



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

**SISTEMA DE COMPARACIÓN DE ESTIMACIÓN DE PROYECTOS
MINEROS DE INVERSIÓN, MEDIANTE KPI's**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL
INDUSTRIAL**

MARCELO ANDRES CASTILLO ORMAZÁBAL

**PROFESOR GUÍA:
RODOLFO URRUTIA URIBE**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
PATRICIO CONCA KEHL
JORGE TABOADA RODRÍGUEZ**

**SANTIAGO DE CHILE
2022**

**RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL
TÍTULO DE:** Ingeniero Civil Industrial
POR: Marcelo Castillo Ormazábal
FECHA: 2022
PROFESOR GUÍA: Rodolfo Urrutia Uribe

SISTEMA DE COMPARACIÓN DE ESTIMACIÓN DE PROYECTOS MINEROS DE INVERSIÓN, MEDIANTE KPI's

Dada las altas inversiones que requieren los proyectos mineros, es de suma importancia alinear el alcance buscado por el negocio durante las fases tempranas de un proyecto, aumentando así, sus probabilidades de éxito y el uso eficiente de los recursos comprometidos. De no lograrlo, pueden surgir riesgos durante la ejecución del proyecto, aumentando los costos y la duración de este.

Para alinear los proyectos al alcance buscado, se propone evaluar la competitividad de los diseños de los proyectos comparándolos con la industria, utilizando estudios tipo benchmarking como herramienta para detectar espacios de mejoras, alertando desviaciones del alcance requerido. Así, el objetivo es generar un sistema de comparación en base a indicadores, definiendo usos y una clasificación de tipos de proyectos mineros, para así tener segmentos comparables, pese a que estos presentan contextos únicos (como puede ser la topografía) que dificultan su comparación.

Tras realizar un estudio del arte, los proyectos se segmentan en tres tipos: Movimiento de Tierra, Infraestructura / Planta y Minería Subterránea. Además, se definen 4 usos para la metodología: evaluación de la competitividad del diseño, validación del presupuesto, estimación referencial de costos y seguimiento del diseño durante las etapas de la fase de estudios. Estudiando las estimaciones de ocho proyectos, se seleccionan 10 KPI's que permiten medir la competitividad de estos. En base a estos, se realizaron dos casos de estudios. El primero consiste en la validación del presupuesto de factibilidad para un chancador, el cual identifica una desviación de más de 200% con respecto al promedio para un indicador, pese a presentar una estimación competitiva. Este estudio permitió generar curvas predictivas de las que se obtiene un valor referencial de intensidad de capital (Y) necesario para chancadores primarios dada una cierta capacidad (X), según la ecuación: $Y = 6,2242X^{-0,499}$. Mientras que el segundo, estudia la evolución de los indicadores durante las etapas de la fase de estudios para proyectos de Movimiento de Tierra, identificando como cambios de alcance merman los rendimientos de algunos indicadores. De estos estudios, se concluye que los indicadores no corresponden a metas que deben cumplirse siempre, si no a puntos de referencia que permiten tomar decisiones informadas para el proyecto específico a estudiar.

Por otra parte, es recomendable poseer una estructura de quiebre común entre los proyectos, dado que facilita el análisis de estos. Además, es necesario agregar una mayor cantidad de proyectos para generar resultados más robustos y confiables, así como también generar más casos de estudios para los tipos de proyectos faltantes y estudios estadísticos para buscar correlaciones. Se debe mencionar que el sistema permite detectar brechas que son valoradas por la empresa auspiciadora, además de entregar las directrices generales para ser adaptada por cualquier otra empresa del rubro.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a mi familia, a mis padres por haberme acompañado en toda mi educación entregándome todo el apoyo necesario, y a mis hermanos por todo el cariño, motivación y los consejos cuando los necesite.

A Jeremie y Francisco, por guiarme en todo el proceso, compartiendo su conocimiento y estando siempre dispuestos a ayudar con el desarrollo y revisión de mi trabajo. A mis profesores de comisión por todos los comentarios y comprensión a lo largo del trabajo.

A Cristóbal, Diego y Mauricio por acompañarme desde el colegio, con incontables momentos a lo largo de estos años.

A mis amigos de sección, en especial a Jorge, Lucas y Antonia, por todos esos momentos en los primeros años de universidad, así como el apoyo, compañía y consuelo en momentos difíciles. A Maite, Teresa y Joaquín por la compañía y las risas. A Granada y toda su gente por todos los aprendizajes y experiencias que me permitió conocer. A mis amigos de básquetbol del colegio por ser siempre un espacio de relajación y confianza cuando lo necesite.

Finalmente, a Renato y en especial Juanjo, por todo el tiempo que hemos compartido en estos últimos años, sin ustedes no hubiese sido tan entretenido.

TABLA DE CONTENIDO

1.	Introducción.....	1
1.1	La Empresa.....	3
1.1.1	Información del área	4
2.	El problema	4
2.1	Justificación del problema.....	4
2.1.1	Relevancia del tema.....	5
2.1.2	Factores críticos de éxito.....	6
2.1.3	Escenario actual de empresa auspiciadora	8
2.1.4	Sobrecostos de capital.....	11
2.1.5	Dificultades del tema	12
2.2	Objetivos	13
2.2.1	Objetivos Específicos.....	13
2.3	Alcance.....	13
2.4	Estructura de Trabajo.....	14
3.	Estado del Arte	14
3.1	La competitividad	14
3.2	Etapas de un proyecto de inversión minero	15
3.3	Estimación de costos en proyectos (CAPEX)	17
3.4	Evolución del CAPEX durante un proyecto	21
3.5	Tipos de costos de un CAPEX	23
3.6	Formas de detectar brechas en los diseños de los proyectos.....	24
3.7	Conceptos básicos asociados a Minería del Cobre	26
3.7.1	Minería a rajo abierto.....	26
3.7.2	Minería subterránea	27
3.7.3	Proceso de procesamiento del cobre.....	28
3.7.4	Depósito de relaves.....	33
3.7.5	Botaderos de estériles	34
3.8	Conceptos asociados a Indicadores.....	35
3.8.1	¿Qué son los KPI's?.....	35
3.8.2	Tipos de Indicadores.....	36
4.	Metodología.....	39

4.1	Usos del sistema de comparación	40
4.2	Segmentación de tipos de proyectos mineros.....	40
4.3	Selección de indicadores	40
5.	Desarrollo	41
5.1	Usos de los indicadores.....	41
5.2	Segmentación de proyectos mineros.....	44
5.3	Selección de indicadores	46
6.	Casos de estudios	54
6.1	Proyecto de Infraestructura y planta	54
6.2	Proyectos de Movimiento de Tierra.....	68
7.	Conclusiones.....	75
7.1	Limitantes.....	77
7.2	Trabajos futuros	77
8.	Bibliografía.....	79
9.	Anexos	83

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Producción de cobre en Chile durante 2020.	5
Tabla 2: Producción de cobre por empresa en Chile durante 2020.	5
Tabla 3: Descripción Inversiones Minería Chilena.	6
Tabla 4: Factores críticos de éxito.	7
Tabla 5: Plazos asociados a un Proyecto Minero (Rajo abierto).	16
Tabla 6: Matriz genérica de clasificación de estimación de costos.	22
Tabla 7: Ejemplos indicadores de ratio de costo total.	37
Tabla 8: Ejemplos de indicadores de ratio de costo de equipo.	37
Tabla 9: Indicadores de ratio de costos indirectos.	37
Tabla 10: Ejemplo de indicadores varios.	38
Tabla 11: Facilities a Nivel 1.	44
Tabla 12: Proyectos entregados para estudiar.	46
Tabla 13: Clasificación proyectos a estudiar según tipo.	47
Tabla 14: Commodities Nivel 1.	50
Tabla 15: Resumen indicadores seleccionados.	53
Tabla 16: Cuadro resumen proyectos a comparar.	59
Tabla 17: Detalle Intensidad de Capital de proyectos sin considerar costos asociados a movimiento de tierra ni proyectos singulares.	83
Tabla 18: Indicadores Generales, según tipo de proyecto.	84
Tabla 19: Indicadores en detalle de costos directos, según tipo de proyecto a nivel 2.	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Grafico índice Costo Real vs Costo Estimado.....	9
Figura 2: Estructura de quiebre a modo de ejemplo.	19
Figura 3: Análisis Sobrecostos en proyectos.....	20
Figura 4: Proceso de los estudios pre-inversión.	21
Figura 5: Cono de incertidumbre.....	22
Figura 6: Ejemplo de formulario para captar información de proyecto.....	25
Figura 7: Rajo División Ministro Hales.	26
Figura 8: Niveles explotación PMCHS.....	28
Figura 9: Proceso explotación del cobre.	29
Figura 10: Planta Concentradora Chuquicamata.	30
Figura 11: División Ventanas Codelco.	31
Figura 12: Esquema de pila de lixiviación.	32
Figura 13: Ilustración depósito de relaves.....	33
Figura 14 : Botaderos en ladera (izquierda) y en tortas (derecha).....	34
Figura 15: Usos de la metodología propuesta.	43
Figura 16: Tipo de Proyectos Mineros a Nivel 2.....	45
Figura 17: Razón Costos Administración/ Costos Totales.....	55
Figura 18: Razón Costos Indirectos / Costos Directos.	56
Figura 19: Resumen proceso de transporte mineral a acopio de gruesos.	57
Figura 20: Edificio Chancador primario.	58
Figura 21: Intensidad de capital para proyectos comparados.....	60
Figura 22: Intensidad de Capital vs Capacidad.	60
Figura 23: Intensidad de Capital vs Capacidad, sin considerar costos asociados a movimiento de tierra ni proyectos singulares.....	61
Figura 24: Comparativa rendimientos Ton Acero/Cap. (izquierda), M3 Hormigón/Cap. (derecha).	62
Figura 25: Comparativa rendimientos M3 Mov Tierra / Cap. (izquierda), M Piping/Cap. (derecha).....	63
Figura 26: Intensidad de Toneladas de Acero vs Capacidad.....	64
Figura 27: Intensidad de metros cúbicos de hormigón vs Capacidad.....	65
Figura 28: Intensidad de metros de piping vs Capacidad.	66
Figura 29: Comparativa uso de recursos HH Con./Ton Acero (izquierda), HH Con./ M3 Hormigón (derecha).....	67
Figura 30: Comparativa uso de recursos HH Con./ M3 Mov Tierra (izquierda), HH Con./ M Piping (derecha).....	67
Figura 31: Porcentaje de Costos Administración con respecto al costo total, proyectos mov. tierra.	69
Figura 32: Razón Indirectos / Directos, proyectos mov. tierra.....	70
Figura 33: Evolución uso de recursos HH Con./ M3 Excavación (izquierda), HH Con./ M3 Relleno (derecha).....	72

Figura 34: Razón Costos Administración/ Costos Totales, proyectos movimiento de tierra.	73
Figura 35: Razón Costos Indirectos/ Costos Directos, proyectos movimiento de tierra.	73
Figura 36: Evolución uso de recursos HH Con./ M3 Excavación (izquierda), HH Con./ M3 Relleno (derecha).....	74

1. Introducción

El desarrollo de proyectos mineros en Chile es un componente fundamental para la economía del país, comprometiendo una gran cantidad de recursos para poder llevarlos a cabo. Dichas inversiones serán recuperadas a lo largo del desarrollo de estos proyectos, los que pueden llegar a tener una vida útil muy longeva, alcanzando incluso el centenario en ejecución, generando de manera directa, millones de dólares en ingresos para el país y cientos de empleos.

Para la realización de estos proyectos, deben superarse tres grandes fases, que corresponden a la fase de estudios (o pre-inversional), la fase de ejecución/operación y la fase de cierre del proyecto. A su vez, cada fase esta subdivida en otras etapas que permiten entender de mejor manera el objetivo de la fase principal. En la fase de estudios (que generalmente se compone de estudio de perfil, prefactibilidad y factibilidad), se busca definir el alcance del proyecto a estudiar, para poder estimar los beneficios y costos respectivos, y en base a estos, poder tomar la decisión de comprometer (o no) recursos para la ejecución del proyecto estudiado. Mientras que, en la fase de ejecución y operación, los activos construidos son puestos en marcha y llevados a la producción buscada de forma paulatina, hasta alcanzar los rendimientos esperados. Finalmente, el cierre del proyecto corresponde a las medidas que se deben tomar para que las instalaciones queden estableces al momento de cerrar la faena.

Hay que mencionar, que el alcance de un proyecto corresponde a la lista de características y entregables que todas las partes del proyecto (clientes, equipos, directores, etc.) acuerdan antes de realizarlo (Rossinni, 2021[1]). Si bien, el alcance se define durante la fase de estudios de un proyecto, durante la ejecución puede sufrir cambios, aumentando la duración y costos de este. Es más, el informe “Aumento de las tasas de éxito” del año 2017, de la empresa Project Management Institute (PMI) [2], detalla que cerca de la mitad de los proyectos experimenta cambios de alcance. En la **Sección 2.1.3**. se muestran ejemplos, posibles causas y consecuencias que conlleva un cambio de alcance durante el desarrollo de un proyecto.

En esta misma línea, para poder estimar los costos de un proyecto, se generan principalmente dos estudios llamados CAPEX y OPEX, los cuáles son refinados durante las etapas de la fase de estudios en base a los cambios que se definan sobre el alcance de este. El primer acrónimo deriva de la expresión “Gastos de Capital” y corresponden a los gastos e inversiones asociados a bienes físicos, es decir, todos los bienes comprados por la empresa. Mientras que el segundo hace alusión a los “Gastos Operativos” que se relaciona al costo de las operaciones y servicios asociados a la ejecución del proyecto.

Es muy importante lograr proyectos que sean exitosos y que utilicen eficientemente los recursos que se comprometen en la fase de estudios, debido a la gran inversión que estos proyectos requieren. Una forma para determinar el éxito de un proyecto es utilizar los llamados “factores críticos de éxito (FCE)” que evalúan el set de circunstancias, hechos o influencias que contribuyen a su resultado. Según Baccarini y Collins, los FCE más determinantes sobre el resultado de un proyecto corresponden al entendimiento del proyecto (1°), tener un equipo competente (2°) y poseer estimaciones de tiempo y costos realistas (4°), entre otras. (Baccarini & Collins, 2003 [3]). Todos los FCE mencionados anteriormente son trabajados durante la fase de estudios de los proyectos, en donde se arriesga el resultado de este, pues un proyecto que tenga pobremente trabajados estos FCE es más propenso a no resultar exitoso. Por otro lado, para evaluar la eficiencia del uso de los recursos inicialmente comprometidos, así como los realmente utilizados de un proyecto, se puede estudiar la competitividad de estos, comparando sus rendimientos con los obtenidos por la industria. Hay que mencionar que se entenderá por “competitividad” como la capacidad de abastecer a la economía de bienes y servicios, que sean mejores o más baratos en comparación a la competencia internacional. (Begazo, 2008 [4]). Según Benzaquén, et al., el “concepto de competitividad” no es reciente y sus orígenes remontan a más de tres siglos atrás (Benzaquén, et al. 2010 [5]), sin embargo, otros autores plantean que hoy en día no existe consenso sobre su definición y, por ende, acerca de una forma de medirla (Águila, et al. 2018 [6]). En el caso de los proyectos mineros, se entenderá como proyecto exitoso aquel que cumpla con los objetivos del negocio y se entenderá como un proyecto competitivo cuando su duración y costos (estimados y reales) sean menores a los promedios de la industria, para proyectos que sean comparables entre sí.

El tener proyectos competitivos con alcances bien definidos y alineados a los requerimientos del negocio durante la fase de estudios, indica un buen entendimiento y trabajo de los FCE mencionados anteriormente, generando mayores probabilidades de éxito en comparación a los proyectos no competitivos, lo que a su vez resulta en proyectos competitivos al término de su ejecución. Es decir, si un proyecto presenta diseños con estimaciones de costos y plazos menores al promedio de la industria, sin descuidar la definición del alcance del proyecto ni la conformación de su equipo, entonces es probable que sus costos y plazos reales sean menores a la competencia. Esta afirmación será ejemplificada en la **Sección 2.1.3**.

Para lograr obtener diseños de proyectos con estimaciones de costos competitivos, se requiere generar un procedimiento sistematizado que permita comparar la competitividad de los proyectos. Sin embargo, hay que tener presente que los alcances de los proyectos mineros pueden variar en demasía al compararlos entre sí, por lo cual, es necesario confeccionar una segmentación previa de estos, que permitan compararlos correctamente. Así, este trabajo busca generar un sistema comparativo que permita evaluar la competitividad de un proyecto minero, ayudando a identificar de manera general, en cuáles conceptos no se está siendo competitivo al compararse con proyectos de la industria y entregando así, una herramienta que guíe la aplicación de técnicas de incremento

de valor, buscando lograr que el proyecto cumpla todas las exigencias y valores de la empresa al mínimo costo posible, alineándose al alcance buscado inicialmente.

1.1 La Empresa

Con el fin de generar el sistema anteriormente mencionado, el trabajo es realizado en conjunto a una organización auspiciadora que facilita información sobre proyectos mineros. Esta organización corresponde a una de las empresas líderes de desarrollo minero del país, contando con una gran historia de desarrollo de proyectos en el territorio nacional desde su fundación en 1955, además de tener comprometido una gran cantidad de capital para sus proyectos futuros a realizar dentro de los próximos años.

La misión de la organización es desplegar en forma responsable y con excelencia, toda su capacidad de negocios mineros y relacionados en Chile y en el mundo, con el propósito de maximizar en el largo plazo su valor económico. La empresa lleva a cabo su misión, enfatizando una organización de alto desempeño, la participación, la innovación creativa y el conocimiento de las personas en permanente desarrollo [7].

Actualmente, se encuentra legislada mediante la Ley N° 20.392, publicada en el diario oficial del 14 de noviembre de 2009, la cual modificó el estatuto orgánico (D.L. 1.350 de 1976) y normas sobre disposición de pertenencias en actual explotación (Ley N° 19.137). Las nuevas disposiciones, que entre otras cosas modifican la composición del directorio de la empresa, entraron en vigor el 1 de marzo de 2010. Además, se relacionan con el Gobierno a través del Ministerio de Minería y se rigen por las disposiciones del mencionado decreto ley y por sus estatutos, y en lo no previsto en ellos, por las normas de las sociedades anónimas abiertas y por la legislación común, en lo que sea aplicable y compatible con la normativa propia [8].

Sus principales productos son: (i) refinados, (ii) no refinados, (iii) subproductos y (iv) semielaborados. Los primeros corresponden a cátodos de cobre con 99,9% de pureza. Los segundos corresponden a concentrados de cobre, concentrados de cobre tostados, ánodos y blíster. Mientras que los terceros corresponden a molibdeno, ácido sulfúrico, oro, plata y renio. Finalmente, el último producto corresponde a alambrón de cobre [9].

Durante 2019, tuvo ventas totales de US\$ 12.525 millones, siendo el mercado asiático el principal destino, seguido por los mercados norteamericano, europeo y sudamericano. En dicho año, generó excedentes por US\$ 1.340 millones, resultado que fue un 17% menor al obtenido durante 2018

(US\$ 1.606 millones, después de ajustes contables). En cuanto al empleo directo que genera, para el 31 de diciembre de 2019, contaba con personal propio de 16.726 y con 19.946 trabajadores de empresas contratistas de operación y servicios [9].

La propia organización estima que los recursos minerales que poseen le permiten proyectar su explotación por más de 70 años, lo que muestra la fortaleza de su base minera y sus intenciones de seguir siendo una de las entidades más importantes de la industria nacional.

1.1.1 Información del área

El trabajo se realiza en la Gerencia de Excelencia en Proyectos de la empresa, específicamente en el área de Diseño Lean de esta, que tiene como objetivo aportar información clave a los proyectos en su etapa de conceptualización, cautelando un estricto alineamiento a los requerimientos de negocio para lograr proyectos competitivos en ejecución y costos, minimizando desperdicios mientras logran el máximo valor buscado.

La gerencia de la empresa cuenta con un total de 12 trabajadores: 1 gerenta, 3 directores (Diseño Lean, Ejecución Lean, Transformación) y 8 especialistas, que trabajan en conjunto para llevar a cabo los requerimientos de la gerencia.

2. El problema

Los rendimientos en costos (estimados y reales) de los proyectos de la empresa auspiciadora son peores en comparación a los obtenidos por los proyectos de la competencia. Además, actualmente la empresa auspiciadora no cuenta con una forma sistematizada que les permita comparar la competitividad de sus proyectos, careciendo de una herramienta que guíe sus esfuerzos en la búsqueda de proyectos con alcances y desarrollos lean, que permitan mejorar, al largo plazo, los rendimientos de costos (tanto estimaciones como reales) de sus proyectos.

2.1 Justificación del problema

El problema planteado anteriormente tiene cinco componentes de justificación que se explicarán en esta sección: la relevancia del tema, los factores críticos de éxito de un proyecto, el escenario actual de la empresa auspiciadora, los sobrecostos de capital y las dificultades que el tema presenta.

2.1.1 Relevancia del tema

El sector minero en el territorio nacional se encuentra compuesto por la extracción de una variedad de minerales, correspondiendo principalmente a extracciones de cobre, de las cuáles Chile se posiciona como principal productor del mundo. Al comparar los valores de embarque de exportación y el porcentaje de participación de los principales minerales en las exportaciones del país durante 2020, se puede observar que son considerablemente menores al compararlos con los valores asociados al cobre, lo que demuestra la gran importancia de este mercado en la industria chilena [10].

Tabla 1: Producción de cobre en Chile durante 2020.

Fuente: Anuario de Estadísticas del Cobre y Otros Minerales 2000-2020, Cochilco.

Minería Metálica	Cantidad 01/01/19 31/12/20	Unidad de fino	US\$ Mn FOB	% Participación
Cobre	5.733	MTM	37.993	51,7%
Hierro	9.891	MTM	1.512	2,1%
Molibdeno	59.381	TM	1.475	2,0%
Oro	33.895	KG	849	1,2%
Plata	1.575.794	KG	350	0,5%
Zinc	28.662	TM	28	0,5%

Por otra parte, dicho rubro se encuentra ocupado mayoritariamente por un número reducido de empresas, según el Anuario de Estadísticas del Cobre y Otros Minerales 2000-2020 (Cochilco), cerca del 75% de las 5.733 miles de toneladas métricas de cobre fino fueron realizadas por 5 empresas [10]:

Tabla 2: Producción de cobre por empresa en Chile durante 2020.

Fuente: Anuario de Estadísticas del Cobre y Otros Minerales 2000-2020, Cochilco.

Producción por empresa	01/01/20 31/12/20 mtmf	%
Codelco	1.727	30,1%
Escondida	1.187	20,7%
Collahuasi	629	11,0%
Los pelambres	372	6,5%
Anglo American Sur	370	6,5%
Otros	1.448	25,3%
Total	5.733	100,0%

Al dejar de lado el panorama actual de la industria minería chilena y enfocarse en los próximos años, se observa que existe un número considerable de inversiones futuras comprometidas en la industria. Según el documento “Inversión en la minería chilena- Cartera de proyectos 2020 -2029” de la Comisión Chilena del Cobre, se cuenta con 49 iniciativas valoradas en US\$ 74.047 millones de dólares para los próximos 10 años, de las cuales 35 se encuentran en fase de estudios (2 en etapa de prefactibilidad y 33 en factibilidad) y el resto se encuentra en fase de ejecución [11].

Por otra parte, 35 proyectos corresponden a proyectos de extracción de cobre, 6 de oro y plata, 5 de Litio, 2 de Hierro y 1 de Minerales Industriales. Resumiendo:

Tabla 3: Descripción Inversiones Minería Chilena.

Fuente: “Inversión en la minería chilena- Cartera de proyectos 2020 -2029”, Cochilco.

Sector Minero	Cantidad proyectos	Inversión (MMUS\$)
Codelco	8	23.683
Gran Minería Privada	19	39.148
Mediana minería privada	5	2.241
Plantas industriales	3	1.099
Subtotal Cobre	35	66.170
Oro y Plata	6	2.748
Hierro	2	2.972
Litio	5	1.807
Minerales industriales	1	350
Subtotal otros min.	14	7.877

De la **Tabla 1, 2 y 3** se puede observar que la mayoría de los proyectos futuros corresponden a la gran minería del cobre y que estos responden a un número reducido de empresas. Por otra parte, estos proyectos requieren un alto capital de inversión estimado en comparación a los proyectos de otros minerales, lo cual demuestra que la evaluación de proyectos mineros será un tema de importancia y recurrente a corto, mediano y largo plazo, con especial énfasis en los proyectos del sector minero del cobre.

2.1.2 Factores críticos de éxito

Las probabilidades de éxito de estos proyectos están relacionadas a una gran cantidad de factores. Según el trabajo de David Baccarini y Adam Collins de 2003, en donde se identificó y posicionó a los FCE según su porcentaje de aceptación en base a una encuesta realizada a personas de interés,

se evidenció que un correcto alineamiento de las necesidades del negocio durante la fase de estudios aumentaba la probabilidad de éxito durante su ejecución. (Baccarini & Collins, 2003 [3]).

Tabla 4: Factores críticos de éxito

Fuente: Critical success factors for projects, David Baccarini 2003.

Rank	Critical Success Factor	% Identified
1	Project Understanding	73%
2	Competent Project Team	61%
3	Communication	42%
4	Realistic Time & Cost Estimates	40%
5	Adequate Project Control	29%
=6	Client Involment	23%
=6	Risk Management	23%
8	Resources	22%
9	Teamwork	21%
10	Project Planning	20%
11	Top Management Support	16%
12	Stakeholder Involvement	11%
13	Project Managers Authority	9%
14	External Factors	7%
15	Problem Solving	3%

La última afirmación se basa en lo mostrado en la **Tabla N°4**, en donde se observa que tres de los cuatro FCE más importantes son trabajados durante la fase de estudios de los proyectos. El FCE que se encuentra en primer lugar corresponde al entendimiento del proyecto, que engloba la comprensión de las necesidades del cliente y de los objetivos del proyecto, así como los requerimientos finales del usuario, definiendo previamente el alcance de los trabajos, los que deben ser claramente entendidos por todas las partes. Luego, el segundo FCE hace alusión a la necesidad de reunir un equipo que no solo sea técnicamente capaz, sino que también tenga la mezcla correcta que permita un trabajo colaborativo y forme un equipo de proyecto efectivo. El cuarto FCE corresponde a la estimación de costos y tiempos realistas, en donde se plantea que las estimaciones de plazos y costos deben ser adecuadas y realistas para llevar a cabo el alcance del proyecto, planificado, sólido, preciso y “correcto que permita adaptarse a las condiciones del mercado”. Con respecto a los FCE restantes, hay que mencionar que algunos deben ser trabajos durante todas las fases del proyecto, como es el caso de la comunicación, el trabajo en equipo y resolución de problemas, mientras que otros escapan de las funciones de los desarrolladores del proyecto, como es el caso de los factores externos, y otros responden a la ejecución del proyecto como tal, como lo es poseer un adecuado control de proyecto y poseer los recursos necesarios para el desarrollo de este.

