del sector, el cual posee un área de 67.000 m² y distancias entre puntos de vaciado de 50 metros ubicados en calle.

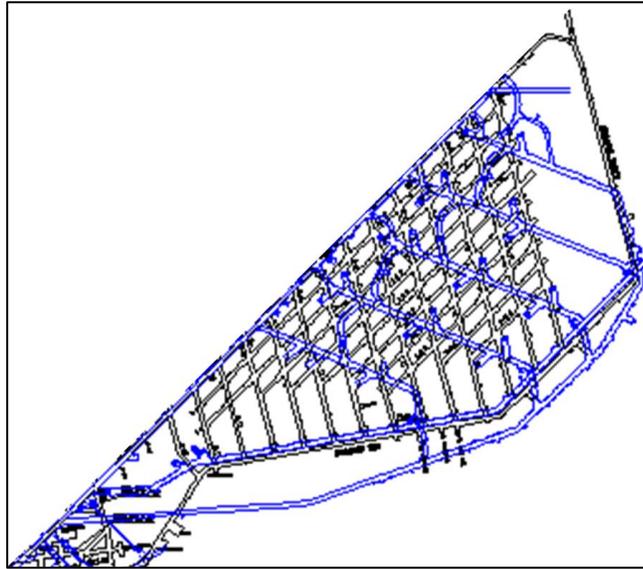


Figura 26: Plano nivel de producción y transporte intermedio sector 4.

4.6 Sector 5

Sector que se encuentra en ramp-up, inició su operación el 2013 con la producción de mineral grueso, dando inicio a fines del 2015 con la producción de finos. Se proyecta el inicio de régimen el año 2020.

El sector 5 se encuentra aledaño al sector 2 compartiendo las cotas de sus niveles y sistemas de manejo de materiales similares excepto porque el sector 5 posee chancado interior mina, no así el sector 2, lo anterior en línea con la planificación de la mina según los requerimientos de planta.

Durante el 2016 el sector 5 ha producido 4,5 ktpd siendo proyectado para ese año 8,8 ktpd, para posteriormente en su etapa de régimen producir 17 ktpd. A continuación se presenta un plano del nivel de producción (negro) y transporte intermedio (azul) del sector, el cual posee un área de 104.000 m² y distancias entre puntos de vaciado de 130 metros ubicados en calle.

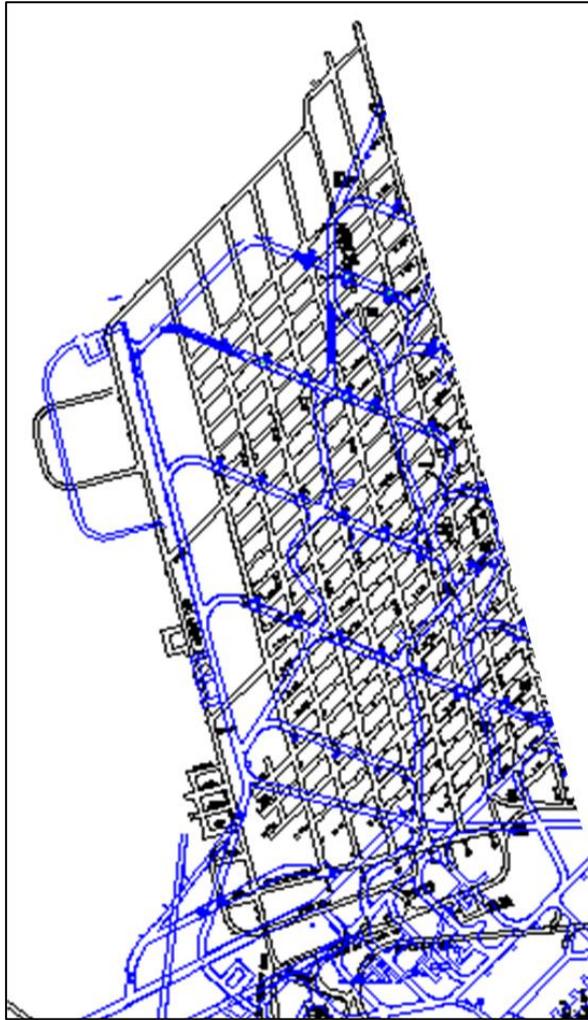


Figura 27: Plano nivel de producción y transporte intermedio sector 5.

4.7 Sector 6

Sector que se encuentra en ramp-up, inició su operación el 2016 con la producción de mineral grueso, se proyecta que el sector inicie el 2018 su etapa de régimen.

El sector ha presentado problemas de disponibilidad de camiones debido al sistema de carguío directo, el cual requiere de la constante presencia de estos equipos, que fue diseñado de esta forma por la baja producción del sector. Posterior al carguío de los camiones se realiza el chancado al interior de la mina el que da paso al mineral hacia Teniente 8.

El sector proyecta un régimen de 15 ktpd, durante el 2016 generó 0,6 ktpd habiendo sido proyectadas por API 1,8 ktpd. A continuación se presenta un plano del nivel de producción del sector, el cual posee un área de 42.000 m² y distancias máximas de transporte de 165 metros con puntos ubicados en cabecera con carguío directo.

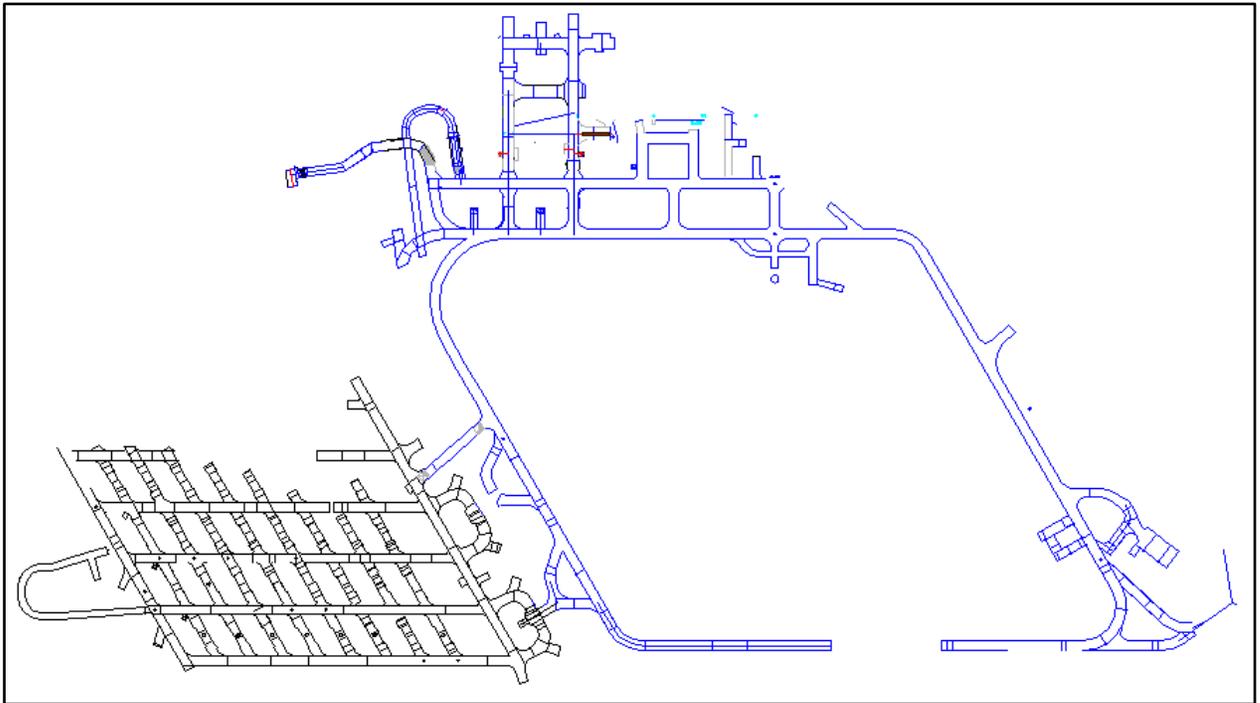


Figura 28: Plano nivel de producción y transporte intermedio sector 6.

5 Análisis de los sistemas de manejo de materiales

5.1 Resumen del capítulo

En este capítulo se presentan los análisis de los sistemas de manejo de materiales presentados para cada sector. Este análisis se realiza desde el punto de vista de costos de capital y operacionales, como también según las características del manejo de materiales. Al inicio del capítulo se muestran aspectos generales de los sectores para así dar contexto a los posteriores análisis, tales como la producción de los sectores, las reservas proyectadas, ley media y finos de cobre. Luego se describen las diferencias observadas en los costos de capital, donde los principales costos están asociados a preparación e infraestructura, pero con las mayores diferencias de estimación en ingeniería y equipos. Todos los sectores se encuentran dentro del rango de precisión para los costos de capital correspondiente al $\pm 15\%$. Analizando los costos operacionales existen grandes diferencias. Extracción y transporte intermedio tienen la mayor porción de costos asociados a la operación, contando con un error promedio por extracción del 80% siendo este sub estimado para todos los sectores. Los sectores 5 y 6, sectores en ramp-up, tienen grandes diferencias en el ítem servicios y reparación, dado que el 2016 se postergaron las labores de reparación para reducir costos frente al complejo escenario de baja de los precios del cobre. Respecto a las características de cada sistema, se aprecia que todos ellos utilizan equipos LHD en sus niveles de producción, existiendo diferencias en las capacidades, asociados a las inversiones y tamaño de las galerías, como también a las distancias que deben recorrer. Realizar chancado interior genera reducción de los costos operacionales, sin embargo, conlleva una mayor inversión, aspecto a evaluar en cada caso, considerando a su vez la solicitud de material fino o grueso en la planta de tratamiento. El uso de trenes tiene bajos costos de operación y es una gran alternativa para las zonas con gran extensión y en donde el nivel no se enfrente a condiciones geomecánicas complejas, ya que de ser así la alternativa de camiones compensa esto, por su alta flexibilidad, la que también es un aspecto relevante en caso de posibles extensiones de los sectores.

5.2 Aspectos generales de los sectores

A continuación se presentan algunas características generales para los sectores, de tal manera de darle contexto al análisis a realizar.

5.2.1 Producción

Es importante señalar el momento en el que se encuentran los proyectos respecto a la producción que se proyectó como régimen para cada sector, de esta forma realizar un análisis considerando estos aspectos. En el siguiente gráfico se realiza una comparación entre las producciones reales durante el 2016 y las nominales en etapa de régimen, para posteriormente analizar las diferencias.

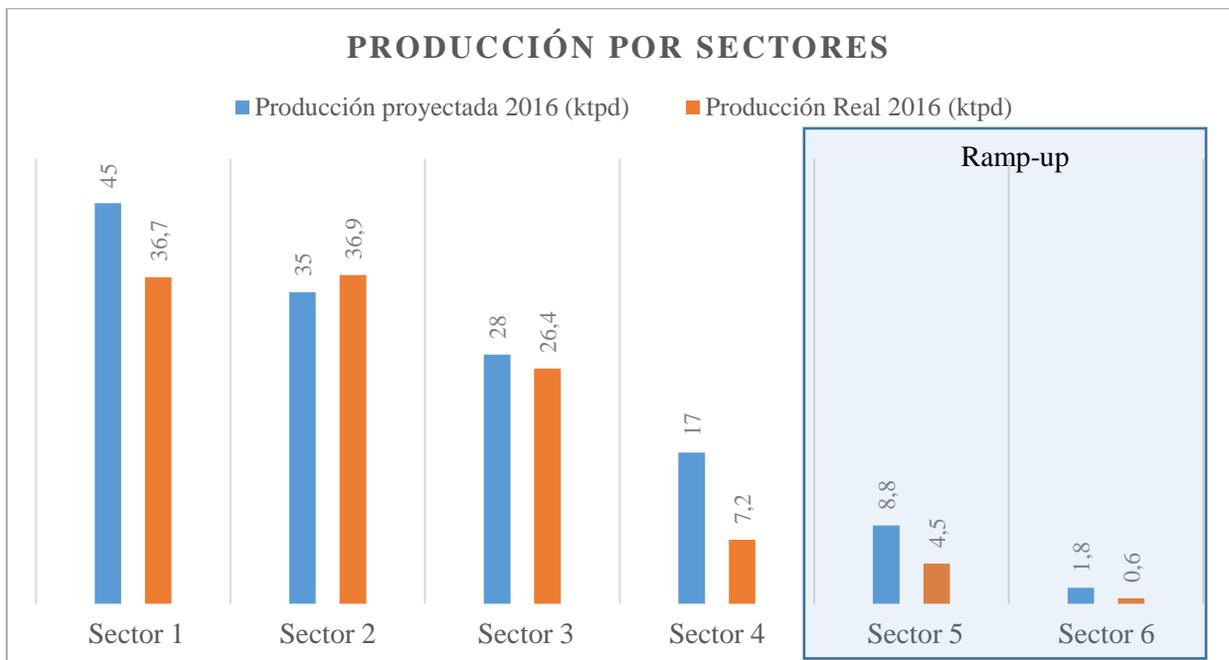


Gráfico 3: Producción de mineral por sectores de la división El Teniente. Elaboración propia en base a datos de la división.

Como se puede ver en el gráfico solo los sectores 2 y 3 se encuentran cercanos al régimen proyectado. El sector 1 no ha logrado tener el ritmo productivo que se contempló, esto debido a que presentó problemas en el año 2000, producto de estallidos de rocas que comprometieron su producción planificada, debiéndose pasar de una producción por paño a por bloques que redujeron la capacidad de incorporación de área para asegurar la zona. El sector 4 ha presentado problemas de estallidos de roca que no han permitido llevar su producción al objetivo planeado, teniendo una capacidad de producción sub utilizada. Finalmente, los sectores 5 y 6 están en etapa de “ramp-up”, es decir, aumentado su producción de manera paulatina para llegar a régimen en los años 2020 y 2018 respectivamente, presentado algunos atrasos en su producción del 2016 respecto a lo planificado para ese año.

5.2.2 Ley Media

Cada sector tiene cierta ley media con la que se puede obtener los finos totales asociados al sector, siendo este un primer acercamiento a la rentabilidad del mismo. Según la documentación utilizada, en el siguiente gráfico se presenta las leyes asociadas a cada sector.

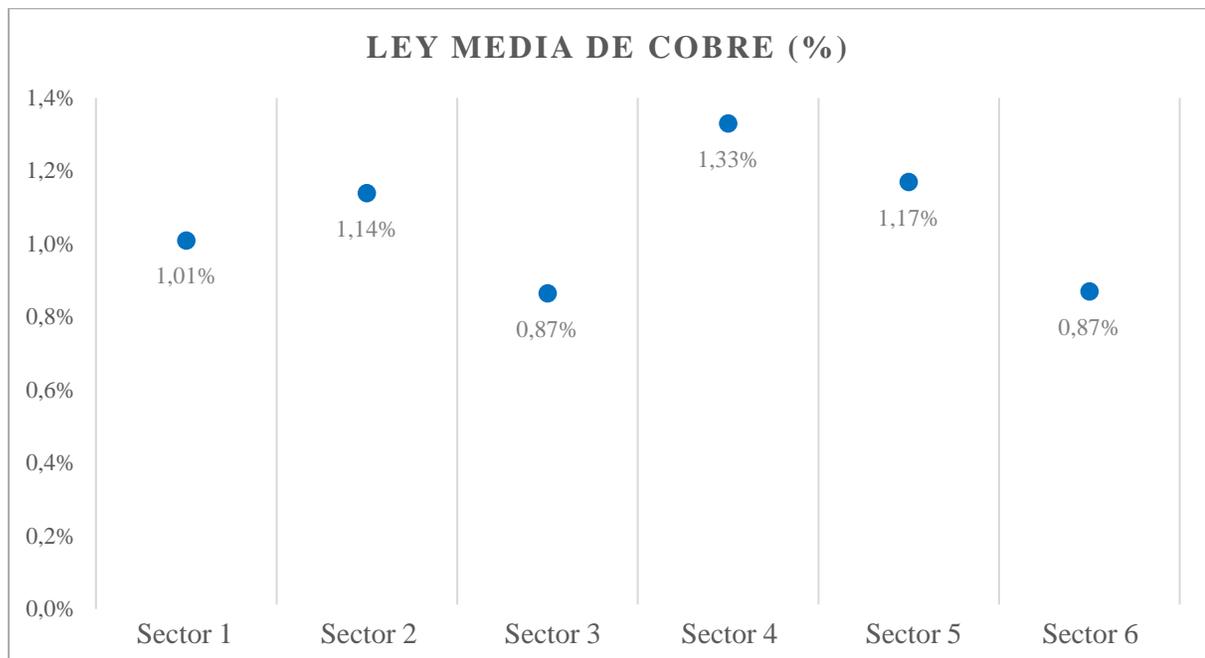


Gráfico 4: Leyes medias de cobre de los sectores de la división El Teniente. Elaboración propia en base a datos de la división.

Se aprecia en un comienzo una tendencia a la baja en las leyes que posteriormente repuntan en el sector 4, para finalmente nuevamente tener una baja. Estas bajas en las leyes corresponden a un comportamiento general en la industria minera a nivel nacional y global.

En relación a algunas operaciones actualmente en ejecución y proyectos a realizar en los próximos años se tiene el siguiente escenario.

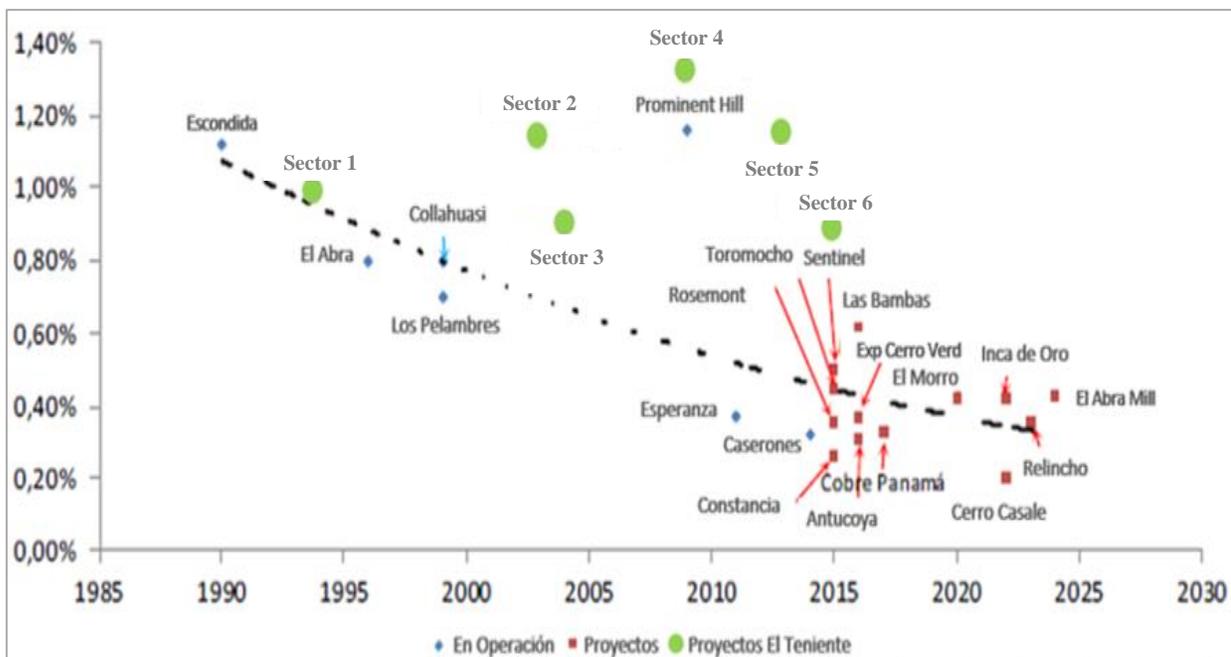


Gráfico 5: Leyes medias de cobre de operaciones y proyectos mineros. Modificado de Wood Mackenzie y Codelco.

Se puede apreciar que la división se encuentra sobre la media, pero con la misma tendencia a la baja en sus leyes.

5.2.3 Reservas

En cada sector se definió cierta cantidad de reservas según el plan divisional y evaluaciones económicas asociadas al mismo. Estas reservas contempladas para cada sector se presentan a continuación.

