



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA DE MINAS**

DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DEL PLAN MINERO

MEMORIA PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO CIVIL DE MINAS

FELIPE ANDRES RAMIREZ PINO

**PROFESOR GUIA:
FELIPE AZOCAR HIDALGO**

**MIEMBROS DE LA COMISION:
BRUNO BEHN THEUNE
CHRISTIAN MOSCOSO WALLACE**

**SANTIAGO DE CHILE
AGOSTO 2008**

Resumen

En la industria minera, la planificación sustenta el valor posible de capturar a través de la explotación de un recurso mineral, según los lineamientos de cada empresa. Bajo esta premisa, se hace necesario entonces monitorear el desempeño de la operación, con el fin de asegurar los resultados previstos en los planes mineros.

Este trabajo aborda la problemática de diseñar y definir un sistema integrado que permita realizar un control efectivo a la ejecución de un plan minero, enfocándose principalmente en las variables que presentan un carácter marcadamente técnico, pero que impactan directamente los resultados económicos del negocio.

El sistema propuesto está conformado por indicadores claves de desempeño técnico, que entregan información clara sobre las principales desviaciones que pueda sufrir un plan en la ejecución del mismo, para las principales variables de planificación utilizadas en la actualidad: el tonelaje de mineral, la ley de metal de interés en el mineral, y la recuperación del metal en el proceso.

Los indicadores son agrupados y relacionados entre sí, estableciendo causalidades entre ellos que permiten explicar situaciones que no son reportadas formalmente en las cuentas normales de gestión, pero que ocasionan una pérdida de valor presente del negocio, y que son factibles de enfrentar con la información presentada en forma precisa y concisa, según la metodología propuesta.

La metodología explicada se aplica mediante un caso de estudio, donde se toman valores obtenidos desde una operación real. Dichos datos, al alimentar al sistema de indicadores, permite explicar las diferencias encontradas entre los planes presupuestados y la realidad lograda en la operación, donde se evalúa el impacto económico de trabajar sin un control formal de las desviaciones de los planes. Se destaca en este punto la gran pérdida de valor producto de un retraso constante en la remoción de material estéril en una mina a cielo abierto, afectando los planes futuros al no contar con mineral suficiente a la vista, lo que se traduce en una disminución de la calidad de las menas procesadas en los periodos siguientes del plan.

Es posible concluir la importancia de contar con herramientas propias del control de gestión, pero aplicadas a variables mineras, las cuales son parte inherente del diseño y la planificación de la explotación minera. El sistema propuesto permite asegurar operaciones de mayor robustez, y definir planes acordes a las reales opciones para ejecutar los procedimientos planificados, exponiendo las diversas interacciones u relaciones causales entre los componentes de dicho sistema. Además, este trabajo demuestra con un ejemplo real la potencia de la metodología de indicadores, demostrando su utilidad en el aseguramiento del cumplimiento de las metas productivas.

Abstract

In the mining industry, planning provides a means to estimate the possible value to be captured through exploitation of a resource, based on the lineaments of each industry. This premise leads to the need to monitor performance of the operation for purposes of ensuring the results foreseen in mining plans.

This paper addresses the problems involved in the task of designing and defining an integrated system that makes it possible to exert effective control over execution of a mining plan, the main focus being placed on variables which are markedly technical, but have a direct impact on financial outcome of the business.

The proposed system consists of key technical performance indicators which deliver clear information on the main deviations that execution of a plan may undergo in terms of the main planning variables currently in use: ore tonnage, grade of the metal of interest in the ore, and recovery of the metal through the process.

Indicators are grouped and related to each other, causality in operation among them being established. This makes it possible to explain situations that are not normally reported in business accounting, but which result in a loss of net present value of the business. It is feasible to minimize that loss.

The methodology explained is applied via a study case which uses figures obtained from an actual operation. The data, when fed into the indicator system, make it possible to explain the differences encountered between budgeted plans and the actual conditions achieved through operation, with the consequent possibility of evaluating the financial impact of working without formal control of deviation from plans. Noteworthy within such impact is the major loss of value that results from a constant delay in removal of waste material in an open pit mine, affecting future plans as it prevents sufficient availability of exposed ore, which translates into a drop in the quality of ore processed during the subsequent plan periods.

Conclusions can be drawn regarding the importance of having the right management tools available for control of mining variables, the latter constituting an inherent factor in design and planning of mine exploitation. The proposed system makes it possible to ensure more robust operations, and also to define plans which are more aligned with actually available options for execution of the planned procedures by exposing the various interactions or causal relations in play within the components of said system. In addition, this work demonstrates through an actual example the power of indicator methodology by demonstrating usefulness of the latter in ensuring compliance with production goals.

Indice

1	Introducción.....	1
1.1	Motivación.....	1
1.2	Objetivos.....	4
1.2.1	Objetivo General.....	4
1.2.2	Objetivos Específicos.....	4
1.2.3	Alcances.....	5
2	Análisis bibliográfico.....	6
2.1	Planificación Minera.....	6
2.1.1	Modelo de recursos.....	6
2.1.2	Concepto de leyes de corte.....	7
2.1.3	Tipos de planificación.....	8
2.1.4	Alcances de planificación minera.....	10
2.1.5	Planificación estratégica y riesgo.....	11
2.2	Control de Gestión.....	13
2.2.1	Sistemas de Control.....	13
2.2.2	Estándares de Control de Procesos.....	14
2.2.3	Los Indicadores de Control de Gestión.....	15
2.3	Procesos productivos.....	16
2.3.1	Mina.....	16
2.3.2	Planta de procesos.....	18
2.3.3	El proceso de planificación.....	20
3	Indicadores Clave de Desempeño.....	22
3.1	Producción de Metal.....	23
3.1.1	Asociación de variables y áreas de control.....	23
3.1.2	Resultados parciales del cumplimiento de variables.....	24
3.2	Tonelaje.....	26
3.2.1	Mina a Cielo Abierto: Estéril y Mineral.....	28
3.2.2	Intensidad de uso de equipos principales.....	31
3.2.3	Flexibilidad de los planes de producción.....	33
3.2.4	Confiabilidad del plan minero.....	35
3.2.5	Calidad de la Operación.....	37
3.3	Ley de Metal.....	39
3.4	Recuperación.....	40
3.5	Resumen indicadores.....	43
4	Relaciones Causales y Temporalidad.....	44
4.1	Esquema Causa Efecto.....	44
4.1.1	Causalidades en el tonelaje.....	46
4.1.2	Ley de Mineral.....	48
4.1.3	Recuperación de metal.....	48
4.2	Impacto de Variable Tiempo.....	50
5	Caso de Estudio.....	53
5.1	Antecedentes.....	53

5.2	Resultados Principales.....	53
5.3	Parámetros operacionales	62
5.4	Comparación de alternativas	64
6	Discusión y Conclusiones	66
7	Bibliografía	69
8	Anexos	70
8.1	Leyes de Corte.....	70
8.2	Complementos al Caso de Estudio	72
8.2.1	Fallas y Mantenciones.	72
8.2.2	Variación de Stocks y Balance Mina – Planta.....	76
8.2.3	Utilización de Planta de Procesos.....	77
8.3	Tablas respaldo Caso de Estudio	80
8.4	Arbol Causalidades aplicado a Caso de Estudio	82

Indice de Tablas

Tabla 3-1: Variación indicadores de concentradora, resultados parciales año 2007....	25
Tabla 3-2: Definición de Indicador de riesgo geotécnico.....	36
Tabla 3-3: Resumen general de indicadores propuestos.....	43
Tabla 5-1: Movimiento total de materiales.....	53
Tabla 5-2: Movimiento total de Mineral.....	53
Tabla 5-3: Movimiento total de Estéril.....	54
Tabla 5-4: Ley de Cu de mineral enviado a planta.....	54
Tabla 5-5: Cu fino contenido en mineral.....	55
Tabla 5-6: Resultados económicos, periodo 2003 - 2007.....	55
Tabla 5-7: Plan de producción próximos 5 años.....	58
Tabla 5-8: Resultados económicos, periodo 2008 – 2012 presupuestado.....	58
Tabla 5-9: Resultados económicos, periodo 2008 – 2012, proyectado con situación actual.....	59
Tabla 5-10: Diferencia en valor presente, presupuesto vs. proyección.....	60
Tabla 5-11: Flujos anuales, incorporados planes de mejoras.....	60
Tabla 5-12: VAN próximos 5 años, incorporados planes de mejora.....	61
Tabla 5-13: VAN flujos periodo 2008 – 2012, proyección con y sin mejoras.....	61
Tabla 5-14: Utilización efectiva de palas, años 2003 - 2007.....	62
Tabla 5-15: Utilización efectiva de palas, planes periodo 2007 – 2011.....	62
Tabla 5-16: Inversiones en equipos principales.....	64
Tabla 5-17: Flujos anuales, respetando REM y movimiento total mina.....	65
Tabla 5-18: Flujos anuales, grupos “real” y “respetando plan”.....	65
Tabla 8-1: Flota de Equipos de Transporte, Real vs. Planificado.....	75
Tabla 8-2: Material Cargado, valores reales vs. diferentes planes.....	80
Tabla 8-3: Mineral Cargado, valores reales vs. diferentes planes.....	80
Tabla 8-4: Estéril Cargado, valores reales vs. diferentes planes.....	80
Tabla 8-5: Ley de Cu, valores reales vs. diferentes planes.....	80
Tabla 8-6: Cu Fino, valores reales vs. diferentes planes.....	80
Tabla 8-7: Indicadores Planta de Procesos.....	80
Tabla 8-8: Balance Mina vs. Planta de procesos.....	81
Tabla 8-9: Indicadores Mina, Flota equipos Principales.....	81

Indice de Gráficos

Gráfico 3-1: Peso de variación de indicadores	25
Gráfico 3-2: Variación movimiento acumulado de mineral	29
Gráfico 3-3: Variación movimiento acumulado total	30
Gráfico 3-4: Variación movimiento acumulado de estéril	30
Gráfico 3-5: Ejemplo de Curva Tonelaje – Ley y Leyes de Corte.....	34
Gráfico 3-6: Ejemplo de Ley real vs. estimada	40
Gráfico 5-1: Flujos de caja anuales, periodo 2003 - 2007	56
Gráfico 5-2: Flujos de caja anuales, periodo 2008 – 2012, presupuesto.....	58
Gráfico 5-3: Flujos de caja anuales, periodo 2008 – 2012, proyección situación actual	59
Gráfico 5-4: Flujos de caja anuales, periodo 2008 – 2012, con y sin Sistema de Control	61
Gráfico 5-5: Utilizaciones efectivas de Palas, reales y planificadas	63
Gráfico 5-6: Utilizaciones efectivas de Camiones, reales y planificadas	63
Gráfico 8-1 Disponibilidad y Utilización Transporte, Corto Plazo	73
Gráfico 8-2 Disponibilidad Y Utilización Carguío, Corto Plazo	73
Gráfico 8-3 TMEF y TMPR para flota Transporte, Corto Plazo	74
Gráfico 8-4: Disponibilidad de Camiones, reales y planificadas	74
Gráfico 8-5: Disponibilidad de Palas, reales y planificadas	75
Gráfico 8-6: Mineral Mina vs. Planta	76
Gráfico 8-7: Mineral mina vs. Planta, corto plazo	77
Gráfico 8-8: Disponibilidad y Utilización, Planta concentradora	78
Gráfico 8-9: Tratamiento Efectivo, Planta concentradora	78

Indice de Ilustraciones

Ilustración 1-1: Soluciones factibles del problema de máxima producción.....	3
Ilustración 2-1: Planificación en distintos horizontes de tiempo.....	9
Ilustración 2-2: Esquema planificación minera	10
Ilustración 2-3: Diferencia operación producción y desarrollo en planificación	12
Ilustración 2-4: Concepto de mejoramiento continuo	14
Ilustración 2-5: Operaciones unitarias mina rajo abierto	17
Ilustración 2-6: Operaciones unitarias mina subterránea	17
Ilustración 2-7: Procesamiento línea sulfuros.....	18
Ilustración 2-8: Procesamiento línea óxidos.....	19
Ilustración 2-9: Proceso de Planificación en Codelco.....	20
Ilustración 3-1: Variables mineras y áreas de control de gestión	23
Ilustración 3-2: Esquema de planificación y resultado de tonelaje	26
Ilustración 3-3: Esquema de planificación y resultado de movimiento de materiales, mina a cielo abierto	28
Ilustración 3-4: Distribución de tiempos Asarco.....	32
Ilustración 3-5: Diagrama esquemático general de procesos.....	41
Ilustración 4-1: Esquema causal para variables mineras principales	44
Ilustración 4-2: Relaciones causales entre indicadores asociados al tonelaje	47
Ilustración 4-3: Relaciones causales entre indicadores asociados a la ley de metal.....	48
Ilustración 4-4: Relaciones causales entre indicadores asociados a la recuperación	49
Ilustración 4-5: Causalidades en el tiempo.....	51
Ilustración 4-6: Valor del negocio perdido en el tiempo.....	51
Ilustración 5-1: Atrasos y Adelantos en mina, año 2007	57
Ilustración 8-1: Esquema causal, resultado del caso de estudio	83

Agradecimientos

Quiero agradecer en primer lugar a mis padres David y Susana, por su constante estímulo para enfrentar y superar con éxito cada desafío que se presentó durante este largo trayecto que llega a su fin. También a mi hermano Jorge, abuelos, tíos y primos, que con su constante apoyo y cariño han hecho mucho más acogedora esta etapa de la vida. En especial quiero entregar mis agradecimientos a mi hija Fernanda, quien me ha acompañado desde los inicios de la carrera, gracias por alegrarme cada momento que compartimos y por darme fuerzas para seguir adelante.

Agradezco al Departamento de Ingeniería de Minas de la Universidad de Chile, a sus docentes, alumnos y funcionarios, por su entrega y disposición a formar profesionales de calidad. En especial a los profesores Felipe Azócar, Bruno Behn y Christian Moscoso, por su compromiso y ayuda para terminar este trabajo. Me es totalmente necesario destacar y agradecer la ayuda económica que el Departamento me entregó durante mis estudios, a través de la beca “Departamento de Ingeniería de Minas”, que sin duda alguna ha facilitado el desarrollo y término de mis estudios.

Al grupo humano que compone la Gerencia Corporativa de Recurso Mineros de Codelco Chile, que me permitió desarrollar este trabajo, y que además con sus aportes y ayuda me permitieron dar forma al estudio, mis más sinceros agradecimientos. En especial a don Mauricio Larraín, por su gran disposición a colaborar con el desarrollo de esta memoria de título.

A las grandes personalidades que tuve la oportunidad de conocer y compartir clases, tareas, pruebas, informes, recreos, almuerzos y otros eventos, y que hicieron más grata la vida en el peculiar mundo de Beauchef, debo reconocerles lo agradecido que estoy de que hayan hecho más cálida la rutina diaria.

1 Introducción

La planificación minera determina las acciones y requerimientos según la estrategia de cada empresa, que permiten capturar el valor agregado por la explotación del recurso mineral. Genera la estrategia de consumo de reservas, que entre sus productos entregables se encuentra el plan de producción que se deberá ejecutar. Este último debe ser controlado con énfasis en variables técnicas y económicas del corto y mediano plazo, con el objetivo de garantizar su cumplimiento y con ello la captura del valor creado con el plan.

En la industria minera la tendencia es privilegiar la producción comprometida según la planificación, a fin de asegurar el resultado económico del ejercicio, más aún con los altos precios actuales de los metales, desarrollando acciones concretas para minimizar las mermas productivas en el período.

Sin embargo, si bien ello responde a una acción bien orientada a capturar valor en el corto plazo, se debe velar que su ejecución no sea a costa de la estrategia de desarrollo de la empresa, porque se podrían acarrear costos muy superiores a los beneficios perseguidos, pudiendo ello ocasionar una disminución del valor capturado en cada año.

Chile es el mayor productor de cobre del mundo. A través de empresas estatales y privadas, generó cerca del 36% de la producción global de cobre del año 2007. Disciplinas, temas y acciones relacionadas con la planificación, ejecución, gestión y el desempeño de las operaciones son de vital importancia para mantener este liderazgo.

Dado el escenario anterior, se proyecta generar un sistema de control de la ejecución de la planificación minera que, a través de indicadores claves, permitan comprender las causas de las mayores variaciones y generar acciones concretas orientadas a mitigar dicha variabilidad, otorgando una herramienta que ayude a lograr de manera eficiente la captura del valor creado.

1.1 Motivación

La cadena productiva en el negocio minero está compuesta por diversos procesos, donde cada uno posee diferentes características que definen su rendimiento y productividad. Además, existen relaciones entre dichos procesos, que generan diversas interacciones y efectos “aguas abajo”.

Los niveles productivos de cada etapa o proceso se definen por el punto óptimo que equilibra la parte técnica y la económica, donde generalmente se trabaja asumiendo que se obtiene el máximo desempeño al considerar ingresos marginales nulos¹.

Sin embargo, se puede establecer que para un proceso sus posibilidades de producción o trabajo están acotadas y definidas por las variables involucradas en su ejercicio.

¹ Cerda, Aldo: Introducción a la Economía

Asumiendo que la producción de una minera pueda ser descrita por la siguiente fórmula:

$$P = A \cdot K^a \cdot W^b \cdot M^c$$

donde P puede representar la producción de metal, K se asocia al capital empleado en la producción, W al trabajo y M al recurso minero disponible. La constante A representa la productividad de los factores asociados, mientras que a, b y c son constantes positivas.

De manera más general, la producción P puede ser considerada como una variable componente del vector Y de factores de producción y productos (*inputs* y *outputs*). Las variable y_j del vector Y que representan productos tienen un valor positivo, mientras que las que se asocian a insumos tienen valores negativos. Suponiendo además un espacio de n bienes y productos, se puede entonces escribir:

$$Y = (y_1, y_2, y_3, \dots, y_n) \in \mathfrak{R}^n$$

donde P es una de las variables y_j en particular, que a su vez es función de otras variables del mismo vector, pudiendo expresarse a través de una función implícita.

Considerando una serie de precios p_i para cada variable y_j , y un criterio de máximo beneficio, se originan las múltiples combinaciones de factores que permite obtener distintos niveles de producción, las cuales son las soluciones óptimas del problema:

$$\begin{array}{l} \text{Max } P = A \cdot K^a \cdot W^b \cdot M^c \\ \text{s.a} \quad K, L, M, P_K, P_L, P_M \end{array}$$

ó de manera equivalente y más general:

$$\begin{array}{l} \text{Max} \quad P = y_k \\ \text{s.a} \quad F(Y) = 0 \\ \quad \quad f_i(y_1, \dots, y_j, \dots, y_n, p_1, \dots, p_j, \dots, p_n) < d_i, i = 1, \dots, m \end{array}$$

Las soluciones del problema generan la llamada frontera de eficiencia tecnológica, caracterizada por entregar puntos óptimos de producción, en el sentido de generar soluciones factibles que utilizan el total de los recursos de manera eficiente. De manera esquemática, y considerando solo 2 variables para fines gráficos, la frontera de producción tiene la siguiente forma:

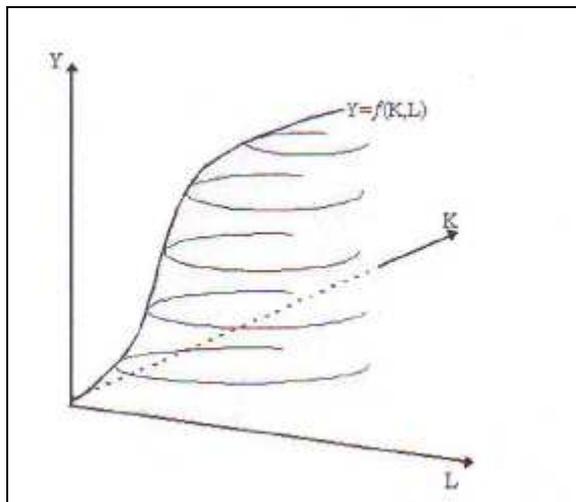


Ilustración 1-1: Soluciones factibles del problema de máxima producción

Una solución que se encuentre dentro de la región limitada por los ejes y la frontera de soluciones factibles es una solución al problema que sub-utiliza los recursos asignados, puesto que es posible de obtener con menos de los insumos considerados. Un punto fuera de la frontera es no factible, por cuanto necesita de mayor cantidad de insumos para ser posible de alcanzar, o requiere de una tecnología no disponible.

En esta lógica, el enfoque de procesos busca alcanzar un punto de producción que permita operar en la llamada frontera de soluciones factibles, de manera tal de obtener el máximo punto de producción factible de alcanzar, y el mejoramiento continuo permite mantener un nivel de producción cercano a la frontera, mediante correcciones sucesivas.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

El objetivo general de este trabajo de título es diseñar, a nivel conceptual, un sistema que permita controlar la ejecución de los planes mineros, en base a un conjunto de indicadores clave de desempeño técnico y de valor, en un horizonte de corto y mediano plazo. Se demostrará, tanto a través de su desarrollo conceptual como de una aplicación real a un caso de estudios, el beneficio económico directo de un sistema de control del plan minero que se basa en variables y conceptos técnicos y económicos propios del negocio minero.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Definir el proceso de creación y captura de valor en el negocio minero, identificando las etapas en que el sistema propuesto interviene.
- Identificar y establecer los indicadores claves de gestión del plan minero, sus objetivos, valorización y métricas de control
- Proponer las métricas de los indicadores claves para el cumplimiento de programas de corto y mediano plazo, y aquellas que permitan evaluar la flexibilidad de las operaciones mineras.
- Establecer las relaciones causales entre los indicadores, identificando oportunidades de mejoras económicas, vulnerabilidades del plan y mitigación de riesgos.
- Aplicar la metodología propuesta a un caso de estudio real y evaluar su impacto económico.
- Concluir respecto de la metodología propuesta y su impacto en el negocio minero.

1.2.3 Alcances

- Conceptualizar un sistema integrado de control de la ejecución del plan minero, estableciendo indicadores para el monitoreo del cumplimiento de los programas de corto y mediano plazo.
- Identificar indicadores en distintas dimensiones del plan minero, los cuales permitan controlar la ejecución del plan, determinando las diferencias entre lo planificado y la realización de los planes mineros.
- Mejorar la vinculación de las áreas de planificación minera, operaciones, y control de gestión, demostrando el impacto económico de esto. Esto orientado a disponer de información temprana que permita tomar acciones para el aseguramiento de los resultados y programas en la calidad y cantidad comprometidos.
- Sentar las bases para un desarrollo posterior de extensión y aplicación de la metodología a niveles más agregados de una empresa.
- Lo anterior se realizará en base a los conceptos y tecnologías conocidas en el negocio minero, en su operación y planificación, y excluye las posibles innovaciones que puedan generarse y permitir una nueva forma de hacer minería.

2 Análisis bibliográfico

Para la realización del trabajo propuesto, se deben abordar los siguientes tópicos para su mayor conocimiento y posterior aplicación al estudio:

- Planificación minera y la ejecución que hace la operación de un plan minero, que en definitiva lo retro-alimenta.
- Control de gestión, con un fuerte enfoque en los procesos y variables técnicas que intervienen.

2.1 Planificación Minera

La planificación, en un modo general, se puede definir como la acción de determinar la forma de lograr ciertos objetivos planteados con anterioridad. Dentro de ésta, se debe incluir aspectos como los recursos técnicos y económicos necesarios, los pasos en orden cronológico, los períodos de tiempo considerados, entre otras cosas.

Este concepto que aparece naturalmente asociado a la forma de realizar alguna actividad, resulta de vital importancia en el negocio minero. Las características únicas asociadas a la economía de minerales, hacen de la planificación el pilar que sostiene la viabilidad de un proyecto. Las principales características son las siguientes²:

- El mineral es un recurso finito.
- Se requiere de una alta inversión y tiempo para desarrollar un proyecto.
- Cada yacimiento posee características propias que determinan su valor.
- Se genera una disminución de ganancias en el tiempo por la estrategia de explotación y envejecimiento de la mina.
- Los esfuerzos se concentran en innovar en tecnologías para el negocio, y para el uso de los productos con el fin de asegurar el negocio a futuro
- El precio de los productos es variable en el tiempo.
- Existe un riesgo asociado a la estimación del recurso, donde siempre existe la incerteza en la aproximación sobre leyes y tonelaje.

Dado lo anterior, es que se hace necesaria una revisión más ampliada del concepto de planificación aplicado al mundo de la minería.

2.1.1 Modelo de recursos

La planificación es un proceso que es inherente al negocio minero, desde su concepción como proyecto, hasta el fin de la vida útil de la mina. En etapas tempranas de proyecto, se realiza un plan minero de acuerdo a los antecedentes que se disponen en el momento. En plena producción de la mina, se actualiza la planificación año a año,

² Huneus L., Felipe: Generación de Escenarios de Planificación Minera

optimizando el plan en el tiempo. En las fases finales de una faena, se hace imprescindible integrar a la planificación con mayor detalle el correcto fin de los procesos y operaciones, respetando la normativa legal y ambiental presente.

Es así como la planificación es parte de todo el proceso, que se debe contar con los antecedentes necesarios para su realización correcta y satisfactoria. Principalmente, se debe conocer el contenido de elemento de interés presente en el yacimiento, con el fin de establecer el potencial económico del mismo, además de restricciones a la explotación, lo que se resume en el “Modelo de Bloques”.

El modelo de bloques es una discretización tridimensional del yacimiento, donde el macizo rocoso se ha dividido en unidades que incorporan información relevante para la planificación, tales como leyes, litología, dureza, propiedades geomecánicas, propiedades metalúrgicas, entre otras. Las dimensiones de dicha unidad están relacionadas con el método de explotación seleccionado, siendo la determinación de éstas una decisión realizada bajo el criterio del evaluador y planificador.

De esta manera, se cuenta con información detallada y ordenada sobre el recurso, la cual ha sido estimada sobre la base de muestras del yacimiento, obtenidas a través de sondajes. Es parte de la evaluación del yacimiento el categorizar la incertidumbre sobre la estimación del recurso, con tal de definir la parte del cuerpo que se reconoce con mayor exactitud.

Existen diversas metodologías y códigos para la clasificación de los recursos, las cuales incorporan el mineral a alguna de las siguientes categorías:

- Recursos medidos: menor incertidumbre de estimación
- Recursos indicados: incertidumbre media en la estimación
- Recursos inferidos: mayor incertidumbre en la estimación

La cuantificación de la incertidumbre es de responsabilidad del evaluador, existiendo distintas opciones asociadas a la metodología de evaluación. De la fracción de recursos correspondientes a medidos e indicados, se realiza la planificación minera en el corto y mediano plazo, dada su mayor certeza en la estimación. Esta parte de los recursos se transforma en reservas probadas y probables, luego del análisis técnico-económico respectivo.

2.1.2 Concepto de leyes de corte

Es necesario hacer referencia al concepto que se desea alcanzar con la planificación. Son distintos los objetivos y las metas que una organización se propone alcanzar durante su ciclo de actividad. Los esfuerzos y compromisos adquiridos se reflejan en la estrategia propuesta, siendo distintivo de cada empresa.

En la minería, es posible encontrar distintos tipos de objetivos, que se traducen en diversas estrategias de producción. Entre los objetivos comunes de empresas mineras, se pueden mencionar los siguientes:

- Maximizar el valor presente neto del negocio (VAN)
- Operar con los mínimos costos
- Maximizar la vida útil del yacimiento, sujeto a un nivel de producción
- Mantener un ritmo constante de producción de fino

Kenneth Lane³ expone una metodología basada en la optimización de un proyecto minero, con el fin de obtener el máximo VAN del negocio posible de capturar durante la explotación, desarrollando con elementos matemáticos una estrategia de leyes de corte, la que puede ser definida como la concentración de metal o mineral de interés mas baja que puede tener un cuerpo mineralizado para ser extraído con beneficio económico⁴.

Actualmente, la mayor parte de las empresas mineras organizan su producción de acuerdo al objetivo de maximizar el VAN, y según este propósito, se planifica considerando:

- Privilegiar una estrategia de leyes de corte que permita una rápida recuperación del valor del recurso
- Trabajar con conceptos de leyes de corte variables en el tiempo, como metodología de optimización de uso de instalaciones y equipos
- Recurrir a manejo de acopios de mineral de baja ley para su uso futuro, incorporando opciones de envío de mineral a planta según se planifique la extracción.

Más aún, el desarrollo de herramientas computacionales, cada vez más avanzadas, incorpora el manejo de dichos acopios como parte de su programa para encontrar los puntos óptimos de producción y extensión de la mina, en caso de la minería a cielo abierto. Dicha teoría es extendida rápidamente a la minería subterránea, la cual es también planificada de acuerdo a estrategias de maximización de VAN.

2.1.3 Tipos de planificación

Atendiendo a la extensión del horizonte de planificación, se pueden definir distintos tipos de planificación, como se señala a continuación^{5 6}:

- Planificación de corto plazo: corresponde a la planificación que se realiza con la mayor precisión posible, en un horizonte de evaluación no superior a uno o dos años. Se presenta también como una planificación de tipo táctica, por cuanto se puede modificar la operación en pos de obtener el máximo beneficio económico dado el escenario económico, político y social vivido en el año a planificar. Efectos como alzas de precios de productos, insumos, servicios, pueden ser aprovechados o mitigados para un mejor desempeño en el negocio.

³ Lane, K.: The Economic Definition of Ore

⁴ Glosario de términos, Codelco

⁵ Huneus L., Felipe: Generación de Escenarios de Planificación Minera

⁶ Guías Corporativas de Planificación Minera, 2005. Documento Interno, GCRM, Codelco Chile.