Así, el principal objetivo que los equipos de los proyectos debieran tener durante la fase de estudios, es lograr un buen entendimiento de los alcances de estos, plasmándolo en diseños realistas y lean, es decir, diseños que minimicen desperdicios y busquen lograr el máximo valor posible alineados con las necesidades de los solicitantes. Una herramienta que permite lograr esto corresponde a los estudios del tipo benchmarking, en donde se evalúan procesos, productos y/o servicios con otras compañías o áreas de una misma empresa. Estos estudios pueden ser internos, en donde la empresa recolecta información sobre su propio desempeño para hacer mejoras a través de la comparación con años anteriores, como también externos, cuando la empresa busca espacios de mejoras de rendimiento, identificando las buenas prácticas de la competencia. (Kozak, 2006 [12]). Sin embargo, los estudios del tipo benchmarking, corresponden a una herramienta de mejora continua, que según las palabras de Lamkford, “no debe ser utilizada como una forma de definir metas”. (Lankford, 2000 [13]).

Teniendo en cuenta todos los antecedentes mencionados, se evidencia la importancia de lograr alcances lean y competitivos durante la fase de estudios de los proyectos. Además, se observa que siempre existirá un espacio de mejora para generar herramientas que ayuden a identificar en que subpartes los proyectos presentan desperdicios en comparación a otros proyectos de la industria, lo que permitirá obtener proyectos competitivos correctamente definidos que posean altas probabilidades de éxito. A su vez, los alcances de los proyectos deben ser claramente capturados por las estimaciones de costos y plazos, por lo que si se logra tener estimaciones lean y competitivas, los resultados del proyecto serán lean y competitivos.

2.1.3 Escenario actual de empresa auspiciadora

Como se mencionó, actualmente la empresa auspiciadora no cuenta con una forma sistematizada que les permita comparar la competitividad de sus proyectos. Además, gracias a trabajos realizados por una empresa externa, se ha podido evidenciar que los proyectos de la organización presentan rendimientos inferiores en comparación a proyectos realizados entre los años 2000 a 2021 por la industria, presentando mayores estimaciones de costos que sus pares, así como mayores costos reales al término de la ejecución de sus proyectos.

Estos trabajos estudian principalmente dos variables de interés, por un lado, definen la métrica “Índice de Costo Real”, la cual posiciona los costos reales de los proyectos de una empresa con respecto al costo real promedio de todos los proyectos estudiados. El costo real promedio de la industria es representado por el valor 1.00, por lo que si los proyectos de una empresa tienen valor 1.20, quiere decir que dicha empresa gastó un 20% más en sus proyectos en comparación lo gastado por la industria. Por otro lado, definen la métrica “Índice de Costo Estimado”, que posiciona los costos estimados de los proyectos de una empresa con respecto al costo estimado promedio de

todos los proyectos estudiados. El costo estimado promedio de la industria es representado por el valor 1.00, por lo que si los proyectos de una empresa presentan valor 0.80, quiere decir que dicha empresa estimó que los gastos de sus proyectos eran 20% menores en comparación lo estimado por la industria.

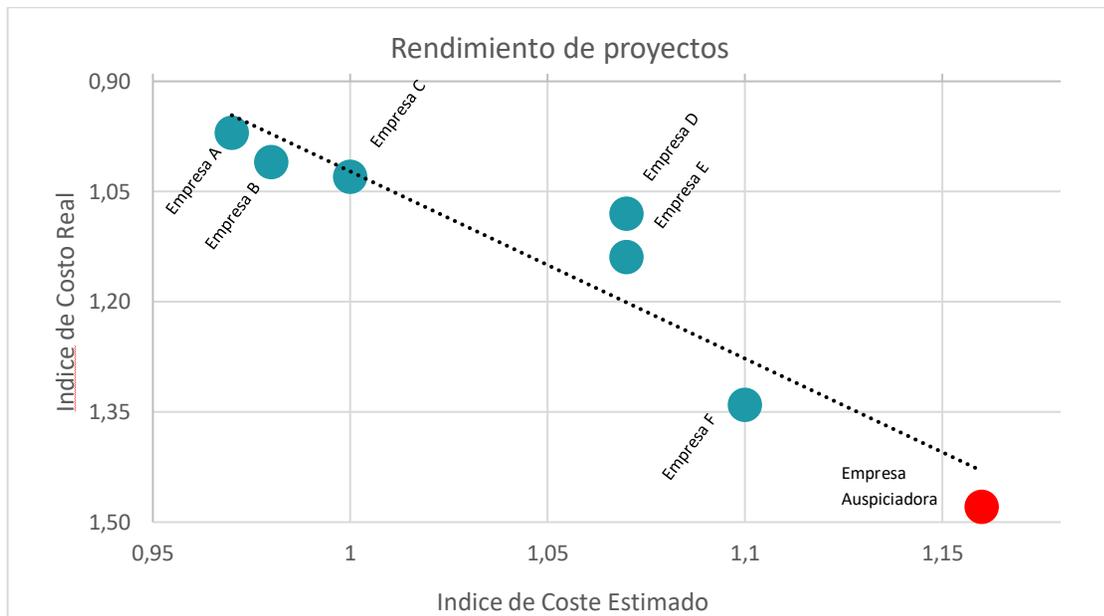


Figura 1: Gráfico índice Costo Real vs Costo Estimado.

Fuente: Empresa Externa.

De la **Figura 1**, se evidencia que la empresa auspiciadora presenta proyectos con baja competitividad en costos, dado que sus estimaciones se encuentran más de 15% por sobre el promedio de la industria y sus costos reales se encuentran casi 50% por sobre el promedio de la industria. Según la empresa externa, los proyectos que presentan altos índices de costos estimados tienen a tener un peor desempeño de costo real, en comparación de sus pares, lo que podría estar explicando los resultados obtenidos por la empresa auspiciadora. Además, se puede observar como las empresas que tuvieron índices de costos estimados menores que el promedio (Empresa A, Empresa B y Empresa C”), resultaron con costos reales menores o levemente superiores al promedio, reforzando que presentar diseños con estimaciones de costos menores al promedio de la industria, sin descuidar la definición del alcance del proyecto ni la conformación de su equipo, probablemente resultará en costos reales menores a la competencia, permitiendo notar la importancia de obtener estos rendimientos.

Además, se observó que las estimaciones realizadas por la empresa auspiciadora eran rutinariamente elevadas y que durante la ejecución de sus proyectos se generan cambios de alcances, lo que aumenta el costo y la duración final del proyecto, debido a una definición deficiente en la fase de estudios.

Los cambios de alcance se refieren a los cambios no controlados o no aprobados en la lista de requisitos, objetivos, entregables y características del proyecto que las partes interesadas acordaron originalmente. Rossini plantea que el “impacto de la fluctuación del alcance podría ser paralizante”, pudiendo “causar una fractura en las finanzas hasta crear malentendidos y rupturas entre las partes interesadas”, “lo que provocaría no solo fallas en proyectos individuales, sino que afectaría el negocio principal o la marca en sí.” (Rossini, 2021[1]).

Según Rossini, un ejemplo claro de un proyecto que presentó cambios de alcances corresponde al aeropuerto de Berlín (Brandenburgo). El aeropuerto estuvo en etapa de “planificación” durante 15 años y su apertura fue realizada en 2020, 8 años después de lo programado (2012). Una de las razones que los expertos citan, es que el cronograma de construcción fue modificado constantemente, atrasando el desarrollo del proyecto. Estos cambios y atrasos, provocó que el aeropuerto terminara costando, presuntamente, 7.900 millones de euros, lo que corresponde a un 50% más que su presupuesto aprobado inicial.

Los cambios de alcances son recurrentes en el desarrollo de proyectos, ocurriendo en cerca de la mitad de estos, según PMI [2]. En el caso de los proyectos de la empresa auspiciadora, la propia organización cree que estos cambios se deben a:

1. Falta de definiciones de ingeniería
2. Pobre proceso de alineamiento negocio – proyecto
3. Gobernanza no respeta decisiones pasadas, y pobre desempeño de roles
4. Cambios en la estrategia del negocio.

El primer punto hace alusión cuando, por diversas razones, se inicia la fase de ejecución de proyectos sin haber alcanzado una madurez suficiente en sus estudios de ingeniería. Si los diseños no han sido detallados suficientemente durante sus fases de estudios, las estimaciones de costos difícilmente contarán con la información suficiente para hacer una buena estimación, tendiendo a sobre estimar más que subestimar costos para no tener problemas con subestimaciones durante la ejecución del mismo. Con respecto a los costos reales, estos también se ven altamente afectados cuando se comienza a desarrollar tardíamente el diseño a construir, pues van apareciendo detalles no considerados que pueden generar una cadena de modificaciones en diseños, los que van aumentando los costos consecutivamente en la medida que van apareciendo cambios y se realizan las redefiniciones.

Mientras que el segundo punto tiene que ver con la fijación de prioridades y objetivos del negocio que representan el interés de la compañía y sus stakeholders principales, los que pueden no estar

alineados bajo las mismas prioridades. Este alineamiento, cuando no es tomado lo suficientemente en cuenta en las fases tempranas, o no se madura oportunamente, puede generar impactos importantes en cambios de alcances y objetivos cuando se detectan en etapas tardías de la fase de estudios o incluso en la ejecución del proyecto.

Por otra parte, el tercero y cuarto punto hacen alusión a los cambios de administraciones que generan cambios en la gobernanza, es decir, redefiniciones de objetivos y/o estrategias que impactan las tomas de decisiones. Otra razón de cambios de estrategias y no respetar decisiones pasadas, tiene relación con el desempeño de roles tomadores de decisión en la compañía, como es común, hay importantes rotaciones de los tomadores de decisiones, en estos cambios, no siempre se puede garantizar que un nuevo tomador de decisión respete las decisiones estratégicas que ya se han tomado anteriormente, esto puede deberse a necesidades o presiones presentes, comerciales y/o técnicas, de la industria o incluso del contexto político y social, puede ser actualización de necesidades o simplemente desconocimiento y pobre desempeño.

Se observa que, una definición deficiente en la fase de estudios presenta consecuencias en el desarrollo del proyecto, y que utilizar estudios del tipo benchmarking, pueden ayudar a detectar los espacios de mejora al compararse con otros proyectos. Así, el presente trabajo busca entregar una herramienta que permita reducir las brechas en los dos primeros puntos detectados, buscando lograr alcances lean que cumplan los FCE críticos, lo que debiera reducir la cantidad de cambios de alcance durante la ejecución de un proyecto. En cuanto a los dos últimos puntos, estos escapan de las funciones del área de la empresa por lo que se posee poca inferencia en estos.

Junto con esto, hay que tener presente que no se busca mejorar la generación de estimaciones de costos como tal, sino que se busca mejorar los diseños ya realizados durante las etapas de la fase de estudios de un proyecto, permitiendo identificar en que secciones el costo estimado no presenta la definición requerida para dicho punto del proyecto y/o no se relaciona al alcance buscado. Así, se busca asegurar que los diseños reflejen el mínimo alcance requerido, al menor costo posible, cumpliendo estrictamente los requerimientos del negocio, mediante una metodología, que gracias al uso de estudios del tipo benchmarking, permita revisar los diseños y sus costos asociados, orientando el uso de las técnicas de incremento de valor para su optimización.

2.1.4 Sobrecostos de capital

A pesar de lograr obtener diseños con costos competitivos, generalmente los costos reales de un proyecto resultan ser mayores a sus costos estimados, esta diferencia se llama “sobrecosto de capital” y corresponde a la razón entre el costo final de construcción y el costo estimado final de la

fase de estudios (etapa de factibilidad). Dicho fenómeno ocurre por muchas razones, por ejemplo, debido a la existencia de incertidumbre al momento de realizar las estimaciones y/o a la aparición de sucesos no anticipados al momento de realizar la estimación, que ocurren durante la ejecución del proyecto aumentando los gastos necesarios para su desarrollo. En el caso de la minería, autores como Haubrich, mencionan que el sobrecosto de capital tiene una larga historia, significativa y persistente, presentando en promedio, 20% a 60% en los proyectos registrados desde 1965. (Haubrich, 2014 [14]). Mientras que el trabajo realizado Lwin y Lazo, para el EDC (Export Development Canada), con proyectos mineros finalizados entre 1994 y 2015 obtuvo un sobrecosto promedio de 37% (Twin & Lazo, 2014 [15]). De lo anteriormente mencionado se puede extraer que un proyecto puede ser competitivo a pesar de tener un sobrecosto de capital, y a su vez, uno que no presente sobrecosto de capital puede ser un proyecto no competitivo, por lo que el foco principal del trabajo es lograr proyectos competitivos en su fase de estudios, dado que de este modo la probabilidad de incurrir en sobrecostos durante su ejecución pasa a un segundo plano.

2.1.5 Dificultades del tema

Al retomar los proyectos de inversión que realizan en el sector minero, se debe mencionar que sus alcances pueden variar en demasía entre sí, en virtud de esto se hace necesario poseer una segmentación según el tipo de proyecto, para poder generar grupos que realmente sean comparables entre sí. Debido a esto, el trabajo requerirá una inmersión profunda sobre los componentes del desarrollo de un proyecto minero y sobre el detalle de la estimación de costos de estos como tal, en vista de que su confección puede variar según el año que fue realizada. Una vez se logre un entendimiento de los conceptos, será necesario proponer indicadores relevantes (KPI's) que permitan medir la competitividad los proyectos, así como el respaldo de su elección.

Finalmente, se debe tener en consideración que la información que se utiliza para hacer estimaciones de costos contiene precios, tarifas y rendimientos de empresas contratistas, siendo de alta sensibilidad y confidencialidad, por lo que es complejo lograr tener acceso a información detallada de la competencia, sin embargo, se busca que iniciativas como esta evidencien lo necesario que es compartir información entre empresas, para así poder lograr proyectos más competitivos en un futuro. A pesar de lo anterior, la metodología que se proponga debe ser capaz de entregar las directrices necesarias para poder ser adaptada por cualquier empresa del rubro, teniendo como base el presente trabajo.

2.2 Objetivos

Este trabajo busca analizar los proyectos durante sus fases de estudios, para identificar y evaluar críticamente aspectos que determinen la competitividad del costo de estos, entregando una herramienta que permita guiar el alineamiento del alcance del proyecto. Para esto se debe realizar una segmentación de proyectos mineros generando grupos comparables, haciendo análisis de granularidad para focalizar los esfuerzos. Es decir, el objetivo es entregar y calcular un sistema de comparación en base a un set de indicadores que permitan realizar una comparación crítica de la competitividad de costos de proyectos de inversión durante sus fases de estudios (prefactibilidad y factibilidad) permitiendo identificar brechas entre los mismos.

2.2.1 Objetivos Específicos

- Segmentar los tipos de proyectos mineros para generar grupos comparables.
- Definir indicadores que permitan medir la competitividad de la estimación de costos de los proyectos.
- Calcular los indicadores para un set de proyectos entregados para la empresa auspiciadora, mostrando alguna aplicación de estos.
- Estandarizar la toma de información para calcular estos indicadores en proyectos futuros, así como sus respectivos usos.

2.3 Alcance

- Debido a los antecedentes mostrados sobre la actualidad de la industria minera nacional y de los proyectos futuros a desarrollar en esta, se decide centrar el trabajo en proyectos de extracción de cobre, dada su gran importancia por sobre los proyectos de extracción de otros minerales.
- Para efectos de estimación de costos solo serán estudiados los costos asociados al CAPEX, dejando de lado los costos asociados al OPEX debido a que su optimización escapa del trabajo buscado y su administración corresponde a otra área de la empresa, imposibilitando el acceso a dicha información.

- Debido a la amplitud de los conceptos, este trabajo se centrará en la evaluación de competitividad de los diseños de los proyectos a través del estudio de las estimaciones de costos, dejando en segundo plano el análisis de sobrecostos, la justificación de esta elección será detallada en la **Sección 3.3**.

2.4 Estructura de Trabajo

El primer capítulo de este trabajo corresponde a una introducción del tema. Luego en el capítulo 2 se plantea el problema con su justificación, definición de sus objetivos y alcances correspondientes. Posteriormente, en el capítulo 3 se realiza un estudio del arte de los conceptos relacionados con la competitividad, estimación de costos, proyectos mineros y tipos de indicadores utilizados por la industria. Mientras que el capítulo 4 muestra la metodología utilizada para confeccionar el sistema de comparación. Por su parte, el capítulo 5 muestra el desarrollo de la metodología definiendo usos, segmentando los proyectos y seleccionando los indicadores a utilizar. El capítulo 6 corresponde al cálculo y comparación de los indicadores para dos casos aplicados. Finalmente, el capítulo 7 entrega las conclusiones del tema, abordando sus limitaciones, así como los posibles trabajos futuros que se pueden realizar.

3. Estado del Arte

3.1 La competitividad

La competitividad se entiende como la capacidad de una organización pública o privada, lucrativa o no, de mantener sistemáticamente ventajas comparativas que le permiten alcanzar, sostener y mejorar una determinada posición en el entorno socioeconómico. Es la capacidad de posicionarse ventajosamente en el mercado, aún bajo condiciones sub-óptimas. (Águila, et al. 2018 [6]).

Por otra parte, Begazo plantea que la competitividad es la capacidad de poder abastecer a la economía de bienes y servicios que son mejores o más baratos que los de la competencia internacional. (Begazo, 2008 [4]). Mientras que Foulquié, afirma que la competitividad es el carácter de aquello que o de aquel que puede afrontar competencia con posibilidades razonables de éxito. (Foulquié, 2006 [16]). Además, Porter plantea el enfoque de ventaja competitiva como el valor que una empresa logra crear para sus clientes, y que supera los costos. Este valor corresponde a lo que los individuos están dispuestos a pagar y alcanza su expresión superior en la medida que los precios de oferta son más bajos que los ofrecidos por la competencia. (Porter, 2000 [17]). El mismo Porter sostiene que la competitividad pierde relevancia en el ámbito nacional, ya que los

principales países no están compitiendo entre ellos, pero puede ser extrapolado al contexto de empresas. Debido a las diferencias existentes, Águila et al. plantean que actualmente no existe consenso sobre su definición ni mucho menos su forma de medirla. (Águila, et al. 2018 [6]).

Debido a que no existe consenso sobre su definición, para efectos de este trabajo, se entenderá que un proyecto es competitivo cuando sus estimaciones sean menores al promedio de la industria tomando como base las definiciones de Águila, et al. y Begazo. Además, esta definición es tomada como base central del trabajo y a medida que se profundiza en otros conceptos técnicos durante las siguientes secciones, se evidenciará una forma más precisa de aplicar este concepto para lograr los objetivos buscados.

3.2 Etapas de un proyecto de inversión minero

Antes de evaluar la competitividad de un proyecto de inversión hay que entender cuáles son las fases y etapas que este debe surcar para poder llevarse a cabo. Se entenderá como proyecto de inversión a la decisión para estudiar, crear, reponer o ampliar capacidad de generación de bienes y/o servicios, o cerrar operaciones, coherente desde un punto de vista técnico y económico, pudiendo lograr el objetivo propuesto sin requerir de otras inversiones. (Silva, 2017 [18]).

En el contexto de la industria minera, este tipo de proyectos se estudian y se realizan generalmente bajo 3 situaciones, buscando:

- Asegurar continuidad operacional de los activos, para mantener la capacidad productivo actual de la empresa.
- Aumentar la capacidad de extracción utilizando y complementando la infraestructura existente.
- Generar una nueva infraestructura de alta inversión, buscando el máximo aprovechamiento factible técnico y económico de la infraestructura existente, que permita incorporar a la explotación minera reservas disponibles, no factibles de recuperar con la infraestructura existente en las condiciones en que esta se encuentra.

Generalmente, los proyectos de inversión en la industria minera del cobre comienzan con una fase de estudios en donde se detecta la oportunidad de negocio, se evalúa la viabilidad del proyecto y se define el alcance de este. Esta fase es también llamada pre-inversional debido a que el grueso de la inversión necesaria aún no ha sido comprometida. Proyectos de empresas mineras como

Codelco, deben pasar las siguientes etapas durante la fase de estudios o pre-inversional; (Agüero, 2018 [19]).

- **Generación y Análisis de la idea del Proyecto.**
- **Estudio a nivel de Perfil:** busca determinar el potencial de la oportunidad, los posibles riesgos del proyecto y la justificación estratégica.
- **Estudio de Prefactibilidad:** busca definir el mejor caso de negocio sobre la base de alternativas y la potencial viabilidad de este, evaluando diferentes métodos de extracción y producción, tecnologías, tamaños y capacidades.
- **Estudio de Factibilidad:** busca determinar si el mejor caso es técnica y económicamente viable según los criterios de aceptación y si el plan de ejecución es factible. Se define el alcance y plazo final del proyecto, evaluando aspectos comerciales, legales, financieros y medioambientales

Según Sergio Peñailillo, Gerente de Minas de Pascua Lama de la empresa Barrick [20], la duración de estos estudios para proyectos mineros a rajo abierto puede requerir una gran cantidad de años, debido a los requerimientos de diferentes ámbitos (medioambientales, económicos, técnicos, legales, etc.) que deben realizarse:

Tabla 5: Plazos asociados a un Proyecto Minero (Rajo abierto).

Fuente: Curso de minería para periodistas 2009, Barrick [20].

Ítem	Años
Descubrimiento hasta prefactibilidad	15
Prefactibilidad hasta factibilidad	6
Factibilidad hasta puesta en marcha	3,5
Puesta en marcha hasta producción normal	0,5
Total	25

Una vez terminada la etapa de factibilidad, la empresa debe determinar si el proyecto cumple o no todos los requerimientos, tanto técnicos, legales, sociales como económicos, para llevar a cabo su desarrollo. De continuar con el proyecto, se compromete la inversión necesaria para el resto de las fases (inversionales) del proyecto, que corresponden a: (Agüero, 2018 [19]).

- **Ejecución y puesta en marcha:** corresponde a la materialización del proyecto (construcción, montaje y puesta en marcha del nuevo activo), donde se busca capturar la promesa ofrecida privilegiando los aspectos de calidad, plazo, costo y sustentabilidad.
- **Operación:** consiste en que el nuevo activo entra en producción, siendo operado de acuerdo con el diseño aprobado del proyecto y en donde se realiza su escalamiento productivo hasta alcanzar su régimen de producción.
- **Cierre:** corresponde a las acciones que la empresa debe implementar para asegurar que las instalaciones queden estables una vez terminada la Faena Minera.

La operación de una faena minera es llamada vida útil del proyecto y corresponde al período de tiempo que un yacimiento será explotado. La duración de esta etapa puede variar, encontrando minas como Los Bronces Integrados (Anglo American) cuya aprobación considera una vida útil hasta 2036 o minas como Chuquicamata (Codelco) cuyo inicio de explotación data de más de centenario atrás.

Se puede observar que la decisión de realizar un proyecto minero es muy compleja, debido a que requiere comprometer una gran cantidad de capital para su funcionamiento y que su recuperación ocurrirá en un largo periodo de tiempo (vida útil del yacimiento), por lo que errores en el cálculo de beneficios o costos puede impactar la rentabilidad, disminuyendo los ingresos percibidos. Además, la parte encargada de la operación del proyecto es quien debe encargarse de administrar los recursos comprometidos correctamente, para se acerquen lo más posible con los recursos estimados inicialmente, mientras que la parte encargada de las estimaciones debe ser capaz de captar el alcance requerido para la operación del proyecto, estimando los recursos necesarios para poder llevarlo a cabo sin incurrir en gastos extras.

3.3 Estimación de costos en proyectos (CAPEX)

Uno de los aspectos más importantes para el desarrollo exitoso de cualquier proyecto a implementar, es generar estimaciones precisas sobre los costos necesarios para llevarlos a cabo, dado que estas determinaran el presupuesto asociado al proyecto, teniendo implicancias sobre el cronograma de este y la administración de los recursos comprometidos. Estas estimaciones permiten cuantificar de forma predictiva los costos, fijando precios y cantidades de los recursos requeridos por el alcance de una inversión, opción, actividad o proyecto. Según el libro “Skills & Knowledge of Cost Engineering” de ACEE International en 2012 [21], el resultado del proceso de estimación puede ser utilizado bajo muchos propósitos, tales como:

- Determinar la factibilidad económica de un proyecto.
- Evaluar entre alternativas de desarrollo.
- Establecer el presupuesto del proyecto.
- Entregar una base sobre el costo del proyecto y su cronograma.

Para ciertas industrias, como la minera, estas estimaciones son de suma importancia pues son proyectos que requieren que las mayores inversiones se realicen previo al inicio de operaciones, para obras de infraestructura de servicios y suministros, construcción de plantas de proceso y preparación de sectores del yacimiento para iniciar la extracción. Además, corresponden un componente que debe ser estudiado y aprobado en cada una de las etapas de la fase de estudio, debiendo ser aprobada al término de la etapa de pre-factibilidad y nuevamente al término de la etapa de factibilidad según los requerimientos del negocio.

Para realizar una buena estimación de costos, ACEE International recomienda seguir los siguientes pasos: [21].

- Comprender el alcance de la actividad para cuantificar los recursos requeridos.
- Aplicar costos a los recursos.
- Aplicar ajustes de precios.
- Organizar el output de una manera estructurada que apoye la toma de decisiones.

Generalmente al momento de realizar estas estimaciones de costos las empresas realizan una estructura de quiebre de trabajo o WBS (por sus siglas en inglés “Work Breakdown Structure”), que corresponde a una herramienta que divide el proyecto en componentes más pequeños y manejables, lo que también se conoce como descomposición del alcance. El nivel de detalle debe representar el alcance general del proyecto y generalmente se diseña a través de un procedimiento de arriba hacia abajo, es decir, el nivel superior es descompuesto en agrupaciones lógicas más pequeñas, seguido por el siguiente nivel. De esta manera, el nivel más bajo puede ser estimado, monitoreado y controlado (Siami-Irdemoosa et al. 2015 [22]). La **Figura 2** muestra un ejemplo de una estructura de quiebre a cuatro niveles:

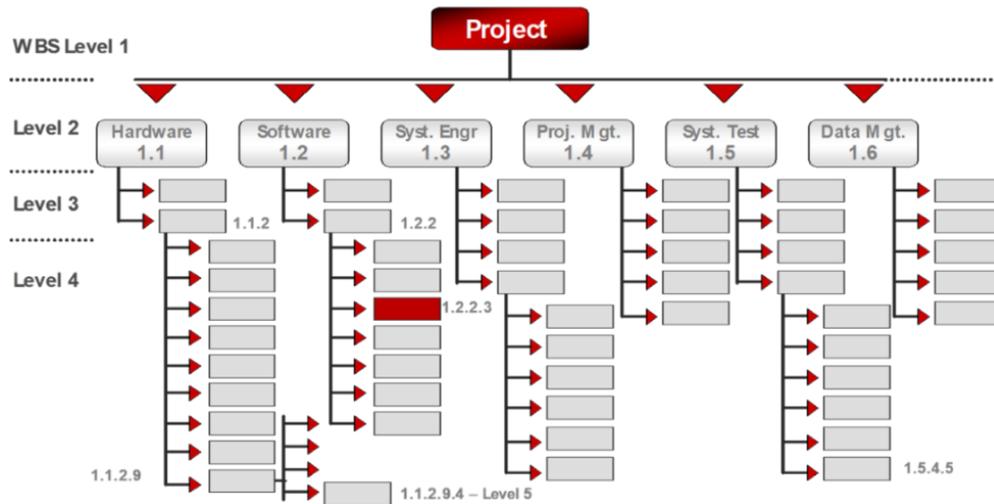


Figura 2: Estructura de quiebre a modo de ejemplo.