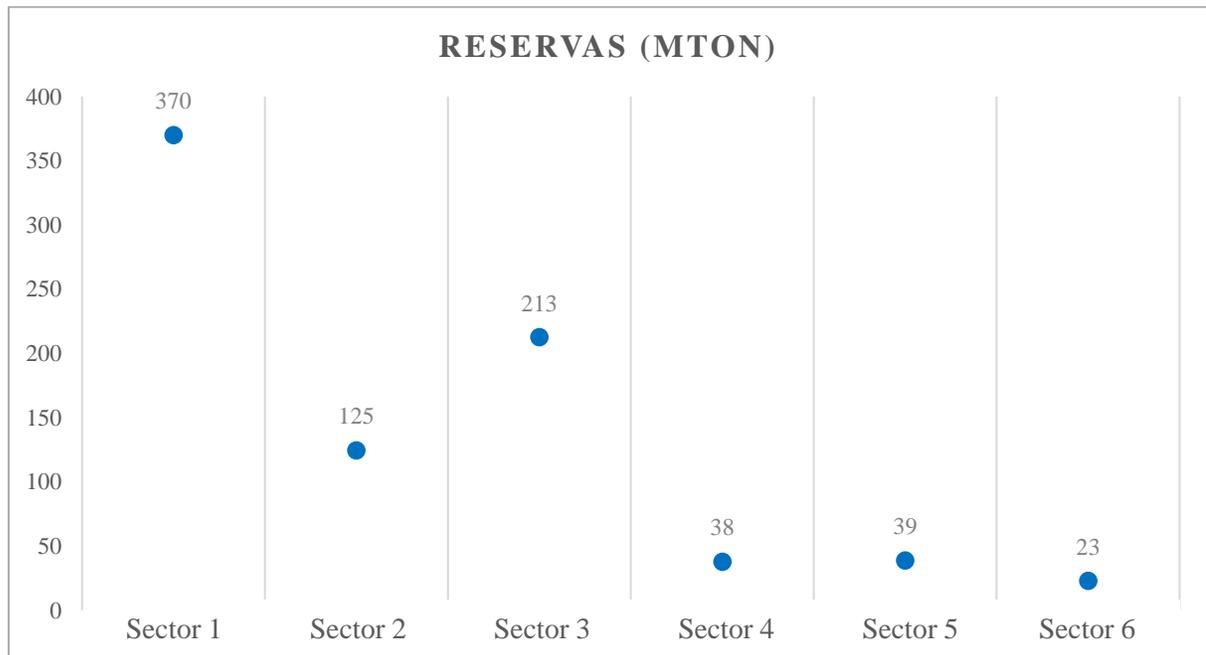


Gráfico 6: Reservas minerales por sector de la división El Teniente. Elaboración propia en base a datos de la división.

Los últimos proyectos de la división presentan menores reservas que los anteriores, esto se condice con las producciones en régimen presentadas, que son menores para los sectores con menos reservas y mayores para los sectores que poseen más.

Cabe destacar que el sector 3 se contempló en 5 fases con distinta cantidad de reservas cada una, este detalle se encuentra en el Anexo C.

5.2.4 Finos

Con la información presentada anteriormente se realiza un gráfico que presenta los finos totales por sector.

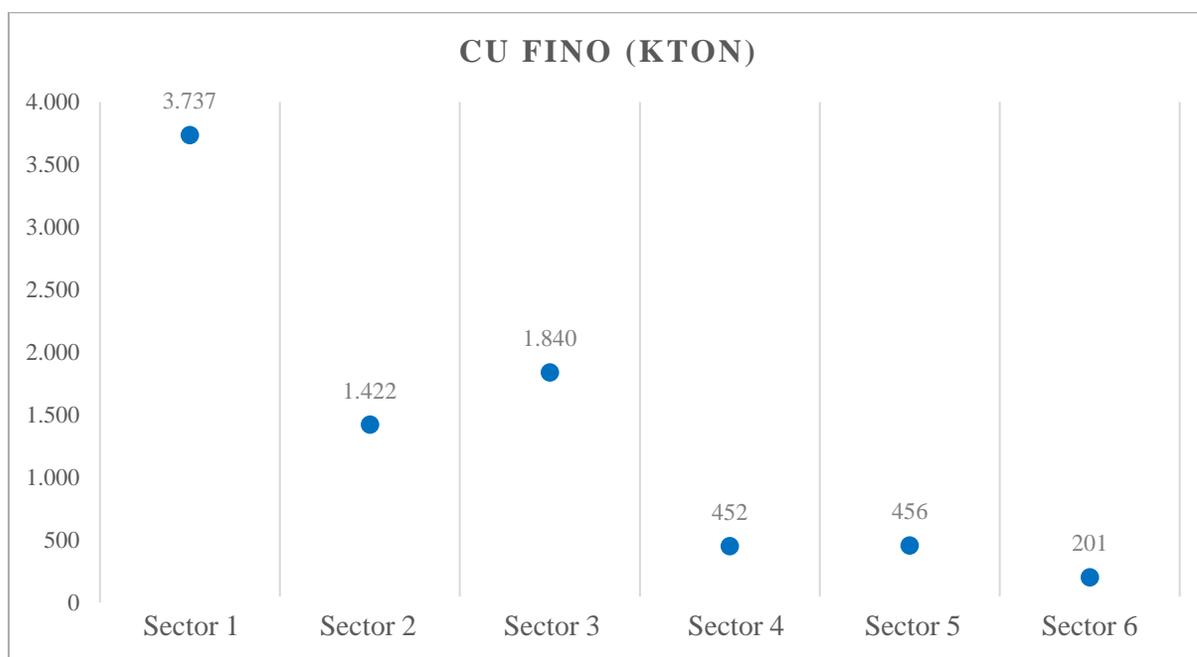


Gráfico 7: Finos de cobre por sector de la división El Teniente. Elaboración propia en base a datos de la división.

De manera similar a las reservas, los sectores tienen menor cantidad de finos en el caso de los últimos proyectos realizados, esto ya que está asociado de manera directa con la cantidad de reservas por sector.

5.3 Costos de Capital

Se contrasta la información recopilada a partir de los documentos API, al momento de dar comienzo a la ejecución del proyecto, con la información de la plataforma SAP que recopila los costos que se realizaron en cada API. En caso de ser APIs cerrados se realizan las actualizaciones respectivas a moneda control 2016 desde el momento del cierre de este en la plataforma SAP. Para el caso de los documentos API se actualizan a partir de la fecha de elaboración señalada en el mismo. Para el sector 1 se utilizó un informe de post-evaluación y no el API dada la falta de antecedentes asociado a la fecha de elaboración del mismo (1994). El detalle de las actualizaciones de costos para cada sector se encuentra en el Anexo A.

A continuación, se presenta un gráfico que muestra los costos de capital comprometidos en el API y los obtenidos de SAP.

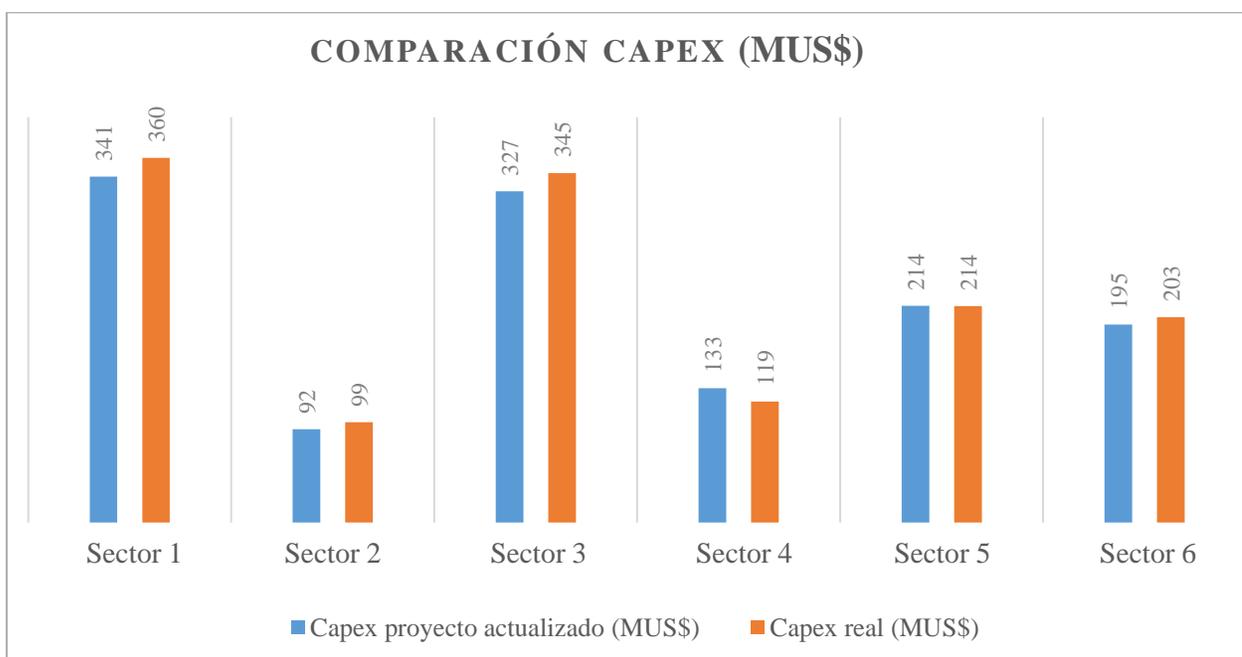


Gráfico 8: Comparación de costos de capital (CAPEX) proyectados vs reales en distintos sectores de la división El Teniente.

Observando el gráfico se aprecian algunas diferencias por sector, las que se presentan a continuación.

Tabla 20: Diferencias de capital por sector de la división El Teniente.

Sector	Diferencia Capex (MUS\$)	Diferencia Porcentual (%)
1	+18,5	+5 %
2	+6,9	+7 %
3	+18,1	+6 %
4	-11,2	-10 %
5	-0,4	0 %
6	+7,4	+4 %

En base a los documentos SIC-P-004: “MINIMO ESTANDAR - ESTUDIO DE FACTIBILIDAD” y SIC-P-005: “BASE DE ESTIMACIÓN DE COSTOS DE CAPITAL Y OPERACIÓN”, se tiene que todos los proyectos se encuentran dentro del rango de precisión para las estimaciones de costo de capital, siendo está de un rango entre ± 10 a 15 % de error.

La mayor precisión se encuentra en los últimos proyectos desarrollados, esto asociado a la menor envergadura, los cuales involucran un capital más acotado, permitiendo mayor control. La división está constantemente en búsqueda de mejoras en sus costos, siendo uno de estos aspectos el control de los mismos, lo que se ve reflejado en el aumento de precisión, incluso reducción de estos para el caso del sector 4. El sector 2 posee un costo de capital bajo en comparación al resto

de los sectores, lo anterior debido a que se apoyó en infraestructura y desarrollos de lo que era el Sub-6, disminuyendo en gran medida sus costos de capital.

En el siguiente gráfico se presenta el desglose de los costos de capital para los distintos sectores.

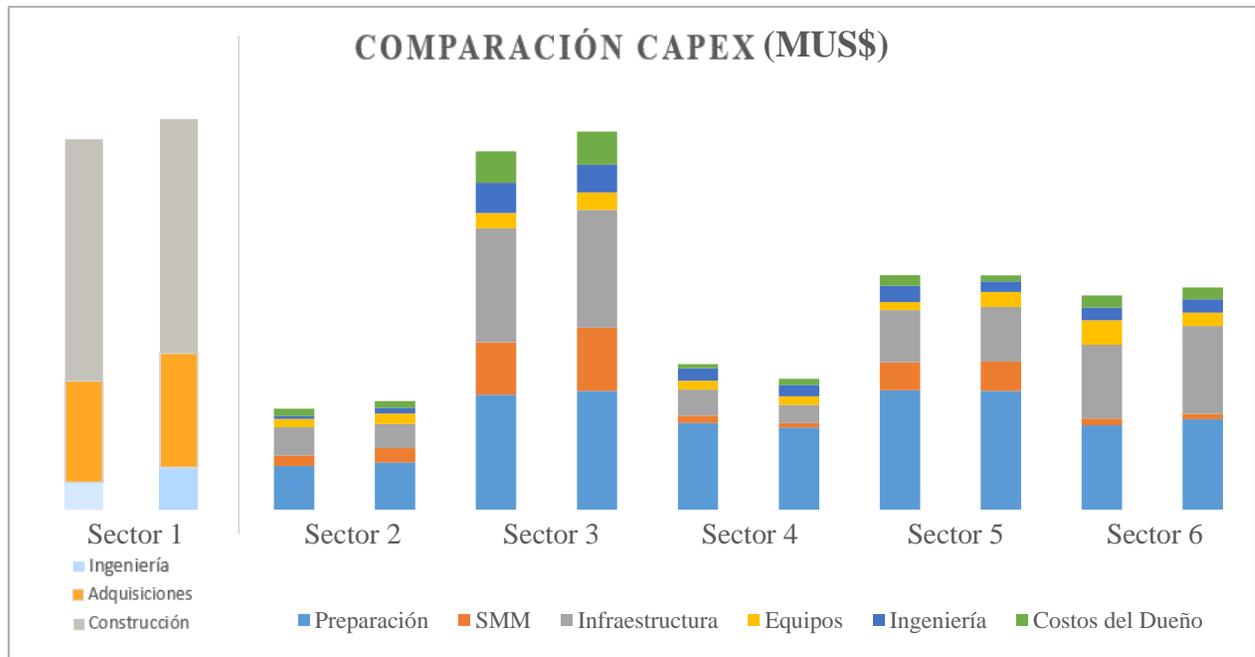


Gráfico 9: Comparación de costos de capital (CAPEX) proyectados vs reales con desglose por actividad. Elaboración propia en base a datos de la división.

Dado que el sector 1 corresponde a una zona muy antigua, no se tiene el detalle de los costos de capital al momento de desarrollar el API, por lo que el desglose para este sector se realiza de manera global.

Se aprecia que los mayores gastos están en los ítems de preparación e infraestructura, participando en promedio del 46% para el caso de la preparación y el 26% para el caso de la infraestructura, siendo en conjunto 72% del total de los costos. Sin embargo las mayores diferencias de estimación corresponde a los ítems de ingeniería y equipos, con diferencias promedio del 13% y 12 % respectivamente.

Con la información de costos de capital reales se obtienen los siguientes índices por sector.

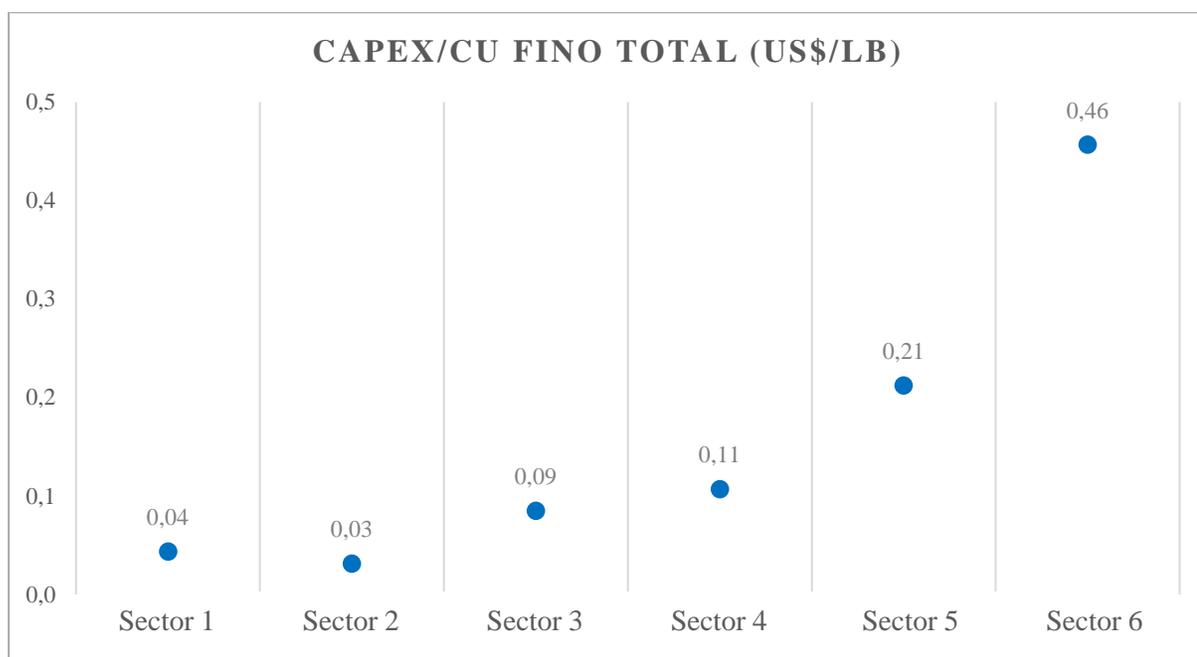


Gráfico 10: Índice costos de capital sobre cobre fino para los distintos sectores de la división El Teniente. Elaboración propia en base a datos de la división.

Existe un alza a través del tiempo en este índice, asociada a la baja de cobre fino por sectores la cual se traduce en una pérdida de eficiencia en la inversión, ya que se realizan los desarrollos de igual manera, que como se mencionó corresponden a uno de los aspectos más costosos, obteniendo menos cantidad de cobre por sector, es decir sus inversiones asociadas a el cobre a extraer son altas en comparación a un sector con más cobre. El sector 2 se presenta como el sector más eficiente considerando el costo de capital y fino que posee, como se señaló esto se logró gracias a la sinergia que hubo con el sector sub-6, que permitió grandes ahorros en los ítems más relevantes en los costos de capital, preparación e infraestructura.

5.4 Costos Operacionales

Según lo realizado, se presentan a continuación la comparación entre costos operacionales proyectados y los costos operacionales reales. Cabe destacar que los costos operacionales proyectados cuentan con su actualización respectiva según el IPC, en el caso de gastos en moneda nacional, y según IPM para gastos en moneda extranjera, las cuales se consideraron un 80% y 20% del costo total respectivamente.

En este apartado el análisis para los sectores 5 y 6 posee ciertas características especiales, ya que como estos sectores se encuentran en etapa de ramp-up, es decir su producción aún no se encuentra en régimen, y por ende tienen altos costos en un principio, se comparan con las estimaciones realizadas para esa misma etapa, en particular a la estimada para el año 2016.

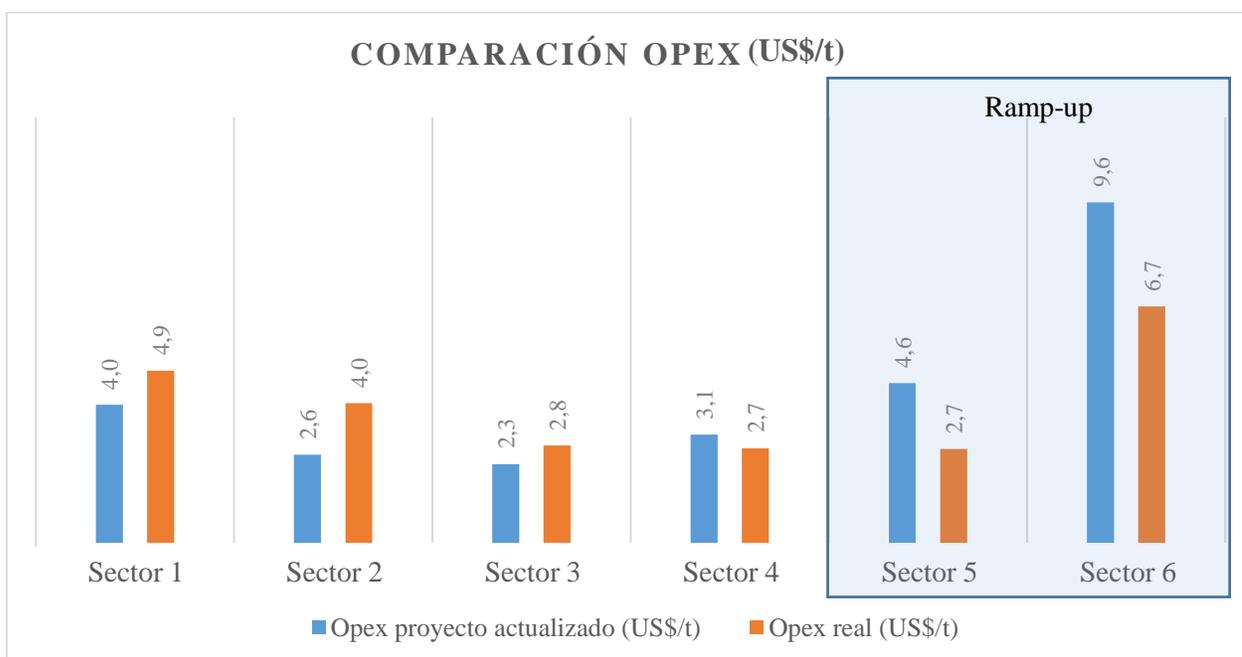


Gráfico 11: Comparación costos operacionales (OPEX) proyectados vs reales en distintos sectores de la división El Teniente. Elaboración propia en base a datos de la división.