- Planificación de mediano plazo: se refiere a una planificación basada en la proyección del negocio en un horizonte del orden de los 5 años, por lo que no incorpora el detalle de la planificación de corto plazo, pero dicta las pautas a seguir para las próximas revisiones de los planes de corto plazo. Es clasificada como una planificación que incorpora aspectos tácticos, a su vez que utiliza elementos estratégicos, basados en el enfoque que se persigue obtener en el negocio. Junto con la planificación de corto plazo, se tiende a caracterizar por no poder incorporar grandes cambios en la producción, puesto que una expansión de la capacidad de una faena necesita de gran cantidad de recursos y tiempo para ser efectuada.
- Planificación de largo plazo: se realiza en una base de tiempo que comprende toda la vida de la mina, y arroja la valorización actualizada del yacimiento en el momento de su creación, lo cual define la captura del valor del recurso. Es una planificación netamente estratégica, que se esfuerza por cumplir a cabalidad lo dispuesto como objetivo del negocio. Para este tipo de planificación, se puede considerar que los actores son capaces de responder ante cambios en el escenario económico, proyectando expansiones y cambios en el ritmo de producción.

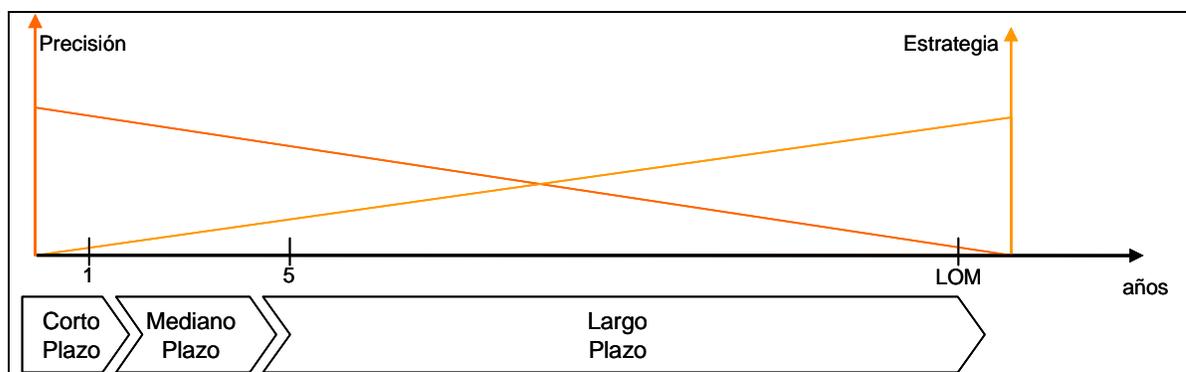


Ilustración 2-1: Planificación en distintos horizontes de tiempo

Cabe destacar en este punto que la planificación es un proceso absolutamente dinámico, el cual es actualizado en el tiempo, inmerso en el marco del mejoramiento continuo. Dado que como parámetros de planificación se utilizan elementos que son variables en el tiempo, y que además no presentan un comportamiento totalmente predecible, es que el valor óptimo que se persigue alcanzar es variable en el tiempo.

Es relevante señalar que la estrategia de consumo de reservas será sólo una y debe integrar en forma coherente y consistente el plan minero de largo, mediano y corto plazo.

2.1.4 Alcances de planificación minera

El proceso de planificación involucra una serie de variables y factores, que permiten arrojar un resultado acorde a la realidad de la empresa. El proceso iterativo y dinámico se retroalimenta con actualizaciones y mejoras a la información inicial con que el plan fue concebido. Lo anterior se puede representar con el siguiente esquema⁷:

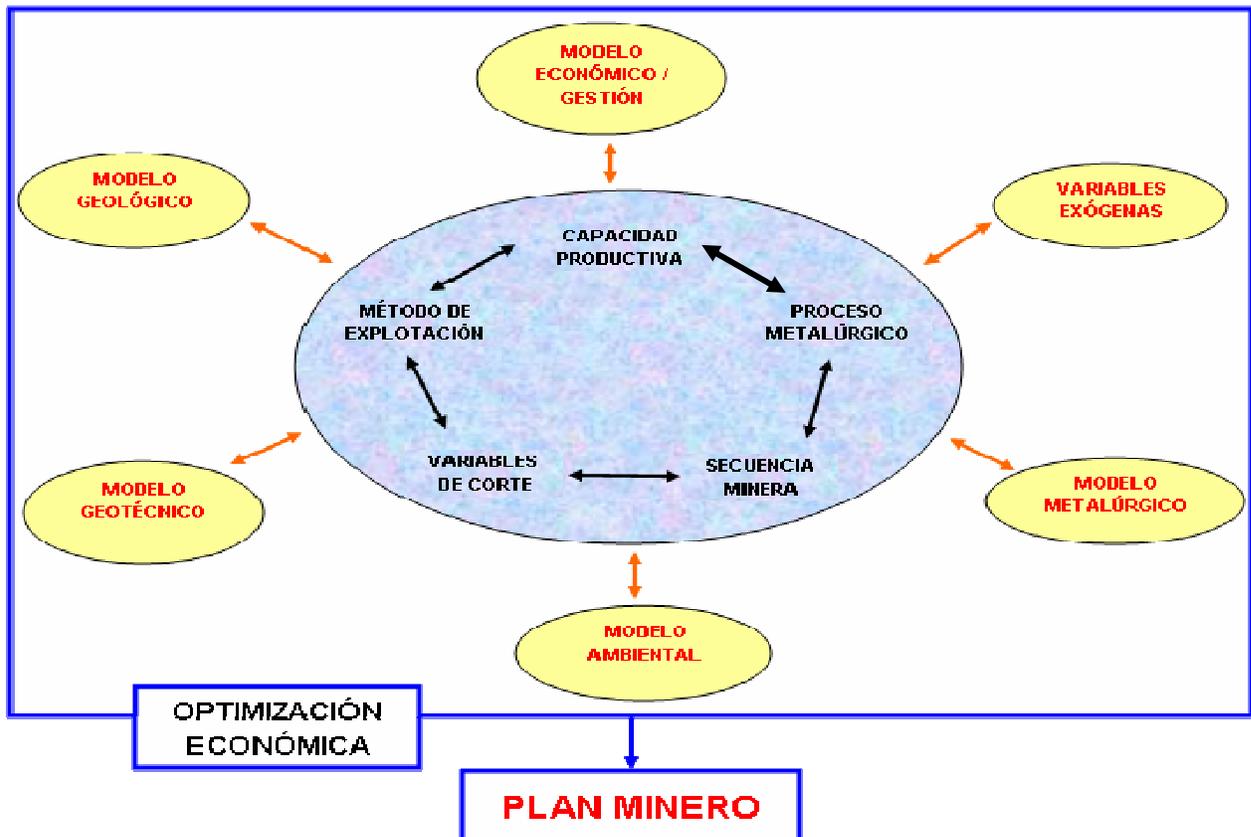


Ilustración 2-2: Esquema planificación minera

Es de este modo que se representa el proceso actual de planificación, donde se reúnen distintas disciplinas, que en combinación, permiten definir de manera oportuna y eficaz el desarrollo de la operación actual, considerando el dinamismo propio de los negocios y la economía donde se encuentra inmersa, junto a un desempeño a futuro.

Partiendo de la base del reconocimiento de las principales características del yacimiento, y seleccionando el método de explotación, es que una adecuada planificación determina todos los aspectos principales de la cadena productiva, de manera tal de alinearse con los objetivos estratégicos de la empresa.

Como todo proceso que es alimentado con información, la planificación minera arroja resultados que reflejan la optimización y la operativización que es necesaria realizar, con el fin de contar con objetivos y planes realistas y acordes a cada faena o división.

⁷ Extraído de “Guías Corporativas de Planificación Minera”, 2005. Documento Interno, GCRM, Codelco Chile.

Los principales resultados de dicho proceso son los siguientes:

- Programas de producción y de ventas por cada producto
- Programas de preparación y desarrollo de las minas
- Programas de manejo de materiales
- Determinación de flotas de equipos
- Programa de mantenimiento
- Gestión ambiental del plan minero
- Definición de recursos humanos
- Demanda de insumos, servicios y suministros
- Proyección de costos de operación e inversiones
- Flujos de caja y Presupuestos
- Planes de mitigación de riesgos y de contingencia

2.1.5 Planificación estratégica y riesgo

La planificación estratégica se refiere al proceso de integrar los procesos que componen la cadena productiva del negocio, logrando alcanzar un óptimo global de planificación, que esté compuesto por las interacciones que se puedan generar entre la extracción y el procesamiento de minerales, junto con la comercialización de productos finales.

La planificación de minas ha ido introduciendo conceptos asociados al riesgo presente en toda operación, integrando nuevas técnicas que permiten una mejor aproximación a la realidad vivida en la ejecución de un plan, dentro de las cuales se encuentra la planificación estratégica, con lo cual se logra diversificar el riesgo y disminuir su nivel.

Existen riesgos asociados a un plan minero que no pueden ser eliminados, los cuales son clasificados y evaluados para prever su potencial impacto en la producción. Esto se hace de diversas maneras, con el fin de establecer pautas y medidas que permitan un correcto ajuste de imprevistos.

Algunas formas de tratar el análisis de riesgos, se basan en metodologías para evaluar la sensibilidad del plan, donde una opción es la variación de parámetros con el fin de cuantificar su impacto en indicadores económicos. Se establecen cuales son los parámetros de mayor influencia en base a su impacto en el valor del negocio, realizando iteraciones sucesivas con distintas configuraciones de datos.

Esta manera de evaluar el plan en riesgo arroja los siguientes resultados, entre otros:

- Sensibilidad del plan frente a variación de un parámetro
- Distribución del VAN, simulación en base a distribuciones de valores de datos de entrada
- Escenarios posibles de enfrentar, pesimistas u optimistas, contraste con el caso base
- Estimación de pérdida de valor por contención de riesgos

Sin embargo, uno de los mayores riesgos del negocio minero se encuentra en la gran variabilidad de la operación misma, lo que puede generar un déficit en producción que aumenta en el tiempo. El comportamiento actual en las labores mineras es respaldar los resultados con un gran nivel de actividad por sector, lo cual hace que dicha variación sea menor frente al global de la operación.

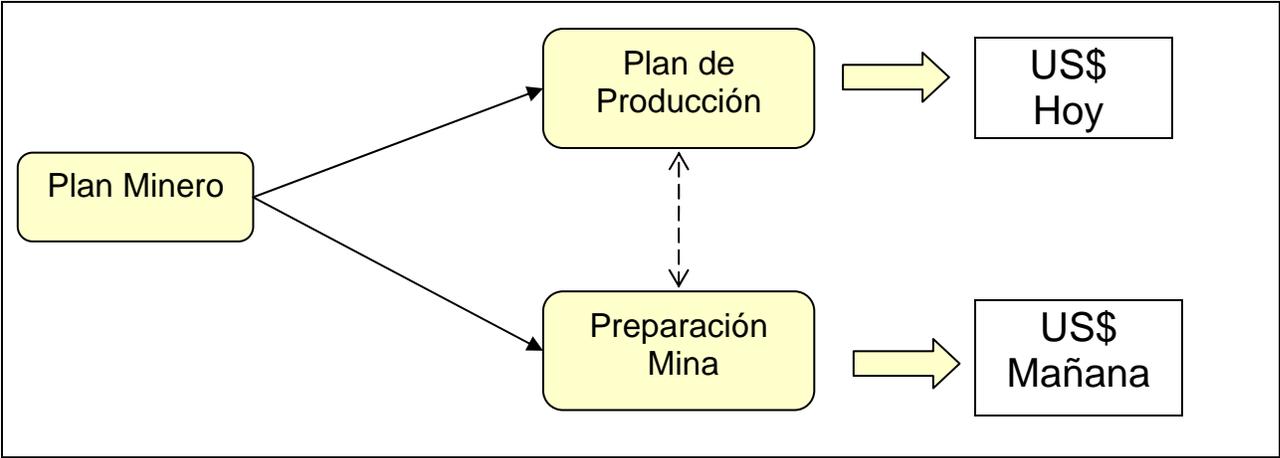


Ilustración 2-3: Diferencia operación producción y desarrollo en planificación

En la actualidad, los estudios apuntan a una mejora de la productividad de los factores involucrados en el proceso, donde es claro ver que al aumentar la rentabilidad de los activos involucrados en el negocio, se genera un mejor desempeño global, lo cual repercute directamente en una correcta operación que se traduce en un desempeño de alta calidad, donde la producción futura es considerada dentro de los planes y de la ejecución de los mismos.

2.2 Control de Gestión

El control de gestión puede ser definido como la actividad de apoyo a la Dirección que consiste en recopilar, procesar y presentar información relevante para la toma de decisiones. El control de gestión está basado, tradicionalmente, en instrumentos de tipo contable-financiero, pero contempla cada vez más información de índole técnica inherente a cada negocio.

Es así como este proceso, mediante el cual una empresa se asegura que las realizaciones concuerden con la planificación, forma parte esencial de toda corporación que desee obtener altos estándares en sus resultados, y por ende, está integrado al negocio minero.

Entre las diversas metodologías que se han aplicado a través del tiempo destaca el “*Balanced Scorecard*”, que se puede definir como un modelo de gestión que permite la materialización de la estrategia en objetivos, que con ayuda de indicadores y planes de acción, alinea el comportamiento de los actores de cada organización⁸.

Es a partir de esta metodología donde se inspira el uso y desarrollo de indicadores adecuados a la realidad de cada empresa, y lo que amerita una revisión más formal a su definición. Sin embargo, antes es necesario justificar de manera más formal los sistemas de control bajo el enfoque de procesos, motivados por los conceptos asociados al mejoramiento continuo.

2.2.1 Sistemas de Control

Los sistemas de control permiten una correcta alineación de la ejecución de las actividades planificadas, según el objetivo y entorno en que se desarrollan. Desde los sistemas automáticos hasta las grandes organizaciones empresariales, la base de desarrollo de un sistema de control puede ser descrita como sigue:

1. Determinar la base del control. Es decir, establecer los criterios, variables y valores que servirán de referencia en el control.
2. Medir y juzgar lo realizado. Se refiere a medir y comparar los resultados obtenidos con los valores de base.
3. Comparar lo realizado con lo programado.
4. Analizar y corregir desviaciones, en relación con los objetivos y programas.

Es así como los sistemas de control deben ser de acuerdo a las necesidades actuales, otorgando una herramienta útil para la toma oportuna de decisiones, y también ser un

⁸ A. Fernández: “El Balanced Scorecard: ayudando a implementar la estrategia”

sistema único de información, sin ambigüedades ni múltiples interpretaciones. Además se debe considerar que un sistema de control se debe ir actualizando en la medida que nuevas tecnologías permitan un nuevo desarrollo de alternativas, de mayor alcance y que en un menor tiempo produzcan un resultado mejor.

2.2.2 Estándares de Control de Procesos

En el control de procesos, existen diversas tendencias que incorporan los conceptos asociados al mejoramiento continuo. Esta forma de ejercer gestión se basa en los 4 puntos definidos anteriormente, donde esquemáticamente se obtiene una situación como la mostrada en la Ilustración 2-4.

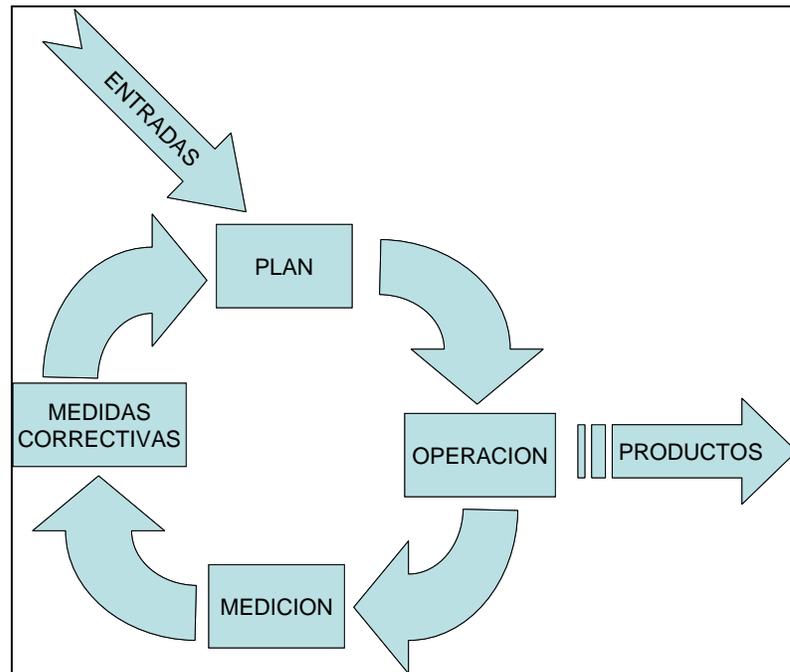


Ilustración 2-4: Concepto de mejoramiento continuo

Bajo este enfoque, aparecen estrategias para el control que definen la forma en que son transformadas estas ideas en acciones reales. Un ejemplo de ello es el estandar “six – sigma”, que sigue la línea de incorporar un proceso continuo para lograr resultados de calidad, pero además incorpora una manera simple de medir la efectividad del resultado. Para un proceso con una meta productiva, se fija además la tolerancia admitida en el resultado, como una desviación aceptable. Luego se compara el resultado real de la forma siguiente.

$$\begin{aligned} \delta &= \text{desviación aceptable} \\ \sigma &= \text{desviación real} \\ \frac{\delta}{\sigma} &= k \end{aligned}$$

En el caso de un proceso que cumple su meta, se habla de un proceso centrado; el valor k indica el nivel de calidad y de esta manera, se habla de un nivel de “ $k - \text{sigma}$ ”. En el caso de “six – sigma” el nivel de calidad es ambicioso, pues el hecho de tener un proceso con un nivel de calidad tal equivale a tener un resultado donde 3.4 productos salgan fallados de cada millón producido.

En esta misma línea puede ser nombrado el “control total”, concepto acuñado por Ishikawa⁹, donde se trata de enfocar el control hacia el cliente, determinando las causas y efectos de los problemas en la producción, logrando altos niveles de calidad de los procesos al dirigir los esfuerzos a lograr producciones que sean de alto nivel, logrando satisfacer a cabalidad las necesidades de los clientes. En esta tendencia, los clientes de la gerencia son los mismos obreros, quienes deben ser asistidos para lograr altas tasas de productividad dentro de la empresa.

2.2.3 Los Indicadores de Control de Gestión

Los Indicadores de Gestión se definen generalmente como una herramienta que permite medir y establecer las tendencias positivas o negativas, en relación a la planificación estratégica, objetivos, metas, procedimientos y otros aspectos que la dirección de la empresa requiera medir, corrigiendo los resultados negativos y valorizando los positivos.

Los indicadores de gestión debieran derivarse de la planificación, donde el contexto general lo entrega la planificación estratégica. Del plan estratégico se establecen los planes de corto y mediano plazo, así como la expresión cuantitativa y presupuestaria de ellos, y luego, los indicadores operativos de gestión. Es de esta manera que se acuñan los conceptos de “CSF” y “KPI”, los cuales apuntan a desarrollar de manera formal el uso de indicadores al control de gestión.

Los “CSF”, *Critical Success Factor* o Factores Críticos de Exito, pueden ser definidos como características particulares de una organización o proceso, que tiene gran relevancia en el desempeño y logro de los objetivos estratégicos¹⁰.

Los “KPI”, *Key Performance Indicator* o Indicadores Clave de Rendimiento, son mediciones cuantificables que reflejan los factores de éxito más críticos para una organización (CSF?). Se orientan a diversas áreas de la organización, desde los destinados a la gerencia general (que presentan el desempeño global del negocio) hasta los destinados a área específicas, como ventas, TI, finanzas, producción y servicio al cliente, entre otras¹¹.

Las características de los KPI son:

⁹ Ishikawa, K., Lu, D. J., & Cardenas, M.: Que es el control total de calidad?: la modalidad japonesa.

¹⁰ Ed. Walters: “¿Qué son los KPI y CSF?”

¹¹ “KPI: Midiendo el Desempeño del Negocio”

- La medición del rendimiento, es decir las principales causas de la eficiencia de las actividades.
- Parámetros que puedan expresarse fácilmente en cifras, de manera no ambigua.
- Un objetivo, el indicador tiene que servir para perseguir un objetivo preciso, explícito, en cifras y aceptado por los actores involucrados.

2.3 Procesos productivos

La minería se desarrolla generalmente siguiendo un patrón bien establecido, donde no se han registrado grandes cambios en el último tiempo, aunque si se ha logrado mejorar los estándares operacionales y aplicar nuevas tecnología que logran mejorar el desempeño. Para establecer la forma en que se abordan los procesos involucrados en la cadena productiva del negocio minero, se realiza una breve descripción de los principales componentes en los párrafos siguientes.

2.3.1 Mina

Las operaciones unitarias se presentan de acuerdo al orden en que se realizan en la cadena productiva. Para ambos métodos de explotación, luego del arranque del mineral, procede el carguío y transporte del mineral.

En el caso de la minería a cielo abierto, el arranque del mineral se realiza por la perforación y tronadura del macizo rocoso, moviendo grandes cantidades de material estéril para acceder al mineral, en un sistema de bancos escalonados, asegurando el sustento natural de cada talud. El carguío y transporte de mineral a planta se realiza con equipos de alta capacidad, obteniendo una alta productividad. En este tipo de explotación generalmente se remueve una gran cantidad de material inerte, o sin valor económico, que se define como lastre o estéril, el cual es movido de la misma forma que el mineral, salvo que es enviado a un destino diferente, los llamados botaderos.

En minería subterránea, se extrae sólo el mineral, sin la necesidad de mover material sin interés económico, mediante diversos métodos, entre los que destacan los llamados métodos por hundimiento, Block – Caving o Panel - Caving. La perforación y tronadura principalmente se realiza para ejecutar las labores de desarrollo de la mina, el mineral se extrae en forma mecanizada a través de equipos LHD de gran tonelaje, donde el mineral es sacado de la mina a través de sistemas de correas, camiones o trenes.

Los procesos se esquematizan en los siguientes diagramas:

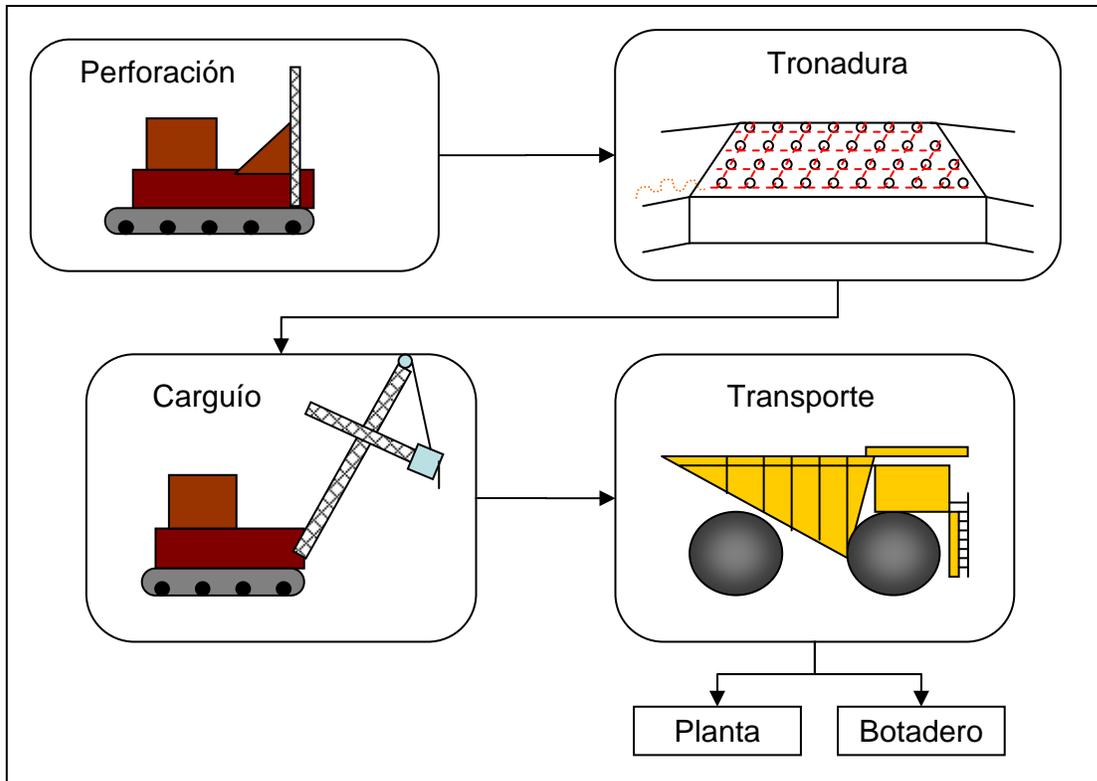


Ilustración 2-5: Operaciones unitarias mina rajo abierto

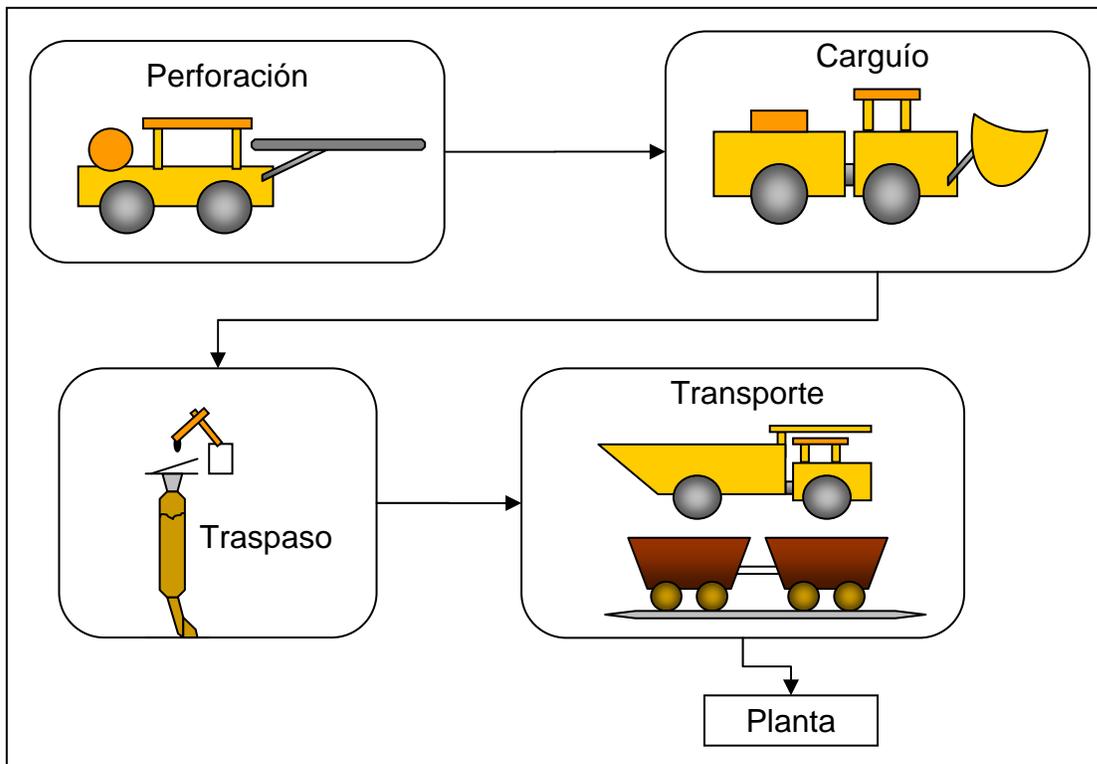


Ilustración 2-6: Operaciones unitarias mina subterránea

2.3.2 Planta de procesos

El cobre es obtenido desde minerales sulfurados y oxidados, los cuales tienen un tratamiento diferente para la extracción del metal. Ambos tipos de mena son reducidos de tamaño, en el caso de los sulfuros se llega a valores de tamaño de partícula del orden de 200 micrones, mediante molienda convencional o SAG. Para los óxidos, se trabaja con tamaños de ½ pulgada, para seguir su posterior tratamiento.

