



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

**APORTE DE LAS CAMPAÑAS DE RECONOCIMIENTO GEOLÓGICO  
AL VALOR DEL PLAN MINERO  
CODELCO-ANDINA**

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

**JUAN JOSÉ VERDUGO HITSCHFELD**

**PROFESOR GUÍA  
JUAN PABLO ZANLUNGO MATSUHIRO**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN  
IVÁN BRAGA CALDERÓN  
LUIS ZAVIEZO SCHWARTZMAN**

**SANTIAGO DE CHILE  
2016**

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

POR: Juan José Verdugo Hitschfeld

FECHA: 2016

PROFESOR GUÍA: Juan Pablo Zanlungo Matsuhira

## APORTE DE LAS CAMPAÑAS DE RECONOCIMIENTO GEOLÓGICO AL VALOR DEL PLAN MINERO

Periódicamente la Superintendencia de Geología de División Andina debe presentar a la administración proyectos de reconocimiento geológico y a la vez justificar su ejecución frente a otros proyectos, toda vez que como área experta, se tiene el convencimiento de la necesidad que complementar la información geológica y geometalúrgica en sectores donde ésta es insuficiente. Esto permite sustentar adecuadamente las reservas mineras, cubriendo aspectos críticos que impactan en forma relevante la estimación de recursos y por ende en el valor de los planes mineros.

Bajo este contexto se establece una metodología para indicar el valor que las campañas de reconocimiento geológico aportan al negocio.

Para ello se estudió la variabilidad de las estimaciones de recursos, a través de simulación condicional asociada a la cantidad de información utilizada. Se definió como zona de estudio un banco ya extraído de la Mina Rajo que permitiera contar con el valor real del negocio (ley real).

Conocida la variabilidad de tonelaje mineral y ley media para cada una de las mallas simuladas, además de valores de costos para el movimiento y tratamiento de material como de beneficio producto de la venta de concentrado, se pudo establecer la distribución del VAN por densidad de información.

Se consideró el VAN promedio para cada una de las mallas y se comparó con el VAN Real del ejercicio (malla pozos de tronadura), para obtener el Valor en Riesgo por falta de información.

Se pudo comprobar que el valor del negocio se deteriora sustancialmente cuando la densidad de información es baja, ya que el Valor en Riesgo es muy alto.

El monto de la inversión (proyecto de perforación) es sustancialmente inferior al valor del negocio que se pone en riesgo producto de la falta de información, lo cual permite concluir que invertir en perforación es un buen negocio.

Malla	VAN			
	Valor Prom KUS\$	VAN en Riesgo Real KUS\$	Costo Campaña KUS\$	Delta VAN KUS\$
Real	163,097	0		
30x30	165,703	2,606		
60x60	210,450	47,352	2,773	44,579
120x120	237,500	74,403	3,467	70,936

A mis cuatro amores...  
Daniela, Rocío, María Ignacia y Consuelo

## TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN .....	1
2.	OBJETIVOS .....	1
2.1.	Objetivo General .....	1
2.2.	Objetivos Específicos .....	1
3.	FORMULACIÓN DE UN PROYECTO DE GASTO DIFERIDO (PGD) Y SU JUSTIFICACIÓN .....	2
3.1.	Introducción.....	2
3.2.	Proyecto de Gasto Diferido (PGD) .....	3
3.3.	Estándares de Presentación .....	4
3.3.1.	Contenidos de la Propuesta .....	4
3.3.2.	Formulario para PGD .....	5
3.4.	Fundamentos de la Evaluación Técnico-Económica.....	7
4.	ESTRUCTURA DE COSTOS DE UNA CAMPAÑA DE PERFORACIÓN .....	10
4.1.	Generalidades de la Estructura de Costos.....	10
4.2.	Concepto de Estructura de Costos .....	10
4.3.	Costo.....	10
4.4.	Clasificación de los Costos .....	12
4.5.	Estructura de Costo de una Campaña de Sondajes .....	14
5.	PLAN MINERO (SUS VARIABLES) .....	21
5.1.	Introducción.....	21
5.2.	Concepto de Planificación Minera.....	21
5.3.	Proceso Estándar de Planificación Minera.....	22
5.3.1.	Modelo de Bloques.....	22
5.3.2.	Optimización de Whittle.....	23
5.3.3.	Generación de Pits Anidados.....	23
5.3.4.	Evaluación económica y Selección Pit Final .....	24
5.3.5.	Elección de Fases y Construcción de Programa de Producción.....	24
5.4.	Plan Minero División Andina – Codelco Chile .....	25
6.	VARIABILIDAD DE LA ESTIMACIÓN DE LEY DE COBRE SEGÚN MALLA DE RECONOCIMIENTO .....	36
6.1.	Introducción.....	36
6.2.	Marco Conceptual .....	36
6.2.1.	Métodos de Estimación Tradicionales.....	36
6.2.2.	Geoestadística .....	38
6.3.	Error de Estimación v/s Malla de Reconocimiento .....	39
6.3.1.	Introducción.....	39
6.3.2.	Metodología .....	40

6.3.3.	Caso de Estudio: Sector Rajo Don Luis, División Andina.....	41
7.	EVALUACIÓN ECONÓMICA PROYECTO DE EXPOLARACIÓN GEOLÓGICA.....	51
7.1.	Introducción.....	51
7.2.	Definición Evaluación Económica de Proyectos .....	51
7.3.	Principios de Evaluación Económica.....	52
7.4.	Evaluación Económica del Negocio .....	53
7.5.	Valor Estimado del Negocio según malla de reconocimiento.....	57
7.6.	Costo del Proyecto (Campaña de Perforación).....	59
8.	DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....	62
9.	BIBLIOGRAFÍA .....	65

## INDICE DE FIGURAS Y TABLAS

Figura 3.1	Matriz de Sustentabilidad de Reservas Mineras para Operaciones .....	6
Figura 3.2	Árbol de Decisión para sustentar Programa de Perforación .....	9
Figura 4.1	Esquema de Clasificación de Costos según enfoque .....	14
Figura 4.2	Esquema Distribución de Costos Campaña de Sondajes .....	20
Figura 5.1	Vista General Modelo de Bloques .....	23
Figura 5.2	Secuencias de Extracción. Peor caso (izquierda) y mejor caso (derecha).....	24
Figura 5.3	Principales Hitos Plan Sin Desarrollo Rajo DAND (a) .....	26
Figura 5.4	Principales Hitos Plan Sin Desarrollo Rajo DAND (b) .....	26
Figura 5.5	Principales Hitos Plan Sin Desarrollo Subte DAND (c) .....	27
Figura 5.6	Esquema fuentes de información geotécnica para generación de modelos.....	28
Figura 5.7	Datos estructurales obtenidos a partir de sondajes A) Escaneo B) Fallas en mapeo geotécnico.....	28
Figura 5.8	Ubicación General Hoya Hidrográfica Río Blanco y Yacimiento Río Blanco .....	31
Figura 5.9	Ejemplo de Matriz de Sustentabilidad PSD 2015 DAND .....	32
Figura 5.10	Proceso de Planificación Minera División Andina.....	34
Figura 5.11	Etapas Proceso Planificación Minera División Andina .....	35
Figura 6.1	Número de simulaciones por tipo de malla .....	41
Figura 6.2	Vista Isométrica de la Base de Datos de Pozos.....	43
Figura 6.3	Generación de mallas de perforación menos densa a partir de Pozos .....	44
Figura 6.4	Asignación de Atributo litológico .....	45
Figura 6.5	Dirección preferencial de continuidad de leyes .....	46

Figura 6.6 Ejemplo de 4 simulaciones para un mismo set de datos (malla 120).....	47
Figura 6.7 Comparación de “UNA” realización por malla propuesta .....	48
Figura 6.8 Distribución ley media de Cobre por malla.....	48
Figura 6.9 Distribución Tonelaje Mineral por malla .....	50
Figura 7.1 Distribución VAN del Plan por malla.....	57
Figura 7.2 Costo Proyecto v/s malla inicial y final .....	60
Tabla 3.1 Tipo de Presupuesto según Obra.....	4
Tabla 3.2 Ejemplo Presentación Inversión por años .....	6
Tabla 4.1 Itemizado Campañas de Sondaje (A).....	16
Tabla 4.2 Itemizado Campaña de Sondajes (B).....	17
Tabla 4.3 Costo Total Campaña.....	18
Tabla 4.4 Costo Perforación por metro .....	19
Tabla 5.1 Criterios de Aceptabilidad Diseño de Taludes DAND (ref: AKL, 2012).....	29
Tabla 6.1 Tipos Litológicos, Código y Agrupación de Roca DAND .....	42
Tabla 6.2 Ley media y variabilidad CuT según malla de perforación .....	49
Tabla 6.3 Ley media y variabilidad Tonelaje Mineral según malla de perforación.....	50
Tabla 7.1 Costo Unitario Movimiento de Material.....	54
Tabla 7.2 Costo Unitario Tratamiento de Mineral .....	55
Tabla 7.3 Costo movimiento y tratamiento .....	56
Tabla 7.4 Beneficios de Producción .....	56
Tabla 7.5 Parámetros Comerciales .....	57
Tabla 7.6 VAN en Riesgo Teórico y Real por malla .....	58
Tabla 7.7 Costo de la Campaña de Perforación según grado de reconocimiento deseado.....	59
Tabla 7.8 VAN del Proyecto v/s densidad perforación .....	61

## **1. INTRODUCCIÓN**

El plan minero referente de División Andina considera la explotación de reservas ubicadas principalmente en el sector Don Luis. El desarrollo de proyectos de reconocimiento geológico ha permitido complementar el conocimiento de los recursos comprometidos, mejorando la categorización de recursos y reservas mineras.

Sin embargo, periódicamente es necesario presentar a la administración nuevos proyectos de reconocimiento y a la vez justificar su ejecución frente a otros proyectos, toda vez que como área experta, se tiene el convencimiento de la necesidad de complementar la información geológica y geometalúrgica en sectores donde ésta es insuficiente. Para sustentar adecuadamente las reservas mineras se requiere mejorar el reconocimiento cubriendo los aspectos críticos que, con la experiencia adquirida, impactan la precisión de la estimación de recursos y por ende en los planes mineros.

Es bajo este contexto que se propone establecer una metodología para estimar el valor que las campañas de reconocimiento geológico aportan al negocio. Dado que los reconocimientos se ubican al inicio de la cadena de valor, una desviación en la estimación de los parámetros geológicos puede producir un fuerte impacto en al Plan Minero.

Normas internas de Codelco, como la NCC-31, tienen como objetivo establecer una pauta en el grado reconocimiento de los recursos frente a futuras incorporación de recursos a planes mineros, pero no cuantifica el riesgo que alguna desviación pueda generar.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo General**

Definir una metodología para cuantificar el aporte que los reconocimientos geológicos incorporan al negocio minero, de manera que su beneficio e impacto sea medible y así poder cuantificar su impacto frente a otro tipo de proyectos. De este modo, se podrá facilitar la aprobación de recursos económicos para su ejecución.

### **2.2. Objetivos Específicos**

Para lograr proponer una metodología que permita cuantificar el beneficio de los reconocimientos geológicos (campañas de sondajes) se debe abordar los siguientes objetivos específicos:

- Describir la forma en que actualmente se presentan los Proyectos Gasto Diferido (PGD) de Reconocimiento Geológico.
- Definir los costos de una campaña de perforación.
- Identificar cuáles son las variables geológicas que impactan el Plan Minero.

- Estimar la variabilidad de estimación de las principales variables geológicas frente a diferentes mallas de reconocimiento (densidad de información)
- Estimar el Valor en Riesgo del Plan Minero respecto de la variabilidad de la información geológica.

### **3. FORMULACIÓN DE UN PROYECTO DE GASTO DIFERIDO (PGD) Y SU JUSTIFICACIÓN**

#### **3.1. Introducción**

Durante la explotación de faenas mineras, se realizan actividades cuyos gastos se imputan al presupuesto de “operaciones” pero que, producto de su naturaleza, pueden ser diferidos contablemente en conformidad al principio general de relacionar los beneficios con sus costos asociados en el respectivo período contable.

Estas actividades pueden ser agrupadas bajo el nombre de “Obras Mineras con Tratamiento de Gasto Diferido”. Debido al volumen de recursos humanos y financieros utilizados para lograr sus objetivos y porque sus gastos se activan, lo que implica considerarlos como un tipo de inversiones, Codelco ha establecido que ellas deben administrarse como proyectos y que, por tanto, le son aplicables todos los principios, procedimientos e instrucciones definidos en el Sistema de Inversión de Capital, recibiendo la denominación de Proyectos de Gasto Diferido (PGD) definidas en el IFC n° 83 y 116 (3).

El objetivo fundamental del IFC n°83 es establecer normas específicas para el control presupuestario, contable y tributario de los gastos correspondientes a las actividades de exploración geológica, delineación de yacimientos y desarrollo de minas de la Corporación.

Las actividades que se consideran como Proyecto de Gasto Diferido son:

#### **Exploración Geológica**

Comprende aquellas actividades geológicas orientadas a la búsqueda e identificación de nuevos yacimientos mineros o zonas mineralizadas. Incluye la Exploración Básica Generativa destinada a identificar zonas de interés geológico; la Exploración Básica de Seguimiento, que tiene por objeto encontrar cuerpos mineralizados, y la Exploración Avanzada, que tiene por finalidad determinar el tamaño y contenidos del yacimiento.

#### **Delineación de Yacimientos**

Comprende las actividades geológicas que siguen a la etapa de Exploración, y que están orientadas a definir, medir y mejorar la calidad de la información sobre los recursos mineros y las características generales del yacimiento. Ellas se desarrollan durante las etapas preinversionales, inversional y de explotación del proyecto minero.



## **Gastos de Desarrollo de Minas**

En general, los gastos relacionados con labores de desarrollo tienen, de acuerdo a las disposiciones tributarias vigentes, el carácter de gastos activables, sujetos a proceso de amortización, en proporción al mineral que se extraiga del yacimiento, nivel o sector de la mina en explotación, con respecto a la cantidad del mineral contenido en la unidad respectiva.


### **3.2. Proyecto de Gasto Diferido (PGD)**

De acuerdo a lo indicado en los párrafos anteriores existen gastos de obras mineras cuya imputación presupuestaria es al presupuesto de caja de operaciones, sin embargo, algunos de ellos pueden generar gastos que, en base a los principios contables antes presentados, corresponde activar (deben ser diferidos contablemente)

Para clasificar obras mineras como PGD, éstas deben cumplir las siguientes condiciones:

- Generación fundamentada de beneficios futuros.
- Cumplimiento de normativa financiero-contable que rige la posibilidad de contabilizar gastos en cuentas de activo.
- Respaldo en Plan de Negocios y Desarrollo (PND) y Plan Minero.
- El plan minero de las obras respectivas debe considerar un horizonte - contado en años - superior a 3.

Lo anterior deberá contar con la aprobación de la Gerencia de Recursos Mineros, de las respectivas Gerencias de Recursos Mineros y Desarrollo Divisionales y la Gerencia de Evaluación de Inversiones y Control de Proyectos, e informarse a las Direcciones de Contraloría correspondientes.

La tabla n°3.1 muestra las obras mineras que pueden ser tratadas como Proyecto de Gasto Diferido (PGD) 

OBRA		PRESUPUESTO OPERACIÓN	PRESUPUESTO INVERSIÓN
Exploración Geológica (Nuevos Yacimientos)		N/A	X
Delineación Yacimientos	Nuevos Yacimientos	N/A	X
	Nuevas Áreas/Zonas Yacimientos Existentes	X (infraestructura existente)	X (infraestructura nueva)
	Áreas / Niveles en Explotación	X	N/A
Desarrollo de Minas	Pre-operación Mina	N/A	X
	Pre-operación Niveles o Sectores	X	X (P* > 5)
		<table border="1"> <tr> <td>P* &lt;= 1</td> </tr> <tr> <td>1 &lt; P* &lt;=5</td> </tr> </table>	
P* <= 1			
1 < P* <=5			
Gastos Extraordinarios	X	X	

P\* = período de explotación (en años)

N/A = No aplica

Tabla 3.1 Tipo de Presupuesto según Obra

### 3.3. Estándares de Presentación

La presentación de Proyectos de Gasto Diferido se rige por un formulario que recoge todos los aspectos relevantes del proyecto, los cuales se detallarán a continuación. Además, deben ser incluidos una serie de documentos (anexos) que forman parte de la normativa de presentación de los proyectos (4), entregando las pautas de contenido, calidad y precisión de los antecedentes necesarios para respaldar la solicitud de fondos que requieren los proyectos.

#### 3.3.1. Contenidos de la Propuesta

Los contenidos de la propuesta deben estar contenidos en el “Formulario PGD” que, a su vez, debe ser complementado con una serie de “anexos”, los cuales se detallan a continuación:

#### ANEXOS

Anexo 0 : MINIMOS ESTANDARES SISTEMA INVERSIÓN DE CAPITAL

Anexo 1 : INFORME JUSTIFICACION

Anexo 2 : ANALISIS DE RIESGOS NCC24

Anexo 3 : ANALISIS DE PERTINENCIA

Anexo 4 : EMPLEABILIDAD

- Anexo 5 : NCC30 MANTENIBILIDAD Y CONFIABILIDAD (No aplica)
- Anexo 6 : ACTA RECEPCION DE OBRAS (No aplica)
- Anexo 7 : FICHA DE ACTIVOS FIJOS (No aplica)
- Anexo 8 : NCC32 EFICIENCIA ENERGETICA
- Anexo 9 : IFC 83

### **3.3.2. Formulario para PGD**

El formulario PGD recoge todos los aspectos que deben ser incluidos en la propuesta.

A continuación de detalla cada uno de los puntos:

**A.- Nombre del Proyecto:**

**B.- Número de Código:**

**C.- División:**

**D.- Localización:**

**E.- Descripción y Justificación**

Normalmente estos proyectos se justifican relevando el hecho que el grado de reconocimiento geológico y geometalúrgico es insuficiente para sustentar adecuadamente las reservas de algún período de producción, de modo que se requiere mejorar el reconocimiento, lo que habitualmente se traduce en hacer más densa una malla y así cubrir los aspectos críticos que, con la experiencia adquirida, se sabe pueden impactar la estimación de recursos.

Es importante mencionar que la nueva información modifica incluso las reservas probadas, por lo que no pueden considerarse como una medida infalible del riesgo o certeza de la estimación del cobre.

Contar con información insuficiente, se traduce en “jugar” con la incertidumbre asociada a la estimación de recursos lo cual se puede traducir en el incumplimiento del plan minero en aspectos esenciales, como el cobre fino prometido, contenido de molibdeno, presencia de arsénico, comportamiento metalúrgico, geotécnico o hidrogeológico, todos, aspectos que en definitiva ponen en riesgo el negocio. El reconocimiento propuesto tiene el objetivo de mejorar todos aquellos aspectos apuntando a cumplir con la NCC-31, mediante el incremento de la densidad de información realizando las actividades asociadas que permitan contar con información geotécnica, geometalúrgica para sustentar adecuadamente el plan minero.

El cuadro siguiente muestra la matriz de sustentabilidad de reservas mineras asociadas a la Norma NCC-31 (5) y que se refiere al grado de reconocimiento que deben tener las reservas en un horizonte de tiempo.