Considerando esta comparación, se tienen las siguientes diferencias entre los valores proyectados de API y la operación.

Tabla 21: Diferencias de costos operacionales por sector de la división El Teniente

Sector	Diferencia Opex (US\$/t)	Diferencia Porcentual (%)
1	+1,0	+24 %
2	+1,4	+56 %
3	+0,5	+23 %
4	-0,4	-12 %
5	-1,8	-40 %
6	-2,9	-30 %

En base a los documentos SIC-P-004: “MINIMO ESTANDAR - ESTUDIO DE FACTIBILIDAD” y SIC-P-005: “BASE DE ESTIMACIÓN DE COSTOS DE CAPITAL Y OPERACIÓN”, se tiene que para los costos de operación la precisión para las estimaciones es de un rango entre ± 5 a 10 % de error.

Se aprecia que todos los sectores se encuentran fuera del rango de estimación, existiendo una gran variabilidad en los sectores en ramp-up los cuales tienen costos menores a los estimados. En el siguiente gráfico se presenta el desglose de los costos operacionales para los distintos sectores.

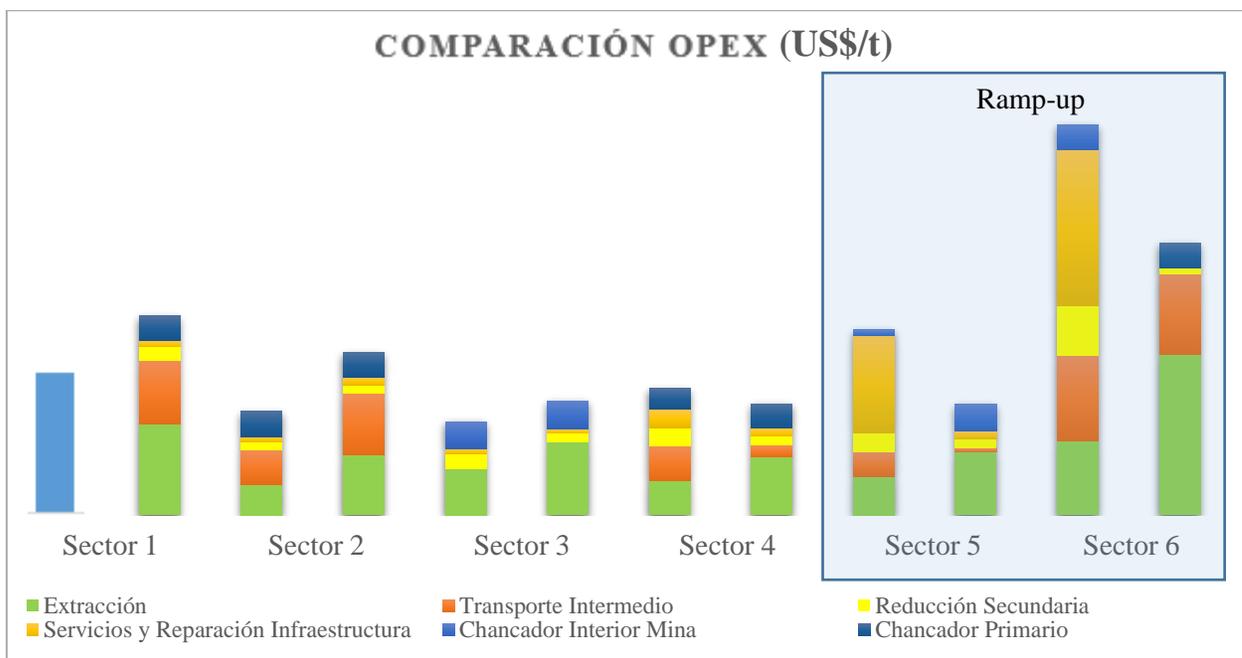


Gráfico 12: Comparación costos operacionales (OPEX) proyectados vs reales con desglose por actividad. Elaboración propia en base a datos de la división.

Dado que el sector 1 corresponde a una zona muy antigua, no se tiene el detalle de los costos operacionales al momento de desarrollar el API.

Se aprecia que los mayores gastos están en los ítems de extracción y transporte intermedio, siendo estos en promedio el 52% del total de costos operacionales para el caso de la extracción y un 23% para el transporte intermedio, dando un global de 75% del total de los costos. Todos los sectores presentan una sub-estimación en sus costos de extracción, en particular los sectores 2 y 3, los cuales se encuentran cercanos a su producción en régimen planificada, existe un error promedio del +76% en la estimación del costo de extracción. La mayor diferencia la presenta el sector 2, sector que como se mencionó presentó problemas en la productividad de los camiones en el nivel de transporte intermedio, debiendo aumentar su flota para cumplir con su régimen, aumentando los costos por este ítem. Para los sectores en ramp-up se tienen grandes diferencias en los costos asociados a servicios y reparación de infraestructura, esto debido a que el 2016 hubo una política de reducción de costos que generó la postergación principalmente de los gastos asociados a reparación. El sector 4 posee bajos costos de operación, observándose una diferencia en los costos de transporte intermedio que el 2016 fueron bajos, atribuido al no mayor uso de este nivel para la extracción del mineral del sector. El sector 6 presenta gran diferencia en sus costos de extracción generados por la falta de disponibilidad de camiones para cargar el mineral, situación que está siendo analizada actualmente.

5.5 Características de los sistemas de manejo de materiales

El siguiente diagrama presenta un resumen de los principales componentes del sistema de manejo de materiales para cada sector.

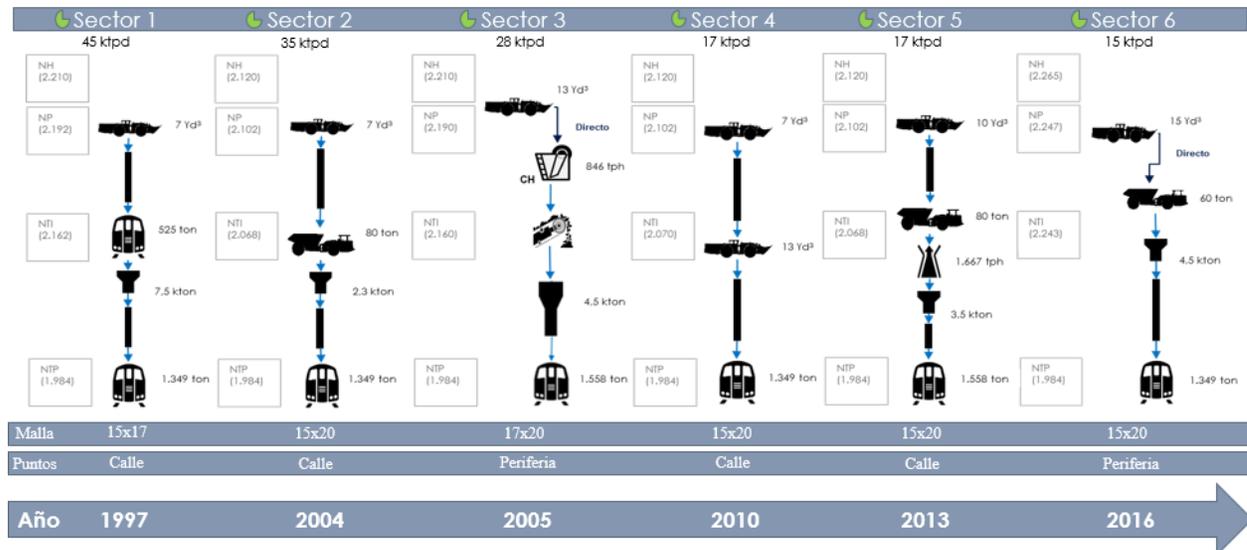


Figura 29: Diagrama de sistema de manejo de minerales de los distintos sectores de El Teniente. Elaboración propia en base a datos de la división.

En este diagrama se muestran los componentes del sistema de manejo de mineral de cada sector con sus capacidades asociadas, la malla que utiliza, la ubicación de los puntos en el nivel de producción y el año de inicio de operación.

Se aprecia la tendencia al uso de equipos LHD en el nivel de producción, que como se mencionó al inicio de este trabajo, es una tendencia a nivel global. Cabe destacar que, si bien el equipo es el mismo, a través de los años ha habido un aumento en las capacidades de los baldes de los equipos, pasando de LHD de 7 yd³ a LHD de 15 yd³ como lo es el caso de la fase 5 del sector 3 y 6. Esta tendencia no se da para el sector 4 ya que el sector por encontrarse en medio de dos grandes sectores (1 y 2) es una zona con altos esfuerzos, por lo que se decidió realizar galerías de menor sección y por lo tanto el uso de equipos más pequeños, aun con esta medida el sector ha presentado problemas geomecánicos que no han permitido llevarlo a régimen.

El uso de camiones en un nivel de transporte intermedio también es un aspecto a mencionar, la flexibilidad que otorgan estos, considerando que existen zonas de esfuerzos en el nivel de acarreo generados por la propagación del hundimiento, esfuerzos que pueden ocasionar colapsos interfiriendo con la operación, entrega a la alternativa de camiones gran valor en este nivel. A su vez, algunos sectores presentan potenciales aperturas hacia zonas con recursos a explotar posterior a su operación, por lo que el uso de camiones permite que frente a una expansión de ese tipo se realicen cambios en los circuitos de los mismos aprovechando su flexibilidad.

Los sectores que poseen chancador al interior de la mina, siendo estos los sectores 3 y 5, permite un aumento en las capacidades de los trenes del nivel de transporte principal. Esta alternativa está en gran medida asociada a los requisitos de mineral fino o grueso por parte de la planta de tratamiento, sin embargo por sí misma tiene ventajas en sus costos operacionales, los

cuales son menores comparado con los sectores que no poseen chancado. El uso de correas asociado a chancado se utiliza en zonas que poseen estabilidad geomecánica, ya que un posible problema en ellas afecta de manera directa la producción del sector.

Finalmente, el uso de trenes adquiere gran relevancia en condiciones de estabilidad geomecánica y para el traslado de grandes cantidades de mineral. Este sistema está asociado a grandes inversiones por el desarrollo de galerías que involucra, pero a su vez posee menos costos operacionales. El sector Esmeralda el cual posee gran área de extracción utiliza este sistema en su nivel de acarreo, también el nivel de transporte principal Teniente 8 posee esta característica, ya que debe trasladar el mineral de toda la mina.

6 Contexto del trabajo para nuevos sectores productivos

6.1 Resumen del capítulo

En este capítulo se presentan las características generales de los proyectos A y B, ambos pertenecientes al PDA de la división. Estas características se contextualizan con lo presentado en el benchmarking de los sectores analizados considerando los sectores en régimen y las proyecciones para los sectores en ramp-up. El proyecto A posee similitudes al sistema de manejo de materiales del sector 3, por realizar el carguío en periferia y las distancias de traslado de los equipos LHD. Por su parte el proyecto B se asemeja a el sector 2, ya que ambos poseen un nivel de acarreo con camiones que les otorga flexibilidad a su sistema, junto con distancias entre puntos de vaciado de 140 metros. Los costos de capital son una de las principales diferencias que existen entre los nuevos proyectos y los sectores en operación. Esto atribuido a un alza del mercado asociado a obras de preparación, como también por el aumento de los estándares de seguridad, sobre todo a mayor profundidad. Operacionalmente son proyectos competitivos, se encuentran con valores en sus costos de operación semejantes al resto de los sectores. Observando los índices presentados, los proyectos A y B logran una mayor eficiencia del capital que proyectos pasados de la división, generado por el aumento de las reservas.

6.2 Proyecto A

Con la información recopilada en base a presentaciones del PDA se presentan las siguientes características del sector.

El proyecto A se encuentra en la zona Nor-Oste del yacimiento. Se proyecta su inicio de operación para el año 2024. Sus reservas estimadas son de 114 millones de toneladas con una ley de cobre media de 0,87 %. Su producción en régimen se diseñó para generar 25.000 tpd según el PDA. En este sector se proyecta utilizar panel caving con hundimiento convencional y uso de pre-acondicionamiento, una malla de 17 x 20 metros y una distancia media de transporte de 70 metros. El proyecto A tiene las siguientes cotas para los niveles de hundimiento y producción,

Tabla 22: Niveles Proyecto A.

Nivel	Elevación (msnm)
Hundimiento	2.030
Producción	2.010

El sistema de manejo de materiales del sector comienza con la carga de mineral desde los puntos de extracción mediante equipos LHD de 13 yd³, estos una vez realizado el carguío, se dirigen a los puntos de vaciado para descargar el mineral a una tolva donde el luego se dirige de manera directa al ferrocarril del nivel de transporte principal Teniente 8. El diagrama de la figura 27 muestra el sistema de manejo de materiales del sector, el cual posee un área de 238.000 m² y una distancia máxima de transporte de los equipos LHD de 280 metros con puntos de vaciado en cabecera.

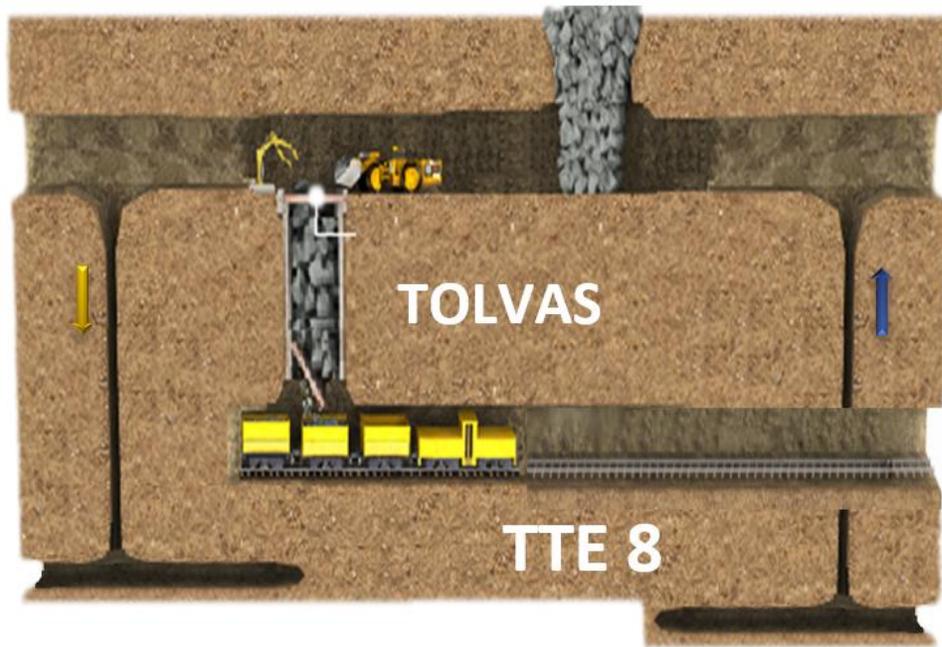


Figura 30: Diagrama sistema de manejo de materiales proyecto A.

Este sector actualmente en su etapa de pre-factibilidad proyecta un gasto de capital asociado de 482 MUS\$ y un costo operacional de 3,5 US\$/ton.

La siguiente figura presenta un plano del nivel de producción del sector.

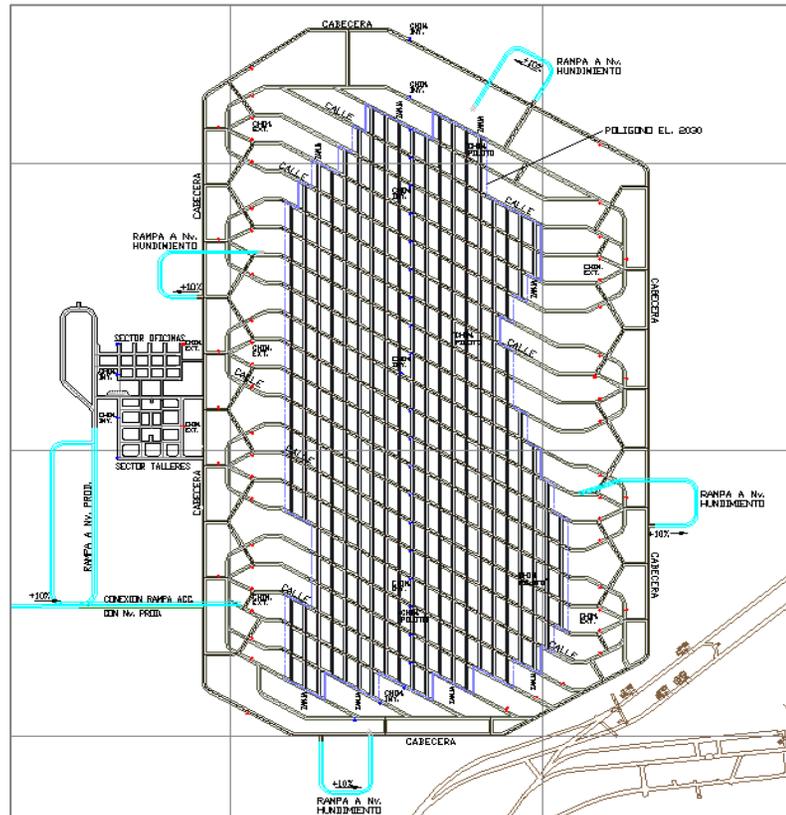


Figura 31: Plano nivel de producción proyecto A.

6.3 Proyecto B

Con la información recopilada en base a presentaciones del PDA se presentan las siguientes características del sector.

El proyecto B se encuentra en la zona Este del yacimiento. Se proyecta su inicio de operación para el año 2023. Sus reservas estimadas son de 122 millones de toneladas con una ley de cobre media de 1,01 %. Su producción en régimen se diseñó para generar 30.000 tpd según el PDA. En este sector se proyecta utilizar panel caving con hundimiento convencional y uso de pre-acondicionamiento, una malla de 15 x 20 metros y una distancia media de transporte de 65 metros en el nivel de producción. El proyecto B tiene las siguientes cotas para los niveles de hundimiento y producción,

Tabla 23: Niveles proyecto B.

Nivel	Elevación (msnm)
Hundimiento	2.060
Producción	2.040
Acarreo	2.000

El sistema de manejo de materiales del sector comienza con la carga de mineral desde los puntos de extracción mediante equipos LHD de 10 yd³, estos una vez realizado el carguío, se dirigen a los puntos de vaciado para descargar el mineral a los puntos de vaciados ubicados en calle, los cuales mediante parrillas y martillos picadores de roca se encargan del sobre-tamaño. Luego en el nivel de transporte intermedio camiones de 60 toneladas de capacidad llevan el mineral a una tolva de gruesos para posteriormente ser llenado al ferrocarril del nivel de transporte principal Teniente 8. El diagrama de la figura 28 muestra el sistema de manejo de materiales del sector, el cual tiene un área de 260.000 m² y distancia entre puntos de vaciado 140 metros ubicados en calle.