Para la línea de procesamiento de sulfuros, el diagrama de procesos es el siguiente:

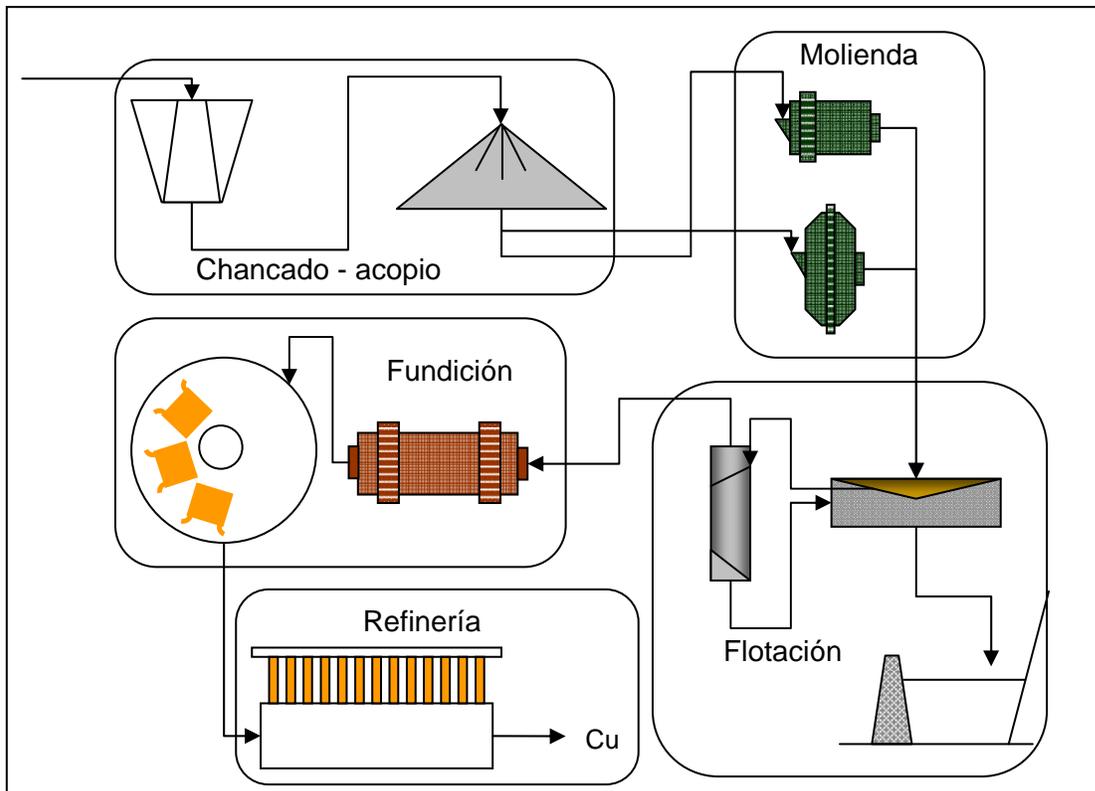


Ilustración 2-7: Procesamiento línea sulfuros

Luego de la reducción de tamaño para liberar el o los minerales de interés, el mineral se trata con reactivos para concentrar las especies con valor económico mediante flotación. En algunas faenas se realiza una flotación colectiva, para luego obtener del concentrado mediante flotación selectiva un concentrado de molibdeno, como sub-producto.

El concentrado de cobre es procesado en fundiciones, donde luego de ser secado, es fundido junto con la adición de fundentes. El metal blanco obtenido se trata en convertidores, para así lograr cobre blister, el cual es refinado en hornos (refinación a fuego) y posteriormente moldeado. Los ánodos son refinados en refinerías electrolíticas, obteniendo cátodos de alta pureza, listos para su comercialización.

En el caso de la línea de procesos de minerales oxidados, el diagrama de procesos es el siguiente.

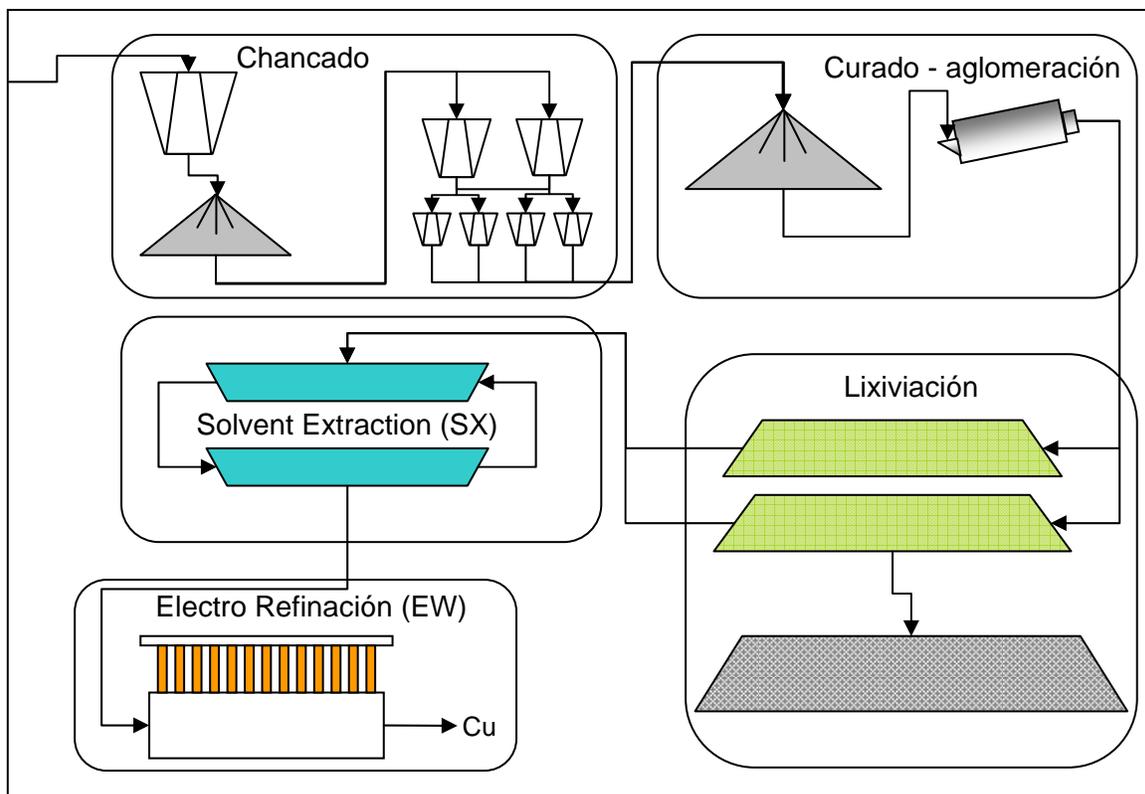


Ilustración 2-8: Procesamiento línea óxidos

El mineral ya chancado, es curado y aglomerado con la adición de ácido sulfúrico, para su posterior depósito en pilas, donde con el riego de más ácido procede la lixiviación. El cobre disuelto en la solución ácida es tratado en las etapas de extracción por solventes (SX), generando como producto un electrolito rico en cobre disuelto. Finalmente, en la etapa de electro obtención, se obtienen cátodos de alta pureza para su posterior comercialización.

El proceso de minerales oxidados no genera subproductos, como ocurre en el caso de minerales sulfurados (concentrado de molibdeno en flotación, ácido sulfúrico en la fundición, barras anódicas en la refinación electrolítica).

Para ambos métodos de explotación, y dependiendo del tipo de mineral y proceso, se realiza el plan minero que incluye los aspectos mencionados en el capítulo 1, considerando los distintos elementos técnicos asociados a cada actividad productiva.

2.3.3 El proceso de planificación

El proceso de planificación, si bien fue expuesto en los párrafos anteriores, es un trabajo de gran complejidad, que da origen a diversos productos. Como parte integral de la planificación se entrega finalmente documentos que avalan el trabajo realizado, respaldando la información base utilizada y entregando las directrices a seguir.

A modo de ejemplo, un proceso regular de planificación minera realizado en la actualidad en Codelco, presenta una organización en sus etapas y una clasificación de los documentos generados que permiten comprender los alcances y la magnitud de las labores involucradas. Dicho proceso integrado de planificación es el siguiente.

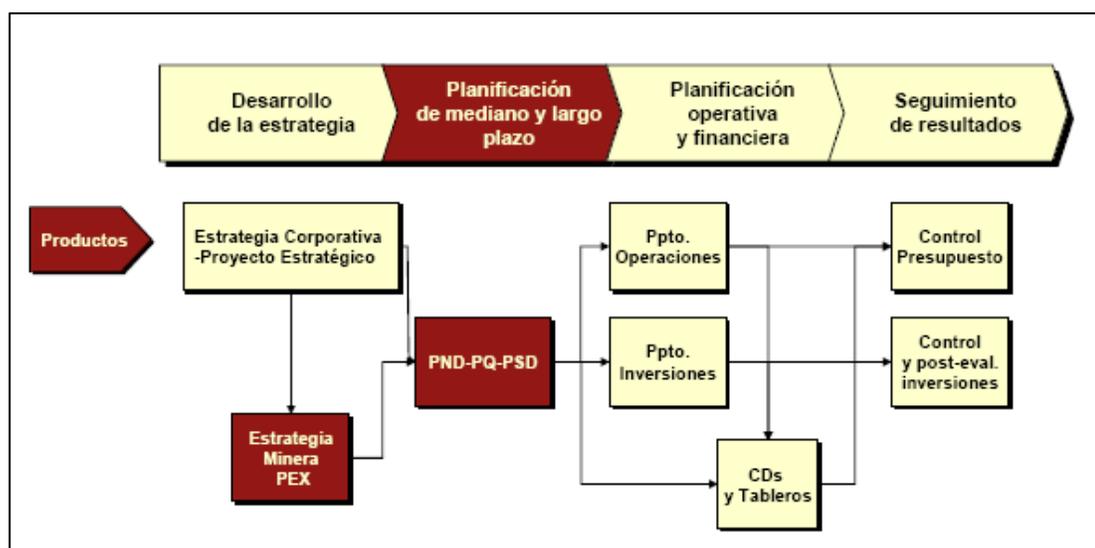


Ilustración 2-9: Proceso de Planificación en Codelco¹²

Por ejemplo, en Codelco-Chile el proceso de planificación cuenta con los siguientes planes:

- Planes Exploratorios (PEX): hace referencia a la generación y búsqueda del mejor escenario de planificación LOM de la división, dónde se realiza una evaluación de diversas opciones de explotación y procesamiento del recurso, de manera de contar con alternativas excluyentes para identificar la mejor oportunidad de negocio.
- Plan de Negocios y Desarrollo (PND): es el plan minero que entrega la estrategia de consumo de reservas del escenario elegido en el proceso PEX, a lo largo de la vida de la mina, incluyendo proyectos e inversiones aprobadas. Cuantifica el valor del negocio, a través del cálculo del VAN del negocio. Permite además conocer el presupuesto de operación del período siguiente.

¹² Fuente: Lineamiento Corporativos Proceso Planificación 2008, Codelco-Chile.

- Plan Quincenal (PQ): es el detalle del plan minero de los primeros 5 años de explotación y se asume como un compromiso de producción con el dueño, dando un mayor énfasis a la componente de mediano plazo.

Cabe destacar que el proceso PEX se realiza sólo si se justifica su revisión, siendo el PND un documento que debe ser revisado y actualizado para cada período. Es de responsabilidad de cada división realizar dichos procesos y entregar los documentos pertinentes en las fechas establecidas.

Es en estos respaldos donde se estampa y sustenta el potencial valor del negocio. Por ende, es comprensible la importancia y necesidad de contar con elementos que permitan un correcto actuar durante el proceso de planificación y la operación, incorporando entradas confiables y de acuerdo a la realidad de casa faena, obteniendo así resultados acordes a los esperados.

3 Indicadores Clave de Desempeño

Considerando una función de beneficio como la siguiente:

$$B_i = I_i - C_i \quad \text{[Ecuación 1]}$$

Donde:

B_i = Beneficio económico obtenido en el período i

I_i = Ingresos en el período i

C_i = Costos en el período i

Se asume una estructura de la función de beneficio de forma general como la siguiente:

$$B_i = P_{Cu_i} \cdot Q_i - C_i(Q_i) \quad \text{[Ecuación 2]}$$

Donde:

P_{Cu_i} = Precio del metal en el período i

Q_i = Cantidad de metal a comercializar en el período i

$C_i(Q_i)$ = Costos asociados a la producción de metal Q_i en el período i

El precio considerado para el metal es una variable exógena al proceso de planificación, que se determina por la dinámica del mercado de metales, al considerar la oferta y demanda mundial. Por ende, se puede entender como una amenaza, en caso de una baja del precio, o una gran oportunidad, al estar en un escenario de altos precios como los actuales.

Las otras variables son propias del proceso de planificación, gestionables en la ejecución de los planes. La cantidad de metal a poner en el mercado es clave porque determina los ingresos y genera los costos asociados a la explotación del yacimiento. Más aún, fija el nivel de productividad de los factores fijos, al relacionarse inversamente con los costos fijos.

Los costos variables son producto de la intensidad del proceso, y una adecuada gestión sobre ello permite una mayor eficiencia, lo cual se traduce en un mejor desempeño del negocio.

Manteniendo el foco de control de gestión aplicado a la parte técnica de la planificación y operación de una mina, se realiza una profundización a la variable Q_i .

3.1 Producción de Metal

Mediante la metodología de Lane, al seleccionar leyes de corte según sea la restricción impuesta, se define la cantidad de metal a producir.

Para cuantificar la cantidad de metal a comercializar, Q_i , se establece la siguiente relación:

$$Q_i = Ton_i \cdot Ley_i \cdot Rec_i \quad \text{[Ecuación 3]}$$

Donde:

Q_i = Cantidad de metal a comercializar

Ton_i = Cantidad de mineral a tratar

Ley_i = Ley de cobre en el mineral

Rec_i = Recuperación de cobre del proceso

i = Período de producción

Estas variables de planificación son seguidas mensualmente con el fin de tener información oportuna sobre la ejecución del plan minero, con un énfasis en la generación de ingresos. El comportamiento más técnico y operacional de dichas variables, así como las causas principales de su variación, no son reportados de forma precisa y concisa.

3.1.1 Asociación de variables y áreas de control

En el control de gestión se determinan las áreas donde se desea alcanzar objetivos con el fin de realizar un alto desempeño del negocio, determinando indicadores relevantes para monitorear el cumplimiento. Para la función de producción anterior se puede establecer el siguiente esquema:

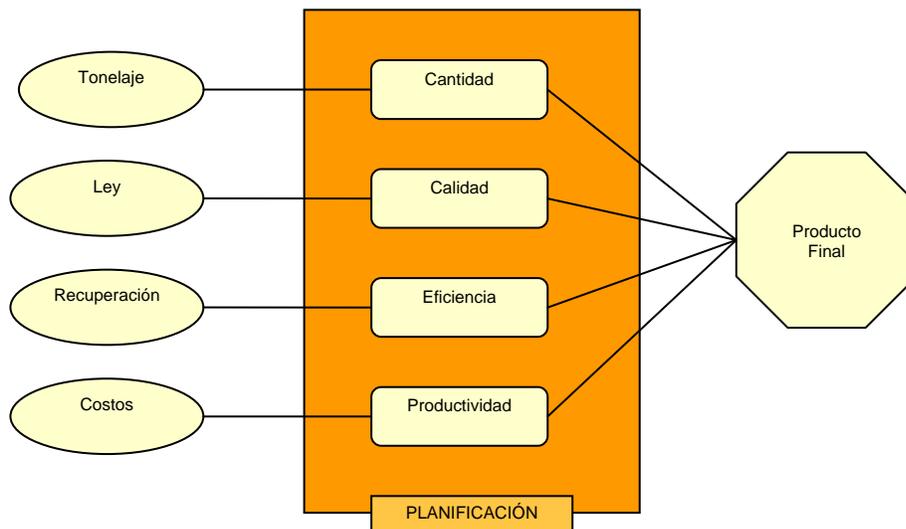


Ilustración 3-1: Variables mineras y áreas de control de gestión

La variable costos se trata indirectamente al considerar la productividad de factores, siguiendo con el análisis general de las principales variables de planificación.

3.1.2 Resultados parciales del cumplimiento de variables

En base al cumplimiento de las variables asociadas a Q_i , se realiza el siguiente razonamiento. Definiendo la producción presupuestada y la real obtenida como sigue:

$$\begin{aligned} Q_{ppto} &= Ton \cdot ley \cdot Rec \\ Q_{real} &= Ton' \cdot ley' \cdot Rec' \end{aligned} \quad \text{[Ecuación 4]}$$

Se establece la relación entre las variables reales en función de las presupuestadas:

$$\begin{aligned} ton' &= ton \cdot (1 + \Delta_{ton}) \\ ley' &= ley \cdot (1 + \Delta_{ley}) \\ rec' &= rec \cdot (1 + \Delta_{rec}) \end{aligned} \quad \text{[Ecuación 5]}$$

Donde Δ_i representa una variación positiva o negativa de la variable considerada.

Luego, la cantidad de metal Q real producida en función de la presupuestada se puede escribir como:

$$\begin{aligned} Q_{real} &= ton \cdot (1 + \Delta_{ton}) \cdot ley \cdot (1 + \Delta_{ley}) \cdot rec \cdot (1 + \Delta_{rec}) \\ Q_{real} &= ton \cdot ley \cdot rec \cdot (1 + \Delta_{ton}) \cdot (1 + \Delta_{ley}) \cdot (1 + \Delta_{rec}) \\ Q_{real} &= Q_{ppto} \cdot (1 + \Delta_{ton} + \Delta_{ley} + \Delta_{rec} + \Delta_{ton} \cdot \Delta_{ley} + \Delta_{ton} \cdot \Delta_{rec} + \Delta_{ley} \cdot \Delta_{rec} + \Delta_{ton} \cdot \Delta_{ley} \cdot \Delta_{rec}) \end{aligned} \quad \text{[Ecuación 6]}$$

La ecuación anterior define el resultado real en función de las variaciones que tienen las variables presupuestadas. De esta manera, se puede apreciar el mayor impacto de cada una en el resultado del negocio.

Sin embargo, los sumandos que provienen del producto de las variables principales son de menor magnitud frente a los valores observados en las desviaciones del tonelaje, la ley y la recuperación. Por ende, normalmente no se incorpora mayor información sobre estos valores, enfocando los informes de gestión en las variables antes mencionadas.

De esta forma, se presenta a continuación los resultados del año 2007, a fin de establecer la tendencia que se advierte en el resultado y cumplimiento de las principales variables de planificación minera.

	Resultados Año 2007	
	Real	Ppto
Ton [kt]	26	27
Ley [%]	0.88	0.86
Rec [%]	84.5	84.2
Producción [tmf]	195	199
Δ ton	-4.71%	
Δ ley	2.27%	
Δ rec	0.36%	
Δ ton· Δ ley	-0.11%	
Δ rec· Δ ley	0.01%	
Δ rec· Δ ton	-0.02%	
Δ rec· Δ ton· Δ ley	0.00%	
Total	-2.20%	

Tabla 3-1: Variación indicadores de concentradora, resultados parciales año 2007

Como se puede ver en la tabla anterior, la mayor variación se da en el tonelaje de alimentación a las concentradoras y, en segundo lugar, la variación de la ley de alimentación. A modo de ilustrar el mayor peso del mineral tratado, se presenta el siguiente gráfico:

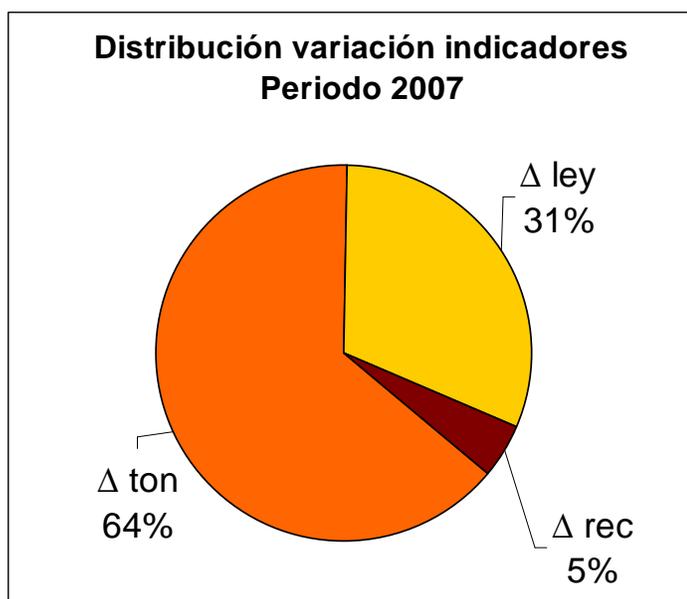


Gráfico 3-1: Peso de variación de indicadores

La importancia del cumplimiento del tonelaje a tratar en la concentradora queda representada al considerar la participación de su variación en el cumplimiento de la cantidad de metal a producir en el ejercicio. Se observa que la brecha entre el metal presupuestado y el real producido se explica en un 64% por dicho ítem.

La ley de mineral y la recuperación lograda durante el procesamiento del mineral explican mayoritariamente el resto de la diferencia entre el presupuesto y lo real obtenido. Tal como se dijo anteriormente, los otros factores de la ecuación 6 no son de

mayor relevancia en el cálculo. Un estudio mas detallado de las tres variables anteriores se presenta a continuación.

3.2 Tonelaje

En el proceso de planificación, esta variable es la principal que determina el nivel del negocio, por cuanto está directamente relacionada a la cantidad de reservas en el yacimiento, así como del tipo y calidad del mineral, entre otras cosas. Es de responsabilidad de la mina cumplir con el nivel de actividad impuesto y con la calidad requerida para los procesos posteriores.

Para una mejor comprensión de dicha variable, se presenta el siguiente esquema:

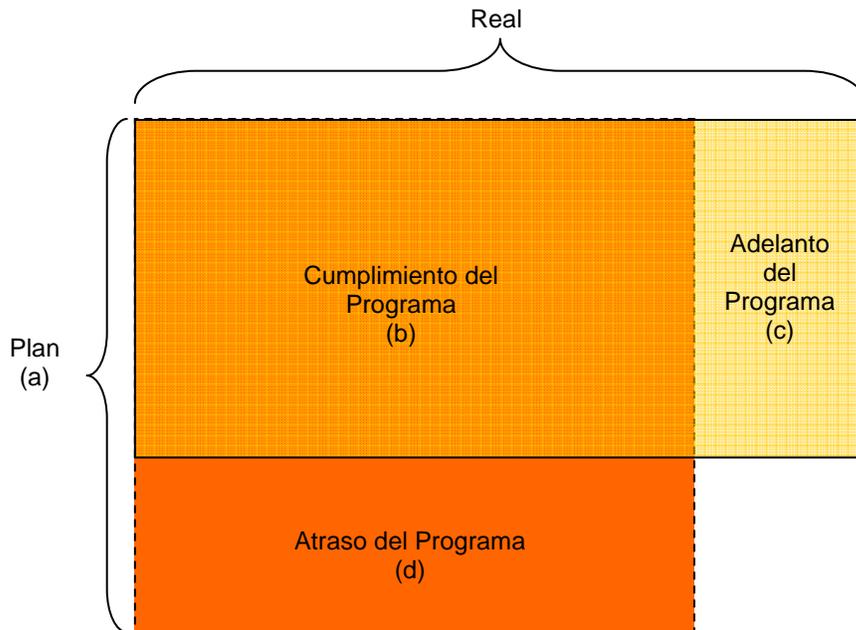


Ilustración 3-2: Esquema de planificación y resultado de tonelaje

Al planificar un nivel de actividad para la variable “tonelaje”, se presentan las siguientes opciones en la operación:

- Tonelaje programado: (a)
- Tonelaje real dentro de programa: (b)
- Tonelaje adelantado, fuera de programa: (c)
- Tonelaje atrasado del Programa: (d)

Una ejecución adecuada de los planes mineros de producción deben presentar las siguientes tendencias:

$$(b) \rightarrow (a)$$

$$(c) \rightarrow 0$$

$$(d) \rightarrow 0$$

Esto es, que el tonelaje en adelanto y en atraso sean lo menor posible, cumpliendo lo programado por planificación.

Considerando los resultados obtenidos en el transcurso de la operación, se puede realizar el siguiente razonamiento:

- $(b) + (c) < (a)$: el tonelaje real es menor al programado
- Pero:
 - $(a) = (b) + (d)$
 - $(b) + (c) < (b) + (d)$
 - $(c) < (d)$

Por lo tanto, el tonelaje en adelanto es mayoritariamente menor que el tonelaje en atraso con respecto al programa inicial. Entre las diversas razones que pueden ser consideradas para explicar este hecho se tiene la baja productividad de los equipos involucrados, problemas de acceso a la mina o a sectores de ella, fallas o problemas de equipos o maquinaria, entre otros.

Con el fin de monitorear el cumplimiento de tonelaje, se proponen los siguientes indicadores, en base al esquema anterior:

- **Cumplimiento de Producción:** esta dado por el total de mineral enviado a planta en comparación al mineral planificado, incluyendo el adelanto de mineral.

$$CP = \frac{(b) + (c)}{(a)}$$

El CP permite obtener una idea de:

- ❖ La productividad de la flota de equipos, por cuanto este indicador debería ser cercano al 100%, si se ha operado en condiciones de utilización y disponibilidad dentro del programa.
 - ❖ La existencia de planes de contingencia adecuados, y que permitan una flexibilidad del plan adecuada a la dinámica propia de las operaciones en la mina.
- **Indice de Atraso de Programa:** se define como la proporción del plan de producción que no fue realizada en el período analizado.

$$IA_t = \frac{(d)}{(a)}$$

El IA_t informa respecto del trabajo que se ha postergado, entendiendo que dicho mineral está considerado dentro de los planes de producción, por lo cual debe ser extraído en algún período. Luego, este atraso implica que la ejecución del plan a futuro también será afectado.

- **Indice de Adelanto de Programa:** Mide la proporción de mineral extraído en el período que no fue considerado en la planificación.

$$IAd = \frac{(c)}{(a)}$$

El IAd aproxima de manera similar al IAt, el trabajo que se dejará de hacer a futuro, por cuanto ya se ha extraído dicho mineral. Esto también se puede interpretar como una disminución anticipada de las reservas, la que generalmente es producto del aprovechamiento de ciclos de altos precios en el metal. Por otra parte, el adelanto se produce como medida de mitigación de los atrasos incurridos por motivos de fuerza mayor, lo que permite mantener la cantidad de mineral procesado por la concentradora.

3.2.1 Mina a Cielo Abierto: Estéril y Mineral

Para el caso de la minería a cielo abierto, el movimiento de mineral es posible en la medida que se cumpla con la remoción de material estéril o de baja ley, de manera de contar con las reservas a la vista comprometidas en el plan.

Lo anterior se puede esquematizar de la siguiente manera:

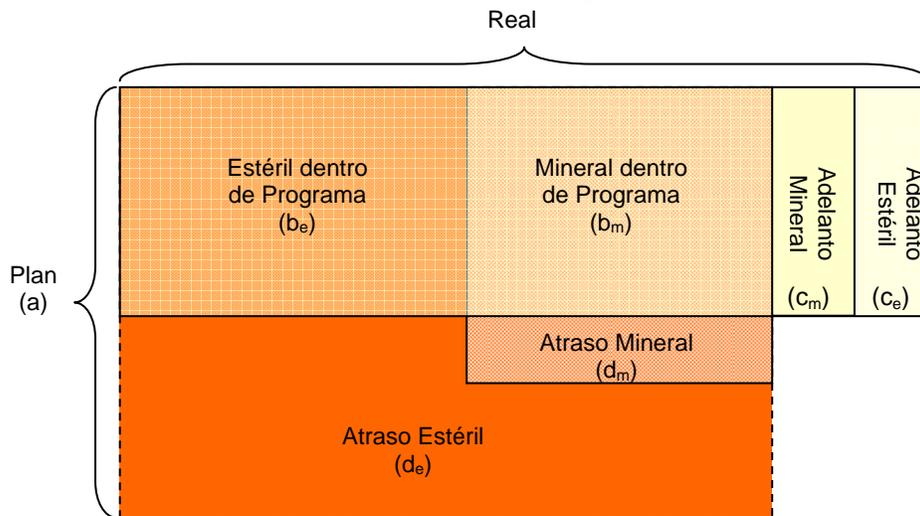


Ilustración 3-3: Esquema de planificación y resultado de movimiento de materiales, mina a cielo abierto

Diferenciando según sea material estéril o mineral a procesar, se establecen los siguientes puntos:

- Tonelaje programado: (ai)
- Tonelaje real dentro de programa: (bi)
- Tonelaje adelantado, fuera de programa: (ci)
- Tonelaje atrasado del Programa: (di)

Donde el subíndice i hace referencia a estéril (e) o mineral (m).

Una ejecución correcta de los planes de producción debería seguir las siguientes tendencias:

$$(b_i) \rightarrow (a_i)$$

$$(c_i) \rightarrow 0$$

$$(d_i) \rightarrow 0$$

Esto es, que el resultado real del ejercicio sea el planificado, sin requerir adelantos ni incurrir en atrasos.

Considerando los resultados reportados durante el año 2007 en la operación de las divisiones de Codelco, según los informes trimestrales de gestión, se pueden advertir las siguientes tendencias:

- $(b_i) + (c_i) < (a_i)$: el tonelaje total movido es menor al programado
- $(c_m) \rightarrow (d_m)$: el mineral enviado a planta es cercano al programado

Los puntos anteriores permiten concluir que el mayor déficit de movimiento de materiales se presenta en el manejo de estéril en las minas, lo cual está respaldado por los siguientes gráficos:

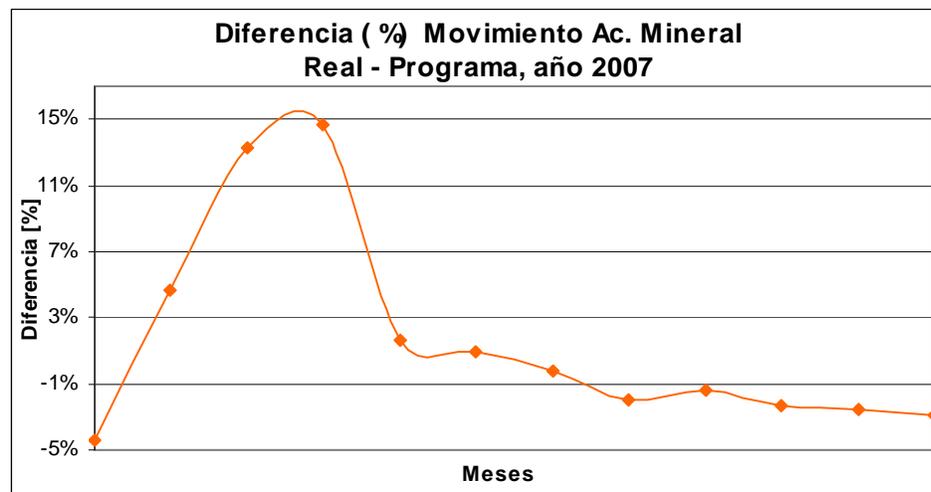


Gráfico 3-2: Variación movimiento acumulado de mineral

En el gráfico anterior se advierte la tendencia a que la diferencia entre el mineral planificado y el real movido sea baja, lo que a medida que avanza la operación está del orden del 1%. Sin embargo, al exponer las diferencias que existen en el material estéril, la tendencia es diferente.