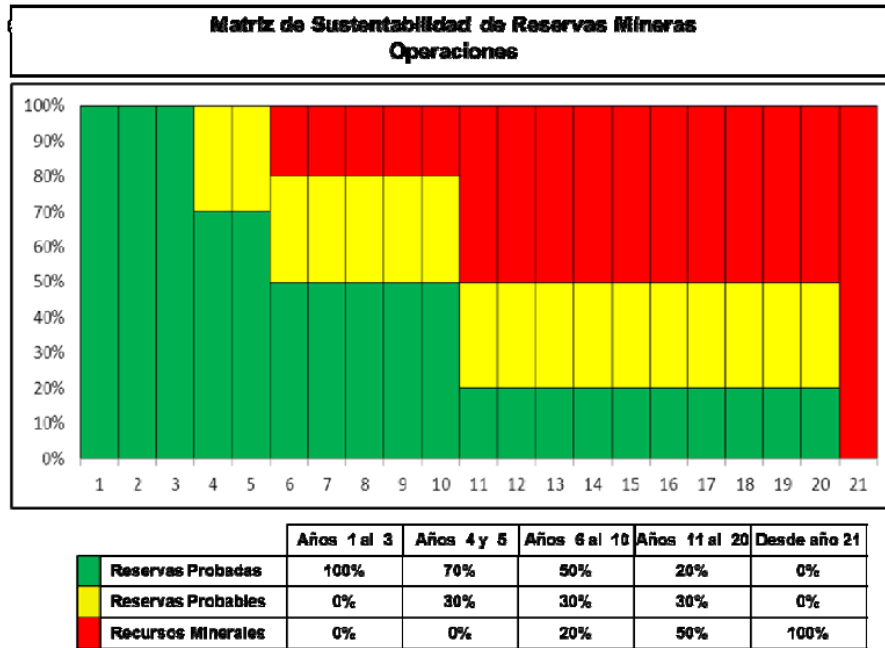


Figura 3.1 Matriz de Sustentabilidad de Reservas Mineras para Operaciones

## F.- Inversión

	MONEDA NACIONAL (US\$ miles)	MONEDA EXTRANJERA (US\$ miles)	TOTAL (US\$ miles)
ANTERIOR A 2013	15.179		15.179
2013	9.811		9.811
2014	5.919		5.919
2015	767		767
2016			0
Posterior a 2016			
<b>TOTAL ESTIMADA (ACTUAL) (A)</b>	<b>31.676</b>		<b>31.676</b>
<b>TOTAL AUTORIZADA ACTUALIZADA (B)</b>	<b>24.871</b>		<b>24.871</b>
% VARIACION ((A/B)-1)*100			<b>27%</b>

Tabla 3.2 Ejemplo Presentación Inversión por años

## **G.- Resultado de la Evaluación**

Según Normas COCHILCO Tasa de Descuento 10%

Según CODELCO Tasa de Descuento 8%

## **H.- Plazos y Programación de la Inversión**

- Plazos
- Duración
- Carta Gantt

## **I.- Análisis Técnico Económico**

Análisis de Alternativas

- A0: Escenario Base (Alternativa No hacer Nada)
- A1: Escenario Base Optimizado

## **J.- Conclusiones y Recomendaciones**

### **3.4. Fundamentos de la Evaluación Técnico-Económica**

El principal fundamento que avala la realización de una campaña de reconocimiento geológico responde a lo instruido en el estándar Corporativo a través de la Norma NCC-31 cuyo objetivo es establecer la metodología para categorizar “recursos” y su posterior categorización en “reservas mineras” con miras a:

- Calificar cualitativamente esta componente del riesgo del negocio minero a través de la Matriz de Sustentabilidad.
- Priorizar estudios de ingeniería y reconocimiento geológico.
- Contar con una herramienta de gestión estándar a nivel corporativo, que permita categorizar y reportar los “recursos” y las “reservas mineras” en forma similar a la nomenclatura internacional existente sobre esta materia.
- Actualizar conceptos y prácticas de categorización de recursos incorporando aspectos relevantes, tales como la calidad de las muestras, modelo geológico y del protocolo de estimación.
- Actualizar conceptos y prácticas de categorización de reservas mineras incorporando otros aspectos relevantes del negocio, tales como el conocimiento

geotécnico, hidrogeológico, geometalurgia, minería, procesos y del entorno del negocio (responsabilidad social, ambiental, legal, etc.).

En este contexto, tradicionalmente se presenta un análisis diferencial entre los escenarios **Con y Sin Proyecto** a partir de los resultados reales de las diferencias históricas que han sido detectadas al actualizar el modelo de estimación con la nueva información lograda durante la campaña.

En el caso particular de la actualización del modelo de recursos del año 2010, la Superintendencia de Planificación Minero Metalúrgica informó una pérdida de los beneficios equivalente a 30.653 tmf Cobre y 576 ton de Molibdeno para el Plan Trienal 2010-2012.

Esta pérdida de 30.653 tmf de fino en el trienio corresponde a un 4,1% de pérdida respecto del beneficio esperado, lo que extrapolado al quinquenio 2015-2019 representa una potencial pérdida de 41.714 tmf de cobre que valorizada a los últimos parámetros y orientaciones comerciales emitidos el mencionado año se tradujo en una pérdida de ingresos probable (escenario medio) de 100,6 MUS\$.

Para calcular el valor del “beneficio-pérdida” se utiliza la Base de Evaluación Económica para PGD, que define los parámetros a utilizar en la evaluación.

Los parámetros principales son:

- Producción Cobre Fino (tmf)
- Gasto Tc (Codelco-Cochilco) (KUS\$)
- Precio del Cobre (Codelco-Cochilco) US¢/lb
- Descuentos (Codelco-Cochilco) US¢/lb

A partir de lo anterior y considerando de que la probabilidad de no lograr los beneficios esperados aumenta de un 50% sin proyecto respecto del 10% con proyecto, se calcula el diferencial de VAC (8%) descontado obteniendo el VAN final del proyecto.

A modo de ejemplo, a continuación se presenta un esquema tipo “árbol de decisión” cuya utilidad radica en que, de forma concreta, se presenta los posibles resultados asociados a una decisión. De esta manera se puede apreciar gráficamente cuáles son las alternativas posibles y sus resultados. La opción que evita una pérdida o produce un beneficio extra tiene mayor valor.

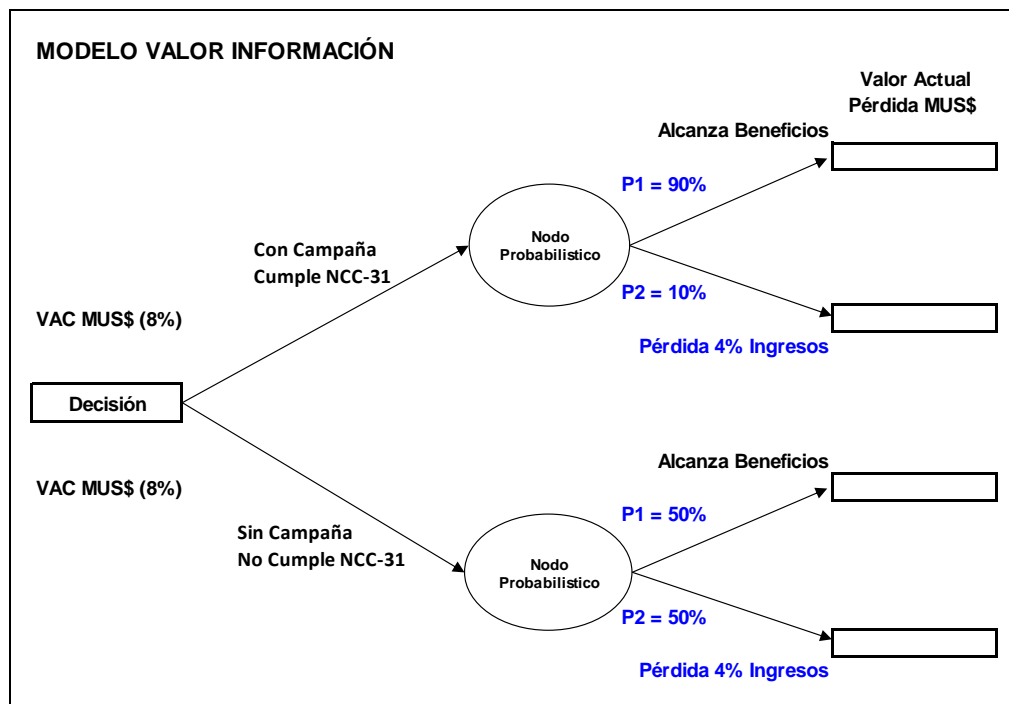


Figura 3.2 Árbol de Decisión para sustentar Programa de Perforación

Para estimar el valor de la campaña se utilizan 2 supuestos:

- Estimación de porcentaje de pérdida (históricamente 4,1% anual)
- La probabilidad de NO alcanzar los beneficios (50% sin Proyecto y 10% con Proyecto)

Son estos dos supuestos que serán abordados a través de la simulación de escenarios (con poca hasta mucha información de sondajes) para estimar posibles porcentajes de pérdida del Plan asociado a la probabilidad de ocurrencia y así establecer el beneficio/pérdida que una campaña de reconocimiento puede generar.

## **4. ESTRUCTURA DE COSTOS DE UNA CAMPAÑA DE PERFORACIÓN**

### **4.1. Generalidades de la Estructura de Costos**

Debido a los cambios tecnológicos, las empresas están obligadas a encontrar e implementar nuevas herramientas para manejar los cambios y la complejidad de los diferentes escenarios, ya que el éxito y subsistencia de la organización dependerá fundamentalmente de la estructura que se haga del proceso de explotación.

Una empresa, actividad o proyecto necesita contar con una estructura que le permita clasificar, conocer e identificar los costos en que se incurre durante el proceso.

Los conceptos fundamentales de la acumulación de costos se aplican a todos los tipos de organizaciones, sean estas manufactureras, comerciales, de servicios, etc. Es por ello que cada entidad diseña su sistema de la manera más conveniente para sus propias directrices y necesidades.

### **4.2. Concepto de Estructura de Costos**

Se define como el conjunto de las proporciones que con respecto al costo total de la actividad del sector o de la empresa, representa cada tipo de costo.

También se define como el conjunto de métodos, procedimientos y técnicas que servirán para identificar, clasificar y definir los costos en que se interviene al realizar una actividad (interpretación propia)

### **Utilidad de Establecer con una Estructura de Costos**

Establecer una estructura de costos es muy útil, fundamentalmente para dos propósitos:

- Comparar el Sector o la Empresa con otros Sectores o Empresas, para sacar conclusiones respecto del propio.
- Conocer el impacto sobre el costo total, del incremento del costo de uno de sus elementos

### **4.3. Costo**

#### **Concepto de Costos**

Se define Costo como el valor monetario de los consumos de factores que se requiere para el ejercicio de una actividad económica destinada a la producción de un bien o servicio.

“Es el valor monetario de los consumos de factores que supone el ejercicio de una actividad económica destinada a la producción de un bien, servicio o actividad”



“Cantidad de dinero necesaria para entregar un producto y/o brindar un servicio al cliente”

El costo de un producto está formado por el precio de la materia prima, el precio de la mano de obra directa empleada en su producción, el precio de la mano de obra indirecta empleada para el funcionamiento de la empresa y el costo de amortización de la maquinaria y de los edificios.

Dicho en otras palabras, el costo es el esfuerzo económico que se debe realizar para lograr un objetivo operativo (el pago de salarios, la compra de materiales, la fabricación de un producto, la obtención de fondos para la financiación, la administración de la empresa, etc.)

### **Importancia de Conocer los Costos**

En toda organización diariamente se toman decisiones, unas son rutinarias pero otras no la son. Intuitivamente resulta obvio que la calidad de las decisiones de cualquier empresa, pequeña o grande, estará directamente relacionada con el tipo de información disponible, por lo tanto, si se desea que una organización se desarrolle normalmente, se debe contar con un buen sistema de información.

“a mejor calidad de la información, se asegura una mejor decisión” o “garbage in, garbage out”

Así se podrá ayudar en la toma de decisiones de carácter administrativo y financiero tales como:

- Fabricar o comparar un artículo
- Expandir o no la Producción y Ventas
- Fijar Precio a los productos
- Sirve como base para calcular el precio adecuado de los productos.
- Conocer qué bienes o servicios producen utilidades o pérdidas, y su magnitud.
- Se utiliza para controlar los costos reales en comparación con los costos predeterminados; es decir, la comparación entre el costo presupuestado con el costo realmente generado.
- Permite comparar los costos entre:
  - Diferentes departamentos de la empresa
  - Diferentes empresas
  - Diferentes períodos
- Localiza puntos débiles o secciones deficitarias de una empresa.
- Identifica la sección de la empresa productiva en que urge racionalizar.
- Controla el impacto de las medidas de racionalización realizadas.
- Guía las decisiones de inversión.
- Elegir entre proveedores alternativos.

- Negociar con los clientes el precio, las características del producto, la calidad, las condiciones de entrega y las funciones a satisfacer.

#### 4.4. Clasificación de los Costos

Los costos tienen diferentes clasificaciones fundamentalmente basadas en el enfoque y la utilización que se les dé.

Algunas de las clasificaciones más utilizadas son:

Según el área donde se consume:

- **Costos de Producción:** son los costos que se generan en el proceso de transformación de la materia prima en productos terminados: se clasifican en Material Directo; Mano de Obra, etc.
- **Costos de Distribución:** Son los que se generan por transportar el producto o servicio hasta el cliente
- **Costos de Administración:** son los generados en las áreas administrativas de la empresa. Se les llama comúnmente “Gastos”
- **Costos de Financiamiento:** son los que se generan por el uso de recursos de capital

Según su identificación: Según su identificación respecto de alguna unidad de costeo

- **Directos:** son los costos que pueden identificarse fácilmente con el producto, servicio, proceso o departamento. Son costos directos el Material Directo y la Mano de Obra Directa.
- **Indirectos:** su monto global se conoce para toda la empresa o para un conjunto de productos. Es difícil asociarlos con un producto o servicio específico

Según el momento en el que se calcula: De acuerdo con el tiempo en que fueron calculados

- **Históricos:** son costos pasados, que se generaron en un periodo anterior.
- **Predeterminados:** son costos que se calculan con base en métodos estadísticos y que se utilizan para elaborar presupuestos.

Según el momento en el que se reflejan en los resultados:

- **Costos del periodo:** son los costos que se identifican con periodos de tiempo y no con el producto, se deben asociar con los ingresos en el periodo en el que se generó el costo.

- **Costos del producto:** este tipo de costo solo se asocia con el ingreso cuando han contribuido a generarlos en forma directa, es el costo de la mercancía vendida.

De acuerdo con el control que se tenga sobre su consumo (grado de control)

- **Costos Controlables:** Son aquellos costos sobre los cuales la dirección de la organización (ya sea supervisores, subgerentes, gerentes, etc.) tiene autoridad para que se generen o no. Ejemplo: el porcentaje de aumento en los salarios de los empleados.
- **Costos no Controlables:** son aquellos costos sobre los cuales no se tiene autoridad para su control. Ejemplo el valor del arrendamiento a pagar por un inmueble.

De acuerdo con su importancia en la toma de decisiones organizacionales

- **Costos Relevantes:** son costos relevantes aquellos que se modifican al tomar una u otra decisión. En ocasiones coinciden con los costos variables.
- **Costos no Relevantes:** son aquellos costos que independiente de la decisión que se tome en la empresa permanecerán constantes. En ocasiones coinciden con los costos fijos.

De acuerdo con el tipo de desembolso en el que se ha incurrido

- **Costos desembolsables:** son aquellos que generan una salida real de efectivo.
- **Costos de oportunidad:** es el costo que se genera al tomar una determinación que conlleva la renuncia de otra alternativa.

De acuerdo con su comportamiento: Con relación al volumen de actividad: es decir, su variabilidad

- **Costos Fijos:** son aquellos costos que permanecen constantes durante un periodo de tiempo determinado, sin importar el volumen de producción. Los costos fijos se consideran como tal en su monto global, pero unitariamente se consideran variables.
- **Costos Variables:** son aquellos que se modifican de acuerdo con el volumen de producción, es decir, si no hay producción no hay costos variables y si se producen muchas unidades el costo variable es alto. Unitariamente el costo variable se considera Fijo, mientras que en forma total se considera variable.
- **Costo semi-variable:** son aquellos costos que se componen de una parte fija y una parte variable que se modifica de acuerdo con el volumen de producción. Hay dos tipos de costos semivariabes:
  - **Mixtos:** son los costos que tienen un componente fijo básico y a partir de éste comienzan a incrementar.

- **Escalonados:** son aquellos costos que permanecen constantes hasta cierto punto, luego crecen hasta un nivel determinado y así sucesivamente.

La separación de costos en fijos y variables es una de las más utilizadas en la contabilidad de costos y en la contabilidad administrativa para la toma de decisiones. Algunas de las ventajas de separar los costos en fijos y variables son:

- Facilita el análisis de las variaciones
- Permite calcular puntos de equilibrio
- Facilita el diseño de presupuestos
- Permite utilizar el costeo directo
- Garantiza mayor control de los costos

FUNCIÓN	TIEMPO	COMPORTAMIENTO	RELACIÓN
Producción	Históricos, pasados o reales (contabilidad)	Variables	Directos
Administración		Fijos (de estructura)	
Comercial	Proyectados o presupuestados Estimados Estándares o Normales	Semifijos o semivARIABLES	Indirectos
Financiera			

Figura 4.1 Esquema de Clasificación de Costos según enfoque

#### 4.5. Estructura de Costo de una Campaña de Sondajes

La realización de una campaña de sondajes tiene asociada una serie de actividades de adquisición de información que conforman el proyecto tales como la caracterización geológica, geometalúrgica y geotécnica. Cada una de estas disciplinas tiene como objetivo, a través de la captura de información, caracterizar o estimar adecuadamente los parámetros del macizo rocoso que será explotado.

La caracterización geológica consiste en la captura de información geológica, física y de leyes.

La geometalurgia considera la toma de muestras, obtención de información mineralógica de detalle, realización de pruebas metalúrgicas para recuperación de cobre, dureza para molienda de bolas y generación de aguas ácidas y confección de los modelos geometalúrgicos respectivos.

Las actividades geotécnicas consisten en capturar información geotécnica y estructural a partir del escaneo de los pozos de sondajes y de los testigos de sondajes, toma de muestras para ensayos geomecánicos y realización de ensayos de laboratorio, ensayos de permeabilidad, control de niveles y actualizaciones de los modelos estructural y geotécnico.

Los tipos de contratos más frecuentes para el ítem “perforación” son:

- **Precios Unitarios:** se establece precios unitarios por unidad de sondeo (ángulo, tipo de material, profundidad, diámetro, técnica de perforación, etc)
- **Suma Alzada:** Se fija el precio global para la realización de la perforación
- **Administración:** en este caso se definen las diferentes actividades con distintas tarifas que corresponden al tiempo empleado según cada una de ellas.

En las minas en explotación, caso particular para el desarrollo de esta propuesta, los contratos de perforación se realizan por precio unitario, según tablas específicas por ítem.