Fuente: Why Breakdown Structures Are a Must for Capital Projects Delivery?, 2018.[23].

A pesar de seguir estos pasos, a menudo las empresas subestiman lo que realmente se requerirá para completar el alcance del trabajo solicitado, experimentando los sobrecostos de capital asociados a partidas no consideradas dentro del alcance del proyecto, generando también atrasos y plazos incumplidos. Se recuerda que el sobrecosto de capital corresponde a la razón entre el costo final de construcción y el costo estimado aprobado al final de la etapa de factibilidad.

Sin embargo, según Morris & Hugh, los sobrecostos no son necesariamente la mejor medida del éxito del proyecto, dado que las condiciones del mercado pueden cambiar, haciendo que un proyecto siga siendo rentable, aunque exceda su presupuesto original o se complete más tarde de lo esperado (Morris & Hough, 1987 [24]). Lo verdaderamente interesante es lograr diseñar, estimar y gastar lo que realmente cuesta el proyecto a realizar, en base a lo realizado por el resto de las industrias a lo largo del mundo.

A modo de ejemplo, suponga que se tienen 3 proyectos dentro de un set de proyectos comparables: el Proyecto A con costos estimados de \$4,25 MUSD, el Proyecto B con costos estimados en \$3,5 MUSD y el Proyecto C con costos estimados en \$3,0 MUSD. La industria estimó que, en promedio, las empresas comprometen \$3,25 USD para la realización de este tipo de proyectos. Por otro lado, el coste real de los proyectos fue: \$4,0 MUSD para el Proyecto A, \$4,0 MUSD para el Proyecto B y \$3,75 MUSD para el proyecto C. Mientras que el coste real promedio de la industria es de \$3,5 MUSD. Resumiendo:

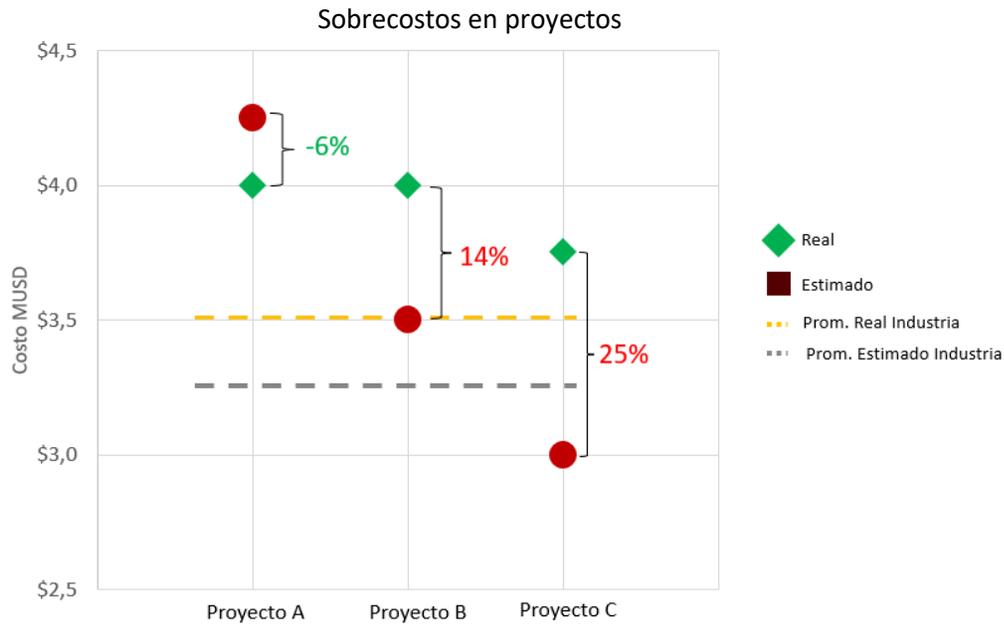


Figura 3: Análisis Sobrecostos en proyectos.
Fuente: Elaboración propia.

De la **Figura 3** se puede observar que el proyecto que más sobregiro posee, correspondiente al Proyecto C con 25%, es el proyecto que presentó las estimaciones y costos más cercanos al promedio de la industria, mientras que el proyecto que menos sobre giro posee, correspondiente al Proyecto A con -6%, tuvo estimaciones y costos reales por sobre los promedios del mercado. Teniendo en cuenta esto y la definición de competitividad planteada para este trabajo, se puede concluir que el proyecto más exitoso y competitivo de los tres corresponde al proyecto C pese a poseer el mayor sobregiro, mientras que el proyecto menos competitivo es el proyecto A que es el que menos sobregiro posee.

Bajo este ejemplo se puede apreciar la importancia de no solo analizar las estimaciones y costos reales de un proyecto en específico, si no también, analizar cómo se comporta bajo un conjunto de proyectos similares y comparables. Además, Edward Merrow, plantea que los proyectos que tienen altos índices de costo estimado tienden a tener peor desempeño de costo real, por lo que lograr estimaciones más cercanas al promedio de la industria, también se puede traducir en costos reales cercanos al promedio de la industria (Morrow, 2011 [25]). Debido a esto, es de interés estudiar la competitividad de los diseños de los proyectos a través de un estudio de sus costos, para así poder identificar en que partidas existen desperdicios que pueden ser revisados, logrando obtener diseños lean con estimaciones de costos competitivas.

3.4 Evolución del CAPEX durante un proyecto

A lo largo de cada una de las etapas de la fase de estudios, los análisis que se realizan van generando un aumento en el conocimiento de la oportunidad buscada o detectada, determinando cada vez de mejor manera las dimensiones, el alcance, los valores y costos de esta, por lo que también aumenta la confianza que la empresa tiene sobre su viabilidad. Lo anterior es resumiendo en la siguiente figura:

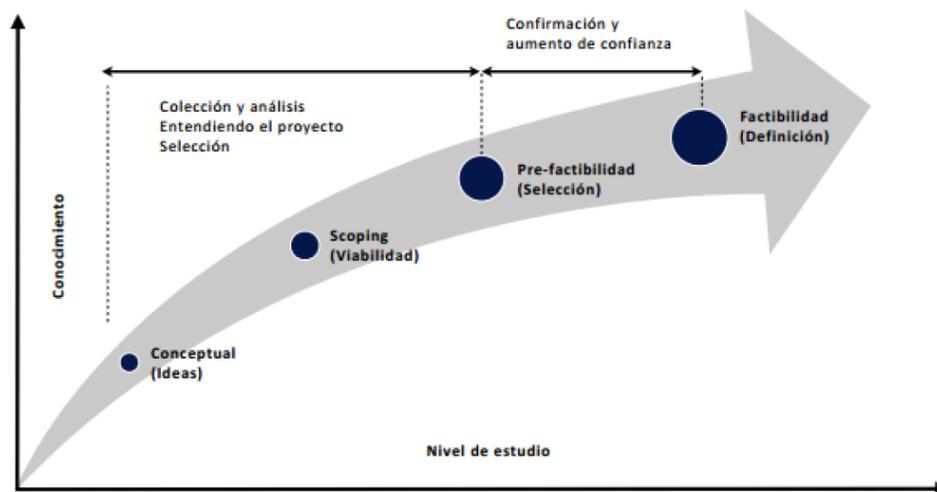


Figura 4: Proceso de los estudios pre-inversión.

Fuente: Memoria para optar al título de ingeniero civil de minas, Agüero. [19].

En el caso de la estimación de costos, su nivel de detalle y de precisión también va aumentando a medida que se avanza en cada una de las etapas, dado que, al tener mayor certeza sobre el alcance del proyecto, se posee más información sobre los equipos, infraestructura y recursos en general que se requerirán para su desarrollo. Por esto, AACE Internacional [26] define clases de estimación que van desde la Clase 5 a la 1, las que determinan cual es el estado de avance de la estimación de costos, definiendo usos y determinando rangos de precisión de estos.

Se debe mencionar que una estimación de costos de Clase 5 corresponde a un proyecto que se encuentra en su etapa de estudio inicial, por lo que su precisión es muy amplia, mientras que una estimación de costo de Clase 4 corresponde a un proyecto que se encuentra en etapa de prefactibilidad. Una estimación de Clase 3 corresponde a un proyecto que encuentra en etapa de factibilidad. Con respecto a las Clases 1 y 2, estas ocurren cuando el proyecto ya se está desarrollando, por lo que pueden alcanzar alta precisión y su principal uso es controlar costos y revisar el presupuesto. Resumiendo:

Tabla 6: Matriz genérica de clasificación de estimación de costos.

Fuente: Cost estimate classification system, AACE International. [26].

Clase de Estimación	Definición del proyecto	Uso	Precisión
Clase 5	0% a 2%	Proyección	L: -20% a -50% H: +30% a +100%
Clase 4	1% a 15%	Estudio	L: -15% a -30% H: +20% a +50%
Clase 3	10% a 40%	Autorizar presupuesto	L: -10% a -20% H: +10% a +30%
Clase 2	30% a 70%	Control	L: -5% a -15% H: +5% a +20%
Clase 1	50% a 100%	Revisar presupuesto	L: -3% a -10% H: +3% a +15%

Debido a las diferencias que existe en la precisión y definición del proyecto entre las diferentes clases que se observa en la Tabla 6, comparar proyectos con estimaciones en clases distintas podría entregar resultados erróneos, debido a que el detalle, la incertidumbre y la precisión varía entre estas.

Finalmente hay que recordar que, durante la etapa de ejecución y puesta en marcha del proyecto, pueden generarse cambios de alcance o aparecer riesgos no previstos inicialmente, dichos cambios pueden generar atrasos en el avance del proyecto, así como también aumentos de costos tanto en cantidad de horas hombre como en cantidad de materiales, equipos o infraestructura necesaria.

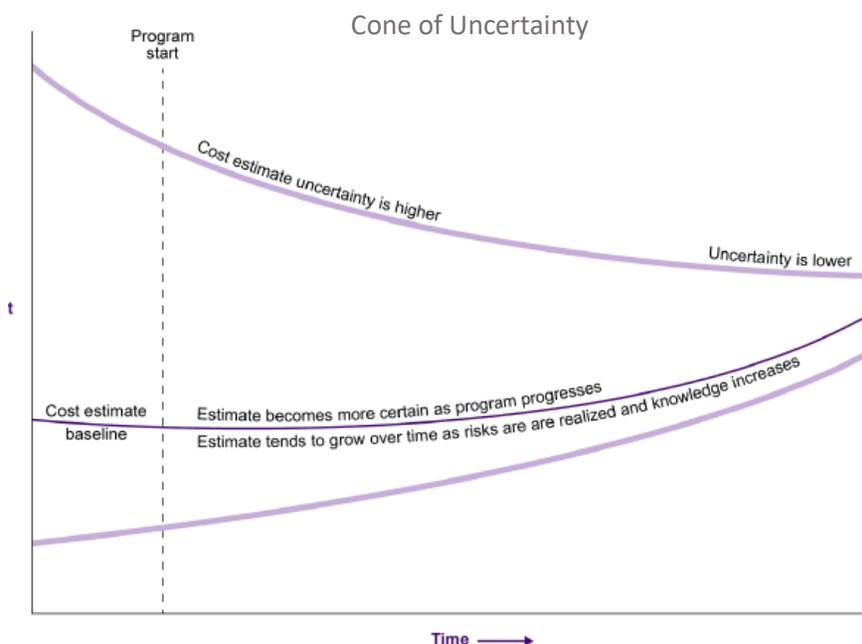


Figura 5: Cono de incertidumbre.

Fuente: GAO U.S. Government Accountability Office. [27].

La **Figura 5** resume lo anteriormente mencionado, mostrando como la incertidumbre se reduce a medida que se avanza en el programa definido del proyecto, a la vez que la estimación de costos aumenta debido a los nuevos riesgos detectados o el aumento del conocimiento del alcance real del proyecto. Como se vio en la sección anterior, el aumento de costos con respecto a la estimación base es algo que ocurre casi en la totalidad de los proyectos, sin embargo, ser capaces de lograr captar el real alcance buscado por el solicitante, con un diseño competitivo durante la fase de estudios, reduce la probabilidad que esto ocurra, debido al compromiso de recursos y la generación de planes de contención para los riesgos más probables.

3.5 Tipos de costos de un CAPEX

Una estimación de costos presenta principalmente dos tipos de costos, que según el libro “Skills & Knowledge of Cost Engineering” de AACE International en 2004 [21], son:

- a) **Costos Directos:** corresponde a los costos asociados a aquellos recursos que se gastan únicamente para completar la actividad o activo. En otras palabras, “Cualquier costo que se identifica específicamente con un objetivo de costo final particular, pero no necesariamente limitado a artículos que están incorporados en el producto final como material o mano de obra”. Generalmente se compone por la mano de obra directa, los costos indirectos del contratista, equipos y materiales necesarios para el desarrollo del proyecto.
- b) **Costos Indirectos:** corresponde a los costos asociados a aquellos recursos que deben gastarse para dar apoyo a la actividad o activo pero que también están relacionadas con otras actividades o activos. En otras palabras, “Cualquier costo no identificado directamente con un solo objetivo de costo final pero identificado con dos o más objetivos de costo final...”. Incluyen costos asociados a los estudios de ingeniería, estudios ambientales, y otros contratos requeridos. Incluye también, los costos asociados a la administración del proyecto por parte del contratista y todos los costos que dan apoyo a la construcción, que son necesarios para que la empresa pueda operar.

Estos costos pueden ser fijos, es decir, recursos que deban ser gastados sin importar el volumen de la actividad o activo a producir, o variables, es decir, que dependan del volumen de la actividad o activo. Además, los precios de los materiales y/o equipos pueden sufrir cambios durante el paso de los años, por lo que también se debe considerar la inflación (o deflación) y la escalación de estos, que corresponde a una provisión de costo en caso de aumente el valor de un equipo, material, mano de obra u otro por encima de lo especificado inicialmente.

Finalmente, se recuerda que al momento de realizar la estimación de costo existe cierta incertidumbre sobre lo que realmente termine ocurriendo al realizar el proyecto, por lo al momento de estimar se debe considerar recursos asociados a la partida “contingencia”, que cubran elementos, condiciones o eventos cuya ocurrencia y/o efecto es incierta, como puede ser cambio de alcance, huelgas, desastres naturales, y efectos de escalamiento o cambio de moneda. Este monto puede corresponder a un porcentaje del proyecto o puede calcularse utilizando análisis estadísticos, dependiendo en la etapa que el proyecto se encuentre.

3.6 Formas de detectar brechas en los diseños de los proyectos

Como ya se mencionó anteriormente, el foco del trabajo no se encuentra en entregar herramientas para mejorar la confección de una estimación de costos desde su concepción, si no que busca entregar una herramienta que permita detectar en que secciones del diseño ya existente no se está siendo competitivo, para poder estudiarlas y modificarlas en caso de ser necesario, buscando siempre obtener diseños con alcances lean correctamente definidos.

Para lograr este objetivo, aparecen principalmente tres formas que permitirían lograrlo:

1. **Uso de data histórica:** AACE International plantea que “una práctica fundamental de la ingeniería de costos es usar la data de proyectos pasados para planear proyectos futuros” [28]. Al utilizar información de proyectos pasados, se puede validar rendimientos, plazos, así como también cantidades de los recursos necesarios. Por otra parte, al tener información de proyectos finalizados, se puede aprender de los errores o buenas prácticas que estos realizaron para replicarlas en los proyectos futuros. El uso de data histórica corresponde a estudios de benchmarking internos.
2. **Compararse con la industria:** según Asset Performance Networks [29], realizar un benchmarking con respecto a la industria de los costos de un proyecto basando su enfoque en el alcance, puede proporcionar insights que permitan mejorar la competitividad de los diseños. El estudio plantea que tener una comprensión clara de cómo la productividad laboral de la construcción y costos indirectos del proyecto afectan al costo total del proyecto, puede ayudar a los equipos a entender las áreas de riesgo específico y permite medir el costo del proyecto con sus pares en la industria. Corresponden a estudios de benchmarking externo.
3. **Acudir a una mesa de expertos o empresa externa:** existen diversas empresas que durante años han generado sus propias bases de datos con información de proyectos de diversas empresas e industrias que facilitan su información para mejorar el desarrollo de

los proyectos, entregando información y métricas relevantes para estos. Encontrándose, por ejemplo, la empresa Independent Project Analysis [30], que cuenta con más de 21.000 proyectos, en más de 100 países y más de 550 compañías o la empresa Asset Performance Networks [31] que cuenta con información de 3.000 proyectos desarrollados principalmente en Norte América, Europa, Asia y África.

Ninguna de las tres opciones mencionadas se encuentra exenta de dificultades para su implementación, la primera presenta dos grandes dificultades, siendo la primera la necesidad de contar con una estandarización para realizar las estimaciones de costos de todos los proyectos, así como la toma de datos reales de estos, y la segunda a la necesidad de poseer información de diferentes proyectos para generar una base de datos robusta que permita usar data histórica de forma recurrente, lo cual puede conllevar una gran cantidad de años. AACE International entrega un ejemplo de formulario que permita solucionar el primer problema, segmentando los costos indirectos en subcategorías y los costos directos en disciplinas de construcción según el material asociado:

COST BREAKDOWN BY CODE OF ACCOUNTS			HOURS	COSTS (Round dollars as appropriate)		
PA	SA	Category	Actual	Labor \$	Material \$	Total \$
1		PROJECT MANAGEMENT				
	1	Secretarial, Administrative, Misc. PM Expense				0
	2	Project & Engineering Management				0
	3	Project Controls & Estimating				0
	4	Procurement & Contract Administration				0
		TOTAL - PROJECT MANAGEMENT	0	\$0	\$0	\$0
2		ENGINEERING & DESIGN SERVICES				
	1	Misc. Engineering Services & Expense				0
	2	Civil & Structural Engineering & Design				0
	3	Architectural Engineering & Design				0
	4	Process Engineering				0
	5	Mechanical & HVAC Engineering & Design				0
	6	Piping Engineering & Design				0
	7	Electrical Engineering & Design				0
	8	Process Control Engineering & Design				0
		TOTAL - ENGINEERING & DESIGN SERVICES	0	\$0	\$0	\$0
3		CONSTRUCTION FIELD INDIRECTS				
	1	Construction Management & Field Staff				0
	2	Temporary Construction Facilities				0
	3	Construction Services, Supplies, Consumables				0
	4	Field Office Expenses				0
	5	Construction Equipment, Small Tools				0
		TOTAL - CONSTRUCTION FIELD INDIRECTS	0	\$0	\$0	\$0
4		CONSTRUCTION				
	1	Civil & Site Preparation				0
	2	Concrete				0
	3	Structural Steel				0
	4	Buildings				0
	5	Equipment				0
	6	Piping				0
	7	Electrical				0
	8	Process Control & Instrumentation				0
	9	Coatings - Insulation, Paint, Fireproofing				0
		TOTAL - CONSTRUCTION	0	\$0	\$0	\$0
5		START-UP COSTS				
	1	Startup & Commissioning				0
	2	Catalyst & Initial Fills				0
		TOTAL - START-UP COSTS	0	\$0	\$0	\$0
6		OTHER COSTS				
	1	Spare Parts				0
	2	Demolition				0
	3	International Freight & Expense				0
		TOTAL - OTHER COSTS	0	\$0	\$0	\$0
7		CONTINGENCY, ESCALATION, MANAGEMENT RESERVE				
	1	Contingency, Escalation, Management Reserve				0
		TOTAL - CONTINGENCY, ESCALATION, MGMT RESERVE	0	\$0	\$0	\$0
		TOTAL PROJECT COSTS	0	\$0	\$0	\$0

Figura 6: Ejemplo de formulario para captar información de proyecto.

Fuente: Transforming Historical Project Data into Useful Information, AACE International [32].

Mientras que, para la segunda opción, la principal dificultad corresponde a la complejidad de acceder a la información de la competencia dada su sensibilidad, y que la estructura de trabajo que presente permita realizar análisis comparativos con los propios proyectos de la empresa. Finalmente, la tercera opción puede ser costosa y debido a no generar impactos inmediatos, puede ser vista como un costo no lucrativo ni estratégico al corto plazo.

3.7 Conceptos básicos asociados a Minería del Cobre

3.7.1 Minería a rajo abierto

Se entiende por minería a rajo abierto a aquellos aprovechamientos o explotaciones mineros que se desarrollan en la superficie del terreno, los que ocurren cuando los depósitos comercialmente útiles se encuentran cerca de la superficie (Herrera & Pla, 2006 [33]). Para llegar a estos depósitos se emplean medios mecánicos o explosivos, que remueven los materiales que no presentan interés económico (denominados estériles), y se transporta el material de interés (mineral) a las plantas de recuperación. El trabajo de remoción de material estéril es llamado prestripping y puede ser de gran magnitud, el ejemplo más recalable de la minería chilena corresponde al prestripping realizado para la explotación del yacimiento Ministro Hales que implicó la remoción de 238 millones de toneladas de material [34].

A continuación, se muestra el rajo de la División de Ministro Hales de Codelco:



Figura 7: Rajo División Ministro Hales.
Fuente: Codelco [34].

Muchas minas empiezan como minas de superficie y, cuando llegan a un punto en que es necesario extraer demasiado material de desecho por cada tonelada de mineral obtenida, empiezan a emplear métodos de minería subterránea.

3.7.2 Minería subterránea

Se entiende por minería subterránea a aquellos aprovechamientos o explotaciones mineros que se desarrollan por debajo de la superficie del terreno, los que son aplicados cuando la extracción a cielo abierto no es posible por motivos económicos, sociales o ambientales (Herrera & Pla, 2006 [33]).

Para desarrollar este tipo de minería se requiere la construcción de túneles, pozos, chimeneas y galerías que permiten lograr el posicionamiento requerido, así como también la ventilación necesaria para poder trabajar de forma segura. Debido a esto, las decisiones que se toman sobre su diseño, el método de extracción y la tecnología requerida se basan en consideraciones como el tipo de mineral, la orientación del yacimiento o las características geológicas subterráneas, haciendo que cada proyecto sea diferente a los anteriores.

Es un método más costoso en comparación a la minería de rajo abierto y más peligroso, debido a que el personal estará bajo constante riesgos de derrumbes o gases tóxicos. Sin embargo, debido a los continuos avances tecnológicos que se generan, diversos yacimientos pueden volverse rentables a través de este método a pesar de estar a grandes profundidades de la superficie del terreno.

A continuación, se muestra los niveles de explotación del Proyecto Mina Chuquicamata Subterránea (PMCHS), que luego de 100 años de explotación a rajo abierto pasará a ser explotada mediante minería subterránea.

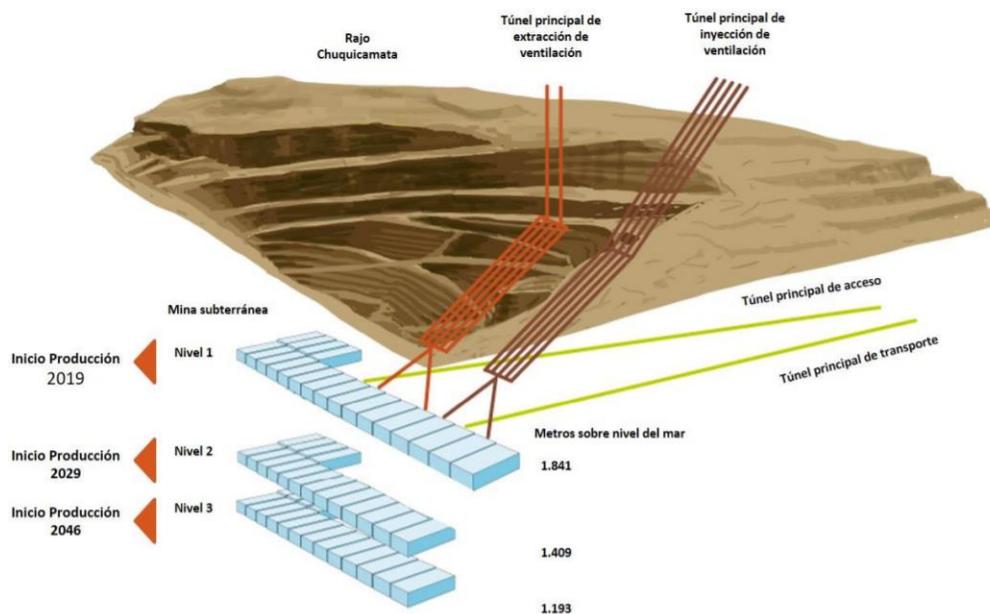


Figura 8: Niveles explotación PMCHS.

Fuente: Memoria para optar al título de ingeniero civil de minas, Mardones [35].

3.7.3 Proceso de procesamiento del cobre

Dependiendo de la posición del cobre extraído, este se encuentra en conjunto con Oxígeno (superficie) o con Azufre (no superficial), por lo que, dependiendo del tipo, se requería aplicar un proceso en específico para su procesamiento.

En el caso de cobres oxidados se requiere aplicar la técnica de hidrometalurgia, la cual, mediante reacciones físicas y químicas, extrae el cobre del resto del mineral, disolviéndolo en una solución ácida. Mientras que, para el procesamiento de cobres sulfurados, se aplica la técnica de pirometalurgia, en donde el cobre es obtenido y refinando mediante el uso de calor.

Ambas técnicas pueden ser resumidas mediante el siguiente cuadro, cuyo detalle se encuentra en la siguiente sección, utilizando como fuente la información Codelco Educa [36]:

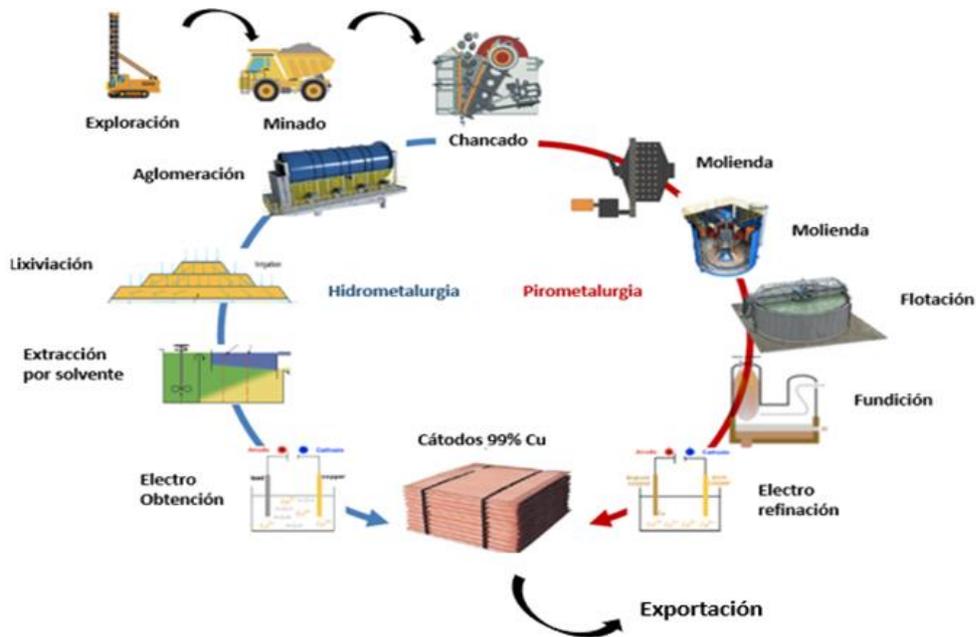


Figura 9: Proceso explotación del cobre.

