



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

ANÁLISIS DEL RIESGO POR RETRASO DE FRENTES CRÍTICAS EN EL PROYECTO NUEVO NIVEL MINA - ANDES NORTE

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

FRANCISCA IGNACIA TABILO CHRISTOFOROU

PROFESOR GUÍA
ENRIQUE JOFRÉ ROJAS

MIEMBROS DE LA COMISIÓN
GERARDO DÍAZ RODENAS
JACQUES CLERC PARADA

SANTIAGO DE CHILE
2019

**RESUMEN EJECUTIVO DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL
TÍTULO DE: Grado de Magister en Gestión y Dirección de
Empresas.**

POR: Francisca Ignacia Tabilo Christoforou

FECHA: 17/06/2017

PROFESOR GUÍA: Enrique Jofré Rojas

**ANÁLISIS DEL RIESGO POR RETRASO DE FRENTES CRÍTICAS EN EL
PROYECTO NUEVO NIVEL MINA - ANDES NORTE**

En función de los dos principales riesgos incidentes en el término en plazo del Proyecto NNM - Andes Norte y a su programa objetivo existen dos rutas críticas, variabilidad fecha inicio producción y variabilidad puesta en marcha del sistema de manejo de minerales. Asociadas a estas dos rutas se identifican dos frentes críticos, Xc 3AS y Rampa Acceso Chancador Inferior. El objetivo de este trabajo es cuantificar el riesgo por retraso de dichas frentes críticas, determinando su impacto económico y permitiendo una mejor gestión en las medidas de control.

Se realizó un levantamiento y análisis de datos para cada actividad del ciclo minero, desarrollando un modelo de simulación monofrente y validándose mediante su aplicación sobre las dos frentes críticas, generando un error menor al 3%. Se evaluó el impacto en los plazos de término, mediante el modelo evaluación de riesgo generado (VaR), obteniendo distribuciones de VAN del Proyecto para el desfase de sus dos frentes críticas.

Para el caso del Xc 3AS, el VAN más probable es \$MUS 194.415 y el valor más seguro es \$MUS 109.284, mientras la probabilidad que el VAN sea el del caso base es un 32,4%. El VaR, en función al caso determinístico, es \$MUS 104.760. Finalmente el valor seguro es un 51% del VAN definido en el caso base, mientras la pérdida esperada es \$MUSD 19.595. Dada la holgura de 12,6 meses del plan objetivo con respecto a las fechas API, se tiene una probabilidad de 98,2% de cumplir con la ejecución de los trabajos.

En el caso de la Rampa Acceso Chancador Inferior, el VAN más probable es \$MUS 89.721 y el valor más seguro es -\$MUS 61.430. El VaR es \$MUS 275.474, lo que es mayor al VAN determinístico estimado, por lo cual sería muy riesgoso seguir con el proyecto en estas condiciones, considerando que la probabilidad que el VAN sea el del caso base es un 0,6%. Confirmando los resultados generados por el modelo, actualmente el Proyecto desarrolla una alternativa llamada "Rampa Directa", de 200 metros menos ejecutables que la rampa original. Con esta opción y dada la holgura de 8,4 meses del plan objetivo con respecto a las fechas API, la probabilidad de terminar a tiempo la puesta en marcha del sistema de manejo de minerales es un 80,6%.

El modelo generado puede ser de utilidad para la actualización, validación y toma de decisión con relación a los riesgos del Proyecto. Siendo posible su utilización indistintamente en otros procesos, como actividades de montaje. Además de cuantificar beneficios de posibles mejoras en el ciclo y traducirlos a mejoras en el VAN del Proyecto, mediante la simulación de casos.

*“El futuro pertenece a
quienes creen en la belleza de
sus sueños”*

Eleanor Roosevelt

AGRADECIMIENTOS

Agradezco y dedico este trabajo de tesis a mi marido, Julio, porque es la persona más importante de mi vida, porque su ayuda fue fundamental durante todo este proceso, por ser mi guía y mi mentor, porque estuvo conmigo incluso en los momentos más complejos, y de esos hubo bastantes. Este proyecto no fue fácil, hubo risas y lágrimas, pero siempre estuvo motivándome y ayudándome.

Agradezco también a mi hermana Alejandra, mi concho, por poner su sonrisa y buen humor por sobre todas las cosas, y por estar siempre pero siempre cuando se necesitaba.

Gracias a los dos, por creer, esto es para ustedes, los amo

Agradezco también a la Vicepresidencia de Proyectos de Codelco, donde desempeño labores, por haberme permitido utilizar la información que se presenta en este trabajo y a la retroalimentación generada por mis colaboradores. Espero poder entregar todos mis nuevos conocimientos y liderar nuevas instancias de cambio que generen un Codelco más productivo y enfocado a las personas y al negocio.

Agradezco por último a los profesores del Magister en Administración y Gestión – Industria Minera, por todo el conocimiento y tiempo que dedicaron en impartir sus clases, permitiéndonos extender nuestra visión de ingenieros rígidos y entregarnos una mirada global y enfocada al negocio, que sin duda hubiera sido muy compleja de obtener de forma autónoma. Gracias profesores Enrique Jofré y Gerardo Díaz, por guiarme de una manera muy peculiar en las últimas andanzas de este MBA.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO.....	i
AGRADECIMIENTOS.....	iii
TABLA DE CONTENIDO	iv
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS	vii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 ANTECEDENTES GENERALES.....	1
1.2 OBJETIVOS.....	2
1.2.1 Objetivos generales.....	2
1.2.2 Objetivos específicos	2
1.3 METODOLOGÍA	3
1.3.1 Gestión del Riesgo.....	3
1.3.2 Cuantificación del riesgo.....	3
2. MARCO CONCEPTUAL.....	5
2.1 MINERÍA.....	5
2.1.1 Desarrollos Horizontales	5
2.1.2 Ciclo Minero	5
2.2 RIESGO.....	7
2.2.1 Gestión de riesgos en proyectos.....	7
2.2.2 Metodologías de medición de riesgos	9
2.2.3 Cuantificación del riesgo en proyectos.....	10
2.2.4 Valor en Riesgo.....	13
3. CONTEXTO ESTRATÉGICO	15
3.1 DIVISIÓN EL TENIENTE	15
3.2 PROYECTO NUEVO NIVEL MINA.....	16
3.3 PROYECTO ANDES NORTE NUEVO NIVEL MINA.....	19
4. GESTIÓN DEL RIESGO PNNM – ANDES NORTE	23
4.1 IDENTIFICACIÓN RIESGOS PROYECTO.....	23
4.2 CUANTIFICABILIDAD Y AGRUPACIÓN DE RIESGOS PROYECTO.....	25

4.3	JUSTIFICACIÓN RUTA Y FRENTES CRÍTICAS	26
4.3.1	Variabilidad Fecha Inicio Producción	27
4.3.2	Variabilidad Puesta En Marcha Sistema Manejo De Minerales	28
5.	DESARROLLO DEL ANALISIS DE RIESGO	29
5.1	COMPARACIÓN Y ELECCIÓN DE MÉTODO DE MEDICIÓN DE RIESGOS A UTILIZAR.....	29
5.2	DISEÑO EXPERIMENTAL	29
5.3	DISEÑO DEL MODELO.....	31
5.3.1	Proceso Modelo Monofrente	31
5.3.2	Proceso Modelo Evaluación de Riesgo (VaR)	39
6.	EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	45
6.1	CASO BASE O DETERMINÍSTICO.....	45
6.1.1	Evaluación Económica Caso Base.....	45
6.1.2	Consideraciones Frentes Críticas	48
6.1.3	Costos Variables Retraso.....	48
6.2	DETERMINACIÓN DEL VaR.....	49
6.2.1	Determinación del Tiempo Total de Ciclo.....	49
6.2.2	Determinación del VAN	50
6.2.3	Evaluación del Riesgo.....	52
7.	CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES.....	55
7.1	CONCLUSIÓN.....	55
7.2	RECOMENDACIONES FUTUROS ESTUDIOS	56
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	58
9.	ANEXOS.....	61
	ANEXO A: CÁLCULO DEL TIEMPO DE CICLO	61
	ANEXO B: BONDAD DE AJUSTE	63
	ANEXO C: EVALUACIÓN ECONOMICA ANDES NORTE	64
	ANEXO D: GASTOS GENERALES	65

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Metodología de Trabajo (Elaboración propia).....	4
Ilustración 2: Esquema Ciclo Minero Método Convencional. (Putzmeister, 2008)	6
Ilustración 3: Proceso general de Gestión de Riesgos (Elaboración propia)	8
Ilustración 4: Explicación Grafica VaR para un Horizonte t y un intervalo de confianza c.(Jaureguizar Francés, 2009).....	13
Ilustración 5: Modelo Isométrico Mina El Teniente.(Codelco, 2011)	15
Ilustración 6: Principales procesos Mina. (Vicepresidencia de Proyectos Codelco, 2010).....	16
Ilustración 7: Plan minero PNNM 137 ktpd (Vicepresidencia de Proyectos Codelco, 2010).....	17
Ilustración 8: Principal Infraestructura a utilizar. (Vicepresidencia de Proyectos Codelco, 2017a).....	18
Ilustración 9: Perfil típico Manejo de materiales.(Vicepresidencia de Proyectos Codelco, 2010).....	19
Ilustración 10: Disposición de las Minas y Paneles PNNM según PDA (Vicepresidencia de Proyectos Codelco, 2017b)	20
Ilustración 11: Etapas PDA 2017 División El Teniente (Vicepresidencia de Proyectos Codelco, 2017b).....	21
Ilustración 12: Ubicación Proyecto Andes Norte (Gandara, 2017).....	21
Ilustración 13: Planta PDA (Gandara, 2017).....	22
Ilustración 14: Matriz de evaluación y rangos de magnitud de riesgo.....	23
Ilustración 15: Agrupación de Riesgo (Elaboración propia)	25
Ilustración 16: Programa Objetivo (Vicepresidencia de Proyectos Codelco, 2018)	26
Ilustración 17: Ruta Crítica Minería (Vicepresidencia de Proyectos Codelco, 2018)	27
Ilustración 18: Ruta Crítica Sistema de Manejo de Mineral Definitivo	28
Ilustración 19: Diseño Experimental (Elaboración propia)	30
Ilustración 20: Proceso de Simulación de Monofrente y VaR (Elaboración Propia)	31
Ilustración 21: Ciclo minero monofrente (Elaboración propia)	32
Ilustración 22: Diseño Conceptual Monofrente (Elaboración propia)	37
Ilustración 23: Simulación Monofrente (Elaboración propia).....	38
Ilustración 24: SIPOC Modelo Monofrente (Elaboración propia).....	39
Ilustración 25: SIPOC Modelo Monofrente (Elaboración propia).....	44
Ilustración 26: Ingresos Evaluación Caso Base (Elaboración propia).....	46
Ilustración 27: Costos Evaluación Caso Base (Elaboración propia)	47
Ilustración 28: Flujo de Caja Evaluación Caso Base (Elaboración propia)	47
Ilustración 29: Tiempo Total de Ciclo Xc 3AS (Elaboración propia).....	49
Ilustración 30: Tiempo Total de Ciclo Rampa A.C.I (Elaboración propia)	50

Ilustración 31: Distribución VAN Xc 3AS (Elaboración propia)	51
Ilustración 32: Distribución VAN R.A.C.I (Elaboración propia).....	51
Ilustración 33: Distribución del VAN y Valor en Riesgo (Vicepresidencia de Proyectos Codelco, 2017e).....	53
Ilustración 34: Holgura Xc 3AS (Elaboración propia)	53
Ilustración 35 (Elaboración propia)	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Riesgos identificados (Carrillo, 2017b).....	24
Tabla 2: Hitos del Proyecto (Vicepresidencia de Proyectos Codelco, 2018)	26
Tabla 3: Comparativa métodos de estimación VaR (Elaboración Propia).	29
Tabla 4: Detalle fortificación frentes críticas (Elaboración propia)	33
Tabla 5: Tamaño muestral por actividad (Elaboración propia).....	35
Tabla 6: Distribución para cada Actividad (Elaboración propia).....	36
Tabla 7: Tiempo de ciclo Xc 3AS (Elaboración propia).....	38
Tabla 8: Tamaños muestrales (Elaboración propia)	41
Tabla 9: Distribución de los parámetros (Elaboración propia)	42
Tabla 10: Parámetros entrada modelo (Elaboración propia)	42
Tabla 11: Comportamiento variable desfase (Elaboración propia)	43
Tabla 12: Parámetros de entrada Evaluación determinística (Elaboración Propia)	45
Tabla 13: Resultado evaluación económica Determinística.....	46
Tabla 14: Situación inicial frentes críticas (Elaboración propia).....	48
Tabla 15: Gastos Generales (Elaboración propia)	48
Tabla 16: Parámetros Estadísticos (Elaboración propia)	52
Tabla 17: Evaluación de Riesgo Frentes Críticas (Elaboración propia)	52
Tabla 18: Fechas Hito Proyecto (Elaboración propia).....	54

1. INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES GENERALES

El Proyecto Nuevo Nivel Mina (PNNM) es uno de los 6 proyectos estructurales de CODELCO, busca explotar reservas mineras de la División El Teniente que se encuentran 300 metros bajo los niveles actuales. Estas reservas alcanzan los 2.019 millones de toneladas de mineral, con una ley media de 0,86% de Cobre y 220 ppm de molibdeno y una tasa de producción esperada de 131.000 tpd que permitirán asegurar la continuidad operacional de la División por los próximos 50 años.

El PNNM - Andes Norte posee una serie de objetivos en materia de montos de inversión, plazo de implementación, seguridad y salud de sus trabajadores, calidad de las instalaciones, capacidad de producción, cumplimiento de la normativa ambiental, laboral, civil y en general de la legislación vigente. Dependiendo de cómo el Proyecto sea administrado, todos estos elementos podrían verse afectados por distintas situaciones de riesgo.(Carrillo, 2017a)

Todas estas fuentes de incertidumbre afectan en menor o mayor medida al valor global de un proyecto, por ende, resulta de vital importancia evaluar y cuantificar el riesgo con el fin de elaborar medidas que permitan mitigar las amenazas, potenciar las oportunidades y aumentar la confiabilidad.(Campbell, 2013)

La construcción, última etapa en la cadena de valor de un proyecto minero, está compuesta por actividades que siguen una secuencia lógica establecida. La mayoría de estas actividades tienen fuentes de incertidumbre que condicionan su duración y costo, y dado que muchas de estas actividades se llevan a cabo en paralelo es muy probable que el proyecto tenga varias rutas críticas. (Campbell, 2013)

En particular, el Proyecto posee dos rutas críticas, es decir, dos rutas que condicionan el término del proyecto. La primera relacionada con las obras a realizar en el sector de Footprint para el inicio de producción, frente Xc 3AS en el Nivel de Transporte, y la segunda asociada al término del Sistema de Manejo de Mineral, frente Rampa Acceso Chancador Inferior en el Nivel de Acceso Chancador.

Se espera generar un modelo cuantitativo de las de las actividades unitarias de avance asociadas a la preparación de una mina subterránea y utilizarlo como una herramienta de apoyo a la gestión de los riesgos, a la planificación minera y a la optimización de los recursos constructivos. Contribuyendo al Proyecto Nuevo

Nivel Mina Andes - Norte a cuantificar con mayor precisión el riesgo constructivo involucrado, respaldado de una forma técnica y económica.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivos generales

Cuantificar el riesgo por retraso de las frentes críticas del Proyecto Nuevo Nivel Mina - Andes Norte, Xc 3AS y Acceso Chancador Inferior, determinando el impacto económico y permitiendo como fin último una mejor gestión en las medidas de control.

1.2.2 Objetivos específicos

- Realizar un levantamiento, clasificación y análisis de datos para cada una de las actividades del ciclo minero.
- Desarrollar un modelo de simulación Monofrente que realice una unidad básica de explotación y que refleje la utilización de recursos mediante la subdivisión de trabajos y sus restricciones.
- Validar el modelo propuesto mediante su aplicación sobre las frentes críticas Xc 3AS y Rampa Acceso Chancador Inferior.
- Evaluar el impacto de las incertidumbres en los plazos de término, mediante distintos escenarios, sobre el valor económico del Proyecto.

1.3 METODOLOGÍA

1.3.1 Gestión del Riesgo.

En este caso se revisará el estado del arte asociado a la gestión del riesgo y la productividad. También se revisará el estado de la práctica, identificando ejemplos en minería asociados a la gestión del riesgo y la productividad.

Se estudiará y analizará la actual administración del riesgo en el Proyecto NNM-Andes Norte, en función de sus riesgos inherentes a la construcción.

Por último, se realizará un levantamiento de la situación actual de los desarrollos horizontales del proyecto mediante la teoría de la clasificación del trabajo, dividiendo el tiempo de las actividades productivas y las no contributarias de cada uno de los procesos muestreados.

1.3.2 Cuantificación del riesgo.

Como primer paso, se escogerá el método de cuantificación del riesgo a utilizar.

Se realizará un levantamiento de la situación actual de los desarrollos horizontales del proyecto, mediante la clasificación del trabajo en cada etapa del ciclo minero, utilizando la metodología Lean de categorización del trabajo.

Posteriormente se definirán los parámetros, variables y restricciones necesarios para la construcción del modelo de simulación. Dicho modelo simulará el flujo del proceso de las actividades del ciclo minero, mediante el uso del programa @Risk.

Se validará el modelo generado contrastando el ejercicio de simulación con los datos de ciclo reales del PNNM - Andes Norte.

Finalmente, se realizará la evaluación económica mediante la metodología Valor del Riesgo (VaR), desde donde se harán los análisis para las conclusiones y recomendaciones.

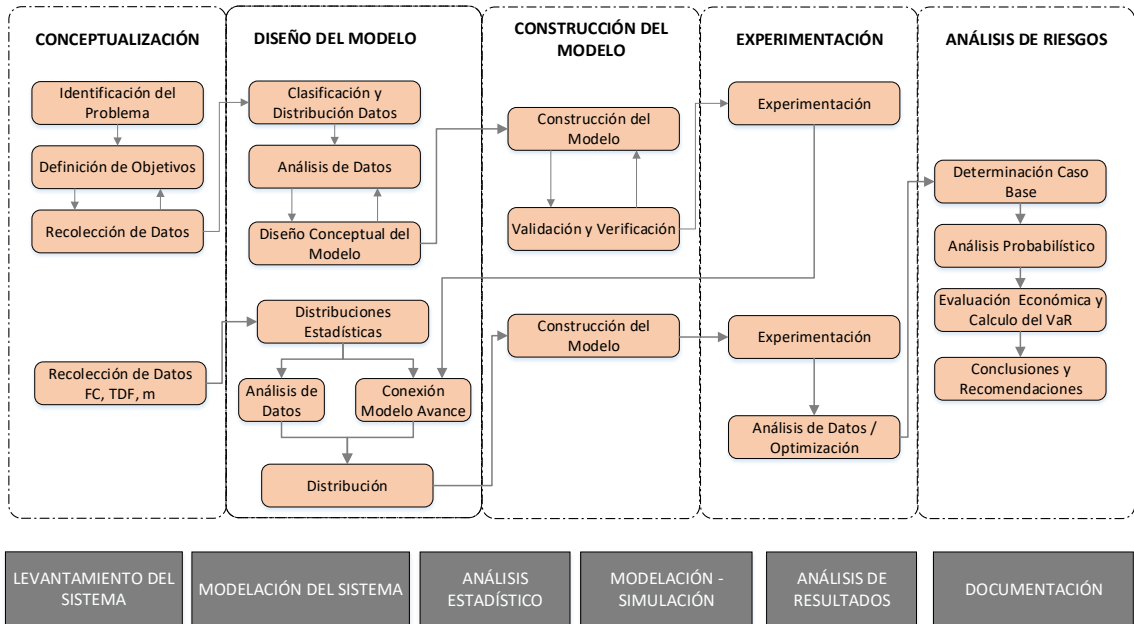


Ilustración 1: Metodología de Trabajo (Elaboración propia)

2. MARCO CONCEPTUAL

2.1 MINERÍA

2.1.1 Desarrollos Horizontales

Se denomina desarrollo horizontal a las diferentes labores subterráneas a realizar en un proyecto minero, dentro de ellas se consideran: galerías y cruzados en el subnivel de ventilación y nivel de acarreo respectivamente, calles y zanjales en el nivel de producción y finalmente accesos principales, cabeceras, cruzados y conexiones en el nivel de hundimiento (Contreras, 2016). Si bien no necesariamente son los ítems más relevantes en el presupuesto del proyecto, son las obras de mayor extensión temporal pudiendo pertenecer a la ruta crítica del proyecto ya que el término de esta etapa condiciona el inicio de las obras civiles y el posterior montaje de equipos.