ITEM	DESIGNACION	UNIDAD OBRA CONTRATADA
1.-	<b>PARTIDAS BASICAS SONDAJES DIAMANTINA</b>	
1.1	<b>Sondajes Superficie</b>	
1.1.1	<b>Botadero Ángulo -45° a -90°</b>	
1.1.1.1	0 - 60 HQ	m
1.1.1.2	61 - 120 HQ	m
1.1.1.3	121 - 180 HQ	m
1.1.2	<b>Sobrecarga Ángulo -45° a -90°</b>	
1.1.2.1	0 - 60 HQ	m
1.1.2.2	61 - 120 HQ	m
1.1.2.3	121 - 180 HQ	m
1.1.3	<b>Roca Ángulo -45° a -90°</b>	
1.1.3.1	0 - 300 HQ	m
1.1.3.2	301 - 600 HQ	m
1.1.3.3	0 - 300 NQ	m
1.1.3.4	301 - 600 NQ	m
1.1.3.5	601 - 900 NQ	m
1.1.3.6	901 - 1.200 NQ	m
1.1.3.7	1.200 - 1.500 NQ	m
1.2	<b>Sondajes Subterráneos</b>	
1.2.1	<b>Ángulo +1° a +45°</b>	
1.2.1.1	0 - 300 HQ	m
1.2.1.2	0 - 300 NQ	m
1.2.1.3	301 - 600 NQ	m
1.2.2	<b>Ángulo +45,1° a +90°</b>	
1.2.2.1	0 - 300 HQ	m
1.2.2.2	0 - 300 NQ	m
1.2.2.3	301 - 600 NQ	m
1.2.3	<b>Ángulo 0° a -90°</b>	
1.2.3.1	0 - 300 HQ	m
1.2.3.2	301 - 600 HQ	m
1.2.3.3	0 - 300 NQ	m
1.2.3.4	301 - 600 NQ	m
1.2.3.5	601 - 900 NQ	m
1.2.3.6	901 - 1200 NQ	m
1.2.3.7	1201-1500 NQ	m
2	<b>PARTIDAS BASICAS SONDAJES AIRE REV.</b>	
2.1	<b>Botadero Angulo -60° a -90°</b>	
2.1.1	0 - 25	m
2.1.2	25,1 - 50	m
2.1.3	50,1 - 75	m
2.2	<b>Sobrecarga Angulo -60° a -90°</b>	
2.2.1	0 - 25	m
2.2.2	25,1 - 50	m
2.2.3	50,1 - 75	m

**Tabla 4.1 Itemizado Campañas de Sondaje (A)**

ITEM	DESIGNACION	OBRA CONTRATADA
<b>2.3</b>	<b>Roca Ángulo -60° a -90°</b>	
2.3.1	0 - 100	m
2.3.2	101 - 200	m
2.3.3	201 - 300	m
<b>2.4</b>	<b>Incremento a cada metro por presencia de agua sub.</b>	
2.4.1	60 - 200	m
<b>2.5</b>	<b>Tuberías</b>	
2.5.1	Tubo Mannesman 6" d.int.con hilo	m
2.5.2	PVC sch-80 2" d.int. Con hilo m-h con tapa	m
<b>3.-</b>	<b>GASTOS FIJOS EQUIPOS</b>	
3.1	Equipo sondeadora Tipo 1 DD Superficie (incluye equipos de apoyo)	Un
3.2	Equipo sondeadora Tipo 2 DD Superficie (incluye equipos de apoyo)	Un
3.3	Equipo sondeadora DD Subterránea	Un
3.4	Equipo Sondeadora Tipo 3 AR (Incluye equipos de apoyo)	Un
3.5	Equipo MetalCraf	Un
<b>4.-</b>	<b>FLETE IDA Y REGRESO</b>	
4.1	Equipos Superficie	Un
4.2	Equipos Subterráneo	Un
4.3	Traslado equipos entre estaciones equipos subterranos	Un
4.4	Equipos Aire Reverso	Un
<b>5.-</b>	<b>INSTALACIONES</b>	
5.1	Instalación de Faenas	Mes
5.2	Instalación Equipo en Superficie (incluye traslado entre estaciones)	Un
5.3	Instalación Equipo Subterráneo	Un
5.4	Instalación Equipo Aire Reverso	Un
<b>6.-</b>	<b>TIEMPO DE ESPERA</b>	
6.1	Superficie. Cargo Horario Sonda Operando (Diamantina)	Hora
6.2	Superficie. Cargo Horario Sonda NO Operando (Diamantina)	Hora
6.3	Subterráneo. Cargo Horario Sonda Operando (Diamantina)	Hora
6.4	Subterráneo. Cargo Horario Sonda NO Operando (Diamantina)	Hora
6.5	Superficie. Cargo Horario Sonda Operando (Aire Reverso)	Hora
6.6	Superficie. Cargo Horario Sonda NO Operando (Aire Reverso)	Hora
<b>7.-</b>	<b>EQUIPO DE APOYO</b>	
7.1	Tractor de Perfil Bajo	Mes
<b>8.-</b>	<b>GASTOS GENERALES</b>	
8.1	Gastos Generales	Mes
<b>9.-</b>	<b>GASTOS REEMBOLSABLES</b>	
9.1	Gastos a costo efectivo	Global
<b>10.-</b>	<b>INCENTIVOS ACUERDOS MARCO</b>	
10.1	Incentivos Asistencia y Cumplimiento de Metas	Global

**Tabla 4.2 Itemizado Campaña de Sondajes (B)**

Los ítems principales que definen valores por cada partida son:

- Técnica de perforación
- Ángulo de perforación
- Diámetro de perforación
- Tipo de Material a perforar
- Presencia de Agua
- Traslado de equipo entre plataformas
- Horas de Stand By

Los costos de la campaña de perforación, donde el mayor costo está dado por la actividad de perforación propiamente tal, se pueden dividir en:

- Costos asociados a la actividad de Perforación del Sondaje
- Estudios y Pruebas Especiales
- Servicio de Administración y Profesionales

La tabla siguiente muestra el valor total de una campaña de perforación que consideró la ejecución de 83,000 m. de sondajes durante los años 2012 a 2015.

Considerando todas las actividades asociadas al proceso de captura de información, el valor por metro perforado es de 381 US\$/m.

FÍSICO		TOTAL
SONDAJES DDH	m	41,896
SONDAJES AR	m	41,124

FINANCIERO		TOTAL
<b>Campaña de Sondajes</b>	<b>KUS\$</b>	<b>19,382</b>
Sondajes DDH	KUS\$	13,913
Sondajes AR	KUS\$	5,469
<b>Estudios</b>	<b>KUS\$</b>	<b>12,294</b>
Ensayos Geotécnicos	KUS\$	253
Pruebas Metalúrgicas	KUS\$	1,821
Estudios Geológicos	KUS\$	350
Administración y Serv Prof	KUS\$	7,792
Estudios Complementarios Hidrogeológicos	KUS\$	1,232
Caracterización CEE para Molienda SAG	KUS\$	846
<b>TOTAL</b>	<b>KUS\$</b>	<b>31,676</b>

Tabla 4.3 Costo Total Campaña

Los costos asociados a la actividad de Perforación de Sondaje son variables y dependen particularmente de la cantidad de metros perforados.

Las principales actividades involucradas son:

- Actividad de Perforación
- Medición de Trayectorias
- Escaneo Acústico



- Preparación mecánica de las muestras
- Análisis Químico de las Muestras
- Construcción de las plataformas de Perforación
- Almacenamiento de Muestras (Racks y estantes)
- Topografía

La tabla siguiente muestra el valor en dólares por metro de sondaje perforado de los últimos 4 años para campañas de perforación en División Andina asociado al ítem perforación.

DIAMANTINA	COSTO UNITARIO
	US\$/m
Perforación	187.0
Medición de Trayectorias	7.6
Scaneo Acústico	13.8
Preparación Mecánica	49.7
Análisis Químico	7.5
Racks	0.3
Plataformas	9.2
Serv. Varios mineros	0.3
Topografía	2.1
<b>TOTAL</b>	<b>277.36</b>

**Tabla 4.4 Costo Perforación por metro**

Asociado a los costos de perforación, se debe considerar los costos de administración de la campaña que habitualmente se refieren a los profesionales que administran, capturan y coordinan la ejecución de la campaña por parte del mandante.

Se destaca en este ítem los siguientes profesionales:

- Jefe de Proyecto
- Analista de Geología
- Ingeniero de Operación de Sondajes
- Servicio de Mapeo Geológico
- Ingeniero de Programación y Control

A partir de los antecedentes anteriormente expuestos se puede establecer que los costos de una campaña de sondajes tienen una fuerte componente de gasto variable asociada a los cantidad de metros perforados versus el costo fijo, asociado a los profesionales que controlan y registran la información además de los estudios y ensayos efectuados sobre los testigos o muestras recuperadas.

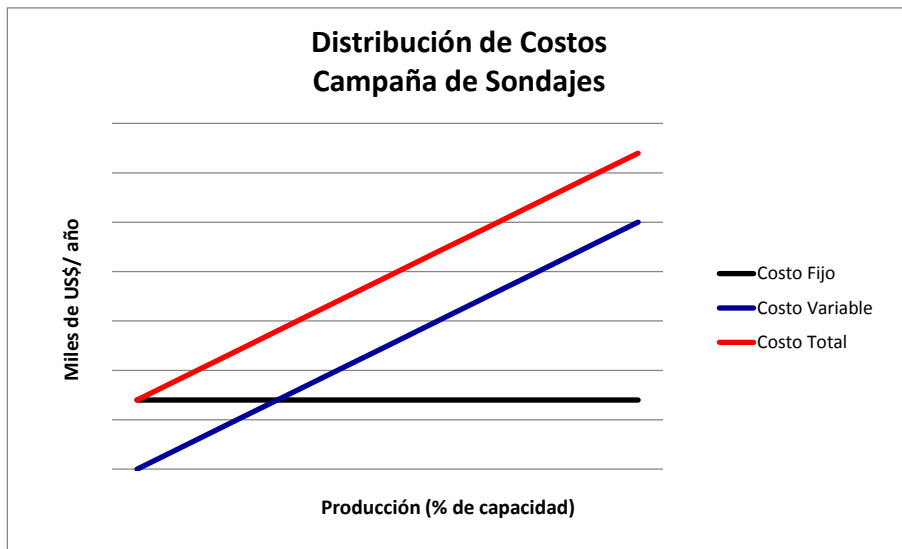


Figura 4.2 Esquema Distribución de Costos Campaña de Sondajes

## 5. PLAN MINERO (SUS VARIABLES)

### 5.1. Introducción

La obtención de riqueza a través de la actividad minera (transformación de rocas con minerales en productos comerciales) involucra una serie de actividades de tipo financieras (inversiones y costos) que deben ser descontados del valor del mineral “in situ”.

Típicamente, los parámetros más relevantes en la evaluación económica de un Proyecto Minero son:

- **Características Geológicas: Reservas (tonelaje y ley)**
- Ingeniería: Plan minero, método de procesamiento
- Costo de Capital
- Costo de Operación
- Pronósticos de Mercado: Demanda y Precios de minerales
- Políticas gubernamentales: impuestos, control ambiental, provisión de infraestructura social

Sin embargo, cuando uno se refiere a la creación de valor en un horizonte de corto plazo para una Mina en Operación, el Valor del Negocio se sustenta principalmente en el cumplimiento de un Plan Minero.

Realizar el Plan Minero de una faena en operación es generalmente responsabilidad de la Gerencia de Recursos Mineros, la cual consolida toda la información necesaria para transformar el recurso mineral en el mejor negocio productivo.

### 5.2. Concepto de Planificación Minera

Las empresas mineras están obligadas a presentar a la administración un proyecto de explotación a realizar que permite ejercer control por parte de los directivos de la compañía y por parte del estado, que es el propietario de las riquezas en el subsuelo.

La disciplina de planificación minera, que se define como el proceso de Ingeniería de Minas **que transforma el recurso mineral en el mejor negocio productivo** (8), alineado con los objetivos estratégicos de la empresa, sean éstos maximizar el valor presente neto (VAN), el volumen total de reserva, maximizar el tiempo de explotación, minimizar el riesgo de la inversión, etc., integrando las restricciones impuestas por el recurso mineral, el mercado y el entorno.

Tradicionalmente la planificación minera se divide en etapas de acuerdo a su nivel de detalle o al horizonte de tiempo.

### Por nivel de información:

- Conceptual
- Factibilidad
- Operativa

### Por horizonte de tiempo:

- **Corto Plazo:** se debe considerar los equipos y logística para cumplir con la meta definida en el presupuesto de operaciones de la mina. Es en esta instancia de planificación donde se debe analizar los recursos utilizados en la operación de la mina.
- **Mediano Plazo:** Permite asegurar el presupuesto de operaciones y debe retroalimentar la planificación de largo plazo. Generalmente cubre de 1 a 3 años.
- **Largo Plazo:** Considera el tamaño (vida de la mina), las reservas mineras contenidas. Se incorpora variables más bien promedio y generales, debido a que el tamaño del problema a resolver, no permite un mayor nivel de detalle.

### Por el tipo de decisiones:

- **Estratégica:** Decisiones que determinan el valor del negocio minero. Se debe abordar temas como método de explotación, ruta de procesamiento, escala de operación, secuencia y leyes de corte
- **Táctica:** Se debe abordar temas como planes de corto y mediano plazo, presupuestos, parque de equipos, programación de producción.

En el caso particular de División Andina, ésta se clasifica fundamentalmente a partir del horizonte de tiempo, siendo los planes que habitualmente se manejan:

- Plan Anual
- Plan Quinquenal
- Plan PSD (Sin Desarrollo)

## 5.3. Proceso Estándar de Planificación Minera

### 5.3.1. Modelo de Bloques

Tradicionalmente el proceso de planificación minera utiliza como información de entrada el **Modelo de Bloques Geológico**, donde cada uno de los bloques contiene información litológica, leyes de elementos con valor económico e impurezas, % recuperación, Work Index (WI). Además se utilizan una serie de parámetros geométricos de diseño minero tales como ángulos de talud requeridos, anchos interrampa, ancho minero mínimo y el tamaño mínimo del fondo del pit.

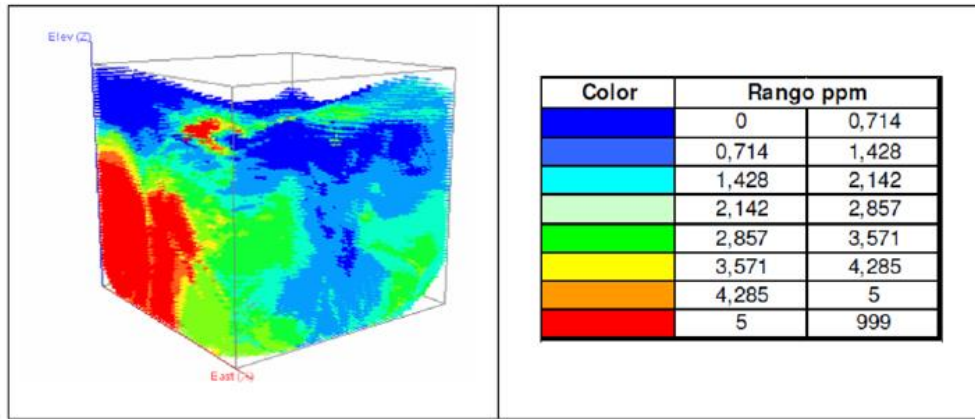


Figura 5.1 Vista General Modelo de Bloques

### 5.3.2. Optimización de Whittle

A continuación, se utiliza la metodología propuesta por Whittle (9) la cual, a partir de un modelo de bloques, es capaz de generar una solución al problema de la planificación minera. Con esta información de entrada se procede a realizar de manera secuencial una serie de etapas que a partir del algoritmo de Lerchs-Grossman definirá la envolvente económica y luego aplica la metodología tradicional, mediante la creación de pit anidados.

### 5.3.3. Generación de Pits Anidados

El cálculo de los pits anidados, corresponde a la ejecución secuencial del algoritmo de Lerchs & Grossman (7) utilizando un factor multiplicador del beneficio asociado a la extracción de cada bloque, este factor corresponde a un ponderador del precio. En cada ejecución del algoritmo se incorporan restricciones geométricas de precedencias verticales asociadas a un ángulo de talud. El cálculo de beneficio neto de cada bloque se realiza de manera simplificada según la metodología Whittle de la siguiente forma:

$$B_{\text{bloque}} = (\mathbf{Finos}_{\text{bloque}}) * (RM) * (\text{Precio}) * (RF) - (\text{Ton}_{\text{bloque}}) * (CM + CP)$$

Donde:

$B_{\text{bloque}}$ : Beneficio del bloque

RM: Recuperación metalúrgica

RF: Revenue factor (factor multiplicador del precio)

CM: Costo mina

CP: Costo planta

Luego de generar los pits anidados se procede a la selección del pit final utilizando la metodología que se describe a continuación.

### 5.3.4. Evaluación económica y Selección Pit Final

Luego de la generación de los pits anidados se efectúa una evaluación económica preliminar para seleccionar el pit final, para ello se genera un nuevo escenario económico donde se fija un precio, ritmo de producción mina y planta, tasa de descuento, gastos de administración y ventas, etc. En esta evaluación se calcula para cada pit anidado el valor presente neto asociado a dos secuencias de extracción, denominadas "Worst Case" y "Best Case". El primero corresponde a la concreción del plan minero mediante la extracción banco a banco del material que está dentro de cada envolvente económica, mientras que el segundo corresponde al plan resultante de la extracción pit a pit del material contenido en la envolvente económica (ver Figura 5.2)

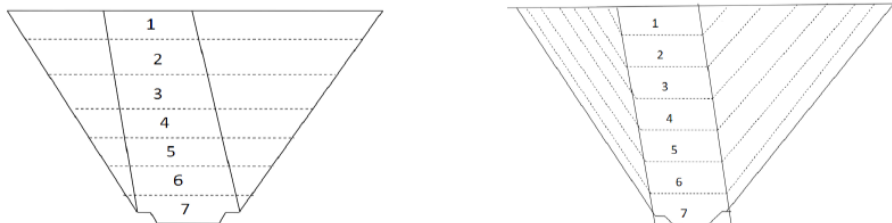


Figura 5.2 Secuencias de Extracción. Peor caso (izquierda) y mejor caso (derecha)

Esto permite dimensionar los dos escenarios extremos que acotan en términos económicos la solución del problema del plan minero de largo plazo. La elección del pit final dependerá de los objetivos estratégicos de la compañía minera y del criterio que utilice el planificador.

### 5.3.5. Elección de Fases y Construcción de Programa de Producción

Las fases en el proceso tradicional de planificación de largo plazo corresponden a un subconjunto de los pits anidados contenidos dentro del pit final. Las fases seleccionadas y el plan minero están fuertemente entrelazados y se determinan de manera secuencial en un proceso iterativo donde el programa de producción se calcula

maximizando el beneficio total del plan variando las proporciones de cada fase (previamente definida) consumidas período a período. De acuerdo a esta metodología se debe seleccionar los pits anidados que corresponderán a cada fase a través de un ejercicio de prueba y error buscando la cantidad y disposición espacial de fases que conduzcan al mejor plan de producción. Típicamente para la construcción del plan de producción se considera un número mínimo y máximo de bancos que deben ser extraídos de una fase para que la fase siguiente comience a ser extraída y un número máximo de bancos que pueden estar en explotación en una fase por período.

#### 5.4. Plan Minero División Andina – Codelco Chile

El Plan Minero de División Andina, corresponde a un ejercicio de largo plazo que permite estimar el valor de la División en un escenario Sin Proyectos de Desarrollo (PSD: Plan Sin Desarrollo). Su elaboración se realiza según los lineamientos establecidos por la Gerencia Corporativa de Evaluación de Inversiones y Control de Proyectos (GCEI), que en lo fundamental, proyecta en el tiempo los actuales niveles de tratamiento comprometidos por la División.

El Plan consiste en un ejercicio de largo plazo, hasta el agotamiento de los recursos, optimizado, de manera de captar todos aquellos beneficios factibles, que no sean atribuibles a nuevos Proyectos de Desarrollo. Este plan sirve de referencia para identificar tempranamente definiciones estratégicas que impactan el desarrollo y así poder evaluar alternativas de desarrollo.

El Plan incorpora:

- Los activos en operación proyectados quinquenio 2015-2019, Planta, Minas e instalaciones asociadas a la capacidad de producción de 88 ktpd.
- Los activos en operación proyectados años 2020 y siguientes asociados al proyecto Nuevo Sistema de Traspaso.
- La inversión necesaria para reemplazo de equipos y reparación de instalaciones en operación, requerida para mantener los niveles productivos de estos activos, denominada “Carga Base”.
- Los Proyectos de inversión aprobados por la Corporación, aunque no estén aun en operación.
- La inversión necesaria para cumplir la normativa aplicable en la Corporación sobre seguridad laboral, salud ocupacional, protección al medio ambiente y sustentabilidad territorial y comunitaria.
- La inversión necesaria para realizar estudios de perfil, prefactibilidad y factibilidad, concordantes con la estrategia corporativa.
- La inversión necesaria para **realizar estudios de exploración geológica e investigación** y desarrollo operacional (divisional).
- Los Proyectos de Mejoramiento de Gestión, autorizados por la Corporación a ingresar al PSD.