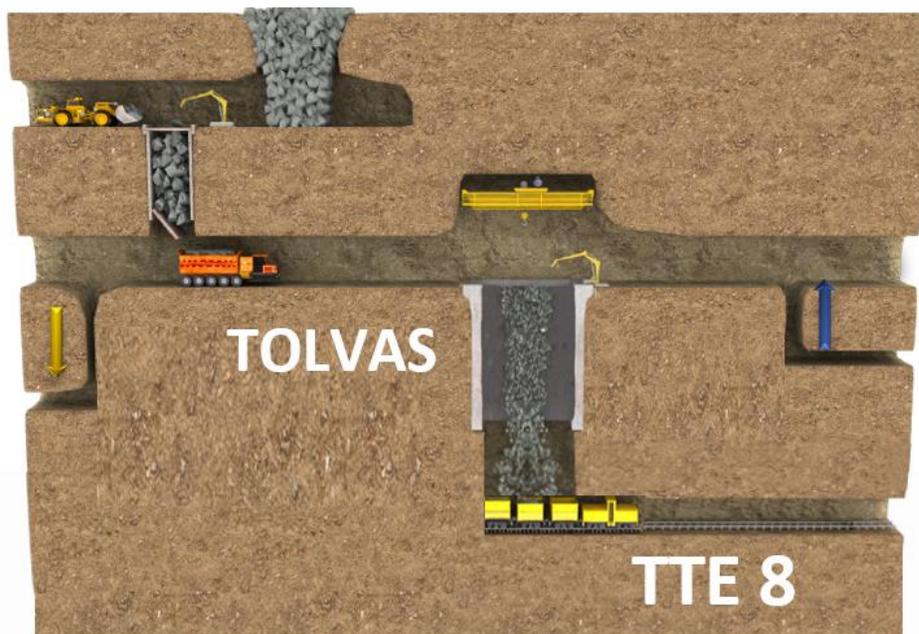


Figura 32: Diagrama sistema de manejo de materiales proyecto B.

Este sector actualmente en su etapa de pre-factibilidad proyecta un gasto de capital asociado de 578 MUS\$ y un costo operacional de 4,1 US\$/ton.

La siguiente figura presenta un plano del nivel de producción del sector.

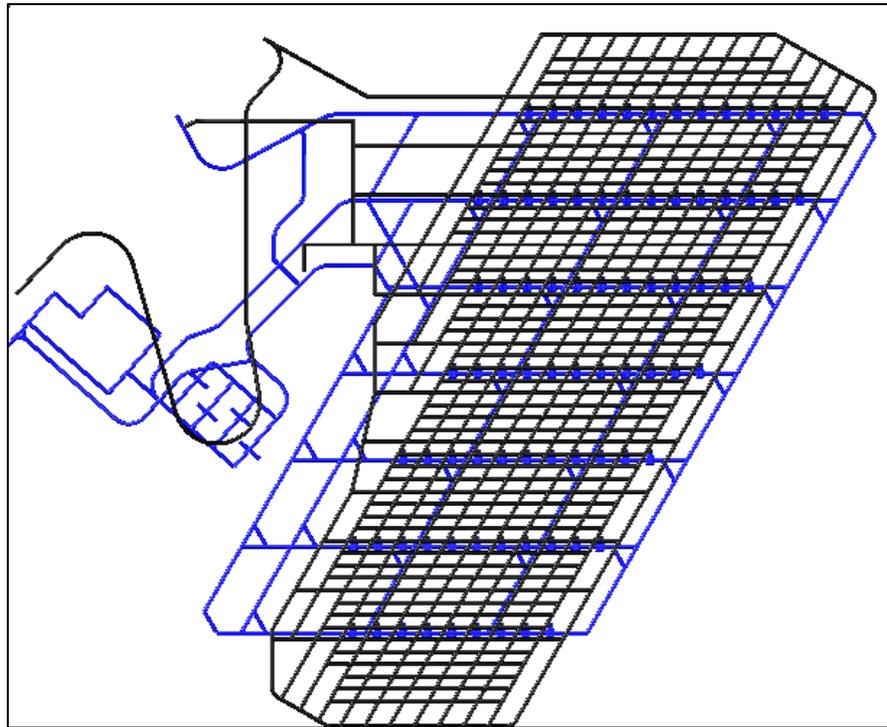


Figura 33: Plano nivel de producción y transporte intermedio proyecto B.

6.4 Análisis de los sistemas de manejo de materiales

Ambos proyectos poseen similitudes con sectores ya en operación, el proyecto A se asemeja al sector 3 por su producción en régimen, área del nivel de producción, puntos de vaciado en periferia y el tipo de malla. El proyecto B se asemeja a el sector 2 por su sistema de manejo de materiales con uso de camiones en el nivel de carreo, producción en régimen, puntos de vaciado en calle con distancia entre ellos de 140 metros y tipo de malla de extracción.

Una característica a señalar que presentan estos sectores corresponde a la variante de Panel Caving que es su variante convencional con pre-acondicionamiento. Si bien las otras variantes generan beneficios en el retorno de la inversión, junto con desplazar los esfuerzos no comprometiendo infraestructura. El uso de Panel Caving convencional permite tener flexibilidades en el desarrollo del hundimiento y producción al estar todo ya desarrollado, dando mayor grado de certidumbre al cumplimiento del plan de producción. En lo referente a los esfuerzos, el uso de pre-acondicionamiento ha dado buenos resultados, razón por la cual es la alternativa seleccionada.

A continuación, se realizan comparaciones entre los proyectos A y B con los sectores que se encuentran en régimen, exceptuando el sector 4 por sus complicaciones por estallidos de rocas. Para los sectores en ramp-up sector 5 y 6 se utilizan las proyecciones que se tienen al momento en que estén operando en régimen.

El siguiente gráfico compara los costos de capital entre sectores y los estimados para los proyectos A y B.

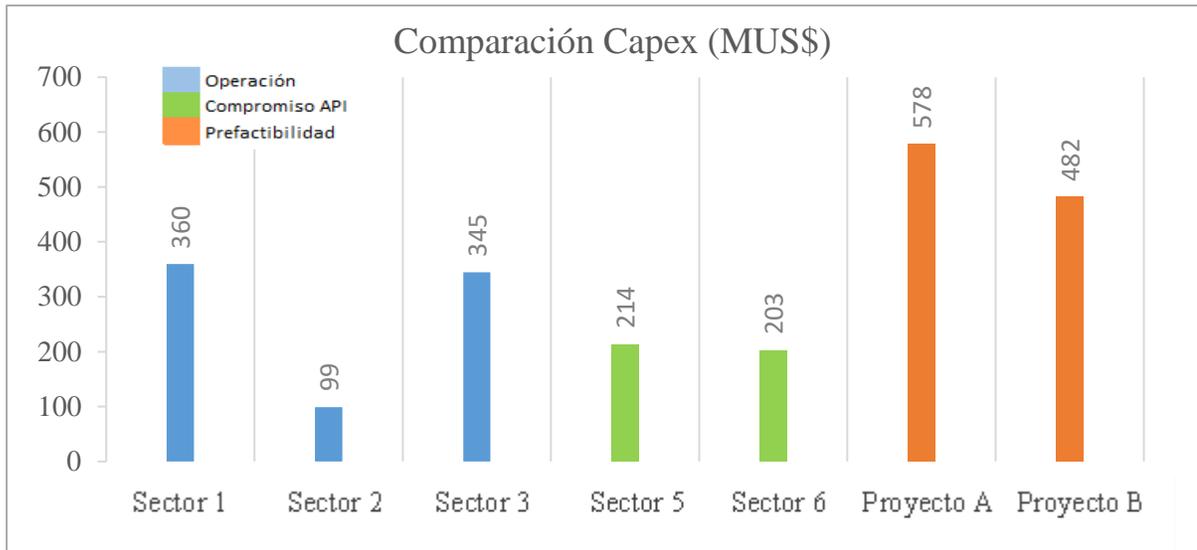


Gráfico 13: Comparación costos de capital entre sectores con proyectos PDA. Elaboración propia en base a datos de la división.

En el gráfico 13 se aprecia como los proyectos A y B poseen un costo de capital estimado superior al resto de los sectores. Se asocia principalmente a dos razones, una es la situación de mercado que con el pasar de los años ha generado costos en aumento producto del alza asociada al precio del cobre que existió hasta hace algunos años, generando así proyectos hoy en día más costosos que los existentes en el año 2000 para el caso del sector 2 y 3. Por otro lado, estos proyectos están en un contexto geomecánico más complejo, tanto a nivel de esfuerzos a mayor profundidad como por los estándares que se requieren hoy en día en la elaboración de galerías, los cuales requieren de un mayor nivel de fortificación y tiempos de espera.

El siguiente gráfico compara los costos operacionales entre sectores y los estimados para los proyectos A y B.

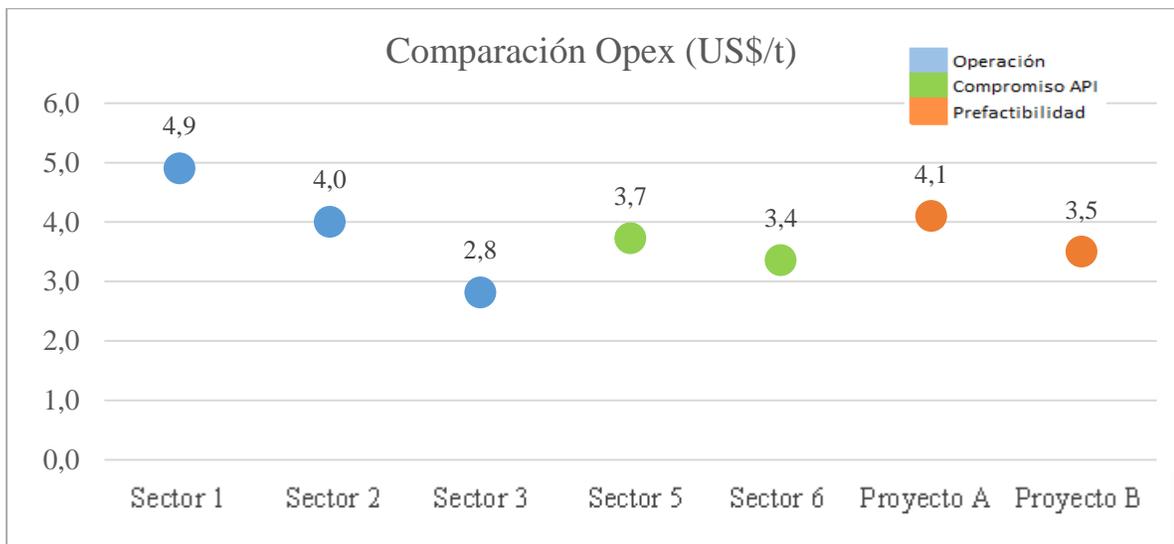


Gráfico 14: Comparación costos de operación entre sectores con proyectos PDA. Elaboración propia en base a datos de la división.

Respecto a los costos operacionales se aprecia la alta competitividad que presentan los proyectos A y B. B posee un costo de operación muy similar al sector 2, sector que, como se mencionó, tiene un sistema de manejo de materiales similar, siendo este flexible y expandible a otras zonas de ser requerido. Por su parte A al no contar con nivel de transporte intermedio reduce significativamente sus costos de operación, ya que como se vio anteriormente, este ítem involucra gran porción de los costos operacionales. El desglose en detalle respecto a los costos se encuentra en el capitulo de anexos.

El siguiente gráfico compara índices de capital según la producción por sector.

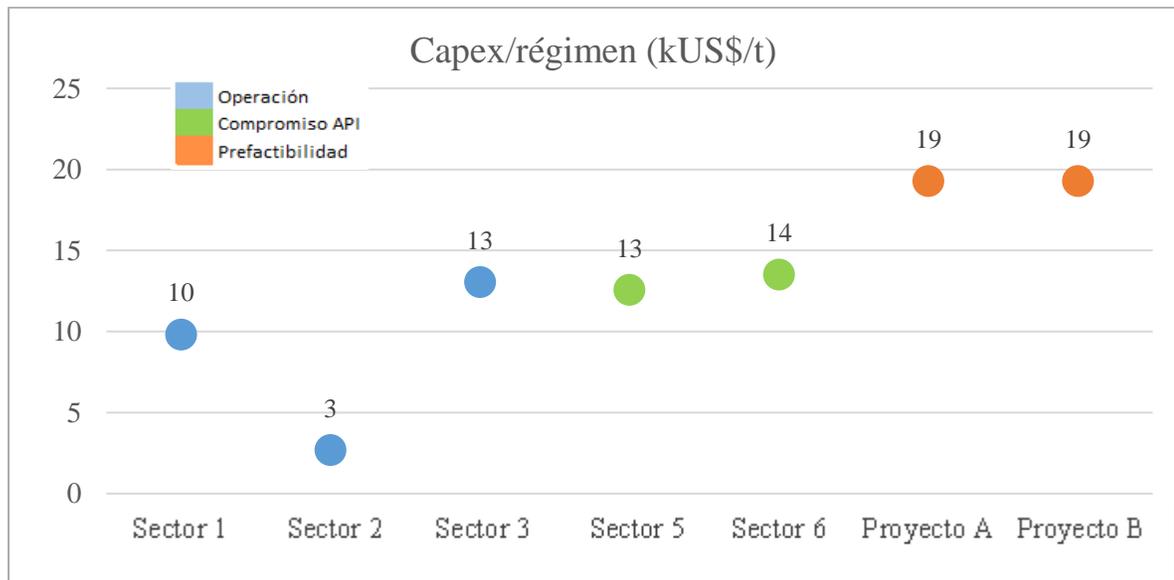


Gráfico 15: Comparación índice capex/régimen entre sectores con proyectos PDA. Elaboración propia en base a datos de la división.

Existe un alza en este índice que está directamente relacionado con el aumento de los costos de capital, sin embargo, ambos proyectos se encuentran en condiciones similares tomando en cuenta que poseen similar envergadura.

El siguiente gráfico compara índices de capital según las reservas por sector.

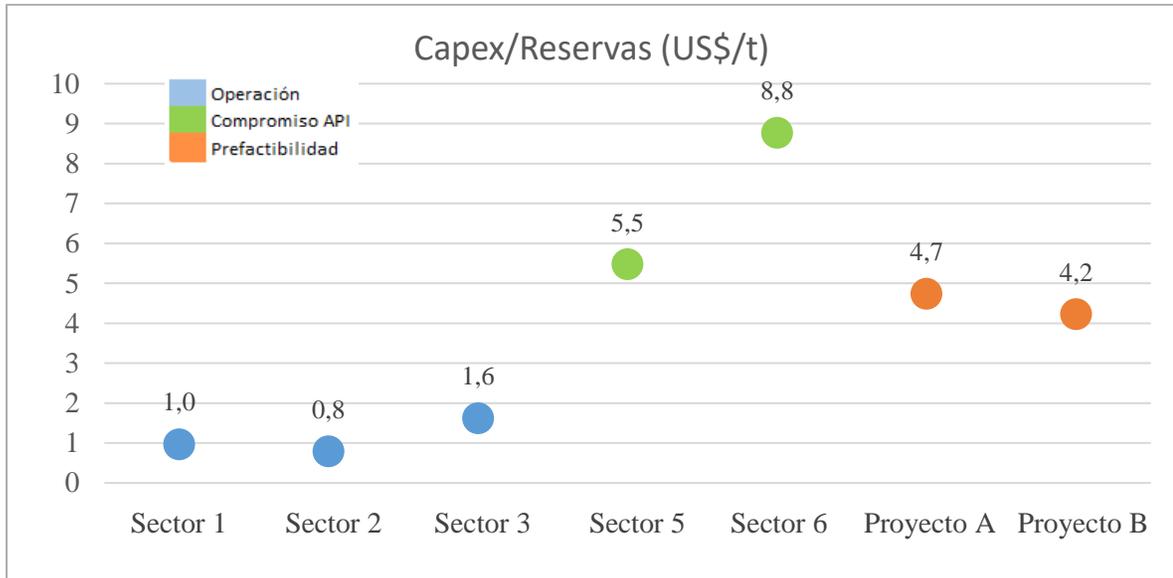


Gráfico 16: Comparación índice capex/reservas entre sectores con proyectos PDA. Elaboración propia en base a datos de la división.

En el gráfico 16 se aprecia una mejora por concepto de capital asociado a las reservas a extraer. Los últimos proyectos de la división han sido de menor envergadura, lo que, si bien significa menor inversión, también lleva consigo una pérdida de eficiencia de la misma. Los proyectos A y B vuelven a retomar un benéfico en este ámbito.

6.5 Análisis de riesgo de los proyectos

Utilizando lo realizado en este trabajo, se procede a distinguir los principales riesgos asociados a los proyectos A y B en términos de costos de manera cualitativa, con el objetivo de tenerlos presentes a través del desarrollo del proyecto, que como se mencionó actualmente se encuentran en etapa de pre-factibilidad.

Para el costo de capital los aspectos a analizar son:

- Preparación
- Sistema de manejo de materiales
- Infraestructura
- Equipos
- Ingeniería
- Costos del Dueño

Y para los costos de operación se analizan los ítems:

- Extracción

- Transporte intermedio
- Reducción secundaria
- Servicios y reparación de infraestructura
- Chancado

Se define probabilidad y consecuencia de cada uno de estos aspectos en el proyecto. Según lo anterior se utiliza la siguiente matriz de riesgos.

Tabla 24: Matriz de Riesgo (PMBOK® Guide, 2013)

Probabilidad		Impacto				
		Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto
		0.05	0.1	0.2	0.4	0.8
Muy baja	0.1	0.01	0.01	0.02	0.04	0.08
Baja	0.3	0.02	0.03	0.06	0.12	0.24
Media	0.5	0.03	0.05	0.1	0.2	0.4
Alta	0.7	0.04	0.07	0.14	0.28	0.56
Muy Alta	0.9	0.05	0.09	0.18	0.36	0.72

Tabla 25: Valoración del Riesgo

Riesgo	
	Bajo
	Medio
	Alto

Las probabilidades asignadas para los proyectos fue en base operaciones que poseen sistemas de manejo de materiales similares según las diferencias obtenidas entre los planteado en el API y los costes reales de la operación realizado en este trabajo. Para el proyecto A el sector con similares características corresponde al sector 3 y para B el sector 2. Las diferencias porcentuales de los sectores 2 y 3 se encuentra en el Anexo D junto con la tabla de asignación de probabilidad.

Las consecuencias asignadas son en base al porcentaje que abarca el ítem dentro del costo global de Capex y Opex según el caso. El detalle de los porcentajes se encuentra en la sección Anexos A y B, para los costos de capital y operacionales respectivamente, y su asignación de consecuencia según la tabla de “Definición de Impacto” presentada en el Anexo D.

Tabla 26: Riesgo costos de capital proyectos A y B.

Capex	Proyecto A			Proyecto B		
	Probabilidad	Consecuencia	Riesgo	Probabilidad	Consecuencia	Riesgo
Preparación	0.1	0.4	0.04	0.1	0.8	0.08
Sistema de manejo de materiales	0.3	0.2	0.06	0.3	0.1	0.03
Infraestructura	0.1	0.4	0.04	0.1	0.4	0.04
Equipos	0.1	0.05	0.005	0.3	0.05	0.015
Ingeniería	0.1	0.1	0.01	0.7	0.1	0.07
Costos del Dueño	0.1	0.1	0.01	0.1	0.1	0.01

Tabla 27: Riesgo costos de operación proyectos A y B.

Opex	Proyecto A			Proyecto B		
	Probabilidad	Consecuencia	Riesgo	Probabilidad	Consecuencia	Riesgo
Extracción	0.5	0.8	0.4	0.9	0.4	0.36
Transporte intermedio	-	-	-	0.7	0.8	0.56
Reducción secundaria	0.5	0.1	0.05	0.1	0.1	0.01
Servicios y reparación de infraestructura	0.3	0.2	0.06	0.5	0.05	0.025
Chancado	0.1	0.2	0.02	0.1	0.2	0.02

Con los resultados obtenidos se aprecia como el capital posee bajo nivel de riesgo para todos sus ítems en ambos proyectos, existiendo un riesgo moderado para el ítem de preparación e ingeniería en el proyecto B, relacionado a la alta consecuencia por preparación y la alta probabilidad de error de estimación en ingeniería basada en el sector Recursos Norte, sin embargo, siguen estando en la gama baja de los riesgos moderados.

Observando el costo operacional ambos proyectos poseen un riesgo alto en los costos asociados a extracción. Siendo para el proyecto B muy alta su probabilidad de ocurrencia con una consecuencia moderada, y para el proyecto A una probabilidad media con consecuencias altas, ya que gran parte del costo de operación está asociado a ese ítem. A su vez, el proyecto B presenta un alto costo asociado al nivel de transporte intermedio debido a la probabilidad y consecuencias altas.