Estos desarrollos se ejecutan mediante métodos mecanizados (TBM) o mediante método convencional (*Drill & Blast*). En Chile el método más utilizado es el convencional debido a sus ventajas en versatilidad constructiva: menores radio de giro y modalidad de trabajo multifrente. (Camhi, 2012).

2.1.2 Ciclo Minero

Conjunto de actividades secuenciales, unitarias y sucesivas que se repiten las veces necesarias para desarrollar a completitud una labor horizontal determinada, este proceso considera las labores de fortificación, perforación y tronadura del método convencional. (Ortiz, 2005).

De acuerdo con el esquema de la Ilustración 2, las actividades más importantes del ciclo son:

- **Extracción de Marina:** Retiro y transporte del material fragmentado producto de la tronadura de la labor a piques o sistemas de transporte que envían el material fuera de la mina a botaderos definidos. (Labrecque et al., 2012)
- **Saneamiento y Acuñadura:** El saneamiento contempla la fase de limpieza y retiro de la fortificación deteriorada producto de la tronadura, este abarca el corte de pernos y mallas remanentes. La acuñadura es el proceso de botar mediante un equipo mecanizado las rocas sueltas en la frente producto de la tronadura. (Campbell, 2013)

- **Perforación:** Generación de barrenos ya sea para pernos de fortificación o para el carguío de la frente, generalmente este proceso es realizado por equipos mecanizados (Jumbos).(López et al., 2003)
- **Fortificación:** Proceso que busca reforzar el sostenimiento del macizo rocoso, mejorando las propiedades globales de su estructura, aminorando su fracturación progresiva. (Brown, 2002). Dentro de este proceso se consideran las siguientes subactividades:
 - Instalación de Splitset.
 - Instalación y lechado de Pernos.
 - Instalación y acondicionamiento de Malla.
 - Proyección de Shotcrete.
- **Carguío de Explosivos:** Inserción de los elementos explosivos y accesorios detonantes en los barrenos perforados en la frente, existe una diversa gama de explosivos dada las condiciones de la frente y el objetivo del barreno cargado en el diagrama de disparo. (Lopez et al., 2003)
- **Tronadura:** Posterior al carguío del explosivo sucede la detonación del mismo en la secuencia programada definida en el diagrama de disparo, con el fin de disminuir la sub/sobrexcaución (Lopez et al., 2003)
- **Ventilación post tronadura:** Necesaria para la disipación de gases nocivos generados por la tronadura. Considera la aislación del sector, activación del sistema de ventilación y posterior chequeo de gases donde se verifique que las condiciones del nivel son aptas para trabajar (límites permisibles).

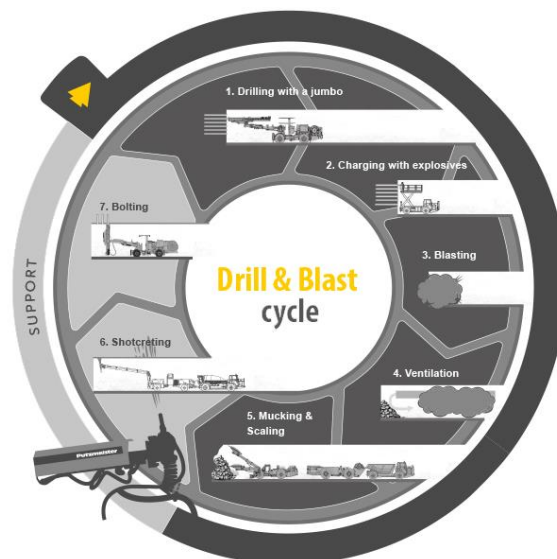


Ilustración 2: Esquema Ciclo Minero Método Convencional. (Putzmeister, 2008)

2.2 RIESGO

Las definiciones de riesgo son variadas y dependen de la visión del autor y el rubro en estudio, entre ellas, las más adecuadas a considerar son:

- Grado de incertidumbre de los rendimientos futuros. (Morgan, 1996)
- Posibilidad que existan pérdidas en las posiciones que mantienen una entidad, tanto dentro como fuera de balance, como consecuencia de los movimientos en los precios de mercado. (Comite de Basilea de Supervisión Bancaria, 1996)
- Es un evento o condición incierta que, de producirse, tiene efecto positivo o negativo en uno o más objetivos de un proyecto tales como el alcance, cronograma, costo y calidad. Diferencia la incertidumbre del riesgo considerando que este último se relaciona a eventos donde se tiene un grado de conocimiento de su ocurrencia e impacto en contraposición con la incertidumbre. (PMBOK Standard, 2015)

En el caso de este trabajo de estudio, se tendrá como centro la visión del riesgo aplicada a proyectos, por lo que es necesario considerar la administración de este.

2.2.1 Gestión de riesgos en proyectos

En administración de proyectos, la gestión del riesgo se define como una metodología sistemática en la cual se identifican, caracterizan y cuantifican los riesgos de un proyecto con el fin de responder de manera efectiva y eficiente ante ellos. Su finalidad es maximizar la probabilidad y efecto de los eventos positivos, y minimizar la probabilidad e impacto de los eventos negativos. (PMI, 2015)

El modelo de gestión de riesgo considera al menos las siguientes actividades:

- **Planificación de la Gestión de Riesgos:** Proceso de realizar y organizar las actividades de gestión de riesgo para un proyecto.
- **Identificar los Riesgos:** Proceso donde se determinan los riesgos que pueden afectar el proyecto, siendo estudiados y documentados.
- **Análisis Cualitativo de Riesgos:** Proceso de caracterización y priorización de riesgos para análisis y posteriores acciones, evaluando y combinando la probabilidad de ocurrencia e impacto de dichos riesgos.

- **Análisis Cuantitativo de Riesgos:** Proceso de análisis numérico del efecto de los riesgos identificados en relación con los objetivos generales del proyecto.
- **Planificación Respuesta a los Riesgos:** Desarrollo de opciones y acciones para mejorar las oportunidades y reducir las amenazas a los objetivos del proyecto.
- **Monitoreo y Control de Riesgos:** Implementación de los planes de respuesta a los riesgos, se rastrean los riesgos identificados, se monitorean los riesgos residuales y se identifican nuevos riesgos.



Ilustración 3: Proceso general de Gestión de Riesgos (Elaboración propia)

Este trabajo se focalizará en la cuantificación de los riesgos constructivos del proyecto por lo cual se desarrollará de manera extensiva el Análisis cuantitativo de los riesgos, asumiendo las etapas anteriores del modelo conocidas de la información del proyecto. Los análisis de este trabajo serán de utilidad para la actualización, validación y toma de decisión con relación a los riesgos ya identificados.

2.2.2 Metodologías de medición de riesgos

Si bien el VaR es una exposición al riesgo sencilla de estimar, la dificultad se encuentra en determinar la distribución de los rendimientos futuros, los cuales variaran a lo largo del tiempo, con tan solo la información que se tiene en el presente del activo. La literatura y el objetivo de la estimación han generado distintos métodos de cálculo, sin embargo estos presentan una columna vertebral común que considera 3 puntos (Jaureguizar Francés, 2009):

- Determinación de las variables del entorno que afectan el valor del activo en el tiempo.
- Estimación de la distribución de los rendimientos del activo.
- Determinación del VaR, el cual dependerá del método elegido para estimar la volatilidad futura y las hipótesis estadísticas realizadas.

La principal divergencia entre los métodos es la estimación del rendimiento futuro (VAN) del activo, los principales métodos de estimación del VaR son:

2.2.2.1 Métodos Paramétricos

Método paramétrico o analítico, de factores o métodos de Varianza-Covarianzas, se fundamenta en que los factores de riesgos predominantes del mercado son conocidos y pueden ser estimados con una distribución normal multivariada. (Eduardo Contreras & Lamothe, 2008)

2.2.2.2 Métodos No Paramétricos/ Simulación

- **Simulación Histórica:** Considerando que se conocen las variables de riesgo y su comportamiento es conocido y predecible desde valores históricos, se reordenan de menor a mayor los valores generándose un histograma en el cual puede ser definido el riesgo con un nivel de confianza. (Eduardo Contreras & Lamothe, 2008)
- **Simulación Montecarlo:** Es un proceso similar a la simulación histórica, salvo que los valores son obtenidos simulando mediante la generación aleatoria de valores de acuerdo con una distribución establecida, con lo cual es posible generar una gran cantidad de escenarios y obtener una buena aproximación más el comportamiento de las variables en riesgo mediante el estudio de sensibilidad de estas. (Eduardo Contreras & Lamothe, 2008)

2.2.3 Cuantificación del riesgo en proyectos

La gestión permite eliminar algunos riesgos, sin embargo, existen riesgos que dada su naturaleza no pueden ser mitigados ni optimizados completamente. Este límite de control corresponde al punto en donde lo que se invierte por mitigar u optimizar un riesgo supera los beneficios que reporta la mitigación/ optimización de este, este riesgo remanente se denomina Riesgo Residual (Runge, 1994). En otras palabras, invertir en información puede reducir un riesgo, pero intentar eliminarlo refleja una aproximación extremadamente conservadora e ineficiente, ya que requiere de grandes inversiones, que no garantizan resultados absolutos. (Del Castillo, 2012)

La mayoría de las decisiones de inversión son tomadas bajo escenarios que consideran riesgo. Aceptar proyectos con mayor grado de riesgo se asocia, por lo general, con exigencias de mayor rentabilidad, aun cuando los inversionistas deseen lograr el retorno más alto posible sobre sus inversiones con el mayor grado de seguridad (Sapag, 2007). Todas las variables involucradas en la toma de decisión tienen un polo determinístico (certeza absoluta) y un polo de incertidumbre pura, en adición a esto considerando la información disponible y la ambigüedad de la misma existen tres posibles aproximaciones a la cuantificación del riesgo (Taghavifard, Damghani, & Moghaddam, 2009): *Expected Monetary Value* (EVM); *Expected Opportunity Loss* (EOL) y *Expected Value of Perfect Information* (EVPI).

EVM considera el riesgo, al valor esperado de un proyecto (ganancia) multiplicado por los impactos económicos que lo afectan por sus respectivas probabilidades de ocurrencias y se compara al valor pesimista calculado para el proyecto. El método EOL es similar a EVM solo que el punto de comparación es la opción que garantice la menor pérdida esperada y el EVPI cuantifica el riesgo a partir del valor que produce el manejo de toda la información para la toma de decisión. En este estudio se descartaron los métodos EOL y EVPI ya que es poco realista contar con toda la información necesaria para la toma de decisión y porque en los proyectos mineros la toma de decisión se realiza en base a los retornos esperados y no a “pérdidas esperadas”. (Campbell, 2013)

El método EVM es planteado en base al modelo de Markowitz, el cual postula la minimización del riesgo del portafolio (en relación con la varianza de este) sujeto a un nivel mínimo de rentabilidad esperada por el inversionista. Alternativamente se puede plantear el problema dual de maximización de la rentabilidad esperada sujeto a un nivel de riesgo máximo del portafolio. (Markowitz, 1952)

La deducción del espacio de soluciones óptimas del modelo nos lleva a expresar la rentabilidad del portafolio como la rentabilidad promedio ponderada de invertir en un activo “i” cualquiera, y en la combinación “m” de los restantes activos,

deduciéndose el conocido modelo usado a la fecha en proyectos mineros para análisis de riesgo denominado “Modelo de variación de activos de capital” (CAPM).

En síntesis, se considera el riesgo en un proyecto como la utilización de una tasa de descuento “r” en el cálculo del valor actual neto (VAN). Bajo esta aproximación, el efecto de todas las fuentes de incertidumbre se encapsula en un solo número para después descontar el valor nominal de los flujos de manera acorde al riesgo global que circunda al activo.(Cruz, 2004)

Los estudios del mercado accionario de los últimos 30 años han rebatido el cálculo del CAPM debido a que se ha observado que (Fama & French, 1996):

- Se debe reestimar la tasa de descuento para cada tipo de proyecto, debido a como se encuentra correlacionada la prima con los retornos de la cartera de mercado.
- Una tasa de descuento constante en el tiempo que no considera el cambio del del impacto u ocurrencia del riesgo.
- Considera solamente el riesgo sistemático y no el riesgo total, sin embargo, para el inversionista es de interés determinar su riesgo total para una adecuada toma de decisión (volatilidad de los flujos).

En relación a la volatilidad de los flujos de caja se construye el indicador VaR o valor de los flujos de cada en riesgo que permite clasificar y priorizar dichos proyectos acorde con el riesgo total y el valor descontando el riesgo sistemático (Cruz, 2004). Básicamente el VaR mide la exposición al riesgo para cierto nivel de confianza, es decir, el monto máximo que se podría perder para ese nivel de confianza, este monto tiene asociado una probabilidad de perder.

Existen distintos tipos de formas de estimar el VaR, sin embargo para este trabajo se utilizará la metodología definida en Contreras & Cruz, (2006), desarrollada específicamente para el cálculo de este indicador en proyectos mineros en Chile. El modelo propuesto considera las siguientes etapas:

- **Definición del Caso Base del Proyecto:** Estimación del proyecto considerando los valores más probables de las diferentes variables.
- **Identificación de Riesgos del Proyecto:** Identificación clara de las variables más relevantes que impactan el proyecto.
- **Rangos Posibles para los Factores en Riesgo:** Establecer los rangos que pueden tomar las variables, no es determinar escenarios sino más bien conocer los rangos y extremos de cada variable.

- **Análisis Probabilístico:** Definir como se comportará cada variable en el corto y largo plazo mediante funciones de distribución.
- **Cálculo del Riesgo:** Con los supuestos anteriores establecidos y comprendidas las variables a trabajar es posible calcular el valor del riesgo.
- **Análisis de Sensibilidad:** Entregar retroalimentación al analista tanto en el proceso de definición de parámetros mínimos y máximos, así como las volatilidades para próximas estimaciones.

Otras metodologías utilizadas para el análisis del riesgo en proyectos mineros que no serán utilizadas en este trabajo, sin embargo, es relevante su aporte y su función como herramientas complementarias para el entendimiento y comprensión del riesgo son:

- **Evaluación de Escenarios:** Esta considera variar algunas condiciones del proyecto y evaluar la performance de este, la practica más común considera la definición de tres escenarios: Optimista, Promedio y Pesimista, la desventaja de este método es que no es posible determinar o predecir el valor esperado del proyecto, solo se puede tener una idea de los valores que podrían tomar las variables.
- **Análisis de Sensibilidad:** Considera el estudio de la variación independiente de las distintas variables sobre el valor del proyecto, es utilizado generalmente para poder direccionar los esfuerzos en la elección de las variables a mitigar sin embargo no proporciona un valor para la incertidumbre.
- **Simulación de Montecarlo:** Con el adelanto en procesadores y el libre acceso a las herramientas computacionales en los años 60 la simulación tomó gran relevancia en el cálculo de la incertidumbre del petróleo, ampliando su espectro en los siguientes años. Actualmente es utilizada para determinar y modelar las reservas de mineral, leyes, tonelajes y precios. Las herramientas de simulación actuales permiten realizar los análisis anteriores de manera simultánea siendo esenciales para la toma de decisión. Sin embargo, en proyectos de preparación minera ha sido difícil implementar la simulación como herramienta del riesgo ya que se ha malinterpretado el verdadero sentido de la gestión de riesgo tendiendo a confundirla como un aprovisionamiento de contingencias. (Araya, 2017).

2.2.4 Valor en Riesgo

El Valor en Riesgo (VaR, *Value at Risk*) es una medida del cambio potencial máximo en el valor de una cartera de instrumentos financieros para un nivel de probabilidad dado y para un horizonte temporal predefinido (Morgan, 1996), es decir, la máxima pérdida de valor de un proyecto respecto de su valor presente esperado, que podría ocurrir con un nivel de confiabilidad determinado.

De esta manera, el VaR indica el riesgo de pérdida de valor de un proyecto bajo condiciones normales, que ocurren con probabilidad razonable, y deja fuera eventos puntuales extremos que puedan ocurrir con una probabilidad muy baja.

Matemáticamente considerando un proyecto o activo en riesgo con un horizonte temporal t .

Sea $F_L(l) = \Pr(L \leq l)$ la función de distribución de pérdida de valor del proyecto y sea c el nivel de confianza solicitado, perteneciente a un intervalo de 0 a 1.

El VaR en un periodo t y para el nivel de confianza C será expresado como el menor valor l tal que la probabilidad de que la pérdida L exceda a l sea $1-c$.

$$VaR_t = \inf\{l \in R : \Pr(L > l) \leq 1 - c\}$$

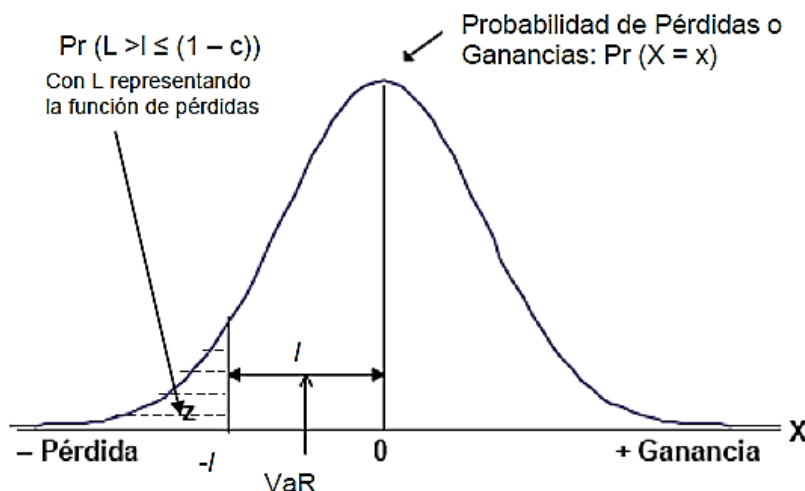


Ilustración 4: Explicación Gráfica VaR para un Horizonte t y un intervalo de confianza c .(Jaureguizar Francés, 2009)

De la explicación anterior queda definido que el VaR es un cálculo estadístico restringido mediante parámetros definidos por el ejercicio o por el analista, siendo estos:

- **Periodo Temporal:** Horizonte temporal donde se estimará el VaR, asumiendo que el activo o proyecto mantendrá sus flujos constantes o de acuerdo con lo planificado.
- **Nivel de Confianza:** Es el grado de certeza (o probabilidad), expresado en porcentaje con el que se realiza la estimación del VaR a través de un estadístico muestral. Dependiendo del estadístico y del uso de este se determina el porcentaje, sin embargo, normalmente se utiliza de 90% a 99%.

A modo de ejemplo, un 95% de confianza indica que, de 100 muestras con 100 intervalos de confianza, cabría esperar que aproximadamente 95 de los intervalos incluyeran el parámetro de población tal como la media del VaR.

Siguiendo el ejemplo de un 95% de confianza, el VaR se puede interpretar de la siguiente manera:

$$[\text{VaR} = \text{VE} - \text{VS} = \text{P50} - \text{P05}]$$

Donde,

- **Valor Esperado (VE):** Corresponde al escenario de valor más probable, dado por el percentil 50 (P50).
- **Valor Seguro (VS):** Corresponde al escenario de valor con un 95% de confianza, es decir con 95% de probabilidad de que sea igual o superior al valor simulado al percentil 5 (P05).
- **Valor en Riesgo:** Corresponde a la diferencia entre el escenario del valor esperado (VE) y el escenario de valor seguro (VS)

3. CONTEXTO ESTRATÉGICO

3.1 DIVISIÓN EL TENIENTE

El Teniente, de la División el Teniente (DET), con explotación industrial desde 1905, es la mina subterránea más grande del mundo y una de las Divisiones de la Corporación Nacional del Cobre de Chile (Codelco), el principal productor de este metal rojo en el mundo. Está ubicado en el corazón de la Cordillera de los Andes, en la comuna de Machalí, en la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins, a 2.100 metros sobre el nivel del mar y a 149 kilómetros de Santiago. Es un complejo integrado por el área Mina (Subterránea y Rajo), Planta Concentradora y Fundición con una capacidad de producción del orden de 450 KtCuf/año. Posee un alto potencial hacia el futuro, hasta hoy se explotado sólo el 20% de los recursos (2.000 Mton) y posee reservas de aprox. 2.000 Mton con una ley de 0.89% Cu para explotar en los próximos 50 años. (Codelco, 2011)

A continuación, se muestra un modelo isométrico de la mina y un esquema de sus principales procesos.