Fuente: Curso MI3130 Minería Otoño 2020, FCFM U de Chile.

Posterior a la extracción del mineral, este es transportado mediante camiones o correas transportadoras a los puntos de chancado, que corresponden a equipos que reducen el mineral en partes más pequeñas. La etapa de chancado consta generalmente de tres chancadores, chancador primario, secundario y terciario, que van reduciendo de forma progresiva el tamaño del mineral. Posterior a esto, el mineral reducido es transportado a un punto de acopio que permite alimentar de forma continua a la siguiente etapa, según el tipo de cobre.

3.7.3.1 Procesamiento mediante Pirometalurgia

Tras chancar el mineral que contiene cobre del tipo sulfuros, este surca las siguientes etapas:

1. **Molienda:** en esta etapa el mineral es reducido llegando a una granulometría de 0,18 milímetros, a través de molinos de barras, bolas o SAG, que trituran el material logrando disminuir su tamaño. En esta etapa se puede agregar agua para conseguir una molienda homogénea y eficiente, generando una pulpa que es transportada a la siguiente etapa.
2. **Flotación:** es el proceso fisicoquímico de tensión superficial que separa los materiales sulfurados del metal de otros minerales y especies que componen la mayor parte de la roca original. Consiste en burbujear la pulpa con aire desde el exterior en enormes piscinas (llamadas celdas de flotación), moviéndola con un aspa giratoria, lo que aumenta el contacto entre las partículas de mineral y los reactivos agua y aire. De esta etapa se obtiene una pequeña cantidad de concentrado de cobre, que corresponde a una pulpa espesa con gran

porcentaje de cobre en ella, y una gran cantidad de relaves que consisten en roca molida, metales no recuperables y no rentables, productos químicos, materia orgánica y efluentes del proceso utilizado para extraer los productos deseados del mineral. El concentrado de cobre es llevado a la siguiente etapa, mientras que el relave debe ser depositado de forma segura y ambientalmente responsable.

Ambos procesos, así como también el chancado de mineral puede ser realizado en una única instalación llamada planta concentradora, que es un tipo de planta metalúrgica que tiene por objetivo el procesamiento del cobre, con el fin de obtener el concentrado de aquel. En el caso de utilizar molinos SAG, la planta concentradora puede no incluir la unidad de chancado debido a que para su alimentación solo se requiere el chancado primario, que es construido como una instalación aparte.



Figura 10: Planta Concentradora Chuquicamata.

Fuente: Codelco.

3. **Fundición:** al recibir la alimentación de concentrado de cobre, este es inicialmente secado para eliminar el agua proveniente de fases anteriores. Posteriormente es tostado eliminando parcialmente el azufre y el dióxido de azufre presente en el concentrado. Luego, se aumenta la concentración de cobre a través de la fusión, que consiste en una separación de fases de alta temperatura. A continuación, se somete el concentrado a la etapa de conversión, en donde se elimina el azufre y hierro restante mediante oxidaciones del baño fundido para obtener un cobre relativamente puro. Finalmente, el cobre pasa a una etapa de moldeo en donde adquiere la forma de acuerdo con el programa de comercialización. Principalmente

puede adquirir las formas de cobre blíster, el cual se comercializa, y como ánodo, para ser ingresado a una refinería y ser transformarlo en cátodo, que es el producto de mayor valor.

Esta etapa se realiza en las plantas de fundiciones que, en el contexto chileno, cuentan con tecnología relativamente antigua y que no han tenido aportes significativos o estructurales en los últimos 20 años, según el subsecretario de minería durante 2015, Ignacio Moreno [37]. Para 2019, se contaban con tan solo nueve plantas de fundición en Chile, que refinan el material extraído de distintas minas. Ejemplo de esto es la fundición de la División Ventanas de Codelco, en donde el 50% de su abastecimiento proveniente de los concentrados de los pequeños y medianos mineros desde la IV hasta la VI región, y la otra mitad de la Gran Minería (divisiones Andina y Teniente, y Anglo American) [38].



Figura 11: División Ventanas Codelco.

Fuente: Codelco.

4. **Electro refinación:** en esta etapa se colocan ánodos y cátodos de cobre de forma intercalada en celdas de concreto reforzado que son llenadas de un electrólito, que en contacto con una corriente continua va disolviendo los ánodos en cationes y electrones de cobre. Los últimos son conducidos hacia los cátodos a través del circuito, generando cátodos de cobre de 99,99 de pureza, los que finalmente son comercializados.

3.7.3.2 Procesamiento mediante Hidrometalurgia

Tras chancar el mineral que contiene cobre del tipo sulfuros, este surca las siguientes etapas:

1. **Aglomeración:** el material se mezcla con ácido sulfúrico concentrado y agua en tambores aglomeradores, que al girar por un periodo de tiempo pequeño logran que las partículas más finas se adhieran a partículas gruesas, mejorando la porosidad, oxigenación, permeabilidad y el escurrimiento de la solución de lixiviación en la pila.
2. **Lixiviación:** tras el proceso de aglomeración, el material se deposita en un patio o superficie de apoyo de la pila, el que debe ser impermeabilizado previamente para evitar filtraciones, formando un montículo continuo de 6 a 8 metros de altura, que se denomina pila de lixiviación. Encima se instala un sistema de riego por goteo y aspersores que cubren el área. Mientras que al costado inferior de las pilas se dispone un sistema de drenes que permiten recoger las soluciones que se infiltran a través del material. Mediante el sistema de riego se logra obtener una solución ácida en la superficie, que al escurrir disuelve los minerales oxidados formando una solución de sulfato de cobre que es recolectada por el sistema de drenes.



Figura 12: Esquema de pila de lixiviación.

Fuente: Esquema que describe el método de filtración en la pila. (López, 2012 [39]).

3. **Extracción por solvente:** la solución que proviene desde las pilas de lixiviación es sometida a un proceso de purificación y concentración de soluciones basada en la separación del elemento de interés, en donde se libra de impurezas y se concentra su contenido de cobre.
4. **Electro obtención:** la solución electrolítica que contiene el sulfato de cobre, obtenida a partir de la etapa de extracción por solvente, es depositada en celdas que contienen placas madre de ánodos y cátodos. Al hacer circular una corriente eléctrica de baja intensidad se logra mediante electrólisis, que los iones de cobres presentes en la solución sean atraídos a los cátodos, logrando cátodos electro-obtenidos con una pureza de cobre de un 99,9%.

3.7.4 Depósito de relaves

Como se mencionó anteriormente, del proceso de flotación de minerales de cobre sulfurados se obtiene como resultado una gran cantidad de relaves, por lo es necesario contar con una obra de ingeniería diseñada para satisfacer exigencias legales nacionales, de modo que se aíse completamente los sólidos (relaves) depositados del ecosistema circundante.

Actualmente, existen varios tipos de depósitos de relaves según SERNAGEOMIN [40], que varían según la cantidad de agua que acompaña al relave, principalmente son:

- a) **Tranque de relave:** depósito en el cual el muro es construido por la fracción más gruesa del relave.
- b) **Embalse de relave:** depósito donde el muro de contención está construido de material de empréstito (tierra y rocas aledañas) y se encuentra impermeabilizado en el coronamiento y en su talud interno. Este muro es construido por etapas sucesivas, logrando aumentos de altura que permiten ir prologando la vida del embalse.
- c) **Relave espesado:** depósito donde la superficie es sometida previamente a un proceso de sedimentación, que favorece la sedimentación de los sólidos, con el objetivo de retirar parte importante del agua contenida, la que puede ser reutilizada.



Figura 13: Ilustración depósito de relaves.

Fuente: Departamento de depósito de relaves, Gobierno de Chile [41].

A agosto de 2020, SERNAGEOMIN ha visitado y mostrado 757 depósitos de relaves en el territorio nacional, de los cuales 112 se encuentran activos, 467 inactivos, 173 abandonados y 5 en construcción [42].

3.7.5 Botaderos de estériles

SERNAGEOMIN define un botadero de estéril como el espacio geométrico en el cual se depositan los materiales rocosos estériles provenientes de una operación minera, bajo técnicas que aseguren un bajo costo de llenado y estabilidad de la masa en el tiempo, todo enmarcado en normas ambientales que eviten daños irreparables [43].

En la minería actual, debe extraerse una gran cantidad de metros cúbicos de estéril para poder llegar a donde se encuentra la roca con el mineral de interés, los que deben estar considerados al momento de evaluar costos de transporte, así como su posterior disposición. Actualmente, predominan dos tipos de diseños estandarizados de botaderos (Cifuentes, 2019 [44]). En el caso de desarrollo minero subterráneo, se pueden construir botaderos en los cráteres formados por la subsidencia generada por la explotación minera.

1. **Botaderos en laderas:** los residuos son dispuestos en una ladera circundante al sector de construcción o explotación. Permite aprovechar la pendiente de la ladera y puede ser realizada de manera uniforme y secuenciada.
2. **Botaderos en pilas o tortas:** al no disponer de laderas cercanas o laderas que tengan la aprobación desde el punto de vista ambiental, los botadores son construidos en forma en pilas o tortas de acopio.

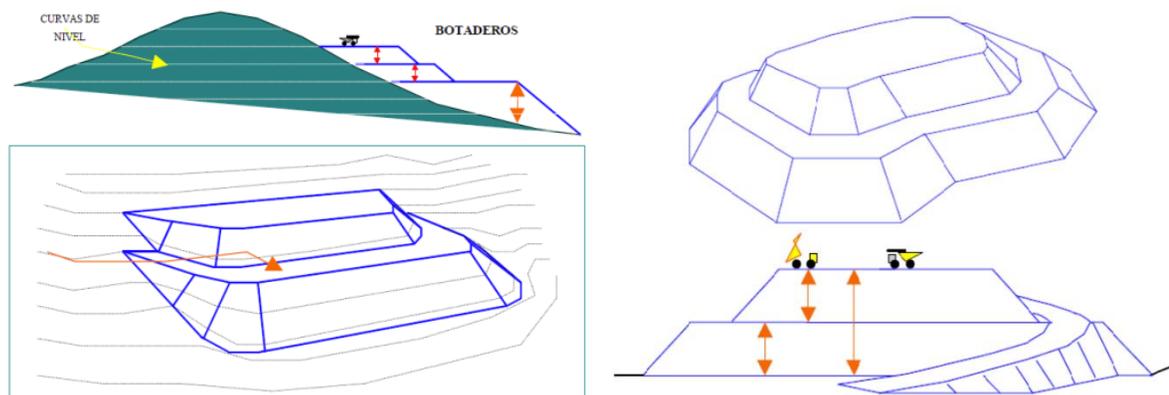


Figura 14: Botaderos en ladera (izquierda) y en tortas (derecha).
Fuente: Optimización de las distancias de transporte mediante la ubicación y diseño de botaderos en minera Antucoya, Cabello [45].

Para término de 2019, en Chile se contaba con un total de 1246 botaderos, de los cuales 1185 son de proyectos mineros metálicos, principalmente de la minería del cobre, oro y plata (Cifuentes, 2019 [44]).

3.8 Conceptos asociados a Indicadores

3.8.1 ¿Qué son los KPI's?

El término “KPI's” proviene de sus siglas en ingles “Key Performance Indicators” y su objetivo es permitir reunir información y explorar la forma de mejorar el rendimiento y así lograr las metas de una organización. Estos indicadores son muy importantes para planear y controlar procesos en base a información de apoyo, creando transparencia y apoyando a los tomadores de decisiones de la gestión. Sin embargo, muchas compañías trabajan con los indicadores incorrectos a los que llaman KPI's de forma errada, debido a que pocas organizaciones se dan el trabajo de entender lo que realmente es un KPI (Badaway et al. 2016 [46]).

Wei Peng divide los KPI's en tres tipos:

1. **Indicadores del tipo “leading”:** corresponden a indicadores que miden las actividades que tienen un efecto significativo en el rendimiento futuro, que son raíces causales del resultado en el que influyen.
2. **Indicadores del tipo “lagging”:** corresponden a indicadores que miden el resultado de actividades pasadas.
3. **Medida de diagnóstico:** corresponden a un KPI que no es del tipo “leading” ni “lagging”, pero que señala la salud del proceso o actividad.

En el estudio de Badawy et al, plantean que los indicadores del tipo “leading” son métricas muy poderosas debido a que entregan relaciones causales predictivas y autorizan el camino a seguir para continuar mejorando el proceso. Debido a esto, plantean que crear KPI's efectivos del tipo leading, es importante para el éxito de cualquier organización de negocio pero que, para esto, se requieren meses para evidenciar necesidades, medir definiciones y reglas, seleccionar métricas preferidas, etc.

A su vez, identifican que los KPI's presentan las siguientes características: deben ser acotados, desglosables, referenciables, validados por el equipo, alineados entre sí, afectando a uno o más de los FCE y correlacionados a resultados deseados, teniendo un responsable claro y tiempo de medición definido, entre otras.

Finalmente señalan que las formas de seleccionar KPI's utilizadas en la literatura pueden ser agrupadas en tres tipos: (Badaway et al. 2016 [46]).

1. **Enfoque manual:** corresponden a estudios aplicados que seleccionan KPI's en base a cuestionarios, ranking según importancia de expertos, significancia estadística u otro método práctico sobre un caso o industria en específico.
2. **Enfoque selectivo:** corresponde a metodologías o sistemas semi automáticos que permiten determinar KPI's de manera secuencial, utilizan técnicas de data mining, machine learning, etc.
3. **Enfoque predictivo:** corresponden a modelos que utilizan técnicas de predicción para obtener los KPI's correspondientes, como, por ejemplo: reglas de asociación, sistemas de modelo dinámico, procesos de jerarquía analítica, etc.

3.8.2 Tipos de Indicadores

Existen un gran número de indicadores que se pueden generar a partir de los diseños de los proyectos evaluando sus estimaciones de costos como también sus costos reales. Sin embargo, estos no pueden funcionar sin una estructura de desglose de trabajo que permita capturar la información del proyecto, como la mostrada en la **Figura 6** de la **Sección 3.6**. Idealmente, la estructura debe ser la misma en los procesos de estimación, planificación y el control del proyecto [32]. Para efectos de esta sección, será utilizada la estructura de quiebre mencionada anteriormente como base.

Por otra parte, hay que recordar que los principales costos que posee un proyecto corresponden a los costos directos, costos indirectos y contingencia. Los costos directos corresponden a los materiales, equipos, mano de obra y los costos indirectos del contratista que contribuyen directamente a la materialización de la obra física, mientras que los costos indirectos corresponden a los gastos adicionales que deben realizarse para el desarrollo del proyecto que no contribuyen directamente a la materialización de la obra física. En cuanto a las contingencias, corresponden a montos que permiten cubrir imprevistos o partidas no consideradas al momento del desarrollo del estudio.

Así, los indicadores pueden ser confeccionados a un nivel general que permita realizar evaluaciones rápidas de alto nivel o, por otra parte, ser generados a un nivel de detalle que permita apoyar la revisión y mejoramiento de los estimados.

Algunos indicadores a nivel general son del tipo [47]:

- **Ratios de costo total del proyecto:** corresponde a las razones del costo de cada subparte del proyecto con el costo total del proyecto. Algunos indicadores de estos tipos son:

Tabla 7: Ejemplos indicadores de ratio de costo total.

Detalle	
(1) $\frac{\text{Costos Indirectos}}{\text{Costos Totales}}$	(4) $\frac{\text{Costos de Materiales}}{\text{Costos Totales}}$
(2) $\frac{\text{Costos Directos}}{\text{Costos Totales}}$	(5) $\frac{\text{Costos de Equipos}}{\text{Costos Totales}}$
(3) $\frac{\text{Costos de Ingeniería de detalle}}{\text{Costos Totales}}$	(6) $\frac{\text{Costos de Administración}}{\text{Costos Totales}}$

- **Ratios de equipamiento:** corresponde a las razones del costo de cada subparte del proyecto con el costo total del equipamiento del proyecto.

Tabla 8: Ejemplos de indicadores de ratio de costo de equipo.

Detalle	
(7) $\frac{\text{Costos Indirectos}}{\text{Costos de Equipos}}$	(10) $\frac{\text{Costos de Materiales}}{\text{Costos de Equipos}}$
(8) $\frac{\text{Costos Directos}}{\text{Costos de Equipos}}$	(11) $\frac{\text{Costos de Construcción}}{\text{Costos de Equipos}}$
(9) $\frac{\text{Costos de Ingeniería de detalle}}{\text{Costos de Equipos}}$	(12) $\frac{\text{Costos de Administración}}{\text{Costos de Equipos}}$

- **Ratios de costos indirectos:** corresponde a las razones del costo de cada subparte con los costos indirectos totales.

Tabla 9: Indicadores de ratio de costos indirectos.

Detalle	
(13) $\frac{\text{Costos de definición de proyecto}}{\text{Costos Indirectos}}$	(15) $\frac{\text{Costos de Administración}}{\text{Costos Indirectos}}$
(14) $\frac{\text{Costos de Ingeniería de detalle}}{\text{Costos Indirectos}}$	

- **Otros ratios de costos:** indicadores varios.

Tabla 10: Ejemplo de indicadores varios.

Detalle			
(16)	$\frac{\text{Costos Indirectos}}{\text{Costos Directos}}$	(18)	$\frac{\text{Costos Indirectos}}{\text{Costos Materiales}}$
(17)	$\frac{\text{Costos Directos}}{\text{Costos de Materiales}}$		

Mientras que algunos indicadores a nivel detallado son del tipo [48]:

- **Horas de Ingeniería / Cantidad de material:** corresponde a las horas de ingeniería por unidad de cantidad de material asociado con esa disciplina de ingeniería. Son útiles en la validación ascendente de las cuentas de la disciplina de ingeniería. Ejemplos de estos indicadores son: horas de ingeniería de piping por metro lineal de piping, horas de ingeniería de concreto por metro cúbico de concreto, horas de ingeniería de acero por tonelada de acero, etc.
- **Horas Unitarias:** corresponde a las horas de construcción por unidad de cantidad de material para cada oficio de construcción. Son útiles en la validación ascendente de las cuentas de la disciplina de la construcción. Ejemplos de estos indicadores son: horas de construcción de piping por metro lineal de piping, horas de construcción de concreto por metro cúbico de concreto, horas de construcción de acero por tonelada de acero, etc.
- **Ratios de cantidad de material:** corresponde a la relación entre una cantidad de material y otra. Son útiles para validar las cantidades de material requeridas para respaldar los principales equipos de proceso. Ejemplo de estos indicadores son: metros lineales de piping por pieza de equipamiento, toneladas de acero por metro lineal de piping, metros cúbicos de concreto por tonelada de acero, etc.
- **Costo unitario total:** corresponde al costo total de construcción por unidad de cantidad de material para cada disciplina de construcción. Son útiles para validar las cuentas de nivel de disciplina para contratos de tarifa unitaria. Ejemplos de estos indicadores son: costo total de construcción de piping por metro lineal de piping, costo total de construcción de concreto por metro cúbico de concreto, costo total de construcción de acero por tonelada de acero, etc.
- **Costo unitario de material:** corresponde al costo total del material por unidad de cantidad de material para cada disciplina de construcción. Ejemplos de estos indicadores son: costo

total de material de piping por metro lineal de piping, costo total de material de concreto por metro cúbico de concreto, costo total de material de acero por tonelada de acero, etc.

Por otra parte, existe el indicador llamado “Intensidad de Capital” que corresponde a la cantidad de capital requerido en relación con otros factores de producción. Sin embargo, es un indicador que debe ser utilizado con mucho cuidado pues puede no estar relacionado con la actividad económica real debido a que sus costos pueden aumentar debido a la inflación [49].

Todos los indicadores anteriormente mencionados pueden ser calculados en su fase de estudios, siendo indicadores del tipo “leading”, como también al momento de terminar de realizar el proyecto a modo de revisión de presupuesto, siendo indicadores del tipo “lagging”. Sin embargo, al comparar información real con información estimada hay que tener presente que los costos y cantidades reales tienden a ser mayores al estimado, dado que la información real incluye los impactos de los riesgos, lo cual debe ser considerado al momento de realizar el análisis. Además, toda la información debe ser normalizada para considerar sesgos asociados a los años en que el proyecto fue desarrollado.

De la misma manera se puede mezclar las fuentes de información para generar indicadores como:

- **Costo Real / Costo Estimado:** corresponde al sobre costo de capital, mostrado anteriormente y evidencia las desviaciones en costos del estimado inicial.
- **Duración Real / Duración Estimada:** evidencia la desviación del cronograma real en comparación al cronograma inicial.

En cuanto a la cantidad de KPI's óptimos a medir, la revista “Guide to key performance indicators” de la empresa Price Water House Coopers [50] plantea que, en base a su experiencia, que “entre 4 y 10 indicadores es probable que sean clave para la mayoría de los tipos de empresa”.

4. Metodología

La importancia de medir la competitividad de los diseños de los proyectos está en que su éxito se define durante la fase de estudios, recordando que el lograr un buen entendimiento del proyecto con alcances lean, estimaciones de costos y plazos realistas durante esta fase, aumenta las probabilidades de éxito de este. El lograr mejorar la competitividad en los diseños a través de un estudio de sus costos, permitiría alinear el alcance del proyecto con el requerido por el negocio,

detectando desviaciones y reduciendo a su vez, la probabilidad que aparezcan partidas no consideradas o imprevistos durante la ejecución del proyecto. Gracias a esto, se reduciría la probabilidad de tener sobregiros en la ejecución, incumplimientos de plazos y la necesidad de realizar cambios de alcances o estudios ya realizados anteriormente. Para generar el sistema de comparación que mida la competitividad de los diseños, se identifican 3 pasos secuenciales a definir: los usos del sistema de comparación, la segmentación de los tipos de proyectos mineros y la selección de los indicadores a utilizar.

4.1 Usos del sistema de comparación

Para definir los usos que el sistema de comparación tendrá, se trabaja en conjunto al equipo de Diseño Lean y Programación de Control de la empresa auspiciadora, para lograr capturar todas sus necesidades y expectativas del trabajo, buscando poder entregar información valiosa a medida que se valida la propuesta a generar. Así, tras entender las fases de un proyecto, se estudian los procesos internos de la empresa auspiciadora, identificando los puntos claves en donde la estimación de costos tiene un rol determinante en el desarrollo del proyecto, y en base a estos, se definen los usos esperados que el sistema de comparación debe facilitar.

4.2 Segmentación de tipos de proyectos mineros

Dado que los alcances de los proyectos mineros pueden variar en demasía entre sí, es necesario conocer cómo se componen y que es lo que efectivamente se puede comparar entre ellos. Para lograr esto, se trabaja en conjunto al equipo de Diseño Lean y Programación de Control de la empresa auspiciadora, cruzando la información de la estructura de desglose del trabajo que utiliza la empresa para sus estimaciones con la literatura estudiada sobre los tipos de proyectos mineros.

4.3 Selección de indicadores

Definidos los usos del sistema de comparación y generada la segmentación de los proyectos mineros según su tipo, es necesario seleccionar los KPI's que mejor se adapten para la obtención de estos objetivos. Para estos efectos, el equipo de Programación y Control de la empresa auspiciadora facilita un set de CAPEX de diversos proyectos para ser estudiados en base a los indicadores mencionados en la **Sección 3.8.2**. Para la selección de indicadores, se utiliza un enfoque manual en base al estudio de los CAPEX facilitados, y en base a los usos definidos. Además, se utilizarán indicadores del tipo “leading”, “lagging” o una combinación de ambos.

En cuanto a la cantidad de KPI's a medir, se utiliza como base lo planteado en la revista "Guide to key performance indicators" de la empresa Price Water House Coopers [48] en donde sugieren, en base a su experiencia, "que entre 4 y 10 indicadores es probable que sean clave para la mayoría de los tipos de empresa". Así, se define como límite máximo 10 indicadores a medir.

Para la definición de rangos óptimos o cotas para los indicadores seleccionados, se solicita apoyo de expertos de la misma empresa auspiciadora o se utiliza información proporcionada por la empresa externa mencionada anteriormente.

5. Desarrollo

En esta sección se desarrollan los pasos descritos en el **Capítulo 4** utilizados para confeccionar el sistema de comparación en base a indicadores. Se comienza con la definición de los usos esperados de este, continuando con la segmentación de los proyectos mineros según su tipo y finalmente con la selección de los indicadores a partir del estudio de las estimaciones de un set de proyectos facilitados por la empresa auspiciadora.

5.1 Usos de los indicadores

Existen dos momentos cruciales en donde las estimaciones de costos juegan un rol fundamental en el desarrollo de un proyecto, dado que deben ser aprobadas para poder continuar con la siguiente etapa de este. El primero ocurre al término de la etapa de prefactibilidad y el segundo, al término de la etapa de factibilidad. Por otra parte, al completar la ejecución de un proyecto, se tienen las cantidades y costos reales que se requirieron para el desarrollo de este, permitiendo identificar las consecuencias de su diseño.

Sin embargo, se debe recordar que las estimaciones de costos presentan distinta incertidumbre, definición, precisión y objetivos, según la etapa en que se encuentren, como fue detallado en la **Tabla 6** de la **Sección 3.4**. Por lo que, si se busca comparar proyectos, estos deben encontrarse (idealmente) en la misma fase o en el caso de ser un proyecto finalizado, contar con la información de la fase correspondiente. No obstante, se evidenció en la práctica que contar con la información de las fases de estudios de proyectos que actualmente se encuentran en ejecución o ya fueron finalizados era muy complejo, debido a la cantidad de años que han transcurrido desde su aprobación.

Así, el sistema de comparación puede ser creado a partir de dos fuentes de información: con información de las etapas preinversionales (prefactibilidad y factibilidad) y con información de costos reales de proyectos ya finalizados.

Tomando en cuenta lo expuesto en la **Sección 3.4**, y recordando que el objetivo del trabajo es entregar herramientas que permitan alinear el alcance durante las fases de estudios, así como la imposibilidad de acceder a la información de las fases de estudios de los proyectos ya finalizados por parte de la empresa auspiciadora, se decide generar la metodología con la primera fuente de información pudiendo incluir la información real de dichos proyectos en trabajos posteriores.

De esta manera, se proponen cuatro usos para el sistema a generar:

1. **Evaluar la competitividad del diseño:** el principal uso que se busca lograr a través de este sistema de comparación en base a indicadores es ser utilizado como un “termómetro” que permita identificar, de manera general, en que partidas el proyecto no es competitivo en comparación a sus pares, para así orientar el uso de las técnicas de incremento de valor y lograr de esa manera, alinear el diseño al mínimo alcance con una estimación de costos que cumpla estrictamente los requerimientos del negocio. Este uso debe darse durante toda la etapa de prefactibilidad, en donde el proyecto a comparar es evaluado continuamente con otras estimaciones de costos terminales de dicha fase, es decir, estimaciones de prefactibilidad ya aprobadas para la etapa de factibilidad. Cada vez que un proyecto modifique una estimación de costo en etapa de prefactibilidad, debe ser evaluado por el área de Diseño Lean y/o Control de Proyecto.
2. **Validación del estimado:** la metodología a generar debe ser capaz de validar la estimación del presupuesto al término de la etapa de factibilidad, es decir, debe entregar información relevante a partir de la comparación de estimaciones de CAPEX finales de la etapa de factibilidad, con otros CAPEX ya aprobados anteriormente para la ejecución del proyecto. Esta revisión debe ocurrir cuando un proyecto se encuentre al término de su etapa de factibilidad, siendo utilizado por el área de Diseño Lean y/o Control de Proyecto.
3. **Estimación referencial de costos del proyecto:** la metodología debe entregar una herramienta que permita conceptualizar un valor referencial del diseño de un proyecto que se encuentre en la etapa inicial de la fase de estudios (etapa de perfil). Se busca tener un primer acercamiento al posible valor de un proyecto, sin mayores estudios previos, solamente tomando como base proyectos anteriores. Al existir proyectos mineros que dependen de características específicas del mismo, como puede ser la topografía en el caso de proyectos de minería subterránea y de movimiento de tierra, la herramienta solo podrá ser aplicada para los tipos de proyectos que lo permitan. Por otra parte, debe ser alimentada

con la inversión a comprometer, es decir, la estimación de costos aprobada al término de la etapa de factibilidad.