Luego, se sugiere poner atención a los aspectos mostrados como riesgosos en su estimación, entrando en detalle en los aspectos que conllevan la elaboración de los mismos y de esta manera realizar estimaciones más precisas. En este trabajo se han señalado algunas causas que generan complicaciones operacionales, siendo unas de las principales los estallidos de rocas, colapsos, no cumplimiento de disponibilidades en los equipos y retrasos constructivos que comprometen producción.

7 Conclusiones

Siendo el sistema de manejo de materiales un aspecto clave a considerar en el desarrollo de los proyectos mineros. Tener claras sus características, tanto económicas como técnicas, permite generar enfoques en los aspectos más relevantes de los mismos. A su vez, contar con la información de proyectos pasados y su desempeño, otorga una mirada integral sobre el proceso de ejecución de los proyectos, tomando este conocimiento para realizar mejoras futuras en la realización de proyectos en la compañía, comprendiendo los procesos involucrados.

Los sistemas de manejo de materiales están en el marco del plan de producción de la división (PND), esto asociado a la solicitud de fino y grueso por parte de la planta, la que está en directa relación con el ferrocarril del nivel de transporte principal Teniente 8, que es el primer lineamiento a considerar para su desarrollo, ya que en base a este se define el uso de chancador al interior de la mina, considerando toda la infraestructura involucrada.

Los mayores costos de capital se dan en los ítems de preparación (46%) e infraestructura (26%), sin embargo, las mayores diferencias se encuentran en los ítems de ingeniería y equipos, siendo estos superiores a los estimados en un 13% y 12 % respectivamente. Considerando lo anterior, frente a la posibilidad de realizar reducciones, se deben privilegiar en preparación e infraestructura, ya que genera grandes impactos, ejemplo de esto es el proyecto A el cual no posee nivel de transporte intermedio en su diseño, y por lo tanto, reduce sus costes de capital significativamente. Luego, adquiere importancia tener en cuenta posibles mejoras a estos aspectos en todas las etapas de desarrollo de los proyectos, algunas de estas son mejoras en las prácticas constructivas que permitan optimizar rendimientos de constructibilidad, como también considerar sinergias que permitan reducir obras de preparación e infraestructura.

Como se mencionó, realizar sinergias entre sectores tiene impactos en el costo de capital, ejemplo de esto es el sector 2, el cual con el uso de infraestructura y desarrollos del sector Sub-6 redujo en gran medida sus costos. De manera similar las fases del sector 3 se apoyaron entre ellas a medida que se activaban reduciendo costos de capital. Por otro lado, sinergias con otros sectores puede permitir redistribuir la producción a piques cercanos frente a eventos que comprometan la producción, otorgando mayor flexibilidad al negocio.

Los mayores costos operacionales se dan en los ítems de extracción y transporte intermedio, en extracción todos los sectores presentaron costos superiores a los estimados, participando en promedio del 49% del total, lo anterior considerando los sectores 1, 2 y 3, sectores que se encuentran en régimen o cercanos. El transporte intermedio corresponde en promedio al 35% del total de costos de operación, tomando en cuenta los sectores 1 y 2. Se tiene un error promedio del +80% respecto a la estimación de extracción como global de los sectores, en particular para los sectores que están en régimen o cercanos, este error corresponde al +76%. El transporte intermedio presenta un error del +79% para el sector 2. Luego, se aprecia una sub-estimación en los costos, existiendo alta variabilidad en los sectores en ramp-up, encontrándose la mayor diferencia en los costos de servicios y reparación, atribuido a que en el año 2016 se redujeron estos, lo cual iba en línea con la política de reducción de costos de la división, sin embargo, se ha de esperar que aumenten en los siguientes años. Considerando lo descrito se plantea un foco de atención en los ítems señalados en la realización de las estimaciones y así reducir el nivel de variabilidad que presentan, principalmente en los costos de extracción y transporte intermedio, esto en contexto con

las dificultades operacionales que se generan, siendo las principales, problemas por estallidos de roca y/o colapsos que afectan la planificación y por ende las estimaciones, un ejemplo es el aumento de distancias a recorrer por los equipos LHD frente al cierre de una calle.

Existe la tendencia a aumentar la capacidad de los equipos LHD, con el objetivo de que los sectores sean más productivos, esto en estrecha relación con las distancias de traslado de los equipos, que al poseer mayor capacidad pueden recorrer mayores distancias compensando productividad por su aumento de capacidad, lo que reduce los costos de capital asociados a preparación por concepto de puntos de extracción, esto a su vez, puede generar la construcción de galerías más grandes, aspecto a tener en cuenta en relación a la geomecánica del sector, junto con los costos por desarrollo de galerías con mayor sección.

Durante la operación la mayoría de los sectores ha presentado colapsos y estallidos de roca, por lo que la flexibilidad del sistema adquiere importancia, en particular en el nivel de transporte intermedio, el cual es afectado por los esfuerzos de sus niveles superiores. Lo anterior se aprecia en el uso de camiones frente a otras tecnologías como trenes que operacionalmente son más baratas. Sin embargo, en condiciones de estabilidad geomecánica el tren adquiere alta competitividad, un ejemplo de esto es el tren usado en el nivel de transporte principal teniente 8, que al encontrarse varios metros debajo de la zona de esfuerzos es una gran alternativa. El usar también trenes está asociado a altas capacidades de producción en áreas extensas, como lo es el sector 1.

Tomando en cuenta las variantes de Panel Caving, los proyectos A y B consideran utilizar la variante de hundimiento convencional con pre- acondicionamiento, esto debido a que ha presentado buenos resultados en la reducción de complejidades geomecánicas por estallidos y colapsos. A su vez otorga mayor flexibilidad, ya que sus desarrollos de calles y zanjas se encuentran terminados, permitiendo una redistribución en la apertura de los puntos de extracción si la producción lo requiere, siempre tomando en cuenta los impactos que esto pueda ocasionar (variación del plan, distancias de acarreo, regularidad del frente, entre otras). Es importante señalar que las otras variantes poseen ventajas económicas ya que permiten aplazar la inversión, aspecto a tener en cuenta al momento de evaluar las alternativas.

Los proyectos A y B presentan costos de capital más altos a los de similares características (Sectores 2 y 3) esto asociado al aumento de los estándares en la elaboración de galerías, sobre todo a mayor condición de esfuerzos, sin embargo, el alza está en gran parte asociada al cambio de criterio respecto a la frontera que cubre el costo de capital. En proyectos pasados, los costos de capital terminaban con la apertura de la primera batea, sin embargo, para los proyectos A y B esta frontera corresponde a la apertura de 20 bateas, lo cual genera un alza en los costos producto del aumento de área a preparar. El índice de capital sobre producción muestra la tendencia al alza que existe a través del tiempo. Aun considerando esto, los proyectos A y B presentan índices competitivos en el costo de capital según las reservas en comparación a los últimos proyectos realizados por la división, siendo más eficientes en el uso de su capital al ser proyectos de mayor envergadura.

Observando los costos operacionales de los proyectos PDA, se aprecia que son proyectos competitivos, estando en el rango de costos del resto de los sectores. En particular al ser comparados con proyectos similares como el sector 3 para el caso de A dada las similitudes en la ubicación de los puntos de vaciado, distancias y producción en régimen. El sector 2 se puede

comparar con B, ambos tienen un sistema con nivel de transporte intermedio con camiones y ubicación de puntos de vaciado en calles. El proyecto A permite ahorrar costos dada la eliminación de su nivel de transporte intermedio, que como se señaló, corresponde a un ítem relevante en la porción total de los costos de capital y operacionales. B otorga flexibilidad al sistema al usar camiones en su nivel de transporte intermedio junto con poseer potencial de expansión si el PND lo requiere. Según el análisis de riesgo se sugiere poner atención a los costos de operación asociados a extracción para ambos proyectos y transporte intermedio para el proyecto B, ya que poseen un riesgo alto al usar como base los sectores similares señalados, de tal manera que se mejore la precisión de las estimaciones de costos y rentabilidad.

Finalmente, generar benchmarking es un proceso de aprendizaje que entrega la oportunidad de rediseñar ciertos procesos con el fin de obtener un cambio ventajoso, poniendo foco en los aspectos claves a mejorar y destacando las áreas que entregan beneficios respecto a otras, de tal manera de mejorar continuamente.

8 Recomendaciones

Considerando el trabajo realizado en esta memoria, se recomienda complementar el estudio realizado con aspectos geomecánicos asociados a cada sector abarcado, de tal manera de comprender la gran relevancia que juega está en la selección del sistema de manejo de materiales.

El trabajo plantea los sistemas que actualmente existen y las opciones de los nuevos proyectos, por lo que se propone, en base a lo presentado aquí, generar nuevas propuestas de sistemas de manejo de materiales con el uso de nuevas tecnologías que puedan optimizar los presentados en este trabajo, ya sea mediante la adaptación o cambio de los sistemas existentes, desarrollando así proyectos más competitivos.

Se señalaron los principales aspectos que poseen mayor impacto y con mayores errores de estimación en los costos de capital y operacionales, quedando abiertos a una mirada más detallada en ellos, la cual permita realizar mejoras a los actuales procesos. Estos ítems corresponden a preparación e infraestructura a nivel de costos de capital, y extracción y nivel de transporte intermedio en los costos de operación.

Se sugiere realizar un análisis similar en un contexto en donde los sectores 5 y 6 se encuentren en régimen, y así complementar lo abarcado en este trabajo, observando el comportamiento de estos en relación a lo que se planificó.

El análisis de riesgo realizado está enfocado en costos, pudiendo ser profundizado en los aspectos de alcances, tiempo y calidad. También se sugiere realizar un análisis cuantitativo que permita profundizar los riesgos del proyecto.

9 Bibliografía

1. Álvarez, Eduardo R. 2009. Metodología de diseño de puntos de extracción para método de panel caving en sectores emplazados en roca primaria, mina El Teniente. Chile, Facultad de Ingeniería, Universidad Santiago de Chile.
2. Brannon, C Carlson, G & Casten, T 2011, Block Caving. En: Darling, P SME Mining Engineering Handbook. 3th.
3. Brown E.T., 2003. Block Caving Geomechanics, second edition. JKMRM The University of Queensland.
4. Camp, Robert C. 1993. Benchmarking: La búsqueda de las mejores prácticas de la industria que conducen a un desempeño excelente, Editorial Panorama, México, D. F.
5. Cavieres, Patricio. 1999. Evolución de los Métodos de Explotación en la Mina El Teniente. Gestión de la Innovación Tecnológica, Programa de Especialización en Innovación Tecnológica. Geomecánica y Geotecnia Aplicada a la Minería
6. Cavieres, Patricio. 2014. Clases tópicos de panel caving. Santiago : Universidad de Santiago de Chile. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería en Minas. Nota Interna.
7. Cruz, Ignacio. 2016. OPEX GMIN, División El Teniente, Codelco 2016.
8. Documentos API de los distintos sectores abarcados, División El Teniente, Codelco 2016.
9. Documentos de post-evaluación (PEC): sector 1 (2010), sector 4 (2015), sector 3 - Fase 3 (2015), sector 3 - Fase 4 (2016). DET, Codelco.
10. Kim, Chang Ja. 2009. Diseño y evaluación técnico económica de un nuevo sistema de carguío y transporte para la minería de hundimiento. Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.
11. Project Management Institute. 2013. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) – Fifth Edition. Newtown Square, PMI.
12. Rico, Rubén R. 1997. Benchmarking: Estratégico y Táctico.
13. Rubio, Enrique. 2006. Cátedra de Diplomado en Minería: Design and Planning of Block Caving Operations. Departamento de Ingeniería de Minas, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.
14. Valdés, Rodrigo. 2009. Análisis con y sin forzamiento del crecimiento del sector Oeste de mina Esmeralda. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.

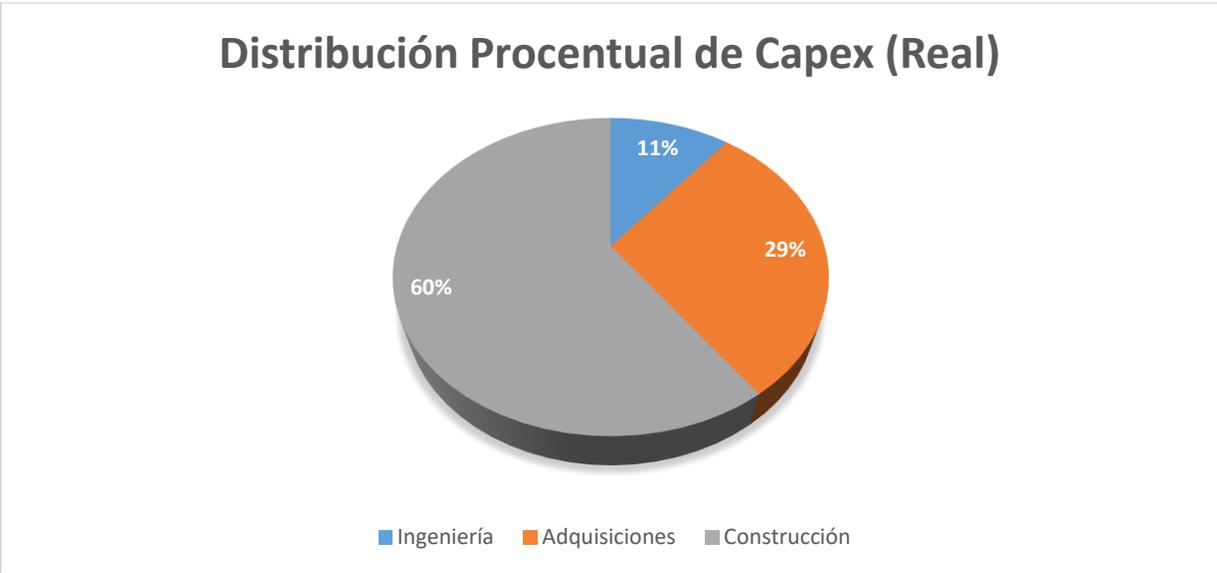
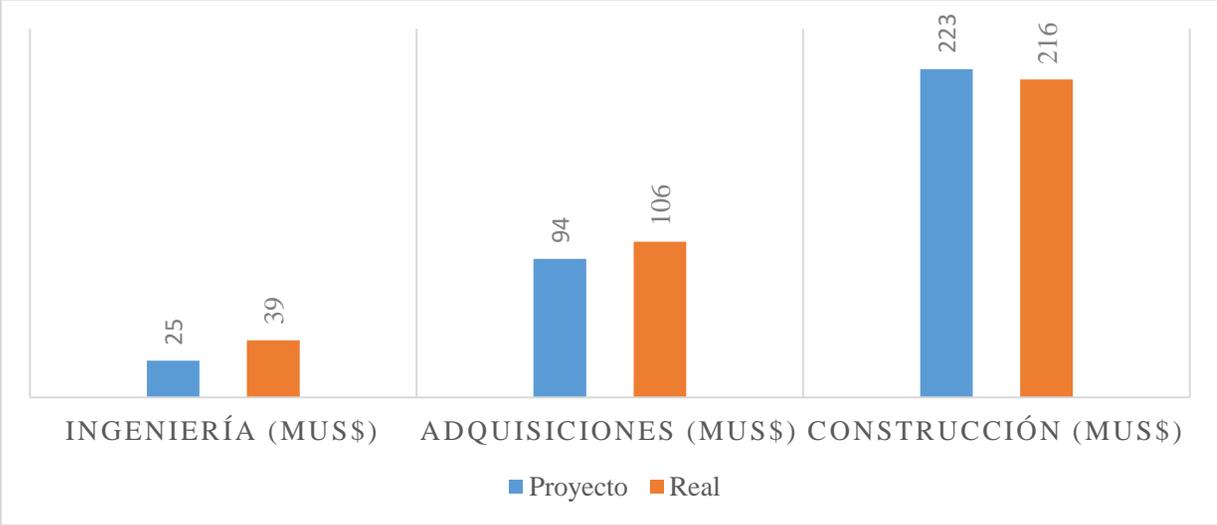
10 Anexos

10.1 Anexo A: Costos de Capital

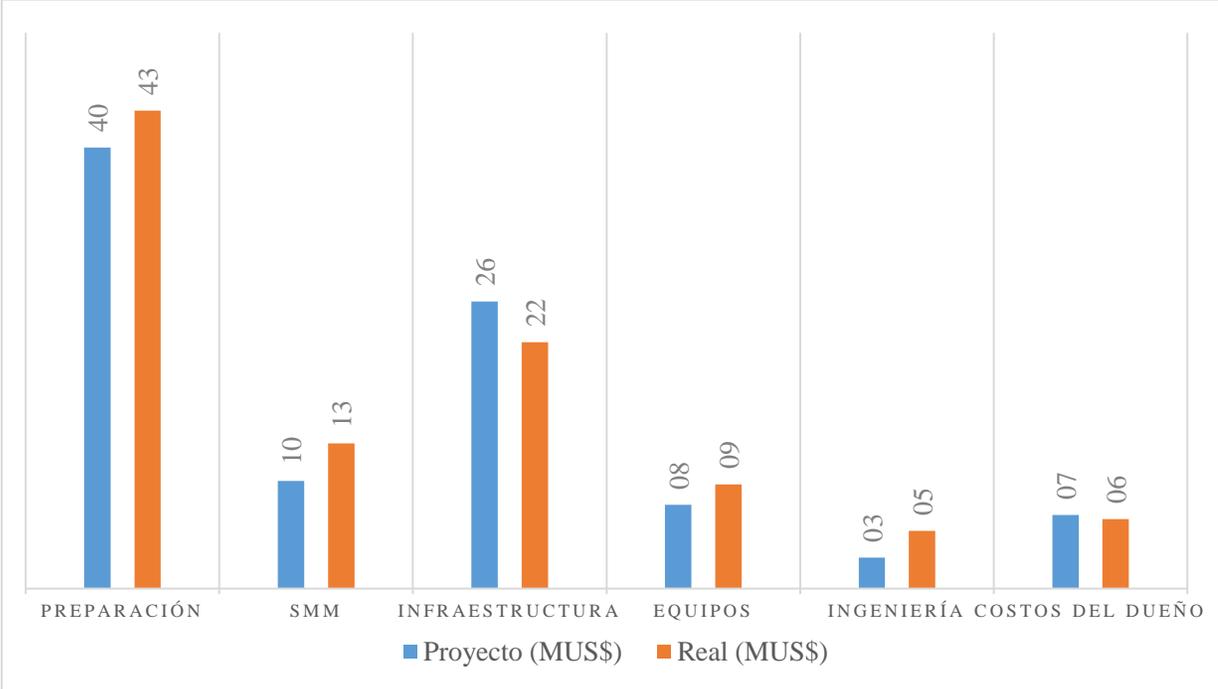
En este anexo se presentan los costos de capital por sector.