A continuación, se presentan los principales hitos que son incluidos en el PSD:

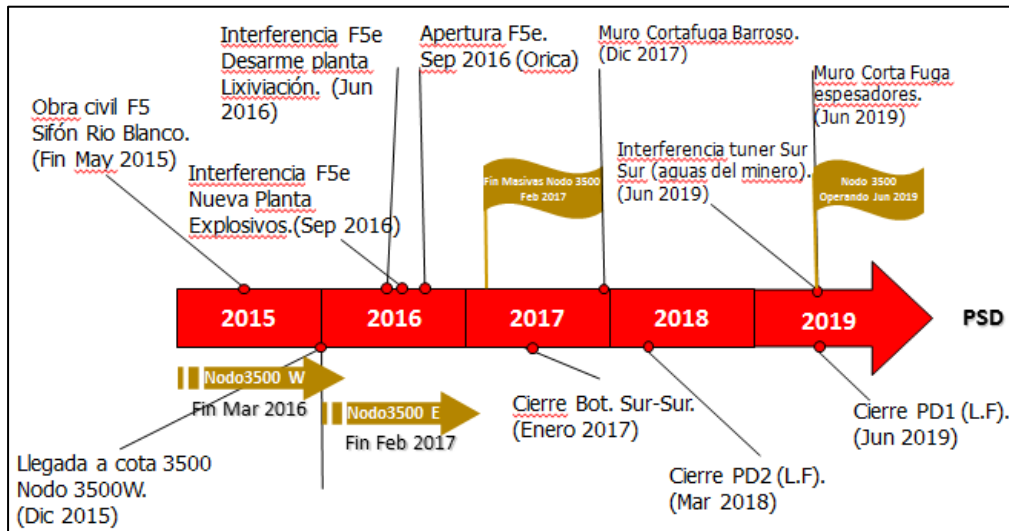


Figura 5.3 Principales Hitos Plan Sin Desarrollo Rajo DAND (a)

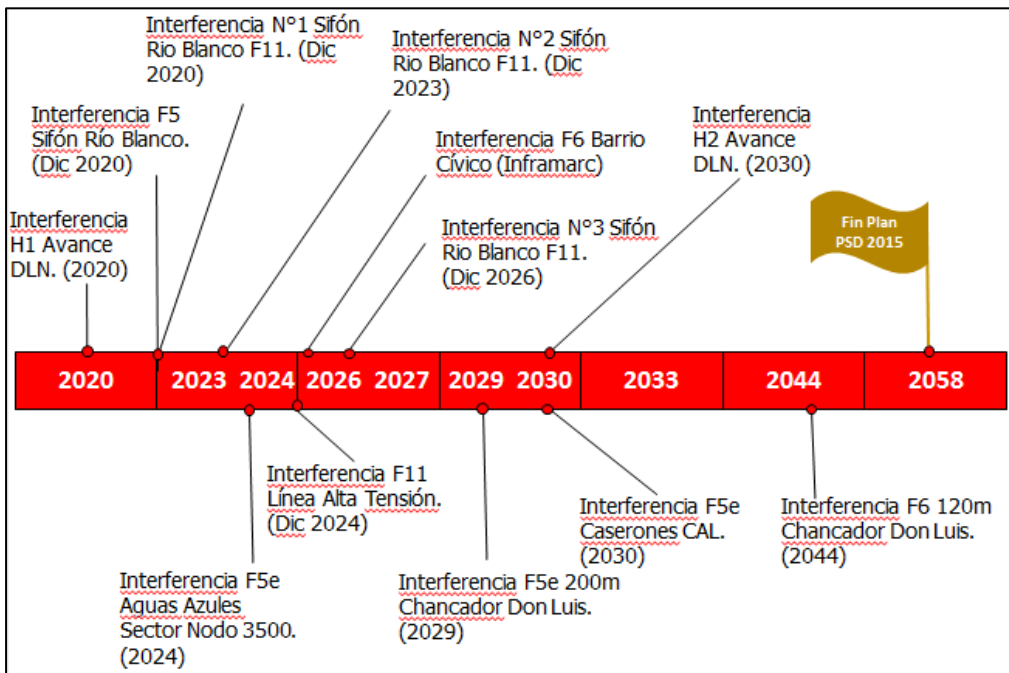


Figura 5.4 Principales Hitos Plan Sin Desarrollo Rajo DAND (b)



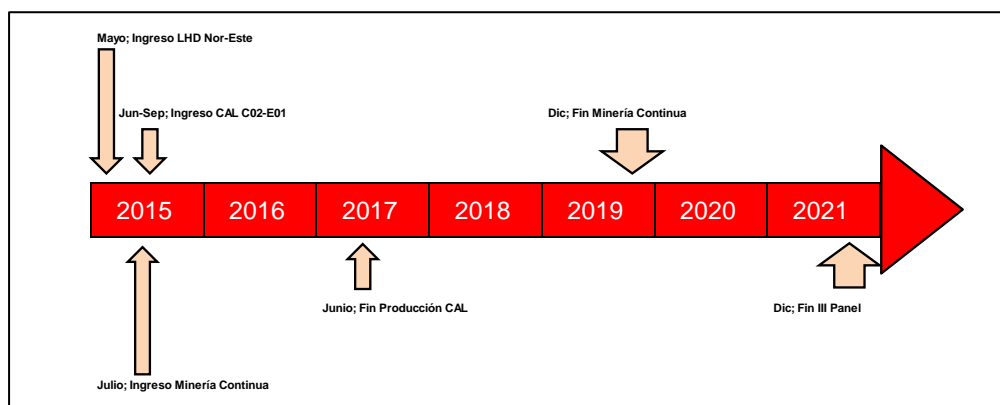


Figura 5.5 Principales Hitos Plan Sin Desarrollo Subte DAND (c)

Además el plan debe considerar la **información básica** de:

## Geotecnia

Toda la información se refleja en la construcción de modelos geotécnicos que cubren todo el yacimiento y que utilizan las siguientes variables:

- Grupos Geotécnicos Mayores: Roca Primaria, Roca Secundaria y Chimeneas.
- Calidad Macizo Rocoso: Modelos de Frecuencia de Fracturas, Rock Quality Designation (RQD) y Intact Rock Mass Rating (RMR, según Laubscher 1996).
- Modelo Alteración Geotécnica
- Modelo Estructural.
- Modelo de categorización de información geotécnica
- Propiedades de Roca Intacta y Macizo Rocoso

En División Andina existen tres fuentes de información: **sondajes**, mapeo de desarrollos en minas (rajo y subterránea) y **ensayos de probetas**. A partir de ellas se capturan las variables geotécnicas necesarias para generar una base de datos robusta y auditable lo que se traduce en modelos geotécnicos confiables. Un esquema que grafica el flujo de la información se muestra en la siguiente figura.



Figura 5.6 Esquema fuentes de información geotécnica para generación de modelos

Los **sondajes**, permiten describir en detalle las características de las fracturas en cuanto al tipo de relleno, espesor, alteración de paredes, rugosidad y obtener los datos de frecuencia de fracturas y RQD. Así mismo, se realizan escaneo al interior de los pozos para determinar la orientación de set estructurales.

De los **sondajes** además se extraen probetas de roca intacta para la determinación en laboratorios externos, de parámetros elásticos a través de Resistencia a la Compresión Simple, Ensayos Triaxiales, Ensayos de Tracción Indirecta, determinación de Densidad, determinación de Velocidad de Ondas ( $V_p$  y  $V_s$ ).

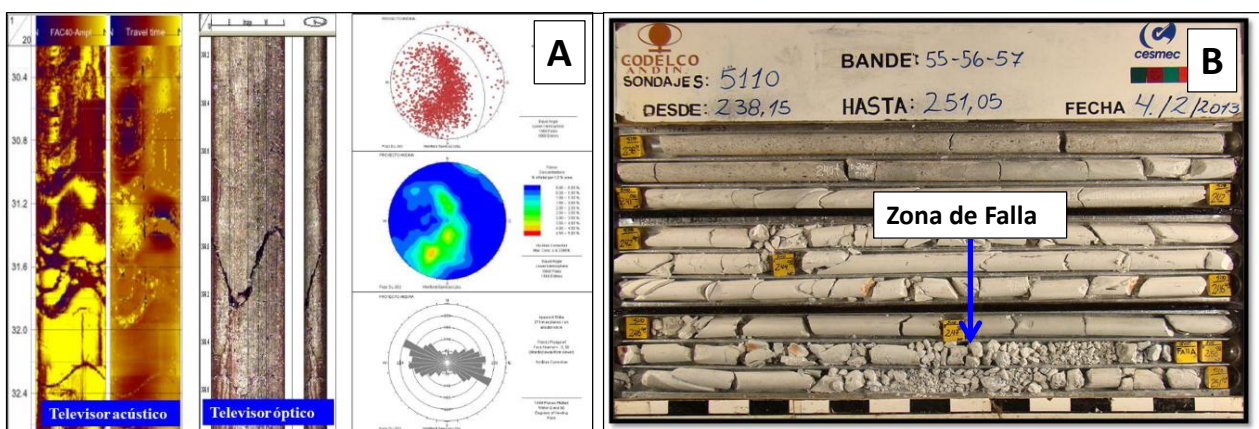


Figura 5.7 Datos estructurales obtenidos a partir de sondajes A) Escaneo B) Fallas en mapeo geotécnico

## Geomecánica del Plan Minero

Desde el punto de vista del negocio minero, resulta necesario definir criterios de aceptabilidad para el diseño geotécnico de los taludes, de un botadero o de la mina. En otras palabras, es preciso especificar qué resulta aceptable en lo que se refiere a la eventual ocurrencia de inestabilidades y, por otra parte, qué es inaceptable. Comúnmente, estos criterios de aceptabilidad se definen en términos de valores máximos permisibles para uno o más de los siguientes parámetros:

- Factor de Seguridad, FS
- Probabilidad de Falla, PF
- Desplazamiento acumulado del talud, D
- Tasa de desplazamiento del talud, V

Los criterios de aceptabilidad son más estrictos en el caso de taludes de obras civiles que en el caso de taludes mineros.

Por otra parte, mientras más pequeño sea el volumen afectado por la inestabilidad y menor sea las posibles consecuencias de un eventual deslizamiento, menor será la relevancia de la inestabilidad, y viceversa.

Para la evaluación de estabilidad de los taludes considerados en el programa PSD 2016, se ha considerado utilizar los criterios de aceptabilidad que se resumen en tabla siguiente.

Talud	Condición	Características de la inestabilidad		Criterio de aceptabilidad		Comentarios
		$\Delta R$ (%)	W (kTon)	FS	PF (%)	
Interrampa Talud Global	Expansiones & Pit Final	Fallas que NO causan pérdida de ancho de Rampa, R. $\Delta R = 0$ (Ver ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.).	$\leq 500$	1.15 a 1.20	$\leq 30$	El análisis de estabilidad debe incluir explícitamente el efecto de las estructuras presentes en el macizo rocoso. La operación minera incluirá la despresurización y drenaje de los taludes. Se utilizarán tronaduras controladas para minimizar el daño inducido en el macizo rocoso, incluyendo el uso de <u>precorte</u> . Se controlará el cumplimiento de la línea de programa.
			500 a 1000	1.20 a 1.25	$\leq 20$	
			$> 1000$	$\geq 1.25$	$\leq 10$	
			$\Delta R \leq 20$ (Ver Figura 3.3).	1.20 a 1.30	$\leq 15$	
		$\Delta R > 20$ (Ver Figura).		$\geq 1.30$	$\leq 10$	
	Infraestructura in Pit			$\geq 1.50$	$\leq 4$	Se debe chequear el riesgo de caída de material pétreo, y se deben adoptar todas las medidas de remediación que sean necesarias.
	Falla Catastrófica			$\geq 1.80$	$\leq 1$	Esto se traduce en que División Andina acepta una mínima probabilidad para la ocurrencia de una falla de este tipo.

$\Delta R$ : Pérdida de ancho de rampa. W: Material afectado por la inestabilidad.

FS: Factor de seguridad. PF: Probabilidad de Falla.

Tabla 5.1 Criterios de Aceptabilidad Diseño de Taludes DAND (ref: AKL, 2012)

## **Hidrología e Hidrogeología**

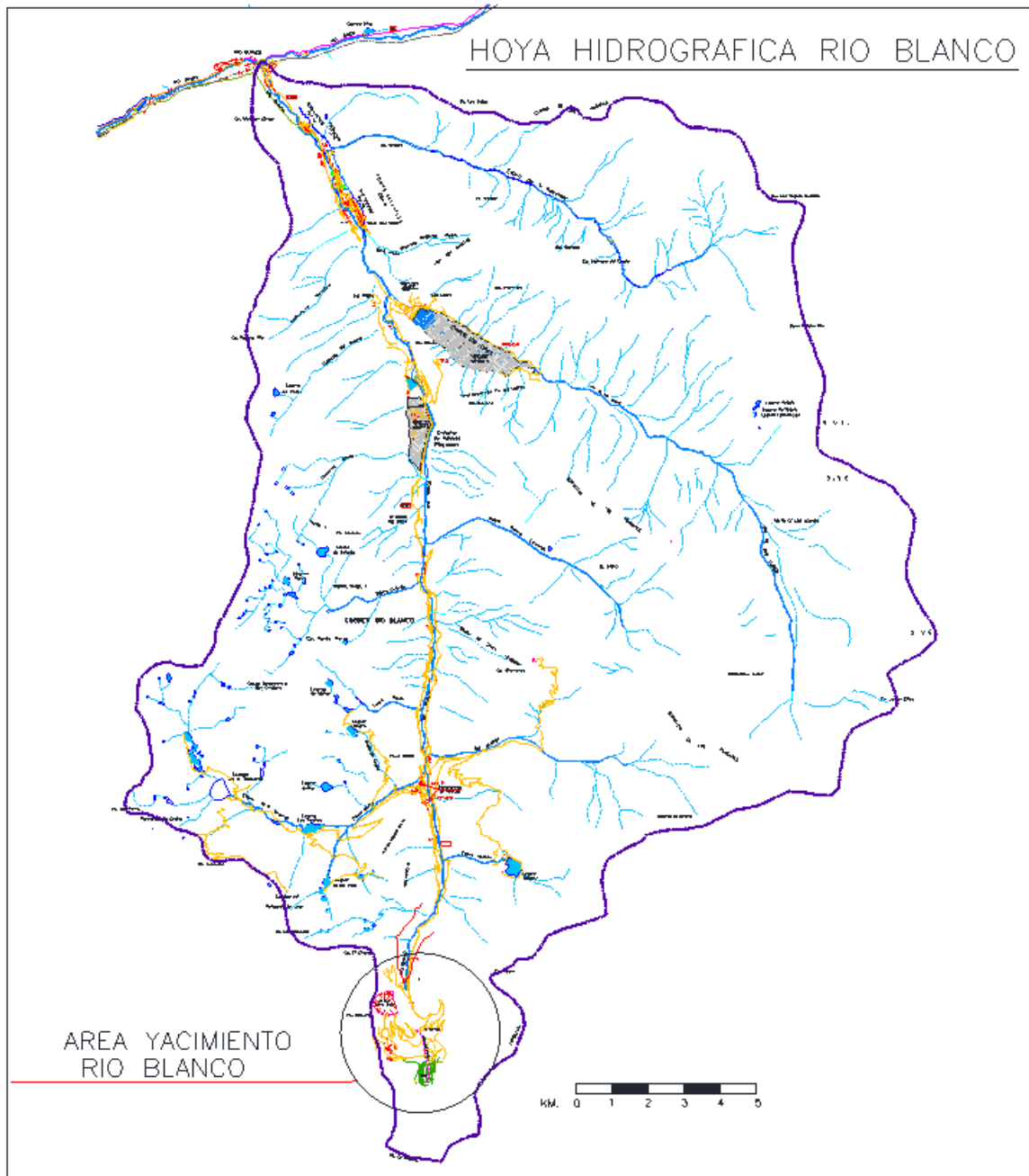
La hidrología junto con la hidrogeología describen los principales elementos que estructuran el sistema hídrico local de las áreas de la cuenca hidrográfica del río Blanco, que están involucradas en el desarrollo del proyecto minero. La información incluida ha sido desarrollada en el ámbito de diferentes proyectos de desarrollo minero del yacimiento, tanto para explotación subterránea como a cielo abierto.

El análisis se concentra en caracterizar y estimar la magnitud de los potenciales flujos de aguas naturales, tanto superficiales como subterráneas presentes en el área, que deben ser administrados para disminuir su potencial interferencia con las actividades de producción.

Para delimitar físicamente el análisis hidrológico e hidrogeológico, se considera aquellas áreas afectadas por el plan de producción lograda a través de la explotación de la mina subterránea Río Blanco, como también del desarrollo del rajo Don Luis; todo ello en el dominio del Yacimiento Río Blanco, en la parte alta de la cuenca hidrográfica del río Blanco, como se ilustra en la figura siguiente.

Los principales antecedentes utilizados, disponibles y desarrollados, en la caracterización hídrica son los siguientes:

- Estimación de Caudales Medios Mensuales Cuenca Alta del Río Blanco. 4C Consultores Ltda. Octubre 2006.
- Modelo Hidrogeológica y Saneamiento Hídrico del Yacimiento Río Blanco. Water Management Consultants. Diciembre 2006.
- Base información geológica, geotécnica e hidrogeológica División Andina.
- Captura Información Geotécnica e Hidrogeológica. Dand.2008.
- Modelo Hidrogeológico y Saneamiento Hídrico del Yacimiento Río Blanco. Schlumberger Water Services. Agosto 2009



**Figura 5.8 Ubicación General Hoya Hidrográfica Río Blanco y Yacimiento Río Blanco**

### Recursos y Reservas

El informe de recursos es emitido todos los años por la Superintendencia de Geología, éste incluye los resultados y criterios utilizados en su actualización. Contiene las variables asociadas a la litología, contacto roca/sobrecarga, techo de sulfatos, piso de limonitas y las estimaciones de leyes de cobre, molibdeno y arsénico, pesos específicos y de comportamiento metalúrgico Work Index (BWI) y Cobre Recuperable (Cu Rec). Dichos resultados son incluidos en el modelo de bloques de la División.

La actualización de un modelo normalmente incorpora **nueva** información proveniente de campañas de sondajes. El criterio de categorización de los recursos se basa en el número y configuración de muestras usados durante la estimación de ley de cobre, de acuerdo a uno de los criterios Corporativos sugeridos en trabajo conjunto con la empresa Golder Asociados.

Para los efectos de reportar los recursos geológicos del yacimiento, se ha descontado la proyección vertical correspondiente a las áreas de producción ya extraídas. No se reportan los recursos correspondientes a materiales producto de la explotación, tales como stocks, botaderos y relaves (recursos artificiales).

La declaración de recursos geológicos se informa para una ley de corte de 0,20% de CuT.

La estimación recursos del Plan se realiza de acuerdo a la Norma Codelco NCC-31 modificada Rev2 del año 2011 utilizando como input el modelo de recursos emitido por la Superintendencia de Geología.

En dicho modelos se establecen los criterios y se informan las mallas de sondajes que respaldan la categorización de recursos en: medido, indicado e inferido; tanto para mina rajo como para mina subterránea.

En cuanto a reservas mineras utiliza la Norma Corporativa Codelco n°31 (NCC-31) para convertir recursos a reservas.

Con lo anterior se construye la matriz de sustentabilidad de las reservas.

Un ejemplo de matriz de sustentabilidad de reservas se presenta para el ejercicio del PSD 2015.