- 4. Seguimiento entre etapas:** finalmente, la metodología propuesta debe permitir realizar un seguimiento de un mismo proyecto en sus diversas etapas de estudios, para comprender que partidas fueron modificadas para lograr cubrir el alcance buscado.

Resumiendo, se tiene que los usos buscados son:

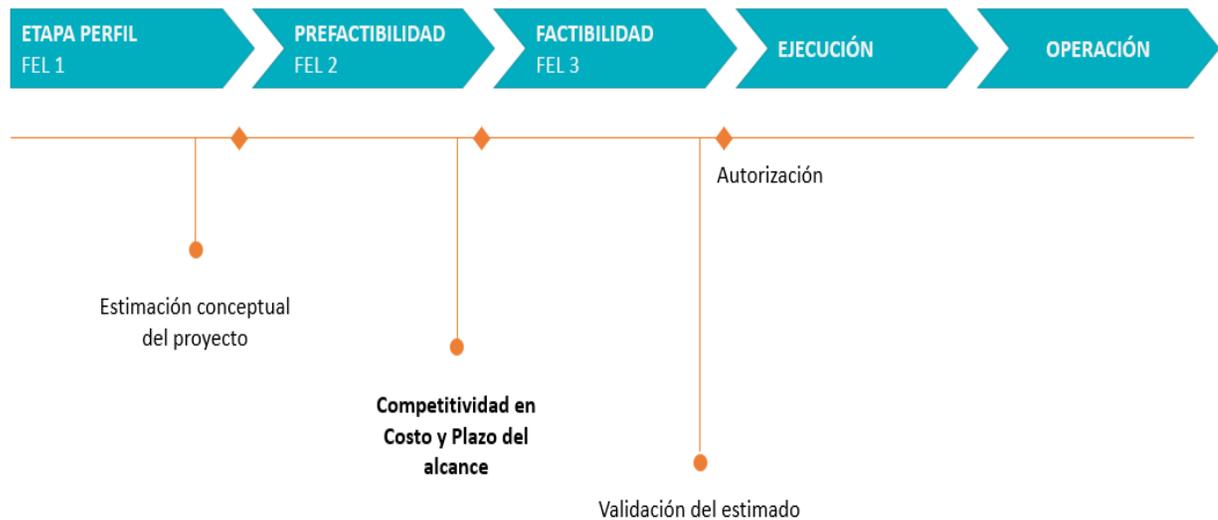


Figura 15: Usos de la metodología propuesta.

Fuente: Elaboración propia.

Se debe tener en consideración que la generación de una base de datos es un proceso continuo y que requiere una gran cantidad de recursos, puesto que recolectar y procesar la información de los proyectos puede ser un proceso engorroso, debido a que pueden presentar una estructura de desglose de trabajo diferente entre sí. Además, la cantidad de proyectos que son desarrollados a nivel nacional es acotado, contando con 35 proyectos en fases de estudios para los próximos 10 años, los que serán desarrollados por distintas empresas dificultando poder acceder a su información [11].

Por lo detallado anteriormente, se espera que este trabajo muestre la importancia de poseer una estructura de desglose de trabajo común para todos los proyectos de una misma empresa, así como la colaboración activa entre empresas, de manera que compartir información sensible sea posible para así lograr proyectos más competitivos y exitosos.

5.2 Segmentación de proyectos mineros

La empresa auspiciadora utiliza una estructura de desglose del trabajo que consta de dos agrupaciones con sus respectivos niveles: Facilities que corresponde a la descomposición física del proyecto y Commodities que corresponde al trabajo físico que se está realizando, que será detallado en la siguiente sección.

En cuanto a los Facilities, estos son:

Tabla 11: Facilities a Nivel 1.

Fuente: Empresa auspiciadora.

Nivel 1	Descripción
1000	Minería de Superficie
2000	Minería Subterránea
3000	Plantas de Procesos
4000	Transporte y almacenamiento (Producto Final)
5000	Infraestructura de servicios /suministros
6000	Instalaciones temporales de construcción
7000	Servicios Indirectos Generales
8000	Gestión del Gestor / Ejecutor/ VP / Proyecto/División
9000	Contingencias

De la **Tabla 11**, se puede apreciar que la estructura de desglose del trabajo de la empresa auspiciadora sigue la misma línea que el estudio del arte señala, haciendo relación a los mismos conceptos: el Nivel 1000 corresponde a todos los costos asociados a minería de superficie, incluyendo el prestripping de ser necesario, el Nivel 2000 a los costos asociados a todo trabajo, tarea, infraestructura y equipo destinado a la extracción del mineral y a la construcción de la mina subterránea. Mientras que el Nivel 3000, corresponde a todos los costos dentro de los procesos de la industria, considerando: chancado, stockpile, concentradora, plantas de lixiviación, plantas electro refinación, plantas de pirometalurgia entre otras. En cuanto a los niveles 4000 y 5000 corresponden a los todos los costos asociados a transporte de mineral e infraestructura respectivamente. Todos los niveles anteriormente mencionados corresponden a los costos directos del proyecto, mientras que los siguientes niveles corresponden a los costos indirectos (Niveles 6000, 7000, 8000) del proyecto y las contingencias (9000).

Tomando en consideración la biografía revisada, la estructura de quiebre mencionada anteriormente y la opinión de expertos de la empresa auspiciadora, se procede a segmentar los proyectos mineros en tres tipos:

- **Proyectos de Movimiento de Tierra:** corresponde a todos aquellos proyectos en donde se requiera la extracción o el movimiento de grandes cantidades de tierra para poder acceder al mineral deseado (prestripping), para crear o aumentar la capacidad de un depósito que contenga un material proveniente de la producción de la mina (peralte depósito de relaves o de estériles).
- **Proyectos de Infraestructura/ Planta:** son todos aquellos proyectos mineros en donde se requiera generar una infraestructura nueva o complementaria a la existente con alto nivel de inversiones, para lograr la explotación de un nuevo yacimiento o mejorar instalaciones ya existentes. Se compone principalmente por proyectos de plantas concentradoras, pilas de lixiviación, sistema de transporte de material y otro tipo de plantas menos comunes como son las plantas tostadoras, plantas de fundición, plantas electro refinación, plantas de pirometalurgia, chancadores primarios, entre otras.
- **Proyectos de Minería Subterránea:** corresponde a todo trabajo, tarea, infraestructura y equipo destinado a la extracción del mineral y a la construcción de la mina subterránea. Estos trabajos se realizan siguiendo una secuencia de preparación de área a tratar, debiendo generar desarrollos (tanto verticales u horizontales) para posicionarse cerca del mineral deseado. Además, puede incluir la construcción de un sistema de transporte de mineral dentro de la mina subterránea, así como infraestructura general para su funcionamiento.

Resumiendo, los proyectos se clasifican con una estructura de desglose de trabajo a dos niveles:

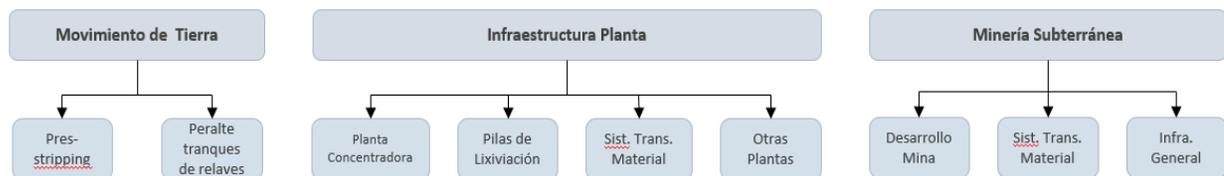


Figura 16: Tipo de Proyectos Mineros a Nivel 2.

Fuente: Elaboración propia.

Tras realizar esta segmentación se debe notar que, si bien es posible generar un desglose de los costos directos según el tipo de proyecto, gracias a la estructura de desglose de la empresa auspiciadora, esto no necesariamente se cumplirá para el desglose de los costos indirectos, debido a que estos pueden ser recursos que deberán incurrirse sin importar la parte del proyecto que se desee realizar, pudiendo compartir recursos para diversos desarrollos. Esto debe ser tomando en cuenta al momento de seleccionar los indicadores, puesto que, si se quiere hacer un análisis profundo de un tipo de proyecto en específico, solo se deben considerar los costos directos al momento de compararlos con otros proyectos similares, mientras que los costos indirectos y contingencias deben ser estudiados de manera general.

Además, al momento de realizar comparaciones se debe identificar las partidas que están asociadas a dicho proyecto en específico dada su naturaleza o contexto, las que no deben ser incluidas al momento de la evaluación.

5.3 Selección de indicadores

Para seleccionar los indicadores que permitan medir la competitividad de la estimación de costos de proyectos, la empresa auspiciadora entregó información de 8 proyectos de su cartera que cuentan con la estructura de desglose mostrada anteriormente. Estos proyectos serán clasificados según la segmentación descrita en la sección anterior y posteriormente se estudiarán los costos más relevantes para cada tipo de proyecto. Los proyectos presentan los siguientes montos estimados y se encuentran en las siguientes etapas de la fase de estudios:

Tabla 12: Proyectos entregados para estudiar.

Fuente: Empresa auspiciadora.

Proyecto	Etapas	Monto MMUSD
Proyecto A	Pre - Factibilidad	3.365
Proyecto B	Factibilidad	2.702
Proyecto C	Factibilidad	1.269
Proyecto D	Factibilidad	643
Proyecto E	Factibilidad	355
Proyecto F	Factibilidad	447
Proyecto G	Factibilidad	443
Proyecto H	Factibilidad	505

Al someter el set de proyectos a la clasificación generada en la sección anterior, se obtuvo:

Tabla 13: Clasificación proyectos a estudiar según tipo.

Fuente: Empresa auspiciadora.

	Movimiento de Tierra		Infraestructura Planta				Minería Subterránea		
	Pres-stripping	Peralte tranque de relaves	Planta Concentradora	Pilas de Lixiviación	Sist. Trans. Material	Otras Plantas	Desarroll o Mina	Sist. Trans. Material	Infra general
Proyecto A	X		X						
Proyecto B			X		X				
Proyecto C	X		X	X					
Proyecto D							X		X
Proyecto E		X							
Proyecto F							X		X
Proyecto G			X		X				
Proyecto H		X							

De la **Tabla 13**, se puede observar que ocurre justamente lo planteado en la sección anterior, existiendo proyectos que cuentan con trabajos de dos tipos, como por ejemplo el Proyecto A que cuenta con trabajos de Movimiento de Tierra y trabajos asociados a Infraestructura/Planta. Por lo que, si se busca comparar los costos indirectos del proyecto A con otro proyecto puro como el proyecto E, se podría estar obteniendo resultados incorrectos pese a que ambos correspondan al tipo Movimiento de Tierra.

Habiendo entendido esto, se procedió a estudiar los CAPEX a nivel general, para luego entrar a estudiarlos en detalle, buscando lograr generar un entendimiento de como la productividad laboral de la construcción y costos indirectos del proyecto afectan al costo total del proyecto, según lo plantea el estudio de Asset Performance Networks [29].

Se comienza por mencionar que el monto asociado a contingencias generalmente corresponde a un porcentaje del total del presupuesto del proyecto, cuyo valor máximo depende de la etapa que este se encuentre, por esta razón y dado que estas partidas no tienen mayor detalle, se decidió junto a la empresa auspiciadora, no seleccionar un indicador asociado a esta partida dado que no constituye un KPI para los efectos de este estudio.

Debido a que inicialmente solo se utilizará información de las etapas preinversionales, se deberán escoger indicadores del tipo “leading”, seleccionándolos con un enfoque manual a partir del estudio de los CAPEX facilitados.

Por otra parte, es evidente que los proyectos debieran preferir comprometer más recursos en costos del tipo directo, dado que contribuyen de forma directa al activo o tarea que se busca realizar, sin

embargo, deben hacerlo sin descuidar los costos comprometidos para tareas indirectas necesarias para el desarrollo del proyecto. Por lo cual, es importante hacer un seguimiento a la relación entre las cantidades asociadas a estos conceptos, para así poder tener una alerta cuando se está descuidando el nivel de detalle requerido para alguno de los dos. Así, en base a lo mencionado y el estudio del arte, se decide seleccionar como primer KPI al indicador 16 mostrado en la **Sección 3.8.2**, que corresponde a la razón entre los costos indirectos y los costos directos, puesto que justamente mide la eficiencia de uso de capital y permite capturar información general de las partidas más importantes.

$$\text{Razón} = \frac{\text{Costos Indirectos}}{\text{Costos Directos}}$$

Ecuación 1: Indicador 1.

Este indicador corresponde a un valor porcentual que, según los expertos de la empresa auspiciadora, debe tener un valor entre el 35% y 40% para proyectos mineros.

Continuando con los costos indirectos, hay que mencionar que estos dependen del proyecto a realizar, por lo que generar comparaciones en detalle se hace complejo, debido a que pueden existir costos que sean utilizados por más de un tipo de proyecto dentro del mismo. Se recuerda que los costos indirectos se componen principalmente por: costos asociados a los estudios requeridos para el desarrollo del proyecto, costos necesarios que dan apoyo a la construcción y costos asociados a la administración de un proyecto. En cuanto a los dos primeros tipos de costos indirectos estos están relacionados fuertemente con el proyecto en específico a realizar, mientras que cualquier proyecto deberá incurrir en costos asociados a la administración de este, que corresponden al costo laboral del personal propio y el de los servicios de terceros que realizan labor de supervisión. Debido a esto, se selecciona como segundo KPI, al indicador 6 mostrado en la **Sección 3.8.2**, que corresponde a la razón entre el costo asociado a la administración del proyecto y el costo total de este, debido que permite realizar un seguimiento a lo que se está comprometiendo para la administración del proyecto como tal.

$$\text{Administración} = \frac{\text{Costo Administración}}{\text{Costo total del proyecto}}$$

Ecuación 2: Indicador 2.

Según información entregada por los expertos de la empresa auspiciadora el porcentaje de la administración del proyecto con respecto al total del proyecto debería encontrarse entre 8% y 14%.

Antes de adentrarse en el estudio de los costos directos, se debe tener presente que la finalidad de los proyectos mineros es aumentar o crear cierta capacidad que permita realizar la explotación de la mina, ya sea capacidad extractora, producción o capacidad de almacenamiento, y que para generar esta capacidad se compromete un cierto capital, el cual puede ser normalizado y posteriormente comparado con otros proyectos, como se evidenció en el estudio del arte. Así, el indicador “Intensidad de Capital” pasa a ser sumamente importante pues permite generar curvas de rendimiento en base al monto requerido y la capacidad de la unidad física a construir. Para utilizar este indicador hay que tener en cuenta que las estimaciones pueden haber sido realizadas en distintos años, pudiendo presentar alteraciones en los precios de los materiales o de los equipos, el precio del dólar, etc. Para reducir estos sesgos, al usar este indicador se deben ajustar todos los presupuestos a una moneda común que permita realizar la comparación.

$$\text{Intensidad de Capital} = \frac{\text{Costos Directos}}{\text{Capacidad}}$$

Ecuación 3: Indicador 3.

En el caso de los proyectos mineros, calcular este indicador solo hace sentido para los proyectos del tipo Infraestructura/ Planta, debido a que tienen una unidad de capacidad comparable. En el caso de los otros proyectos estas capacidades responden al contexto del proyecto en específico, pudiendo presentar más costos según el acceso a la topografía del lugar para el caso de proyectos de movimiento de tierra, la dureza de la roca o profundidad requerida para el caso de proyectos de minera subterránea.

Así, se deciden no seleccionar indicadores generales sobre Materiales y Equipos debido a que estos serán evaluados en detalle al momento de estudiar los costos directos, ni tampoco indicadores asociados a los estudios de necesarios para el desarrollo de los proyectos (etapas de prefactibilidad y factibilidad) dado que corresponden a un pequeño monto del total de los proyectos.

Posteriormente, se continuó con el estudio en detalle de los costos directos, en donde se encuentra el mayor interés, debido a que estos generarán la unidad física que rentará algún día y deben ser necesarios para cumplir los requerimientos solicitados por el negocio. Para su análisis se debe recordar la segunda estructura de desglose que entregan los presupuestos de la empresa auspiciadora, que corresponden al detalle del trabajo físico que se está realizando. Estos corresponden a los commodities y son:

Tabla 14: Commodities Nivel 1.

Fuente: empresa auspiciadora.

Nivel 1	Descripción	Unidad
A	Movimiento de Tierras	m3
B	Obras Civiles	m2
C	Hormigones	m3
D	Estructuras	ton
E	Arquitectura	m2
F	Equipos mineros móviles	cu
G	Calderería	ton
H	Equipos de Proceso	cu
I	Equipos de Transporte	m
J	Bombas Principales	cu
K	Equipos Misceláneos	cu
L	Equipos Intercambiadores	cu
M	Excavación y fortificación minera	m
P	Piping	m
Q	Equipos Eléctricos	cu
R	Materiales Eléctricos	m
S	Automatización, Telecomunicaciones e informática	cu
T	Indirectos	hh

Se puede apreciar que la estructura de desglose de trabajo mostrada en la **Tabla 14**, segmenta la información de los costos directos permitiendo identificar cantidades de materiales y de equipos, así como también sus costos unitarios, de manera muy similar como AACE Internacional recomienda segmentar mediante disciplinas. Sin embargo, debido a los sesgos que podría generar evaluar precios con cantidad, dado que los primeros responden al contexto del año de generación del presupuesto, se proponen estudiar indicadores del tipo recurso/recurso, ya que independiente al contexto del año de generación del presupuesto los rendimientos de estos recursos deberían mantense constante con tendencia a la baja, por las mejoras en tecnología que se generan día a día.

Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado y cruzando la información de ambas estructuras de desglose, se procedió a estudiar en detalle los costos directos de cada uno de los tipos de proyectos.

En cuanto a los proyectos de Movimiento de Tierra, se tiene que para los proyectos de peralte de tranque de relaves el 40% de los costos directos están asociados al commodity “A – Movimiento de Tierra” concentrándose principalmente en la cantidad de metros cúbicos de excavaciones y metros cúbicos de relleno de material. Por otro lado, para los proyectos que requieren Prestripping el 63% de los costos directos están asociados al commodity “A – Movimiento de Tierra” concentrándose justamente en la cantidad de metros cúbicos de prestripping que se requieren

extraer. Así, se selecciona un tercer KPI que corresponde al indicador de rendimiento de horas hombres normalizado por la cantidad de tierra trasladada, este indicador corresponde al tipo horas unitarias mostrada en la **Sección 3.8.2**. Este indicador puede ser descompuesto en 3 subindicadores dependiendo del detalle que se requiera y el proyecto que se estudie, pudiendo ser:

$$\frac{HH \text{ Construcción}}{M3 \text{ Excavación}}$$

Ecuación 4: Indicador 3.1.

$$\frac{HH \text{ Construcción}}{M3 \text{ Rellenos}}$$

Ecuación 5: Indicador 3.2.

$$\frac{HH \text{ Construcción}}{M3 \text{ Prestripping}}$$

Ecuación 6: Indicador 3.3.

Por otra parte, con respecto a los proyectos de Infraestructura y Planta se observó que el 50% de los costos directos están asociados a esta partida, siendo los commodities “C – Hormigones”, “D – Estructuras” y “P- Piping” los más relevante a estudiar. En este caso, es posible normalizar por la capacidad de la unidad dado que estas si son construidas con el objetivo de crear o aumentar una cierta capacidad (plantas concentradoras, por ejemplo). Así los indicadores de intensidad de capital de recursos para proyectos de infraestructura seleccionados son:

$$\frac{M3 \text{ de Hormigones}}{\text{Capacidad}}$$

Ecuación 7: Indicador 4.

$$\frac{\text{Ton Acero}}{\text{Capacidad}}$$

Ecuación 8: Indicador 5.

$$\frac{M \text{ de Piping}}{\text{Capacidad}}$$

Ecuación 9: Indicador 6.

Mientras que los indicadores de horas unitarias asociados a estos proyectos son:

$$\frac{HH \text{ Construcción}}{M3 \text{ de Hormigones}}$$

Ecuación 10: Indicador 7.

$$\frac{HH \text{ Construcción}}{\text{Ton Acero}}$$

Ecuación 11: Indicador 8.

$$\frac{HH \text{ Construcción}}{M \text{ Piping}}$$

Ecuación 12: Indicador 9.

En este caso se dejaron de lado el estudio de equipos dado que, debido a los requerimientos mineros, estos pueden cambiar considerablemente según la dificultad del proyecto mismo y la inclusión de mejores equipos, impacta los rendimientos de los comodites mencionados.

Finalmente, al estudiar los proyectos de desarrollo minero subterráneo se evidenció que, en promedio, el 35% de los costos directos están asociados al commodity “Excavación y fortificación minera” asociados a los metros lineales de excavación (tanto horizontales como verticales). En este caso, la unidad a estudiar corresponde a metros lineales y no metros cúbicos de material extraído, debido a que las principales obras de este tipo corresponden a túneles o chimeneas que deben tener cierta longitud para conectar los desarrollos a los puntos de interés correspondientes, por lo que hablar de, por ejemplo, 100 metros lineales de excavación entrega más información que hablar de la extracción de 500 metros cúbicos. Además, para este indicador nuevamente no hace sentido normalizar por la capacidad que tendrá la mina subterránea dado que depende de la topografía del lugar. Así, el indicador seleccionado de horas unitarias para medir la competitividad de los rendimientos de proyectos de minería subterránea es:

$$\frac{HH \text{ Construcción}}{M \text{ Excavación}}$$

Ecuación 13: Indicador 10.

Con respecto a los proyectos de minería subterránea que sean de sistema de transporte de mineral e infraestructura general, se decide utilizar los mismos indicadores (4-9), dado que, para los proyectos de infraestructura, solo se diferencian los rendimientos pues varían cuando se trabaja bajo tierra al no tener las mismas condiciones.

Dependiendo el detalle del proyecto a estudiar, se pueden utilizar indicadores de otro tipo de proyecto. Además, se debe mencionar que no se logra obtener rangos para los indicadores asociados a Costos Directos puesto que estos deben ser estudiados según el tipo de proyecto que corresponda y generados a partir de esa información o de proyectos estimados por la industria.

En resumen, los indicadores seleccionados fueron:

Tabla 15: Resumen indicadores seleccionados.

	Objetivos	Indicadores	Mide	Valido para
<i>Calidad y eficiencia de estimación</i>	Comparar la eficiencia y calidad de la estimación del costo del proyecto, con proyectos similares tanto internos como con la industria.	C. Administración / C. Totales	Eficiencia en administración	Todos los proyectos
		C. Indirectos / C. Directos	Eficiencia del uso del capital	
<i>Análisis de Facility</i>	Comparar cuanto gasta el proyecto para generar una función que produce una cierta cantidad, tanto con la industria como con proyectos similares.	Costo Facility / Capacidad	Rendimiento proyecto	Proyectos de Infraestructura / Planta
		N° de toneladas acero / Capacidad	Rendimiento proyecto	
		M3 de hormigón / Capacidad	Rendimiento proyecto	
		M de piping/ Capacidad	Rendimiento proyecto	
<i>Análisis de Commodity</i>	Comparar cuantos recursos (tanto de equipos como humanos) se estiman para la realización de un commodity tanto con la industria como con proyectos similares.	HHs. de construcción / m3 de hormigón	Uso de recursos	Proyectos de Infraestructura / Planta
		HHs. de construcción / N° toneladas acero	Uso de recursos	
		HHs. de construcción / m piping	Uso de recursos	Proyectos Minería Subterránea *
		HHs de construcción / m3 de excavaciones y/o mov. de tierra	Uso de recursos	Se puede utilizar para todos los proyectos, sin embargo, se utiliza principalmente para proyectos de mov. tierra y minería subte.
Total		10 Indicadores		

* No considera proyectos del tipo Desarrollo Mina.

6. Casos de estudios

En esta sección se muestran dos casos aplicados que reflejan alguno de los usos propuestos en la **Sección 5.1** para la metodología generada. El primer caso de estudio corresponde a la validación de un presupuesto que se encuentra al término de la etapa de factibilidad (Uso N°2) para un proyecto de Infraestructura / Planta, y la posterior generación de curvas predictivas para la estimación referencial de costos de un chancador primario en base a una cierta capacidad durante etapa de perfil (Uso N°3). Mientras que el segundo caso aplicado, corresponde a un análisis de dos proyectos del tipo Movimiento de Tierra, en donde se evalúa la evolución de los indicadores a través de las etapas de prefactibilidad y factibilidad (Uso N°4), identificando posibles causas y consecuencias.

Se debe mencionar que fue imposible reunir una cantidad de CAPEX en etapa de prefactibilidad de un tipo de proyecto que permitiera realizar un caso aplicado para el uso número 1, sin embargo, los análisis obtenidos sobre los casos aplicados a mostrar fueron utilizados por los equipos de los proyectos pertinentes, lo que también servirá como advertencia sobre lo necesario que es almacenar este tipo de información con una estructura de desglose que permita su procesamiento. Por otro lado, el equipo espera poder utilizar en un futuro el sistema de comparación para los proyectos durante toda la etapa de prefactibilidad, cuando la información histórica así lo permita.

6.1 Proyecto de Infraestructura y planta

Junto a la empresa auspiciadora, se utilizó el sistema de comparación propuesto para realizar una validación del presupuesto del Proyecto G que se encuentra al término de la etapa de factibilidad y que corresponde a un proyecto del tipo “Infraestructura y planta” en donde cerca del 73% de sus costos directos están asociados a componentes (chancadores primarios) y sistema de transporte de mineral.

Para la comparación, se utilizan los proyectos A, B y C que corresponden a proyectos que contienen costos asociados a chancadores primarios. Sin embargo, el Proyecto A se encuentra en etapa de prefactibilidad, por lo que se agregaran dos proyectos anteriores, uno correspondiente a una versión anterior del Proyecto A y el Proyecto I que corresponde a un proyecto ya aprobado. Se debe mencionar que el CAPEX utilizado del Proyecto I se encontraba en comienzos de Ingeniería de Detalles, por lo que, si bien se encuentra en otra clase de estimación, aún aporta información relevante para el análisis.