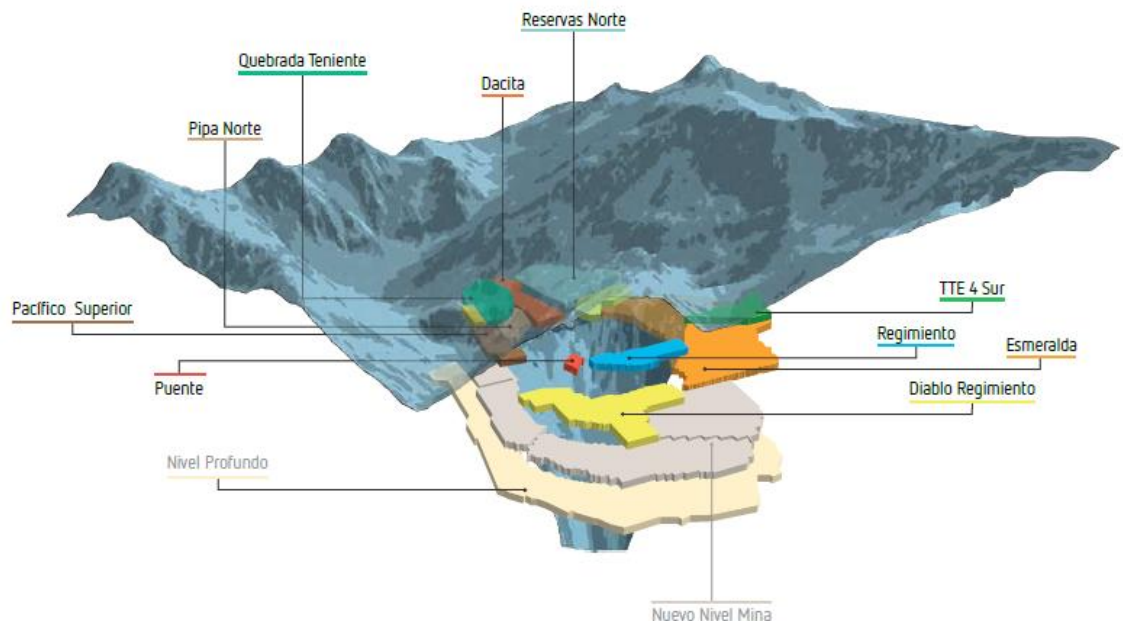


Ilustración 5: Modelo Isométrico Mina El Teniente.(Codelco, 2011)

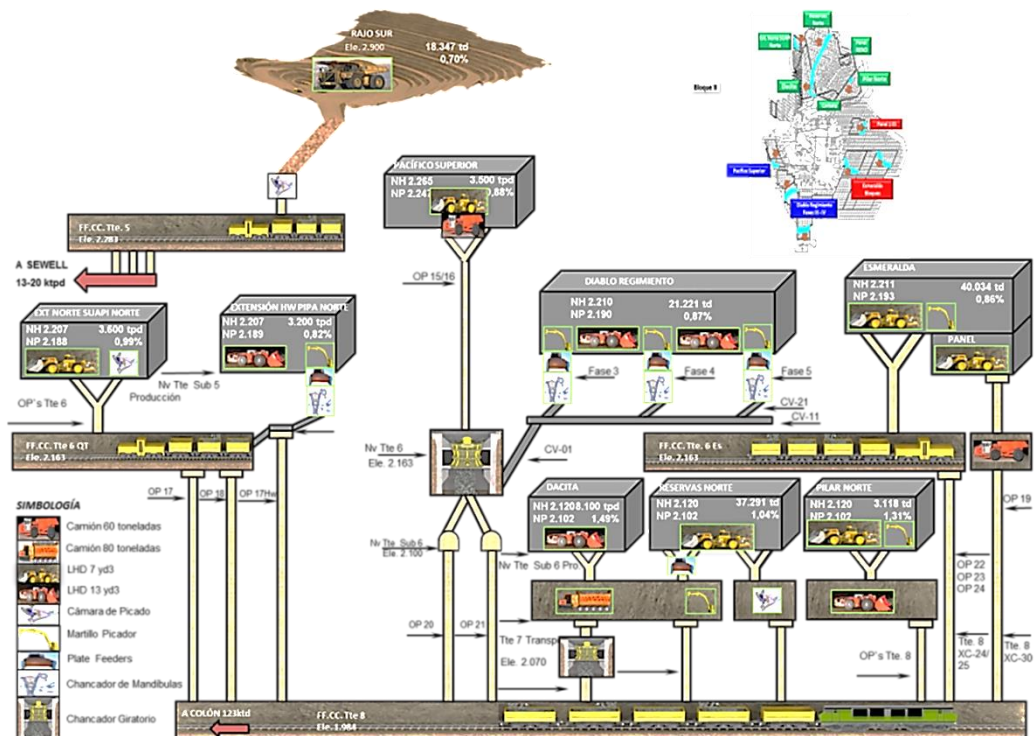


Ilustración 6: Principales procesos Mina. (Vicepresidencia de Proyectos Codelco, 2010)

3.2 PROYECTO NUEVO NIVEL MINA

El paulatino agotamiento de las reservas mineras en los sectores productivos actuales de la División el Teniente hizo necesario la evaluación e incorporación de nuevos proyectos de explotación. Es así como nace el Proyecto Nuevo Nivel Mina (PNNM), proyecto que inicialmente busca profundizar la explotación del yacimiento El Teniente, otorgando continuidad a la operación de la División.

La estrategia de ejecución del proyecto definida como “greenfield”, se basaba en la ejecución de una primera etapa (2011 – 2015) de obras tempranas de acceso e infraestructura de superficie (Carretera Maitenes - Confluencia, Túnel Acceso Personal, Adits de Ventilación 74-75, Túnel Correa, Plataformas, etc.), las que permitirían el desarrollo del proyecto con un muy bajo nivel de interferencias con la DET, para luego, y utilizando las obras anteriores, continuar con la segunda etapa (2015 – 2018) de obras masivas en Interior Mina (Preparación Minera Footprint de primera bajada, Infraestructura PIPA y primera Sala de Chancado de 60 Ktpd). Una tercera etapa (2018 – 2021) consideraba las segunda y tercera bajadas y dos salas de chancado adicionales de 60 Ktpd cada una).(Vicepresidencia de Proyectos Codelco, 2016)

El PNNM puede ser descrito según las siguientes:

- Reservas: 2.434 Mt
- Área: 2.478.400 m²
- Ley Cu media: 0,844% (In situ)
- Ley Mo media: 0,020% (In situ)
- Cobre Fino: 20.055 Ktmf

Se estableció un plan de producción que, alcanzaba las 137 ktpd, con lo cual se extendía la vida de la mina hasta el año 2069, como indica la siguiente ilustración del Plan Minero a utilizar.

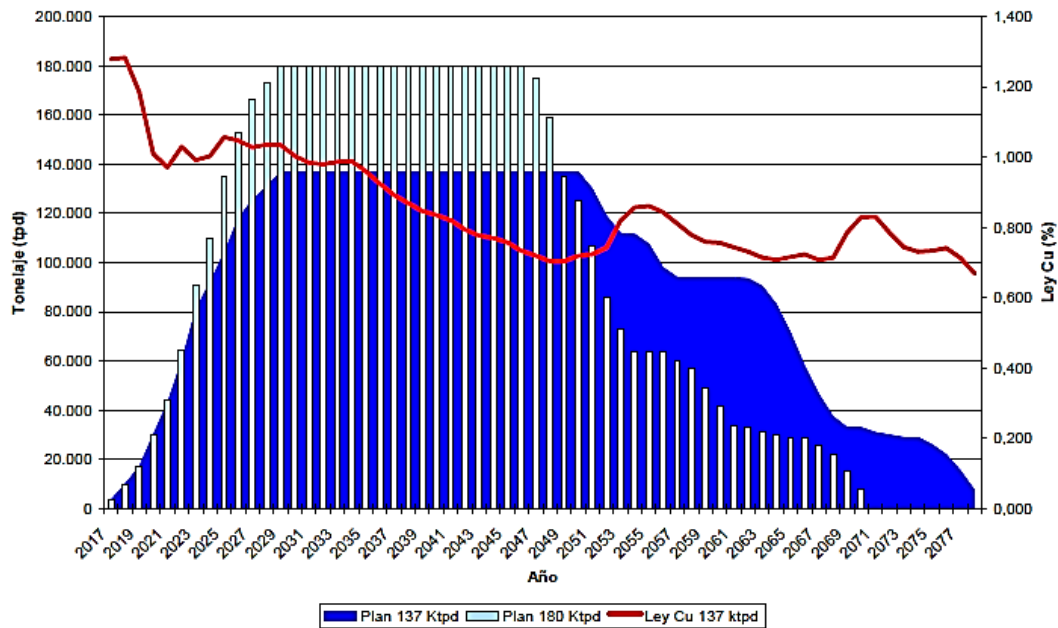


Ilustración 7: Plan minero PNNM 137 ktpd (Vicepresidencia de Proyectos Codelco, 2010)

El PNNM se ubica en la cota 1880 m.s.n.m. y corresponde a la continuación de la explotación del actual yacimiento El Teniente mediante la profundización de la mina, y la generación de una nueva infraestructura de accesos, de manejo de aguas, y de transporte de mineral, materiales y recursos humanos, todo ello manteniendo los niveles actuales de procesamiento de la planta. (Vicepresidencia de Proyectos Codelco, 2010)

Los mayores hitos u obras del proyecto se enumeran a continuación:

- Rampa de conexión mina actual con PNNM, (3km; 5mx5m).
- Plataformas de inicio de Túneles (1.308.000 m3).
- Camino de Acceso desde Maitenes hasta PNNM (17 km aprox.).
- Túneles de Acceso para personal y correa de transporte de mineral.
- Sala de Chancado con capacidad de 60.000 tpd.
- Correa desde chancado a planta concentradora (180 Ktpd)
- Adits de ventilación inyección y extracción.
- Desarrollos de preproducción.

En las siguientes ilustraciones, se muestran la principal infraestructura a utilizar por el proyecto y el perfil típico del sistema de manejo de minerales.

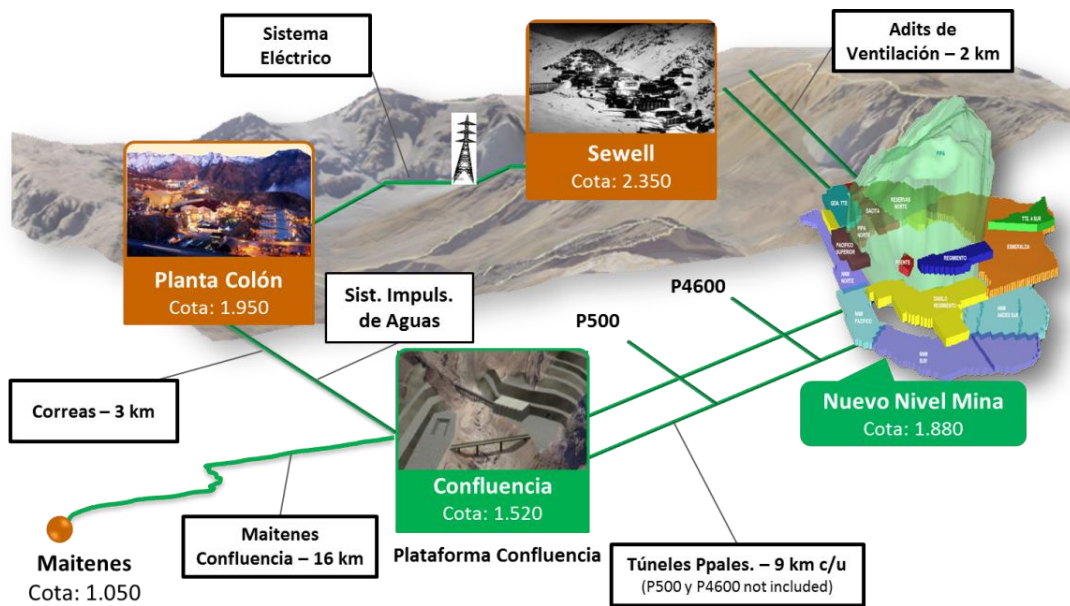


Ilustración 8: Principal Infraestructura a utilizar. (Vicepresidencia de Proyectos Codelco, 2017a)

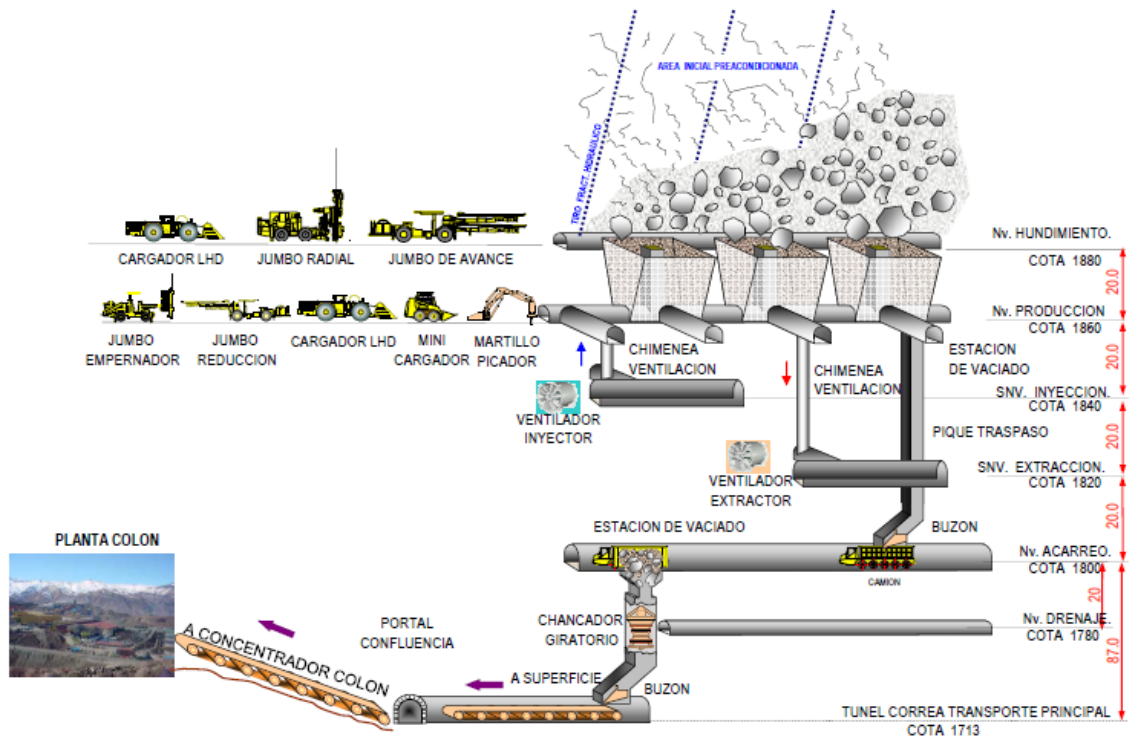


Ilustración 9: Perfil típico Manejo de materiales.(Vicepresidencia de Proyectos Codelco, 2010)

Durante los años 2015 - 2016 se desarrollaron acciones y análisis en materia de sistemas de fortificación, métodos de trabajo e incorporación de tecnologías de vanguardia en los procesos constructivos, para abordar las nuevas condiciones Geomecánicas descubiertas y validar su constructibilidad del Proyecto.

3.3 PROYECTO ANDES NORTE NUEVO NIVEL MINA

A partir de análisis realizados conjuntamente entre DET y PNNM, se definió la necesidad de realizar un cambio en los planes de desarrollo divisionales, por la vía de postergar parte del PNNM incorporando dos proyectos a cotas más altas.

Los principales conceptos involucrados en el Plan de Desarrollo Alternativo (PDA) son (Vicepresidencia de Proyectos Codelco, 2016):

- Dadas las reservas existentes en los niveles más profundos, el futuro de la DET conlleva abordar los desafíos técnicos asociados al PNNM, continuando con el desarrollo actual del proyecto incorporándole optimizaciones en el

tamaño (35 Ktpd), oportunidad de las inversiones y racionalizaciones en general.

- Para minimizar el riesgo de Producción del Plan, se incorporan dos Minas, Diamante y Andesita, dispuestas en niveles superiores con condiciones de explotabilidad similares a las actuales minas DET. Estas Minas extienden la utilización de infraestructura existente DET, principalmente la del ferrocarril Teniente 8. Estas Minas acompañarán el desarrollo del PNNM Andes Norte a 35 Ktpd.
- Una vez asegurado el éxito de la explotación del PNNM - Andes Norte de 35 Ktpd a cota 1.887, se expandirá la explotación de reservas a esta cota, completando el PNNM original (Andes Norte junto a Andes Sur y Pacíficos).
- A inicios de 2017 se aprueba el PDA. Esta nueva estrategia propone el desarrollo escalonado del yacimiento, aprovechando en una primera etapa la infraestructura existente en niveles superiores a fin de asegurar una transición gradual hacia la operación del Nuevo Nivel Mina. Los proyectos por desarrollar en el PDA son: Diamante, Andesita y Andes Norte – Nuevo Nivel Mina.

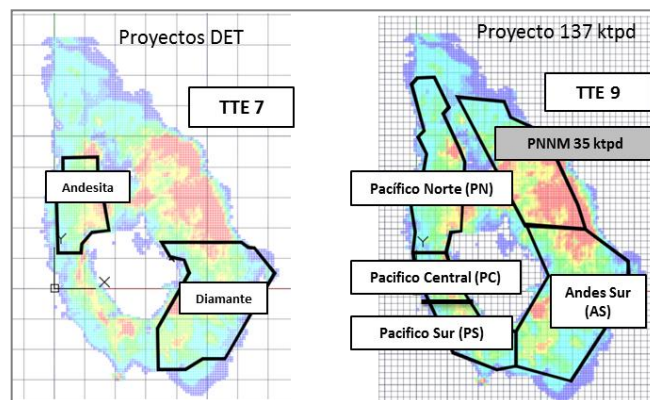


Ilustración 10: Disposición de las Minas y Paneles PNNM según PDA (Vicepresidencia de Proyectos Codelco, 2017b)

En líneas generales, el PDA considera una configuración productiva, destinada a mantener producciones del orden de 137 Ktpd en el largo plazo. Como se ve en la siguiente ilustración.

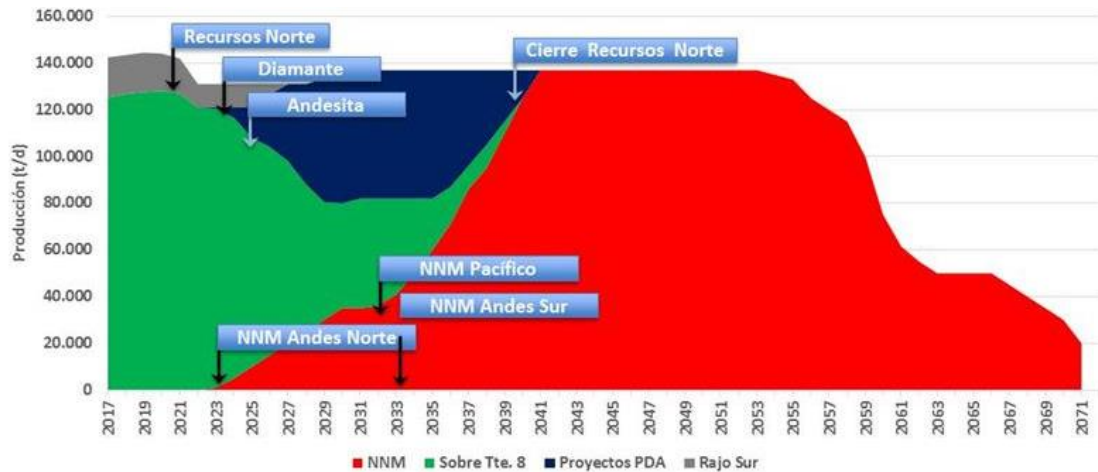


Ilustración 11: Etapas PDA 2017 División El Teniente (Vicepresidencia de Proyectos Codelco, 2017b)

El proyecto Andes Norte es el primer sector que explota reservas ubicadas a la cota Teniente 9 (cota 1.887), construyendo un sistema de manejo de materiales que viabiliza la explotación bajo Teniente 8. Ver Ilustración 12.

Habilita la explotación de los siguientes sectores productivos. Incorpora tecnología que permite controlar los riesgos propios del proyecto y mejorar la productividad. Genera nuevo conocimiento en minería profunda.

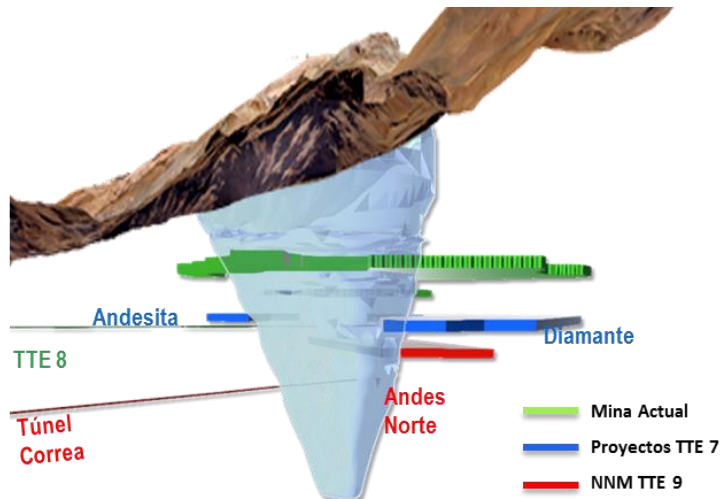


Ilustración 12: Ubicación Proyecto Andes Norte (Gandara, 2017)

A continuación, se muestra un esquema en planta del Plan de Desarrollo Alternativo, así como la descripción a grandes rasgos de cada una de las minas que lo componen.