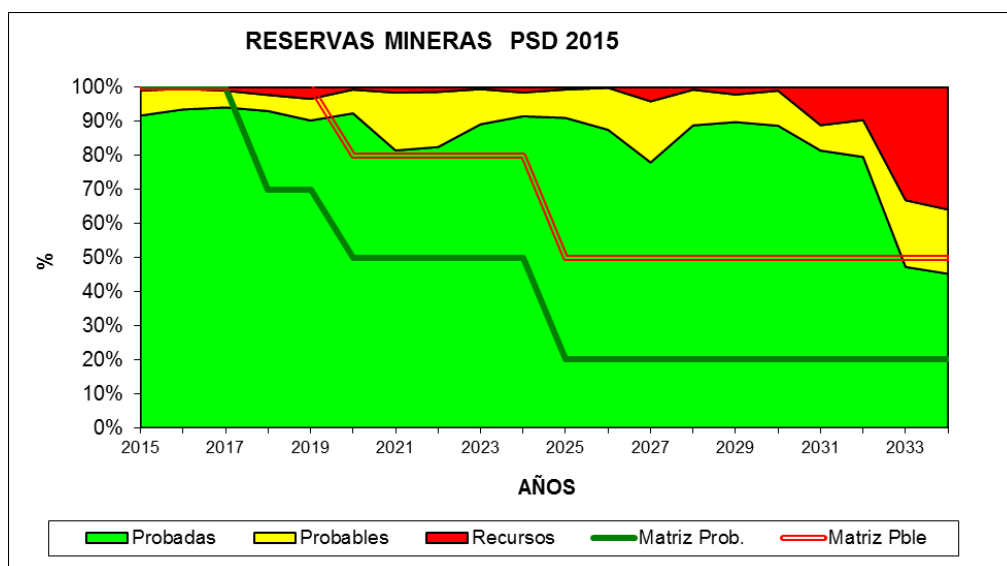


Figura 5.9 Ejemplo de Matriz de Sustentabilidad PSD 2015 DAND

## **Comentarios respecto a este “ejemplo” de matriz de Sustentabilidad**

Si bien esta matriz no cumple plenamente el trienio (las reservas no están 100% probadas dentro de los primeros 3 años), se deben realizar sondajes tendientes a cambiar esta situación, lo cual se verá reflejado en el próximo modelo de recursos.

En general, se observa un bajo riesgo de cumplimiento de finos del plan, ya que las campañas de sondajes de relleno (infill) que se realizan todos los años, llevarán las reservas a categoría de probadas.

De los años 4 al 20, la matriz cumple por sobre los estándares.

## **Plan Minero**

Se indica el plan minero de la mina rajo y de la mina subterránea de División Andina de Codelco, considerando un programa de 331 días por año para mina rajo (tormentas de nieve) y 365 días por año para mina subterránea; ambas minas alimentan la planta de tratamiento “Cordillera”, a un ritmo en torno a las 88 kt/día.

La confección del plan minero incluye las siguientes consideraciones:

### **Mina Rajo**

- Criterios Generales de Diseño de Mina
- Determinación de Mineral y Estéril
- Límites Óptimos para la Extracción
- Foto Inicial
- Trazado Definido de la Mina y Fases Mineras
- Cronograma de Producción de la Mina
- Fotos por año Rajo y Botadero
- Disposición de Estéril y Sobrecarga
- Requerimientos de Equipo Minero
- Riesgos Mina Rajo
- Gastos Diferidos Rajo

### **Mina Subterránea**

- Criterios de Planificación Mina Subterránea
- Plan de Producción Mina Subterránea
- Secuencia de Hundimiento
- Antecedentes Generales de Cuerpos de Alta Ley
- Minería Continua (MC)

- Velocidad de Extracción
- Mineral Primario – Secundario y Quebrado
- Área Activa de Explotación
- Criterios de Dilución
- Estimación Equipos de Producción
- Indicadores Equipos LHD 10 yd3 Producción
- Indicadores Camiones 55 y 60 Toneladas
- Desarrollos Tercer Panel
- Alertas y Oportunidades

### Procesamiento Minerales

- Descripción del Proceso
- Bases de Planificación Procesos
- Parámetros Operacionales, de Diseño y Planificación
- Criterios de Cálculo de Recuperación
- Capacidad de Tratamiento 88 Ktpd PSD 2015
- Plan de Producción

La siguientes dos figuras muestran las etapas del proceso de planificación minera en División Andina Codelco Chile, desde una visión general y el detalle de las etapa, input/output y documentos o dato generados.

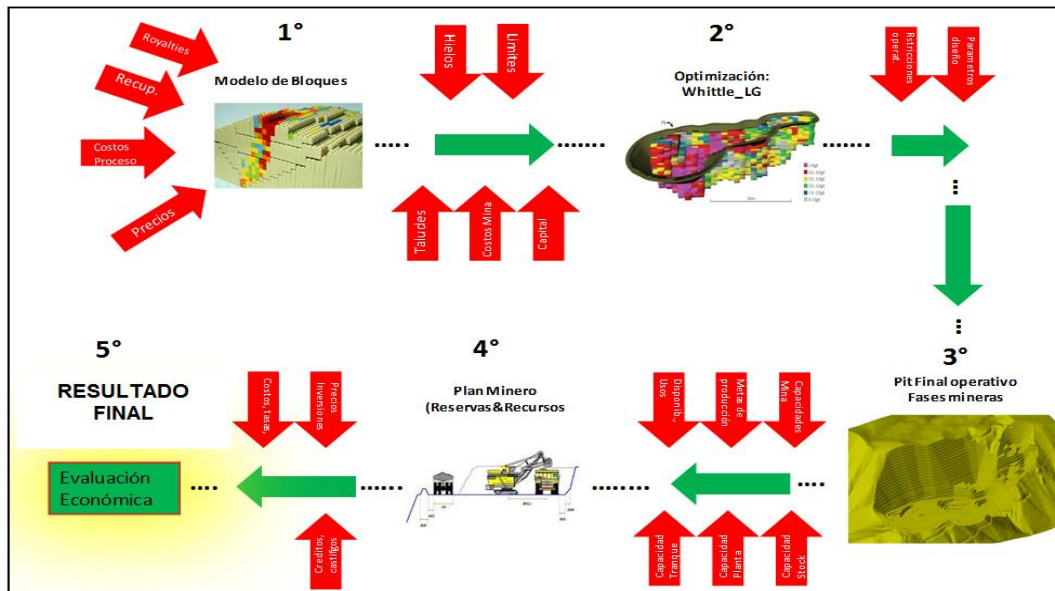


Figura 5.10 Proceso de Planificación Minera División Andina



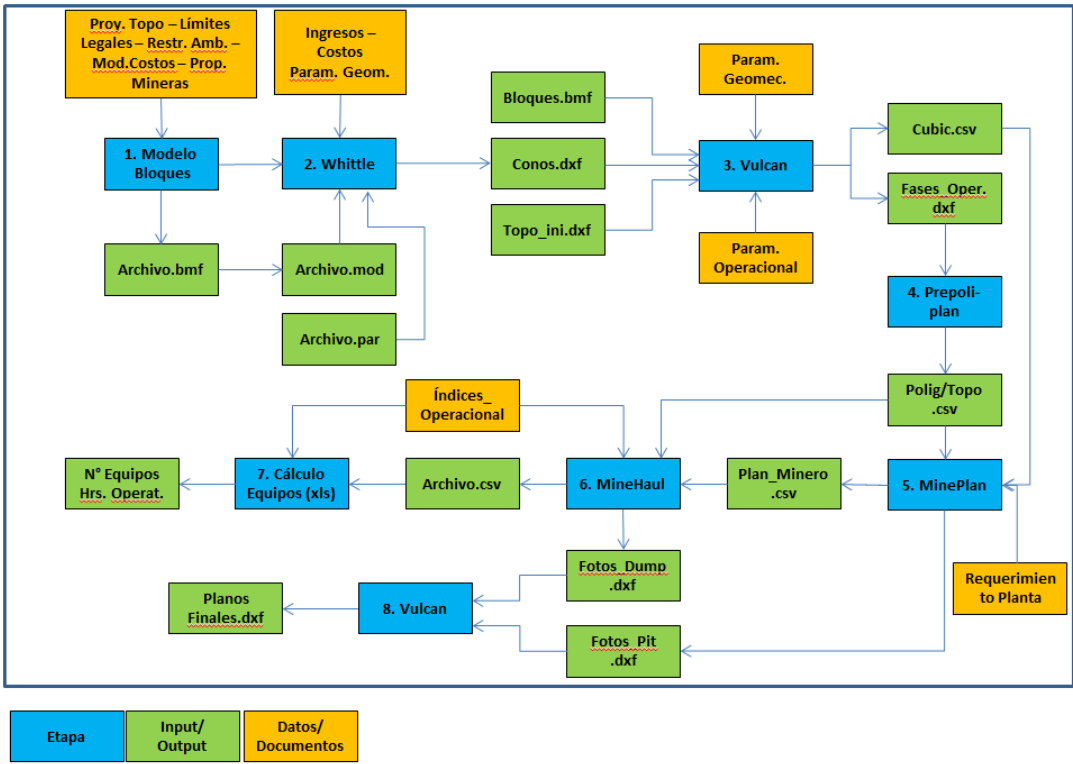


Figura 5.11 Etapas Proceso Planificación Minera División Andina

## 6. VARIABILIDAD DE LA ESTIMACIÓN DE LEY DE COBRE SEGÚN MALLA DE RECONOCIMIENTO

### 6.1. Introducción

La precisión en la estimación de una variable geológica depende fundamentalmente de la **densidad** de información disponible, de su calidad, y además de los aspectos geológicos propios de cada yacimiento.

La información geológica debe considerar:

#### Aspectos Geológicos:

- Tipo de Yacimiento
- Mineralización, estructuras, alteración y mineralogía presentes
- Emplazamiento y geometría
- Tipos de contacto entre unidades (abruptos, transicionales)
- Diferenciación de unidades de roca (mineralizadas y estériles)
- Dimensiones y continuidad geológica de las principales unidades
- Controles geológicos de la mineralización de elementos principales e impurezas

#### Aspectos Geoestadísticos:

- Variabilidad de las Leyes. Derivas (aumento o disminución gradual de leyes) en direcciones específicas
- Interpolación y Suavizamiento
- Reproducción adecuada de Curvas Ton/ley
- Problemas de Estimación global y local
- Sesgo Condicional

### 6.2. Marco Conceptual

Existe una serie de métodos para estimar la ley media y tonelaje de un yacimiento, proyecto o sector. Sin embargo, los métodos tradicionales más importantes, presentan problemas (1).

#### 6.2.1. Métodos de Estimación Tradicionales

##### La media aritmética

El método de la media aritmética se basa en estimar la ley media de un conjunto S promediando las leyes de los datos que están dentro de S.

Características

- Todos los datos tienen el mismo peso  $1/N$ .

- Muy simple. Fácil de calcular.
- Produce malos resultados cuando hay agrupaciones de datos.

### Los polígonos

El método de los polígonos se basa en asignar a cada punto del espacio la ley del dato más próximo. Para estimar una zona S se ponderan las leyes de los datos por el área (o volumen) de influencia  $S_i$ .

#### Características

- Complicado, requiere calcular áreas
- El peso del dato  $Z_i$  es  $S_i / S$ .
- Funciona mejor con agrupaciones de datos que la media aritmética.
- Difícil de implementar en tres dimensiones.
- En general no es adecuado en estimaciones locales porque asigna la misma ley a todos los bloques que están dentro de un mismo polígono. Produce problemas con datos anómalos.

### El método del inverso de la distancia

El método del inverso de la distancia se basa en asignar mayor peso a las muestras cercanas y menor peso a las muestras alejadas a S. Esto se consigue al ponderar las leyes por  $1/d_i^\alpha$ , ( $\alpha = 1, 2, \dots$ ;  $d_i$  = distancia entre la muestra i y el centro de gravedad de S).

#### Características

- Simple, fácil de calcular.
- Se adapta mejor en estimaciones locales que globales.
- No funciona bien con agrupaciones de datos.
- Atribuye demasiado peso a las muestras cercanas al centro de gravedad. En particular no está definido si  $d_i = 0$  (muestra en el centroide de S)
- No toma en cuenta la forma ni el tamaño de S

La crítica general de los métodos tradicionales de estimación de leyes generalmente se refieren a:

- Son empíricos.
- Demasiado geométricos.
- No consideran la **estructura** del fenómeno mineralizado.

Por estructura entenderemos lo siguiente:

- la continuidad de las leyes: existen casos desfavorables en los cuales las leyes son erráticas y otros más favorables en los cuales las leyes son regulares.
- la posible presencia de anisotropías, es decir direcciones en las cuales la variación de leyes es privilegiada

### 6.2.2. Geoestadística

En términos generales se define la geoestadística como la aplicación de la teoría de las variables regionalizadas a la estimación de los recursos mineros. Una variable regionalizada es una función que representa la variación en el espacio de una cierta magnitud asociada a un fenómeno natural (1)

La teoría de las variables regionalizadas se propone dos objetivos principales:

- Expresar las características estructurales de una variable regionalizada mediante una forma matemática adecuada.
- Resolver, de manera satisfactoria, el problema de la estimación de una variable regionalizada a partir de un conjunto de muestras, asignando errores a las estimaciones.

Estos dos objetivos están relacionados: el error de estimación depende de las características estructurales (continuidad, anisotropías) y se tendrá un error mayor si la variable regionalizada es más irregular y discontinua en su variación espacial.

Para alcanzar los objetivos propuestos es necesario disponer de un modelo matemático. La geoestadística utiliza una cierta interpretación probabilística de la variable regionalizada, mediante el modelo de las funciones aleatorias.

#### El Variograma

El variograma es una función que constituye la herramienta fundamental de la geoestadística.

La definición teórica de la función variograma  $\gamma(h)$  es la esperanza matemática siguiente:

$$\gamma(\vec{h}) = \frac{1}{2} E \left[ \left( Z(x + \vec{h}) - Z(x) \right)^2 \right]$$

Es una herramienta que permite analizar el comportamiento espacial de una propiedad o variable sobre una zona dada.

#### Kriging

El nombre krigeado o kriging proviene de los trabajos de Daniel Krige en las minas de oro sudafricanas de la Rand Corporation, en los años 50. La teoría fue formalizada una década más tarde por el geomatemático francés Georges Matheron.

En términos generales consiste en encontrar la mejor estimación lineal insesgada de un bloque o zona **considerando la información disponible**; es decir, las muestras interiores y exteriores.

El krigeado atribuye un peso  $\lambda_i$  a la muestra  $z(x_i)$ . Estos pesos se calculan de manera de minimizar la varianza del error cometido.

El interés del kriging proviene de su misma definición: al minimizar  $\sigma E^2$  estamos seguros de obtener la estimación más precisa posible del volumen o equivalentemente, de sacar el mejor provecho posible de la información disponible.

Como es natural, el kriging atribuye pesos altos a las muestras cercanas y pesos débiles a las alejadas. Sin embargo, esta regla intuitiva puede fallar en ciertas situaciones en las cuales se habla de efecto de pantalla o de transferencia de influencia.

### **Simulación Condicional**

La simulación condicional de leyes (o en general simulación de una variable regionalizada) es, en la actualidad, una herramienta importante en las aplicaciones prácticas de la geoestadística (2)

La simulación condicional consiste en construir una realización que posee el mismo histograma – por consiguiente la misma ley media y la misma varianza – que los datos disponibles, además de estar condicionada por estos datos experimentales  $z(x_1), z(x_2), \dots, z(x_N)$ . Es decir, donde existen datos, simulación y realidad coinciden.

El objetivo de utilizar simulaciones condicionales siempre está relacionado con la característica fundamental de las simulaciones que **es reproducir la variabilidad espacial real** de la variable a estimar.

## **6.3. Error de Estimación v/s Malla de Reconocimiento**

### **6.3.1. Introducción**

En un yacimiento en explotación existen habitualmente 3 mallas de perforación para reconocimiento geológico las cuales se asocian al horizonte o momento en que se extraerá el recurso. Típicamente y resulta intuitivamente lógico, el material que será extraído en el corto plazo debe tener un mayor reconocimiento que aquel que será extraído en un futuro lejano o largo plazo.

### **Sondajes Exploratorios (malla superior a 120 m)**

Su objetivo es la identificación de potenciales cuerpos mineralizados dentro del yacimiento basado en antecedentes geológicos (alteración, estructuras, mineralogía)

Además, busca verificar límites de mineralización o delimitación de estéril (zonas de descarte)

### **Sondajes para Categorizar (70-50 m)**

La categorización de recursos se realiza sobre la base de la disposición espacial y la calidad de las muestras utilizadas en la estimación de recursos, vale decir responde fundamentalmente a la malla de sondajes. Son la base del aseguramiento de la base minera en el Largo Plazo.

Se considera adecuada en la caracterización geológica y de leyes para ser aplicada en planes mineros de largo plazo. Se utiliza para generar una estimación de Curva Tonelaje/Ley razonable. Además, recoge o aborda algunos problemas de estimación local.

### **Sondajes de Relleno o Infill (40-30 m)**

Se trata de campañas de perforación que tienen como objetivo reproducir de mejor manera las singularidades geológicas y la distribución de leyes. Además la Curva Tonelaje/Ley queda mejor representada. Es posible además obtener una adecuada estimación local para planes de mediano y corto plazo.

### **6.3.2. Metodología**

Para evaluar el error de estimación respecto de una malla de reconocimiento, se realizará la comparación de ley “real” respecto de aquella estimada a partir de mallas de perforación “simuladas” menos densas. Cabe destacar que la malla de perforación considerada como real será aquella obtenida a partir de la perforación de producción para tronadura (8x8 m.) en un sector ya extraído.

El desarrollo de esta metodología, se describe a continuación:

### **Generación de Archivo**

Para ello se generó un archivo, dentro del área definida, con atributos geológicos y de leyes que fue utilizado para los procesos estadísticos y geoestadísticos necesarios. La información geológica se correlacionará con la información de leyes.

### **Variografía**

Esta herramienta geoestadística permite determinar la dirección de mayor correlación que existe entre pares de muestras separadas a una distancia determinada, en general existe correlación en una dirección donde esta relación es mayor que en otra, característica que es denominada anisotropía. Con las distancias obtenidas se puede configurar un esquema de búsqueda.

### **Simulación**

Estando la envolvente definida, se procede a construir 50 simulaciones o “realizaciones” por malla (densidad de información) con el objetivo de estudiar la variabilidad del tonelaje y ley y, a partir de los resultados, estudiar el comportamiento de la distribución de resultados.

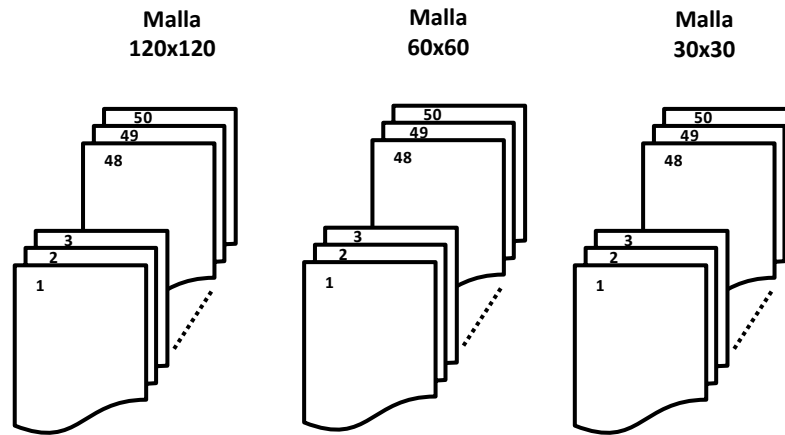


Figura 6.1 Número de simulaciones por tipo de malla

### 6.3.3. Caso de Estudio: Sector Rajo Don Luis, División Andina

En el sector del Rajo Don Luis se han identificado rocas de tipo volcánico, intrusivas porfídicas y brechas. La unidad más antigua corresponde a Andesitas, la que se distribuye en superficie y hacia el borde oriental y occidental del yacimiento. Esta unidad se encuentra intruída por rocas granodioríticas de grano medio-grueso de la unidad Granodiorita Río Blanco (GDRB), la que se ubica en la parte norte del yacimiento. Hacia el sur, comienza paulatinamente a dominar la unidad Granodiorita Cascada (GDCC), la cual se encuentra intruyendo a la GDRB. Hacia la parte sur oriental se distribuyen grandes volúmenes de Diorita de formas irregulares, las que disminuyen volumétricamente y se hacen más profundas hacia el norte del sector Don Luis. Las unidades previamente descritas corresponden a las rocas de caja de un sistema de brechas que aporta los principales contenidos de mineralización en este sector. Este sistema de brechas se encuentra en la parte central del yacimiento, con orientaciones preferenciales NW y prácticamente verticales (6)

Este sistema de brechas mineralizado se encuentra truncado en su parte occidental por el Pórfido Don Luis (PDL), de composición dacítica y de gran expresión volumétrica, el cual se encuentra distribuido a lo largo de todo el sector de Don Luis, con una tendencia hacia el NNW. Se caracteriza por tener una morfología tipo domo, siendo de mayor volumen en su parte superior y más estrecho en profundidad.