Por otra parte, al corresponder a un proyecto de infraestructura, se estudiarán los siguientes indicadores, según lo determinado en la sección anterior:

- C. Administración [USD] / C. Totales [USD]
- C. Indirectos [USD] / C. Directos [USD]
- Costo Facility [USD] / Capacidad [ktpd]
- N° de toneladas acero / Capacidad[ktpd]
- m³ de hormigón / Capacidad [ktpd]
- m de piping/ Capacidad[ktpd]
- HHs de construcción / m³ de mov tierra (incluye rellenos y excavaciones)
- HHs de construcción / m³ de hormigón
- HHs de construcción / N° toneladas acero
- HHs de construcción / m piping

Al evaluar el primer indicador de los cinco proyectos mencionados se obtiene:

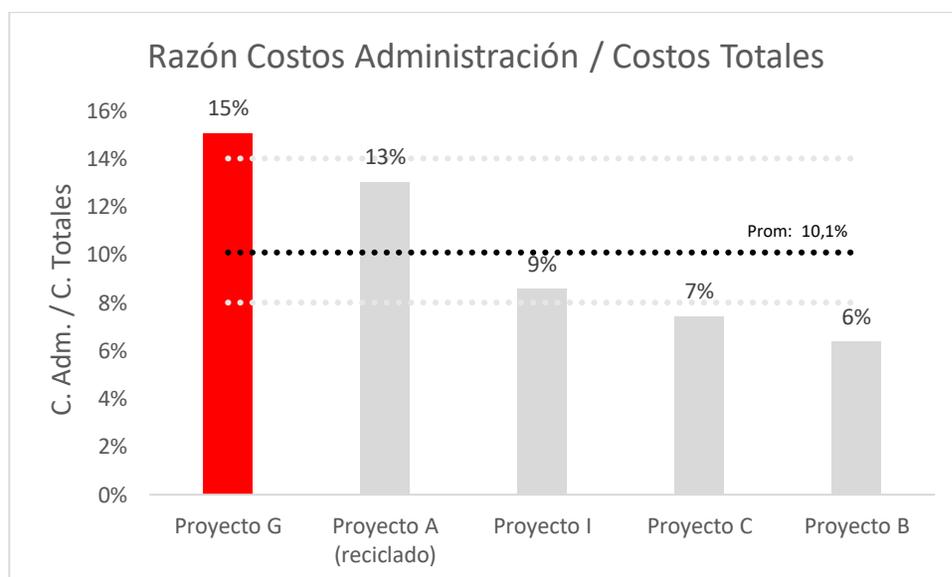


Figura 17: Razón Costos Administración/ Costos Totales.

De la **Figura 17**, se puede observar que el Proyecto G presenta rendimientos por sobre el promedio de los proyectos comparados, ubicándose 1 punto porcentual por sobre el rango que determinó la empresa auspiciadora junto a la empresa externa como rango óptimo para este indicador (8% y 14%). Se observa también, que existen dos proyectos (Proyecto B y C) que presentan valores bajo el rango determinado, lo que podría indicar que dichos proyectos requerirán utilizar parte de la contingencia para usos administrativos. Se recuerda que presentar rendimientos por sobre el promedio de los proyectos comparados indica espacios de mejora, sin embargo, para los indicadores generales, se busca que el valor se encuentre dentro del rango determinado en conjunto

a las partes, debido a esto, pese a estar levemente por sobre el rango, se determina no tomar acción sobre este valor para el proyecto G.

Mientras que al evaluar el segundo indicador de los cinco proyectos mencionados se obtiene:

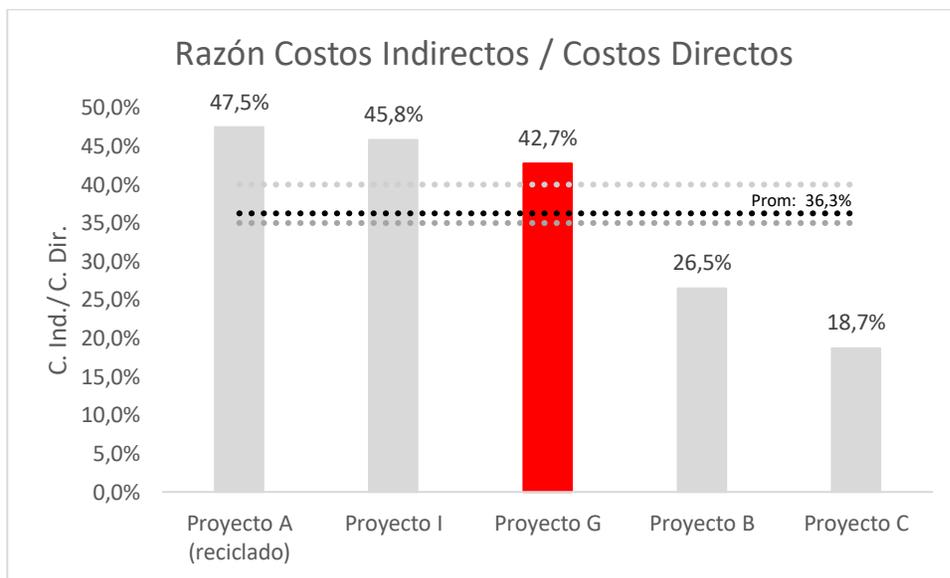


Figura 18: Razón Costos Indirectos / Costos Directos.

En cuanto a la **Figura 18**, nuevamente se observa que el Proyecto G presenta rendimientos por sobre el promedio de los proyectos a comparar y se ubica cerca de 3 puntos porcentuales por sobre el rango que determinó la empresa auspiciadora junto a la empresa externa como rango óptimo para este indicador (35% y 40%). A su vez, nuevamente se observa que los Proyectos B y C asignaron una pequeña porción a los costos indirectos en comparación a sus costos directos, lo que sin duda levantaría una alerta de ser estudiados bajo esta metodología.

Por otra parte, para poder calcular los indicadores en detalle de los costos directos se debe tener un entendimiento del alcance del proyecto, su funcionamiento y como este se compone, por lo que previo a adentrarse al análisis, se explicará cómo funcionan los chancadores primarios. Se debe mencionar, que durante este cálculo fue utilizada la segmentación de proyectos expuesta en la **Figura 16** de la **Sección 5.2**, dado que los Proyectos B y C tenían costos asociados a Planta Concentradora, así como costos asociados a Pilas de Lixiviación y Sistema de Transporte de Mineral respectivamente, según la **Tabla 13** de la **Sección 5.2**. Gracias a la metodología y a lo explicado a continuación, se logró identificar los costos directos asociados a “Chancadores Primarios” para cada proyecto a comparar.

La función de los chancadores primarios es reducir el tamaño de las rocas de material mineralizado extraído de la mina, el cual se ubica al interior de la estructura o edificio de “chancado primario”, que es una de las principales instalaciones en el proceso de un proyecto minero. Luego de extraer el mineral desde la mina, se transporta por camiones al chancado primario y, posteriormente, al edificio de acopio de mineral grueso para continuar con el proceso minero. El proceso resumido se muestra a continuación:

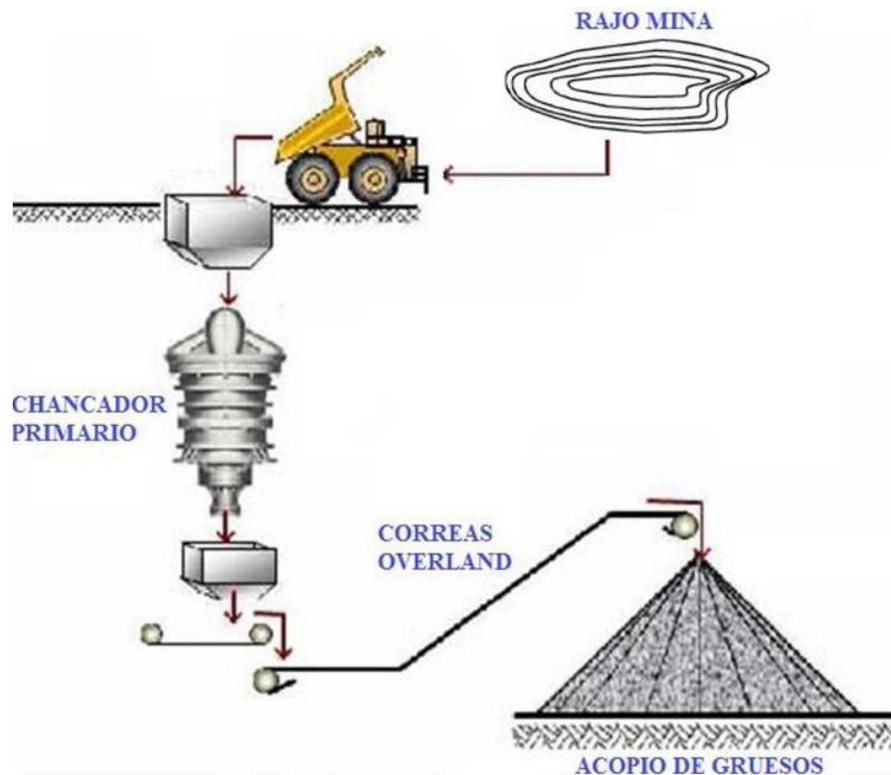


Figura 19: Resumen proceso de transporte mineral a acopio de gruesos.
Fuente: AICE, Edificios de chancado primario [51].

En el caso de este proyecto específico, los costos asociados a chancador primario representan cerca del 60% de los costos directos, correspondiendo a la construcción de un edificio completamente nuevo para un chancador primario nuevo (Chancador 1) y el traslado de un chancador existente (Chancador 2). Para efectos del caso de aplicación se decidió comparar estas partidas.

A continuación, se muestra una imagen referencial de un edificio de un chancador primario:



Figura 20: Edificio Chancador primario.

Fuente: AICE, Edificios de chancado primario [52].

En la parte superior del edificio que muestra la **Figura 20**, los camiones depositan el material extraído. Generalmente, el edificio está cubierto para poder recolectar los polvos que se generan al momento de la descarga de material. Además, cuenta con equipos auxiliares como los “pica-rocas” que facilitan la alimentación a los chancadores fracturando rocas cuyo tamaño sea demasiado grande en un comienzo. Por otra parte, se puede observar que para el posicionamiento del edificio de chancado primario el suelo debe ser nivelado y levantado para facilitar que las rocas caigan ayudadas por la gravedad. Estas edificaciones se realizan principalmente de estructuras de acero o de hormigón.

Dentro de los costos asociados al chancado primario también se incluyen correas que llevan el material reducido a puntos de acopios para así otorgar un flujo continuo de material al resto del proceso de procesamiento. Sin embargo, la longitud de estas correas y por ende su costo, dependen del proyecto, por lo que incluirlas en la comparación estaría sesgando los resultados.

Así, las partidas a considerar para este análisis son:

- Tolva de recepción de Mineral
- Chancador primario y equipos auxiliares
- Cámara descarga
- Alimentadores Mineral Grueso
- Supresión y/o colección de polvo

Dejando fuera:

- Correas Mineral Grueso
- Acopios Mineral Grueso

Como se mencionó anteriormente, para poder generar el indicador de intensidad de capital es necesario ajustar los presupuestos a una misma moneda. Para lograr esto, se identificaron los costos directos asociados a las partidas mencionadas anteriormente para cada proyecto y, según el año en que el presupuesto fue realizado, se multiplicó el monto por un factor que corrige de manera parcial la fluctuación del valor de la moneda durante los años siguientes. Se debe mencionar que este factor que ajusta los presupuestos es entregado por el área de Programación y Control de la empresa auspiciadora, el cual cambia de valor año a año, es decir, si se busca ajustar un presupuesto del año 2013 al año 2021 y un presupuesto del año 2015 al 2021, sus factores de ajustes serán distintos entre sí. Así, los costos directos ajustados y las capacidades para los proyectos estudiados son los siguientes:

Tabla 16: Cuadro resumen proyectos a comparar.

	Proyecto G Chancador 1	Proyecto G Chancador 2	Proyecto A (reciclado)	Proyecto B	Proyecto C	Proyecto I
<i>Capacidad (ktpd)</i>	171	117	200	75	50	50
<i>Clase</i>	Clase 3	Clase 3	Clase 3	Clase 3	Clase 3	Clase 2
<i>Costos Directos (moneda común)*</i>	100	61,1	110,6	66,5	18,9	41,2
<i>Equipo</i>	Nuevo	Re-ubicado	Nuevo	Nuevo	Overhaul	Nuevo

* *Totales ajustados al costo directo total del Proyecto Chancador 1 moneda 2021.*

Mientras que, al evaluar la intensidad de capital de los proyectos, se obtienen los siguientes resultados:

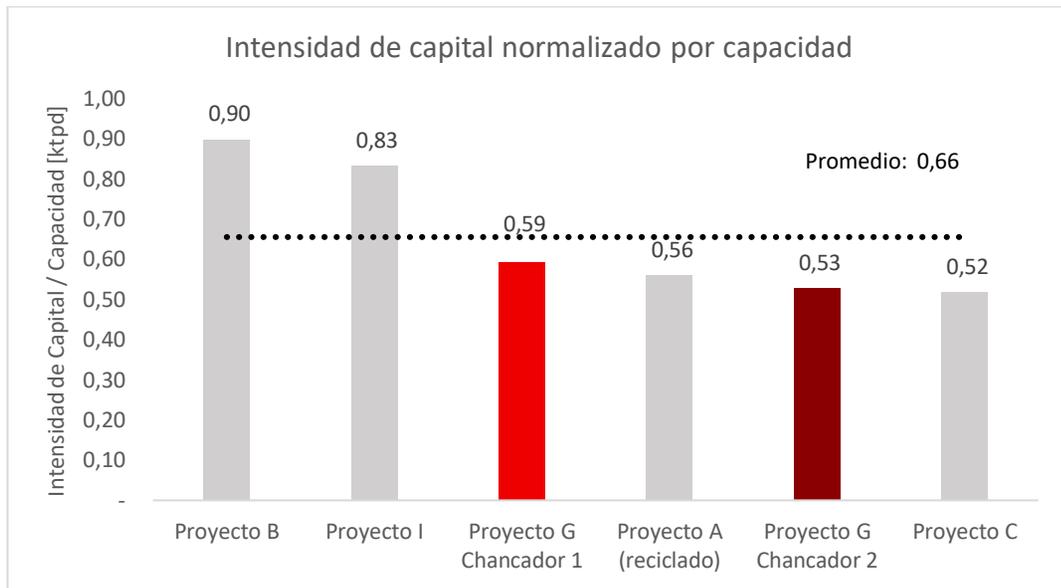


Figura 21: Intensidad de capital para proyectos comparados.

De la **Figura 21**, se puede observar que ambos chancadores del Proyecto G se encuentran bajo el promedio de los proyectos, lo que indicaría que ambos chancadores presentan estimaciones de costos competitivas en comparación de sus pares.

Por otra parte, si se estudia la intensidad de capital con respecto a la capacidad del chancador primario, se puede obtener una curva que permite estimar la intensidad de capital requerida para una cierta capacidad de chancadores. Obteniendo:

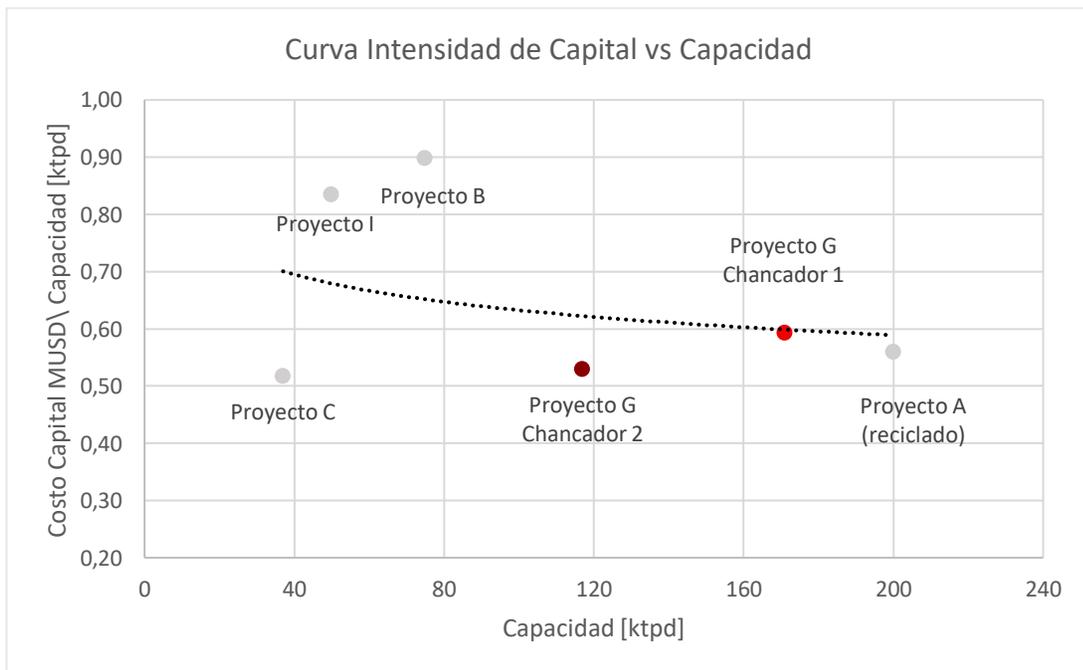


Figura 22: Intensidad de Capital vs Capacidad.

De la **Figura 22**, se puede obtener una curva potencial, la cual entrega el valor de intensidad de capital de costos directos que se requiere en base a la capacidad de la planta a construir. La selección de la curva potencial fue validada por un experto del área Programación y Control de la empresa auspiciadora y viene dada por la siguiente ecuación:

$$Y = 1,0152 x^{-0,103}$$

Ecuación 14: Curva predictiva intensidad de costos directos

Con:

- Y= Intensidad de capital costos directos
- x = Capacidad de chancador primario

Sin embargo, hay que mencionar que la cantidad de recursos y costos asociados a movimientos de tierra depende de la topografía del lugar, por lo que incluir dichos costos podría sesgar el resultado. Además, el proyecto C corresponde a una mejora de la infraestructura ya existente, mientras que el Chancador 2 del Proyecto G corresponde al traslado de un chancador. Debido a esto, se excluyen los costos asociados a movimiento de tierra, excluyendo también el Proyecto C y el Chancador 2 del Proyecto G, buscando generar la curva más limpia posible para poder evaluar la intensidad de capital con respecto a la capacidad. Obteniendo el siguiente gráfico, cuyo detalle se encuentra en la sección **Anexo A**:

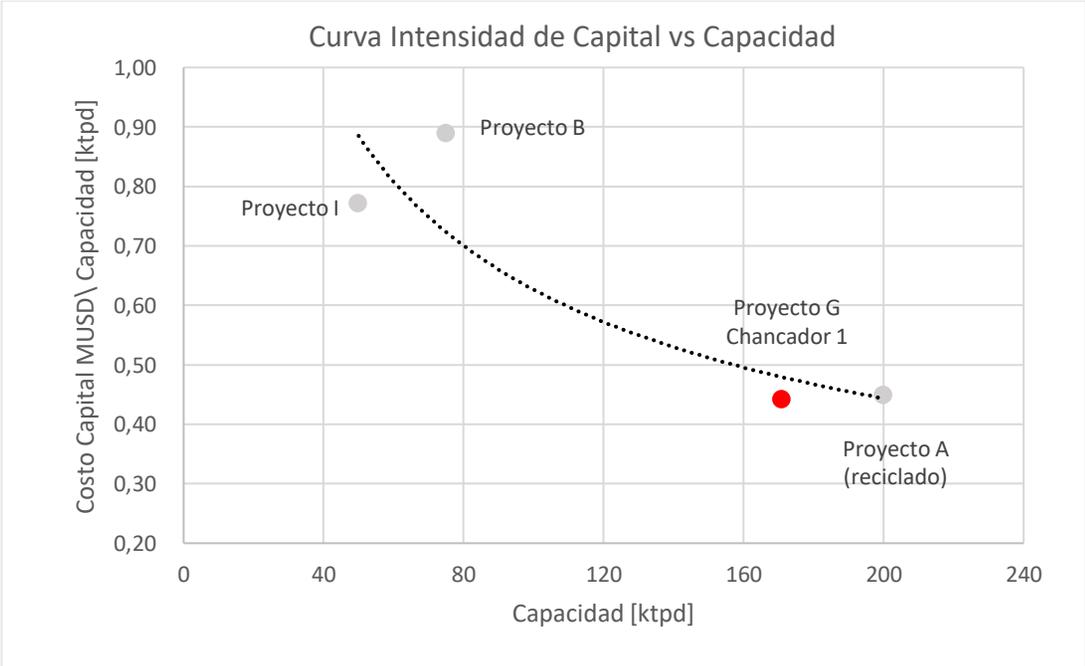


Figura 23: Intensidad de Capital vs Capacidad, sin considerar costos asociados a movimiento de tierra ni proyectos singulares.

Esta curva permite tener noción de cuanta intensidad de capital debería requerir la construcción de un edificio de chancador primario sin considerar los costos asociados al movimiento de tierra. De forma análoga, y manteniendo los mismos parámetros se obtiene:

$$Y = 6,2242 x^{-0,499}$$

Ecuación 15: Curva predictiva intensidad de costos directos proyectos “limpios”.

Recordando que la empresa auspiciadora presenta estimaciones elevadas de manera rutinaria en comparación a la industria, se espera que en el futuro todos los rendimientos de los proyectos deban estar bajo la curva obtenida para así acercar, al largo plazo, las estimaciones de la empresa al promedio de la industria, modificando a su vez la ecuación que permite estimar la intensidad de capital.

Al estudiar los indicadores asociados al rendimiento del proyecto, se obtiene:

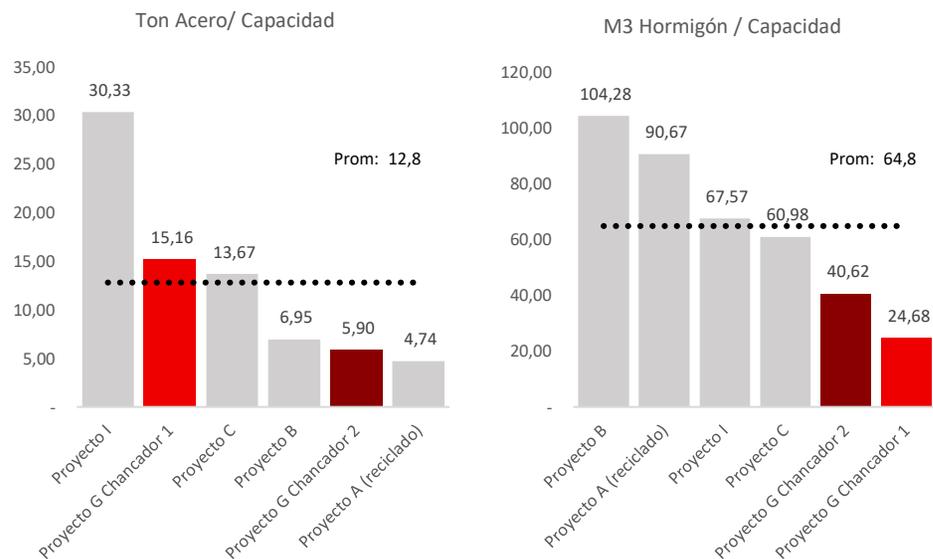


Figura 24: Comparativa rendimientos Ton Acero/Cap. (izquierda), M3 Hormigón/Cap. (derecha).

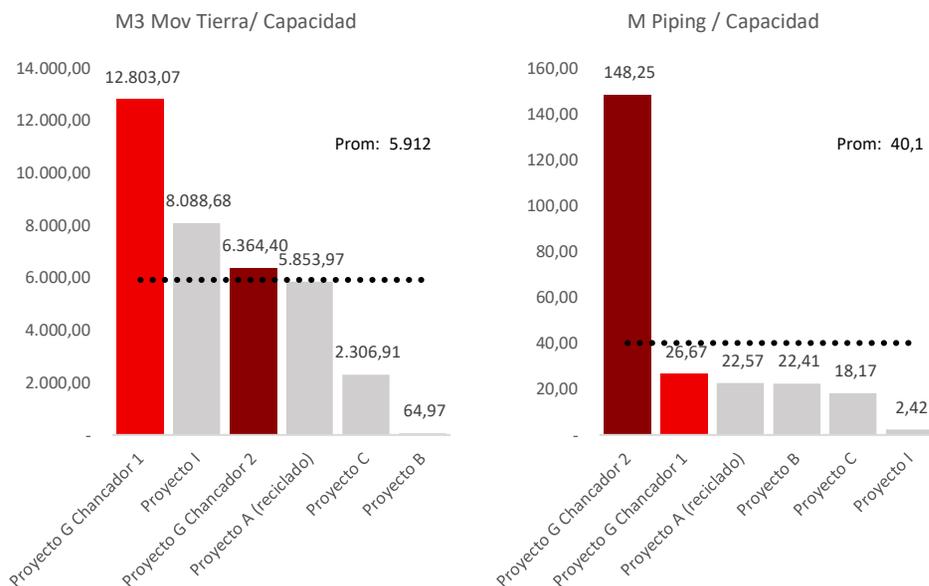


Figura 25: Comparativa rendimientos M3 Mov Tierra / Cap. (izquierda), M Piping/Cap. (derecha).

De las **Figuras 24 y 25**, se observa que, en cuanto a rendimientos normalizados por cantidades, ambos chancadores se encuentran bajo los promedios en comparación a los otros proyectos a excepción del Chancador 2 del Proyecto G en la cantidad de piping requerido, lo que se debe a que dicho proyecto incluye una toma de agua a 5 km distancia del edificio lo que aumenta considerablemente la cantidad de piping requerida. Por otra parte, el Chancador 1 del Proyecto G se encuentra por sobre el promedio en la cantidad de tonelada de acero, sin embargo, una reducción de esta cantidad no debería generar ahorros importantes. Finalmente, se puede apreciar que ambos chancadores requieren mover gran cantidad de tierra, pero como se comentó anteriormente, este indicador depende de la topografía del lugar por lo que una disminución de cantidades se hace complejo. Es necesario llevar a cabo estos análisis específicos con alto nivel de granularidad para poder hacerse cargo de las especificaciones de cada proyecto a nivel detallado, y así generar las conclusiones correctas para enfocar el uso de palancas de generación de valor en forma acertada.

De la misma manera a lo realizado con la intensidad de capital de costos directos, se pueden generar curvas predictivas de rendimiento de recursos para los cuatro proyectos más “limpios”. Por lo explicado anteriormente, solo se realizarán para los indicadores de cantidad de toneladas de acero, metros de piping y metros cúbicos de hormigón, dejando de lado los movimientos de tierra.