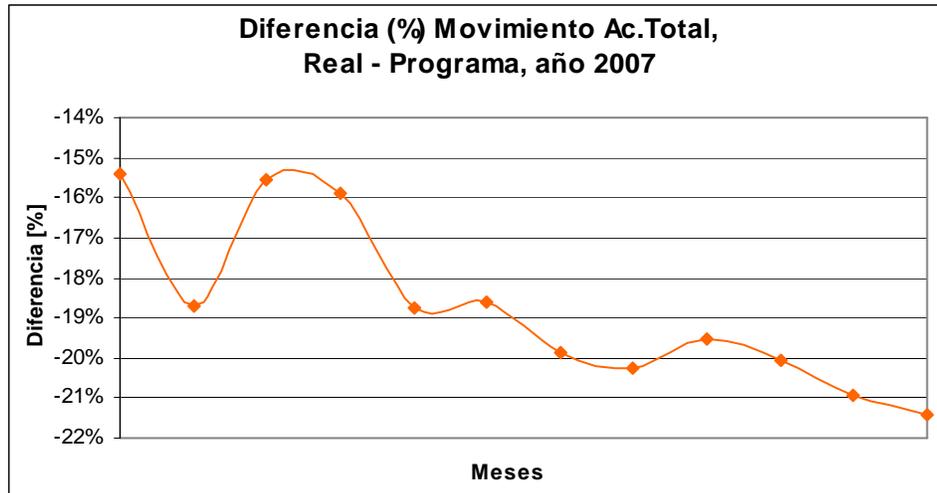


Gráfico 3-3: Variación movimiento acumulado total

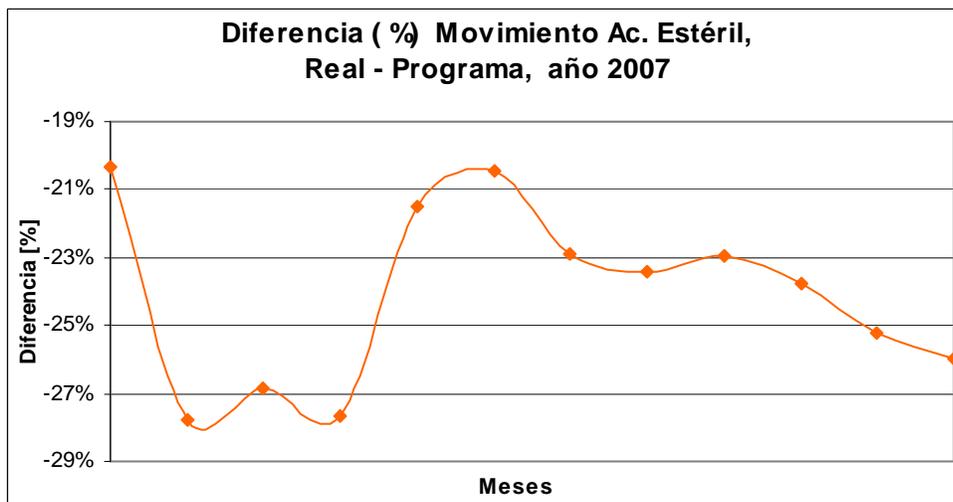


Gráfico 3-4: Variación movimiento acumulado de estéril

El déficit acumulado en el movimiento de material total presenta una tendencia creciente en el tiempo, de igual forma que la observada en el movimiento de estéril. El mineral tiene un déficit acumulado, pero de menor tamaño, producto de la tendencia a cumplir con el mineral planificado.

Sin embargo, los gráficos anteriores permiten sólo saber si se cumplen los programas en cuanto al movimiento de materiales, sin considerar su procedencia. Este hecho motiva la propuesta de los siguientes indicadores:

- **Cumplimiento de Producción:** esta dado por el total de mineral movido en la mina en comparación al movimiento planificado, incluyendo el adelanto de mineral.

$$CFP = \frac{(b_i) + (c_i)}{(a_i)}$$

Del mismo modo en que se explicó con anterioridad, este índice permite intuir sobre problemas de productividad, así como la robustez del plan, y sus planes de contingencia.

- **Cumplimiento de Desarrollos:** se define como la proporción del plan de desarrollos que fue realizada en el período analizado, incluyendo el adelanto, traducido en movimiento de estéril.

$$CD = \frac{(b_e) + (c_e)}{(a_e)}$$

El CD entrega una visión sobre el cumplimiento del plan en un horizonte mayor, considerando necesario el desarrollo armónico actual de la mina para la producción futura de mediano plazo.

- **Desviación de Desarrollos:** Mide la proporción de material estéril extraído en el período, que no fue considerado en la planificación.

$$DD = \frac{(c_e + d_e)}{(a_e)}$$

El DD reporta respecto de las labores de remoción de material que no corresponden al período, lo cual implica un ajuste de la planificación.

Estos tres indicadores reportan sobre el cumplimiento del plan de corto plazo, así como de la factibilidad del plan de mediano plazo, al considerar el lastre, asociado al desarrollo de la mina.

Un indicador ampliamente utilizado en las faenas mineras es la relación que se tiene entre el movimiento de material estéril sobre el mineral enviado a procesamiento, la razón Estéril / Mineral, que queda definida según el esquema anterior por:

$$E / M = \frac{(b_e) + (c_e)}{(b_m) + (c_m)}$$

La razón E / M se determina en la planificación luego de analizar y dimensionar el movimiento necesario de lastre para poder acceder al mineral, y su seguimiento permite corroborar el desarrollo armónico de la faena.

3.2.2 Intensidad de uso de equipos principales

En el proceso de planificación, el dimensionamiento de la flota de equipos principales se basa en supuestos de capacidades de trabajo, medidas en metros de avance, toneladas cargadas, kilómetros por hora, entre otras. Un equipo no puede ser utilizado el ciento por ciento del tiempo en labores productivas, sino que se asume un porcentaje

de tiempo disponible para estos fines. Es así que se introducen el concepto de disponibilidades y utilizaciones.

Existen diversas definiciones de ambos términos, cada una dependiente de la faena o empresa que los usa. Comúnmente la disponibilidad se define como la parte del tiempo que el equipo esta en condiciones de estar operativo, en producción, mientras que la utilización es el tiempo que el equipo está realizando la labor productiva para lo cual está diseñado. Este tema ha sido tratado desde hace bastante tiempo, y como producto de dicho análisis se estableció el estándar Asarco:



Ilustración 3-4: Distribución de tiempos Asarco

A pesar de contar con una definición mas formal de los tiempos en el desempeño de un equipo, normalmente se incurre en errores de medición, debido a que se atribuyen horas a distintos ítems, dependiendo de cada faena.

Aun mas, cada equipo presenta fallas en distintos tiempos, sin considerar las mantenciones programadas, lo que hace que se genere una distribución de disponibilidades y utilizaciones, que junto con considerar la incorporación de nueva maquinaria y al mismo tiempo considerar equipos dados de baja, hace que el informar de un promedio de indicadores no resulte muy eficiente.

Siguiendo esta lógica, se propone considerar entonces como indicadores el agregado de horas de la flota para cada ítem, de la siguiente manera:

- Horas Disponibles (HD), como la suma total de las horas disponibles de cada equipo, en el periodo analizado, entendiendo horas disponibles como las horas donde el equipo puede operar, sin problemas mecánicos.

$$HD = \sum_i Disp eq_i$$

- Horas Utilizadas (HU), de manera análoga a las horas disponibles, pero considerando el tiempo en que el equipo efectivamente estuvo en labores operativas

$$HU = \sum_i Ut eq_i$$

Luego, en base a las horas anteriores, se genera lo siguiente:

- **Cumplimiento de Disponibilidades:** se compara las HD reales vs. las programadas.

$$CDisp = \frac{HD_{real}}{HD_{ppto}}$$

- **Cumplimiento de Utilizaciones:** se compara las HU reales vs. las programadas.

$$CUt = \frac{HU_{real}}{HU_{ppto}}$$

- **Uso Efectivo de Disponibilidad:** se considera el cociente entre las HU y las HD, reportando así el uso del equipo en base al tiempo que es posible de ser utilizado.

$$Ueff = \frac{HU_{real}}{HD_{real}}$$

El cumplimiento o no de las horas efectivas o de las horas utilizadas pueden ser causadas por diversos eventos en la mina, por causas mecánicas, o por programas mas intensos de mantenimientos o de actualización de equipos (“overhaul”). Estos hechos deben ser incorporados en la planificación, de manera tal de representar de mejor manera la realidad de cada operación.

3.2.3 Flexibilidad de los planes de producción

Un aspecto de bajo control en las evaluaciones de gestión de los planes mineros está relacionado con las flexibilidad que presenta la ejecución de dicho plan, entendiendo que frente a imprevistos durante la operación, o aprovechando las tendencias del mercado, se puede ajustar la operación.

En este sentido, en una mina a rajo abierto se pueden establecer los siguientes puntos:

- La ley de corte operacional con que se trabaje en un banco depende directamente del nivel y calidad del recurso explotado, por lo que una operación

con baja flexibilidad, equivalente a operar con una ley de corte cercana a la ley de corte crítica.

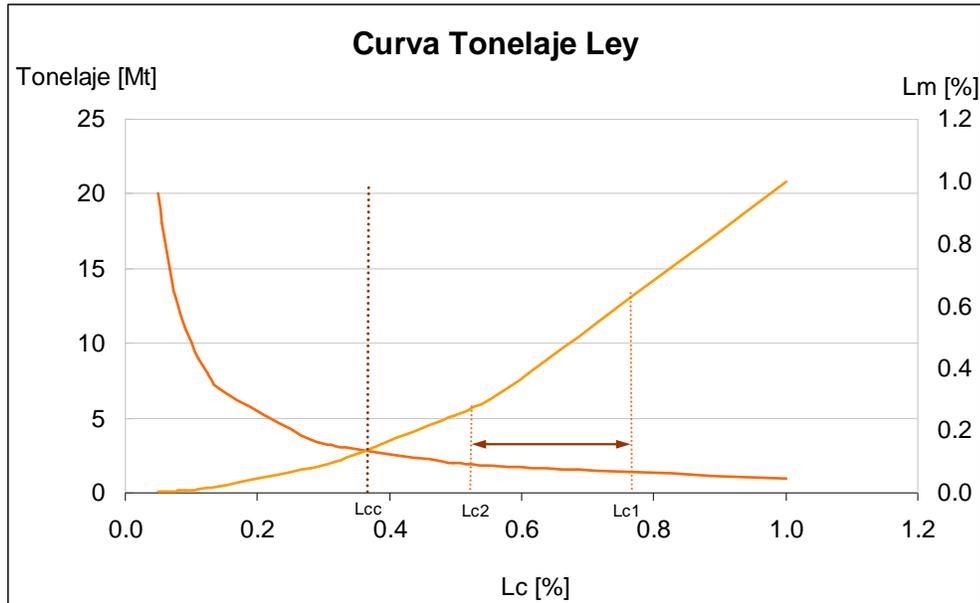


Gráfico 3-5: Ejemplo de Curva Tonelaje – Ley y Leyes de Corte

- La cantidad de reservas a la vista es fundamental para asegurar un adecuado ritmo de alimentación a la planta, pero se debe considerar el costo de oportunidad asociado a tener mineral expuesto, lo cual hace balancear una operación más ajustada con una mayor flexibilidad.

La flexibilidad del plan minero está asociada a la confiabilidad que se tiene sobre el cumplimiento de las principales metas que se propone lograr en cada período. Un plan minero que sea altamente confiable, se relaciona con una ejecución que presenta planes de mitigación y contingencias adecuados a los imprevistos que puedan ocurrir, lo cual se traduce en una operación que tiene un grado de flexibilidad alto.

En el proceso productivo, la flexibilidad del plan está dominada por la capacidad de la mina de responder ante eventualidades, logrando mantener un ritmo constante de alimentación a la planta de beneficio.

En este sentido, se usa el concepto de “mineral a la vista”, que se puede definir como las reservas disponibles para su extracción y traslado, donde el desarrollo de la mina ha sido completado.

El mineral a la vista da cuenta de la flexibilidad del plan minero, pues para un ritmo de alimentación a la planta y ley de corte dado, define el tiempo que se puede operar en condiciones planificadas. Luego, el trabajar con una gran cantidad de mineral a la vista permite tener una ejecución del plan de alta confiabilidad, pero se incurre en un costo mayor al adelantar el desarrollo de la mina, y un costo de oportunidad al tener el mineral expuesto sin procesar.

El mineral a la vista depende directamente del concepto de ley de corte, haciendo la diferencia entre la ley de corte crítica (L_{cc}) y la ley de corte operacional (L_{co}), con la cual se trabaja y decide en la operación el destino del mineral. Un alza de la L_{co} se traduce en un mineral con mayor contenido de metal, por ende una mayor producción comercial, pero implica aumentar los acopios de mineral marginal, y asumir un costo extra por el remanaje de dicho mineral, que fue considerado en el diseño del pit.

Como medida de la flexibilidad del plan, se proponen los siguientes indicadores:

- **Relación de leyes de corte:** está definido por el cociente entre la diferencia de leyes de corte y la ley de corte crítica que se hayan empleado.

$$RLC = \frac{L_{co} - L_{cc}}{L_{cc}}$$

La RLC entrega el nivel de flexibilidad asociado a la explotación al indicar el margen que se tiene en el momento de la operación. Un valor cercano a 0 se explica por operar con leyes cercanas entre si, lo cual se traduce en una baja capacidad de responder ante eventualidades.

- **Indice de Reservas Disponibles:** se define como las reservas a la vista disponibles sobre el tonelaje comprometido para un período determinado.

$$IRD = \frac{M_v}{Ton_{período}}$$

El IRD permite tener una noción de la importancia e influencia del desarrollo de la mina en el logro de los planes mineros, pues si este índice se encuentra en torno a 1, las reservas a la vista permiten cumplir el plan con pocas opciones de origen y calidad de mineral. Un valor bajo enfatiza la necesidad del cumplimiento de los desarrollos, y así lograr una planta copada de mineral, sin mayor flexibilidad en cuanto a calidad de mineral.

3.2.4 Confiabilidad del plan minero

Una parte importante del concepto de confiabilidad aplicado a la mina esta compuesta por la capacidad de los equipos mecánicos de trabajar el tiempo que se programó, la tasa de fallas y el período de reparación y mantención de ellos. Este ítem tiene una gran componente de gestión de mantenciones programadas, e incluye un nivel de tolerancia hacia la ejecución, considerando los índices de disponibilidad y utilización históricos.

Se incluye además en este punto la confiabilidad que se asume presentan las instalaciones e infraestructura de la mina y planta, donde los colapsos de alguna zona o la falla de algún banco son eventos inherentes a la labor minera. Este punto guarda una amplia relación con el concepto de flexibilidad, pues un nivel de flexibilidad alto permite

tener una mayor confiabilidad en el cumplimiento de los planes, pero no es una condición suficiente para que se asegure el plan.

Luego, se pueden establecer los siguientes indicadores:

- **Cumplimiento de Programa de Mantenciones:** se considera el tiempo de mantenciones programadas (“TMP”) realizadas en el período, por sobre el planificado.

$$CPM = \frac{TMP_{real}}{TMP_{programa}}$$

Una mayor cantidad de problemas mecánicos y mantenciones no programadas impacta en un menor tiempo para el desarrollo normal de los programas de mantenciones de equipos, lo cual se traduce en un menor nivel de confianza de operación de los equipos, ya sea por bajos rendimientos, mayor probabilidad de falla, acortamiento de vida útil, entre otras cosas.

- **Indice de Fallas Operacionales:** se establece en base al concepto de tiempo medio entre fallas (TMEF), el cual se define como el promedio de la flota de los periodos de tiempo entre dos fallas consecutivas de los equipos. De esta manera, se debe hacer la salvedad de que tipo de equipo de esta evaluando, al igual que en cumplimiento de las mantenciones. En este mismo ámbito, se utiliza el concepto asociado al tiempo medio de duración de mantenciones (TMPR), lo que entrega información sobre la eficiencia del trabajo realizado en la mantención, o de la gravedad de las fallas en los equipos. Ambos indicadores se definen de la siguiente manera:

$$TMEF = \frac{\sum hr\ efectivas}{n^{\circ}\ fallas}$$

$$TMPR = \frac{\sum hr\ de\ mantención}{n^{\circ}\ mantenciones}$$

- **Indice de Riesgo Geotécnico:** se propone un indicador en base al estado geotécnico del sector explotado, siendo su métrica la siguiente:

IRG	Descripción
IRG = 1	Situación de operación normal, y monitoreo normal de condición del macizo rocoso
IRG = 2	Operación normal, pero mayor monitoreo de macizo rocoso, posibles variaciones en su condición
IRG = 3	Operación con restricción, monitoreo alto de condición del sector, posible falla o colapso a futuro

Tabla 3-2: Definición de Indicador de riesgo geotécnico

Naturalmente, si las operaciones se desarrollan con un mayor riesgo geotécnico, es de esperar una operación mas variable en el tiempo, producto de las normas de seguridad vigentes, lo cual se traduce en una menor producción de metal al final del período.

- **Indice de Redundancia de Equipos:** se propone informar a través de este indicador la redundancia que el plan tiene debido a contar con un mayor o menor numero de equipos operativos en cada periodo productivo. Luego, el indicador propuesto para cada flota de equipos mayores es el siguiente:

$$IRE = \frac{n^{\circ} \text{ equipos operativos}}{n^{\circ} \text{ equipos planificados}}$$

3.2.5 Calidad de la Operación

Normalmente en el desempeño de una operación, se advierten diversas desviaciones que han sido tratadas en este estudio, permitiendo definir las áreas donde incorporar medidas para un control activo de los resultados. Se propone en esta línea, y para terminar el tratamiento a la variable tonelaje, dos índices adicionales que guardan relación con la calidad de la operación.

Si bien en los indicadores referidos a las desviaciones en el tonelaje de la planta dan cuenta del origen de los materiales, en el caso del mineral se cuenta normalmente en la operación con un paso intermedio antes de llegar a la planta de procesos, los stocks. En estos acopios, se guarda mineral con el fin de asegurar una alimentación a planta constante en el tiempo, pues se puede reemplazar el mineral proveniente desde la mina con el mineral guardado en estas pilas. Por otro lado, la metodología de Lane propone el uso de estos stocks con el fin de mejorar el perfil de leyes de alimentación a la planta, logrando con ello mejorar el valor presente del negocio, al disminuir el costo de oportunidad al procesar mineral de mejor calidad.

En la planificación minera, y en la medida de contar con los recursos físicos necesarios para su implementación, se emplean diversos stocks para lograr crear planes de mayor robustez, mejorando las opciones de mezclas de minerales para aumentar el rendimiento de los equipos e instalaciones de procesamiento.

Luego, es natural definir y proponer para su constante medición y monitoreo un indicador que permita cuantificar el origen del mineral enviado a la planta, considerando el plan original sobre el uso de stocks.

- **Relación Mina - Stock:** corresponde al cumplimiento global de los lineamientos expresados en los planes mineros, respecto de los diversos orígenes de los minerales enviados a planta, contrastado con la operación. Si se considera el mineral desde la mina y el mineral desde stocks, se plantea el indicador:

$$IOM = \frac{Mineral_{stock}}{Mineral_{mina}}$$

Es posible medir dicho indicador en la operación misma, o en la planificación, para establecer la proporción de mineral que proviene directamente desde la mina. De esta manera, se puede establecer la calidad del plan, si se piensa en un proceso que se basa en mover el mineral hasta la planta para su beneficio, al establecer que cantidad de mineral es directamente enviada, y no incurre en remanejos propios del mineral que se ha dejado en stocks.

En la misma línea sobre la calidad de los planes, se propone otro indicador que permita entender las diferencia encontradas entre los valores que son reportados por la mina y la planta, para las variables tonelajes y leyes, y que permita a su vez establecer también la cantidad de mineral que se ha removido desde la mina. Basados en la información topográfica que se dispone normalmente en una faena, se define el siguiente índice.

- **Balance Mina – Planta:** se contrasta los valores de tonelaje de mineral informados por la mina y la planta, con los valores obtenidos desde los levantamientos topográficos de la mina, los que entregan cubicaciones que permiten establecer el tonelaje real removido.

$$BM = \frac{Mineral_{Topo}}{Mineral_{mina}}$$

$$BP = \frac{Mineral_{Topo}}{Mineral_{planta}}$$

De esta manera, se logra enfrentar las diferencias encontradas entre estos valores con un mejor sustento, al integrar el uso de acopios y la calidad del plan en las cuentas de gestión.

3.3 Ley de Metal

La segunda variable, relacionada con la calidad del proceso productivo, es de carácter mayormente exógena, puesto que es inherente a la génesis del yacimiento, y su valor y distribución in situ es un dato de entrada a la planificación.

Sin embargo, el conocimiento sobre dicha variable es relativo a la intensidad y calidad de las campañas de sondajes realizadas, información que es validada con las muestras desde los pozos de tronadura durante la operación.

Las reconciliaciones de los planes mineros incluyen de manera sistemática este proceso, lo que permite mantener una idea de la precisión y exactitud de la estimación de recursos y reservas. Se propone entonces los siguientes indicadores:

- **Indice de Ley de Envío a Planta:** es el porcentaje de cumplimiento de la ley planificada de envío a planta, calculado como sigue:

$$ILP = \frac{Ley_{real} - Ley_{programa}}{Ley_{programa}}$$

Por diversos motivos, ya sea errores en estimación, o mezcla de diferentes minerales enviados a plantas, la ley real que se reporta en el período sufre variaciones respecto al programa, lo que es normalmente indicado en las cuentas de gestión.

- **Indice de Reconciliación de Leyes:** trata de cuantificar la incidencia de la estimación de las leyes en la diferencia de leyes en la alimentación, y se define mediante la diferencia de fino reportada sobre la ley de corte para el yacimiento.

$$IRL = \frac{Cu_{estimado}}{Cu_{real}} = \frac{Ton_{estimado} * Ley_{estimada}}{Ton_{real} * Ley_{real}}$$

La ley estimada y la ley real son normalmente graficadas para establecer su tendencia, y corroborar la precisión del método de estimación geoestadístico, con la existencia o no de sesgos.

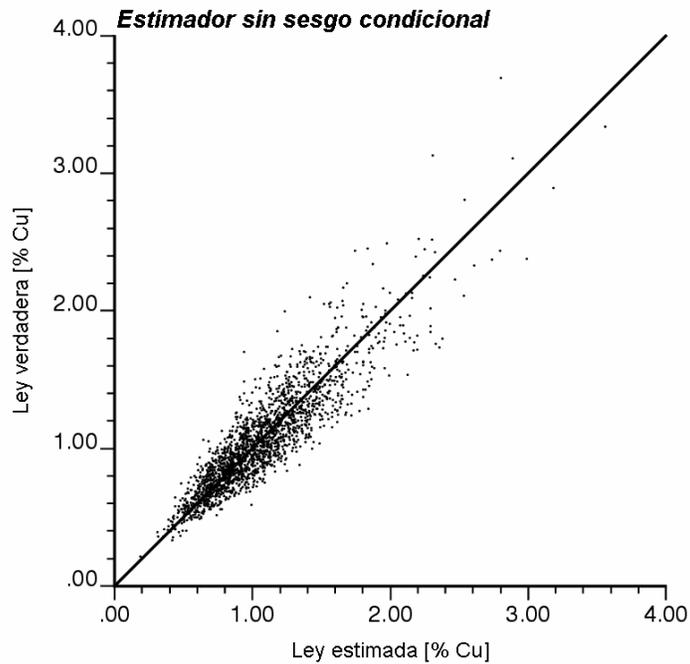


Gráfico 3-6: Ejemplo de Ley real vs. estimada

El punto de conflicto es la zona cercana a la ley de corte, pues se generan situaciones de envío de material estéril o de baja ley a planta, y de envío de mineral a botadero, producto del error de estimación. Por otra parte, para zonas de altas leyes, algunos métodos tienden a sub-estimar el recurso, informando menores leyes que la realidad.

3.4 Recuperación

La recuperación se define como el porcentaje de metal de interés que es extraído del total que se encuentra en el mineral procesado. Por razones naturales y propias del tipo y tiempo de proceso, se trabaja con recuperaciones que producto de un análisis técnico y económico, no son 100 %, sino que dependiendo del punto en la línea de procesos, varía desde el 50% al 99 %.

En los informes de gestión de empresas mineras, se reporta este indicador, en forma general de todo el proceso, ya sea para óxidos o sulfuros de cobre. Tal como se mostró con anterioridad, la variación de la recuperación es menor frente a las diferencias encontradas en el tonelaje de envío a planta, lo cual se traduce en un menor seguimiento y análisis.

Para realizar una mejor comprensión de la recuperación, y su posterior definición de indicadores, se presenta el siguiente esquema:

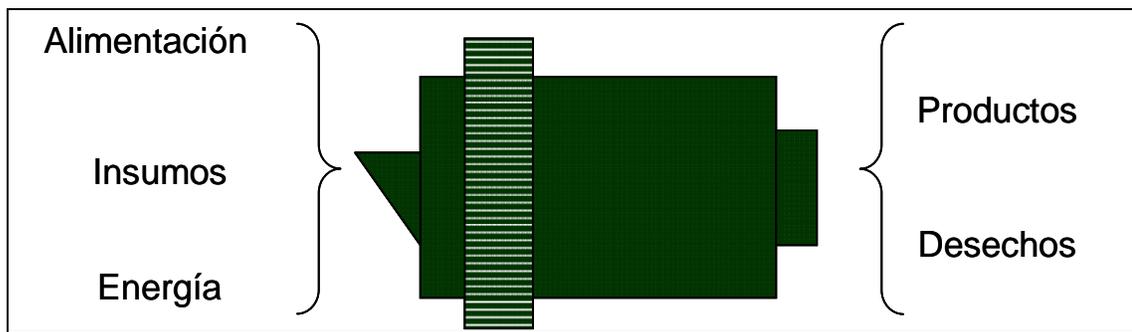


Ilustración 3-5: Diagrama esquemático general de procesos

Se considera que el proceso necesita de entradas o “inputs”, los que generan los productos finales, o que requieran un nuevo procesamiento. Dentro de los productos, y como es lo normal en minería, se genera gran cantidad de material estéril, que no presenta interés económico, y que debe ser evacuado y dispuesto en sectores especialmente diseñados para ello. Es generalmente en las etapas de concentración por flotación en el caso de minerales sulfurados, o en la lixiviación para los óxidos, donde se produce el material lastre o los rípios, según sea el caso.

Un aspecto poco considerado en las cuentas de gestión es el tiempo destinado para procesar el mineral, entendiendo que la alimentación es continua en el tiempo, de manera de obtener el máximo beneficio de las instalaciones. Es de esta manera que en los procesos metalúrgicos se habla de “Tiempos de Residencia” al tiempo promedio que tiene el mineral para ser procesado, ya sea en concentración, fundición y refinería, o en las líneas de lixiviación y electro obtención.

Una alimentación al proceso según el programa, permite obtener tiempos de residencia que fueron los considerados en las etapas de planificación, con lo cual se espera que los resultados se esperen sean los óptimos. Luego, una mayor alimentación disminuye los tiempos, mermando la capacidad de las instalaciones de efectuar su trabajo. Una menor alimentación provocará un aumento de los tiempos, con lo cual se realiza un sobre procesamiento del mineral y un gasto mayor, aumentando los costos.

La variación de los tiempos de residencia puede ser explicada también por la mayor o menor utilización de las instalaciones, ya que el proceso se diseña con cierto nivel de uso de equipos, durante la fase de planificación. Una mayor utilización disminuye los tiempos de residencia, y viceversa, obteniéndose los resultados explicados anteriormente al variar dichos tiempos.

Luego, para la recuperación, es necesario considerar el tratamiento horario de las instalaciones, incorporando la utilización de cada equipo, y no sólo el tratamiento global del período, que es lo reportado habitualmente en los informes de gestión.

En forma más específica, para una planta concentradora, el proceso busca fundamentalmente dos objetivos:

- Liberar las partículas donde se encuentra el metal de interés, por medio de los procesos de conminución, aislándolas del material estéril

- Eliminar la partículas que no presentan interés económico, la ganga

Ambas operaciones contemplan una gran cantidad de variables y factores que inciden en la recuperación del concentrador, de carácter fuertemente técnico. Las principales variables que se deben controlar en estos procesos, según el objetivo, tienen relación con la dureza y el tamaño del mineral en la entrada de cada etapa.

El concepto de dureza del mineral es abordado de distintas formas, dependientes del sector de la cadena productiva donde se encuentre. Para el caso de la calidad del macizo rocoso, se trabaja con resistencias a la compresión de la roca, densidad, y otras características que dan origen a diversos índices (RMR, Q, etc.), los cuales son usados en cálculos de estabilidad de taludes, resistencia a hundimiento, diseño y efectos de tronadura.