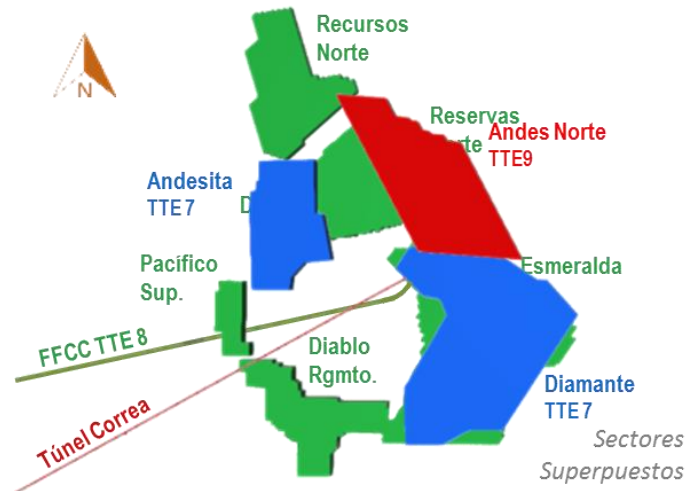


Ilustración 13: Planta PDA (Gandara, 2017)

Las principales características de PNNM - AN son:

- Reservas: 375 Mt
- Área: 73.200 m²
- Ley Cu media: 1,02%
- Ley Mo media: 0,020% (In situ)
- Compromiso Productivo: 35 Ktpd
- Cobre Fino: 382 Ktmf

Las principales características del Proyecto Diamante son:

- Reservas: 122 Mt
- Ley Cu media: 0,98 %
- Compromiso Productivo: 30 Ktpd

Las principales características del Proyecto Andesita son:

- Reservas: 114 Mt
- Ley Cu media: 0,87 %
- Compromiso Productivo: 25 Ktpd

4. GESTIÓN DEL RIESGO PNNM – ANDES NORTE

4.1 IDENTIFICACIÓN RIESGOS PROYECTO

En base trabajos ya realizados, existen 25 riesgos identificados por el proyecto, asociados a riesgos técnicos y económicos para las etapas de diseño, construcción y operación del PNNM - Andes Norte. Estos corresponden a aquellos que podrían afectar directamente la promesa del proyecto como alcance, plazo y costo, y están presentes de manera transversal. (Vicepresidencia de Proyectos Codelco, 2017d)

Para la caracterización de estos 25 riesgos, se utilizó la matriz de evaluación de riesgos de la Corporación. Donde el nivel de impacto (Probabilidad x Consecuencia) se grafica en una matriz de riesgos de siete niveles y tres niveles de aceptación de riesgo, estos identificados según color:

- **Alto (rojo):** Riesgo inaceptable y se deben tomar acciones para reducirlo.
- **Medio (amarillo):** Riesgo indeseable y únicamente tolerable o aceptable si la reducción de riesgo no es practicable o si los costos son manifiestamente desproporcionados respecto a la mejora conseguida.
- **Bajo (verde):** Riesgo ampliamente aceptable, no es necesario definir medidas adicionales para reducir el riesgo, pero se debe mantener el monitoreo, buscando la mejora y estandarización de los controles.

Impacto	Crítico	7	13	14	15	16	17	18	19
	Muy Alto	6	12	13	14	15	16	17	18
	Alto	5	8	9	10	11	15	16	17
	Significativo	4	7	8	9	10	11	15	16
	Medio	3	3	4	5	9	10	14	15
	Bajo	2	2	3	4	5	9	10	14
	Muy Bajo	1	1	2	3	4	5	6	10
			1	2	3	4	5	6	7
			Improbable	Remoto	Poco Probable	Posible	Probable	Muy Probable	Casi Seguro
			Probabilidad / Frecuencia						

Ilustración 14: Matriz de evaluación y rangos de magnitud de riesgo

Dicha caracterización para los 25 riesgos se muestra a continuación.

N.º	RIESGOS	PROBABILIDAD	IMPACTO	RIESGO
1	Precio del cobre	7	7	19
2	Precio del molibdeno	6	7	18
3	Aumento de los cargos de fundición y refinación TC/RC	6	7	18
4	Restricciones presupuestarias	6	7	18
5	Interacción de cavidades entre PNNM – Andes Norte con otros sectores	6	-	-
6	Variación puesta en marcha del Sistema de manejo de minerales definitivo (SMMd)	4	7	16
7	Variación OPEX	4	7	16
8	Mantenimiento de la carretera Maitenes – Adit 71 o Adit 75	7	3	15
9	Variación CAPEX	2	7	14
10	Alcanzar producción en régimen	2	7	14
11	Variabilidad en recuperación metalúrgica Cu	3	6	14
12	Accidentes fatales y graves	3	6	14
13	Estallidos de roca durante el proceso de conexión del <i>caving</i> en sector <i>Footprint</i>	5	4	11
14	Variación <i>Ramp up</i> a régimen	4	5	11
15	Variación fecha de inicio de producción PNNM-Andes Norte	3	5	10
16	Colapso de roca	3	5	10
17	Eventos naturales adversos	4	4	10
18	Negociaciones colectivas – huelgas	3	5	10
19	Estallidos de roca en la construcción de los túneles del Sistema de manejo de minerales	4	3	9
20	Variabilidad en recuperación metalúrgica Mo	4	3	9
21	Cambios en la administración del proyecto	4	3	9
22	Reparación de infraestructura minera	3	3	5
23	Organización <i>ad hoc</i> para la construcción y operación del proyecto	3	3	5
24	Agua-barro (PNNM-Andes Norte)	3	3	5
25	Definición de explosivos en operación	3	3	5

Tabla 1: Riesgos identificados (Carrillo, 2017b)

4.2 CUANTIFICABILIDAD Y AGRUPACIÓN DE RIESGOS PROYECTO

De la Tabla 1 se observa que las incertidumbres consideradas están agrupadas mayormente en la zona de riesgo alto (48% del total) y riesgo medio (36% del total). Donde más del 50% de los riesgos tiene una categorización de 5 o superior en términos de impacto.

En base a una identificación de las causas y consecuencias de estos 25 riesgos se generó una lista con los riesgos cuantificables más relevantes. Agrupándose aquellas incertidumbres que por su naturaleza generaban un idéntico impacto, entendiendo que todas ellas corresponden más bien a causas relacionadas.

Primero se descartaron los riesgos con clasificación de ampliamente aceptable (verde) dado no son necesarias medidas adicionales para reducirlos, luego se identificaron y dejaron fuera los riesgos no posibles de cuantificar, ya sea porque su probabilidad de ocurrencia estaba definida por variables sin datos históricos suficientes, o bien, con efecto desconocido. Posterior a esto, se dejaron fuera los riesgos asociados a la operación y del mercado propiamente tal. Finalmente, de los 7 riesgos del proyecto restante, se escogieron para este trabajo los 2 riesgos asociados al retraso del término del Proyecto: Variabilidad fecha inicio de Producción y Variabilidad puesta en marcha del Sistema de manejo de minerales.

A continuación, se muestra un resumen con las agrupaciones realizadas.



Ilustración 15: Agrupación de Riesgo (Elaboración propia)

4.3 JUSTIFICACIÓN RUTA Y FRENTES CRÍTICAS

Asociados a los 2 riesgos que inciden en la variación del término del Proyecto y según el análisis del Programa Objetivo del proyecto PNNM - Andes Norte, existen dos rutas críticas: Variabilidad fecha inicio de Producción y Variabilidad puesta en marcha del Sistema de manejo de minerales.

Ilustración 16: Programa Objetivo (Vicepresidencia de Proyectos Codelco, 2018) Estas rutas se definen como críticas por ser actividades con una holgura total menor o igual a 30 días con respecto a los hitos programados en el Análisis Presupuesto de Inversión (API).

Los principales hitos del proyecto y su programa objetivo se muestran a continuación.

PRINCIPALES HITOS PROYECTO	FECHA PROGRAMA. API
Inicio Producción (1 batea incorporada)	07-Dic-23
Término PEM Sistema de Manejo de Material Definitivo	31-Jul-24
Término Montaje Sistema de Chancado	Jul-24
Término Proyecto	Dic-24

Tabla 2: Hitos del Proyecto (Vicepresidencia de Proyectos Codelco, 2018)

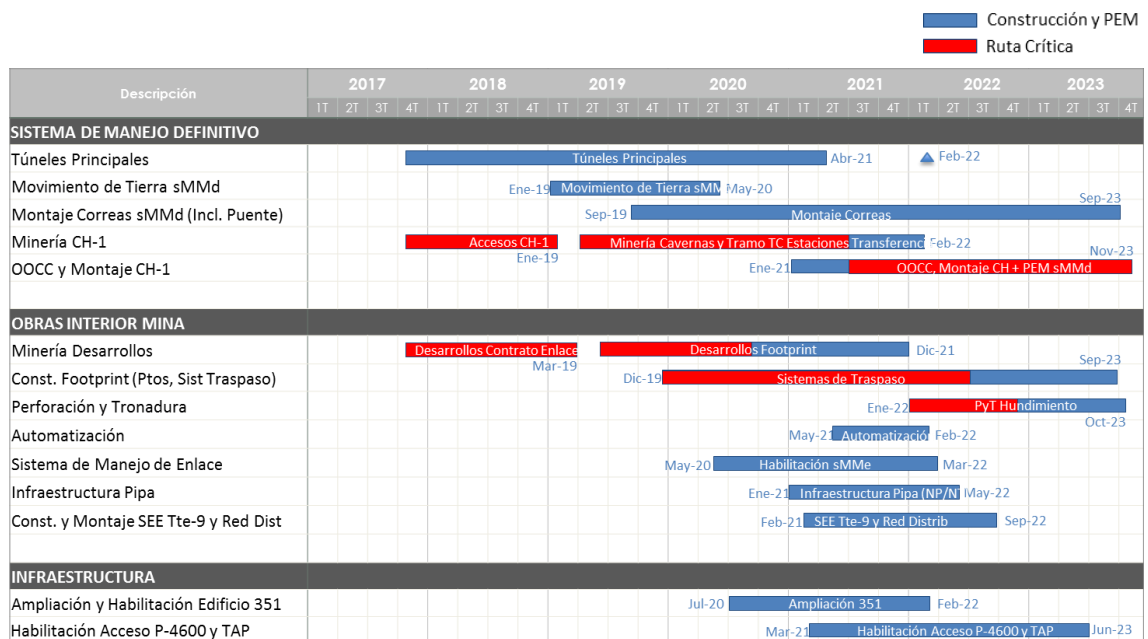


Ilustración 16: Programa Objetivo (Vicepresidencia de Proyectos Codelco, 2018)

4.3.1 Variabilidad Fecha Inicio Producción

La primera ruta crítica está relacionada con las obras a realizar en el sector de Footprint para el inicio de producción. Dentro estas actividades, se encuentran principalmente, ver Ilustración 17

- Desarrollo del cruzado Xc 3AS en Nivel de Transporte.
- Construcción del Sistema de Traspaso de Minerales desde el Nivel de Producción al Nivel de Transporte Intermedio (OP-13-3AS, OP-14-3AS, OP-15-3AS y 16-OP-3AS).
- Preacondicionamiento del macizo rocoso con Hidrofracturamiento hidráulico descendente.
- Perforación y tronadura de bateas.
- Tronadura de Socavación.

De las actividades recién mencionadas y debido a que solo se pueden tener actividades mineras de perforación y tronadura en la zona de transición (zona donde el estado tensional se encuentra aumentado y bajo continuos cambios, generando condiciones de esfuerzo considerablemente mayores a la condición in-situ en los métodos de Caving), se define como actividad/frente crítica de esta ruta el desarrollo del cruzado Xc 3AS en Nivel de Transporte.

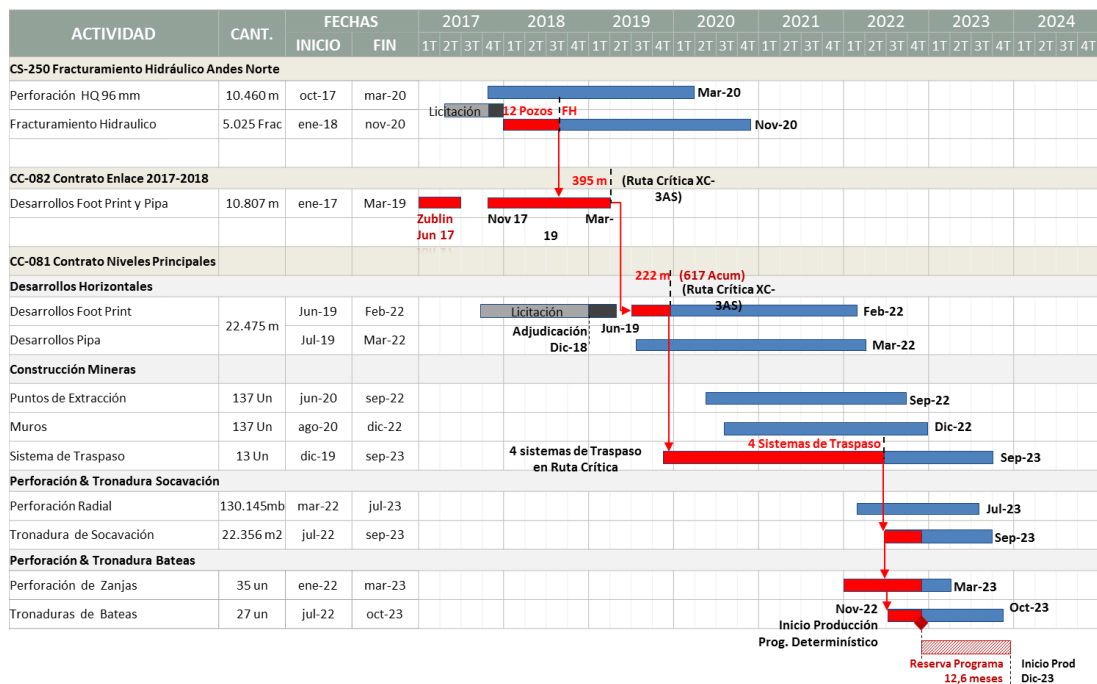


Ilustración 17: Ruta Crítica Minería (Vicepresidencia de Proyectos Codelco, 2018)

4.3.2 Variabilidad Puesta En Marcha Sistema Manejo De Minerales

La segunda ruta crítica está asociada al término del Sistema de Manejo de Mineral, es decir, asociada a la habilitación y puesta en marcha (PEM) del SMMd, y comprende principalmente las siguientes actividades, ver Ilustración 18.

- Desarrollo Rampa Acceso Chancador Inferior
- Minería Cavernas Chancador
- Obras Civiles (OOC) y Montaje Chancador Primario
- PEM Sistema de Manejo de Minerales

Ya que las Cavernas para el Chancador junto a las OOC y el Montaje del Chancador Primario más la PEM Sistema de Manejo de Minerales nacen a partir de los desarrollos de la Rampa Acceso Chancador Inferior, se define como actividad/frente al desarrollo Rampa Acceso Chancador Inferior.

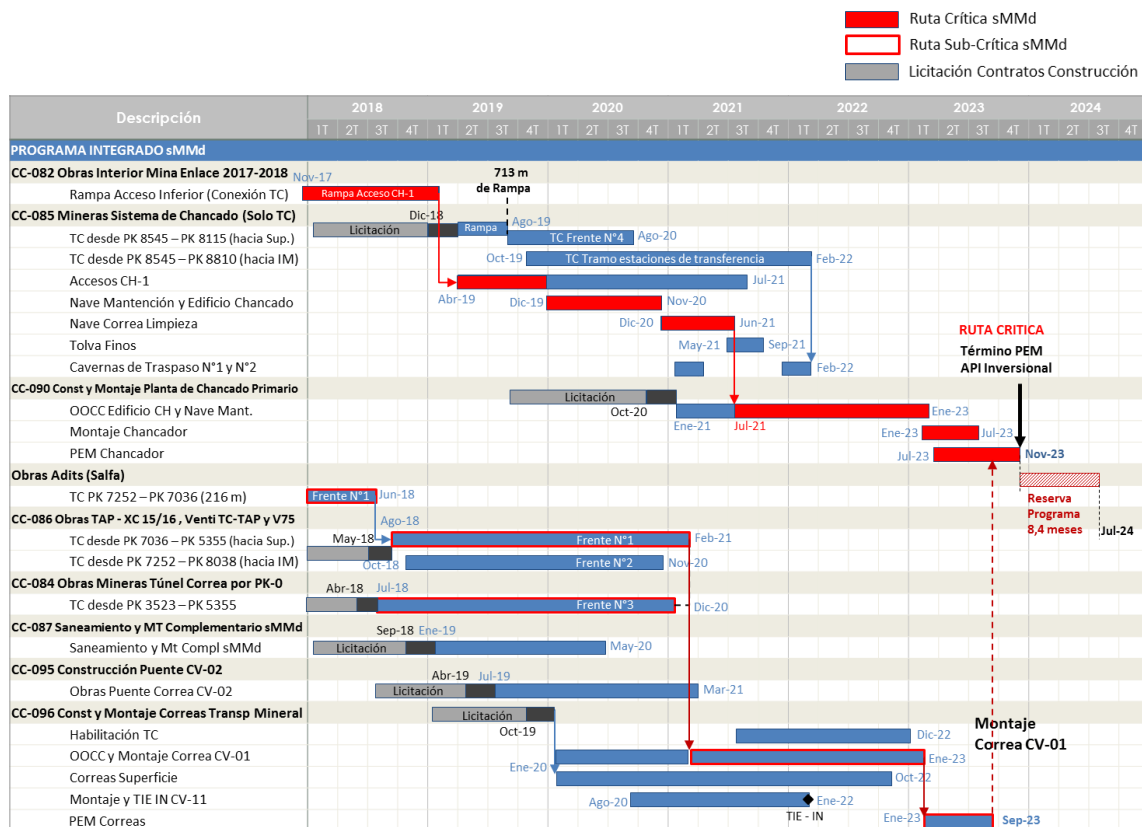


Ilustración 18: Ruta Crítica Sistema de Manejo de Mineral Definitivo

5. DESARROLLO DEL ANALISIS DE RIESGO

5.1 COMPARACIÓN Y ELECCIÓN DE MÉTODO DE MEDICIÓN DE RIESGOS A UTILIZAR

En base a la flexibilidad a la factibilidad o facilidad de incorporar la volatilidad del mercado y en base a que se pueden obtener análisis complementarios de las variables de riesgo del modelo se elegirá el método No Paramétrico utilizando Simulación de Montecarlo utilizando la herramienta @Risk versión estudiante utilizando los datos históricos de mediciones en terreno, la elección se sustenta en Tabla 3.

MÉTODOS/ CATEGORÍAS	MÉTODOS PARAMÉTRICOS	MÉTODOS NO PARAMÉTRICOS	
	Varianza- Covarianza	Simulación Histórica	Simulación De Montecarlo
Opciones de Mercado	Opciones Limitadas	Opciones Ilimitadas	Opciones Ilimitadas
Implementación	Fácil, puede complicarse por falta de datos o instrumentos complejos	Fácil	Media, dependiendo de la experticia del modelador y herramienta computacional
Tiempo Calculo	Bajo	Bajo/Medio	Alto
Flexibilidad	Baja	Media	Alta, permite incorporar datos externos e información subjetiva en base a distribuciones
Resultados	VaR Determinístico	VaR Probabilístico	VaR Probabilístico/ Análisis de Sensibilidad de Variables/ Evaluación de Escenarios

Tabla 3: Comparativa métodos de estimación VaR (Elaboración Propia).

5.2 DISEÑO EXPERIMENTAL

El objetivo del diseño experimental es plantear de forma simple la variable dependiente, su interacción con las variables independientes y como esquemáticamente estas se relacionan en el modelo para obtener los resultados esperados, además define los parámetros a ser utilizados y la información necesaria para recopilarlos.

El diseño experimental de este trabajo considera como variable dependiente, indicador de apoyo a la toma de decisión, al VaR del Proyecto. Se considera también que las variables independientes del estudio no tienen dependencia, ya que son intrínsecas del proceso y su vinculación mediante fórmulas matemáticas y estadísticas determinan la variable dependiente. Estas variables son:

- Asignación de Recursos (Personas y Equipos)
- Condiciones Intrínsecas (Especificaciones Técnicas Frente)
- Tiempos de Ciclo (Duración Efectiva y Tiempos de Detención)
- Tiempo Laboral en la frente (Tiempo disponible en la frente)
- Avance (Avance Real)
- Proyección Financiera (Flujo de Caja)

Para poder vincular la simulación de desarrollos mineros y la simulación financiera se proponen dos modelos de simulación denominados: Modelo Avance Monofrente y Modelo de Riesgo, estos relacionaran las variables independientes para determinar el Valor en Riesgo como se muestra en la Ilustración 19.