Así la curva predictiva para la cantidad de toneladas de acero en base a la capacidad del chancador primario viene dada por:

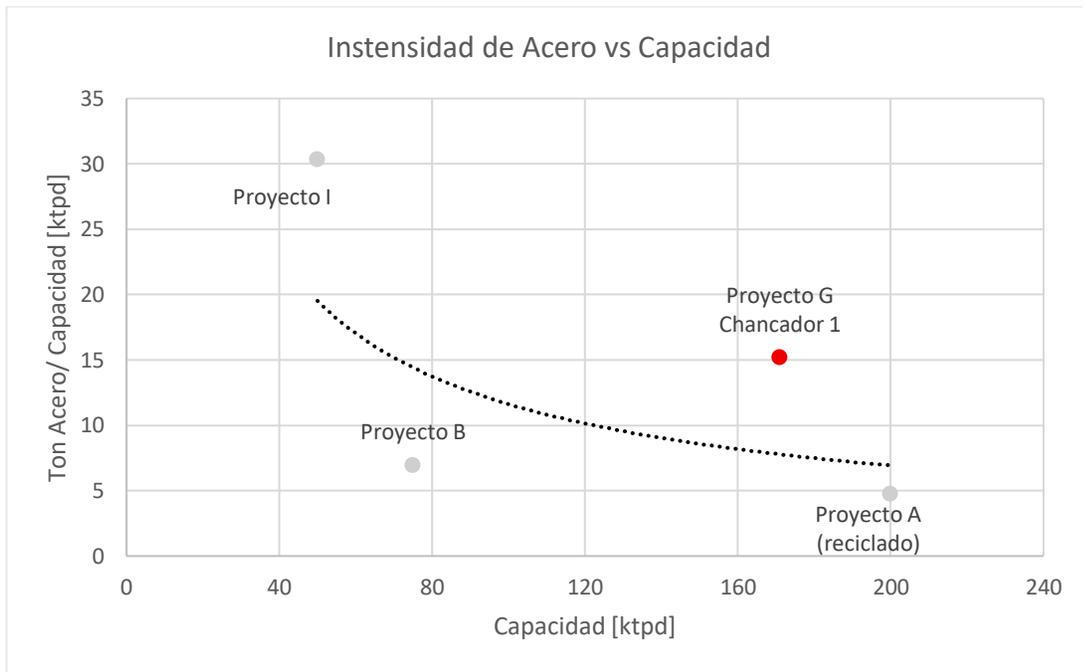


Figura 26: Intensidad de Toneladas de Acero vs Capacidad.

De ecuación:

$$Y = 364,3 x^{-0,748}$$

Ecuación 16: Curva predictiva intensidad de toneladas de acero.

Con:

- Y= Intensidad de toneladas de acero
- x = Capacidad de chancador primario

Por otro lado, la curva para los rendimientos de cantidad de metros cúbicos de hormigón viene dada por:

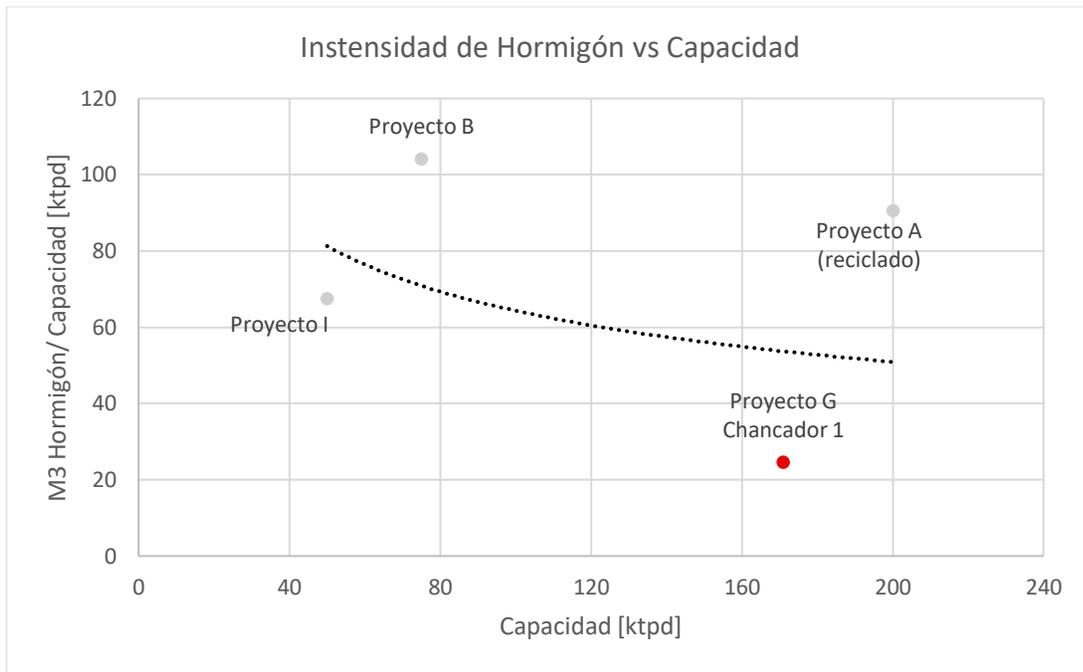


Figura 27: Intensidad de metros cúbicos de hormigón vs Capacidad.

De ecuación:

$$Y = 304,31 x^{-0,337}$$

Ecuación 17: Curva predictiva intensidad de toneladas de hormigón.

Con:

- Y= Intensidad de M3 de Hormigón
- x = Capacidad de chancador primario

De la misma manera, la curva predictiva para la cantidad de metros de piping viene dada por:

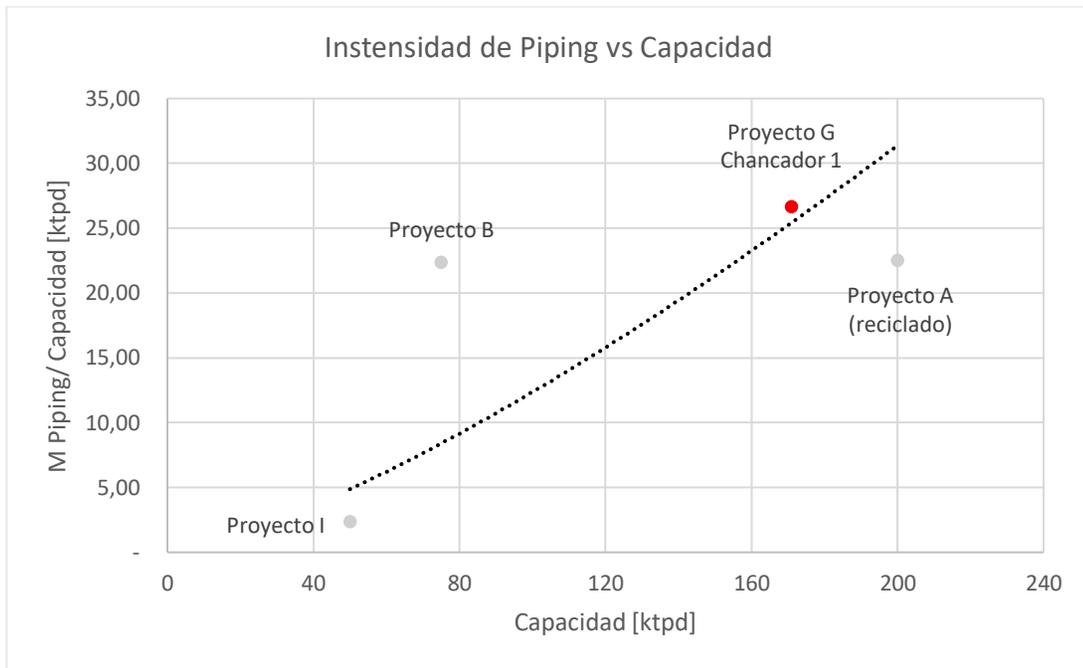


Figura 28: Intensidad de metros de piping vs Capacidad.

De ecuación:

$$Y = 0,0253 x^{1,3444}$$

Ecuación 17: Curva predictiva intensidad de metros de piping.

Con:

- Y= Intensidad de M de piping
- x = Capacidad de chancador primario

Se debe mencionar que estas curvas permiten a los equipos estimadores tener una noción de los rendimientos que un proyecto debiera tener previo a la validación de los CAPEX, sin embargo, de momento la muestra sigue siendo pequeña, por lo que es necesario agregar más proyectos en un futuro, buscando siempre, posicionarse bajo las curvas para así lograr rendimientos más competitivos.

Posteriormente, se procede a estudiar los usos de los recursos para los cuatro commodities mencionados anteriormente, agregando que para este análisis se contó con información de la empresa externa sobre los rendimientos de la cantidad de horas de construcción para metros de piping, metros cúbicos de hormigón y toneladas de acero. Esta información corresponde al valor promedio para proyectos mineros de la base de datos de la empresa externa, sin identificar el tipo de proyecto minero.

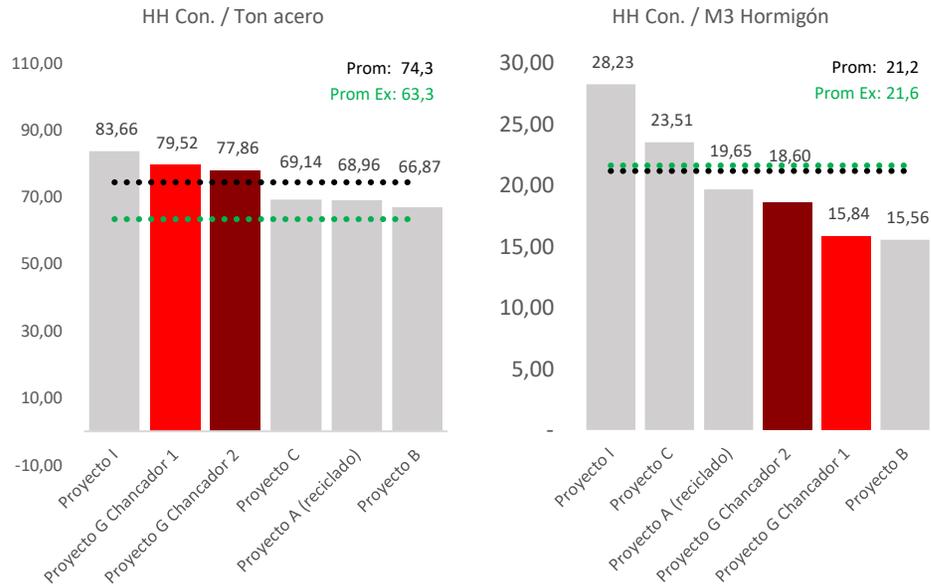


Figura 29: Comparativa uso de recursos HH Con./Ton Acero (izquierda), HH Con./ M3 Hormigón (derecha)

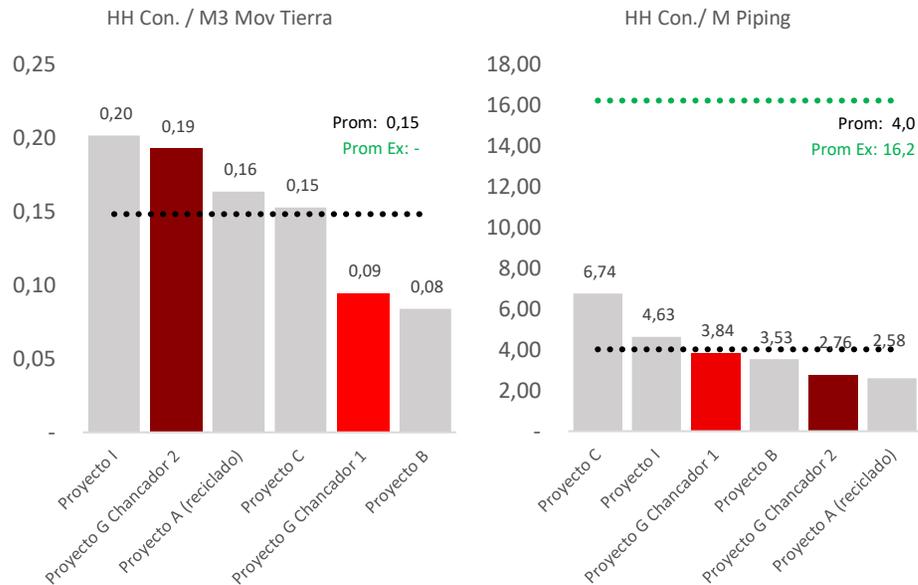


Figura 30: Comparativa uso de recursos HH Con./ M3 Mov Tierra (izquierda), HH Con./ M Piping (derecha).

De la **Figura 29**, se puede apreciar que existen espacios de mejoras en la cantidad de horas de construcción asociadas a toneladas de acero para ambos chancadores del Proyecto G al compararse tanto con la industria como con los propios proyectos ya realizados, sin embargo, mejoras en los rendimientos desafiando las estimaciones del proyecto no deberían generar ahorros importantes, pero la identificación de estas oportunidades permite enfocar el uso de palancas lean de productividad que permitan optimizar la productividad durante la etapa de construcción del

proyecto como próximos pasos. Con respecto a los rendimientos de las horas de construcción de metros cúbicos de hormigón, ambos chancadores se encuentran bajo los promedios de la industria, lo que indica que dichos rendimientos son competitivos.

A partir de la **Figura 30**, se puede mencionar que la empresa externa no cuenta con información sobre los rendimientos de horas de construcción de movimientos de tierra, sin embargo, existe espacio de mejora para este indicador para el Chancador 2 del Proyecto G. Por otra parte, la información que entrega la empresa externa con respecto a los rendimientos de las horas de construcción de piping no aporta información relevante al análisis, debido a que su rendimiento es muy diferente al incluir todo tipo de proyectos mineros, de ahí la diferencia entre el promedio de la empresa externa (16,2) y los proyectos propios de la empresa (4,0).

Por todas estas razones se concluye que las estimaciones para el Proyecto G son competitivas con respecto a los otros proyectos, dado que se ubican bajo el promedio en la mayoría de los indicadores de costos directos, teniendo pequeños espacios de mejora en los indicadores generales que no debieran generar grandes ahorros. Cabe mencionar que este análisis fue utilizado por la empresa auspiciadora como respaldo durante el proceso de validación del CAPEX en cuestión, al término de la etapa de factibilidad.

Así, este caso aplicado muestra ejemplos del uso número 2 mediante el análisis de los indicadores, así como también el uso número 3 generando las curvas de intensidad para los chancadores primarios.

6.2 Proyectos de Movimiento de Tierra

Junto a la empresa auspiciadora, se utilizó la metodología propuesta para evaluar la evolución de los rendimientos de los Proyectos E y H entre su etapa de prefactibilidad y factibilidad. Estos proyectos corresponden a proyectos del tipo “Movimiento de Tierra” en donde cerca del 89% de sus costos directos están asociados a partidas asociadas a movimiento de tierra (muros y yacimientos, obras, caminos, etc.). Posteriormente se evaluarán los rendimientos de las estimaciones de la etapa de factibilidad en comparación a otros proyectos comparables. Se debe mencionar que las etapas de prefactibilidad se encuentran en una moneda con tipo de cambio de año anterior, por lo que es necesario corregir estos montos para así obtener una moneda común.

Ambos proyectos forman parte de una serie de proyectos que tienen por objetivo dar continuidad operacional a la extracción de parte de las minas de la empresa auspiciadora, aumentando en cada

proyecto la capacidad de almacenamiento de relaves mediante el peraltamiento de los muros actuales de los respectivos embalses y la construcción de obras conexas.

Por otra parte, al corresponder a proyectos de movimiento de tierra del tipo peralte de depósito de relaves, se estudiarán los siguientes indicadores, según lo determinado en la sección anterior:

- C. Administración / C. Totales
- C. Indirectos / C. Directos
- HH de Construcción / M3 de Excavación
- HH de Construcción / M3 de Rellenos

Se recuerda que en este caso no tiene sentido calcular indicadores de intensidad de capital o rendimiento, pues la capacidad extra que estos proyectos generan depende de la topografía del lugar más que los recursos utilizados. Además, al ser un proyecto de movimiento de tierra de peraltamiento de muros, el indicador fue desglosado en excavaciones y rellenos que corresponden a los dos grandes tipos de movimiento de tierra que se dan en este tipo de proyectos.

Así, la evolución del primer indicador viene dada por:

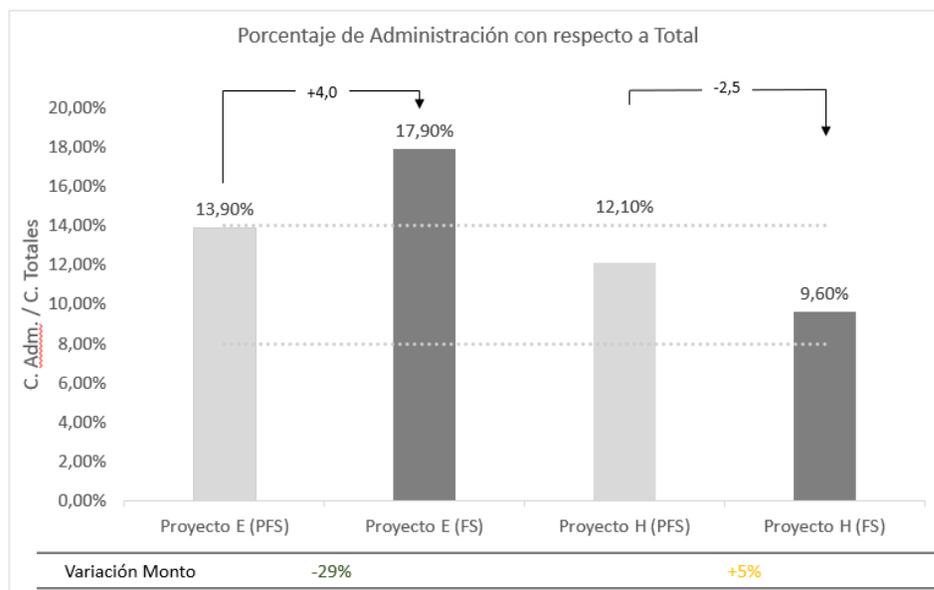


Figura 31: Porcentaje de Costos Administración con respecto al costo total, proyectos mov. tierra.

Al evaluar la evolución de los indicadores a lo largo de las etapas, se debe estudiar también como varían los montos dado que de estos depende el cálculo de las razones. En el caso del Proyecto E,

se realizó una reducción de alcance entre la aprobación de la etapa de prefactibilidad y el término de la factibilidad, lo que se tradujo en la reducción de un 29% del presupuesto total, lo que se muestra en la **Figura 31**. Al estudiar el comportamiento del indicador para el Proyecto E, se observa que, si bien existe un aumento en el valor de la razón pasando de 13,90% a 17,90%, se tiene también una reducción de monto de cerca de 16 millones de dólares. Sin embargo, esta reducción no es lo suficiente para lograr un valor dentro del rango óptimo determinado por la empresa auspiciadora, dado que independiente de la reducción de alcance, se tendrán que incurrir en gastos administrativos que inicialmente estaban considerados, lo que explicaría el comportamiento del indicador. Mientras que, para el Proyecto H, se puede observar que el presupuesto aumentó un 5%, sin embargo, esto se debe a que el detalle de los costos directos fue más profundo para poder hacerse cargo del alcance buscado. En cuanto al indicador, se observa que existe una reducción de la razón pasando de 12,10% a 9,60%, lo que conlleva una reducción de monto de 16 millones. Esta reducción mantiene el indicador dentro de los rangos detectados por lo que debiera poder hacerse cargo del alcance buscado.

Continuando con el segundo indicador, se tienen los siguientes resultados:

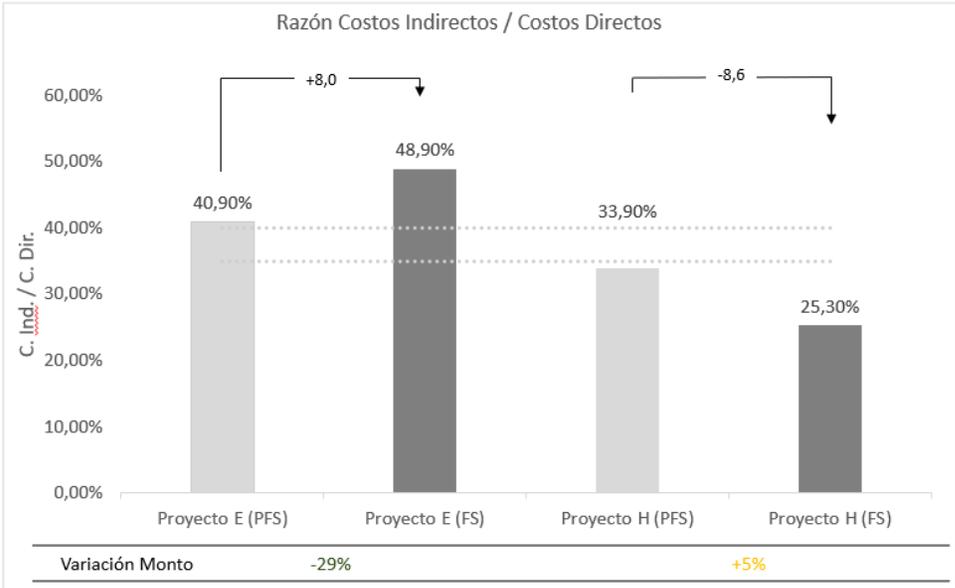


Figura 32: Razón Indirectos / Directos, proyectos mov. tierra.

El rendimiento del Proyecto E para este indicador viene explicado bajo la misma lógica del indicador anterior, debido a la reducción de alcance hay costos indirectos que no pudieron ser eliminados, es decir, presentan desperdicios haciendo que la estimación no sea completamente lean, esto se puede afirmar dado que los costos directos se redujeron cerca de 39% entre las etapas, mientras que los costos indirectos solo se redujeron cerca de 26%. Mientras que, para el Proyecto

H, el valor de la razón es preocupante dado el bajo resultado, debido a que podría indicar que se están subestimando los costos indirectos en búsqueda de aumentar lo menos posible el valor del presupuesto global. De mantener este rendimiento es probable que, durante la ejecución, se necesite utilizar montos asociados a contingencias para acaparar partidas indirectas no detectadas.

Lo obtenido a partir de estos análisis, sigue la misma línea del estudio del arte debido a que se observa como los cambios de alcances impactan las estimaciones de costos, a pesar de que estos ocurran en una etapa temprana de los proyectos, entregando otra validación sobre la importancia de lograr capturar el alcance buscado por el negocio desde un principio, a un mínimo precio y sin desperdicios (lean).

Por otro lado, dentro de los costos directos asociados a estos proyectos se incluyen costos que no están relacionados con movimiento de tierra, por lo que para realizar este análisis se consideran los costos asociados a las siguientes partidas:

- Muros y Yacimientos
- Obras de evacuación de crecidas
- Obras Captación
- Caminos/ Instrumentación/ Red Suministro Eléctrico/ Obras Hidráulicas

Dejando fuera:

- Compra de Terrenos
- Campamentos
- Comunicaciones

Al evaluar la evolución de los indicadores de costos directos se obtiene:

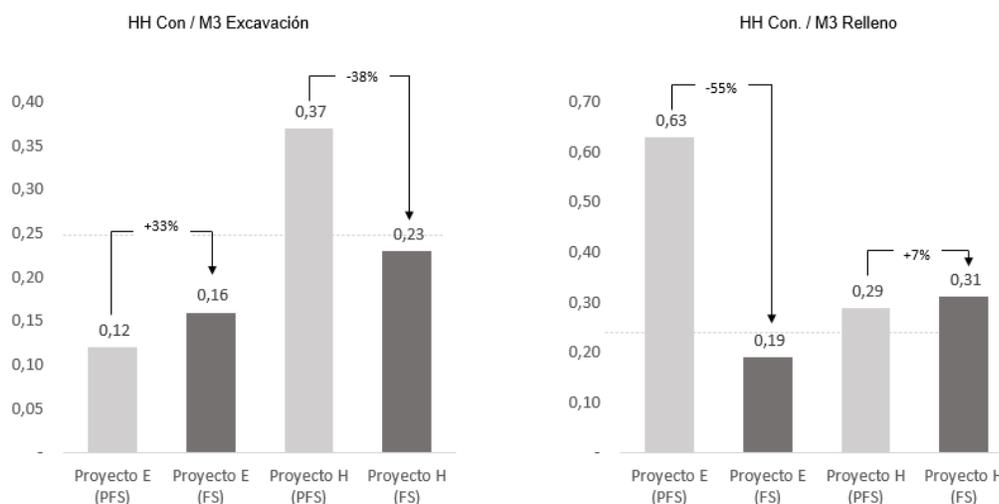


Figura 33: Evolución uso de recursos HH Con./ M3 Excavación (izquierda), HH Con./ M3 Relleno (derecha).

Con respecto a los rendimientos de uso de horas de construcción asociadas a excavaciones, se puede observar que el rendimiento del Proyecto E aumentó en un 33%, sin embargo, este valor aún se encuentra bajo el promedio de los proyectos anteriores. Además, esta reducción viene acompañada de un ahorro de 5 millones de dólares. Mientras que, para el Proyecto H, se tiene una reducción de un 38% pese a que viene acompañado de un aumento de 13 millones de dólares, lo que indica que en la etapa de prefactibilidad se estaban sobre estimando la cantidad de horas requeridas para la cantidad de excavación, así como el detalle del trabajo requerido. Por otro lado, con respecto a los rendimientos de las horas de construcción asociadas a rellenos, para el Proyecto E se produjo una reducción de 55%, situándose bajo el promedio de proyectos anteriores, esta reducción viene acompañada con un ahorro de cerca de 40 millones de dólares. Finalmente, el Proyecto H aumenta su rendimiento en 7% aumentando los costos asociados en cerca de 32 millones de dólares, nuevamente se puede observar que el nivel de detalle del alcance entre las etapas fue aumentando lo que explica el aumento de monto, además, el rendimiento se encuentra por sobre el promedio de proyectos anteriores, lo que indica que hay espacios de mejora para obtener mejores rendimientos.

Para la comparación de los rendimientos de la estimación de costos de factibilidad, se agregan proyectos que responden a etapas anteriores del peraltamiento de los muros, correspondiendo los Proyectos J y K a etapas anteriores del Proyecto, mientras que el Proyecto L a la etapa anterior del Proyecto H.

Así, se obtienen los siguientes resultados para el primer indicador:

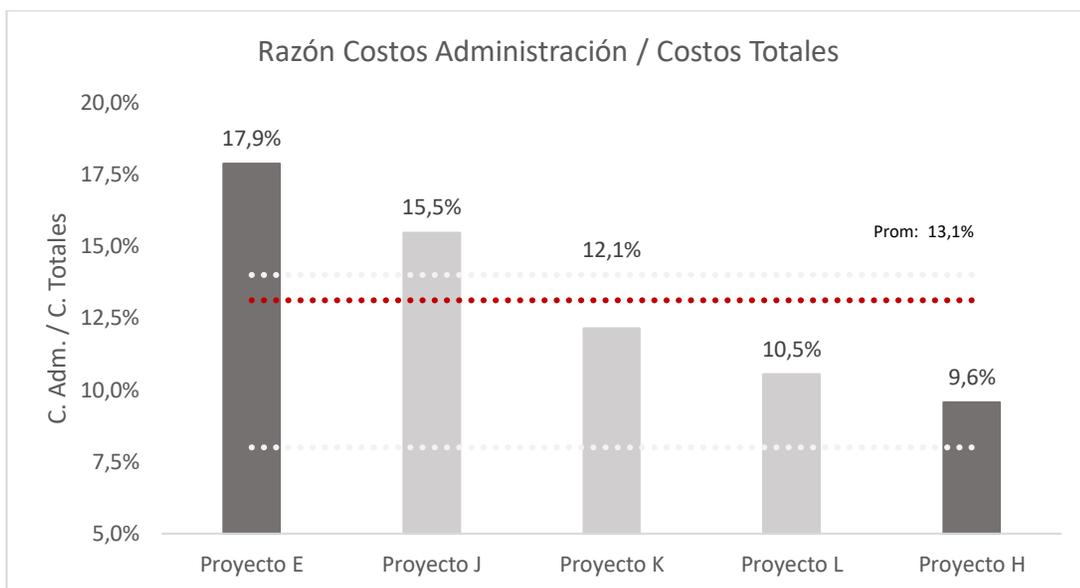


Figura 34: Razón Costos Administración/ Costos Totales, proyectos movimiento de tierra.