Sector	Inversión (M\$US)	Año Base	MC (\$)	TC real (\$)	IPC base	IPC real	IPM base	IPM real	FactorNac	FactorExtr	%capex nac	%capex ex	Capex nac	Capex ext	Capex actualizado (MUSS)
Sector 1 Proyecto	261.7	1999	502	714	64.5	113.8	127.0	197.9	1.24	1.56	80%	20%	209.3	52.3	341.3
Sector 1 Real	274.7	1999	502	714	64.5	113.8	124.8	197.9	1.24	1.59	80%	20%	219.8	54.9	359.8
Sector 2 Proyecto	69.8	1999	502	714	64.5	113.8	124.8	197.9	1.24	1.59	77%	23%	53.8	16.0	92.1
Sector 2 Real	585	2005	585	714	75.9	113.8	147.1	197.9	1.23	1.35	80%	20%	63.3	15.8	99.0
Sector 3 Proyecto	340.2	2000	540	714	66.8	113.8	129.2	197.9	1.29	1.53	80%	20%	235.7	58.9	326.8
Sector 3 Real	129.8	2000	540	714	66.8	113.8	129.2	197.9	1.29	1.53	80%	20%	67.3	16.8	112.5
F1 SAP	540	2006	540	714	78.6	113.8	154.4	197.9	1.10	1.28	80%	20%	95.5	23.9	135.2
F2 SAP	19.3	2005	585	714	75.9	113.8	147.1	197.9	1.23	1.35	85%	20%	16.4	3.9	25.3
F3 SAP	688	2009	688	714	95.0	113.8	193.5	197.9	1.10	1.02	80%	20%	20.1	5.0	27.4
Fase 3	62.6	2009	688	714	95.0	113.8	193.5	197.9	1.10	1.02	89%	11%	55.7	6.9	68.5
F3 SAP	472	2012	472	714	97.6	113.8	204.4	197.9	0.77	0.97	89%	11%	72.9	9.0	64.9
Fase 4	67.7	2010	560	714	92.8	113.8	182.6	197.9	0.96	1.08	80%	20%	54.2	13.5	66.8
F4 SAP	522	2014	522	714	102.7	113.8	207.9	197.9	0.81	0.95	80%	20%	62.3	15.6	65.3
Fase 5	60.8	2014	585	714	107.4	113.8	209.8	197.9	0.87	0.94	80%	20%	48.7	12.2	53.7
F5 SAP	714	2016	714	714	113.8	113.8	197.9	197.9	1.00	1.00	80%	20%	41.7	10.4	52.1
Sector 4 Proyecto	129.9	2008	532	714	85.2	113.8	175.9	197.9	0.99	1.13	80%	20%	103.9	26.0	132.6
Sector 4 Real	500	2011	500	714	95.3	113.8	187.8	197.9	0.84	1.05	80%	20%	108.5	27.1	119.3
Sector 5 Proyecto	302.1	2012	472	714	97.6	113.8	204.4	197.9	0.77	0.97	89%	11%	241.2	28.9	213.9
Sector 5 Real	714	2016	714	714	113.8	113.8	197.9	197.9	1.00	1.00	89%	11%	190.7	22.8	213.5
Sector 6 Proyecto	239.5												0.0	0.0	195.3
Sector 6 Real	190.6	2013	496	714	100.9	113.8	206.9	197.9	0.78	0.96	90%	10%	172.0	18.6	152.6
F1 SAP	714	2016	714	714	113.8	113.8	197.9	197.9	1.00	1.00	90%	10%	142.8	15.5	158.3
F2	48.8	2015	585	714	107.4	113.8	209.8	197.9	0.87	0.94	92%	8%	45.1	3.7	42.7
F2 Sup	714	2016	714	714	113.8	113.8	197.9	197.9	1.00	1.00	92%	8%	41.0	3.4	44.4

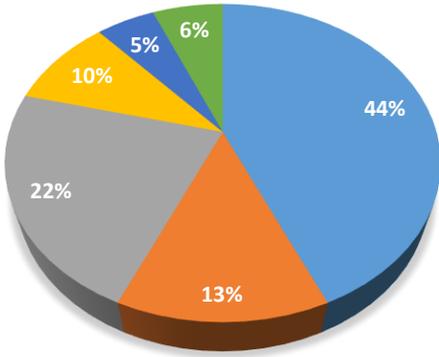
Sector 1



Sector 2

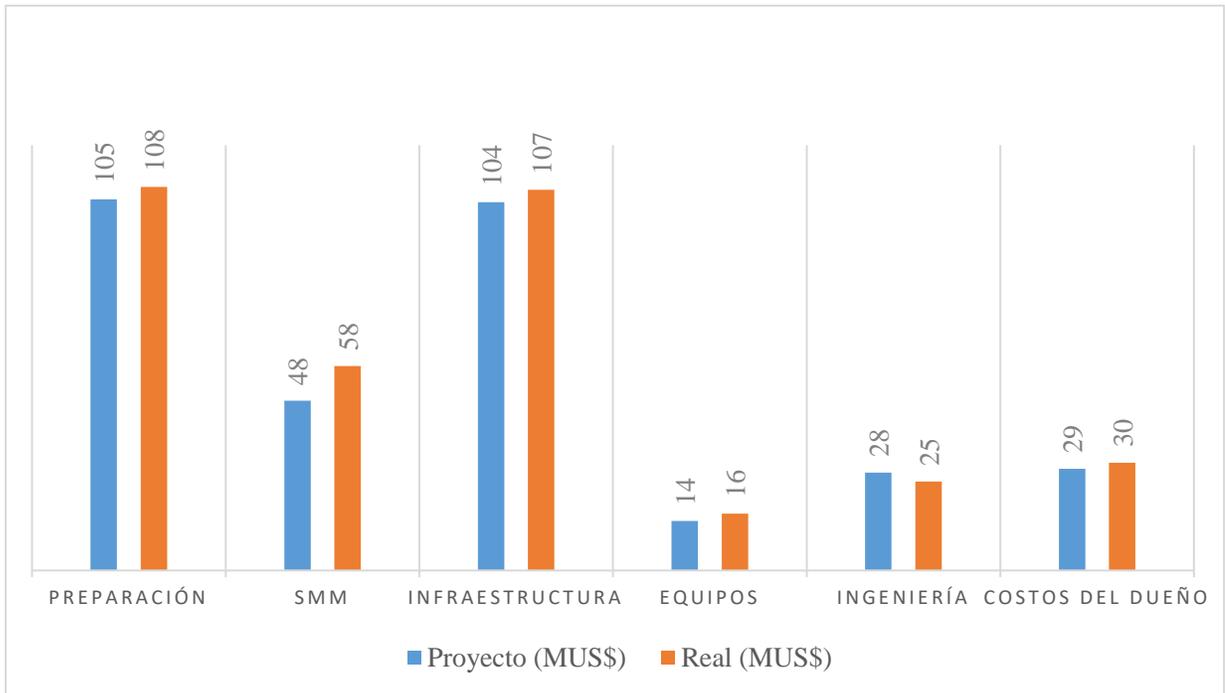


Distribución Procentual de Capex (Real)

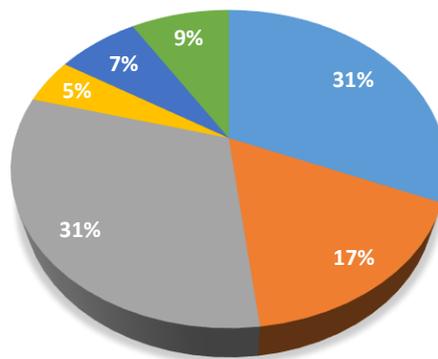


■ Preparación ■ SMM ■ Infraestructura ■ Equipos ■ Ingeniería ■ Costos del Dueño

Sector 3

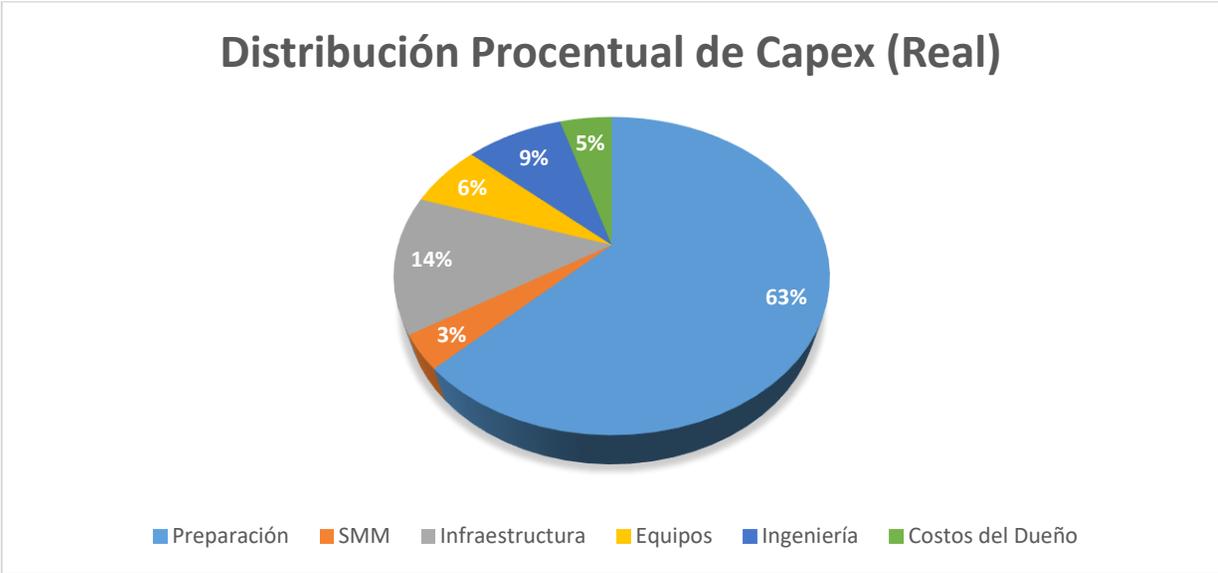
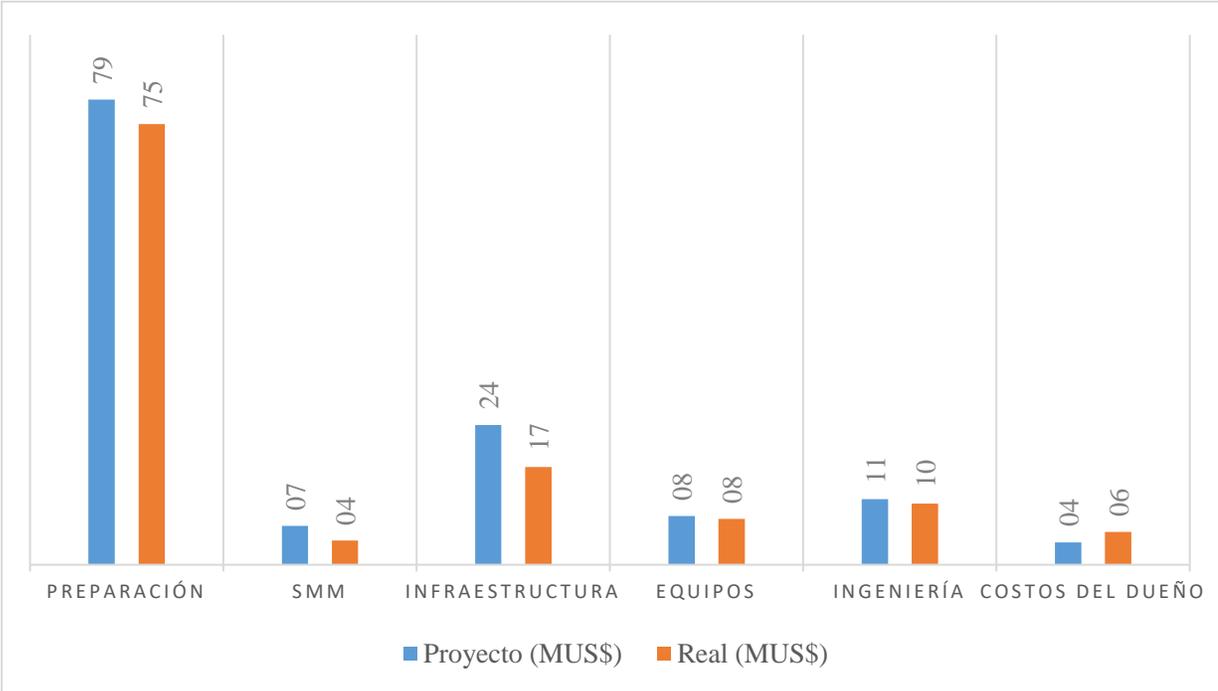


Distribución Procentual de Capex (Real)

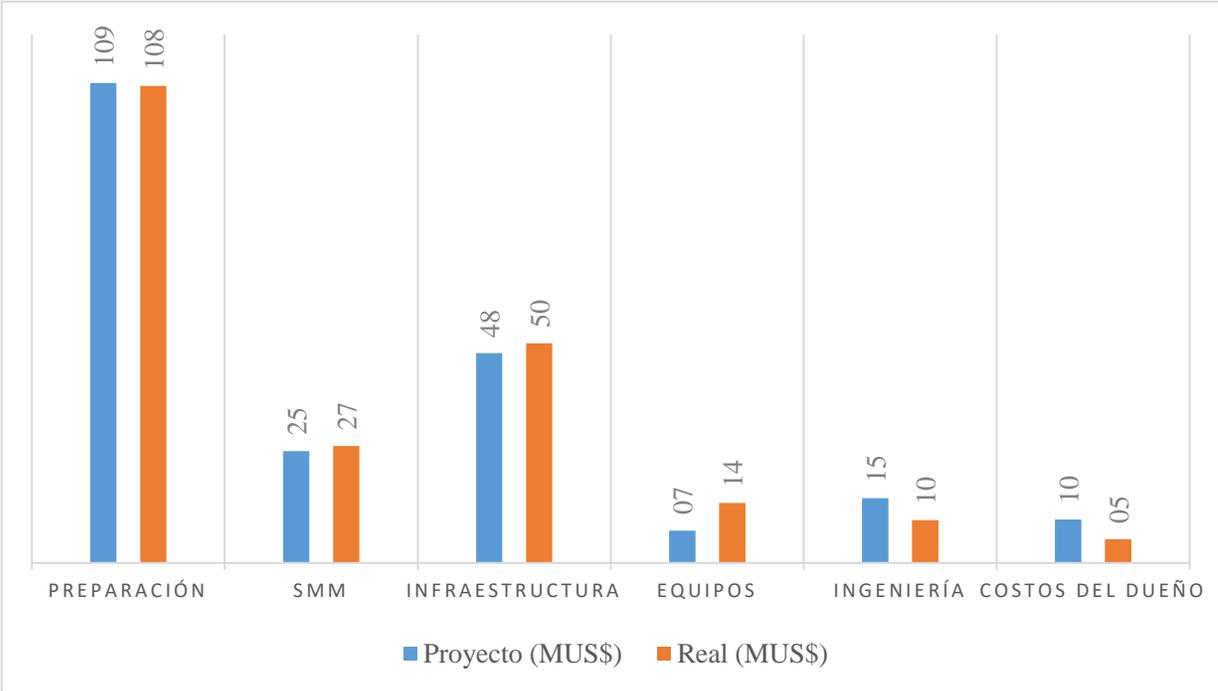


■ Preparación ■ SMM ■ Infraestructura ■ Equipos ■ Ingeniería ■ Costos del Dueño

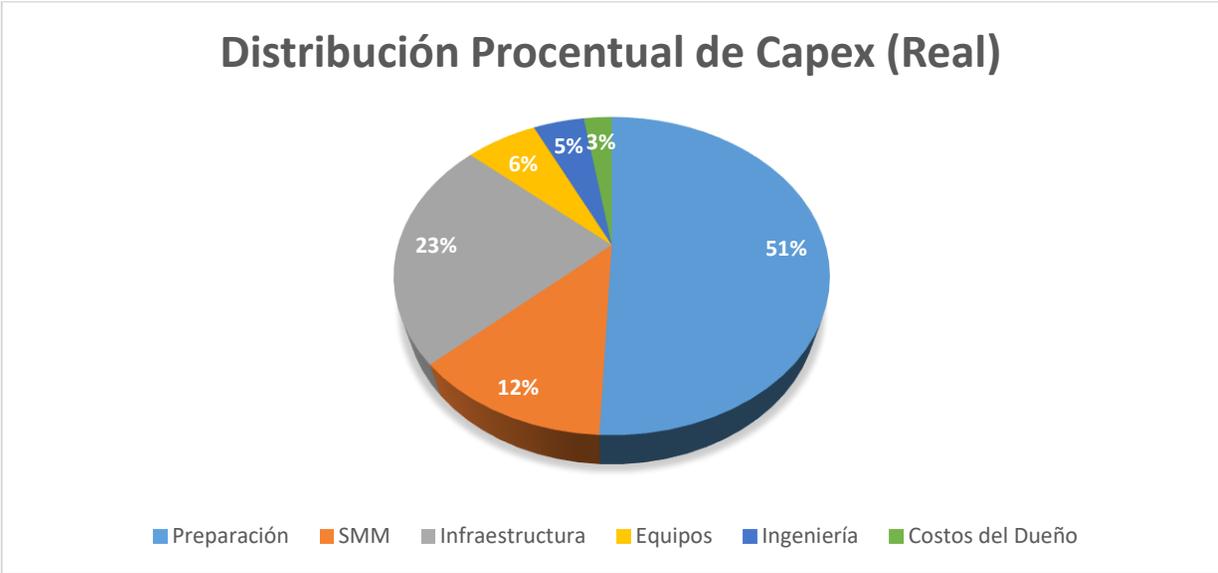
Sector 4



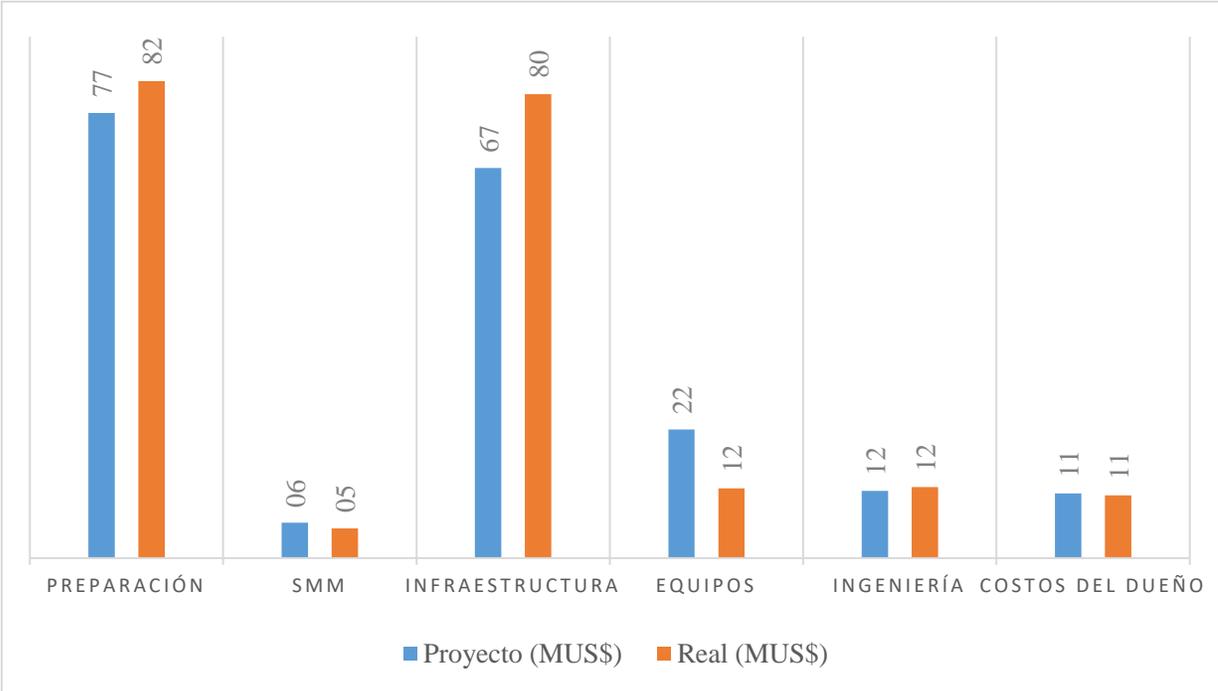
Sector 5



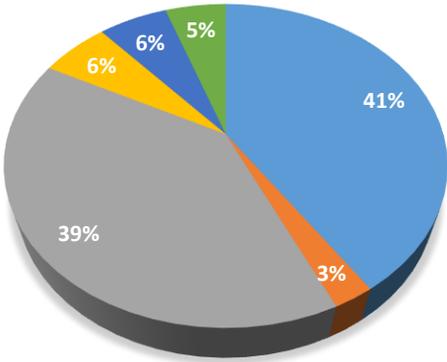
Distribución Procentual de Capex (Real)