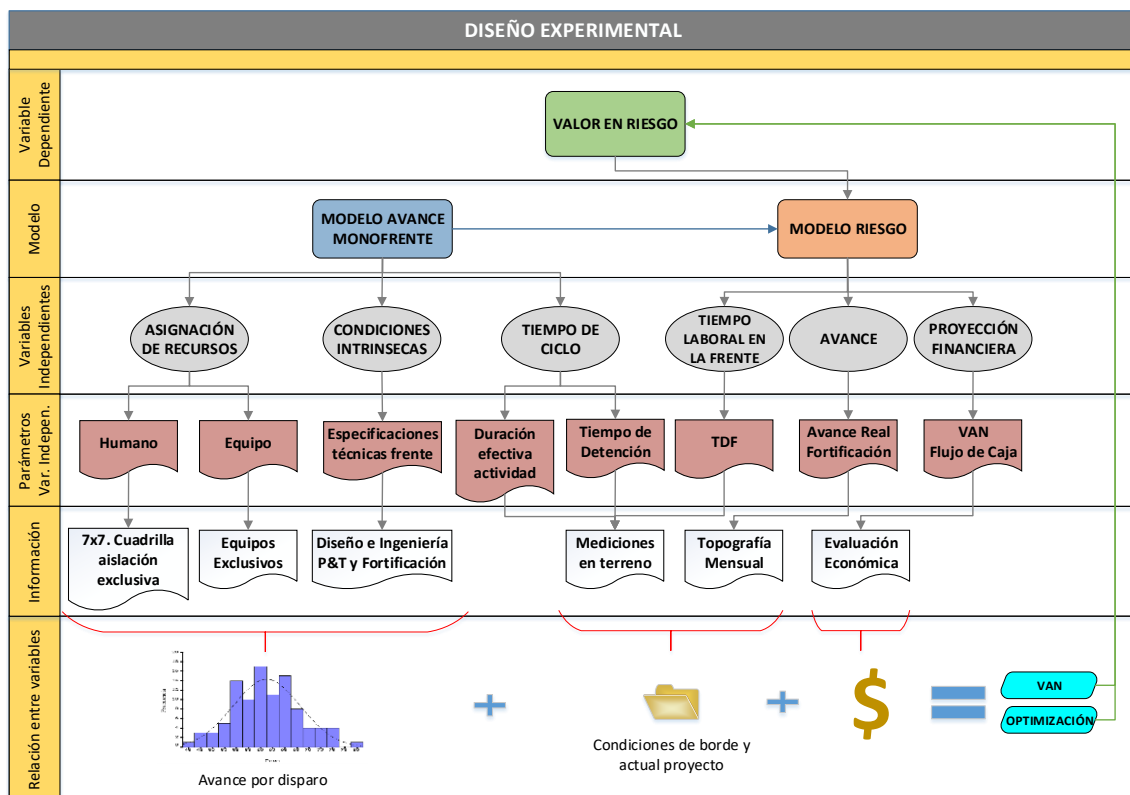


Ilustración 19: Diseño Experimental (Elaboración propia)

5.3 DISEÑO DEL MODELO

El proceso de trabajo primeramente considera una etapa de conceptualización donde se define el problema y en base a este los objetivos del estudio, los cuales son presentados en el capítulo 1.2 OBJETIVOS. El proceso de trabajo de esta tesis considera dos instancias de simulación, ambos, Modelo de Avance Monofrente y Modelo de Evaluación de Riesgo VaR, se encuentran definidos en el flujoograma de la Ilustración 20:

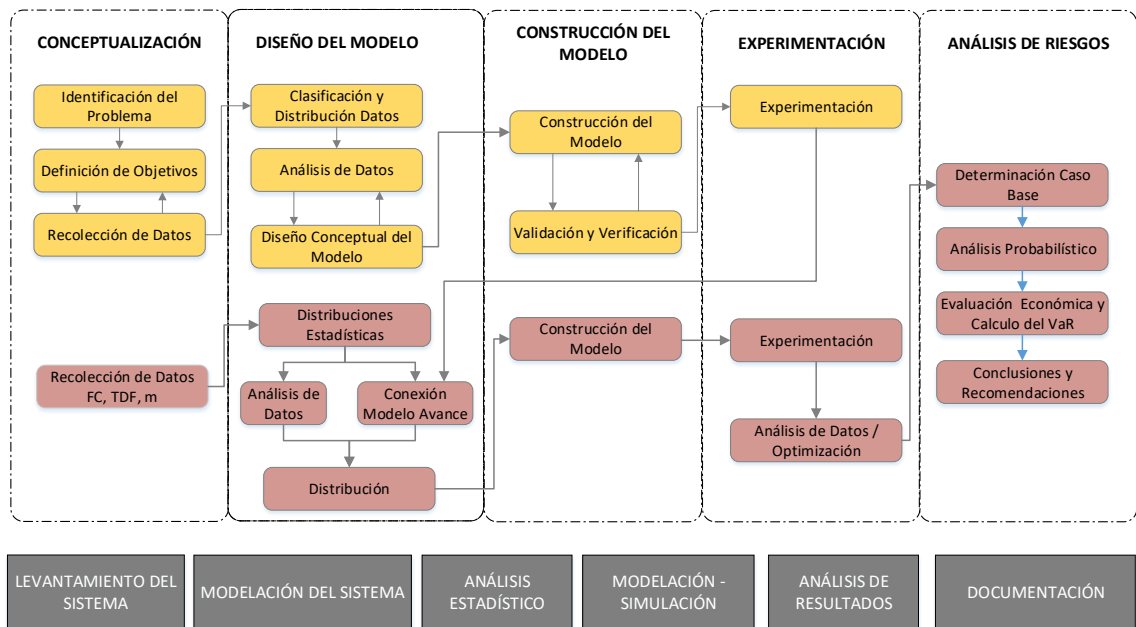


Ilustración 20: Proceso de Simulación de Monofrente y VaR (Elaboración Propia)

Las etapas y la interacción de ambos modelos se detallan en el paso a paso explicado en los siguientes párrafos:

5.3.1 Proceso Modelo Monofrente

5.3.1.1 Definición Objetivo

Determinar estadísticamente mediante una distribución probabilística el comportamiento que tiene el tiempo total de ciclo unitario monofrente (solo una frente de trabajo), en base a rendimientos determinados por mediciones en terreno. El tiempo total de ciclo unitario será un input fundamental para el modelo de evaluación de riesgo.

5.3.1.2 Recolección de Datos

La recolección de datos permitió identificar la información necesaria para definir el comportamiento de las variables independientes definidas en Ilustración 19, las cuales serán los parámetros de entrada (input) del modelo:

- **Asignación de Recursos:** En el caso de estudio, las frentes a analizar son consideradas frentes críticas, las cuales consideran equipos y cuadrillas exclusivas, en donde cuando una actividad del ciclo unitario termina inicia la otra inmediatamente, sin restricciones y/o limitaciones de recursos.
- **Condiciones Intrínsecas:** Considera el proceso de perforación (*Drill & Blast*) con sus respectivas actividades del ciclo minero, ver Ilustración 21. Las especificaciones técnicas de fortificación de las 2 frentes críticas se detallan en la Tabla 4.

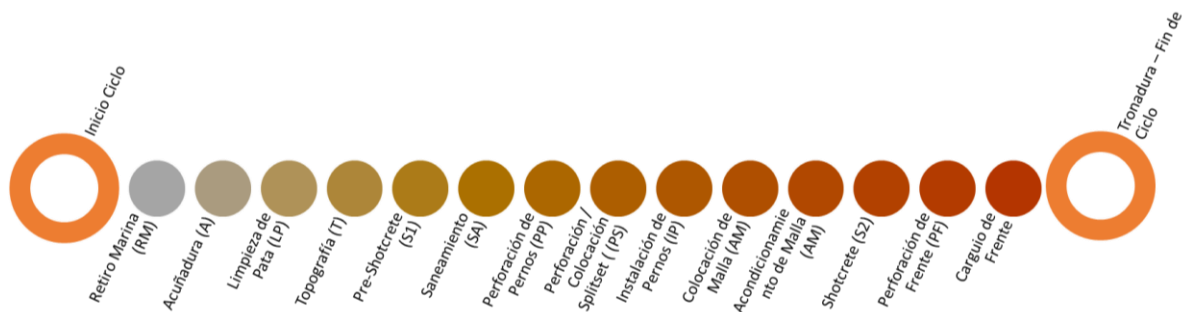


Ilustración 21: Ciclo minero monofrente (Elaboración propia)

DETALLE DE FRENTES			
Parámetro	Unidad	Xc 3AS	ACC. CH. INF.
Sección	-	5,7X5,6	5,9X5,8
Perímetro	m	17,8	18,4
Área Sección	m ²	28,4	31,22
Largo Perforación Disparo	ml	3,8	3,8
Nº Perforaciones Disparo	uni	69	80,0
Largo de Pernos	m	3,5	3,5
Nº Pernos x Parada	uni	14	16
Nº de Paradas	uni	3	3
Nº de Splitset	uni	20	22
Largo Splitset	m	2,4	2,4
Avance Teórico	m	3,2	3,2

Densidad Roca	ton/m3	1,8	1,8
Nº Baldadas	Uni	25	30
Tamaño Balde	Yr	14	14
Esponjamiento	%	40%	40%
Espesor Shotcrete 1	M	0,05	0,05
Espesor Shotcrete 2	M	0,03	0,03
Perdida Botada (S1yS2)	%	50%	50%

Tabla 4: Detalle fortificación frentes críticas (Elaboración propia)

- **Tiempo de Ciclo:** Se define como el tiempo efectivo que requiere la frente para cumplir con todo un ciclo unitario que se encuentra descrito en la Ilustración 21. Para plantear un escenario representativo se realizaron mediciones en terreno, estas comprendieron los meses de Mayo a Septiembre del 2018 y fueron efectuadas por una compañía asesora en productividad, realizando mediciones de Ciclo de Frente (CF)¹ y de Encuesta de Detenciones (ED)². Utilizando ambas herramientas fue posible determinar la Duración efectiva de la actividad o Duración de la Actividad sin Espera (SE), de acuerdo con la siguiente formula:

$$\text{Duración Actividad sin Espera (SE)} = \text{Duración Actividad} - \text{Esperas}$$

Ecuación 1: Actividad sin Espera

5.3.1.3 Análisis de Datos

- **Confección de Base de Datos:** El análisis de datos para el modelo consideró la confección de una base de datos que agrupara la información técnica y las mediciones en terreno, buscando definir el comportamiento de la Duración Actividades sin Espera y las esperas propiamente tales por cada actividad del ciclo, considerando las siguientes categorías:
 - Fecha Medición
 - Proyecto
 - Actividad

¹ Ciclo de Frente: Medición en la cual un analista, que permanece en la frente, determina el tiempo de cada actividad del ciclo mediante el registro del inicio, termino y esperas que tenga la actividad

² Encuestas de Detención: Una vez iniciada la actividad y ocurrida alguna detención el analista consulta con el jefe de nivel o cuadrilla el motivo de la detención, categorizándola y registrando el tiempo que la cuadrilla se detuvo:

- Nivel Mina
 - Frente
 - Sección
 - Perímetro
 - Área
 - Cantidad de Pernos
 - Cantidad de Splitset
 - Largo del Perno
 - Cantidad de Perforaciones de Disparo
 - Cantidad de Baldadas
- **Determinación de los Rendimientos por Actividad Sin Espera:** En base a la información suministrada por la base de datos y al cálculo de rendimientos definido en Lopez et al., (2003) se establecieron los rendimientos en función del tiempo sin espera para cada medición como en el caso de la colocación de malla, Ecuación 2. Las fórmulas de rendimiento para cada actividad se encuentran en el ANEXO A: CÁLCULO DEL TIEMPO DE CICLO.

Colocación de malla:

$$Total\ CM\ (m^2) = Perimetro\ (m) \times Avance\ (m) \times (Sobrex\ (\%) + 1)$$

$$Rendimiento\ CM\ SE\ \left(\frac{m^2}{min}\right) = \frac{Total\ CM\ (m^2)}{Duración\ Actividad\ Sin\ Espera\ (min)}$$

Ecuación 2: Colocación de malla

- **Representación de las Esperas en el Modelo:** Corresponden a actividades no planificadas que no agregan valor al proceso y podrían ser eliminadas, haciéndolo más productivo. Para el caso de este trabajo se consideraron distribuciones de espera total por la categorización registrada.

Debido a la naturaleza aleatoria de la ocurrencia de las esperas y al alto impacto en la productividad, se utilizaron mayoritariamente distribuciones Weibull y Exponenciales (Vásquez et al., 2009). Ambas distribuciones muy utilizadas para definir detenciones o fallas de equipos y maquinaria, ejemplos en el rubro minero son Paredes (2012) y De la Cruz (2015). En el rubro de componentes eléctricas en donde una falla en el componente produce la falla de todo el equipo es representativo el trabajo de Tamborero (1991).

Duración Actividad = Duración Actividad sin Espera(SE) + Esperas

Ecuación 3: Duración Actividad

- **Representatividad de las mediciones:** Definición del número de mediciones necesarias para que matemáticamente el conjunto de muestras de rendimientos represente la población en base a la variabilidad de la media de los rendimientos y asumiendo que los rendimientos pueden ser considerados poblaciones continuas e infinitas. En la Tabla 5 aparece el estudio de Tamaño muestral realizado para los rendimientos por actividad:

$$n_{\text{Teorico}} = \frac{Z^2 \times \sigma^2}{e^2}$$

Ecuación 4: Tamaño Muestral.

Donde:

Z = Valor del nivel de confianza, en este caso se asume 95%.

e = Límite aceptable del error muestral, en este estudio se consideró 10% del promedio de cada rendimiento.

σ = Desviación estándar.

Tamaño Muestral - Actividades del Ciclo - SALFA									
Actividad	N Real (SE)	Promedio	Desvst	Coef Varianza	Error (10% prom)	Confiabilidad	Z	N Teórico(SE)	Criterio
Instalación Malla	61,00	1,89	0,37	20%	0,19	95%	1,64	10,39	Acceptable
Acondicionamiento de Malla	44,00	1,83	0,30	16%	0,18	95%	1,64	7,10	Acceptable
Acuñadura	19,00	0,45	0,11	24%	0,05	95%	1,64	15,76	Acceptable
Carga de Explosivo y Tronadura	20,00	0,46	0,07	15%	0,05	95%	1,64	5,71	Acceptable
Extracción Marina	20,00	0,97	0,26	27%	0,10	95%	1,64	19,38	Acceptable
Instalación Pernos + Lechado	47,00	1,03	0,20	20%	0,10	95%	1,64	10,60	Acceptable
Limpieza Pata	30,00	1,41	0,44	32%	0,14	95%	1,64	26,86	Acceptable
Perforación de Avance	27,00	0,55	0,08	14%	0,05	95%	1,64	5,30	Acceptable
Perforación Fortificación	46,00	1,24	0,30	24%	0,12	95%	1,64	15,94	Acceptable
Perforación/ Colocación SplitSet	30,00	2,05	0,49	24%	0,20	95%	1,64	15,64	Acceptable
Pre-Shotcrete	28,00	5,41	1,69	31%	0,54	95%	1,64	26,31	Acceptable
Shotcrete	22,00	11,80	3,06	26%	1,18	95%	1,64	18,19	Acceptable
Topografía	25,00	1,04	0,26	25%	0,10	95%	1,64	17,51	Acceptable

Tabla 5: Tamaño muestral por actividad (Elaboración propia)

- **Bondad de Ajuste:** Determinación de la distribución de probabilidad que mejor se ajusta a los rendimientos sin espera y esperas por actividad, aplicando las pruebas de Kormogorov-Smirnov y Chi-cuadrado. En la siguiente tabla se muestran las distribuciones para los rendimientos sin esperas. Ver ANEXO B: BONDAD DE AJUSTE para análisis de bondad de ajuste de esperas y rendimientos sin esperas.

ACTIVIDAD	DISTRIBUCIÓN	PARAMETROS ESTADÍSTICOS
Retiro Marina (RM) SE	Lognormal	s=0,11194 m=-0,8511 g=-1,387
Acuñadura (A) SE	Normal	s=0,10982 m=-0,45474
Limpieza de Pata (LP) SE	Normal	s=0,44361 m=-1,41
Topografía (T) (SE)	Lognormal	s=0,25539 m=-0,02843 g=0,03588
Pre-Shotcrete (S1) (SE)	Lognormal	s=0,28634 m=1,7022 g=-0,29681
Saneamiento (SA) (SE)	Lognormal	s=0,93039 m=0,0198 g=0,3352
Perforación de Fortificación (PP) (SE)	Triangular	m=1,0 a=0,66199 b=2,0029
Perforación/ Colocación Splitset (PS) (SE)	Weibull	a=4,0137 b=2,2259
Instalación Pernos (IP) (SE)	Normal	s=0,20154 m=1,0362
Colocación de Malla (CM) (SE)	Normal	s=0,37153 m=1,8885
Acondicionamiento Malla (AM) (SE)	Normal	s=0,29695 m=1,8295
Shotcrete (S2) (SE)	Normal	s=3,0684 m=11,791
Perforación de Frente (PF) (SE)	Normal	s=0,07607 m=0,54778
Carguío de Frente (CF) (SE)	Normal	s=0,06863 m=0,455

Tabla 6: Distribución para cada Actividad (Elaboración propia)

5.3.1.4 Diseño Conceptual

El diseño conceptual del modelo considera actividades unitarias del ciclo minero sucesivas restrictivamente, es decir, no se puede realizar una actividad si no está realizada su antecesora.

Cada actividad cuenta con una distribución de rendimiento sin espera, propiedades de fortificación, distribución de ocurrencia de esperas y una distribución del impacto por espera, estas se relacionan según la Ecuación 1 Ecuación 5.

$$\sum_{i=0}^n (\{Rend_i|PF_i\} + OEA_i * IEA_i) = \text{Duración Total Ciclo}$$

Ecuación 5: Duración total Ciclo

Donde:

Rend_i = Distribución Rendimiento sin Esperas Actividad i.

PF_i = Propiedades de Fortificación Actividad i.

OEA_i = Distribución Ocurrencia Esperas Actividad i.

IAE_i = Distribución Impacto Esperas Actividad i.

Gráficamente, cada ciclo de actividades simulado quedará representado por el siguiente flujo:

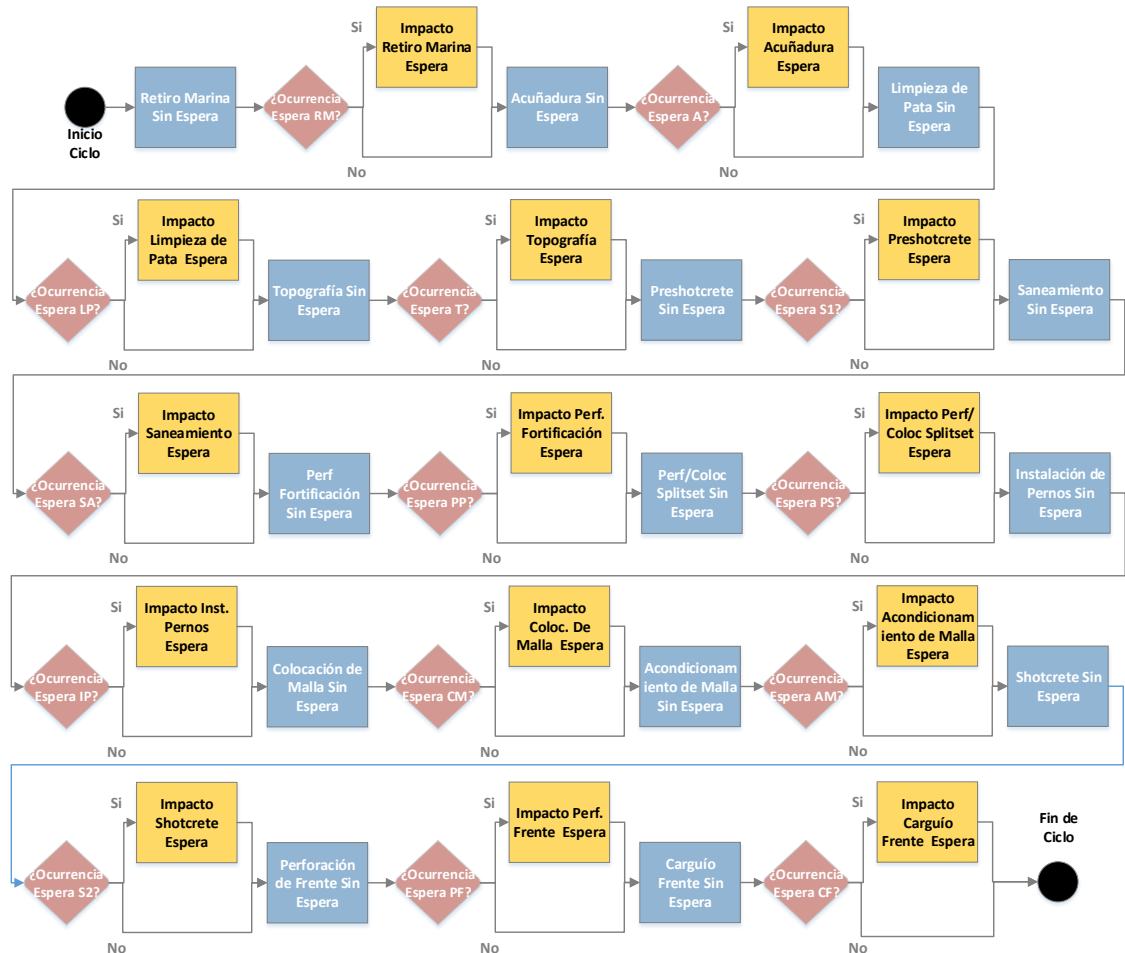


Ilustración 22: Diseño Conceptual Monofrente (Elaboración propia)

5.3.1.5 Validación y Verificación

La validación de los datos del ciclo para este estudio se realizó mediante nuevas mediciones realizadas en el Proyecto, comprendidas entre Noviembre 2018 y Enero 2019, desde ellas se obtiene un tiempo promedio de ciclo actividades para la frente Xc 3AS de 34,6 horas considerando esperas, ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** En el caso del modelo onofrente simulado, ver Ilustración 23, la moda (valor que más se repite) de la simulación es 35,7 horas, lo que arroja un error porcentual de 3,17%, considerándose una magnitud de error aceptable para investigaciones de este tipo (máximo error 5%).