Para el procesamiento del mineral, en los procesos de conminución, se suele utilizar el concepto de “Work Index”, que se define como la energía necesaria para llevar una partícula de tamaño infinito a 212 micrones de diámetro (-65#, serie Tyler). Este índice es usado en el diseño de chancadores y molinos de barras y bolas, con el fin de calcular la potencia necesaria para el correcto procesamiento del mineral. En el caso de la molienda SAG, este índice no se utiliza, pues este tipo de molienda es posterior al desarrollo de la metodología introducida por Bond. Es por ello que se prefiere utilizar el concepto de “Consumo Específico de Energía”, en el caso de este tipo de molienda, y al igual que el WI, se mide en kilo Watt-hora por tonelada corta de mineral procesado, kWh/tc.

Con las bases del procesamiento de minerales sulfurados descritas, se propone el siguiente conjunto de indicadores:

- **Utilización de Molienda:** corresponde al tiempo efectivamente empleado en la molienda.

$$Ut_{mol} = \frac{Hrs_{Eff}}{Hrs_{Periodo}}$$

La mayor parte de los equipos principales se evalúan y dimensionan considerando su tratamiento horario efectivo, estimando una utilización global en la planificación.

- **Índice de Calidad de Mineral:** está conformado por el cumplimiento de la ley de cabeza del mineral, la dureza estimada y el tipo de mineral y/o alteración utilizada en la planificación, donde el porcentaje de cumplimiento se expresa como sigue:

$$ICM = Ley + Dureza + Origen$$

Donde los indicadores ley, mineral y origen toman el valor 0 ó 1 dependiendo de si alcanzan un cumplimiento mayor o igual al 95% del valor utilizado en la planificación.

- **Eficiencia de conminución:** entrega el resultado obtenido en el proceso de reducción de tamaño, considerando la alimentación y el producto final entregado por la planta. Además, integra el consumo de aceros, como principal insumo de esta etapa.

$$EfC = \frac{P_{80} \cdot Cac_{ppto}}{F_{80} \cdot Cac_{real}}$$

La conminución se planifica y dimensiona para obtener productos de acuerdo a características del mineral, las que varían de forma aleatoria dentro de un rango aceptado.

3.5 Resumen indicadores

Una vez concluida la etapa de presentación y definición de los principales índices requeridos para un sistema robusto que permita controlar un plan minero, es necesario agruparlos y presentarlos de manera integrada, para luego relacionarlos y establecer diferentes enlaces entre ellos.

El hecho de definir cada indicador junto a su métrica, logra establecer las características requeridas de unicidad de la información, instaurando formas específicas de medición y presentación de indicadores claves, punto expresado dentro de los objetivos perseguidos en este estudio.

Indicadores		
Nombre	Métrica	Descripción
1. Cumplimiento Producción	%	Mineral a Planta, Real / Plan
2. Atraso de Programa	%	Mineral planificado no movido / Total Planificado
3. Adelato de Programa	%	Mineral no planificado enviado a planta / Total Planificado
4. Cumplimiento Movimiento Total	%	Total Movido / Plan
5. Cumplimiento Desarrollos	%	Lastre Movido dentro del Plan / Lastre Planificado
6. Desviación Desarrollos	%	Lastre adelantado fuera de plan / Lastre Planificado
7. Relación Estéril / Mineral	nº	Mineral enviado a planta / Lastre movido
8. Relación Mina / Stock	nº	Mineral enviado desde Mina / Mineral desde Stock a chancado
9. Cumplimiento de Disponibilidad	%	Suma horas Disponibles por Flota, Real / Plan
10. Cumplimiento de Utilizaciones	%	Suma horas Utilizadas por Flota, Real / Plan
11. Uso Disponibilidad	%	Suma Horas Utilizadas / Suma Horas Disponibles
12. Relación de Leyes de Corte	%	Ley Operacional - Ley Crítica / Ley Crítica
13. Índice de Reservas Disponibles	%	Mineral a la vista / Tonelaje del periodo
14. Cumplimiento de Mantenciones Programadas	%	hr acumuladas entre mantenciones programadas
15. Índice de Fallas Operacionales	hr	Tiempo medio entre fallas
16. Índice de Redundancia de Plan	nº	ej: nº camiones plan / real
17. Índice de Riesgo Geotécnico	nº	Definición: Normal (1), Mayor monitoreo (2), Restringido (3)
18. Índice de Ley de Envío a Planta	%	Ley Real - Ley Programa / Ley Programa, informada por planta
19. Índice de Reconciliación de Leyes	%	Cu fino estimado / Cu fino Real
20. Balance Mina - Planta	%	Ton * Ley * Rec en mina / planta
21. Utilización Planta Molienda	%	Suma Horas Ut. Real / Suma Horas Según Plan
22. Índice de Calidad de Mineral	nº	Ley + Dureza + Procedencia
23. Eficiencia de Molienda	%	(P80/F80) * (Consumo acero molienda Real / Presupuesto)

Tabla 3-3: Resumen general de indicadores propuestos.

4 Relaciones Causales y Temporalidad

El proceso de extracción y procesamiento del mineral se realiza en una secuencia establecida, o también llamada cadena productiva, según lo descrito en los párrafos anteriores. Cada etapa de dicha cadena requiere de entradas, que luego de efectuada su operación entrega uno o varios productos, los cuales a su vez conforman nuevas entradas para los procesos posteriores.

En la misma lógica de la cadena productiva, el proceso de planificación genera elementos que son utilizados en el proceso de operación de la mina, la cual a su vez entrega resultados operacionales que sirven de parámetros de entrada para el proceso posterior de revisión y actualización de la planificación.

4.1 Esquema Causa Efecto

Si bien en el capítulo anterior se expusieron diversos indicadores, que con sus métricas definidas permiten obtener el estado de la operación en contraste con la planificación, dichos índices pueden ser ordenados en función de sus causalidades, según la cadena de procesos y según su impacto en las variables posteriores.

Se pueden considerar como las variables de primer orden, las indicadas en la sección 3.1.1, las que definen en términos mineros la producción de fino. Dichas variables presentan una relación causal que se presenta de la siguiente manera.

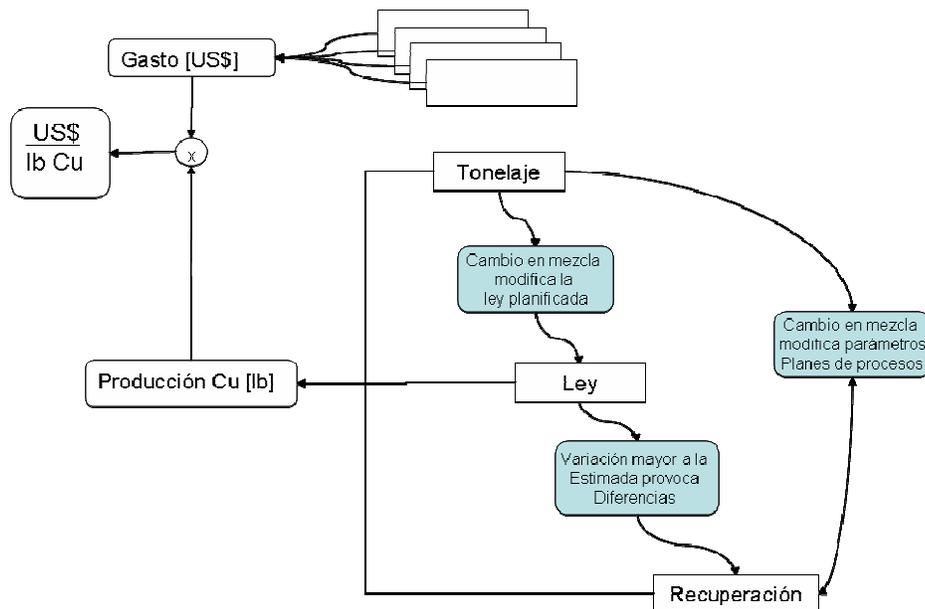


Ilustración 4-1: Esquema causal para variables mineras principales

El indicador por excelencia del desempeño del negocio corresponde al costo de producción del metal, el cual permite entender la rentabilidad real del negocio, y la

generación de rentas dado el precio de venta del producto. Este costo permite además comparar faenas en cuanto a su productividad y eficiencia, tomando en cuenta la salvedad que las condiciones de producción son muy diferentes en muchos casos, además de generar la curva de oferta agregada que en términos económicos genera el precio de largo plazo al equilibrar la oferta y demanda mundial.

Si se excluye del análisis la parte dedicada al gasto asociado a las actividades productivas, el metal producido se define en términos de sus variables principales, las cuales se relacionan según lo visto en la ecuación 3, sección 3.1, como el producto de ellas.

Dicho análisis considera las variaciones individuales que se presentan en estas variables mineras, estableciendo índices que permiten entender su desempeño y evolución durante la operación. Sin embargo, dichas variables tienen relaciones de causalidad claras que provocan una revisión de dichos efectos en la cadena productiva.

Para establecer el punto de partida de las causas y efectos en la ilustración anterior, se parte de la base de que el plan minero ha sido entregado a la operación, y que la ley de mineral ya ha sido estimada, asumiendo que un modelo de corto plazo es utilizado para evaluar un presupuesto anual, con un error menor que el presentado en un modelo de recursos de largo plazo.

Los cambios en la cantidad y el origen del mineral enviado a planta afectan directamente a la ley de metal, por cuanto la ley programada en un periodo determinado queda fijada por un promedio ponderado de las leyes y tonelajes parciales asociados a los sectores a explotar. En términos simples, se puede establecer que la variación de la ley, a causa de las diferencias en tonelaje, se genera debido a lo siguiente:

Si se considera que se explotan 2 sectores, “a” y “b”, ambos generan una ley conjunta como sigue:

$$Ley\ ppto = \frac{Ton_a \cdot Ley_a + Ton_b \cdot Ley_b}{Ton_a + Ton_b}$$

Por cambios en la operación, se puede empezar a explotar sectores distintos y, por lo tanto, se considera que se trabajó en los sectores “a” y “c”, logrando entonces el resultado real distinto al planificado.

$$Ley\ real = \frac{Ton_a \cdot Ley_a + Ton_c \cdot Ley_c}{Ton_a + Ton_c}$$

Luego, la diferencia de leyes es:

$$Ley\ real - Ley\ ppto = \frac{Ton_a \cdot Ley_a + Ton_c \cdot Ley_c}{Ton_a + Ton_c} - \frac{Ton_a \cdot Ley_a + Ton_b \cdot Ley_b}{Ton_a + Ton_b}$$

Generalmente se tiende a cumplir con el movimiento de mineral, tal como se explicó en el punto 3.2, por lo que se puede hacer la siguiente aproximación.

$$\begin{aligned}
 & Ton_c \rightarrow Ton_d \\
 & Ley_{real} - Ley_{ppto} = \frac{Ton_a \cdot Ley_a + Ton_c \cdot Ley_c}{Ton_a + Ton_c} - \frac{Ton_a \cdot Ley_a + Ton_c \cdot Ley_b}{Ton_a + Ton_c} \\
 & Ley_{real} - Ley_{ppto} = \frac{Ton_c \cdot Ley_c - Ton_c \cdot Ley_b}{Ton_a + Ton_c} \\
 & Ley_{real} - Ley_{ppto} = \frac{Ton_c}{Ton_a + Ton_c} \cdot (Ley_c - Ley_b)
 \end{aligned}$$

De esta forma, la ley de alimentación a la planta de procesamiento se ve afectada por las variaciones en el tonelaje, donde se identifica la forma que tiene una faena para recuperar atrasos importantes en sus operaciones, logrando obtener resultados acordes a los planes establecidos, en términos de metal fino.

Análogamente, la recuperación de metal planificada en la planta obedece a un proceso donde se considera el plan de explotación de la mina de manera detallada, consignando sectores con características definidas en la estimación de reservas, las cuales conforman la alimentación a la planificación metalúrgica. Por ende, una variación en la alimentación a la planta en términos de cantidad y origen repercute inmediatamente en la recuperación. Parámetros como la dureza del mineral, el contenido de impurezas, la composición mineralógica, el tamaño de liberación, entre otras, varían entre sectores de una mina, y el resultado de la recuperación lograda varía en función de dichos parámetros.

Los cambios que se generan en la ley pueden a su vez afectar a la recuperación, ya que en algunos casos como el molibdeno se suele establecer una relación empírica entre la ley y la recuperación obtenida en la planta, lograda a través de años de muestreo y análisis de datos.

4.1.1 Causalidades en el tonelaje

Si bien las variables anteriores tienen el mismo peso en la definición del fino, considerando el orden en la cadena de procesos, el tonelaje tiene una mayor importancia al afectar a las otras dos variables, “aguas abajo”. Bajo esta lógica, se pueden ordenar los indicadores presentados en el capítulo anterior, obteniendo una cadena de causas, como se muestra a continuación.

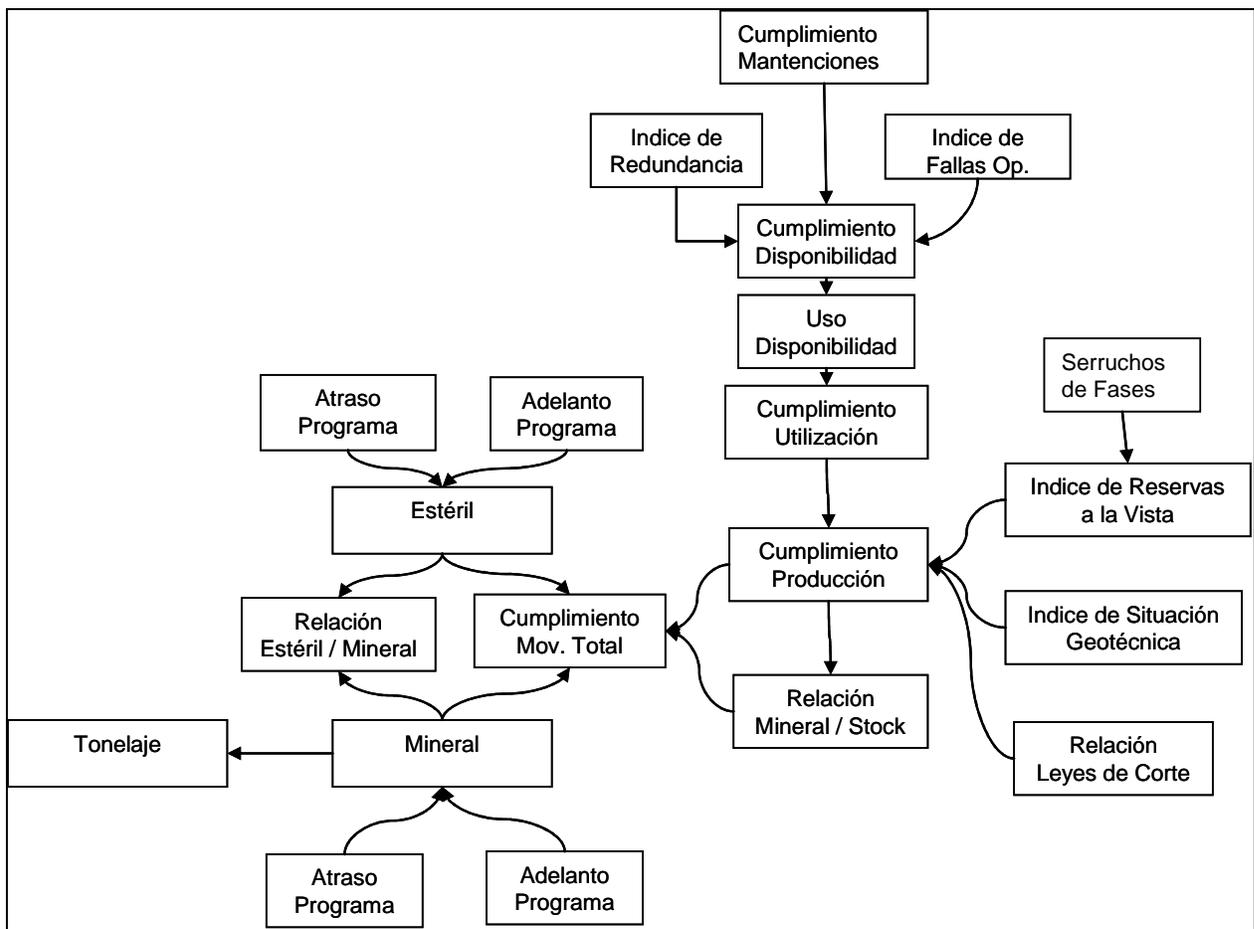


Ilustración 4-2: Relaciones causales entre indicadores asociados al tonelaje

El cumplimiento de la variable tonelaje se visualiza primeramente en términos de la variación de la cantidad, comparando las toneladas planificadas y las reales enviadas a planta. Dicha variación proviene de la capacidad que tenga la mina de responder eficazmente a los requerimientos de los planes, la cual tiene una parte asociada al concepto de confiabilidad, y otra parte al concepto de flexibilidad.

Para mover una cantidad determinada de material, se requiere de equipos mineros, los cuales tienen una capacidad de llenado definida, la cual varía en la operación en rangos establecidos. Si dicha capacidad unitaria de cada equipo no es lograda adecuadamente, el impacto es inmediato en los planes, incurriendo en cambios generales en el plan, siguiendo la lógica expuesta anteriormente, entre las variables mineras principales.

El aspecto de la flexibilidad del plan permite entender que bajo un periodo donde ocurren eventualidades, la faena no tendrá opciones mayores de sortear la dificultades operativas, obligando a la baja productiva del periodo, o bien, cambiando de manera mayor los planes y provocando impactos mayores en el mediano plazo.

La parte de la confiabilidad del plan se refiere en este análisis a la flota de equipos principales, pues las fallas de ellos, traducida en una baja disponibilidad, genera

perdidas de productividad de la flota, lo cual requiere de un estudio mayor por parte del área de mantenimiento, ítem de alto impacto en el costo de producción.

4.1.2 Ley de Mineral

La ley presenta una variación explicada mayormente por la diferencia entre los resultados del tonelaje, según se explicó anteriormente. Sin embargo, dentro de los indicadores mencionados en el punto 3.3, la ley de metal presenta variaciones con respecto a la planificada por variados motivos relacionados a la estimación misma, los cuales son por cierto entendidos como propios del proceso de reconocimiento de recursos. Sesgos y errores son cuantificados en la estimación, estableciendo un rango de error aceptable.

Dichos errores y desviaciones son parte de las relaciones de causalidad aquí establecidas, donde el árbol para este caso es el siguiente.

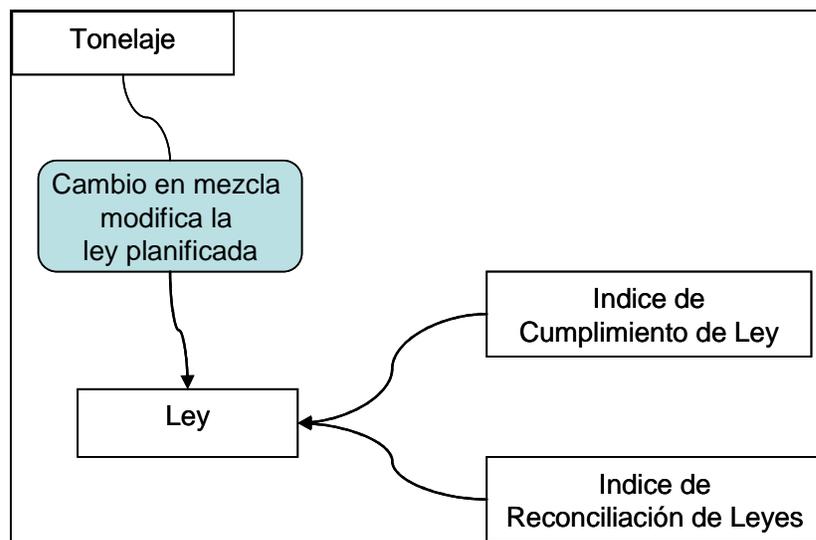


Ilustración 4-3: Relaciones causales entre indicadores asociados a la ley de metal

Este indicador presenta variaciones por diferencias tanto en la estimación como en el muestreo, por lo tanto las leyes informadas por la planta y la mina difieren en el transcurso de la operación. Los balances metalúrgicos a lo largo del proceso ayudan a entender de mejor manera la variación a causa de la estimación y muestreo.

4.1.3 Recuperación de metal

La recuperación en este análisis se presenta como la variable mayormente afectada por las fluctuaciones que ocurren en las variables anteriores, según el esquema antes señalado. Además, siguiendo la lógica descrita en la presentación de indicadores clave, se pueden establecer causas en la variación debido a la forma en que se realiza el proceso, como se ilustra a continuación.

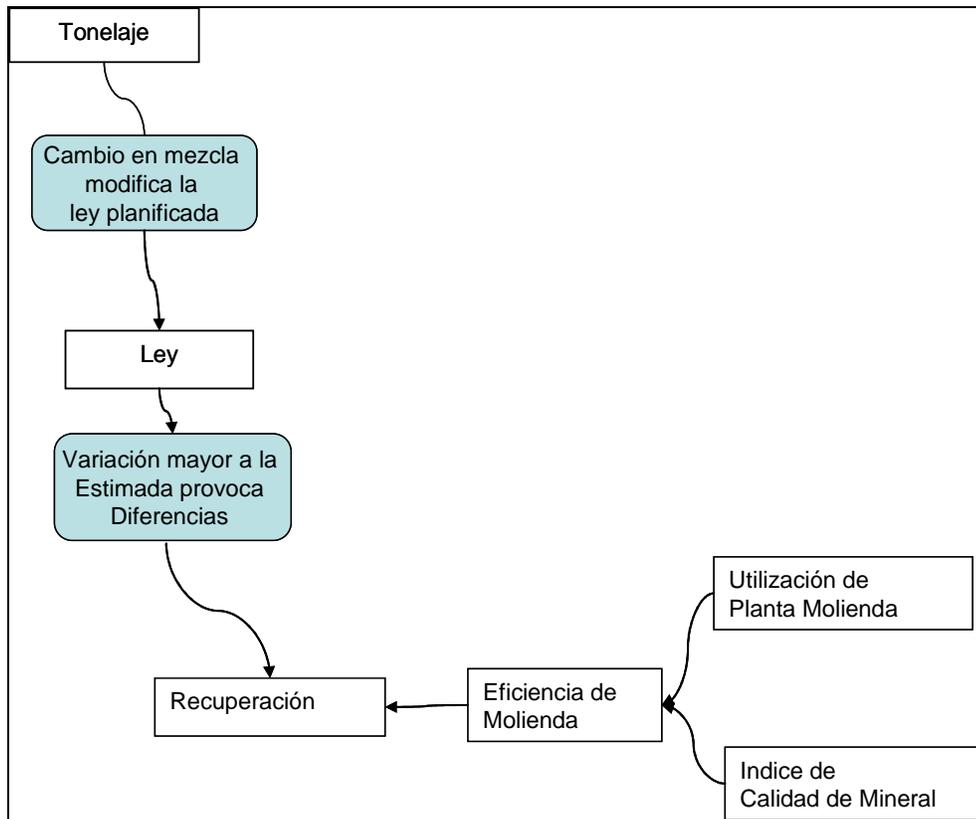


Ilustración 4-4: Relaciones causales entre indicadores asociados a la recuperación

La utilización de las instalaciones y equipos destinados para la molienda, así como la variación en la calidad del mineral con respecto al plan, desencadenan cambios en los resultados posteriores, que en conjunto a los cambios de tonelajes y leyes “aguas arriba” generan diferencias en los resultados finales.

4.2 Impacto de Variable Tiempo

Al realizar un plan minero, se estima el valor potencial del negocio que es posible de capturar. Se hace una estimación de la operación requerida desde el inicio de la explotación, o del momento actual en que se encuentra la faena, hasta el término de la vida del yacimiento, periodo de varios años, donde los flujos resultantes definen en valor presente la mejor valorización del negocio.

Luego, un plan minero consigna año a año los requerimientos estimados para un correcto desempeño de la operación. Con especial énfasis en el primer año de operación, el detalle de éste permite aprobar el presupuesto anual para la ejecución del plan.

Al avanzar el año, y bajo los conceptos asociados al mejoramiento continuo, se realiza la actualización del plan minero, revisando los supuestos y parámetros asociados a la formulación del plan, además incluyendo nueva información respecto al modelo geológico, nuevos equipos e instalaciones, entre otros. En esta actualización se genera el nuevo presupuesto anual de operaciones, el que permite aprobar los montos necesarios para el año siguiente.

Sin embargo, las sucesivas actualizaciones de los planes no incorpora formalmente un análisis simple de las pérdidas productivas anteriores, comparando el plan presupuestado y aprobado con los resultados reales obtenidos. Se puede pensar que el presupuesto incorpora algunas dificultades del periodo, y por consiguiente presenta las acciones a seguir en pos de lograr un buen desempeño del periodo siguiente. Pero en este análisis, no se presenta el “atraso” o desviación del plan ocurrida, cuantificando su impacto en los flujos futuros.

De esta manera, relaciones causales, pero de carácter temporal, pueden ser establecidas de manera tal de apreciar el impacto a lo largo de la vida de un proyecto, donde generalmente solo se evalúa y analiza el resultado en periodos de tiempo muy acotados. La siguiente ilustración entrega una idea de las relaciones posibles de establecer.

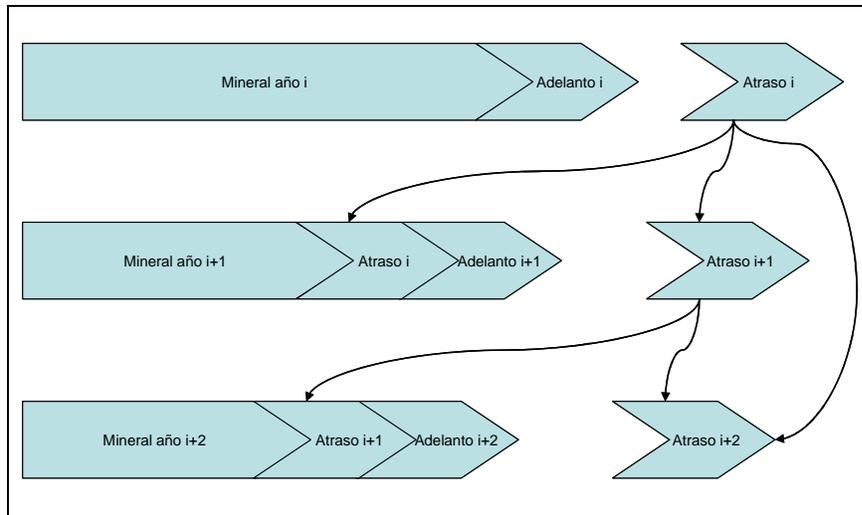


Ilustración 4-5: Causalidades en el tiempo

Considerando el caso simple de la variable mineral a planta, se advierte que los resultados de la operación de un año repercuten a lo largo de los años venideros, y si se pone en términos de valor capturado, se puede entender un proceso como lo mostrado en la siguiente figura.

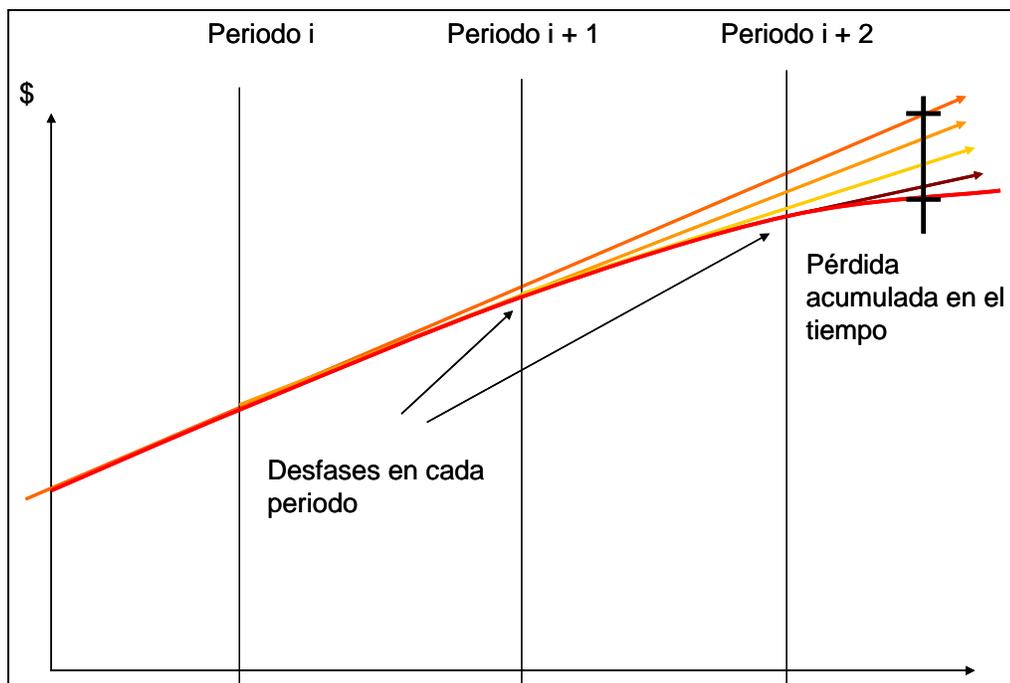


Ilustración 4-6: Valor del negocio perdido en el tiempo

Este simple hecho justifica la necesidad de exponer los indicadores antes enlazados de manera sistemática en las actualizaciones sucesivas de los planes mineros, entendiendo que el negocio pierde valor al modificar los planes en la operación. No se trata, en ningún caso, de eliminar la posibilidad que tienen las distintas operaciones

unitarias de realizar cambios en el plan debido a eventualidades, pero si se demuestra la necesidad de informar y entender como la operación varía respecto a un plan, permitiendo de esta manera definir medidas correctivas, y en definitiva retroalimentar para generar nuevos planes mineros que aseguren una ruta de largo, mediano y corto plazo.