#### Base de Datos

Para el caso en estudio se consideró un sector del actual Rajo Don Luis de División Andina. (Nivel 3508)

La tabla adjunta muestra los diferentes tipos litológicos, código alfanumérico y numérico de las muestras del sector asociado al grupo litológico.

<b>Litología</b>	<b>Código de Roca</b>	<b>Código de Roca numérico (ROCAN)</b>	<b>Grupo Litológico</b>	<b>Código de Roca Agrupada (ROCA GRP)</b>
Andesita	AN	1	<b>ANDESITA</b>	100
Granodiorita Río Blanco	GDRB	3	<b>GRANODIORITAS</b>	300
Granodiorita Cascada	GDCC	4		
Filón Aplítico	APLI	53		
Diorita	DIOR	54		
Pórfido Cuarzo - Monzonítico	PQM	10	<b>PÓRFIDOS</b>	350
Pórfido Feldespático	PFELD	12		
Pórfido Indiferenciado	PIN	13		
Pórfido Cerro Negro	PCN	15		
Pórfido Don Luis	PDL	35		
Roca Brechizada y Turmalinizada	BT	16	<b>BRECHAS TURMALINA</b>	500
Brecha de Turmalina	BXT	20		
Brecha de Pórfido	BXP	7	<b>BRECHAS TOBÁCEAS</b>	600
Brecha de Molibdenita	BXMO	9		
Brecha Monolito	BXMN	28		
Brecha Tobácea ( Brecha Castellana)	BXTO	31		
Brecha de Turmalina y Tobácea	BXTTO	34		
Brecha de Matriz Clástica (Polvo de Roca)	BXPR	71		
Brecha de Granodiorita Río Blanco	BXGDRB	5	<b>BRECHAS MAGMÁTICAS</b>	700
Brecha de Anhidrita	BXANH	27		
Brecha de Hematita	BXHEM	40		
Brecha de Matriz de Sílice - FK	BXSK	67		
Brecha de Matriz Biotita	BXB	70		
Chimenea Dacítica	CHDAC	43	<b>CHIMENEAS SUBVOLCÁNICAS</b>	900
Chimenea Riolítica	CHRIOL	45		
Brecha de Contacto Dacítica	BXCHDAC	44	<b>BRECHAS DE CHIMENEA</b>	910
Brecha de Contacto Riolítica	BXCHRIOL	46		
Morrena Río Blanco	MOR_RB	47	<b>MORRENAS</b>	950
Morrena Rinconada	MOR_RINC	55		
Morrena Cerro Negro	MOR_CN	59		
Sobrecarga roca	SOB	60	<b>SOBRECARGA</b>	990

**Tabla 6.1 Tipos Litológicos, Código y Agrupación de Roca DAND**

La base de datos utilizada considera la información de pozos de tronadura (tiros de producción) del banco 3500 o Nivel 3508 (altura 16 m) lo que equivale a una base de compósitos de a 5645 pozos o muestras.

Las unidades de estimación y el agrupamiento se separan en dos grandes grupos que corresponden a las litologías que son consideradas “mineralizadas” y un segundo grupo pertenecientes a las unidades post-mineral que son tratadas como unidades “estériles”.

Las unidades mineralizadas son:

- Andesitas (100)
- Granodioritas (300)
- Brechas de Turmalina (500)
- Brechas Tobáceas (600) y
- Brechas de Biotita y Feldespato Potásico (700)

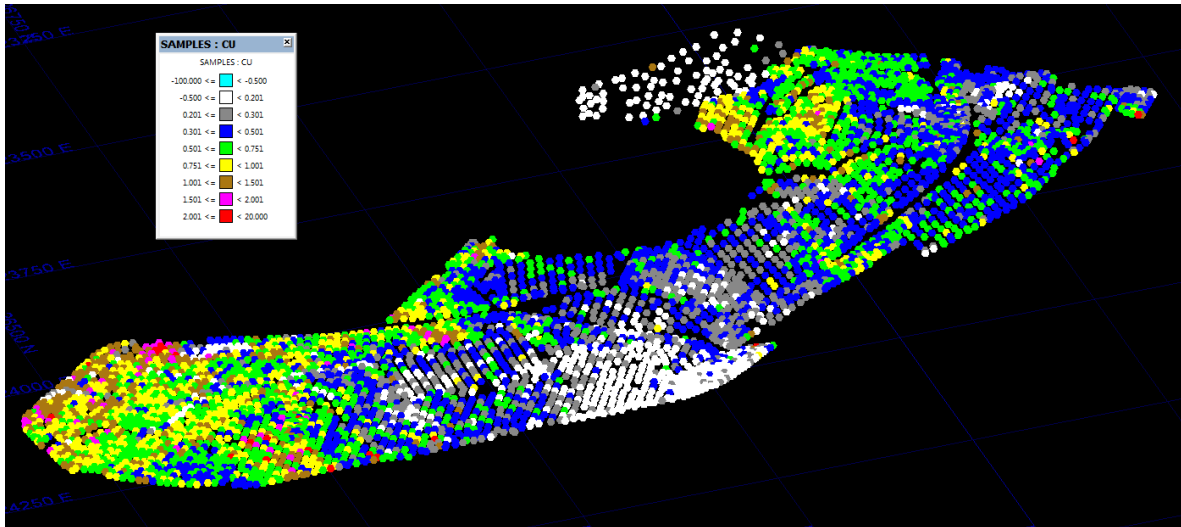
Las unidades post-mineral son las siguientes:

- Pórfidos de alta y baja ley (350 y 351)
- Chimenea Dacítica y Riolítica (900)



- Brecha de Contacto de Chimenea (910)
- Morrenas (950)
- Sobrecarga (990)

La figura siguiente muestra la población total de datos de pozos de tronadura utilizada para calcular la ley real del sector.



**Figura 6.2 Vista Isométrica de la Base de Datos de Pozos**

A partir de la información provista por los datos de pozos de tronadura, se procedió a eliminar datos aleatoriamente para generar artificialmente diferentes grillas de perforación con el objeto de emular mallas regulares más espaciadas (30x30, 60x60 y >120 m)

La imagen adjunta muestra el resultado de “eliminar” datos aleatoriamente respetando una grilla “ficticia” para obtener cada una de las mallas de perforación que posteriormente serán simuladas.

Como se puede apreciar la cantidad de información disminuye dramáticamente al replicar mallas de reconocimiento menos densas.

La malla de Pozos (BH) cuenta con 5511 datos, la malla de 30 con 810; la malla de 60 con 273 y la de 120 con 94.

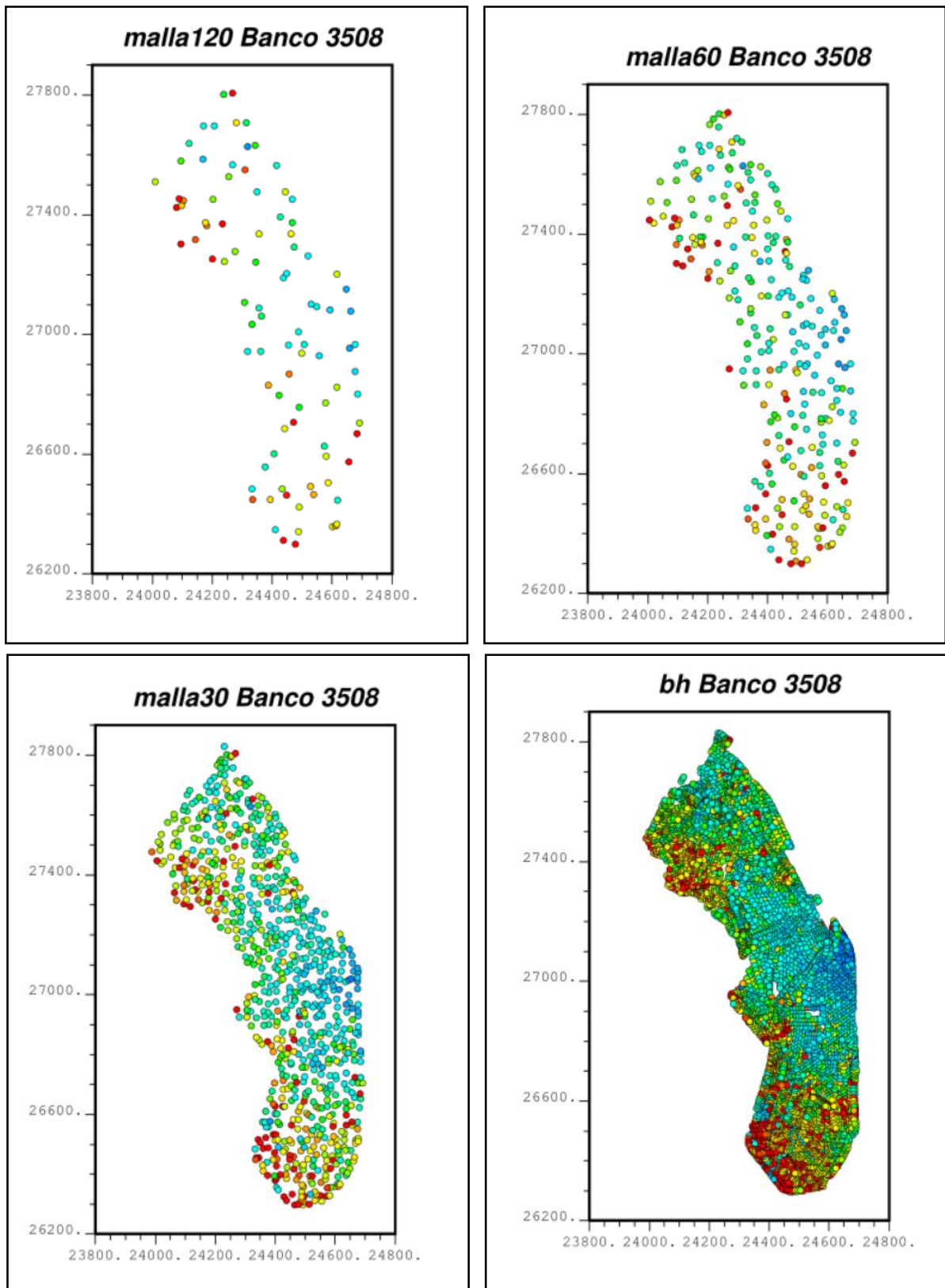


Figura 6.3 Generación de mallas de perforación menos densa a partir de Pozos

El atributo litológico, utilizado como control de estimación, fue asignado al modelo de bloques a partir de la litología del pozo de tronadura según “vecino más cercano”.

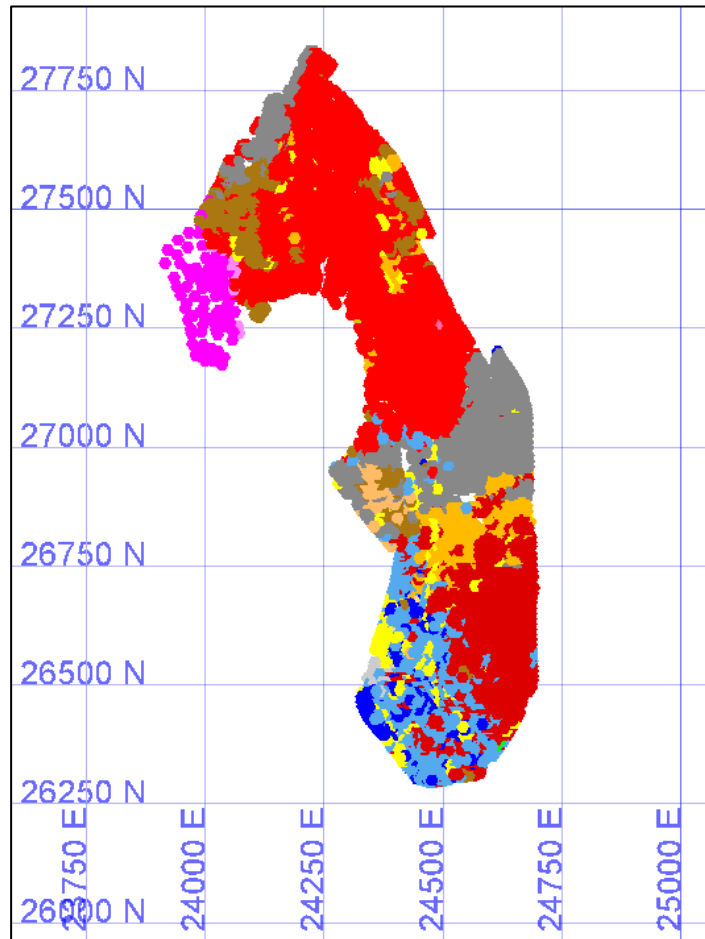


Figura 6.4 Asignación de Atributo litológico

### Variografía

La estimación de la variable cobre se utiliza como elemento de control para el modelamiento litológico asociado al concepto de centros mineralizados, cuyas leyes disminuyen gradualmente en forma lateral en las rocas de caja. Se exceptúan las unidades post mineral, constituida por pórfidos y chimeneas dacítica y riolítica, donde la mineralización presenta una menor intensidad o está prácticamente ausente.

Se calcularon variogramas experimentales relativos por pares. Se escogió este variograma pues reduce la variabilidad del variograma tradicional y no elimina la anisotropía zonal asociado a la deriva.

La dirección dominante para el sector se muestra en la figura 6.5.

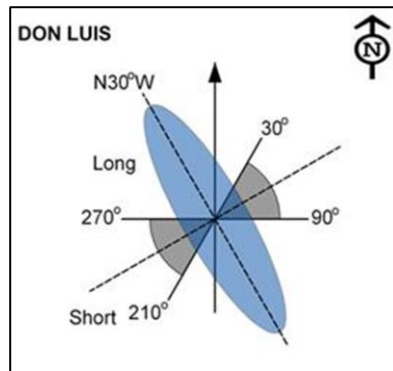


Figura 6.5 Dirección preferencial de continuidad de leyes

## Simulación

El objetivo de usar simulaciones condicionales siempre está relacionado con la característica fundamental de las estimaciones que es reproducir la **variabilidad** espacial real de la variable regionalizada.

La figura 6.6 muestra el resultado de 4 simulaciones condicionales para una misma malla de perforación, en este caso la malla de 120 x 120. Al comparar las imágenes, se aprecia que los valores de cobre asignados a cada uno de los “nodos” varían sustancialmente.

La simulación produce valores numéricos en los nodos de una grilla cerrada en comparación con la malla de muestreo existente.

A partir de los mismos datos es posible construir una “infinitad” de realizaciones o estimaciones, que lógicamente difieren entre sí, pero que a la vez cumplen con una condición fundamental que es “honrar” los datos utilizados.

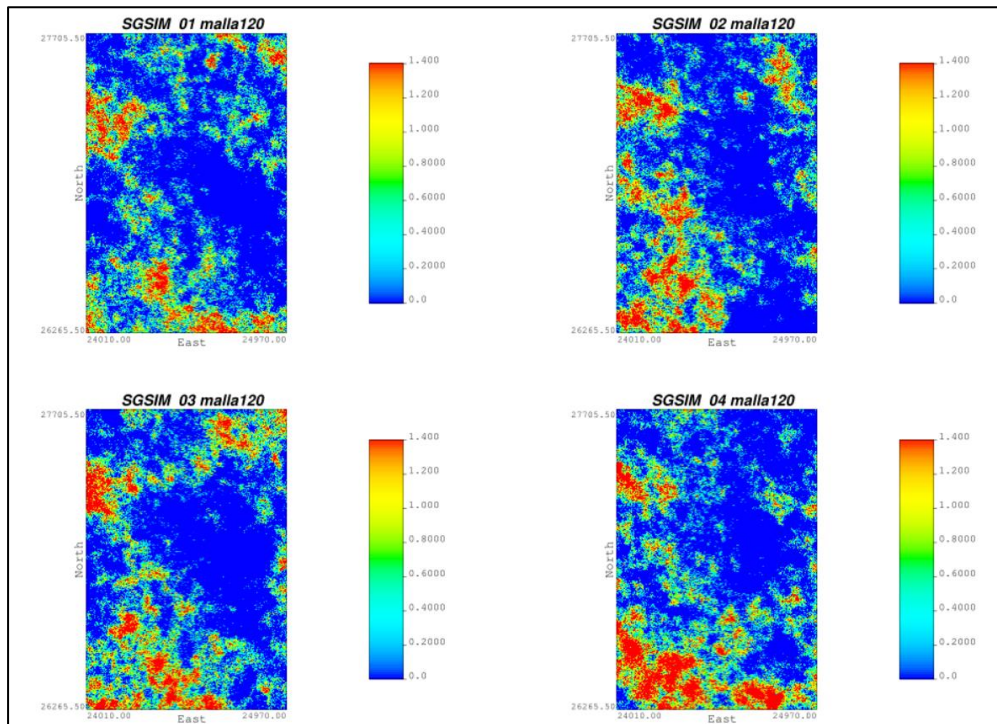


Figura 6.6 Ejemplo de 4 simulaciones para un mismo set de datos (malla 120)

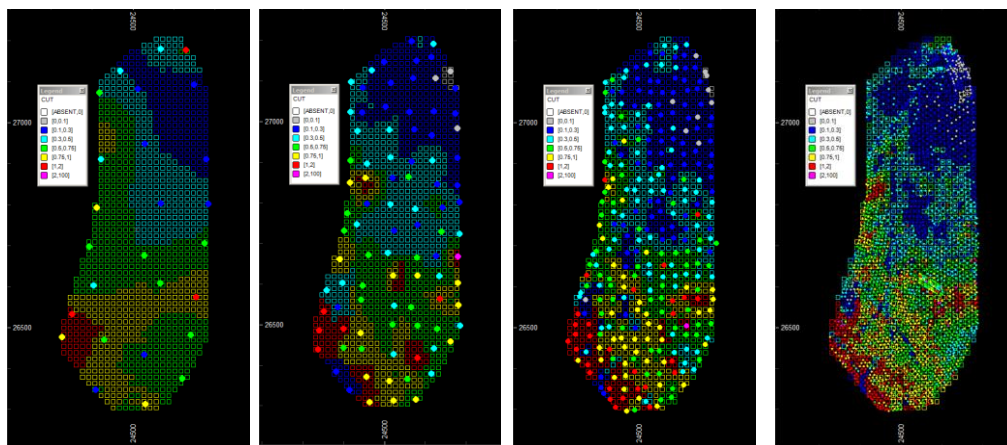
El objetivo de construir 50 simulaciones para la variable cobre sobre cada una de las mallas de reconocimiento propuesta, es estudiar el efecto en los índices económicos del plan minero los cuales, en gran medida, dependen del tonelaje y de la ley.

Sin realizar las simulaciones se tendría un solo valor, dada una ley de corte, para el tonelaje y para la ley según una malla.

Al contar con las 50 realizaciones se puede calcular 50 estimaciones del valor presente lo cual permiten caracterizar, probabilísticamente el cumplimiento del valor comprometido a partir de los índices económicos del plan minero.