TIEMPO DE CICLO ACTIVIDADES 24/10/2018 al 30/01/2019 -XC 3AS - Turno A		
Actividad	XC 3AS - Sección 5,7 X 5,6	
	Tiempo Efectivo de Actividad (Min)	Encuesta Detención Actividad (Min)
Extracción Marina	200	78
Topografía	39	9
Saneamiento	45	19
Acuñadura	49	11
Limpieza Pata	34	1
Foto Adams	33	2
Pre-Shotcrete	50	15
Perforación Fortificación	204	24
Perforación/ Colocación Split Set	118	78
Instalación Pernos + Lechado	212	11
Instalación Malla	167	13
Acondicionamiento de Malla	164	21
Shotcrete	52	12
Perforación de Avance	182	30
Carga de Explosivo y Tronadura	200	6
Total (hrs.)	34,6	

Tabla 7: Tiempo de ciclo Xc 3AS (Elaboración propia)

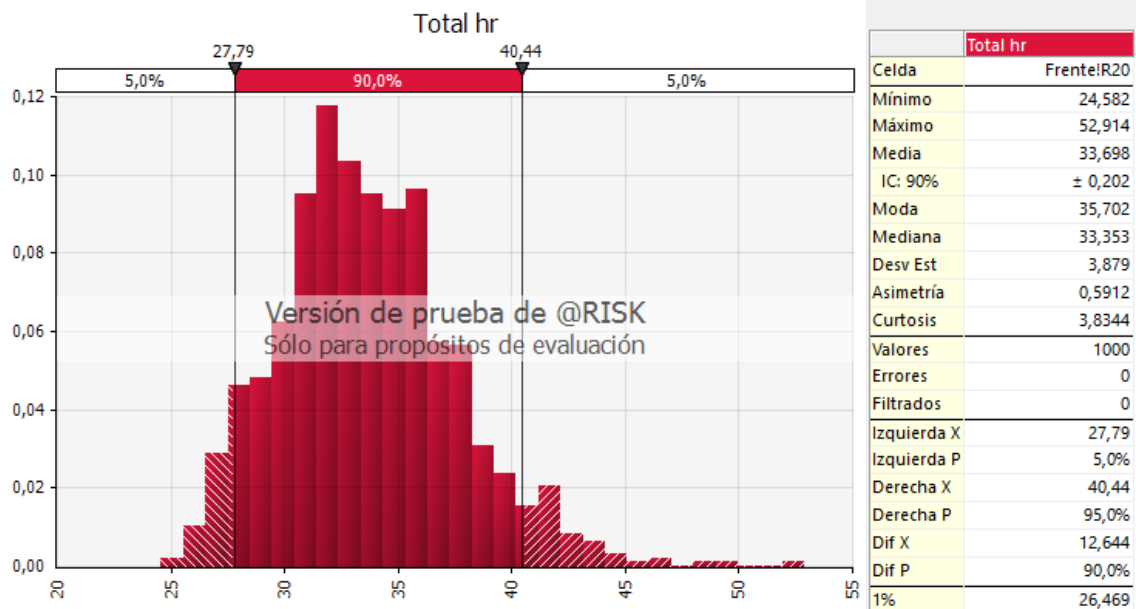


Ilustración 23: Simulación Monofrente (Elaboración propia)

5.3.1.6 Experimentación

Con el modelo monofrente ya validado es posible su utilización para el modelo de evaluación de riesgo mediante VaR, donde se utilizará el tiempo total de ciclo como input.

Para visualizar lo descrito en la sección 5.3.1 Proceso Modelo Monofrente, se confeccionó una representación gráfica del proceso en forma de diagrama SIPOC, el cual se muestra a continuación.

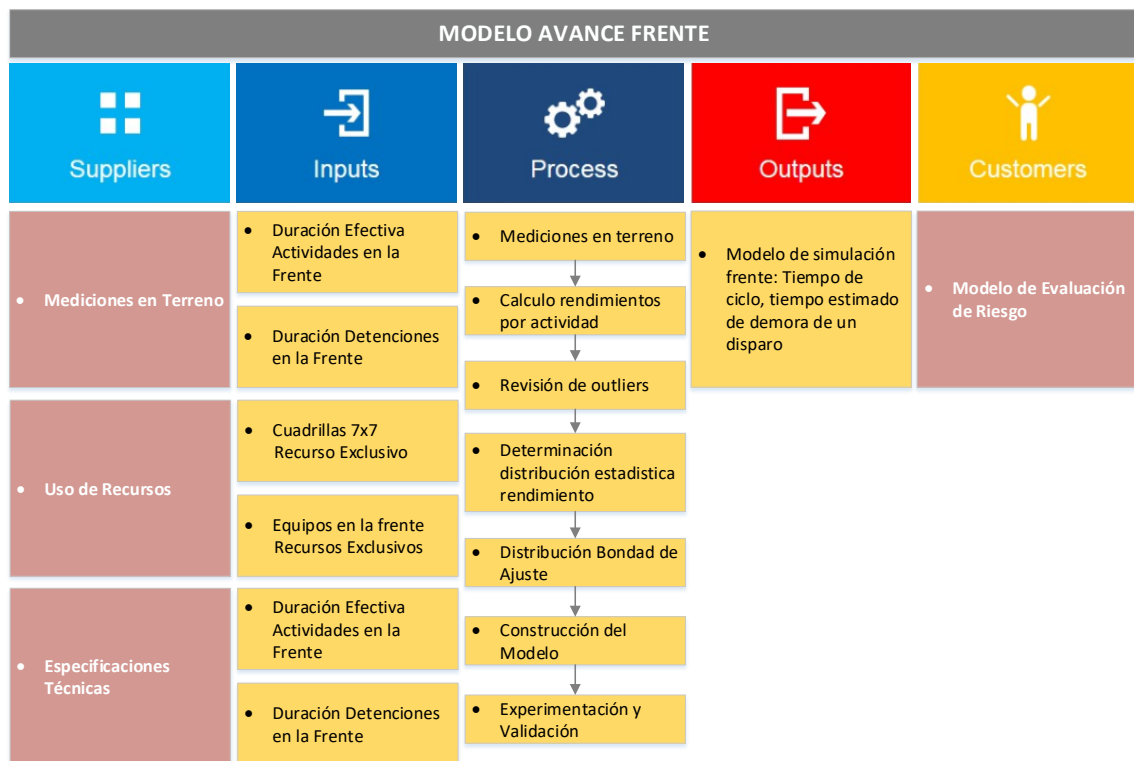


Ilustración 24: SIPOC Modelo Monofrente (Elaboración propia)

5.3.2 Proceso Modelo Evaluación de Riesgo (VaR)

5.3.2.1 Definición de Objetivo

Determinar en base al proceso de simulación de Montecarlo el nuevo VAN del Proyecto, considerando los rendimientos actuales del contratista (tiempo total de ciclo unitario) y que estos pueden afectar de forma positiva o negativa el inicio

de la producción: Retraso (mayor costo y retraso en ingresos de producción) o Adelanto (Ingresos temprano al mismo costo). Posteriormente, calcular el diferencial entre los diferentes VAN para así determinar el VaR y los estadísticos de riesgos de su evaluación económica.

5.3.2.2 Recolección de Datos

La recolección de datos permite identificar la información necesaria para definir el comportamiento de las variables independientes definidas en Ilustración 19, las cuales serán los parámetros de entrada (input) del modelo:

- **Tiempo Laboral:** El tiempo laboral considerado es el tiempo en que los recursos (humano/equipos) se encuentren en la frente, sin considerar las esperas y detenciones. A este tiempo se le denomina “Tiempo Disponible en la Frente (TDF)”, y fue considerado en las mediciones de ciclo de frentes utilizadas en el tiempo total del ciclo unitario utilizado la sección 5.3.1.2 Recolección de Datos. Para determinar el Tiempo Disponible en la Frente (TDF) se utilizó el tipo de medición Ciclo de Turno (CT)³. Mediciones fueron realizadas por empresa asesora de productividad.
- **Avance:** El avance real realizado en las frentes críticas fue suministrado por la Inspección Técnica en Obra (ITO) en los meses que se realizaron mediciones, siendo utilizados también para los estados de pago del contratista.
- **Evaluación Económica:** La evaluación económica utilizada se extrajo de Vicepresidencia de Proyectos Codelco, (2017c), Capítulo 21: Evaluación Económica , documento presentado por el Proyecto a Cochilco en el API de Mayo 2017. Para este estudio se tomó explícitamente la información del Proyecto Andes Norte, excluyendo los otros proyectos del PDA, ya que el objetivo es ver el impacto en el Proyecto PNNM – AN y no en la cartera de proyectos completa.
En el ANEXO C: EVALUACIÓN ECONOMICA ANDES NORTE se encuentra la evaluación económica más detallada.

³ Ciclo de Turno: El analista se une a una cuadrilla desde el inicio del día hasta su término identifica los tiempos en que se encuentra disponible en la frente y los que se encuentra realizando actividades contributorias como transporte, lo relevante es poder determinar la cantidad de horas que cuentan los trabajadores para realizar su trabajo.

5.3.2.3 Análisis de Datos

- **Confección Base de Datos:** Para este modelo lo relevante es determinar funciones de probabilidad para el tiempo disponible en la frente (TDF) y los metros obtenidos por disparo. Para ambas frentes críticas se confeccionaron Bases de Datos con la información requerida según las siguientes categorías:
 - Fecha Medición
 - Frente
 - Tiempo Disponible en la Frente
 - Avance Obtenido
- **Representatividad de las mediciones:** Definición del número de mediciones necesarias para que matemáticamente el conjunto de muestras represente a la población, en base a la variabilidad de la media de los metros de avance y el tiempo disponible en la frente, asumiendo ambos parámetros como poblaciones continuas e infinitas.

En la sección 5.3.1.3 Análisis de Datos se muestran las fórmulas del Tamaño muestral, así como en la Tabla 8 se muestra el resultado de la representatividad de ambos tamaños muestrales.

TAMAÑO MUESTRAL - TIEMPO DISPONIBLE EN LA FRENTE									
Parametros	N Real (SE)	Promedio	Devst	Coef Varianza	Error	Confiabilidad	Z	N Teórico(SE)	Criterio
Tiempo Dispobible en la frente (TDF) (Hrs)	110	5:29:00	0:54:01	16%	0:10:00	95%	1,64	78,94	Acceptable
TAMAÑO MUESTRAL - AVANCE POR FRENTE FRENTE									
Frente	N Real (SE)	Promedio	Devst	Coef Varianza	Error	Confiabilidad	Z	N Teórico(SE)	Criterio
XC 3 AS (m)	25	3,5	0,4	12%	0,15	95%	1,64	21,58	Acceptable
Rampa Acceso a Nivel Inferior (m)	36	2,6	0,5	21%	0,15	95%	1,64	35,62	Acceptable

Tabla 8: Tamaños muestrales (Elaboración propia)

- **Bondad de Ajuste:** Determinación de la distribución de probabilidad que mejor se ajusta a los parámetros Tiempo Disponible en la Frente (TDF) y metros de avance por disparo, aplicando las pruebas de Kormogorov-Smirnov y Chi-cuadrado. En la siguiente tabla se muestra la distribución de los parámetros, en caso de requerir el análisis de bondad de ajuste para las esperas y rendimientos sin esperas revisar ANEXO B: BONDAD DE AJUSTE.

ESPERA ACTIVIDAD	DISTRIBUCIÓN	PARÁMETROS ESTADÍSTICOS
Tiempo Disponible en la Frente (TDF)	Normal	$\sigma=54,03$ $\mu=328,97$
Metros de Avance - XC 3 AS	Triangular	$m=3,2$ $a=2,6011$ $b=4,4934$
Metros de Avance - Rampa a Acceso Nivel Inferior	Normal	$\sigma=0,54063$ $\mu=2,6472$

Tabla 9: Distribución de los parámetros (Elaboración propia)

5.3.2.4 Diseño Conceptual

- **Conexión de los modelos:** La conexión entre ambos modelos ocurre matemáticamente, los parámetros de entrada a utilizar son los que se encuentran en la Tabla 10:

PARÁMETROS DE ENTRADA				
Parámetro	Símbolo	Unidad	Tipo	Formula/ Fuente
Largo Restante	Lr	Metros	Constante	Largo Total (Lt) - Largo Actual (La)
Días Disponibles	Dd	Días	Constante	Fecha Termino Original (Ft) - Fecha Avance Actual (Fa)
Tiempo de Ciclo Total	Tc	Horas	Distribución	Modelo Monofrente
Avance por Disparo	Ad	Metros	Distribución	Topografía Proyecto
Tiempo Disponible en la Frente	TDF	Horas	Distribución	Mediciones en Terreno

Tabla 10: Parámetros entrada modelo (Elaboración propia)

El primer paso es calcular el “N° de Ciclos Restantes” para el término de la frente:

$$N^{\circ} \text{ Ciclos Restantes} = \frac{L_r [mts]}{A_d [mts]}$$

Ecuación 6: N° de Ciclos Restantes

El segundo paso es determinar el “Tiempo Restante al Término” la frente crítica estudiada:

$$\text{Tiempo Restante al Termino} = N^{\circ} \text{ Ciclos Restantes} \times T_c [hrs]$$

Ecuación 7: Tiempo Restante al Término

Ahora es necesario traducir el “Tiempo Restante al Termino” a horas laborales de trabajadores por día, considerando dos turnos, la ecuación sería la siguiente:

$$\text{Días Restantes al Término} = \frac{\text{Tiempo Restante al Término [hrs]}}{2 \times TDF \text{ [hrs]}}$$

Ecuación 8: Tiempo Restante al Término

- **Variable de Retraso/Adelanto:** Determinado el indicador de “Días Restantes al Término” es necesario contrastarlo con los Días Disponibles para poder determinar si existe retraso o adelanto del proyecto

$$\text{Desfase } [\Delta d][\text{Años}] = \frac{\text{Días Restantes al Término} - \text{Días Disponibles}}{365} [\text{Años}]$$

Ecuación 9: Variable Desfase

El factor que afectará a la evaluación financiera determinística será Δd , el cual definirá si el proyecto se atrasa o adelanta.

Las consecuencias del comportamiento de Δd se explican la Tabla 11:

COMPORTAMIENTO DE LA EVALUACIÓN ECONÓMICA				
Variación	Estatus Proyecto	Ingreso	Costo	Descripción
$\Delta d > 0$	Retraso	Retraso	Aumento Costo	Al retrasar el proyecto en Δd , aumentarán los costos variables (Arriendo de equipo, combustible, personas) y se retrasará el ingreso por inicio de producción en Δd
$\Delta d = 0$	En Plazo	Sin Variación	Sin Variación	El proyecto saldría en plazo sin variación con relación al caso base (determinístico)
$\Delta d < 0$	Adelanto	Adelanto	Disminución Costo	El adelanto del proyecto se traduce en un adelanto de la producción de Δd por lo que los ingresos entrarían antes y disminuirá el costo en Δd de los costos variables

Tabla 11: Comportamiento variable desfase (Elaboración propia)

5.3.2.5 Experimentación

Con las variables del modelo ajustadas y verificadas matemáticamente más el análisis matemático de las fórmulas a utilizar, para determinar la distribución de desfase que afectará al VAN determinístico transformándolo mediante la simulación en un VAN Probabilístico, se determinará el VaR y otros parámetros de riesgos a describir en el siguiente capítulo

Para visualizar lo descrito en la sección 5.3.25.3.2 Proceso Modelo Evaluación de Riesgo (VaR), se confeccionó una representación gráfica del proceso en forma de diagrama SIPOC, el cual se muestra a continuación.



Ilustración 25: SIPOC Modelo Monofrente (Elaboración propia)

6. EVALUACIÓN ECONÓMICA

6.1 CASO BASE O DETERMINÍSTICO

6.1.1 Evaluación Económica Caso Base

Como ya se mencionó en el Capítulo 5, la Evaluación Económica utilizada se extrajo desde el documento de la Vicepresidencia de Proyectos Codelco (Carrillo, 2017b), Capítulo 21: Evaluación Económica. Dicho documento fue presentado por el Proyecto a Cochilco en el API de Mayo 2017.

Para este estudio se tomó explícitamente la información del Proyecto Andes Norte, excluyendo los otros proyectos del PDA, ya que el objetivo es ver el impacto en el Proyecto PNNM – AN y no en la cartera de proyectos completa.

El valor económico del Proyecto se estimó calculando sus flujos de caja con base en la producción generada (ingresos por cobre fino en concentrado y óxido de molibdeno, como productos comerciables), sus propias inversiones y los costos directos de extracción y traspaso de mineral. Aquellos costos transversales, correspondientes a manejo y transporte de mineral, procesamiento en planta y staff, se asignaron proporcionalmente a su producción acorde con el Plan Minero de cada escenario.

El año de PEM para PNNM – AN es el 2023 y su régimen de producción alcanza los 35 Ktpd en un periodo que abarca desde 2030 al 2052. El horizonte completo del proyecto abarca desde 2017 a 2060.

Los parámetros bases para la evaluación se muestran a continuación

PARÁMETROS COCHILCO-MDS, ENERO 2017	2017	2018	2019	2020	2021	LARGO PLAZO
Tipo Cambio (\$/US\$) Nivel Medio	681	678	669	647	647	647
IPC Chile	116,1	116,1	116,1	116,1	116,1	116,1
IPM USA	191,2	191,2	191,2	191,2	191,2	191,2
Serie de Precios Cu (cUS\$/lb)	240	240	253	279	280	280
Tasa de Descuento (%)	10,00%					

Tabla 12: Parámetros de entrada Evaluación determinística (Elaboración Propia)

El resultado de la evaluación económica inicial para el proyecto PNNM – AN se muestra en la tabla a continuación:

EVALUACIÓN ECONÓMICA DETERMINÍSTICA			
PNNM - AN	Unidad	∑ Nominal	VNA
Ingreso	miles US\$	18.390.559	\$2.724.263,25
Cobre	miles US\$	17.199.017	2.553.421
Molibdeno	miles US\$	1.191.542	170.842
Gastos	miles US\$	7.425.507	\$1.074.268,43
Preparación	miles US\$	1.674.116	299.669
Mina+Planta+Overhead	miles US\$	5.751.391	774.599
Inversiones (CAPEX Proyecto)	miles US\$	2.454.750	\$1.435.950,81
Flujo de Caja	miles US\$	8.510.302	\$214.044,01

Tabla 13: Resultado evaluación económica Determinística

Sobre la base de los perfiles y flujos señalados, el aporte de valor del Proyecto PNNM – AN es de MUS\$214.044 por lo tanto, independiente de que este se desarrolle como contexto en el PDA, por si solo el Proyecto genera valor.