5 Caso de Estudio

5.1 Antecedentes

El siguiente ejercicio se presenta con el fin de generar una cuantificación del impacto que se provoca en los resultados operacionales y económicos en una faena real para aplicar los conceptos recogidos en esta estudio y para demostrar el impacto económico que se puede alcanzar.

Los datos y resultados expuestos en esta parte han sido modificados para velar por la confidencialidad de la operación, lo cual no afecta las conclusiones ni las discusiones generadas a partir del trabajo y análisis efectuado.

Se consideran los principales resultados operacionales de una mina a rajo abierto, durante el periodo 2003 – 2007, productora de cobre contenido en concentrado, y es operada con equipos de gran tamaño.

5.2 Resultados Principales

Siguiendo con la lógica expuesta en el capítulo de indicadores clave de desempeño, se exponen a continuación los resultados operacionales respecto del movimiento total de la mina, donde se considera que el total se divide en mineral enviado a planta, o estéril que es enviado a botaderos.

Material Cargado [Mton]	2003	2004	2005	2006	2007	TOTAL
REAL	73	65	68	89	80	375
PPTO	87	86	80	92	106	451

Tabla 5-1: Movimiento total de materiales.

En dicha tabla “PPTO” corresponde al presupuesto que se elabora a comienzos de cada año, según la versión más actualizada de su plan minero de largo plazo. “REAL” corresponde a la ejecución de la operación en el periodo.

Una rápida inspección de la Tabla 5-1: Movimiento total de materiales. permite encontrar una marcada diferencia entre el tonelaje real movido anualmente por la operación, y el presupuesto anual, el cual es entregado antes de cada periodo, actualizándolo de acuerdo al estado de la operación año a año. Se advierte que no se ha cumplido en ningún periodo el programa de extracción, logrando un déficit acumulado de 76 millones de toneladas, un 17% del total presupuestado a mover.

Mineral [Mton]	2003	2004	2005	2006	2007	TOTAL
REAL	21	26	25	25	26	124
PPTO	23	26	27	28	27	133

Tabla 5-2: Movimiento total de Mineral.

En el caso del mineral enviado a planta, se puede apreciar que también existe un incumplimiento del programa, sin embargo, de menor magnitud que en el movimiento total de materiales, llegando a un déficit acumulado de 9 millones de toneladas, lo que alcanza un 7% del presupuesto.

Lastre [Mton]	2003	2004	2005	2006	2007	TOTAL
REAL	52	39	43	64	54	251
PPTO	64	59	53	64	79	319

Tabla 5-3: Movimiento total de Estéril.

La Tabla 5-3 establece la causa del atraso en el movimiento total de la mina, puesto que se puede desprender que tampoco ha sido cumplido el presupuesto en los años considerados, pero la magnitud del atraso es mayor, llegando a 68 millones de toneladas acumuladas, un 21% de los 319 millones de toneladas determinadas a mover.

Es decir, el retraso del movimiento mina global se debe en un 11% a menor mineral alimentado a planta y en un 89% a desarrollo del estéril de la mina.

Una comparación simple permite afirmar que el atraso acumulado en estos 5 años es equivalente al movimiento total real de la mina en una año, por ende, se puede interpretar que el atraso equivale a no haber trabajado un año completo en el quinquenio.

Como se verá durante el desarrollo de este estudio de casos, en el caso analizado esto traerá consecuencia económicas mayores al valor de este negocio, que se pudieran haber mitigado de manera importante si se hubieran tomado las medidas que recomienda este sistema de control de plan minero.

Sin embargo, el negocio minero se basa en la venta de sus productos comerciales, que en este caso es el cobre. Sin considerar otros subproductos en este análisis, se presentan los siguientes resultados para el mismo periodo.

Ley Cu [Mton]	2003	2004	2005	2006	2007	TOTAL
REAL	1.02	1.06	1.06	1.11	0.88	1.03
PPTO	0.97	1.03	1.03	0.95	0.86	0.97

Tabla 5-4: Ley de Cu de mineral enviado a planta.

La Tabla 5-4 muestra que la ley de Cu del mineral ha sido satisfactoriamente cumplida, e incluso ha sido mejor que la calculada para el presupuesto anual de operaciones compensando la merma de movimiento de mineral para lograr las metas de cobre fino. El hecho de analizar una faena que tiene varios años de operación, permite asumir que las estimaciones sobre parámetros como la ley de Cu son hechas con cierta exactitud, donde los errores de estimación están acotados. Por ende, el marcado cumplimiento y superación de esta variable minera procede de causas que se discuten a continuación.

Efectuando el cálculo simple con la ley de Cu y el mineral enviado a planta, se presenta el resultado de Cu fino contenido en mineral para el periodo analizado.

Fino [Kton]	2003	2004	2005	2006	2007	TOTAL
REAL	217	280	265	277	231	1,270
PPTO	228	272	280	266	236	1,282

Tabla 5-5: Cu fino contenido en mineral.

La tendencia en la Tabla 5-5 se puede advertir es al cumplimiento del Cu fino que se envía a procesos. Considerando que se han adquirido compromisos comerciales, además de asegurar el resultado económico de cada periodo, la operación es enfática en lograr este resultado. Ocasionalmente, esto va en desmedro del control sobre el desvío de su planificación respecto de otras variables mineras.

Los resultados económicos de este periodo son calculados en base al precio real para cada año. El costo de la mina es también un valor obtenido desde la operación, en oposición al costo de procesamiento que se presenta como un costo anual promedio igual para cada año del análisis. El precio es descontado por los cargos normales asociados a los conceptos de costo de tratamiento y refinación, además de otros ítems.

	2003	2004	2005	2006	2007	Total
Lastre [Mton]	52	39	43	64	54	251
Mineral [Mton]	21	26	25	25	26	124
Ley Cu [%]	1.02	1.06	1.06	1.11	0.88	1.03
Fino [kton]	217	280	265	277	231	1,270
Precio Cu [US\$/lb]	0.81	1.30	1.67	3.05	3.23	2.0
Cargos por Tratamiento [US\$/lb]	0.281	0.281	0.281	0.281	0.281	0.3
Recuperación [%]	87.3	88.5	86.5	87.6	85.2	87.0
Ingresos por Venta [kUS\$]	220,222	556,713	702,165	1,483,990	1,280,687	4,243,777
Costo Mina [US\$/ton]	1.38	1.70	1.84	2.06	3.05	2.01
Costo Planta [US\$/ton]	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
Costo Producción [kUS\$]	186,471	216,103	225,362	282,614	349,009	1,259,559
Flujo de Caja [kUS\$]	33,751	340,610	476,803	1,201,376	931,677	2,984,218

Tabla 5-6: Resultados económicos, periodo 2003 - 2007

Se aprecia en la magnitud de los montos involucrados el fuerte impacto de precio del cobre en el alza de los ingresos. Gráficamente, los flujos anuales presentan la siguiente tendencia.

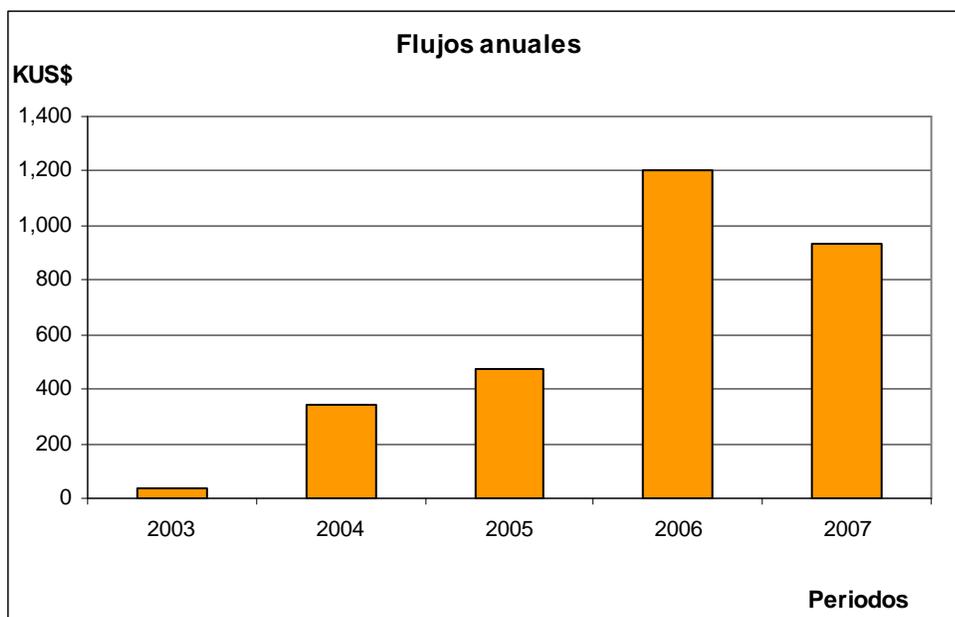


Gráfico 5-1: Flujos de caja anuales, periodo 2003 - 2007

Tal como se expuso con anterioridad, el aseguramiento del resultado en términos de variables económicas se ha traducido en un aprovechamiento de los altos precios actuales de los metales, logrando ingresos y excedentes históricos en los últimos años. Sin embargo, la forma en que se han logrado esos resultados, y la falta de un sistema de control de la ejecución del plan minero implican a futuro que el desempeño de la operación se ve gravemente afectado, incorporando cambios sustanciales en los planes mineros realizados con anterioridad, poniendo en duda el alto desempeño del negocio y su sustentabilidad en el tiempo. Sobretudo esto último; con los resultados a la vista, parece cuestionable la sustentabilidad presente del negocio dado el disminuido nivel de desarrollo alcanzado en la mina.

El cumplimiento de la ley de Cu se puede entender como el resultado de estar explotando sectores de mejor calidad, en términos de leyes, dado que en ningún año se alcanzó a cumplir la meta de mineral. Por tal motivo, se han explotado sectores que se habían planificado para su posterior extracción, incurriendo en adelantos que han disminuido notoriamente la flexibilidad del negocio, aumentando a su vez su vulnerabilidad y riesgo a niveles sobre lo recomendable.

Por otra parte, el atraso sostenido en la remoción de material estéril perjudica el normal desarrollo de la mina, por cuanto provoca que el mineral no sea expuesto a tiempo para su explotación, además de generar eventualidades de carácter geomecánicas, como fallas y movimientos de paredes, entrando en un círculo vicioso que provoca más atrasos e interferencias en las operaciones.

A modo de presentar de manera mas gráfica lo anterior, se expone a continuación una foto de la mina sin identificar del caso de estudio que representa los sectores donde se ha incurrido en atrasos y adelantos de movimiento de materiales, donde se han coloreado las zonas fuera del plan. Esta foto de la situación producto de la operación del año 2007, presenta en color rojo las zonas que han sido adelantadas respecto del

plan, y en color amarillo las zonas que se encuentran atrasadas en comparación al plan minero.

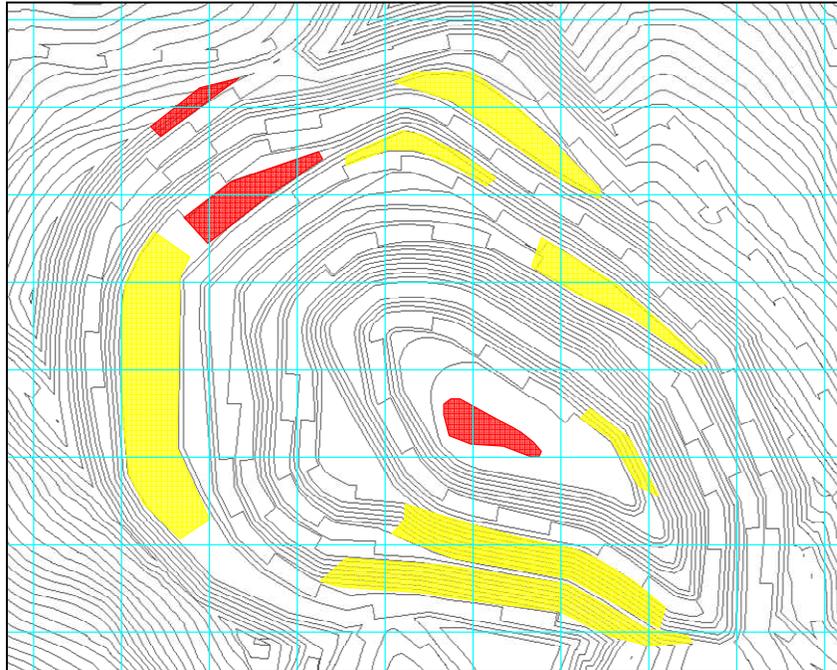


Ilustración 5-1: Atrasos y Adelantos en mina, año 2007

Se puede concluir de la situación de la mina que los adelantos se presentan mayoritariamente en las zonas de mineral que tienen las mejores leyes y mejores accesos. Además, el adelanto incluye el sector profundo de la mina, que presenta, en este caso, las mejores leyes de Cu, lo que confirma la tendencia a asegurar el cumplimiento de las metas productivas del periodo.

Por el contrario, los atrasos en las zonas laterales de la mina dan cuenta del incumplimiento en el movimiento de material estéril, provocando una operación menos flexible, producto de no disponer de mineral a la vista, además de generar vulnerabilidades geomecánicas, dada la sobrecarga no removida a tiempo. En consecuencia, la práctica continua por varios años consecutivos del caso de estudio, y la falta de un sistema que evaluara a tiempo los incumplimientos del plan minero, llevan a la mina del caso en estudio a una situación de riesgo inaceptable tanto técnico como económico. Las soluciones al “embotellamiento” de esta mina demandan hoy una gran cantidad de recursos y plazos que se miden en años.

En términos prácticos, dichas modificaciones al normal desarrollo de la explotación de traduce en una disminución de la producción en los años siguientes que alcanza un orden del 10% a 15 %, ya que el atraso en material estéril limita el mineral a la vista disponible, no permitiendo mover más mineral de otras zonas para paliar la merma productiva, como ocurrió en los periodos anteriores.

El plan para los 5 siguientes periodos son presentados a continuación.

	2008	2009	2010	2011	2012	Total
Mineral Ppto. [Mton]	25	27	26	26	26	130
Mineral Proyectado [Mton]	23	24	23	23	23	117
Ley Cu [%]	0.72	0.87	0.87	0.81	0.83	0.82
Fino [kton]	164	208	203	190	195	960

Tabla 5-7: Plan de producción próximos 5 años

Si bien el total de mineral a mover este periodo es semejante al mineral tratado en el periodo 2003 – 2007, la baja en la ley es la que determina la baja producción de fino. Los flujos calculados de la misma forma que en la Tabla 5-6, para el plan sin perdidas, son los siguientes.

	2008	2009	2010	2011	2012	Total
Mineral Ppto. [Mton]	25	27	26	26	26	130
Ley Cu [%]	0.72	0.87	0.87	0.81	0.83	0.82
Fino [kton]	182	231	225	211	217	1,067
Precio Cu [US\$/lb]	3.4	2.5	1.9	1.9	1.9	2.3
Cargos por Tratamiento [US\$/lb]	0.281	0.281	0.281	0.281	0.281	0.3
Recuperación [%]	85.0	85.0	85.0	85.0	85.0	85.0
Ingresos por Venta [kUS\$]	1,066,250	960,415	684,116	640,645	658,711	4,010,138
Costo Mina [US\$/ton]	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
Costo Planta [US\$/ton]	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
Relación E/M	2.9	2.8	2.5	2.5	2.5	2.6
Costo Producción [kUS\$]	349,978	357,088	330,727	330,727	331,750	1,700,270
Flujo de Caja [kUS\$]	716,272	603,328	353,389	309,918	326,961	2,309,867

Tabla 5-8: Resultados económicos, periodo 2008 – 2012 presupuestado.

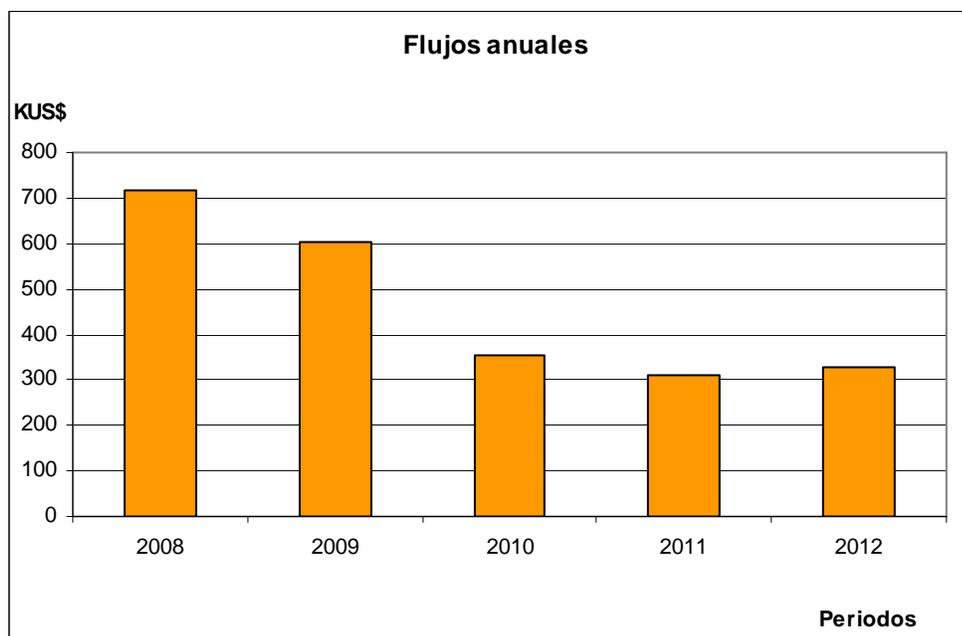


Gráfico 5-2: Flujos de caja anuales, periodo 2008 – 2012, presupuesto

En términos de flujos de caja anuales, el gasto anual se ha visto incrementado por efectos del alza de insumos y suministros, como la energía y los combustibles. A esto se debe agregar que dados los actuales cambios en los planes, el costo de explotar la mina en estas situaciones es mayor, porque se debe remover una mayor cantidad de

material estéril, y a las dificultades que presenta el diseño del manejo de materiales de una mina que se encuentra embotellada. Se puede, entonces, establecer que el aumento de costos producto de los cambios en el plan es del orden de un 20%, sin considerar otros factores.

Recalculando los ingresos, incorporando las mermas productivas y el alza de costos esperado, se obtienen el siguiente escenario.

	2008	2009	2010	2011	2012	Total
Mineral Proyectado [Mton]	23	24	23	23	23	117
Ley Cu [%]	0.72	0.87	0.87	0.81	0.83	0.82
Fino [kton]	164	208	203	190	195	960
Precio Cu [US\$/lb]	3.4	2.5	1.9	1.9	1.9	2.3
Cargos por Tratamiento [US\$/lb]	0.281	0.281	0.281	0.281	0.281	0.3
Recuperación [%]	85.0	85.0	85.0	85.0	85.0	85.0
Ingresos por Venta [kUS\$]	959,625	864,374	615,705	576,580	592,840	3,609,124
Costo Mina [US\$/ton]	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Costo Planta [US\$/ton]	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
Relación E/M	2.9	2.8	2.5	2.5	2.5	2.6
Costo Producción [kUS\$]	399,704	407,267	376,121	376,121	377,284	1,936,497
Flujo de Caja [kUS\$]	559,921	457,107	239,584	200,459	215,555	1,672,627

Tabla 5-9: Resultados económicos, periodo 2008 – 2012, proyectado con situación actual

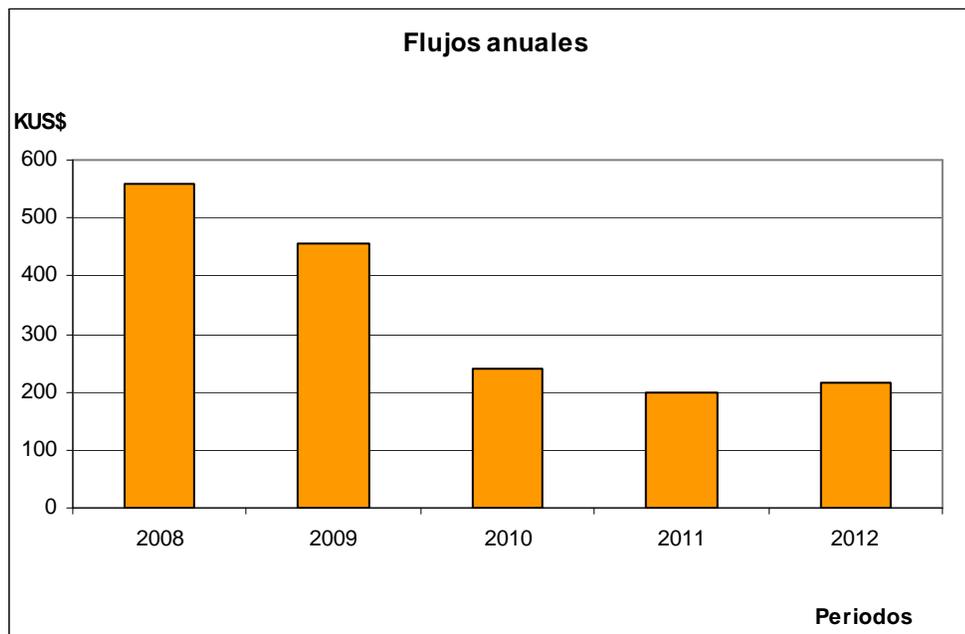


Gráfico 5-3: Flujos de caja anuales, periodo 2008 – 2012, proyección situación actual

De esta manera, los flujos anuales son afectados doblemente, generando una pérdida mayor, la cual puede ser cuantificada en valor presente, obteniendo los siguientes resultados.

	Presupuesto	Proyección
Tasa Descuento	8%	8%
VAN [kUS\$]	\$ 1,859,622	\$ 1,506,144

Tabla 5-10: Diferencia en valor presente, presupuesto vs. proyección

Esta tabla demuestra la magnitud de los efectos acumulados durante los años anteriores.

Este valor actualizado permite dimensionar la magnitud de las acciones, proyectos e inversiones que se pueden realizar con el fin de mitigar las desviaciones del plan minero comprometido. Estas acciones van desde medidas de gestión en recursos humanos, hasta la adquisición de nuevo equipamiento para la mina.

Es así que se deja expresado de manera formal la importancia y necesidad de contar con sistemas que permitan poner en términos prácticos y tangibles los efectos negativos de operar una faena desligada de la visión que entrega la planificación. Permite, además, enfocar los esfuerzos e inversiones en capturar el valor generado durante los procesos de planificación minera.

Hipóticamente, en el año 2005, suponiendo que se cuenta con un sistema de control del plan minero, se puede recrear el siguiente escenario:

- La pérdida de fino en los años siguientes disminuye a un 5%
- El alza de costos producto de las modificaciones de los planes disminuye a un 8%

Con estas hipótesis, se establece que los flujos de caja calculados de forma análoga a la Tabla 5-10 son los siguientes:

	2008	2009	2010	2011	2012	Total
Mineral Proyectado [Mton]	24	25	25	25	25	117
Ley Cu [%]	0.72	0.87	0.87	0.81	0.83	0.82
Fino [kton]	173	219	214	201	206	1,014
Precio Cu [US\$/lb]	3.4	2.5	1.9	1.9	1.9	2.3
Cargos por Tratamiento [US\$/lb]	0.281	0.281	0.281	0.281	0.281	0.3
Recuperación [%]	85.0	85.0	85.0	85.0	85.0	85.0
Ingresos por Venta [kUS\$]	1,012,938	912,394	649,910	608,613	625,775	3,809,631
Costo Mina [US\$/ton]	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70
Costo Planta [US\$/ton]	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
Relación E/M	2.9	2.8	2.5	2.5	2.5	2.6
Costo Producción [kUS\$]	369,869	377,159	348,885	348,885	349,964	1,794,761
Flujo de Caja [kUS\$]	643,069	535,235	301,026	259,728	275,812	2,014,870

Tabla 5-11: Flujos anuales, incorporados planes de mejoras.

Este ejercicio de valorización, que asume que el plan respeta el origen y calidad de los materiales en los primeros 3 años, resulta en mínimas pérdidas de fino producido y mínimas pérdidas de mineral a la vista. Se puede cuantificar el efecto positivo de aplicar herramientas de control de gestión en variables que no son sólo económicas, sino que tienen un carácter marcadamente técnico, propias del ambiente minero, tal como se aprecia en la Tabla 5-11. En valor presente, estos flujos entregan el siguiente resultado.

Tasa Descuento	8%
VAN [kUS\$]	\$ 1,805,649

Tabla 5-12: VAN próximos 5 años, incorporados planes de mejora.

De esta manera, asumiendo que el plan se respeta en origen y calidad durante el periodo 2005 – 2007, las pérdidas disminuyen sustancialmente en los años siguientes, logrando altos retornos. Al comparar el VAN del plan actual con la ganancia que se puede generar al aplicar los conceptos del control de gestión abordados en este estudio, se demuestra que dados los altos precios de los metales, sumados a la envergadura de las operaciones mineras actuales, se reducen las pérdidas incurridas por desviaciones de los planes. Más aún, se asegura la sustentabilidad del negocio, al desarrollar las operaciones de manera consistente con el plan de largo plazo, y logrando altos estándares de productividad.

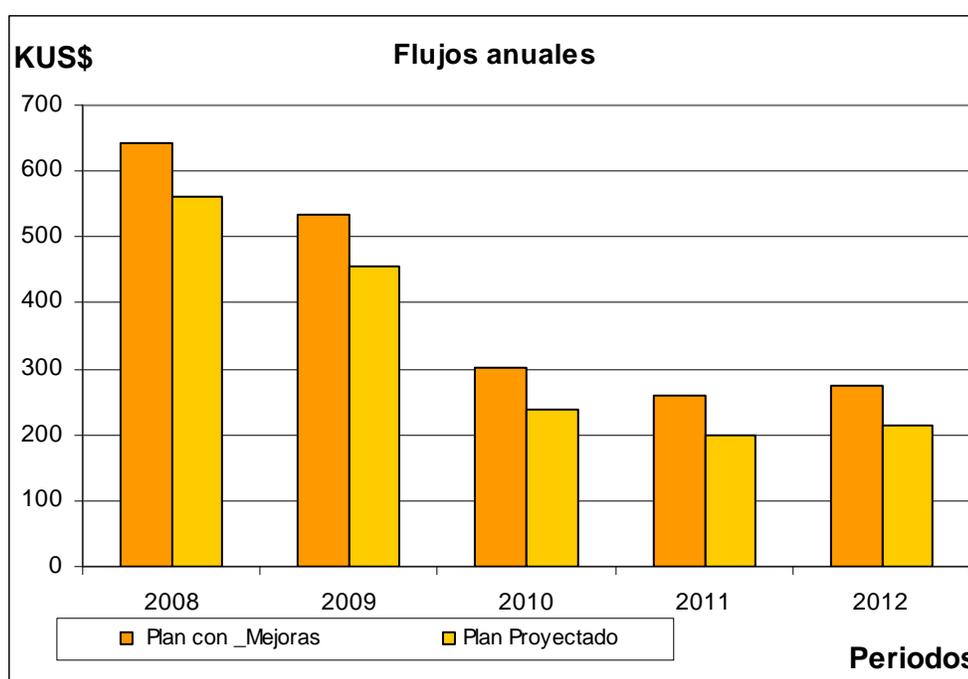


Gráfico 5-4: Flujos de caja anuales, periodo 2008 – 2012, con y sin Sistema de Control

En valor presente, la diferencia lograda al aplicar mejoras deducidas a partir de aplicar los conceptos simples pero potentes del control de gestión son:

	Presupuesto Mejorado	Proyección	Diferencia
Tasa Descuento	8%	8%	
VAN [kUS\$]	\$ 1,805,649	\$ 1,506,144	\$ 299,505

Tabla 5-13: VAN flujos periodo 2008 – 2012, proyección con y sin mejoras.

Las desviaciones presentadas en este análisis son generadas por diversos factores, que en definitiva, con un sistema integrado como el expuesto en este estudio, permite entender y determinar los orígenes de las variaciones en los resultados operacionales. Si bien se ha expuesto la diferencia marcada en movimiento de materiales y su impacto

en el valor del negocio, se puede seguir el caso de estudio consignando otras tendencias en la operación, tal como se presenta en los siguientes párrafos.

5.3 Parámetros operacionales

El ejercicio desarrollado en el punto anterior muestra en su desarrollo exhaustivo los impactos e influencia que puede tener un sistema de control del plan minero, basándose en un conjunto limitado de variables. Sin embargo, este análisis debe ser mucho más amplio y sustentar una exploración del plan minero basado también en otros indicadores claves del negocio. Ellos se presentan en forma más resumida a continuación.

Al mirar la evolución de diversas variables mineras durante el periodo 2003 – 2007, es posible establecer ciertas tendencias claras en contraste con los valores empleados para la planificación de la mina y, de esta manera, entender mejor algunas de las causas de los incumplimientos, y también comprender hacia dónde deben estar enfocados los esfuerzos para recuperar las pérdidas.