Con respecto a los valores para el indicador de costos de administración sobre costos totales, se tiene que el Proyecto H es el más competitivo con respecto a los otros proyectos manteniéndose dentro del rango óptimo, mientras que el rendimiento del Proyecto E ya fue explicado anteriormente.

Por otro lado, al revisar el indicador asociado a la razón de costos indirectos con respecto a los costos directos, se obtiene:

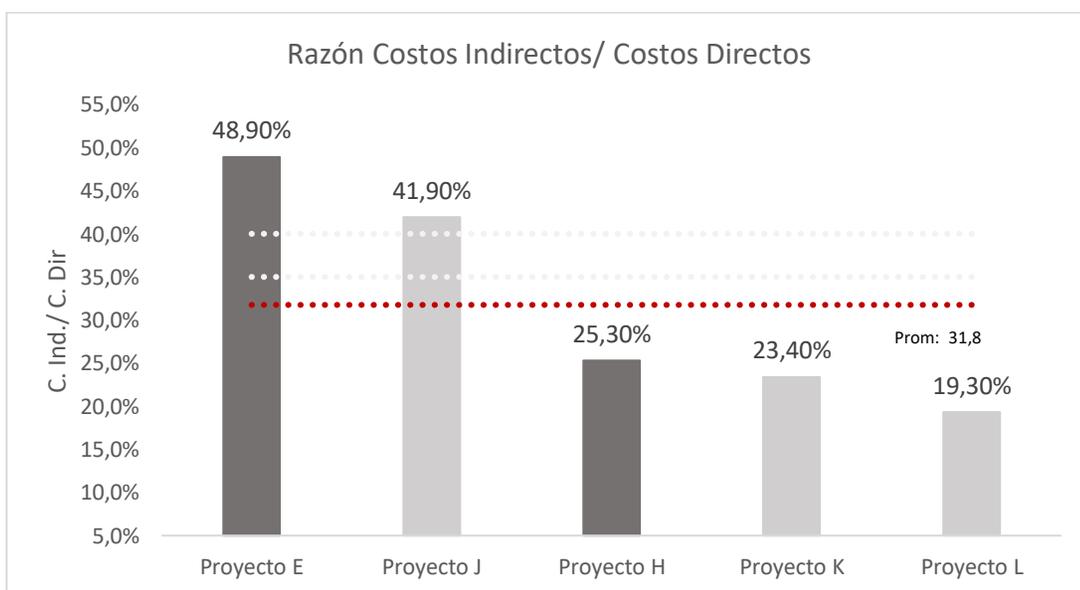


Figura 35: Razón Costos Indirectos/ Costos Directos, proyectos movimiento de tierra.

De la **Figura 35**, se puede observar que no existe ningún proyecto que se encuentre dentro del rango óptimo determinado, lo que sin duda impactará durante la ejecución de estos proyectos, requiriendo más capital para costos indirectos en los proyectos que subestiman esta cantidad y gastando de más en los que sobrestiman esta cantidad, debido a que dicha diferencia no será recuperada. Sería interesante poder evaluar como resulta este indicador al término de la ejecución de los proyectos y si esta razón se encuentra dentro del rango óptimo detectado, sin embargo, no fue posible incluir información de costos reales de las etapas anteriores de los proyectos estudiados.

Finalmente, al evaluar los rendimientos de los indicadores de los costos directos se obtiene:

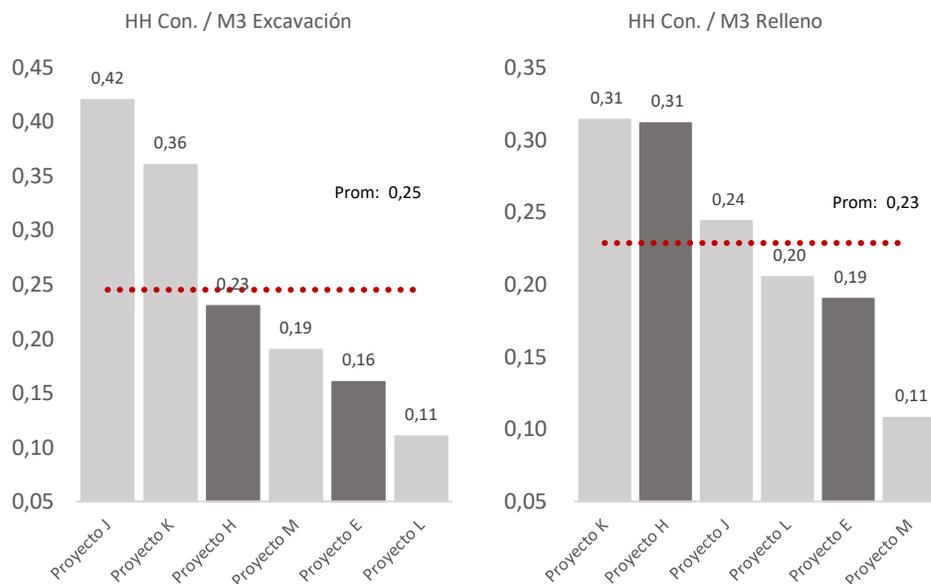


Figura 36: Evolución uso de recursos HH Con./ M3 Excavación (izquierda), HH Con./ M3 Relleno (derecha).

De la **Figura 36**, se puede apreciar que ambos proyectos son competitivos en el indicador de horas de construcción de metros cúbicos de excavación, mientras que para el indicador de metros cúbicos de relleno solo el Proyecto E es competitivo existiendo espacios de mejora para el Proyecto H.

Así, este caso aplicado muestra ejemplos del uso número 4 mediante el análisis de la evolución de los indicadores durante las fases, así como también el uso número 2 a través de la evaluación de los CAPEX de factibilidad.

7. Conclusiones

En primer lugar, este trabajo permite comparar la competitividad de los proyectos de inversión minera de la industria del cobre entregando un sistema de comparación en base a KPI's. Así, se entrega una herramienta a la empresa auspiciadora que permite guiar la aplicación de técnicas de incremento de valor, las que buscan lograr que el proyecto cumpla todas las exigencias y valores de la empresa al mínimo costo posible. Considerando que la empresa deberá evaluar diversos proyectos en el futuro y que esta metodología ya está siendo utilizada para la aprobación y análisis de estimados, se concluye que se cumple el objetivo principal del estudio.

Con respecto a los objetivos específicos, se debe mencionar que estos también fueron cumplidos, debido a que se entregó una segmentación de tipos de proyectos mineros, se entregaron las directrices para generar el sistema de comparación, así como sus usos y se seleccionaron indicadores que permiten medir la competitividad de la estimación de costos de un proyecto, los que fueron utilizados para casos aplicados. Entendiendo que estos indicadores responden a los usos con que inicialmente fueron diseñados, correspondiendo así, los usos N°1 y N°2, a escenarios en donde los indicadores miden la competitividad de la estimación de costos de un proyecto en comparación a otros.

Por otra parte, uno de los objetivos que buscaba conseguir la empresa auspiciadora con este trabajo era poder identificar en que secciones el costo estimado no presentaba la definición requerida para dicho punto del proyecto y/o no se relaciona al alcance buscado, permitiendo mejorar los diseños ya existentes durante las fases de estudios, lo cual es logrado parcialmente con la metodología propuesta, ya que, en base a los promedios obtenidos a partir de la industria como de los proyectos internos, se consigue obtener cotas superiores que no deberían ser superadas a no ser que la naturaleza del proyecto así lo requiera (ej: la cantidad de piping según la capacidad para el caso de estudio de chancadores primarios). Debido a que tener rendimientos elevados generalmente indican una sobreestimación de los recursos necesarios para así evitar la necesidad de aumentar el presupuesto posteriormente. Sin embargo, este trabajo no define cotas inferiores teóricas ni numéricas que permitan identificar cuando se está subestimando la cantidad de recursos requeridos para llevar a cabo el proyecto.

Con respecto a la estimación de costos se debe mencionar que, para poder realizar análisis de este tipo, hay que poseer una estructura de quiebre común entre los proyectos, la que idealmente sea la misma tanto para las fases de estudios como la de ejecución de los proyectos, debido a que esto facilita poder comparar las informaciones. Además, se debe poseer una gran cantidad de proyectos que tengan dicha estructura de quiebre, para así obtener resultados más robustos y confiables. Este proceso puede tomar tiempo debido al ciclo de vida de un proyecto minero que puede durar muchos años, por esto se recomienda el apoyo de una empresa externa que cuente con una base de datos

durante la implementación inicial de iniciativas como esta, para así contar con información del mercado y gran variedad de proyectos.

Sumado a lo anterior, este trabajo entrega más evidencia sobre lo necesario que es tener una buena definición y entendimiento del alcance del proyecto durante las fases de estudios, y evidencia el impacto que no lograrlo tiene en los diseños. Lo anterior se puede notar en el caso de estudio de los proyectos de movimiento de tierra, en donde un cambio de alcance durante la etapa de factibilidad arrastro desperdicios de la etapa anterior.

La elección de indicadores fue realizada en base a la segmentación de proyectos mineros y sus respectivos costos, tomando como base los indicadores utilizados por la industria, sin embargo, existe espacio de mejora para agregar indicadores que evalúen intangibles que se hagan cargo de los otros FCE mencionados, como puede ser la composición de equipos o el propio alineamiento del alcance con respecto al negocio buscado. Para hacerlo, se deben generar otras metodologías en base a encuestas de personas tomadoras de decisiones que permitan medir esto, lo cual será detallado en mayor profundidad en la **Sección 7.2 Trabajos Futuros**.

Si bien este trabajo no se hace cargo sobre los rendimientos reales de los indicadores propuestos, debido a que no se contó con la información de estos al no estar realizados, si permite identificar brechas en el presupuesto estimado levantando alertas cuando estos no están siendo competitivos, lo que permite su análisis y posteriores recomendaciones para su ejecución. Por otra parte, se mostró que no todos los indicadores deben encontrarse bajo el promedio y que estos dependen del contexto del proyecto a realizar, ejemplo de esto fueron los rendimientos obtenidos de metros de piping para el Proyecto G, los que se ubicaban sobre la media por los propios requerimientos del proyecto. Se recuerda que estos indicadores no corresponden a metas que deben ser siempre cumplidas, si no a puntos de referencia que permitan tomar decisiones de manera informada facilitando la mejora continua. Además, el sistema permite evaluar la historia de un proyecto entre las etapas de la fase de estudio, permitiendo evidenciar que lograr ahorros entre las etapas de la fase de estudios no siempre significa que un proyecto se esté haciendo más competitivo ni más lean, así como también un aumento de monto no significa que el proyecto sea menos competitivo.

Se debe mencionar que las curvas predictivas generadas a partir del indicador de intensidad de capital o de capacidad son herramientas que puede ser utilizadas no tan solo por la empresa auspiciadora si no que, por todas las empresas del rubro, lo corresponde a un gran resultado del trabajo y se espera que sean utilizadas en un futuro próximo.

Finalmente, hay que recalcar que iniciativas de innovación como esta, generan espacios de mejoras no identificados anteriormente por las empresas, lo que puede aumentar la productividad debido al quiebre que provoca el tener que realizar los procedimientos de formas distintas.

7.1 Limitantes

La principal limitante del trabajo fue la existencia de variadas estructuras de desglose de trabajo en los proyectos de la empresa auspiciadora, lo que hacía imposible cruzar la información al detalle requerido. La estructura mencionada en el presente trabajo comenzó a ser utilizada hace pocos años por la empresa auspiciadora durante la fase de estudios, por lo que se contó con un número acotado de proyectos para realizar los análisis de casos de estudios. Además, no se contó con información de costos reales de proyectos que tuvieran dicha estructura de quiebre, imposibilitando el cálculo de los indicadores para fines predictivos, lo que sin duda hubiese sido un gran aporte para el trabajo.

La segunda limitante fue el acceso a información de la industria, debido a que en el inicio del trabajo se pensaba lograr estudiar en detalle los presupuestos de otras empresas mineras, cuando en la realidad solo se obtuvo información general sobre los rendimientos de horas unitarias de estos, no pudiendo agregar capacidades ni costos directos asociados a proyectos de infraestructura para el caso de estudio.

La última limitante del trabajo fue el gran conocimiento de la industria minera que este trabajo requirió, debido a que fue necesario entender en detalle los diversos tipos de proyectos para realizar su segmentación, así como entender en detalle la composición y contexto de cada uno de los proyectos utilizados para los casos de estudios. Debido a esto, la posibilidad de generar más casos de estudios o agregar más información a los casos existentes fue imposible debido a la falta de tiempo.

7.2 Trabajos futuros

La gran variedad de proyectos mineros permite realizar muchos casos de estudios en donde el sistema propuesto puede ser aplicado, generando nuevas curvas predictivas y robusteciendo los resultados de los indicadores a medida que se van agregando mayor cantidad de proyectos. El presente trabajo solo estudia proyectos de infraestructura planta y movimiento de tierra, específicamente chancadores primarios y peraltamiento de depósito de relaves, dejando fuera proyectos que cuentan con prestripping, proyectos de minería subterránea y variedad de proyectos de infraestructura y planta, como plantas concentradoras, plantas de fundición, etc; por lo que

cualquier análisis sobre estos proyectos daría continuación al presente trabajo. Para facilitar estos trabajos, se incluye información relevante en la **Sección Anexo B** de proyectos que no fueron utilizados para los análisis mostrados.

Por otra parte, se debe evaluar los indicadores con información de costos reales para evaluar su impacto real sobre los costos obtenidos tras la ejecución del proyecto para poder generar trabajos estadísticos que evalúen la correlación de los indicadores con los resultados obtenidos. En base a estos trabajos estadísticos, se podría generar una metodología que permita ordenar los proyectos en base a su competitividad de forma mucho más estructurada, en base a las ponderaciones obtenidas para cada indicador.

Complementando lo anterior, un trabajo a futuro que enriquecería el realizado sería la inclusión de indicadores financieros como el VAN del proyecto o el valor del material a extraer, que permitan entregar una visión mucho más general del proyecto como tal y no solo de los costos que deberán incurrir para llevarlo a cabo. Agregar esta información permitiría entregar una directriz sobre los proyectos prioritarios en que se deben enfocar los recursos humanos para lograr hacerlos más competitivos, en base al beneficio que se espera de estos.

Además, los KPI's seleccionados solo se hacen cargo de evaluar el diseño del proyecto con respecto a los costos de estos, dejando de lado otros FCE mostrados en la **Tabla 4** de la **Sección 2.1.2** como lo son: el entendimiento del proyecto (1°), la generación de un equipo competente (2°), el involucramiento del cliente (6°), involucramiento de los Stakeholders (12°) y la autoridad del gerente del proyecto (13°); que corresponden a componentes intangibles del desarrollo de un proyecto cuya medición es mucho más compleja, puesto que se debe generar un instrumento específico que busque cuantificar el estado de alguno de estos FCE. Sin lugar a duda, desarrollar metodologías en base a encuestas identificando personal clave a encuestar, preguntas claves y alternativas de respuestas que permitan entregar resultados estadísticamente significativos sobre el estado del FCF que se busca medir, corresponderán a una herramienta complementaria que enriquecerá el trabajo realizado, ayudando a alinear de mejor manera los cálculos y las personas al alcance buscado.

Finalmente, este trabajo entrega las directrices para que las empresas del rubro puedan implementar el sistema de comparación propuesto, mediante la estandarización de la estructura de quiebre para todos los proyectos y etapas de estos, así como la definición de los indicadores y usos de estos.

8. Bibliografía

1. Rossinni, Jorge (2021). : Aumento en el alcance: que es y como gerenciarlos.
2. Proyect Management Institute (2017). : Aumento de las tasas de éxito, la transformación del alto costo de un bajo desempeño.
3. Baccarini, David and Collins, Adam. (2003). : Critical success factors for projects, in Brown, A. (ed), Surfing the Waves: Management Challenges; Management Solutions, Proceedings of the 17th ANZAM Conference, 2-5 December, 2003. Fremantle, Western Australia
4. Begazo, José. (2008). : Terminología de los nuevos estilos de gerencia. Lima: San Marcos.
5. Benzaquén, J., Del Carpio, L., Zegarra, L.A. y Valdivia, C.A. (2010). : Un Índice Regional de Competitividad para un país. Revista de la CEPAL, (102):69-8
6. Águila, K., Cadenas, E., Baique, N., & Berrocal, M. (2018). : Competitividad en proyectos agrarios de la amazonía peruana. Lima, Peru: Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía.
7. Misión de Empresa Auspiciadora.
8. Historia de Empresa Auspiciadora.
9. Memoria anual 2020 de Empresa Auspiciadora, Págs. 20, 32, 158-163,318.
10. Anuario de Estadísticas del Cobre y Otros Minerales 2000-2019 [en línea]:
< <https://www.cochilco.cl/Lists/Anuario/Attachments/23/AE2019WEB.pdf>>
11. Inversión en la minería chilena- Cartera de proyectos 2020 -2029, Pág. 6 [en línea]
<https://www.cochilco.cl/Listado%20Temtico/Cartera%20de%20proyectos%202019%20-%202028%20vf.pdf>
12. Kozak M. (2006). : What is Benchmarking? Understanding its philosophy.
13. Lankford WM. (2000). : Benchmarking: understanding the basics. Coastal Business J;1(1):57–62.
14. Haubrich, Ch. (2014). : Why Building a Mine on Budget is Rare, CIM MES Toronto.

15. Lwin, T. y Lazo, J. (2016). : Capital Cost Overrun and Operational Performance in Mining Industry, Management and Economics Society, CIM Toronto.
16. Foulquié, P. (2006). :. Diccionario de pedagogía. Barcelona: Oikos-tau.
17. Porter, M.E. (2000). : Estrategia competitiva: técnicas para el análisis de los sectores industriales y de la competencia. México, D.F.: Compañía Editorial Continental.
18. Silva, D. (2017). : Análisis de la gestión de inversión de la gran minería del cobre en periodo de crisis. Tesis para optar al grado de Magister en Gestión Empresarial.
19. Agüero, E. (2018). : Análisis de sobrecostos de Cappex entre el estudio de factibilidad y construcción de proyectos mineros y su comparación con proyectos de infraestructura y proyectos de petróleo y gas entre los años 2006-2016 . Memoria para optar al título de ingeniero civil de minas.
20. Barrick. (2009). : Desarrollo de un Proyecto Minero. Curso de minería para periodistas.
21. A A CE International, & Pe, S. A. J. (2012) : Skills & Knowledge of Cost Engineering: A Product of the Education Board of AACE International (English Edition) (5th ed.). AACE International.
22. Siami-Irdemoosa, E., Dindarloo, S., Sharifzadeh, M. (2015). : Work breakdown structure (WBS) development for underground construction, Automation in Construction.
23. Samman, B. (2018) : Why Breakdown Structures Are a Must for Capital Projects Delivery?
24. Morris, P., y Hough, G. (1987) : The anatomy of major projects: A study of the reality of project management. Chichester, England: John Wiley & Sons, Inc.
25. Merrow, E., McDonwell, L., y Arguden, R. (1988) : Understanding the outcome of Megaprojects. Santa Monica, CA: Rand Corporation
26. A A CE International. (2020) : Cost estimate classification system – as applied in engineering, procurement and construction for the process industries. AACE International.
27. Government Accountability Office. (2020) : Cost Estimating and Assessment Guide: Accessible Version GAO-20-195G. Independently Published.
28. A A CE International. (2021) : Project Historical Database Development. AACE International.

29. Asset Performance Networks, Hansen S. (2017). : Advances in benchmarking capital project cost.
30. Independent Project Analysis [en línea]:
< <https://www.ipaglobal.com/>>
31. Asset Performance Networks [en línea]:
< <https://www.ap-networks.com/>>
32. AACE International. (2007) : Transforming Historical Project Data into Useful Information. AACE International.
33. Herrera, J. y Pla, F., (2006). : Métodos de minería a cielo abierto.
34. Prestripping más grande de la minería chilena [en línea]:
< https://www.codelco.com/prestripping-mas-grande-de-la-mineria-chilena/prontus_codelco/>
35. Mardones, L., (2020). : Capturando las mejoras en diseño, procedimientos y planificación de las obras de construcción - Proyecto mina Chuquicamata Subterránea (PMCHS). Memoria para optar al título de ingeniero civil de minas.
36. Codelco Educa [en línea]:
< https://www.codelcoeduca.cl/codelcoeduca/site/edic/base/port/proceso_productivo.html>
37. Minería Chilena, (2015) . : Fundiciones en Chile: Una discusión necesaria. [en línea]:
< <https://www.mch.cl/reportajes/fundiciones-en-chile-una-discusion-necesaria/#>>
38. División Ventanas [en línea]:
<https://www.codelco.com/division-ventanas/prontus_codelco/2016-02-25/165525.html >
39. López, E., (2012). : Estudio experimental de la Permeabilidad de materiales Depositados en pilas de Lixiviación. Santiago, Chile: Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Civil.
40. SERNAGEOMIN. Preguntas frecuentes sobre relaves. [en línea]:
<<https://www.sernageomin.cl/wp-content/uploads/2018/01/Preguntas-frecuentes-sobrerelaves.pdf> >
41. Gobierno de Chile. Departamento de deposito de relaves. [en línea]:
<https://geotecniaambiental.cl/wp-content/uploads/2017/07/1-Presentacion-SNGM-relaves-Ulaserena.pdf>
42. Datos Públicos Depósito de Relaves. [en línea]:
<<https://www.sernageomin.cl/datos-publicos-deposito-de-relaves/> >

43. SERNAGEOMIN. Curso experto en prevención de riesgos de la industria extractiva minera nacional: Módulo II: Seguridad en minería riesgos eléctricos aplicados a la minería.
44. Cifuentes, C., (2019) .: Cierre parcial de faenas mineras. Tesina presentada a la Facultad de Derecho de la Universidad del Desarrollo para optar al grado académico de Magister en Derecho Ambiental
45. Cabello, M., (2017) Optimización de las distancias de transporte mediante la ubicación diseño de botaderos en minera Antucoya. Memoria para optar al título de ingeniera civil de minas.
46. Badawy M, El-Aziz AAA, Idress AM, Hefny H, Hossam S, (2016). : A Survey on Exploring Key Performance Indicators, Future Computing and Informatics Journal.
47. Independent Project Analysis. (2015).: Summary Cost Metrics. [en línea]:
< <https://www.ipaglobal.com/news/article/summary-cost-metrics/> >
48. Independent Project Analysis. (2015).: Detailed Unit Cost Metrics. [en línea]:
< <https://www.ipaglobal.com/news/article/detailed-unit-cost-metrics/> >
49. Investopedia. (2020). : Capital Intensive [en línea]:
<<https://www.investopedia.com/terms/c/capitalintensive.asp> >
50. Price Waterhouse Coopers. (2007).: Guide to key performance indicators. [en línea]:
<https://www.pwc.com/gx/en/audit-services/corporate-reporting/assets/pdfs/uk_kpi_guide.pdf >
51. AICE, (2014). : Edificios de Chancado Primario. [en línea]:
<<https://slideplayer.es/slide/11893522/> >

9. Anexos

Anexo A: Detalle Intensidad de Capital de proyectos sin considerar costos asociados a movimiento de tierra ni proyectos singulares.

Tabla 17: Detalle Intensidad de Capital de proyectos sin considerar costos asociados a movimiento de tierra ni proyectos singulares.

Fuente: Elaboración propia

	Proyecto G Chancador 1	Proyecto A (reciclado)	Proyecto B	Proyecto I
<i>Capacidad (ktpd)</i>	171	200	75	50
<i>Clase</i>	Clase 3	Clase 3	Clase 3	Clase 2
<i>Costos Directos (moneda común)*</i>	100	119,2	88,5	51,1
<i>Costo/Capacidad</i>	0,44	0,45	0,89	0,64

Anexo B: Detalle información relevante de proyectos no utilizados.

Tabla 18: Indicadores Generales, según tipo de proyecto.

Fuente: Elaboración propia.

Tipo Proyecto	Proyecto	Etapas	C. Adm./ C. Tot	C. Ind. / C. Dir.
Infraestructura Planta	Proyecto A	Pre- Factibilidad	7%	37%
	Proyecto A (reciclado)	Factibilidad	13%	47,5%
	Proyecto B	Factibilidad	6%	26,5%
	Proyecto B	Pre- Factibilidad	10%	40%
	Proyecto C	Factibilidad	7%	18,7%
	Proyecto G	Factibilidad	15%	42,7%
	Proyecto I	Factibilidad	9%	45,8%
	Proyecto M	Factibilidad	6%	27,8%
	Proyecto N	Pre- Factibilidad	6%	25%
Minería Subterránea	Proyecto D	Factibilidad	5%	13,5%
	Proyecto F	Factibilidad	8%	31,9%
	Proyecto O	Factibilidad	11%	34,3%
	Proyecto P	Factibilidad	12%	35,3%
Movimiento de Tierra	Proyecto E	Factibilidad	17,9%	48,9%
	Proyecto E	Pre- Factibilidad	13,9%	40,9%
	Proyecto H	Factibilidad	9,6%	25,3%
	Proyecto H	Pre- Factibilidad	12,2%	33,9%
	Proyecto J	Factibilidad	12,1%	23,4%
	Proyecto K	Factibilidad	15,5%	41,9%
	Proyecto L	Factibilidad	10,5%	19,3%

Tabla 19: Indicadores en detalle de costos directos, según tipo de proyecto a nivel 2.

Fuente: Elaboración propia

Tipo	Proyecto	Etapa	Indicadores						
			HH / Ton acero	HH/ M3 Hormigón	HH/ m3 excavación	HH/ M excavación	HH/ m3 relleno	HH/ m3 prestripping	HH/ m piping
Planta Concentradora	Proyecto A	Pre-Factibilidad	61,90	16,56	0,16	-	0,16	-	5,25
	Proyecto A (reciclado)	Factibilidad	63,46	20,54	0,15	-	0,14	-	5,29
	Proyecto C	Factibilidad	71,29	20,82	0,15	-	0,14	-	3,83
	Proyecto I	Factibilidad	89,46	4,87	0,33	-	0,12	-	5,30
Desarrollo Minería Subterránea	Proyecto D	Factibilidad	25,41	7,36	-	69,62	-	-	4,96
	Proyecto F	Factibilidad	48,15	7,28	-	48,00	1,71	-	4,29
	Proyecto O	Factibilidad	126,30	17,71	2,42	28,96	0,67	-	6,53
	Proyecto P	Factibilidad	75,04	18,17	-	64,65	0,40	-	5,07
Correas Transportadoras	Proyecto G 1	Factibilidad	-	17,69	0,26	-	0,19	-	2,64
	Proyecto G 2	Factibilidad	-	-	0,15	-	0,17	-	-
Otras Plantas	Proyecto C - Planta Hidrometalurgia	Factibilidad	69,87	11,54	0,12	-	0,08	-	3,17
	Proyecto I - Planta Fundición	Factibilidad	98,51	3,23	16,47	-	5,21	-	13,86
	Proyecto M - Tratamiento de Conc. de Molibdeno	Factibilidad	68,95	19,52	0,12	-	0,20	-	1,99
	Proyecto N - Espesadora de relaves	Pre-Factibilidad	76,30	26,32	0,38	-	0,17	-	9,04
Correas Transportadoras Subterráneas	Proyecto O	Factibilidad	85,54	14,86	0,78	0,90	0,76	-	3,64