Sector 6

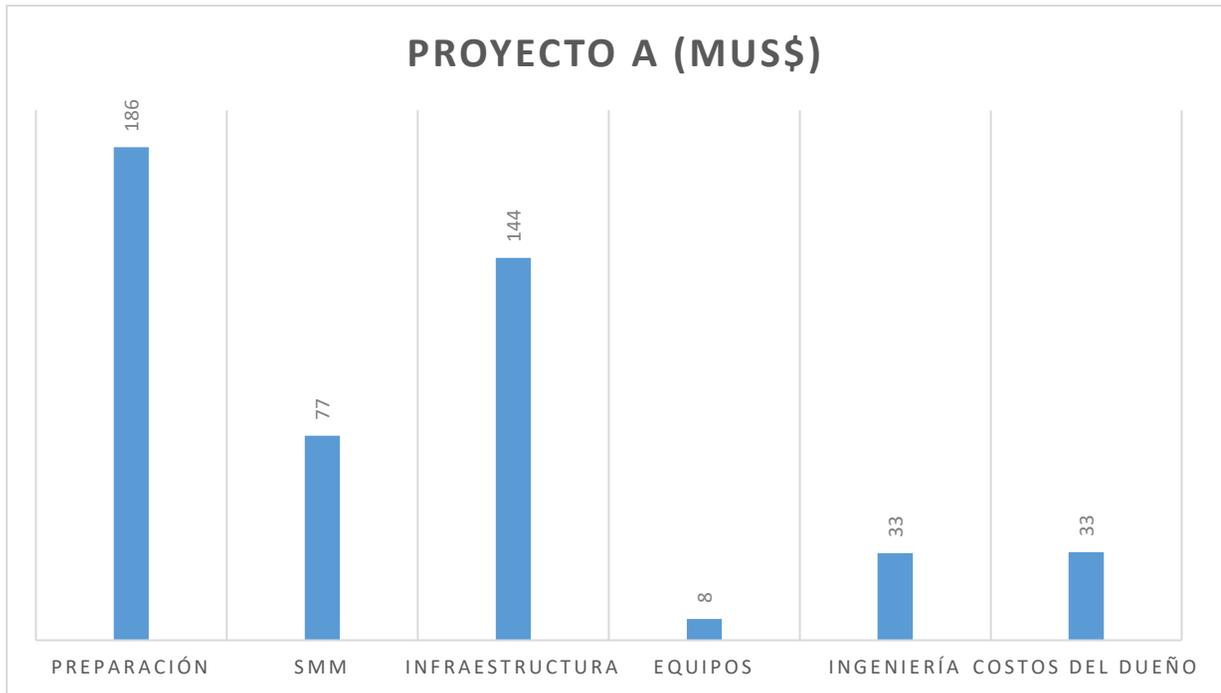


Distribución Procentual de Capex (Real)

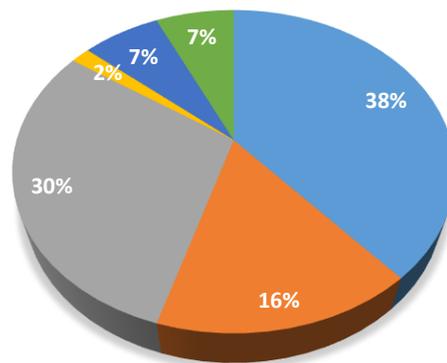


■ Preparación ■ SMM ■ Infraestructura ■ Equipos ■ Ingeniería ■ Costos del Dueño

Proyecto A

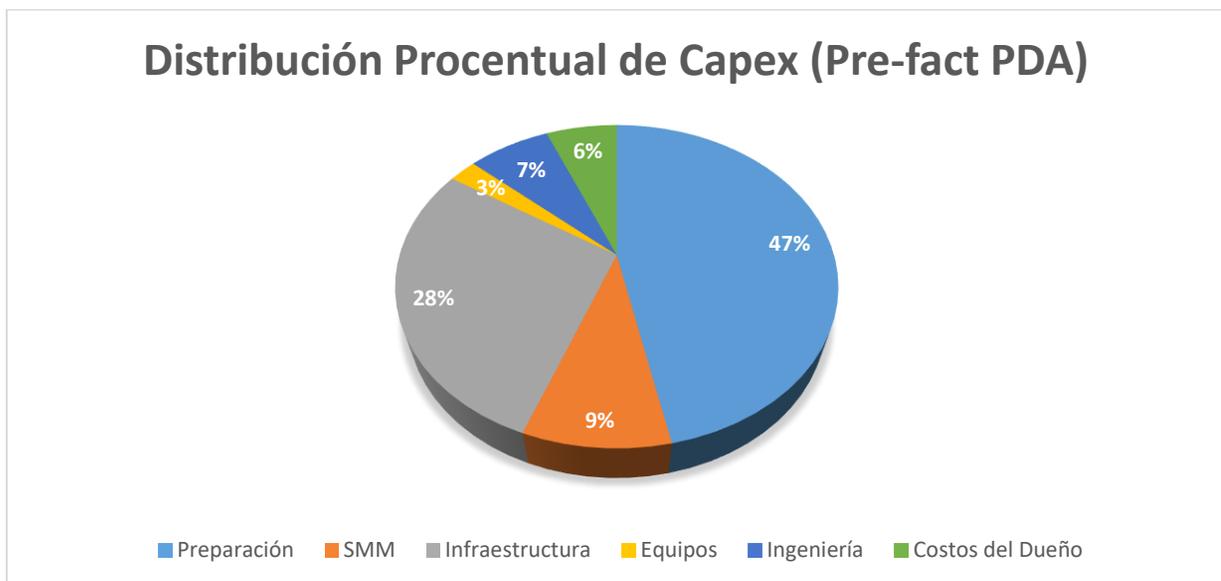
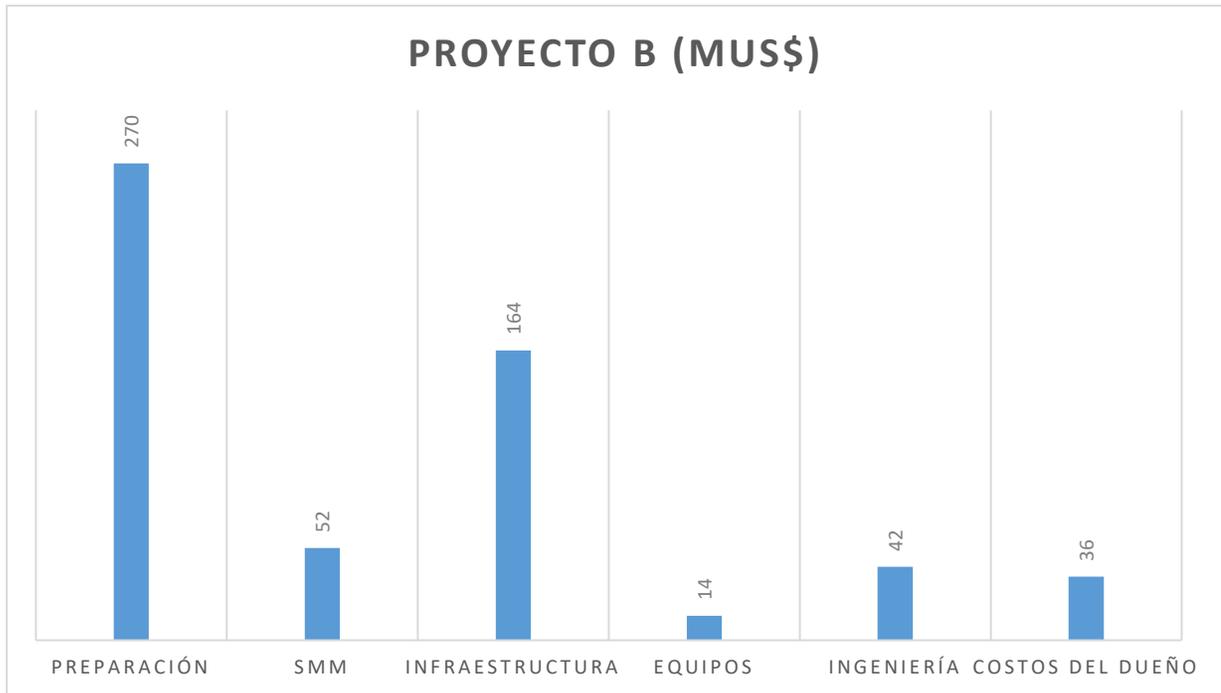


Distribución Procentual de Capex (Pre-fact PDA)



■ Preparación ■ SMM ■ Infraestructura ■ Equipos ■ Ingeniería ■ Costos del Dueño

Proyecto B

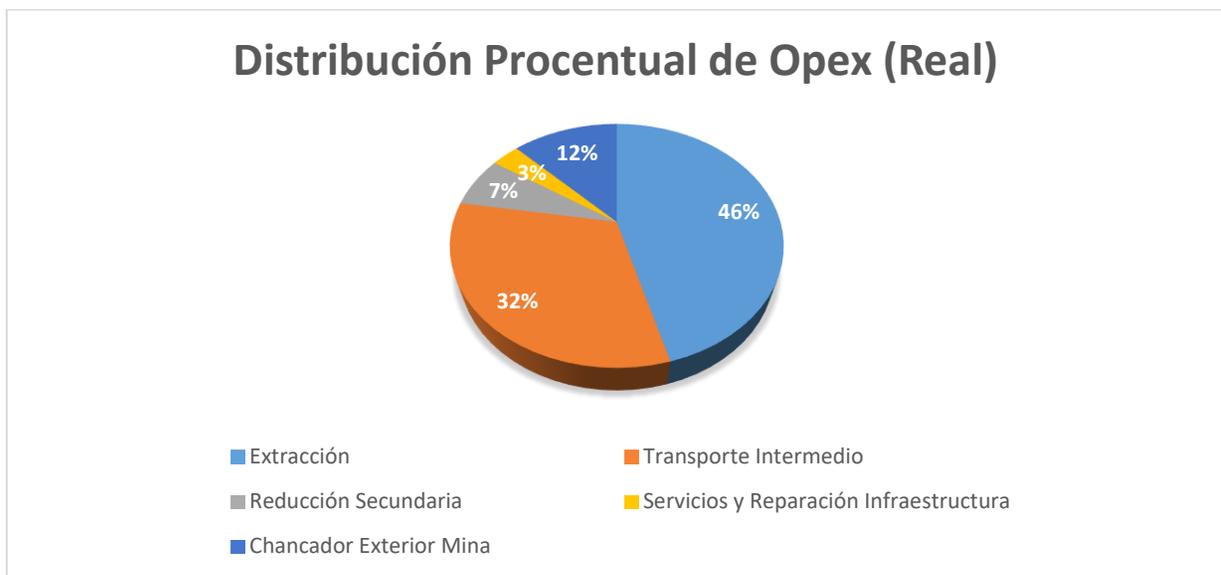
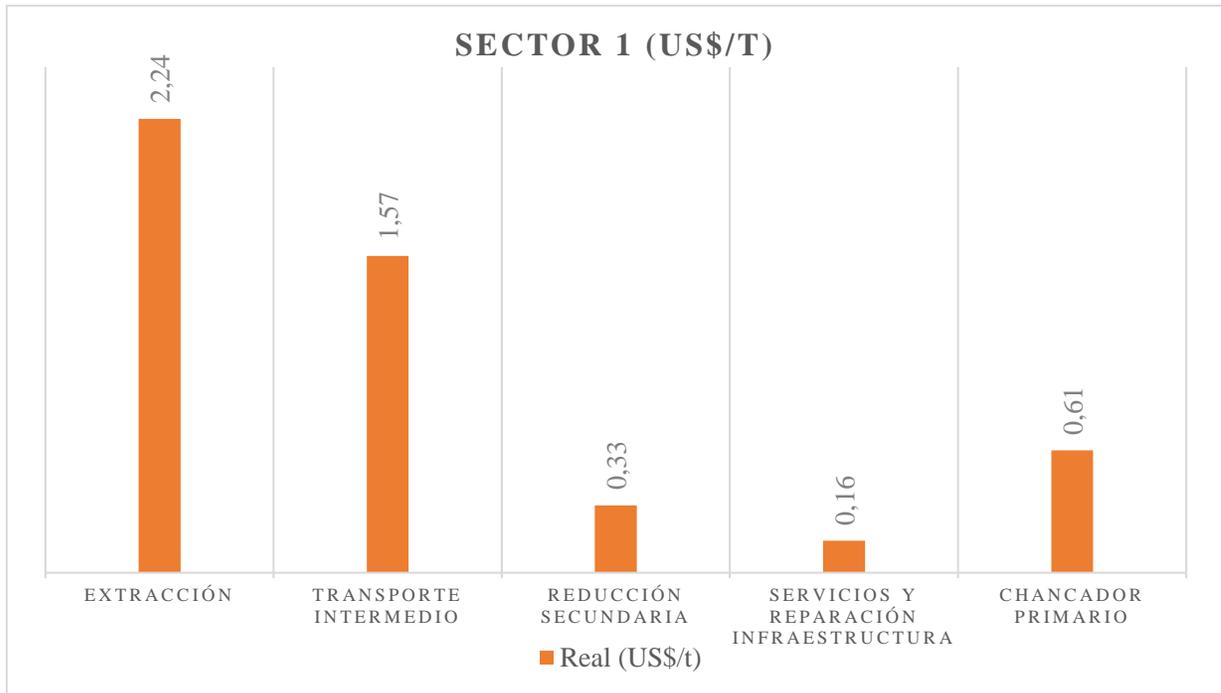


10.2 Anexo B: Costos de operación

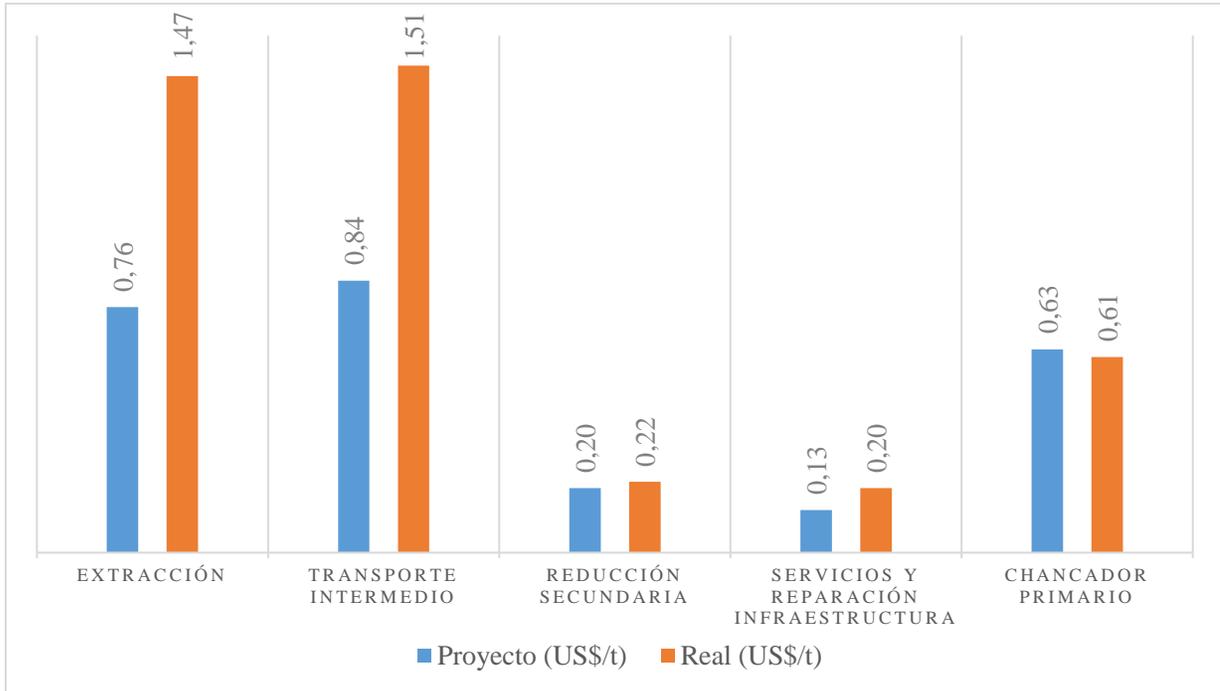
En este anexo se presenta el detalle de los costos de operación por sector.

	Sector 1		Sector 2		Sector 3		Sector 4		Sector 5		Sector 6	
	Proyecto	Real										
Extracción	-	2.24	0.76	1.47	1.13	1.79	0.86	1.44	0.96	1.55	1.82	3.95
Transporte Intermedio	-	1.57	0.84	1.51	-	0.00	0.85	0.28	0.59	0.09	2.11	1.99
Reducción Secundaria	-	0.33	0.20	0.22	0.38	0.23	0.45	0.22	0.49	0.22	1.22	0.15
Servicios y Reparación Infraestructura	-	0.16	0.13	0.20	0.13	0.10	0.45	0.20	2.38	0.20	3.85	0.00
Chancador Interior Mina	-	0.00	-	-	0.66	0.71	-	-	0.15	0.66	0.62	-
Chancador Primario	-	0.61	0.63	0.61	-	-	0.52	0.61	-	-	-	0.61
Total	5.49	4.91	2.56	4.01	2.30	2.82	3.12	2.74	4.56	2.73	9.62	6.71

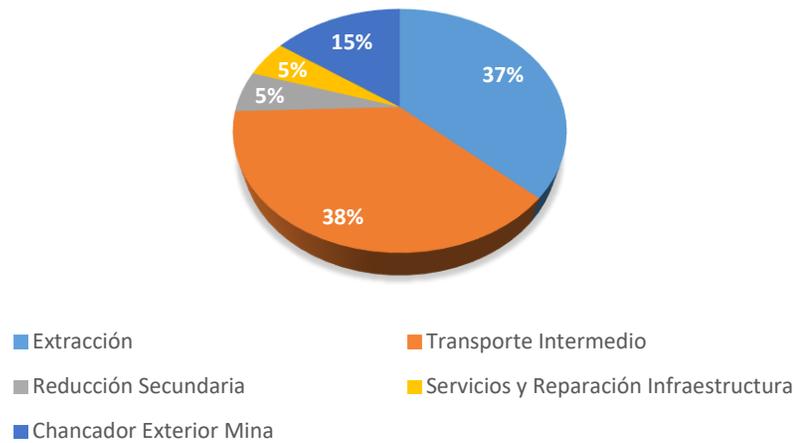
Sector 1



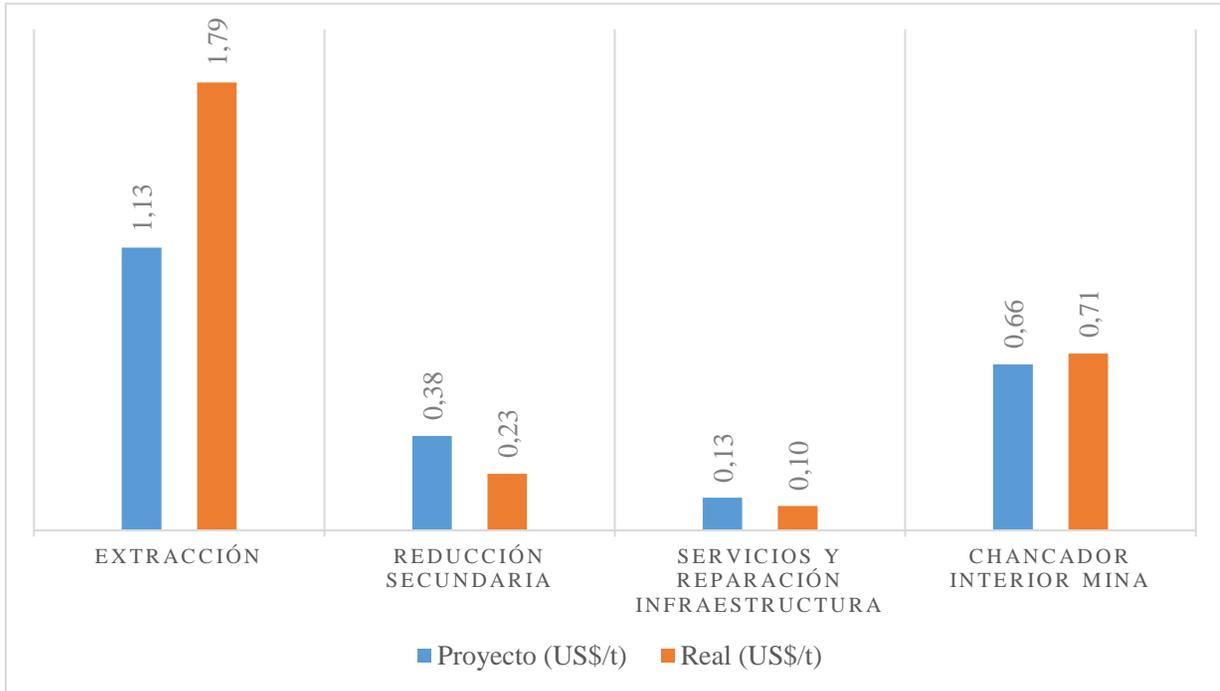
Sector 2



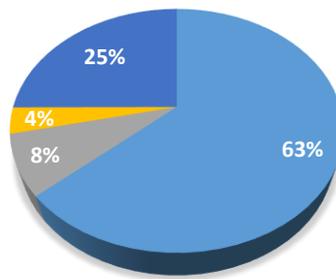
Distribución Procentual de Opex (Real)