La figura 6.7 muestra el resultado de una realización de cobre para cada una de las 3 mallas propuestas (120x120; 60x60 y 30x30) además del resultado de la estimación en la malla “referente” o “real” (8x8)

En ella se puede apreciar que a medida que la información se hace menos densa, la estimación de cobre resulta cada vez más “burda”, vale decir, pierde coherencia respecto de la situación real (imagen de la derecha: Pozos)



Malla 120 x 120

Malla 60 x 60

Malla 30 x 30

Pozos

Figura 6.7 Comparación de “UNA” realización por malla propuesta

### Distribución de Ley Media de Cobre

Realizadas las 50 realizaciones por malla de perforación, se procedió a generar los histogramas de distribución por ley media a ley de corte 0,50% de CuT (actual ley de corte) para cada una de las mallas.

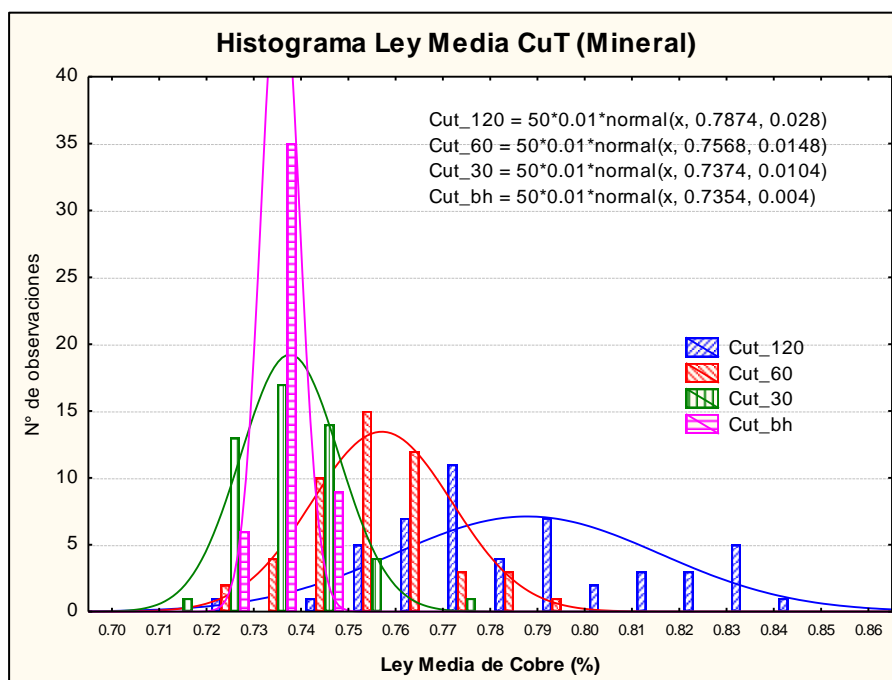


Figura 6.8 Distribución ley media de Cobre por malla

La tabla siguiente presenta la ley media y variabilidad (Desv. Est.) de la ley de cobre por tipo de malla.

	Ley CuT %	$\sigma$ Cut %
<b>Malla 120</b>	0.787	0.028
<b>Malla 60</b>	0.757	0.015
<b>Malla 30</b>	0.737	0.010
<b>Pozos</b>	0.735	0.004

**Tabla 6.2 Ley media y variabilidad CuT según malla de perforación**

De la figura y tabla anterior se puede apreciar:

- La ley media del material sobre ley de corte varía por tipo de malla, siendo la media más alta de la malla 120 m (0,787%) mientras que la malla de 30 m alcanza un 0,737%, muy cercana al valor entregado por los pozos de tronadura (bh: blasthole)
- La variabilidad asociada a la ley de cobre para cada malla cambia sustancialmente a medida que se incorpora información. Para mallas poco densas, malla 120 m, la desviación estándar es 0,028%. Ésta disminuye progresivamente hasta alcanzar 0,010% para la malla de 30 m.
- A pesar de la gran densidad, siempre existirá variabilidad, incluso al considerar los pozos de tronadura, sin embargo ésta es muy baja, 0,004%.
- Del histograma se desprende que sólo la malla de 30 m tiene un comportamiento similar a los pozos, fundamentalmente en términos de ley media.

Esto se traduce en que al estimar los recursos con información insuficiente, se puede conocer la variabilidad de los datos, sin embargo, producto de la selección de las muestras o elección de perforaciones (sondajes a realizar durante la campaña), el valor de ley media puede estar sesgado respecto del valor real (caso de la malla de 120 m y 60 m).

### **Distribución Tonelaje Mineral**

Realizadas las 50 realizaciones por malla de perforación, se procedió a generar los histogramas de distribución de tonelaje mineral (sobre ley de corte 0,50%) para cada una de las mallas. De este modo se puede determinar el tonelaje “mineral” contenido en el volumen estudiado, el cual iría a beneficio o tratamiento (material procesado)

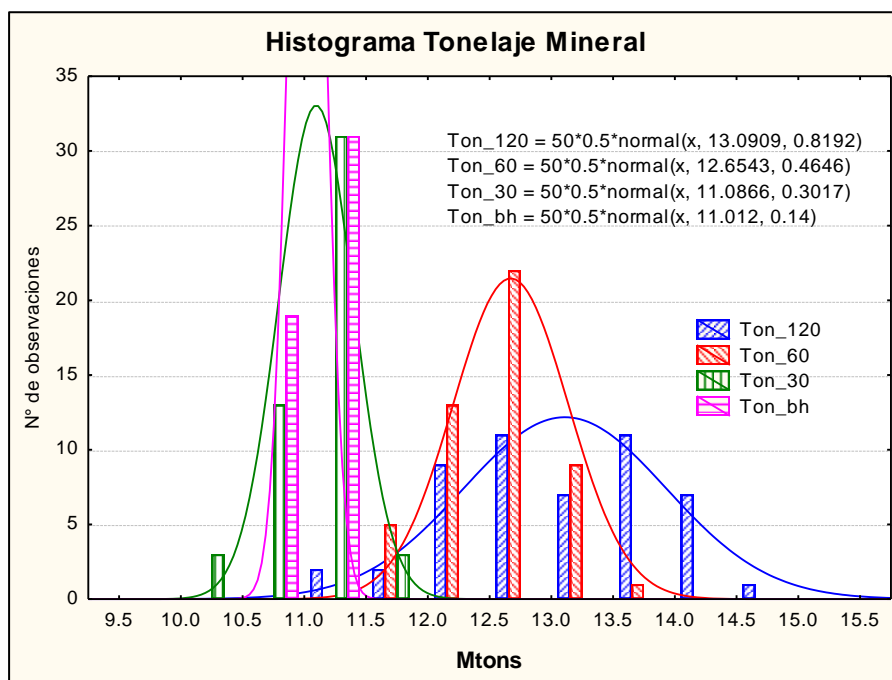


Figura 6.9 Distribución Tonelaje Mineral por malla

La tabla siguiente presenta la ley media y variabilidad (Desv. Est.) del tonelaje mineral por tipo de malla.

	<b>Tonelaje tons</b>	<b><math>\sigma</math> Tonelaje tons</b>
<b>Malla 120</b>	13,090,896	819,234
<b>Malla 60</b>	12,654,274	464,612
<b>Malla 30</b>	11,086,632	301,707
<b>Pozos</b>	11,011,982	140,044

Tabla 6.3 Ley media y variabilidad Tonelaje Mineral según malla de perforación

De la figura y tabla anterior se puede destacar:

- El tonelaje de mineral varía por tipo de malla, siendo el tonelaje estimado más alto aquel de la malla 120 m (13,09 Mt) mientras que la malla de 30 m alcanza un 11,086 Mt, muy cercana al valor entregado por los pozos de tronadura (bh: blasthole)
- La variabilidad asociada a la estimación de tonelaje para cada malla cambia sustancialmente a medida que se incorpora información. Para mallas poco



densas, malla 120 m, la desviación estándar es 819.324 tons. Ésta disminuye progresivamente hasta alcanzar 301.707 tons para la malla de 30 m.

- Sólo la estimación considerando la malla 30 m, muestra un comportamiento coherente respecto del tonelaje real estimado a partir de los pozos de tronadura.

## 7. EVALUACIÓN ECONÓMICA PROYECTO DE EXPOLARACIÓN GEOLÓGICA

### 7.1. Introducción

Codelco tiene como misión “desplegar, en forma responsable y ágil, toda la capacidad de negocios mineros y relacionados, con el propósito de maximizar en el largo plazo su valor económico y su aporte al Estado de Chile”.

Para lograr estos objetivos, genera y desarrolla proyectos de inversión que, partiendo de un proceso de planificación estratégica, adicionan valor a la Corporación.

Se entenderá como proyecto a una “**idea**” de inversión, que busca un objetivo, y que genera beneficios y costos futuros, cuantitativos y cualitativos, durante varios períodos, normalmente más de un año, y que no requiere de inversiones adicionales para lograr su objetivo.

Se considera inversión a la asignación de recursos económicos para el logro de un objetivo, que podrá efectuarse mediante dinero (caja) o a través del aporte de activos existentes (equipos, instalaciones, terrenos, u otros). Asimismo, la inversión podrá ser financiada mediante el presupuesto de capital, como por ejemplo en el caso de los API, o mediante el presupuesto de operaciones, como en los gastos diferidos (PGD)

### 7.2. Definición Evaluación Económica de Proyectos

En términos generales, se entenderá la **evaluación económica** como una **herramienta** que busca ordenar y entregar información relevante a quien debe tomar decisiones de inversión, para crear valor mediante la asignación y uso eficiente de los recursos.

En términos específicos, el objetivo de la evaluación será determinar el valor económico de un determinado proyecto de inversión, es decir el incremento o creación de valor que reporta el asignar una determinada cantidad de recursos económicos a un proyecto específico. Asimismo, la evaluación permitirá generar información sobre la rentabilidad y el riesgo de un proyecto, lo que siempre será acompañado del análisis de aspectos cualitativos que aporten información relevante para la toma de decisión.

### **7.3. Principios de Evaluación Económica**

Los principios que normalmente rigen las metodologías de evaluación económica de proyectos son:

#### **Enfoque de Evaluación: Privada versus Social**

La evaluación privada de proyectos, se caracteriza por determinar los costos y beneficios del proyecto desde el punto de vista particular de un agente económico específico, en este caso Codelco, valorizados a precios de mercado.

El enfoque de la evaluación social, determina el aporte de valor desde el punto de vista de la sociedad (o país), utilizando para ello precios sociales.

#### **Maximización del Valor como Objetivo Principal**

La metodología de evaluación se basa en el principio que la empresa es un agente económico racional que busca como objetivo principal la maximización de su valor. Este principio se refleja en que la empresa, enfrentada a dos alternativas de inversión, preferirá la que le entregue mayor valor, manteniendo las otras variables constantes.

#### **Flujos de Caja como Elemento Central**

El elemento económico central de trabajo de la evaluación es el flujo de caja, entendido como flujos monetarios efectivos que genera el proyecto en cada período. El flujo de caja provee la metodología básica para ordenar grandes cantidades de información y obtener los indicadores económicos de un proyecto.

#### **Consideración de Efectos Relevantes de un Proyecto**

Mientras en la evaluación de un proyecto nuevo (“greenfield”) todos sus costos y beneficios deben ser considerados en el análisis, en un proyecto que se ejecuta sobre activos en operación (ejemplo ampliaciones, “brownfield”) solo deben incluirse aquellos que son relevantes, es decir, aquellos que son atribuibles y que se generan efectivamente por adoptar la decisión de invertir en un proyecto.

## **No Combinar Decisiones Separables**

Una buena metodología de evaluación no debe combinar decisiones o proyectos que son separables. Esto conduce a que dentro de una cartera de inversiones, cada proyecto debe ser evaluado en sus propios méritos.

El riesgo que se corre al evaluar un paquete de proyectos es que aunque el paquete tenga un VAN positivo y una rentabilidad aceptable, dentro del paquete los proyectos buenos estén subsidiando a proyectos malos. El separar una cartera en sus proyectos individuales para la evaluación económica permite identificar claramente aquellos proyectos que tienen un valor negativo o no cumplen con los criterios de rentabilidad aceptables, lo que permite optimizar de esta manera el valor y rentabilidad de la cartera.

### **7.4. Evaluación Económica del Negocio**

El objeto de la evaluación es determinar el aporte o creación de valor que genera el aceptar una decisión de inversión. Para ello, se utilizará el método de Evaluación Incremental que postula la siguiente metodología.

El valor del proyecto dependerá de todos los flujos de caja adicionales o incrementales que se deriven de la aceptación del proyecto. Calculando el valor presente de los flujos de caja incrementales, se obtendrá la estimación del incremento de valor generado por el proyecto para el dueño.

Esta metodología de evaluación equivale a construir dos flujos de caja: uno de la situación con proyecto, y otro de la situación sin proyecto, que se denominará situación de referencia. Luego se calculará el flujo de caja incremental, como la diferencia entre el flujo con proyecto versus el flujo sin proyecto. Finalmente, se actualizará el flujo de caja incremental para determinar el valor presente del proyecto (incremento de valor o creación de valor del proyecto).

El flujo de caja de cualquier proyecto se compone costos y beneficios, que se pueden clasificar en tres categorías básicas:

- Los flujos de inversiones
- Los flujos de ingresos (o beneficios)
- Los flujos de costos

$$\text{VAN} = \text{Beneficios} - \text{Costos} - \text{Inversión (Proyecto)}$$

Así la evaluación del beneficio económico se realizará en función de determinar el valor presente para las inversiones, costos e ingresos proyectados para un año, con los parámetros establecidos por las orientaciones comerciales para planificación 2015, ORCOM 2015 definidos para Evaluación de Proyectos.

## Parámetros Económicos para Evaluación Base

En la elaboración y evaluación del presente ejercicio se consideró los costos de producción actuales de DAND para el año 2015 y las orientaciones comerciales emitidas en noviembre 2014 por la Gerencia Corporativa de Estudio y Diseño Estratégico.

### Costos de Operación

Para la estimación de los costos de operación se considera el detalle de acuerdo a la estructura del presupuesto año 2015, cuyos grandes ítems son el costo de Movimiento de Material y el costo del Mineral Tratado (planta)

El costo Movimiento Material considera los siguientes ítems:

- Perforación
- Tronadura
- Transporte
- Equipos Auxiliares
- Chancado Primario
- Actividades Staff y Apoyo

La tabla 7.1 muestra por cada una de las actividades el valor en US\$ por tonelada de material removido, el que alcanza 3,24 US\$/ton.

Mina Rajo			Perforación	Tronadura	Carguio	Transporte	Equipos Auxiliares	Chancado Primario	Actividades Staff y Apoyo (*)	FASE MINA
Directos	Costo Laboral	Real KUSS	2,546	37	2,221	12,170	4,055	901	12,846	34,776
	Insumos Operacionales	Real KUSS	2,693	21,007	2,115	10,118	482	3,307	2,484	42,206
	Combustibles	Real KUSS	932	0	2,532	14,476	2,161	0	107	20,208
	Energía Eléctrica	Real KUSS	456	0	1,136	818	0	3,180	605	6,195
	Servicios de Terceros	Real KUSS	789	3,289	374	258	5,107	76	7,815	17,707
	Depreciación y Amortización	Real KUSS	1,645	12	6,172	19,596	2,885	8,917	80,530	119,757
Actividades Subrepartibles	Mantenimiento	Real KUSS	10,793	29	27,388	36,337	13,527	14,695	825	103,594
	Actividades Internas	Real KUSS	259	278	535	792	274	248	7,087	9,473
Cargo / Abono	Servicios Tratamiento Interdivisional	Real KUSS	0	0	0	0	0	0	0	0
	Servicios Tratamiento Terceros	Real KUSS	0	0	0	0	0	0	0	0
	Servicios Tratamiento Minerales	Real KUSS	0	0	0	0	0	0	0	0
	Credito/Debido Bienes Servicios	Real KUSS	-685	0	-685	-685	0	-2,738	-685	-5,477
	Desarrollos Mina	Real KUSS	0	0	0	0	0	0	-29,818	-29,818
	Proyectos	Real KUSS	0	0	0	0	1	0	-41,570	-41,569
	Mantenimiento Diferido	Real KUSS	0	0	0	0	0	0	0	0
		Real KUSS								
Total		Real KUSS	19,429	24,653	41,787	93,880	28,494	28,585	40,226	277,053
Total Sin Descuentos Desarrollos Mina		Real KUSS	19,429	24,653	41,787	93,880	28,493	28,585	111,614	348,440
Q	Material Total Movido (Lastre+Mineral)	TMH	70,542,097							
US\$/ Q	Costo Unitario Caja Tratar 1 Tonelada	US\$/ TMH	0.25	0.35	0.50	1.05	0.36	0.28	0.44	3.24

Tabla 7.1 Costo Unitario Movimiento de Material

El costo de tratamiento de la planta considera los siguientes ítems:

- Molienda
- Flotación
- Relaves y Aguas
- Actividades Staff y Apoyo

La tabla 7.2 muestra por cada una de las actividades el valor en US\$ por tonelada de mineral tratado, el que alcanza 9,9 US\$/ton.

CONCENTRADORA		Chancado Fino	Molienda SAG	Molienda Convencional	Molienda Unitaria	Flotación Colectiva	Flotación Selectiva	Filtración y Secado	Relaves y Recuperación de Aguas	Actividades Staff y Apoyo	TOTAL FASE
Directos	Costo Laboral	Real KUSS 1,437	592	383	0	381	684	338	4,795	21,146	29,755
	Insumos Operacionales	Real KUSS 4,548	44,594	18,569	4,061	20,189	7,425	1,096	10,336	2,231	113,048
	Combustibles	Real KUSS 0	3	0	0	234	322	606	66	29	1,259
	Energía Eléctrica	Real KUSS 4,973	38,921	13,536	2,797	8,783	1,200	1,383	9,583	65	81,241
	Servicios de Terceros	Real KUSS 16	129	14	2	65	1,544	26	14,216	5,191	21,204
Actividades Subrepartibles	Depreciación y Amortización	Real KUSS 13,155	12,650	3,214	500	7,925	5,644	1,644	47,289	10,829	102,820
	Mantenimiento	Real KUSS 27,087	28,170	13,821	1,349	7,661	5,887	7,929	18,894	5,866	114,665
	Actividades Internas	Real KUSS 268	527	332	19	514	675	647	631	3,249	6,861
Cargo / Abono	Servicios Tratamiento Interdivisional	Real KUSS 0	0	0	0	0	-924	0	0	0	-924
	Servicios Tratamiento Terceros	Real KUSS 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Servicios Tratamiento Minerales	Real KUSS 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Credito/Debido Bienes Servicios	Real KUSS -3,423	-26,015	-9,585	-2,054	-6,846	-685	-685	-6,161	0	-55,453
	Desarrollos Mina	Real KUSS 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Proyectos	Real KUSS 0	0	0	0	0	18	4	-1,018	8	-988
Mantenimiento Diferido	Real KUSS 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Total		Real KUSS 48,061	99,572	38,285	6,675	38,906	21,790	12,987	98,629	48,594	413,497
Total Sin Abonos Tratamientos		Real KUSS 48,061	99,572	38,285	6,675	38,906	22,714	12,987	98,629	48,594	414,421
Q	Mineral Tratado	TMS 31,345,317									
US\$/ Q	Costo Unitario Caja Tratar 1 Tonelada	US\$/ TMS 1.1	2.8	1.1	0.2	1.0	0.5	0.4	1.6	1.2	9.9

Tabla 7.2 Costo Unitario Tratamiento de Mineral

Para el caso de estudio, banco 3500 del Rajo Don Luis, el tonelaje total de material involucrado alcanza 23,522 mt. La ley y tonelaje considerados “real” se obtienen a partir de la simulación de la información más densa, aquella provista por la perforación de pozos de tronadura.

Con estos antecedentes es posible calcular el **costo total** de extraer y procesar este material además del **beneficio** que por ello se obtiene.

$$\text{Costo} = \text{Tons. Movidas} * \text{US\$/tons. movida} + \text{Tons Tratadas} * \text{US\$/tons. tratada}$$

<b>COSTOS</b>			
<b>Item</b>	<b>KTons</b>	<b>Costo Unitario US\$/tons</b>	<b>Costo Total KUS\$</b>
<b>Movimiento</b>	23,522	3.24	76,213
<b>Tratamiento</b>	11,012	9.9	109,019
			<b>185,231</b>

Tabla 7.3 Costo movimiento y tratamiento

## Beneficios

Para valorizar los ingresos se utiliza la producción involucrada en el ejercicio al valor de la libra de cobre LME (promedio año 2015: 249,55 US\$/lb) considerando una recargo por TCRC de 618 US\$/ton.