Para tener una idea más general de cómo se comporta el Proyecto completo, en la Ilustración 26 se muestran su Ingresos, en el gráfico se puede ver que los ingresos comienzan el año 2023 y escalan según *ramp up* de producción. Este ingreso incluye ingresos percibidos por conceptos de Cobre y molibdeno.

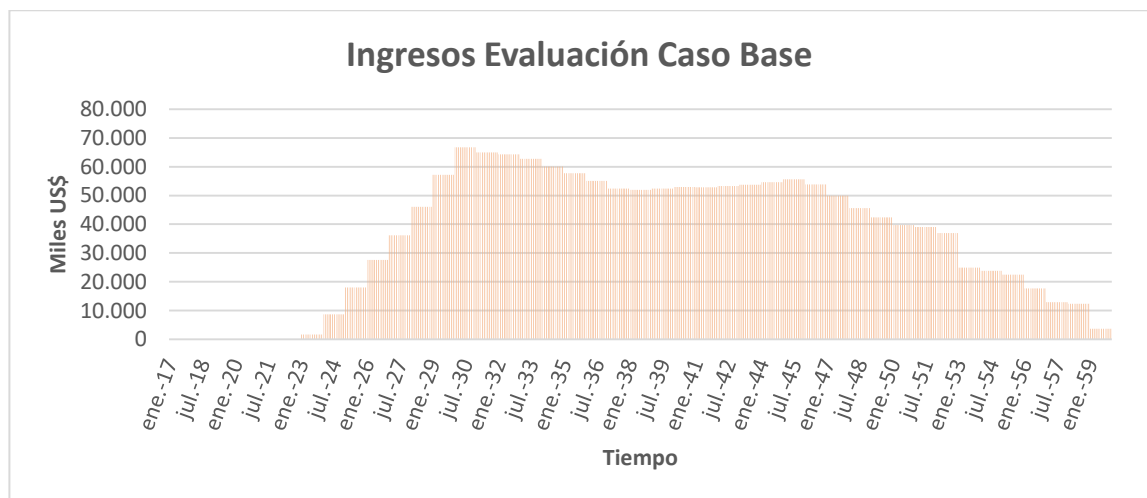


Ilustración 26: Ingresos Evaluación Caso Base (Elaboración propia)

Para el caso de los costos y según muestra se muestra en el gráfico de la Ilustración 27 la mayor concentración de costos se tiene en los primeros 6 años,

esto debido a que es en el inicio cuando se tienen las mayores Inversiones como CAPEX, y que en general mientras se mantenga el ritmo de extracción se mantendrán los gastos asociados a la mina, planta y los gastos generales.

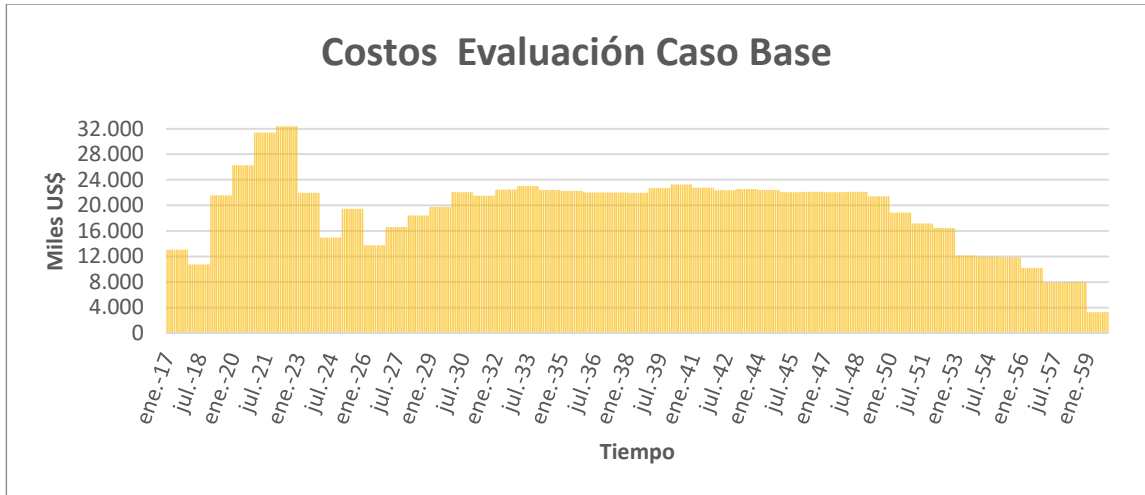


Ilustración 27: Costos Evaluación Caso Base (Elaboración propia)

Con respecto al flujo de caja, se puede ver en la Ilustración 28 que este es positivo solo a partir del año 10, una vez ya pasado el máximo de inversiones y habiéndose recorrido buena parte del *rump up*.

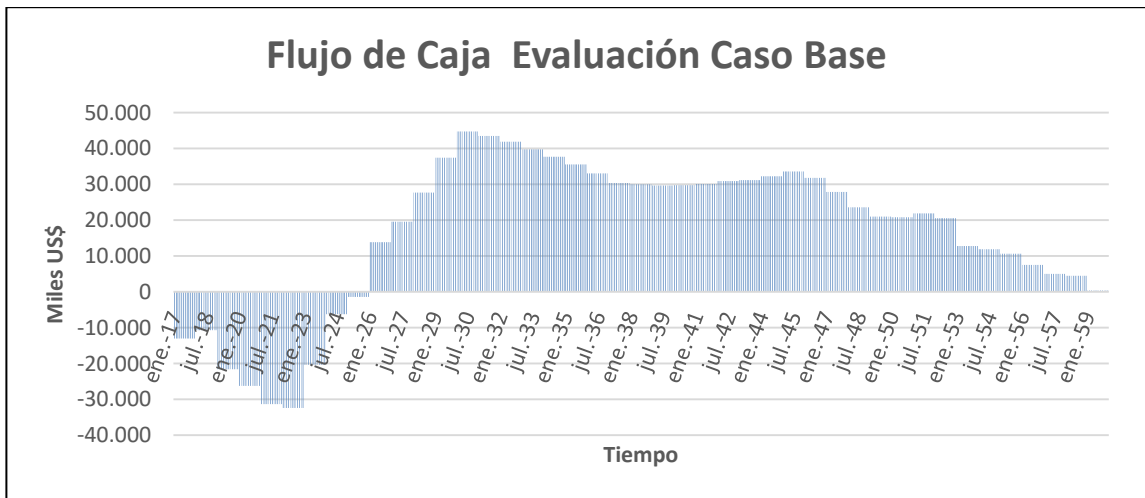


Ilustración 28: Flujo de Caja Evaluación Caso Base (Elaboración propia)

6.1.2 Consideraciones Frentes Críticas

Para las evaluaciones desarrolladas en este trabajo, se consideró la situación en que se encontraban ambas frentes críticas hasta agosto del 2018, específicamente los metros horizontales desarrollados.

La tabla a continuación muestra un resumen de la situación inicial considerada para ambas frentes críticas.

INPUTS DESFASE		
ITEM	XC 3 AS	R.A.C.I
Largo Total (mts)	617	713
Largo Actual (mts)	106,70	157,9
Fecha Termino Original	12/12/2019	07/08/2019
Fecha Avance Actual	31/08/2018	31/08/2018

Tabla 14: Situación inicial frentes críticas (Elaboración propia)

6.1.3 Costos Variables Retraso

Para evaluar económicamente el retraso del proyecto, se tomó como opción solo considerar los gastos generales mensuales, teniendo en cuenta que existen varios gastos a pagar como sumaalzada y que la empresa incurre en el mismo pago por el desarrollo de las frentes.

GASTOS GENERALES		
DESCRIPCIÓN	TOTAL	TOTAL Mensualizado
Personal de Dirección	1.642.534.344	91.251.908
Personal Oficina Técnica	672.944.731	37.385.818
Personal Bodega	496.704.475	27.594.693
Personal Administrativo	200.957.978	11.164.332
Personal Depto. Ssma	566.355.359	31.464.187
Personal Depto. Calidad	255.354.824	14.186.379
Personal De Mantenición	2.242.095.375	124.560.854
Mantenición Y Control De Vías	409.770.936	22.765.052
Equipos	1.076.858.354	59.825.464
Otros	81.000.000	4.500.000
Materiales	990.199.368	55.011.076
Gastos Financieros	3.638.691.333	202.149.518
TOTAL GASTOS GENERALES (cl.)	12.273.467.076	681.859.282
TOTAL GASTOS GENERALES (US\$)	18.568.029	1.031.557

Tabla 15: Gastos Generales (Elaboración propia)

En la Tabla 15 se muestran los gastos totales considerados y su mensualización. Para mayor detalle de los gastos revisar el ANEXO D: GASTOS GENERALES.

6.2 DETERMINACIÓN DEL VaR

6.2.1 Determinación del Tiempo Total de Ciclo

Del modelo de frente monociclo explicado en el capítulo 5.3.1 Proceso Modelo Monofrente se obtuvo la distribución del Tiempo Total de Ciclo, la cual estima la probabilidad de que el total del ciclo minero sea una cierta cantidad de horas.

Este proceso se realizó para ambas frentes críticas, Xc 3AS y Rampa Acceso Chancador Inferior que pertenecen a las rutas críticas, obteniéndose como resultado una media del ciclo minero de 33,79 horas y de 36,7 horas para ambas frentes respectivamente.

En el caso del Xc 3AS, ver Ilustración 29, el valor que más se repite (moda) es de 32,6 horas con una probabilidad acumulada de 95%. El tiempo Total de Ciclo a lo máximo es 41,2 horas.

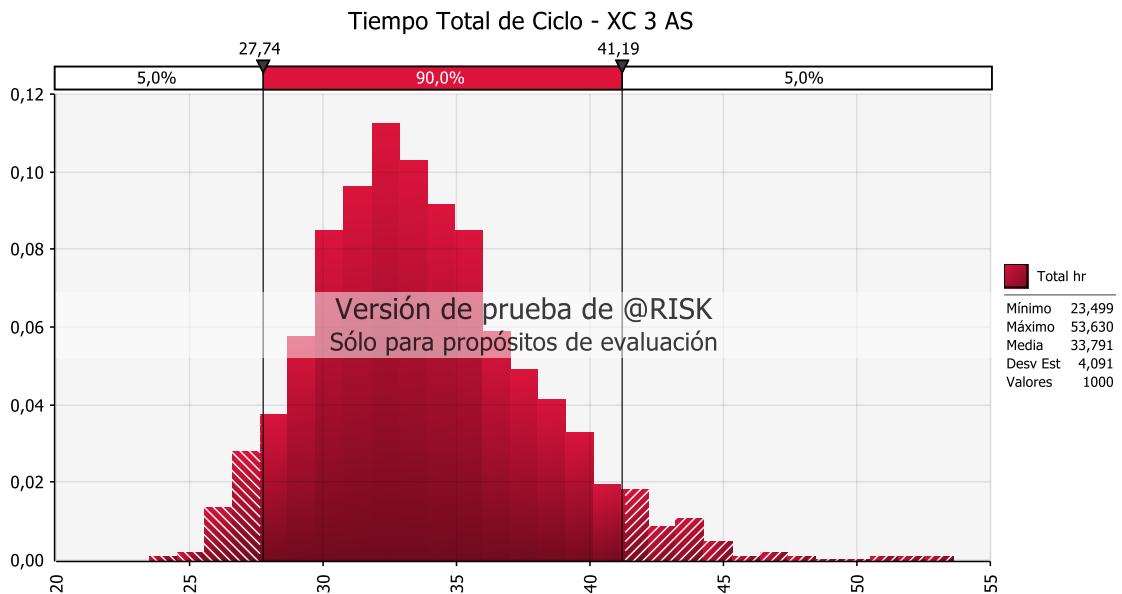


Ilustración 29: Tiempo Total de Ciclo Xc 3AS (Elaboración propia)

Para el caso Rampa Acceso Chancador Inferior, ver Ilustración 30, la moda es de 35 horas y con un 95% de certeza es posible afirmar que el tiempo total de Ciclo máximo es 44,3 horas.

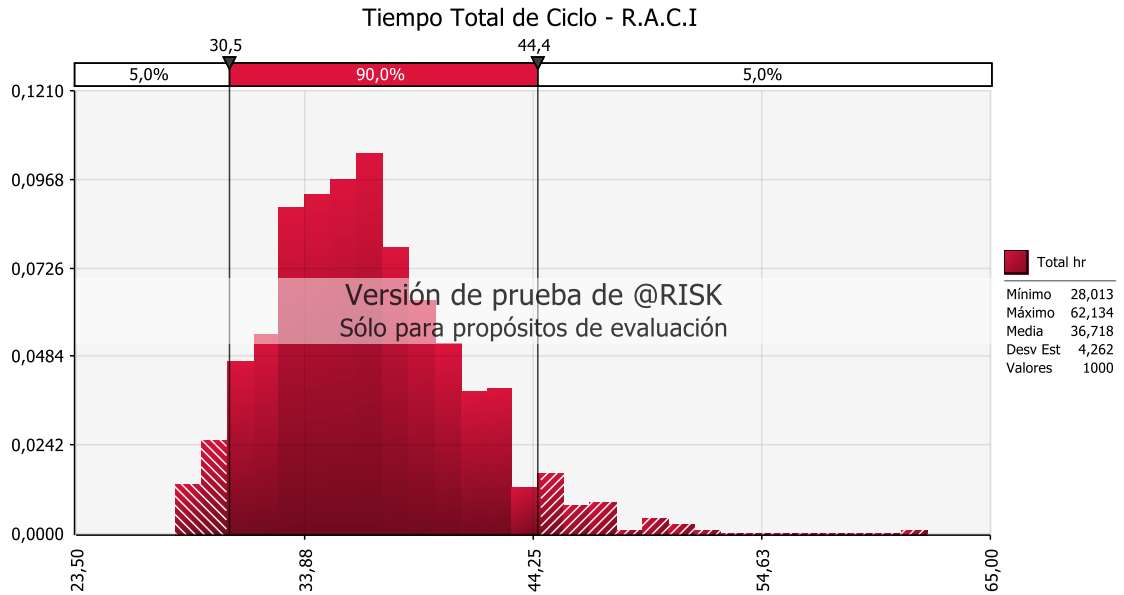


Ilustración 30: Tiempo Total de Ciclo Rampa A.C.I (Elaboración propia)

6.2.2 Determinación del VAN

Utilizando el modelo de evaluación de Riesgos definido en el capítulo 5.3.2 Proceso Modelo Evaluación de Riesgo (VaR) y parametrizándolo con los valores obtenidos en el capítulo 6.2.1 Determinación del Tiempo Total de Ciclo, se obtuvieron las distribuciones de VAN del Proyecto para el desfase de cada una de las frentes.

Para el caso del Xc 3AS la distribución que presenta un mejor ajuste es la Hipersecante, cuyos parámetros que se muestran en la Tabla 16. A pesar de que los valores que puede tomar el VAN son infinitos, dentro de los parámetros relevantes se tiene que la moda es de \$MUS 194.415 y el valor más seguro (P5) es de \$MUS 109.284, mientras la probabilidad que el VAN sea el del caso base es de un 32,4%. Ver la Ilustración 31

La Rampa Acceso Chancador Inferior en cambio se ajustó a una distribución Weibull como se puede ver en la Ilustración 32, los estadísticos al igual que en el caso anterior se encuentran en la Tabla 16. Al ser una distribución Weibull el dominio positivo de la función es infinito y el negativo es \$MUS -423.555. La moda

del caso es \$MUS 89.721 y el valor más seguro (P5) es -\$MUS 61.430, mientras que la probabilidad que el VAN sea el del caso base es de un 0,6%

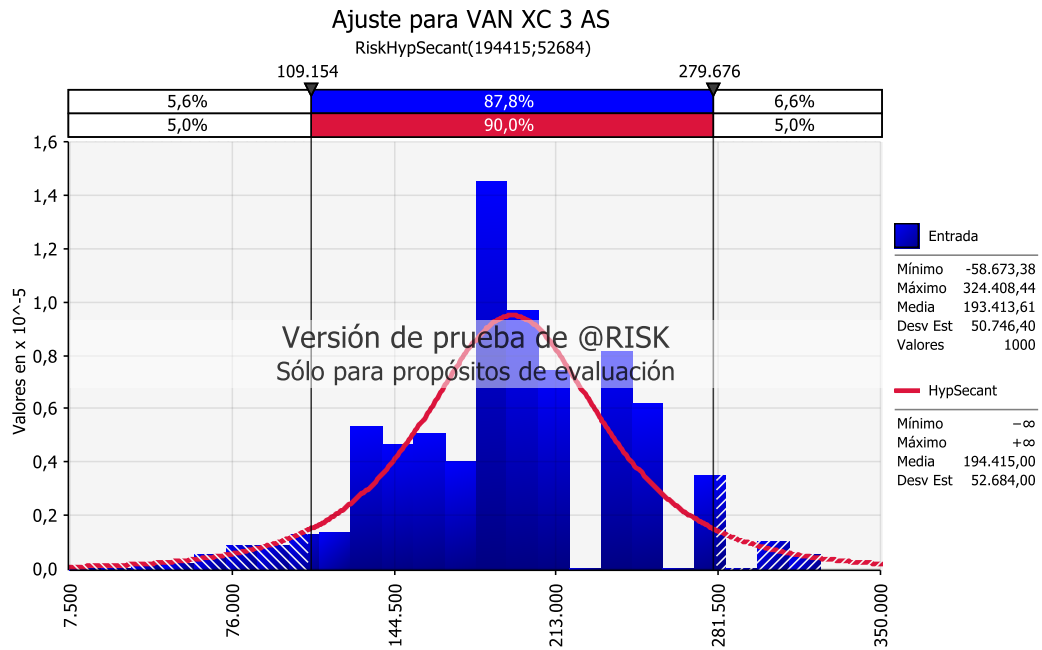


Ilustración 31: Distribución VAN Xc 3AS (Elaboración propia)

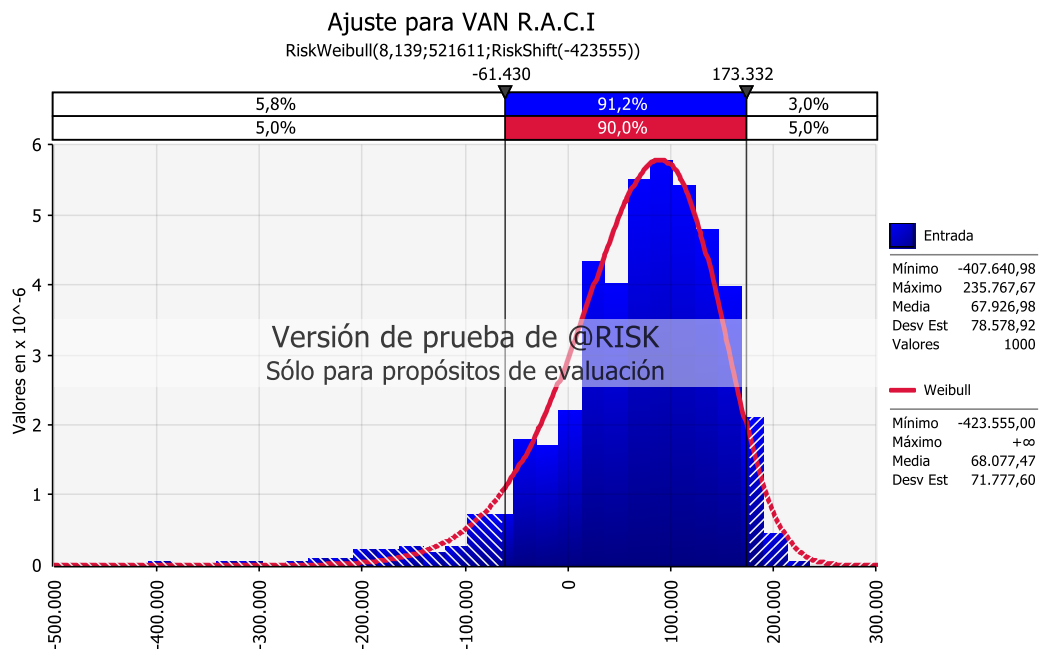


Ilustración 32: Distribución VAN R.A.C.I (Elaboración propia)

VAN FRENTE	DISTRIBUCIÓN	PARÁMETROS ESTADÍSTICOS
XC 3 AS	Hipersecante	$\sigma=52684$ $\mu=194415$
R.A.C.I	Weibull	$\alpha=4,9967E+7$ $\beta=2,9692E+12$ $\gamma=-2,9692E+12$

Tabla 16: Parámetros Estadísticos (Elaboración propia)

Si se requiere revisar en detalle la bondad de ajuste de estas nuevas distribuciones ver ANEXO B: BONDAD DE AJUSTE.

6.2.3 Evaluación del Riesgo

Para evaluar el riesgo del proyecto en base al retraso de las rutas críticas definidas en este trabajo se utilizaron las medidas de riesgo vigentes de la Corporación, descritas en la Ilustración 33.