		2003	2004	2005	2006	2007
- Utilización efectiva palas	hr/día	10.00	10.10	11.92	11.92	11.62

Tabla 5-14: Utilización efectiva de palas, años 2003 - 2007

Un indicador común de diseño y planificación corresponde a la utilización efectiva de los equipos. De la Tabla 5-14 se puede apreciar que el promedio de dicha utilización durante este periodo es de 11.5 h/día, con una variabilidad natural producto de la operación. Sin embargo, al contrastar el resultado anterior con los valores utilizados en la planificación para el año 2007 en adelante, se puede advertir lo siguiente.

		2007	2008	2009	2010	2011
- Utilización efectiva palas	hr/día	13.837	13.938	14.039	13.736	12.928

Tabla 5-15: Utilización efectiva de palas, planes periodo 2007 – 2011

Claramente, se han utilizado valores mayores a la media del periodo analizado en la Tabla 5-14, e incluso mayores que la máxima utilización de palas lograda en ese periodo. Este hecho muestra la necesidad de respaldar claramente los criterios y parámetros de planificación, para que sean consecuentes con los resultados reales de la operación (a través de los ejercicios de reconciliación del plan minero), o que justifiquen adecuadamente las mejoras estructurales propuestas (ya sea por gestión o inversión). En forma gráfica las utilidades reales logradas y las utilizadas en los planes se notan claramente no relacionadas, siguiendo tendencias independientes.

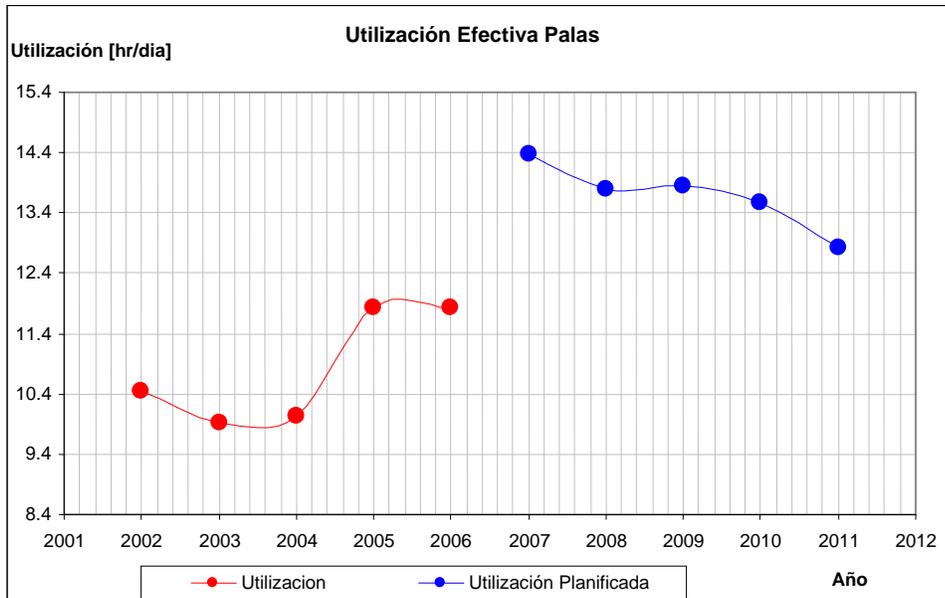


Gráfico 5-5: Utilizaciones efectivas de Palas, reales y planificadas

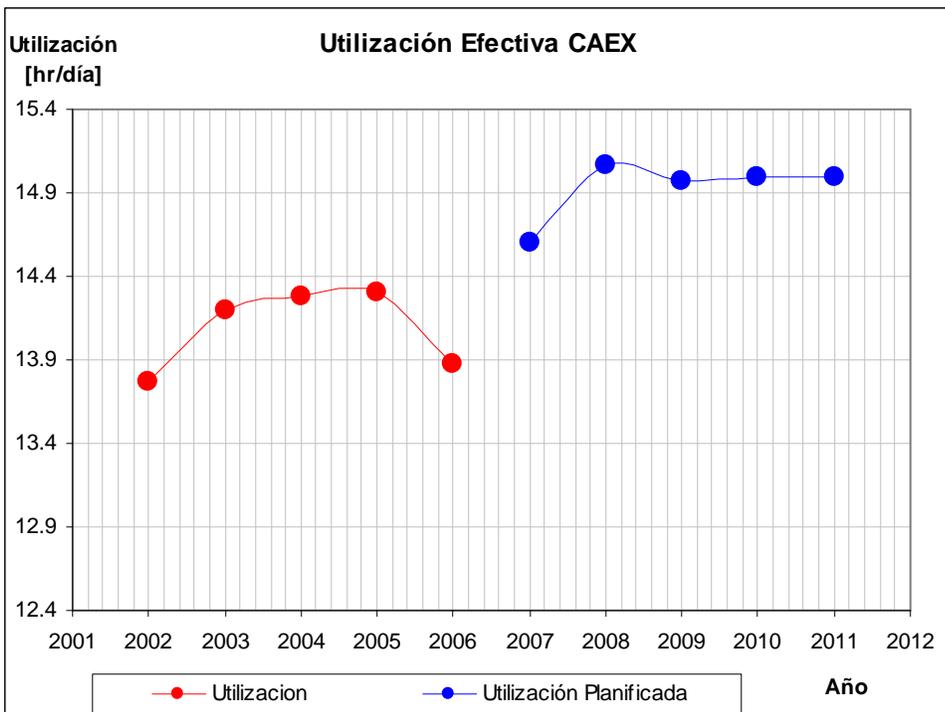


Gráfico 5-6: Utilizaciones efectivas de Camiones, reales y planificadas

Para contar con utilizaciones mayores que las logradas en los años anteriores, es factible pensar en medidas reales de gestión para lograr aumentos sustanciales en dichos parámetros, como puede ser un proceso de negociación de metas de productividad con la fuerza laboral, o una inversión mayor en adquisición de equipos. El análisis antes desarrollado permite entregar límites y estimar órdenes de magnitud frente a los montos involucrados en pérdidas de valor, y por ende los recursos económicos factibles de entregar para su inversión.

De esta manera, para lograr el aumento en un 20% de la utilización de las palas, es necesario considerar un aumento de la flota de palas y, al mismo tiempo, incorporar más camiones para así ajustarse al plan. La flota usada en la actualidad, mas los equipos a incorporar se presentan a continuación.

	Nº Equipos	20% extra	Costo Unitario [MUS\$]	Total
Palas	4	1	21.4	21.4
Camiones	32	6	4.6	27.6
Total				49

Tabla 5-16: Inversiones en equipos principales.

De la tabla anterior se puede desprender que una inversión en equipos del orden del 16% del valor presente de las pérdidas futuras permite aumentar la productividad en un 20%, logrando un ajuste real de los planes mineros para lograr las metas de producción y movimiento de materiales, asegurando la sustentabilidad de la operación en el mediano y largo plazo, además de aprovechar el ciclo de altos precios del metal.

5.4 Comparación de alternativas

Si bien una posible solución para enfrentar la baja productividad de la faena es la inversión en equipos, desde un punto de vista de la misma operación existen ciertas condicionantes que no permiten efectuar gastos no considerados en los planes mineros. Luego, con el fin de lograr resultados económicos cercanos a los compromisos adquiridos en las etapas de planificación, se debe enfrentar la explotación sólo con los recursos disponibles.

Bajo este escenario, es posible evaluar las decisiones tomadas en años anteriores, determinando la conveniencia de los ajustes y desfases en los ritmos de extracción de los minerales, los que si bien perjudican la operación a futuro, aseguran los ingresos en los años anteriores.

Considerando el periodo comprendido entre los años 2003 al 2012, se presentan los resultados económicos, bajo los mismos parámetro técnicos y económicos que fueron empleados en las evaluaciones anteriores. La opción de explotación para la comparación viene dada por el caso donde se respeta la relación Estéril - Mineral planificada, pero se limita la capacidad de movimiento de la mina, lo que se asume es el movimiento total real de la mina para cada año. Los resultados económicos son los siguientes.

	2003	2004	2005	2006	2007	Total
Razón Lastre / Mineral Plan	2.7	2.3	2.0	2.3	2.9	2.4
Movimiento Real [Mton]	73	65	68	89	80	375
Lastre [Mton]	53	45	45	62	59	265
Mineral [Mton]	20	20	23	27	21	110
Ley Cu [%]	0.97	1.03	1.03	0.95	0.86	0.97
Fino [kton]	191	207	237	257	177	1,070
Precio Cu [US\$/lb]	0.81	1.30	1.67	3.05	3.23	2.0
Cargos por Tratamiento [US\$/lb]	0.281	0.281	0.281	0.281	0.281	0.3
Recuperación [%]	87.3	88.5	86.5	87.6	85.2	87.0
Ingresos por Venta [kUS\$]	193,409	412,039	629,097	1,374,631	983,741	3,592,917
Costo Mina [US\$/ton]	1.38	1.70	1.84	2.06	3.05	2.01
Costo Planta [US\$/ton]	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
Costo Producción [kUS\$]	179,950	191,139	217,568	290,837	326,538	1,206,033
Flujo de Caja [kUS\$]	13,459	220,900	411,529	1,083,794	657,203	2,386,885

Tabla 5-17: Flujos anuales, respetando REM y movimiento total mina.

Claramente, estos valores son menores a los resultados expuestos en la Tabla 5-6, lo que es esperable, pues se ha disminuido la cantidad de mineral extraído al respetar la razón Estéril – Mineral, además de asumir la ley planificada de Cu, la que por cierto es menor a la ley real de Cu que se reportó para cada año de este periodo.

Se reúnen los flujos de caja en 2 grupos. El primero da cuenta de la situación real que se vive y que se tendrá, dónde los flujos son los obtenidos en el ejercicio 2003 – 2007, mas los proyectados en la Tabla 5-9, que estiman a la baja la producción planificada. El segundo grupo presenta los resultados mostrados en la tabla anterior, mas los tabulados en la Tabla 5-11, dónde se han incorporado las herramientas de mejora de control de gestión presentadas en este trabajo.

	VAN @ 2003	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Resultado Real / Proy	3,421,471	33,751	340,610	476,803	1,201,376	931,677	559,921	457,107	239,584	200,459	215,555
Respetando Plan / Mejora	3,143,124	13,459	220,900	411,529	1,083,794	657,203	643,069	535,235	301,026	259,728	275,812
Planificado	3,583,378	16,065	290,138	485,557	1,120,690	875,557	696,381	583,256	335,232	291,760	308,747

Tabla 5-18: Flujos anuales, grupos “real” y “respetando plan”

En la tabla anterior se ha colocado además los valores correspondientes a los resultados esperados por la planificación minera, asumiendo los tonelajes y leyes previstos para esta faena. Es claro ver que el caso “real”, donde se adelanta la explotación de minerales de mejores leyes, aun cuando eso provoque una grave caída de la producción futura, es mejor en valor presente que el caso dónde se respeta y cumplen lo planes, sin alterar la explotación del yacimiento en los años posteriores.

Esto permite afirmar que las determinaciones efectuadas en el pasado no son tan destructoras del valor de negocio, por cuanto en valor presente se visualiza un mejor resultado que una opción que privilegia el desarrollo armónico de la faena. Sin embargo, es discutible el hecho de llegar a niveles tan dramáticos de operación, donde se pone en severo riesgo la continuidad de la producción. Es aquí dónde toma mayor fuerza este sistema de control, que entrega de manera sencilla y rápida los puntos débiles del negocio, de manera tal de entender mejor la dinámica del desarrollo de la explotación.

6 Discusión y Conclusiones

Se propone un sistema en base a indicadores marcadamente técnicos, propios del negocio minero, que permite controlar la ejecución de un Plan Minero en comparación a su planificación, de manera robusta, demostrando la importancia que genera el contar con un seguimiento al desempeño del negocio desde una mirada técnica, lo que permite mejoras sustanciales del negocio.

El sentido del sistema de control del plan minero propuesto no es sólo “controlar”, sino que provocar gestión en los procesos, fundamentado en la detección y evaluación temprana de las desviaciones. Para la realidad minera, las variables seleccionadas permiten capturar la esencia de las desviaciones, entregando las directrices necesarias hacia donde aplicar acciones reales de mejoras en base a gestiones mas eficientes.

Este trabajo se aboca a uno de los problemas más complejos y relevantes del negocio minero y que dice relación con el ciclo de planificación minera, operación, y control de una faena minera operativa. Este ciclo es, sin embargo, el centro del negocio minero, sobre el cual se complementan otras disciplinas. Es complejo por lo sensible de la información que utiliza y es relevante por los impactos que tiene la intervención en su gestión.

Un sistema basado en información es confiable en la medida que su diseño y sus indicadores tengan características que aporten al objetivo de diseño. Sin embargo, la calidad de la información es vital para una correcta entrega de resultados. Un dato debe poseer un respaldo que lo haga confiable, sin la existencia de diversas versiones ni cambios en su métrica o valor. Junto a ello, es necesario contar con la existencia de responsabilidades en el respaldo y administración de la información, desde su inicio hasta su reporte oficial. Un alcance que escapa a este estudio es la estandarización del sistema de indicadores y sus métricas, dando paso a un cambio de actitud y mentalidad por parte de los actores involucrados en una planificación y operación, unificando criterios.

Dentro de los objetivos iniciales al definir el estudio se consideró en contar con un sistema de indicadores capaces de ser presentados ante una plana ejecutiva, que de manera clara y transversal entregue información sobre la ejecución de los planes mineros. Dichos planes mineros sustentan desde el desarrollo de la empresa hasta el presupuesto anual, incorporando un mayor énfasis en la parte técnica de corto y mediano plazo. De esa manera otorga la posibilidad de tomar decisiones de manera proactiva, anticipando las dificultades con el tiempo necesario y con acciones de gestión en los puntos de trabajo de la mina, donde se generan los flujos de caja. La incorporación de variables mineras y metalúrgicas enfocadas en la perspectiva anteriormente descrita, permite asegurar que los indicadores propuestos cumplen con los requisitos señalados.

El caso de estudio muestra que una operación desligada de un control de su plan minero, va generando una espiral de destrucción de valor que compromete seriamente la sustentabilidad del negocio. El caso muestra una tendencia creciente en el tiempo de

desfases productivos que empiezan a mostrar sus efectos negativos, al obligar a confeccionar planes modificados para sortear una operación que se va haciendo cada vez mas compleja al estrechar sus posibilidades de operación y exponiéndose a mayores niveles de riesgo.

La operación empleada como caso de estudio se advierte estrecha, con poca flexibilidad y confiabilidad, lo que se traduce en trabajar con un nivel de riesgo alto, tanto para la seguridad de las personas e instalaciones como para el cumplimiento de las metas del negocio. Sin una cantidad aceptable de mineral a la vista, que es función del tamaño de la faena, junto con los problemas geomecánicos que ello conlleva, hace que la operación sea efectuada bajo un alto nivel de riesgo, siendo necesario emplear tiempo y recursos en su contención y mitigación en una forma reactiva y poco planificada.

La utilización de equipos e instalaciones es baja respecto de los niveles planificados en la faena del caso de estudio. La recuperación del metal presenta una diferencia negativa respecto del presupuesto, lo cual es, en parte, debido al bajo nivel de procesamiento y diferencias metalúrgicas de los materiales enviados a planta comparados con los planificados, ya sea por dureza, leyes, contenido de solubles, etc.

En otro ámbito, el programa de mantención de las instalaciones y equipos debe ser correctamente ejecutado, de manera tal de no presentar diferencias significativas con el programa, logrando respetar los ritmos de procesamiento de diseño.

El plan de alimentación acepta una variabilidad natural de alimentación al proceso metalúrgico, diseñando los procesos en escenarios de mínimos y máximos de valores de parámetros, tales como leyes, tonelaje, cantidad de agua e impurezas, potencia de motores, etc. Sin embargo, se aprecia una baja sostenida en el tonelaje de alimentación a planta, que repercute en el proceso posterior, afectando la ley y la recuperación.

La ley de mineral alimentado a la planta concentradora presenta diferencias con respecto al valor estimado por planificación. Dichas diferencias han sido explicadas por una parte, a una mala estimación, donde puede incurrirse en sesgos por parte del equipo encargado de estimar los modelos de corto y mediano plazo. Sin embargo, las reconciliaciones de leyes ayudan a determinar el efecto del error en la estimación en la variabilidad de la alimentación a planta, como primera aproximación. Una componente importante de dicha variabilidad se encuentra determinada por la mezcla de zonas en producción de la mina, donde el no cumplimiento de los planes de corto y mediano plazo repercute en mezclas diferentes a las requeridas según planificación para el periodo. Por consiguiente, la variable "ley de alimentación" se muestra dependiente de la variable "tonelaje", según origen del material, para el análisis causal entre indicadores.

El plan de alimentación acepta una variabilidad natural de alimentación al proceso metalúrgico, diseñando los procesos en escenarios de mínimos y máximos de valores de parámetros, tales como leyes, tonelaje, cantidad de agua e impurezas, potencia de motores, etc. Sin embargo, se aprecia una baja sostenida en el tonelaje de alimentación a planta, que repercute en el proceso posterior, afectando la ley y la recuperación.

El caso de estudio permite demostrar que los incentivos mal direccionados pueden provocar daño a la sustentabilidad del negocio en el mediano plazo, al priorizar en forma desmesurada el cumplimiento de las variables de muy corto plazo. En el ejemplo expuesto en el estudio, se concluye que la variable metal fino de cobre debe ir acompañada de un respaldo mayor a las variables que permitan entender la evolución del negocio, desde una mirada técnica, y que aseguren se comprenda dónde y cómo se crea un negocio sustentable. Esto, sin desmerecer en ningún caso la importancia del cumplimiento del cobre fino anual.

El aumento del nivel de actividad no planificado es clave en enfrentar las alzas de costos producto de las alzas en precios de insumos y equipos. El aumento del nivel de actividad debe venir principalmente por una mejora en los niveles actuales de operación, donde los rendimientos horarios son la clave para medir dicha variación. En el escenario actual, el aumento de producción se plantea como un aumento global del ritmo de explotación, y en el caso de grandes compañías, como un aumento global en sus diversas faenas y divisiones, incorporando nuevos proyectos y nuevos yacimientos. En este caso, se debe procurar que el aumento de la productividad no sea solo por un alza provocada por un nuevo proyecto, sino que incluya estándares aceptables en las labores actuales, asegurando una operación de calidad.

La metodología propuesta, aplicada en forma permanente, colabora efectivamente a mitigar y corregir deficiencias del proceso planificación-operación, que en definitiva son el eje del negocio minero, al proveer desde el corto plazo, una mirada de indicadores tangibles de impacto medible en los flujos de caja y, por ende, el valor del negocio, pero incorporando la estrategia trazada para el mediano y largo plazo.

Como se ha expuesto en la primera parte de este estudio, la planificación persigue la máxima creación de valor posible, y que deberá ser capturado por una operación eficiente y funcional al plan minero. Un sistema como el planteado permite conciliar ambas partes, y asegurar una planificación más realista, junto con evaluar el desempeño operacional en comparación al plan mismo.

7 Bibliografía

- Cerda, Aldo: Introducción a la Economía, apuntes preparados para el curso Introducción a la Microeconomía, IN41-A, FCFM, U. de Chile.
- Huneus L., Felipe: Generación de Escenarios de Planificación Minera, memoria para optar al título de Ingeniero Civil de Minas, U. de Chile, 2004.
- Lane, K.: The Economic Definition of Ore. Mining Journal Books Ltd, 1988. 149 p.
- Planificación Minera, Conceptos para un estándar corporativo, 1998. Documento Interno, Codelco Chile.
- Lineamientos Corporativos Proceso de Planificación 2008. Documento Interno, Codelco Chile.
- Guías Corporativas de Planificación Minera, 2005. Documento Interno, GCRM, Codelco Chile.
- Ishikawa, K., Lu, D. J., & Cardenas, M.: Que es el control total de calidad?: la modalidad japonesa. Bogota, Editorial Norma, 1997.
- Ed. Walters, ¿Qué son los KPI y CSF?
http://www.12manage.com/methods_rockart_csfs_kpis_es.html
- Fred Bayles, ¿Cómo determinar los indicadores clave de rendimiento (KPI) correctos para su empresa?
<http://www.microsoft.com/mexico/empresas/businessvalue/businesskpis.mspx>
- KPI: Midiendo el desempeño del negocio
<http://www.cientec.com/Management/Management21.asp>
- Herrera P., David: Gestión del Mejoramiento de Procesos en El Teniente 1996 - 2003, tesis para optar el grado de magíster en gestión y dirección de empresas, U. de Chile, 2006.
- Álvarez M., Nora: El modelo de Control de Gestión en minera Michilla S.A., tesis para optar el grado de magíster en gestión y dirección de empresas, U. de Chile, 2005.
- Parra R., Andrés: Generación y Aplicación de un Sistema de Análisis para Planes de Producción, memoria para optar al título de Ingeniero Civil de Minas, U. de Chile, 2007.
- Rojas G., Rainier: Análisis, Estudio y Determinación de los Requerimientos de Información para la Implementación de un Sistema de Control de Indicadores, tesis para optar al título de Ingeniero Civil Industrial mención Gestión, U. del Bío-Bío, 2007.

8 Anexos

8.1 Leyes de Corte

El concepto de leyes de corte, según la metodología propuesta por Lane, introduce el concepto de costo de oportunidad en el cálculo de dicha ley, donde el desarrollo teórico que soporta la propuesta puede ser resumido de la siguiente manera.

La ley de corte, de forma general, se calcula como aquella que establece un límite entre materiales con valor económico y aquellos que no tienen asociado un beneficio, mediante el siguiente formulismo:

Sea

B = Beneficio económico

I = Ingresos obtenidos mediante la operación

C = Costos producto de la operación

Considerando una porción r del total del mineral a explotar, los ingresos netos se obtienen de la siguiente manera:

$$I = p \cdot r \cdot g \cdot y$$

Donde:

g = ley de metal

y = recuperación

p = precio del metal

Los costos son calculados como sigue:

$$C = C_m \cdot (r + e) + C_p \cdot r + C_{R\&F} \cdot r \cdot g \cdot y$$

Con:

C_m = Costo mina, asociado a la explotación del yacimiento

e = material estéril a remover para extraer la porción r de mineral

C_p = Costo Planta de Procesos, asociado al procesamiento del mineral extraído

$C_{R\&F}$ = Costo de tratamiento, asociado a la fundición y refinación del metal para ser vendido

La ley de corte se calcula entonces como aquella que entrega un beneficio nulo, y para la estructura anterior es la siguiente:

$$\begin{aligned} B = I - C &= p \cdot r \cdot g \cdot y - (C_m \cdot (r + e) + C_p \cdot r + C_{R\&F} \cdot r \cdot g \cdot y) = 0 \\ (p - C_{RYF}) \cdot g \cdot y &= C_m \cdot (1 + e) + C_p \\ g_c &= \frac{C_m \cdot (1 + e) + C_p}{(p - C_{RYF}) \cdot y} \end{aligned}$$

Esta forma de cálculo se usa habitualmente para valorizar bloques, con el fin de crear un diseño minero de acuerdo a la identificación de la porción de recursos que entregan un beneficio positivo.

La formulación del algoritmo de Lane sigue un razonamiento semejante, pero introduce términos que reflejan lo mencionado sobre la incorporación del concepto de costo de oportunidad.

Si se consideran las siguientes definiciones:

x = proporción de mineral con respecto al material removido, equivalente a

$$x = \frac{r}{r + e}$$

f = costos fijos anuales

t = años

Entonces el flujo de caja es el siguiente:

$$FC = (p - C_{F\&R}) \cdot g \cdot y \cdot x - C_m - C_p \cdot x - f \cdot t$$

Se define V como el valor máximo de los flujos de caja actualizados (VAN), y W como el máximo valor de los flujos de caja actualizados, luego de extraer la porción de mineral r . Si se considera una tasa de descuento d , entonces se tiene la siguiente relación:

$$V = \frac{FC + W}{(1 + d)^t}$$

Considerando t pequeño, es posible realizar la siguiente aproximación:

$$(1 + d)^t \rightarrow 1 + t \cdot d$$

Entonces, al valor de V queda expresado así:

$$\begin{aligned} V &= \frac{FC + W}{1 + t \cdot d} \\ V + V \cdot t \cdot d &= FC + W \\ V - W &= FC - d \cdot V \cdot t \end{aligned}$$

La expresión $V - W$ se llama incremento marginal del VAN, la que puede integrarse con la definición del flujo de caja, y así obtener una expresión de la siguiente forma:

$$V - W = (p - C_{F\&R}) \cdot g \cdot y \cdot x - C_m - C_p \cdot x - (f + d \cdot V) \cdot t$$

La expresión anterior, al representar el incremento marginal del VAN, conduce a maximizarlo siguiendo una estrategia adecuada de explotación, donde se aprecia el parámetro “d·V”, que representa el costo de oportunidad de postergar los flujos de caja futuros en el periodo t. Si se considera un escenario mas realista, donde existen fluctuaciones en la economía, entonces se debe incorporar un término extra en la ecuación, obteniendo la siguiente expresión:

$$V - W = (p - C_{F\&R}) \cdot g \cdot y \cdot x - C_m - C_p \cdot x - (f + d \cdot V - \frac{\partial V}{\partial T}) \cdot t$$

Luego, el costo de oportunidad se conforma por dos partes, el término d·V que se traduce en asignar capital al recurso en vez de invertir en bienes o negocios alternativos, mas el término diferencial dV/dT, que integra las condiciones cambiantes del mercado en la valorización del recurso.

El valor óptimo de V es función de la ley de corte, la que a su vez es función del valor óptimo del VAN (V) a través del incremento marginal del VAN, luego se completa un problema circular, que es posible de resolver mediante sucesivas iteraciones, que al asumir un valor V= 0 al inicio, terminan por entregar la correcta estrategia de leyes de corte.

De esta manera, se puede obtener en cada iteración una mejor estimación del vector de costos de oportunidad, lo que es incorporado en cada nuevo ciclo. Esta metodología trae como consecuencia que las mejores leyes sean preferidas al inicio de la explotación, logrando mejorar de esta manera el vector de ingresos al inicio de la explotación, haciendo además que el costo de oportunidad sea menor en los años siguientes.

8.2 Complementos al Caso de Estudio

Con el fin de respaldar, según el esquema de causalidades, el caso de estudio analizado y evaluado económicamente, en las siguientes páginas se amplía la discusión y examen de fuentes de desviaciones y causalidades entre las partes del proceso productivo.

8.2.1 Fallas y Mantenciones.

La mantención de los equipos se presenta como uno de los elementos de gasto más importantes en el cálculo del costo de operación de un equipo, por su impacto en las cifras finales, además del trabajo logístico que implica la correcta planificación y ejecución de los lineamientos y programas de mantenimiento de equipos e infraestructuras.

Al analizar resultados operacionales, que para el ejemplo se consideran de la operación en el corto plazo, es posible establecer tendencias claras respecto del desempeño de las flotas, contando para ello con datos que entregan información respecto a las tasas de fallas de los equipos principales. Por la importancia dentro de la cadena de

procesos, se presenta a continuación, algunos gráficos que permiten entender y concluir respecto del ejercicio, considerados en un periodo de 9 meses.

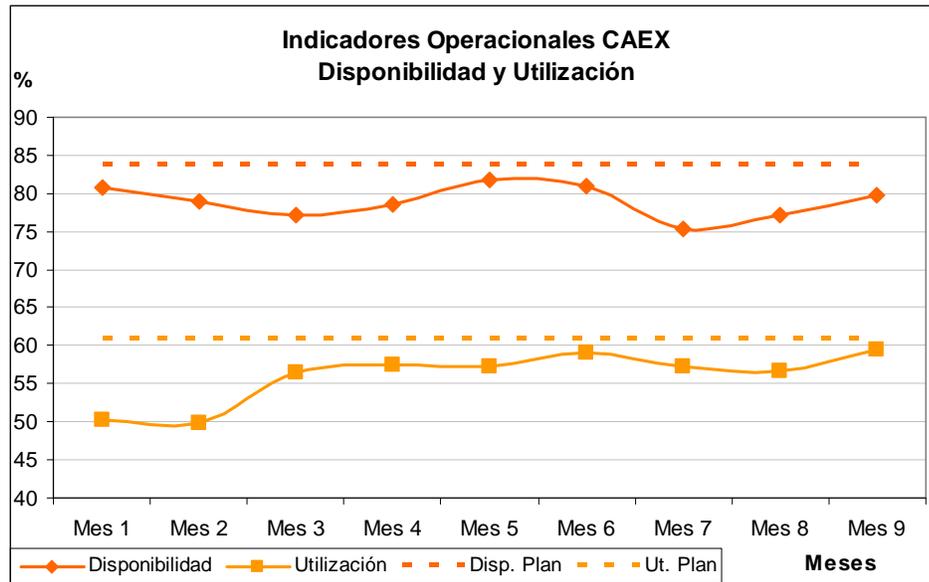


Gráfico 8-1 Disponibilidad y Utilización Transporte, Corto Plazo

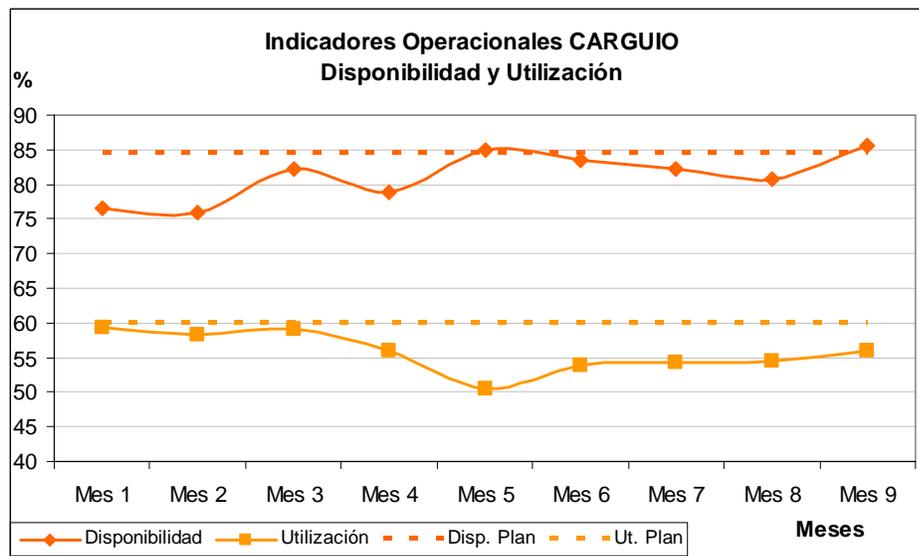


Gráfico 8-2 Disponibilidad Y Utilización Carguío, Corto Plazo

En el corto plazo, se advierte una clara tendencia a no cumplir con los valores planificados, siendo comparados con el presupuesto de operaciones. Esto entrega una impresión concisa de que ni aun al planificar con valores mas acordes a la realidad de la mina al inicio de cada periodo, se puede lograr una operación de excelencia, que logre y supere sus metas y objetivos.