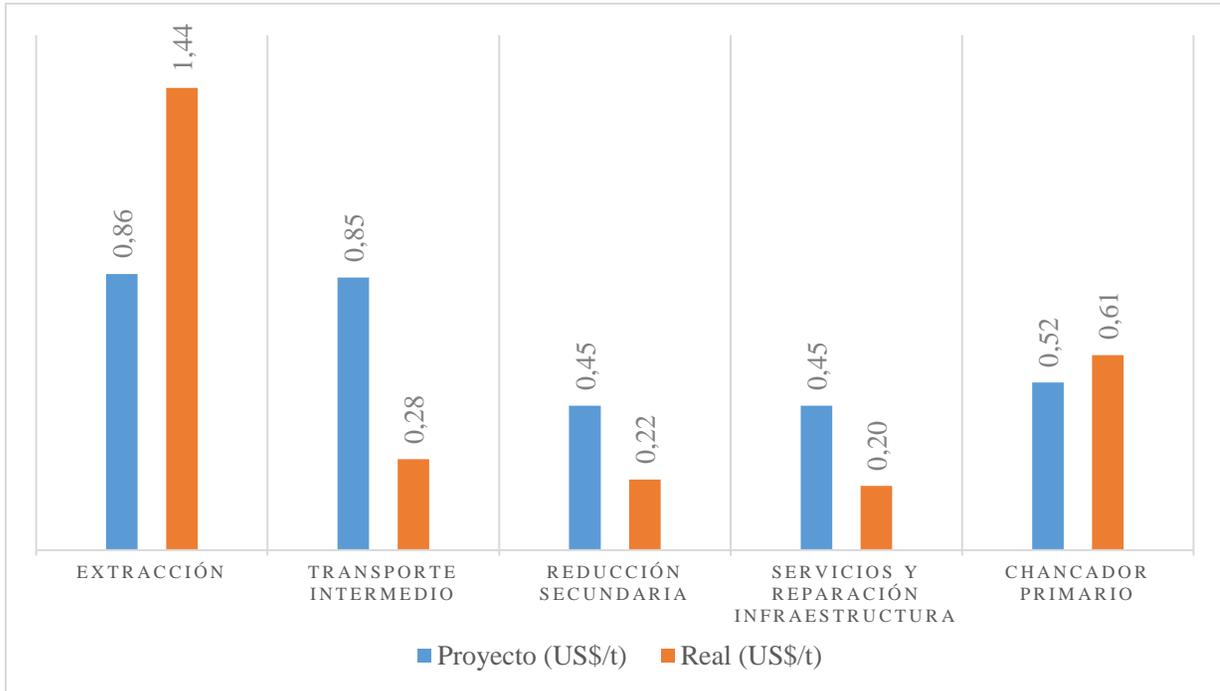
Sector 3



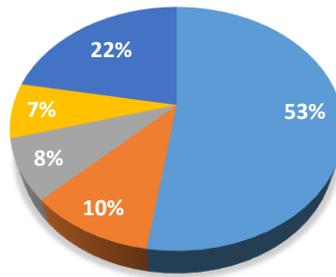
Distribución Procentual de Opex (Real)



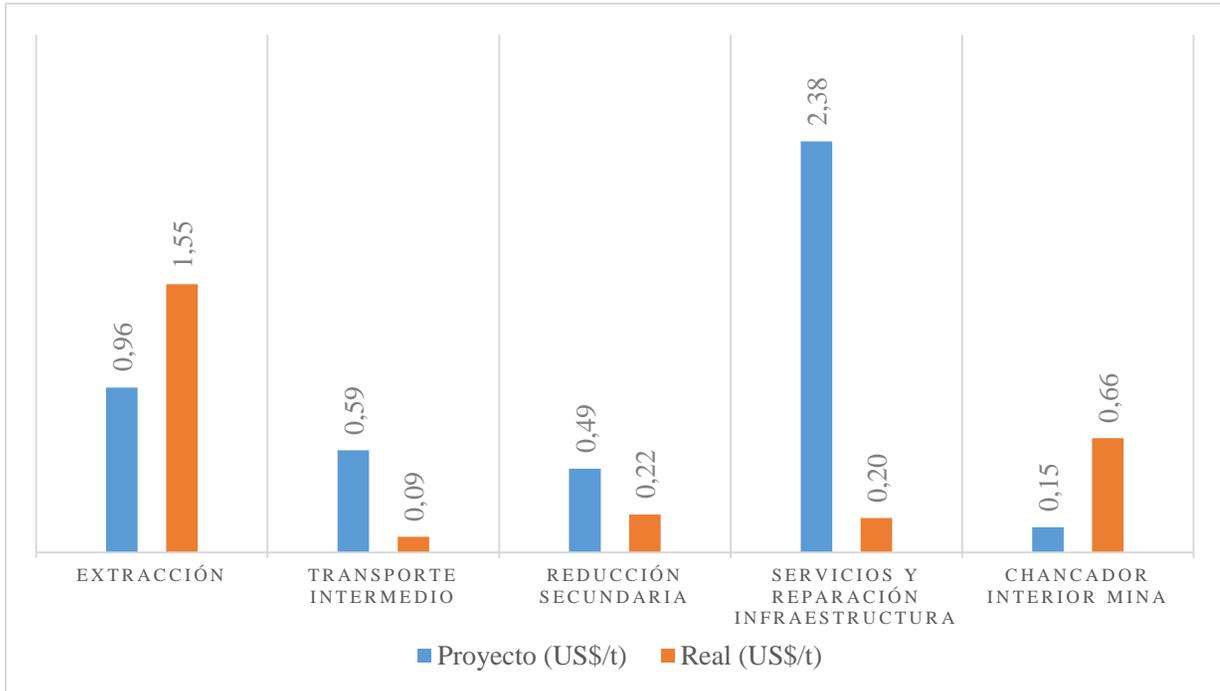
Sector 4



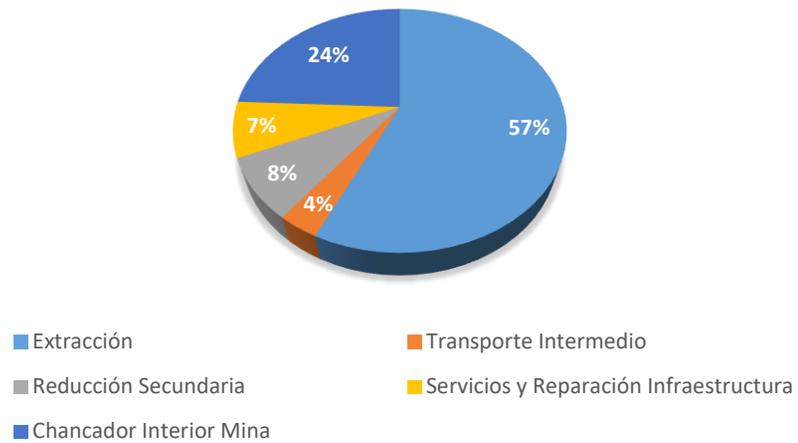
Distribución Procentual de Opex (Real)



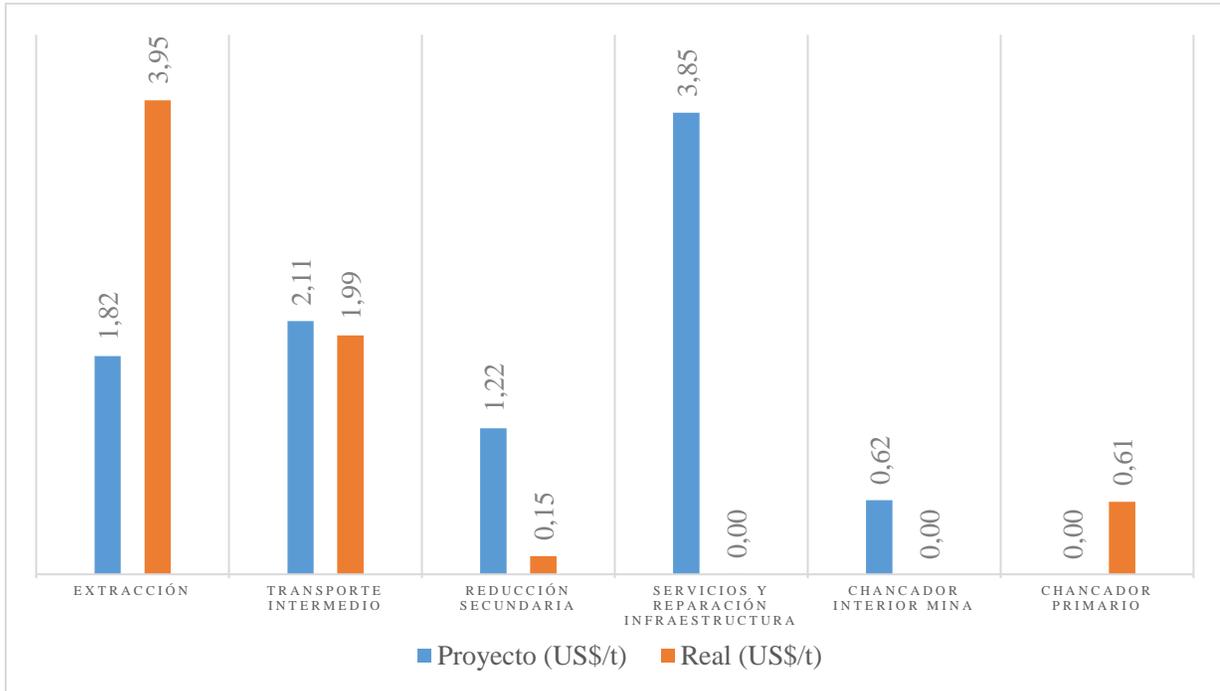
Sector 5



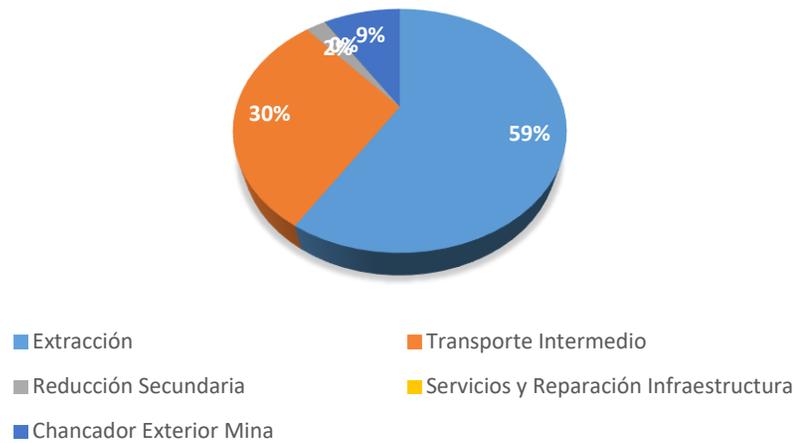
Distribución Procentual de Opex (Real)



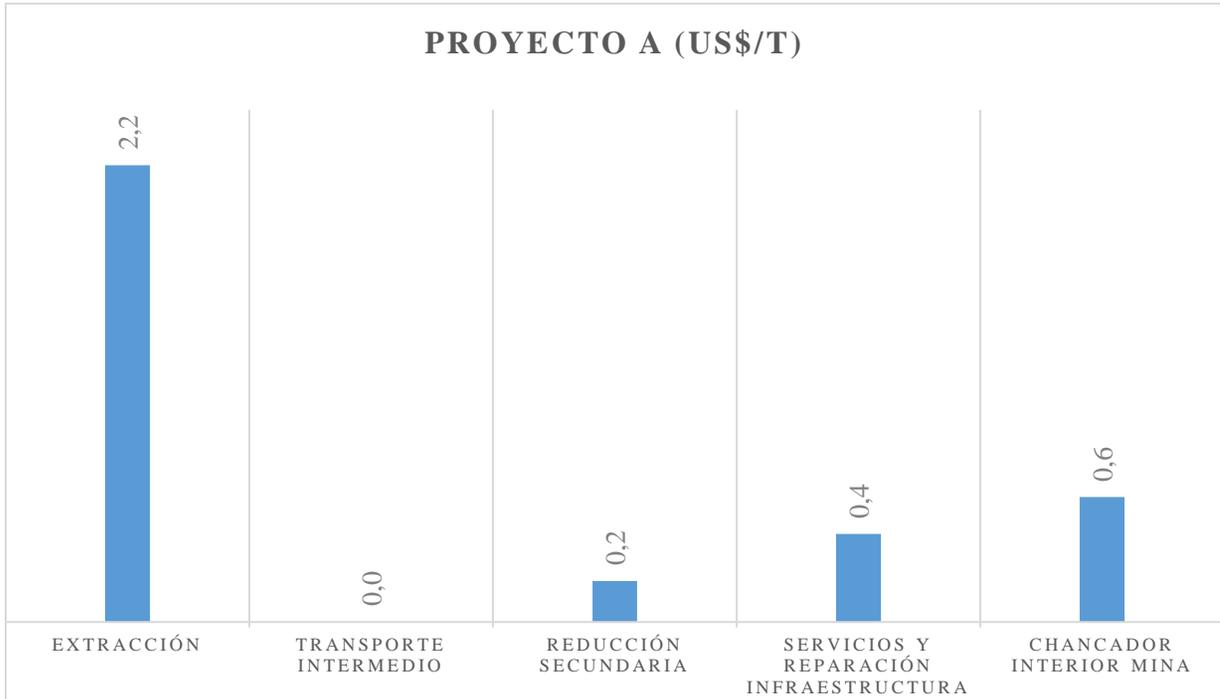
Sector 6



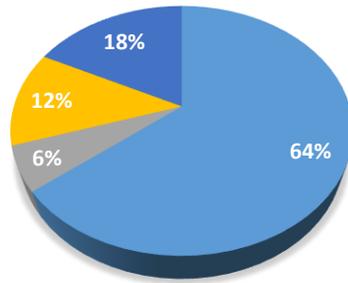
Distribución Procentual de Opex (Real)



Proyecto A

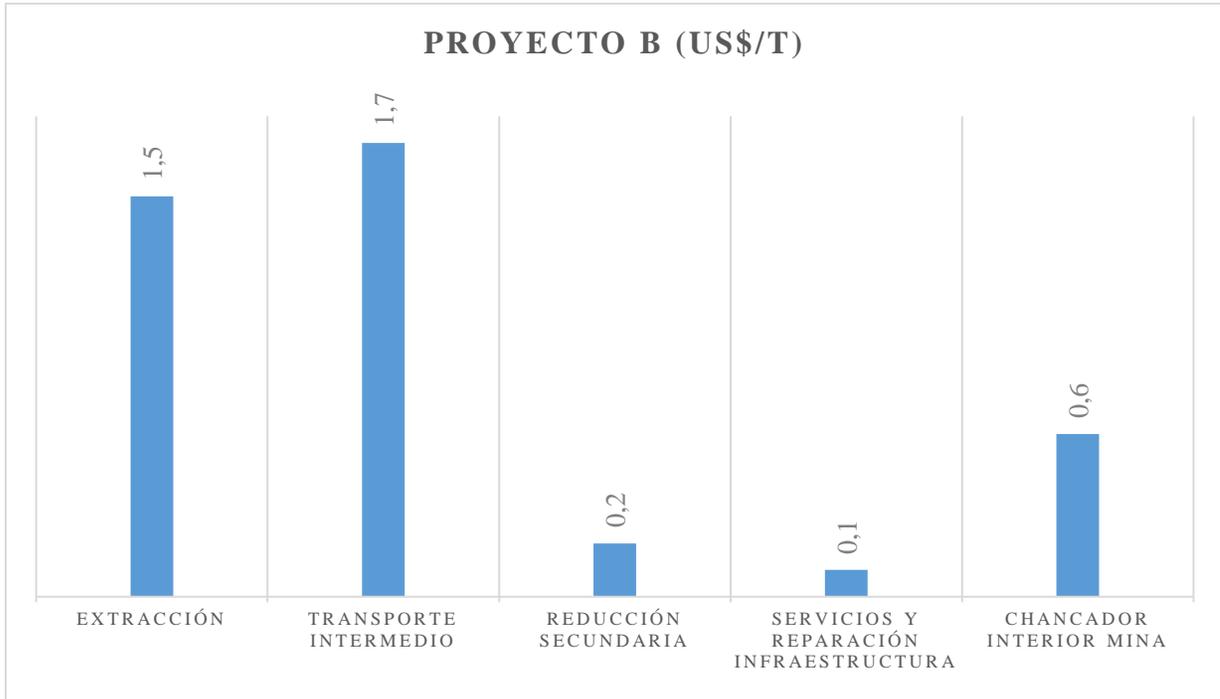


Distribución Procentual de Opex (Pre-fact PDA)

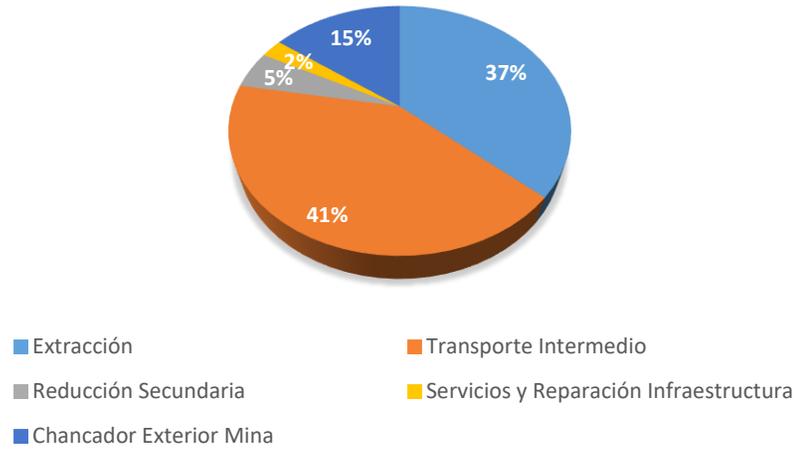


- Extracción
- Transporte Intermedio
- Reducción Secundaria
- Servicios y Reparación Infraestructura
- Chancador Exterior Mina

Proyecto B



Distribución Procentual de Opex (Pre-fact PDA)



10.3 Anexo C: Fases Sector 3

Sector	Ley Media de Cobre (%)	Reservas (Mton)	Cu Fino (kton)	Capex (MUS\$)
Fase 1	0.94%	99	931	135
Fase 2	0.90%	28	252	27
Fase 3	0.73%	35	256	65
Fase 4	0.94%	35	329	65
Fase 5	0.82%	15	123	52

10.4 Anexo D: Análisis de Riesgo

A continuación se presentan los porcentajes de error en la estimación de costos de capital y operación para los sectores 2 y 3.

Sector 2			
Capex		Opex	
Preparación	-8%	Extracción	-94%
Sistema de manejo de materiales	-35%	Transporte intermedio	-79%
Infraestructura	14%	Reducción secundaria	-10%
Equipos	-25%	Servicios y reparación de infraestructura	-52%
Ingeniería	-86%	Chancado	4%
Costos del Dueño	5%		

Sector 3			
Capex		Opex	
Preparación	-3%	Extracción	-59%
Sistema de manejo de materiales	-20%	Transporte intermedio	-
Infraestructura	-3%	Reducción secundaria	40%
Equipos	-15%	Servicios y reparación de infraestructura	25%
Ingeniería	9%	Chancado	-7%
Costos del Dueño	-6%		

La siguiente tabla señala la probabilidad del riesgo según la posibilidad del evento.

Clasificación de la probabilidad del riesgo	
Probabilidad de evento de riesgo	Verbalizado
1-19%	Remota
20-39%	Pequeña
40-59%	Probable
60-79%	Grande
80-99%	Casi segura

La siguiente tabla señala la asignación de consecuencia según la influencia que tiene el costo (PMBOK® Guide, 2013).

Defined Conditions for Impact Scales of a Risk on Major Project Objectives (Examples are shown for negative impacts only)					
Project Objective	Relative or numerical scales are shown				
	Very low /0.05	Low /0.10	Moderate /0.20	High /0.40	Very high /0.80
Cost	Insignificant cost increase	< 10% cost increase	10 – 20% cost increase	20 – 40% cost increase	> 40% cost increase