<b>BENEFICIOS</b>		
<b>Item</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
<b>Tratamiento</b>	Ktons	11,012
<b>Ley</b>	%	0.735
<b>Recuperación</b>	%	88
<b>Producción</b>	tons	71,263
<b>valor tmf</b>	US\$/ton	5,500
<b>TCRC</b>	US\$/ton	618
<b>Beneficio</b>	<b>KUS\$</b>	<b>347,913</b>

Tabla 7.4 Beneficios de Producción

De este modo es posible establecer cuál es el valor real del negocio si, de antemano, se conociera con mucha precisión qué ley y tonelaje de **mineral** están contenidos en los 23,522 mt. El valor del negocio asciende a **162,681 mUS\$**.

Los parámetros comerciales utilizados para costo y beneficio se adjuntan en la tabla siguiente.

PARÁMETROS		
Item	Unidad	Valor
Tratamiento	Ktons	11,012
Ley	%	0.735
Recuperación	%	88
valor libra	US\$/lb	2.4955
TCRC	US\$/ton	618
Costo Mina	US\$/ton	3.24
Costo Planta	US\$/ton	9.90

Tabla 7.5 Parámetros Comerciales

### 7.5. Valor Estimado del Negocio según malla de reconocimiento

En el capítulo nº6 se obtuvo, utilizando simulación condicional, la variabilidad a que está sujeta la estimación de tonelaje y ley de cobre respecto de la densidad de información que es utilizada o está disponible.

Utilizando la variabilidad de ley y tonelaje para cada una de las mallas en el volumen estudiado, además de los parámetros comerciales que permiten calcular el Costo y Beneficio del ejercicio de extraer los 23,522 Mt, se pudo construir el histograma con la distribución del VAN.

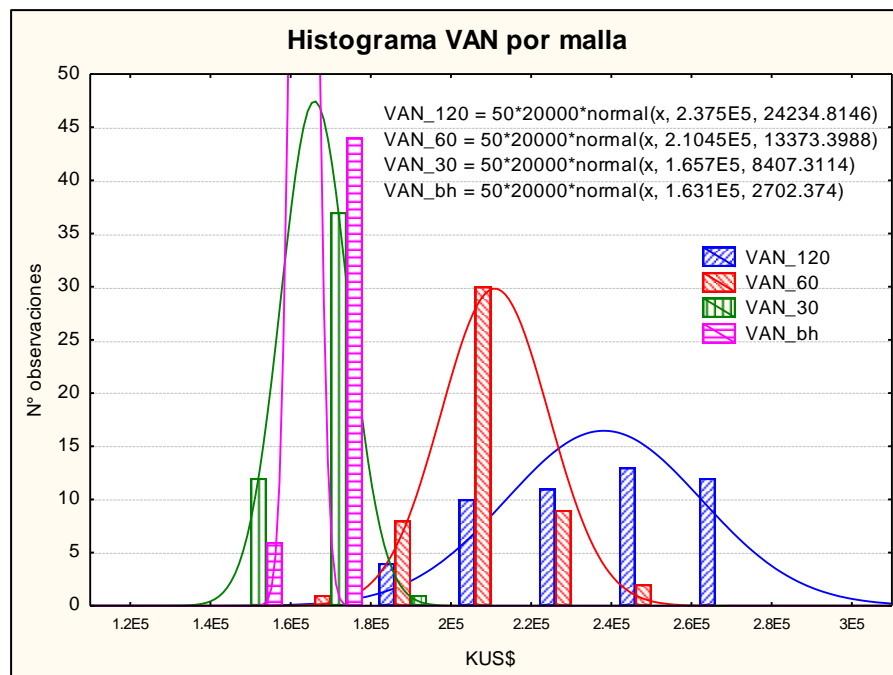


Figura 7.1 Distribución VAN del Plan por malla

De la figura anterior se puede destacar:

- El valor del plan varía por tipo de malla. La malla de 120 m presenta el valor medio más alto (237,5 mUS\$) mientras que la malla de 30 m alcanza 165,7 mUS\$, muy cercana al valor entregado por los pozos de tronadura (bh: blasthole)
- Además se aprecia un sesgo importante del valor medio de VAN estimado para las mallas de 120 m y 60 m respecto del valor “real” (curvas desplazadas hacia la derecha) Hay herramientas estadísticas que permiten dar cuenta del sesgo, sin embargo, cuando la información de insuficiente, es difícil de detectar.
- La variabilidad asociada a la estimación del valor del negocio para cada malla cambia sustancialmente a medida que se incorpora información. Para mallas poco densas, malla 120 m, la desviación estándar es 24,2 mUS\$. Ésta disminuye progresivamente hasta alcanzar 8,4 mUS\$ para la malla de 30 m.
- Sólo la estimación del VAN utilizando la malla 30 m, muestra un comportamiento coherente respecto del tonelaje real estimado a partir de los pozos de tronadura, 165,7 mUS\$ v/s 163,1 mUS\$ (real)

La tabla siguiente muestra el valor de VAN promedio, el VAN al 95% de confianza, su dispersión, el VAN en Riesgo Teórico y Real respecto del valor considerado real.

Dado que cada una de las mallas presenta una distribución normal, fue posible calcular la desviación estándar y el valor del Plan al 95% de confianza.

El VAN en riesgo teórico al 95% de confianza para cada una de las mallas va de 48, 47 mUS\$ a 16,81 mUS\$. Esto considerando que la ley media calculada para cada una de las mallas es correcta. Sin embargo, se sabe que existe un fuerte sesgo entre la ley media calculada y el valor real, de modo que fue posible calcular el Van en Riesgo real del

Malla	VAN				
	Valor Prom KUS\$	Desv. Est. KUS\$	95% KUS\$	VAN en Riesgo	VAN en Riesgo
				Teórico KUS\$	Real KUS\$
Real	163,097			0	0
30x30	165,703	8,407	148,888	16,815	2,606
60x60	210,450	13,373	183,703	26,747	47,352
120x120	237,500	24,235	189,031	48,470	74,403

Tabla 7.6 VAN en Riesgo Teórico y Real por malla



## 7.6. Costo del Proyecto (Campaña de Perforación)

El costo de un proyecto de perforación radica fundamentalmente en la cantidad de metros a perforar dentro del volumen a extraer para alcanzar una determinada densidad de información (mala de perforación).

Esto se traduce en calcular un índice de toneladas a extraer por metro de muestra perforado para alcanzar la densidad de información que cada una de las mallas requiere.

La tabla siguiente presenta el costo en que se incurre para alcanzar diferentes grados de reconocimiento.

Malla previa Campaña	Indice a cumplir por malla	Tonelaje a Extraer	Metros Perforados	Metros necesarios para alcanzar malla 30x30	Valor metro de Perforación	Valor Proyecto	Diferencia Valor Proyecto entre mallas
	ton/m	Ktons	m	m	US\$/m	KUS\$	KUS\$
30 x 30	2,430	23,522	9,680	0	382	0	
45 x 45	5,468	23,522	4,302	5,378	382	2,054	2,054
60 x 60	9,720	23,522	2,420	7,260	382	2,773	719
90 x 90	21,870	23,522	1,076	8,604	382	3,287	514
120 x 120	38,880	23,522	605	9,075	382	3,467	180

Malla previa Campaña	Indice a cumplir por malla	Tonelaje a Extraer	Metros Perforados	Metros necesarios para alcanzar malla 45x45	Valor metro de Perforación	Valor Proyecto	Diferencia Valor Proyecto entre mallas
	ton/m	Mt	m	m	US\$/m	US\$	KUS\$
30 x 30	2,430	23,522	9,680	0	382	0	
45 x 45	5,468	23,522	4,302	0	382	0	0
60 x 60	9,720	23,522	2,420	1,882	382	719	719
90 x 90	21,870	23,522	1,076	3,227	382	1,233	514
120 x 120	38,880	23,522	605	3,697	382	1,412	180

Malla previa Campaña	Indice a cumplir por malla	Tonelaje a Extraer	Metros Perforados	Metros necesarios para alcanzar malla 60x60	Valor metro de Perforación	Valor Proyecto	Diferencia Valor Proyecto entre mallas
	ton/m	Mt	m	m	US\$/m	US\$	KUS\$
30 x 30	2,430	23,522	9,680	0	382	0	
45 x 45	5,468	23,522	4,302	0	382	0	0
60 x 60	9,720	23,522	2,420	0	382	0	0
90 x 90	21,870	23,522	1,076	1,344	382	514	514
120 x 120	38,880	23,522	605	1,815	382	693	180

Malla previa Campaña	Indice a cumplir por malla	Tonelaje a Extraer	Metros Perforados	Metros necesarios para alcanzar malla 90x90	Valor metro de Perforación	Valor Proyecto	Diferencia Valor Proyecto entre mallas
	ton/m	Mt	m	m	US\$/m	US\$	KUS\$
30 x 30	2,430	23,522	9,680	0	382	0	
45 x 45	5,468	23,522	4,302	0	382	0	0
60 x 60	9,720	23,522	2,420	0	382	0	0
90 x 90	21,870	23,522	1,076	0	382	0	0
120 x 120	38,880	23,522	605	471	382	180	180

Tabla 7.7 Costo de la Campaña de Perforación según grado de reconocimiento deseado

Se puede apreciar que mientras menor es el grado inicial de reconocimiento y mayor es la densidad de la información deseada post campaña de perforación, el valor del proyecto aumenta.

Además, a medida que se hace más densa la malla deseada (60 m, 45 m, 30 m) el valor de la campaña de reconocimiento se incrementa (se triplica).

El gráfico siguiente muestra la relación que existe entre el costo del proyecto según malla de perforación deseada v/s el estado inicial de reconocimiento.

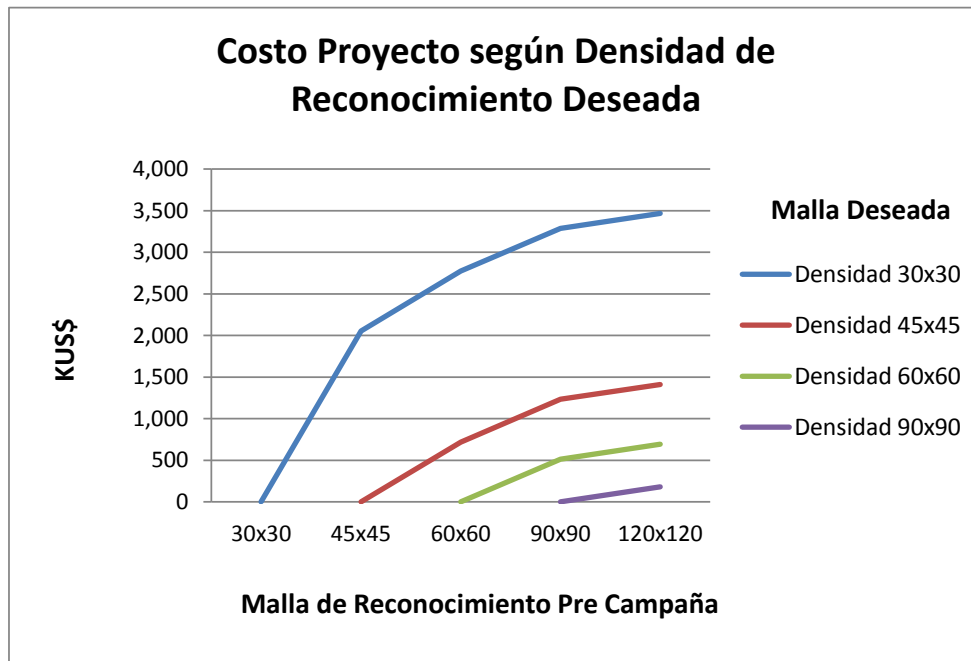


Figura 7.2 Costo Proyecto v/s malla inicial y final

### Valor de la Inversión (Proyecto)

La evaluación económica que corresponde en este caso es comparar el costo del proyecto (costo de obtener la información) respecto del VAN en riesgo asociado al grado de reconocimiento previa realización de la campaña. Este VAN en Riesgo es realmente la **incertidumbre** que está asociada a la estimación del VAN producto de la falta de información.

Para el sector en estudio y considerando los parámetros anteriores, se calculó el valor del negocio al extraer íntegramente los recursos considerando el tonelaje y ley reales, vale decir, aquel que se calcula con la máxima densidad de información (pozos de tronadura)

Este valor, que es considerado el valor referencial, equivale a **162,681 mUS\$**.

El costo de la inversión (costo proyecto) resulta de la cantidad de metros perforados por el costo unitario del metro (calculado en capítulo 4) equivalente a 381 US\$/m.

Por otra parte, para cada una de 3 las mallas simuladas, se calculó la distribución del VAN con los mismos parámetros económicos que el ejercicio referencial o caso base.

Para cada uno de los 3 escenarios, se compara el valor del VAN real v/s el VAN promedio calculado para cada malla más el costo de perforación para alcanzar la malla de 30 m, malla que se muy coherente a la realidad calculada a partir de los pozos de tronadura.

Malla	VAN			
	Valor Prom KUS\$	VAN en Riesgo Real KUS\$	Costo Campaña KUS\$	Delta VAN KUS\$
Real	163,097	0		
30x30	165,703	2,606		
60x60	210,450	47,352	2,773	44,579
120x120	237,500	74,403	3,467	70,936

Tabla 7.8 VAN del Proyecto v/s densidad perforación

## 8. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El principal producto que el área de geología entrega al negocio minero es la construcción del **modelo de bloques** – representación espacial de macizo rocoso - donde cada bloque contiene información litológica, leyes de elementos con valor económico e impurezas, % recuperación, Work Index (WI). Sin embargo, es la mena principal, en este caso el cobre, la que juega un rol relevante en la valorización económica de cada bloque bajo la forma de “fino contenido”. Además, se debe tener presente que, la ejecución de sondajes aporta información base para el plan del punto de vista de la geotecnia a través su mapeo y obtención de probetas para ensayos y estudios. Esta información apoya la definición del diseño de taludes bajo ciertos índices de aceptabilidad y parámetros permitidos.

El costo asociado a la ejecución de campañas de sondajes tiene como principal ítem la tarea de perforación propiamente tal con un 72% (277 US\$/m) del total costo total. El restante 28% está compuesto por costos de administración y estudios geotécnicos, metalúrgicos e hidrogeológicos.

Realizada la simulación (50 realizaciones) para las 3 mallas de reconocimiento propuestas se pudo establecer que, a ley de corte 0,50%, existe una mayor variabilidad para la ley y tonelaje en la malla menos densa y una menor para la más densa respecto de la distribución considerada como “real” (pozos de tronadura)

	Mineral			
	Ley CuT %	$\sigma$ Cut %	Tonelaje tons	$\sigma$ Tonelaje tons
<b>Malla 120</b>	0.787	0.028	13,090,896	819,234
<b>Malla 60</b>	0.757	0.015	12,654,274	464,612
<b>Malla 30</b>	0.737	0.010	11,086,632	301,707
<b>Pozos</b>	0.735	0.004	11,011,982	140,044

Al considerar estos 50 valores de ley y tonelaje para cada una de las 3 mallas dentro del algoritmo de cálculo para el valor del “plan” (dentro del volumen simulado) es posible comprobar que éste presenta una variabilidad mayor para la malla de reconocimiento menos densa y una menor variabilidad para la más densa.

Malla	VAN	
	Valor Prom KUS\$	Desv. Est. KUS\$
<b>Real</b>	<b>163,097</b>	
<b>30x30</b>	165,703	8,407
<b>60x60</b>	210,450	13,373
<b>120x120</b>	237,500	24,235

Al considerar el valor promedio del negocio para cada una de las mallas, se pudo establecer la diferencia que existe respecto del valor del plan del Caso Base y así definir el valor en riesgo respecto de la situación real.

Malla	VAN				
	Valor Prom	Desv. Est.	95%	VAN en Riesgo	VAN en Riesgo
	KUS\$	KUS\$	KUS\$	Teórico KUS\$	Real KUS\$
Real	163,097			0	0
30x30	165,703	8,407	148,888	16,815	2,606
60x60	210,450	13,373	183,703	26,747	47,352
120x120	237,500	24,235	189,031	48,470	74,403

Dado que el valor de un proyecto de perforación (captura de información base) tiene directa relación con la densidad de datos que se quiere alcanzar, el valor del proyecto es menor al perforar más. Sin embargo, dicho costo es una fracción menor del valor en riesgo del plan.

Al comparar el valor en riesgo para cada una de las mallas de perforación v/s el valor de una campaña (independiente de su densidad) se puede apreciar que éste es sustancialmente mayor, de modo que invertir en información geológica impacta el riesgo potencial asociado al plan.

Malla	VAN			
	Valor Prom	VAN en	Costo	Delta VAN
	KUS\$	Riesgo Real KUS\$	Campaña KUS\$	KUS\$
Real	163,097	0		
30x30	165,703	2,606		
60x60	210,450	47,352	2,773	44,579
120x120	237,500	74,403	3,467	70,936

Invertir en información es un buen negocio, minimiza el valor en riesgo abordando derechamente el principal problema de las estimaciones, **la variabilidad y el sesgo**.

#### Corolario

Los fenómenos geológicos han estado presentes desde los albores de la génesis de la Tierra, los cuales nos acompañan hasta hoy y son responsables de múltiples acontecimientos. La depositación de minerales puede, eventualmente, dar origen a un depósito mineral que, dependiendo de múltiples factores, puede llegar a convertirse en un yacimiento.

Los depósitos se generaron hace millones de años de modo que sus características ya están definidas. Nuestro trabajo, como Geólogos, es intentar caracterizarlas de la forma

posible utilizando las herramientas disponibles, dando cuenta de la variabilidad propia de la naturaleza.

Codelco y particularmente la GRM (Gerencia de Recursos Mineros) ha impulsado decididamente que la categorización de los Recursos se basa en el conocimiento que se logra en temas fundamentales como **Continuidad Geológica, Calidad de Información y la utilización de diversas herramientas Geo-Matemático-Estadísticas**. Al mismo tiempo, desarrolló la metodología para transformar estos Recursos en Reservas Mineras, incorporando aspectos técnicos-económicos, del negocio minero y su entorno.

Los objetivos que motivaron el desarrollo de esta metodología son fundamentalmente los que se describen a continuación:

- Calificar cualitativamente esta componente del riesgo del negocio minero.
- Priorizar estudios de ingeniería y reconocimiento geológico.
- Actualizar conceptos y prácticas de categorización de recursos incorporando aspectos relevantes, tales como la calidad de las muestras, modelo geológico y del protocolo de estimación.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

1. Alfaro, M., Estimación de Recursos Mineros, Mayo, 2005
2. Alfaro, M La Simulación Condicional en un Depósito Minero, 2008
3. Codelco, IFC-083, Instructivo Financiero Contable Corporativo, Control de Gastos de Obras Mineras Rev. n°5, 2014
4. Codelco, SIC-M-008, Manual para Proyectos de Obras Mineras Rev. n°3, 2014
5. Codelco, NCC-31, Norma Categorización de Recursos y Reservas Rev. n°3, 2013
6. Codelco, Informe de Recursos y Reservas, División Andina 2014
7. Lerchs. H, I. F Grossman. "Optimum design of Open-pit Mines", Transactions of the Canadian, Institute of Mining and Metallurgy, Volume LXVII, pp. 17-24, 1965.
8. Rubio. E. Apuntes del Curso "Tópicos Avanzados en Planificación Minera", Universidad de Chile, 2008.
9. Whittle. J, "Four -X User Manual", Whittle Programming Pty Ltd., Melbourne, Australia, 1998.