Siguiendo la secuencia establecida entre relaciones causales entre indicadores, se presenta a continuación el siguiente gráfico, que entrega información relevante respecto de la situación en este periodo analizado sobre un indicador propuesto en esta estudio, relativo a las fallas de equipos.

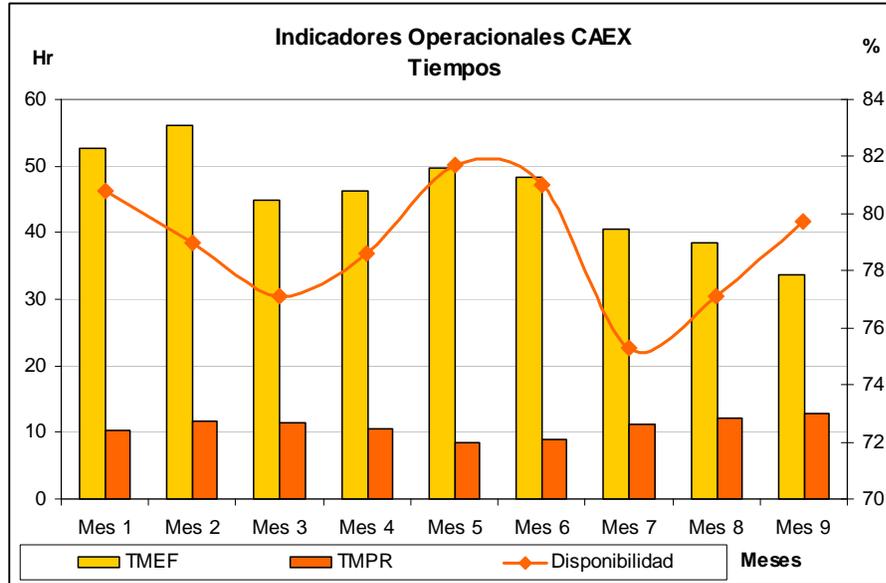


Gráfico 8-3 TMEF y TMRP para flota Transporte, Corto Plazo

El indicador referente a las fallas de los equipos mayores, camiones de extracción para este caso, muestra valores que varían sensiblemente en torno a 42 horas promedio entre fallas. Dicho indicador se correlaciona con la disponibilidad de los equipos, pues al tener mayor tiempo entre fallas los equipos tienen más tiempo disponible para operar. Aun cuando se aprecia una situación decreciente desde el mes 7 en adelante, este indicador se advierte dentro de los estándares a nivel nacional.

Los resultados anteriores son considerados de corto plazo, al tener un detalle mensual de medida y registro. Estos valores respaldan la tendencia observada en el Gráfico 5-5, donde se expone la utilización efectiva de las palas para periodos anuales. Para un mayor complemento a este punto, se presentan gráficos que permiten seguir advirtiendo las deficiencias en los últimos años.

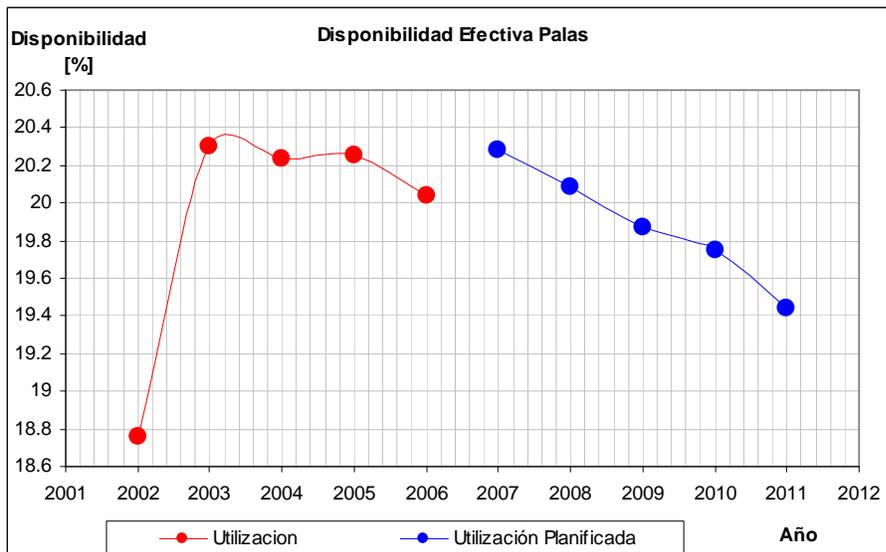


Gráfico 8-4: Disponibilidad de Camiones, reales y planificadas

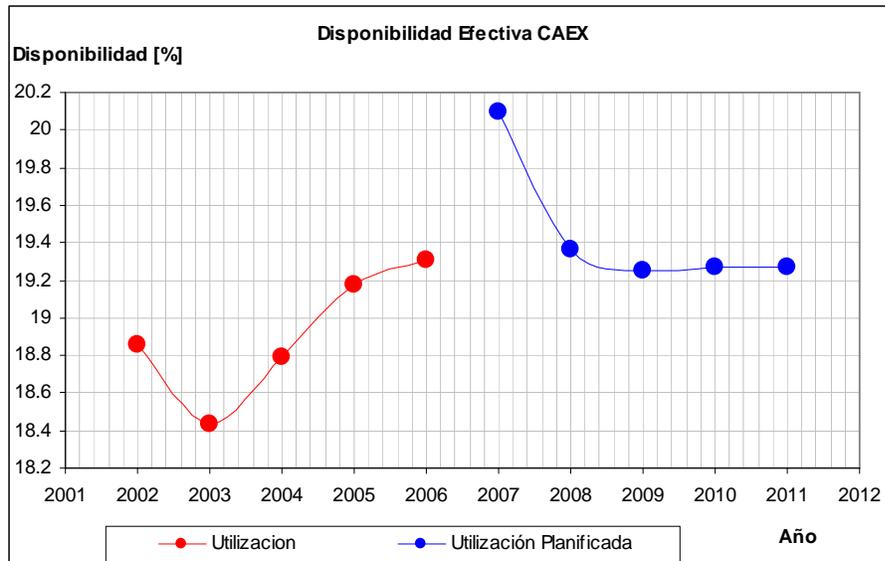


Gráfico 8-5: Disponibilidad de Palas, reales y planificadas

Nuevamente se encuentra con un desfase mayor entre los valores de las disponibilidades planificadas, y las reales logradas en la operación, destacando al mismo tiempo la gran variabilidad de los datos, donde no se advierte una tendencia clara, sino que presentan una marcada inestabilidad.

Otra arista de este análisis se presenta al revisar el número de equipos en la flota, pues los indicadores anteriores no reflejan la totalidad de la capacidad productiva de la mina. En la Tabla 8-1 se presentan los datos obtenidos desde la operación, para un periodo de 10 meses, para la flota de equipos de camiones de extracción.

Periodo	Real	Plan
Mes 1	35	38
Mes 2	35	38
Mes 3	35	38
Mes 4	35	38
Mes 5	35	38
Mes 6	36	38
Mes 7	37	38
Mes 8	37	38
Mes 9	37	38
Mes 10	37	38

Tabla 8-1: Flota de Equipos de Transporte, Real vs. Planificado

Se aprecia que la flota de camiones de extracción que está operativa es inferior a la flota estimada para explotar la mina, en consecuencia el atraso en el movimiento se explica en parte por el bajo rendimiento de la flota en general, aun cuando se han mejorado los indicadores sobre disponibilidades y utilizaciones, y por otra parte al no contar con la flota requerida según la mejor estimación de planificación, trabajando con un numero inferior de equipos, además de tener operaciones con baja flexibilidad y poca confiabilidad.

Dentro de los documentos relativos a los planes mineros, indicadores de esta naturaleza no son informados de manera oficial, sino que más bien son empleados en las cuentas de gestión operacional mensual. Este punto refuerza la idea de incorporar en las revisiones de los planes información relativa al desempeño de la flota desde una perspectiva de los indicadores expuestos en este estudio, además de evaluar las medidas reales de aumento de la confiabilidad en la flota de equipos, donde una posible medida es la discutida en el caso de estudio. La adquisición de equipos presenta una opción que puede ser cuantificada en términos de disminución de pérdidas operacionales, aplicando los conceptos de indicadores claves y causalidades, de forma simple pero respaldada técnicamente.

8.2.2 Variación de Stocks y Balance Mina – Planta

Un punto importante de controlar, pero que en la gestión habitual no se encuentra bien informado, es la diferencia encontrada entre los tonelajes informados por la mina, a través de sus departamento de operaciones, y de la planta. Dichas diferencias obedecen a varios motivos, dentro de los cuales se encuentran la creación o relleno de acopios de mineral, los cuales permiten mantener una alimentación constante a la planta, además de permitir mejorar la calidad del mineral enviado a través de la mezcla de materiales, de diferentes leyes o calidades, según la teoría de leyes de corte.

Sin embargo, al mirar los resultados obtenidos desde al año 2002, se encuentra una diferencia sostenida en el tiempo, lo que se aprecia con claridad en el Gráfico 8-6.

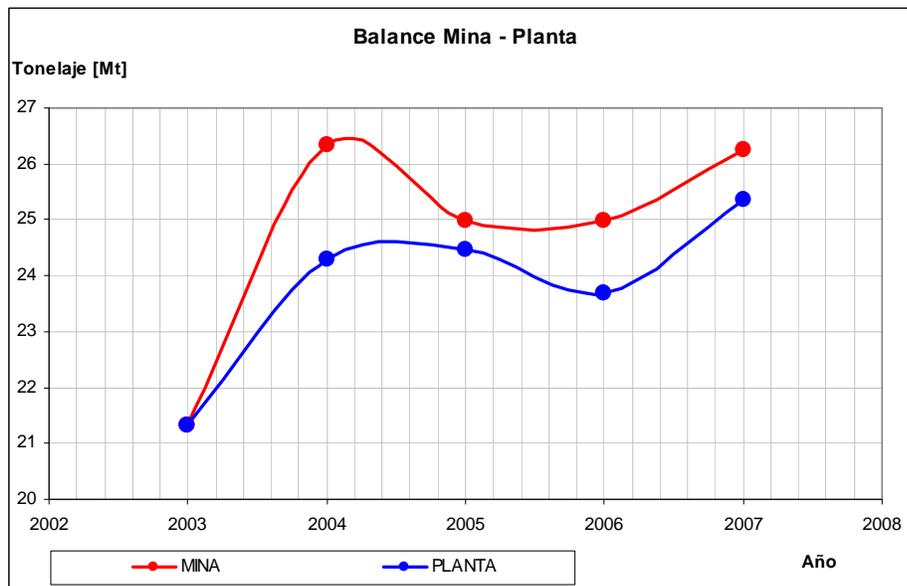


Gráfico 8-6: Mineral Mina vs. Planta

Esta diferencia acumulada en el periodo alcanza los 4.8 millones de toneladas, lo que equivale a aproximadamente a un 20% de la producción de un año normal, un quinto de los ingresos que se deja de percibir por no ser tratados en la planta, sino ser dejados en stocks para su posterior uso. En el corto plazo se advierte la misma tendencia.

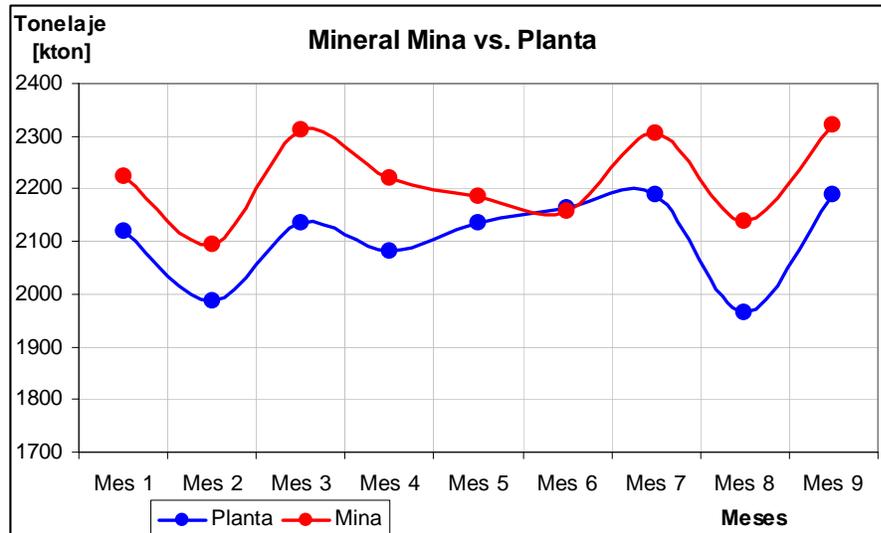


Gráfico 8-7: Mineral mina vs. Planta, corto plazo

Sin embargo, la diferencia puede ser explicada en parte por las distintas metodologías que se emplean para la medición de las cantidades graficadas. La mina utiliza como primera aproximación las capacidades de sus camiones para establecer el tonelaje movido, mientras que la planta tiene instalado en sus correas pesómetros que permiten tener un control en línea de los tonelajes.

Una reconciliación simple se basa en integrar la información proveniente de los levantamientos topográficos, lo que permite crear polígonos que al ser cubicados entregan con mayor grado de exactitud el tonelaje movido desde la mina. Con esta información, y utilizando la información proveniente de sondajes, permiten realizar el balance general de la mina y la planta, logrando explicar las diferencias aquí encontradas.

Con esto, se deja totalmente confirmado que es necesario respaldar y explicar los orígenes de las diferencias acumuladas entre las partes involucradas, permitiendo así tener un mejor control de los orígenes y destinos de los materiales movidos en la mina, asegurando alcanzar altos niveles de calidad en las operaciones.

8.2.3 Utilización de Planta de Procesos

Para finalizar con los indicadores y tendencias expuestos anteriormente, se hace mención a un indicador de bastante importancia en la línea de producción, pero que se informa de manera poco integrada, lo que provoca un bajo control de las operaciones, como es el tratamiento efectivo de los equipos de molienda. El gráfico siguiente permite iniciar el análisis posterior.

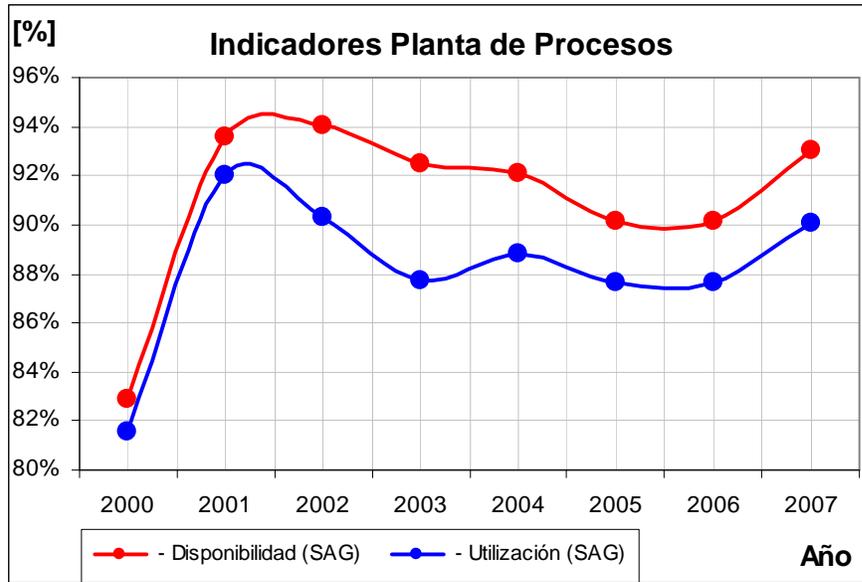


Gráfico 8-8: Disponibilidad y Utilización, Planta concentradora

La disponibilidad de las instalaciones y equipos destinados al procesamiento del mineral es crítica de ser cumplida a cabalidad, puesto que representa un costo de oportunidad elevado el tener la planta sin procesar, impactando fuertemente en los ingresos del ejercicio. En el Gráfico 8-8 se aprecia claramente la variación que ha sufrido este indicador, lo que repercute directamente en el siguiente indicador.

La utilización ha estado mayormente bajo el valor usado en la industria para el cálculo y diseño de plantas de proceso, que es del 91%. Un efecto inmediato es el tener que procesar menos mineral, por contar con menos tiempo para efectuar el proceso correctamente. Sin embargo, los datos recogidos con el fin de realizar este análisis entregan el siguiente gráfico.

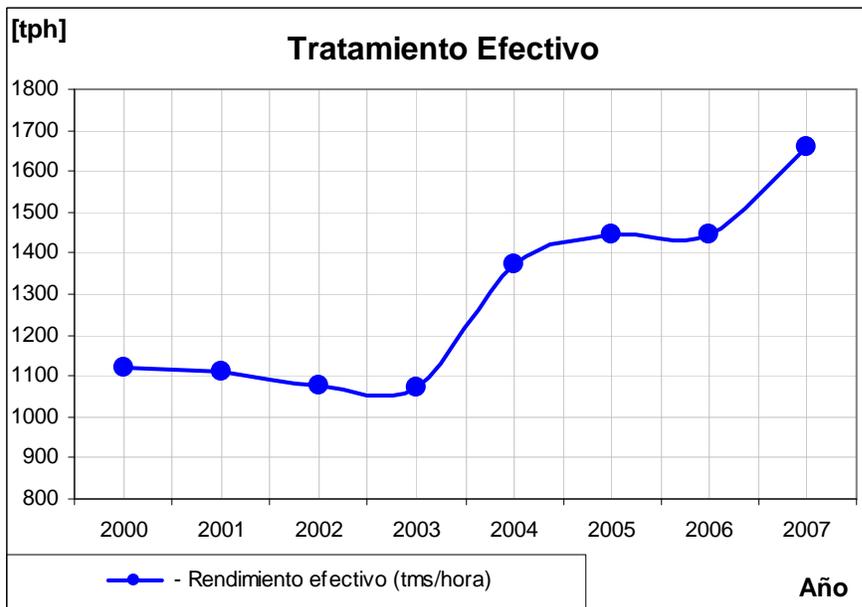


Gráfico 8-9: Tratamiento Efectivo, Planta concentradora

Paulatinamente se ha aumentado el ritmo de tratamiento de la concentradora, lo que es producto de ajustes en los planes y en las capacidades planificadas, a través de proyectos de optimizaciones de procesos. Pero al contrastar con la baja utilización de los equipos, se incurre en una situación donde la molienda está procesando un mayor tonelaje horario que el de diseño, lo que repercute directamente en obtener recuperaciones inferiores a las planificadas, al contar con un mineral de cobre menos liberado en la alimentación a las celdas de flotación.

Este último punto apoya absolutamente la importancia de considerar los tratamientos horarios de los equipos, dado que su diseño y cálculo está basado en las capacidades reales, descontando el tiempo en que el equipo no está apto para operar, por ende se debe informar y controlar los valores y parámetros de diseño, y no aquellos que de forma más general entregan información acotada sobre la operación.

8.3 Tablas respaldo Caso de Estudio

Material Cargado [Mton]	2003	2004	2005	2006	2007	TOTAL	2008	2009	2010	2011	2012
REAL	73	65	68	89	80	375	99	100			
PPTO	87	86	80	92	106	451	99	100	81	82	59
PLAN 2007					95		101	90			
PLAN 2006				92	95		95	95			
PLAN 2005			80	92	92		92	87			
PLAN 2004		86	86	86	86		73	66			
PLAN 2003	92	101	100	100	100		100	102			

Tabla 8-2: Material Cargado, valores reales vs. diferentes planes

Mineral [Mton]	2003	2004	2005	2006	2007	TOTAL	2008	2009	2010	2011	2012
REAL	21	26	25	25	26	124	25	27			
PPTO	23	26	27	28	27	133	25	27	26	26	26
PLAN 2007					26		26	26			
PLAN 2006				28	28		28	26			
PLAN 2005			27	27	26		27	27			
PLAN 2004		27	27	27	27		27	26			
PLAN 2003	25	27	27	27	27		27	26			

Tabla 8-3: Mineral Cargado, valores reales vs. diferentes planes

Lastre [Mton]	2003	2004	2005	2006	2007	TOTAL	2008	2009	2010	2011	2012
REAL	52	39	43	64	54	251	74	74			
PPTO	64	59	53	64	79	319	74	74	55	56	33
PLAN 2007					67		72	62			
PLAN 2006				64	67		67	69			
PLAN 2005			53	65	66		65	61			
PLAN 2004		59	59	59	59		47	40			
PLAN 2003	67	74	74	74	74		74	76			

Tabla 8-4: Estéril Cargado, valores reales vs. diferentes planes

Ley Cu [Mton]	2003	2004	2005	2006	2007	TOTAL	2008	2009	2010	2011	2012
REAL	1.02	1.06	1.06	1.11	0.88	1.03					
PPTO	0.97	1.03	1.03	0.95	0.86	0.97	0.72	0.87	0.87	0.81	0.83
PLAN 2007					0.79						
PLAN 2006				0.96	0.79						
PLAN 2005			1.03	0.94	0.82						
PLAN 2004		1.03	1.01	0.93	0.85						
PLAN 2003	0.96	1.00	0.95	0.77	1.01						

Tabla 8-5: Ley de Cu, valores reales vs. diferentes planes

Fino [Kton]	2003	2004	2005	2006	2007	TOTAL	2008	2009	2010	2011	2012
REAL	217	280	265	277	231	1,270					
PPTO	228	272	280	266	236	1,282	182	231	225	211	217
PLAN 2007					208						
PLAN 2006				269	221						
PLAN 2005			279	255	210						
PLAN 2004		273	268	247	225						
PLAN 2003	237	266	252	204	268						

Tabla 8-6: Cu Fino, valores reales vs. diferentes planes

Indicadores Planta	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
- Disponibilidad (SAG)	82.9%	93.6%	94.0%	92.5%	92.1%	90.1%	90.1%	93.0%
- Utilización (SAG)	81.6%	92.0%	90.3%	87.8%	88.8%	87.6%	87.6%	90.1%
- Rendimiento efectivo (tms/hora)	1120	1109	1079	1070	1373	1444	1444	1660

Tabla 8-7: Indicadores Planta de Procesos

Mineral [Mton]	2003	2004	2005	2006	2007	TOTAL
MINA	21	26	25	25	26	124
PLANTA	21	24	24	24	25	119
DIFERENCIA	0	2	1	1	1	4.8

Tabla 8-8: Balance Mina vs. Planta de procesos

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
- Disponibilidad de palas (% Base Nominal)	81.0%	79.2%	78.2%	84.6%	84.3%	84.4%	83.5%
- Utilización de palas (% Base Disponible)	56.5%	54.9%	55.6%	48.8%	49.6%	58.4%	59.1%
- Utilización efectiva palas (hr/día)	11.0	10.4	10.4	9.9	10.0	11.8	11.8
- Tiempo de espera de Camión (min/turno)	19.0	18.6	18.9	18.4	18.8	19.2	19.3
- Disponibilidad de camiones (% Base Nominal)	79.2%	77.4%	78.6%	76.8%	78.3%	79.9%	80.5%
- Utilización de camiones (% Base Disponible)	75.6%	74.9%	73.0%	77.0%	76.0%	74.6%	71.8%
- Utilización efectiva camiones (hr/día)	14.4	13.9	13.8	14.2	14.3	14.3	13.9
- Distancia promedio (Km)	4.4	4.5	4.6	5.4	6.8	5.9	5.4
- % en pendiente	54.6	56.2	53.7	55.7	56.9	50.8	44.4

Tabla 8-9: Indicadores Mina, Flota equipos Principales

8.4 *Arbol Causalidades aplicado a Caso de Estudio*

El modelo de árbol de causalidades es una potente herramienta para entender rápidamente, pero de forma respaldada, las causas principales de las fluctuaciones en los planes mineros, de manera tal de entregar las tendencias principales y los efectos relacionados entre las diversas modificaciones que se realizan en la operación a los lineamientos definidos.

Con una leyenda simple, usando los colores verdes para los indicadores cumplidos a la fecha, y el color rojo para los valores que no han sido logrados con satisfacción, se genera la siguiente figura, que permite explicar con facilidad, a un público no necesariamente experto en el tema, la evolución del negocio, en sus bases técnicas.

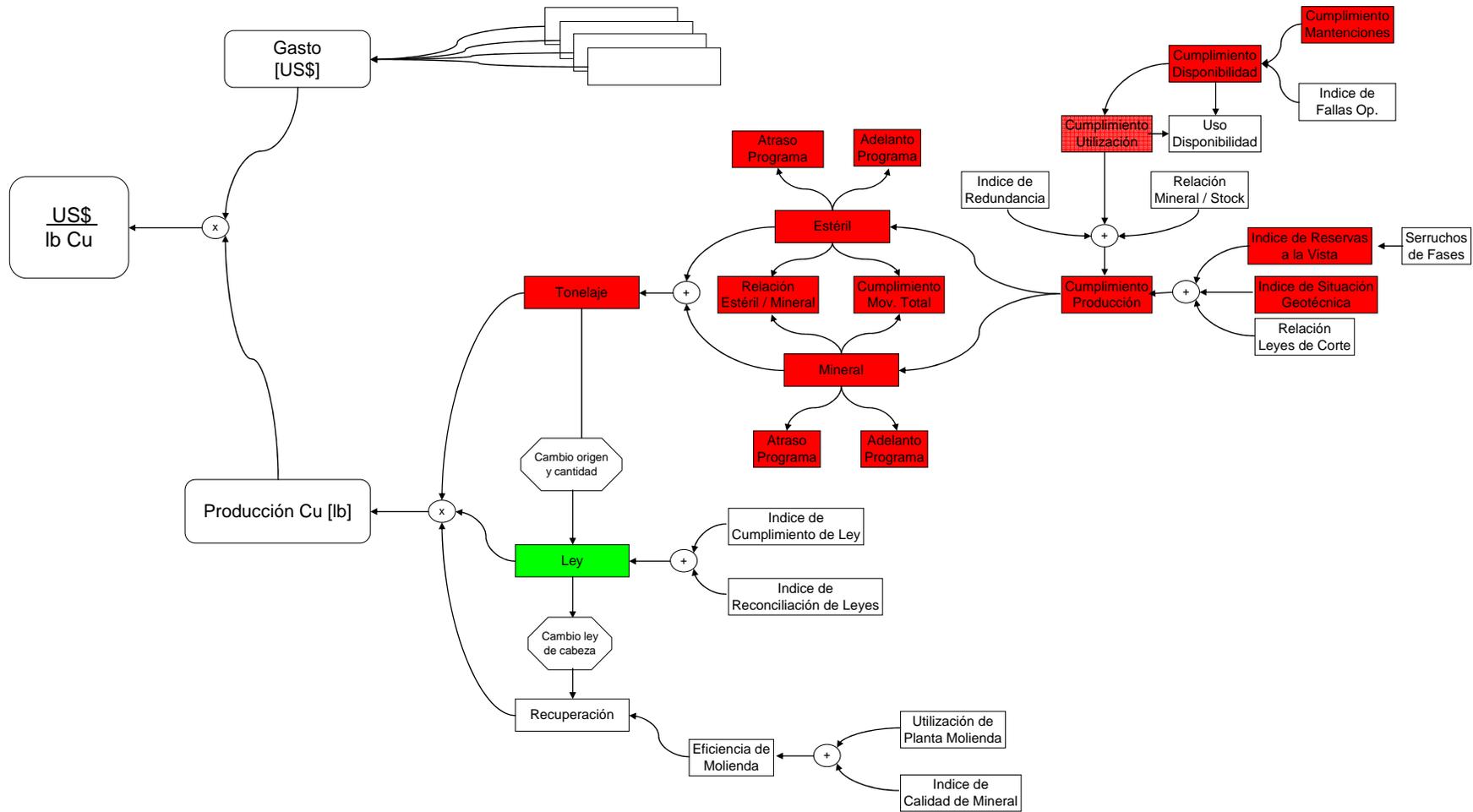


Ilustración 8-1: Esquema causal, resultado del caso de estudio