Aplicando la metodología definida al caso de estudio los indicadores obtenidos para ambas frentes críticas son los siguientes:

EVALUACIÓN DE RIESGO		
Indicador	XC 3 AS	R.A.C.I
Distribución	Hipersecante	Weibull
Compromiso Determinístico (3)	\$ 214.044	\$ 214.044
Valor Esperado (P50) (1)	\$ 194.449	\$ 75.088
Desviación Estándar	\$ 52.615	\$ 71.778
Valor Probable (C80) (VE-Desv Est) (4)	\$ 141.834	\$ 3.310
Valor Seguro (P5) (2)	\$ 109.284	\$ -61.430
Perdida Probable (3) - (4)	\$ 72.210	\$ 210.734
Perdida Esperada (3)-(1)	\$ 19.595	\$ 138.956
VaR (1)-(2)	\$ 104.760	\$ 275.474
% de Valor Seguro	51%	-29%

Tabla 17: Evaluación de Riesgo Frentes Críticas (Elaboración propia)

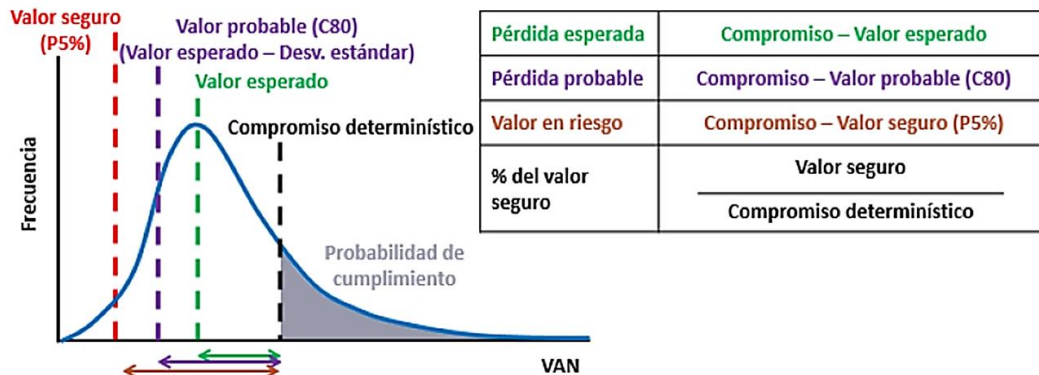


Ilustración 33: Distribución del VAN y Valor en Riesgo (Vicepresidencia de Proyectos Codelco, 2017e)

En el caso del Xc 3AS el Valor seguro es \$MUS 109.284 (P5) y la diferencia o valor en riesgo (VaR) con relación al caso determinístico o comprometido es \$MUS 104.760, finalmente el % de Valor Seguro es 51% del VAN definido en el caso Base. Por otro lado la pérdida esperada correspondiente a la diferencia entre el P5 y P50 es \$MUSD 19.595.

Actualmente esta frente cuenta con una holgura adicional de 12,6 meses más de lo establecido en el plan objetivo debido a su diferencia con respecto a las fechas API, ver Tabla 18 y rutas críticas del capítulo 4.3 , lo que entrega una probabilidad de 98,2% de cumplir con la ejecución de los trabajos como muestra la siguiente ilustración, a diferencia del caso base donde la probabilidad de éxito era 29,1%.

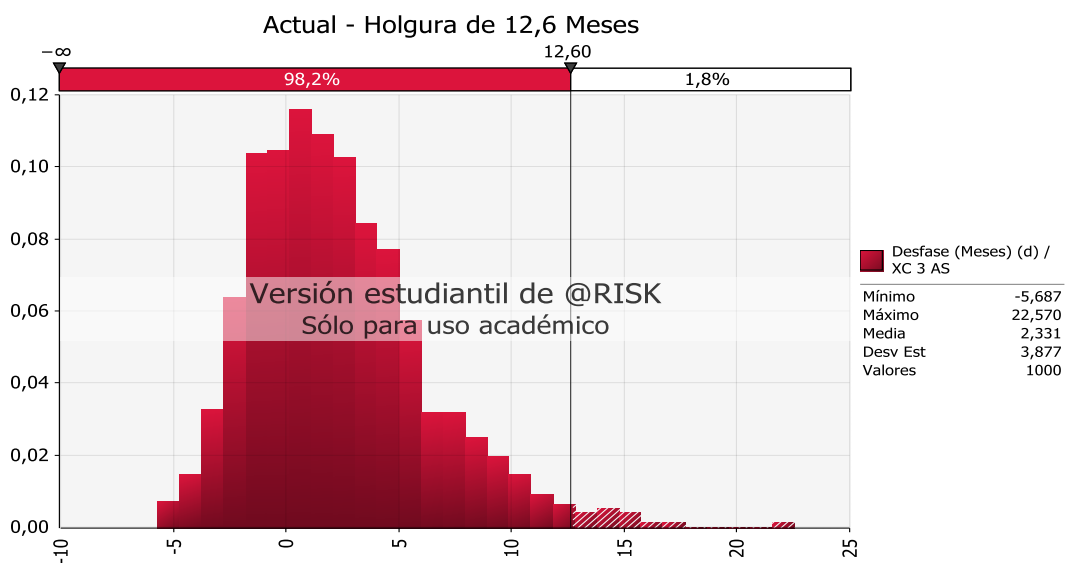


Ilustración 34: Holgura Xc 3AS (Elaboración propia)

En el caso de la Rampa Acceso Chancador Inferior, la opción de mantener el estatus quo se rechaza ya que el VAN del Valor Seguro (P5) es \$MUS -61.430, existiendo un valor en riesgo (VaR) de \$MUS 275.474 lo que es mayor al VAN determinístico estimado, por lo cual sería muy riesgoso seguir con el proyecto.

Actualmente para mitigar el atraso de esta frente y en función de la holgura de 8,4 meses (mismo origen que en el caso del Xc 3AS) se tiene un nivel de confianza de 26,4%, por lo que se decidió aceptar el retraso de este desarrollo y generar una nueva opción de *by-pass* creando una frente denominada “Rampa Directa” la cual tiene 200 metros menos de ejecución que la rampa original y sería una solución alternativa.

Considerando la opción alternativa de la Rampa Directa y los 8,4 meses de holgura adicional la probabilidad de terminar a tiempo para el inicio de producción es un 80,6%

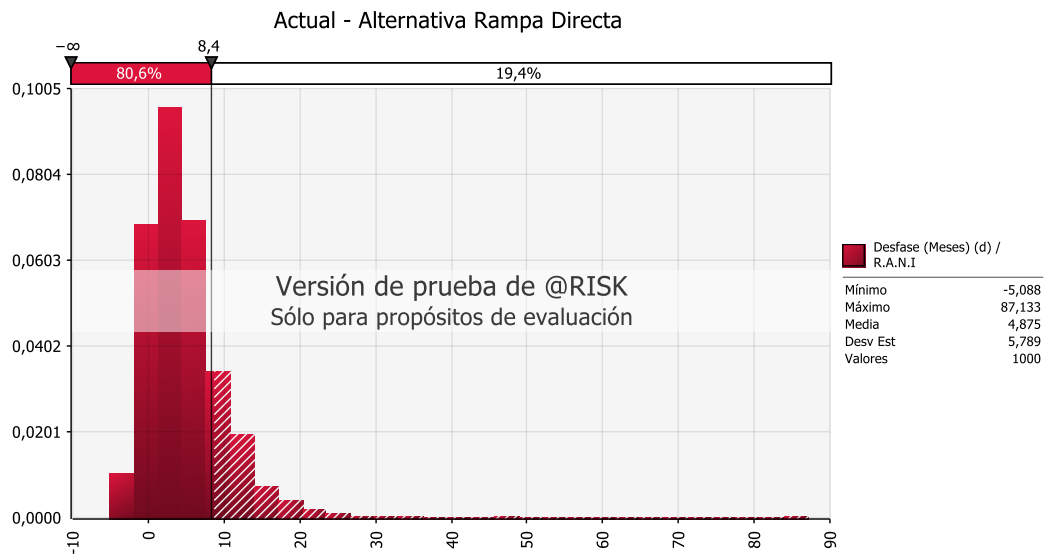


Ilustración 35 (Elaboración propia)

PRINCIPALES HITOS PROYECTO	FECHA PROGRAMA		
	Objetivo	Oferta	API
Inicio Producción (1 batea incorporada)	30-nov-22	30-abr-23	07-dic-23
Término PEM Sistema de Manejo de Material Definitivo	30-nov-23	31-mar-24	31-jul-24

Tabla 18: Fechas Hito Proyecto (Elaboración propia)

7. CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIÓN

Se cumplieron cabalmente los objetivos establecidos en el trabajo; se realizó un levantamiento, clasificación y análisis de datos para cada una de las actividades del ciclo minero, esto permitió desarrollar un modelo de simulación monofrente capaz de realizar una unidad básica de explotación y reflejar la utilización de recursos mediante la subdivisión de trabajos y restricciones. Siendo validado mediante su aplicación sobre las frentes críticas Xc 3AS y Rampa Acceso Chancador Inferior. Se cuantificó el riesgo mediante la variación del VAN del Proyecto, en función del desfase de sus rutas críticas, evaluando el impacto en los plazos de término, mediante distintos escenarios.

Con respecto al análisis en sí, la evaluación se realizó mediante dos modelos, el primero monofrente que mediante la información de los tiempos de las actividades del ciclo minero y las especificaciones técnicas de la frente estimó la distribución de probabilidad del “Tiempo Total de Ciclo”, el cual fue validado con mediciones actuales de las frentes estudiadas arrojando un 3% aproximado de error. Esta variable en conjunto con los parámetros de avance, tiempo de ejecución y tiempo disponible en la frente permitieron definir una distribución de probabilidad para cada frente denominada “Tiempo de Desfase”, esta estimó la confiabilidad del nivel de retraso que podrían tener las frentes críticas, para el caso del Xc 3AS la moda fue de 32,6 horas y para la Rampa Acceso Chancador Inferior esta variable fue de 35 horas. Con esta información más la evaluación económica del proyecto fue posible generar el segundo modelo de evaluación de proyectos, que mediante el retraso en las frentes críticas generó un retraso en el inicio de producción y se tradujo en un impacto en el VAN del proyecto.

La evaluación de ambas frentes críticas permite afirmar que la criticidad de la ejecución de la Rampa Acceso Chancador Inferior es mucho mayor que la del Xc 3AS, ya que con las condiciones establecidas no es posible su ejecución en tiempo y su retraso genera un VAN negativo de \$MUS -61.430 y un valor en riesgo (VaR) de \$MUS 275.474, el cual es mucho mayor que el VAN del proyecto. Esta evaluación se valida con la actual opción alternativa que considera ejecutar otra rampa de menor longitud, la cual entrega un 98% de probabilidad de ejecución exitosa. Para el caso del Xc 3AS el VAN probabilístico estimado es \$MUS 109.284 lo cual aún lo hace un proyecto efectivo, sin embargo su valor en riesgo es \$MUS 104.760 lo cual generó que en la actualidad esta frente tenga una serie de iniciativas para agilizar su construcción y no haga uso de su holgura (Api versus Programa) de aproximadamente un año, generan una mejora en la probabilidad de ejecución de 21% a 98%.

El modelo generado es fidedigno y comprende una herramienta adecuada para la evaluación y toma de decisión del proyecto, ya que los resultados entregados por el VaR permitieron observar la necesidad de generar planes de aceleramiento que hoy en la actualidad se están ejecutando.

El modelo permitió cuantificar las pérdidas del VAN por el retraso en las actividades del ciclo minero, sin embargo, siguiendo este mismo parámetro, también es posible cuantificar los beneficios de posibles mejoras en el o los cuellos de botella del ciclo minero y traducirlos a mejoras en el VAN del Proyecto, mediante la simulación de casos.

Adicionalmente, es posible utilizar este modelo de evaluación de riesgo indistintamente con otros procesos, que en el futuro afecten la ruta crítica (inicio de producción), no necesariamente actividades como desarrollos horizontales, sino también actividades de montaje u otros, solo es necesario definir el tiempo de desfase para que el modelo ajuste el VaR.

7.2 RECOMENDACIONES FUTUROS ESTUDIOS

La evaluación financiera del proyecto utilizada fue la del API Agosto 2017, se recomienda para próximos trabajos desarrollar el modelo con la última evaluación financiera incorporando, incluso, el modelo la evaluación financiera del Plan de Desarrollo Alternativo (PDA), para analizar su impacto en la cartera de proyectos dado el desfase del SMMd, ya que es el Proyecto Andes Norte el responsable de generar el nuevo sistema de transporte para toda la mina. Además, para la presente evaluación sólo se considera la inclusión de riesgos para el Proyecto NNM - Andes Norte, asumiendo por tanto que los demás sectores del PNNM no están sujetos a riesgo. Sin embargo, debe notarse que la evaluación del riesgo de régimen productivo de PNNM considera la interacción de PNNM - Andes Norte con el resto de sectores del Nuevo Nivel Mina y DET al considerar que, por ejemplo, en caso de existir una mayor producción en régimen, no puede excederse el nivel de régimen productivo de 137 Ktpd.

De ser posible, generar un nuevo modelo “multi frente” en el cual se pueda incorporar más de una frente y se pueda evaluar el riesgo de que ambas rutas críticas o el nivel de hundimiento se retrasen con respecto la fecha pactada.

Utilizar la información generada en este trabajo para realizar la evaluación del riesgo con la teoría de los valores extremos, ya que el VaR asume normalidad en los retornos (distribuciones normales), lo cual no permite considerar valores extremos que podrían llegar a ser relevantes.

El método aplicado en este trabajo se podría utilizar en cualquier tipo de proyecto e industria donde su ciclo de construcción sea conocido, medible y cíclico, como lo es la construcción de túneles, excavaciones, montaje de cañerías, edificación en extensión y en altura, etc. Por tanto, de basta aplicación si se definen y ajustan bien sus parámetros.

Si bien para los dos riesgos relevantes de este estudio se definió la probabilidad de ocurrencia y se determinó su efecto sobre el Proyecto, sería un buen ejercicio trabajar sobre los 5 riesgos de proyecto restantes (variación del CAPEX, alcanzar producción en régimen, variación *ramp up* a régimen, estallidos de roca en la construcción de los túneles del SMMd y Variabilidad en recuperación metalúrgica Cu). Todos ellos son cuantificables y podrían tener un efecto considerable en los resultados económicos del proyecto.

En base al proceso general de gestión de riesgos, estos se encuentran identificados, estudiados y documentados, siendo caracterizados cualitativamente y generalmente cuantificados en relación con los objetivos generales del proyecto. Por tanto, existe materia pendiente en cuanto a la planificación de respuesta a dichos riesgos, y el desarrollo de opciones y acciones para mejorar y reducir sus efectos en los objetivos del proyecto. Se debe mejorar también la implementación de planes de respuesta a los riesgos, monitoreando los riesgos ya identificados, considerando los riesgos residuales así como posible nuevos riesgos. En resumen, para asegurar en cierta medida el éxito del Proyecto, es sumamente importante realizar y organizar las actividades de gestión de riesgo.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Araya, J. (2017). *Modelo de productividad y optimización de operaciones de construcción en proyectos de preparación minera tipo Block/Panel Caving*. Universidad Católica de Chile.
- Brown, E. (2002). *Block Caving Geomechanics*. Queensland: Julius Kruttschnitt Mineral Research Centre.
- Camhi, J. (2012). *Optimización de los procesos de desarrollo y construcción en minería de Block Caving: Caso estudio mina El Teniente Codelco Chile*. Universidad de Chile.
- Campbell, A. N. (2013). *Modelos de gestión del riesgo asociado a la incertidumbre en las variables intrínsecas del proceso de construcción de una mina subterránea*. Universidad Católica de Chile.
- Carrillo, E. (2017a). *Capítulo Riesgo NNM*.
- Carrillo, E. (2017b). *SIC-3-API INV PNNM-AN-Revision R*. Rancagua.
- Codelco. (2011). El Teniente. Minería del Futuro, 117. Retrieved from https://www.codelco.com/prontus_codelco/site/artic/20140520/asocfile/20140520183026/el_teniente_mineria_de_futuro.pdf
- Comite de Basilea de Supervisión Bancaria. (1996). *Committee on Banking Supervision: "Overview Amendment to the capital accord to incorporate market risks."*
- Contreras, C. F. (2016). *Simulación como herramienta para la planificación de la preparación minera en minería tipo Block/Panel Caving*. Universidad de Chile.
- Contreras, E., & Cruz, J. (2006). No más VAN: el Value at Risk (VaR) del VAN, una nueva metodología para análisis de riesgo. *Revista Trend Management*, (Dii), 1–17. Retrieved from <http://www.dii.uchile.cl/~ceges/publicaciones/ceges62.pdf>
- Contreras, E., & Lamothe, P. (2008). Metodologías basadas en VaR para el análisis de riesgo en proyectos de embalses. *Centro de Finanzas*.
- Cruz, J. M. (2004). Medición de Riesgos en la Evaluación de Proyectos Mineros: El VaR del VAN. *Revista Facultad de Ingeniería*, (1), 1–16. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- De la Cruz, J. (2015). *Confiability y Reemplazo de Equipos*. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Del Castillo, M. (2012). *A Real Option Application to Manage Resk Related to Intrinsic Variables of a Mine Plan: A Case Study on Chuquicamata U.G*

- Project*. Universidad Católica de Chile.
- Fama, E., & French, K. (1996). Multifactor Explanations of Asset Pricing Anomalies. *Journal of Finance*.
- Gandara, P. (2017). *Desarrollo e Innovación - División El Teniente*.
- Jaureguizar Francés, M. (2009). Un análisis de las medidas estándar del Valor en Riesgo (VaR), (March), 0–40.
- Labrecque, P., Newman, T., & Dudley, J. A. (2012). The use of ARENA® Simulation to estimate Drawpoint Construction Rate, Production Rate and Costs for the Hugo North Lift 1 Panel Cave. *Massmin*, 1–9.
- Lopez, C., Lopez, E., Pernia, J. M., & Pla, F. (2003). *Manual de Perforación y Voladura de Rocas*. Ingeopress. <https://doi.org/84-7840-164-4>
- Markowitz, H. (1952). Portfolio Selection. *Journal of Finance*, 77–91.
- Morgan, J. P. (1996). *Riskmetrics - Technical Document*.
- Ortiz, J. (2005). *Apuntes de curso de explotación de minas*. Santiago: Universidad de Chile.
- Paredes, C. (2012). *Pronóstico de Fallas e Implementación Plan de Gestión Confiabilidad de Repuestos Críticos en la Minería del Hierro*. Universidad Austral de Chile.
- PMI. (2015). *Guía del PMBOK (5ta ed.)*. Project Management Institute.
- Putzmeister. (2008). Shotcrete in the Drill & Blast Cycle. Retrieved May 25, 2017, from <http://bestsupportunderground.com/shotcrete-drill-blast-cycle/?lang=en>
- Runge, I. (1994). Uncertainty and Risk in Mineral Valuation - A User's Perspective. *Mineral Valuation Methodology Conference*.
- Sapag, N. (2007). Conceptos Introductorios de Proyectos de Inversión. Retrieved from <http://www.nassirsapag.cl/art02.htm>
- Taghavifard, M., Damghani, K., & Moghaddam, R. (2009). Decision Making Under Uncertain and Risky Situations. In *Enterprise Risk management Symposium Monograph Society of Actuaries*.
- Tamborero, J. M. (1991). Fiabilidad de Componentes: La Distribución Exponencial, 8.
- Vásquez, C., Osal, W., Briceño, F., & Blanco, C. (2009). *Índice de Importancia, Probabilidad de Falla y Confiabilidad de los Componentes de las Líneas áreas de Distribución (Vol. 3)*.
- Vicepresidencia de Proyectos Codelco. (2010). Proyecto Nuevo Nivel Mina División el Teniente.

- Vicepresidencia de Proyectos Codelco. (2016). *Consolidación de alcances y criterios de diseño y operación PNNM 35 Ktpd.*
- Vicepresidencia de Proyectos Codelco. (2017a). Codelco avanza en el desarrollo del Nuevo Nivel Mina de El Teniente. Retrieved from https://www.codelco.com/codelco-avanza-en-el-desarrollo-del-nuevo-nivel-mina-de-el-teniente/prontus_codelco/2017-07-19/151221.html
- Vicepresidencia de Proyectos Codelco. (2017b). *ENFOQUE DE DESARROLLO Y CASO DE NEGOCIO PNNM.*
- Vicepresidencia de Proyectos Codelco. (2017c). *Explotación Andes Norte NNM – Factibilidad - Capítulo 21 - Evaluación Económica.*
- Vicepresidencia de Proyectos Codelco. (2017d). Procedimiento Gestión de Riesgos y Controles.
- Vicepresidencia de Proyectos Codelco. (2017e). SIC-21-API INV PNNM-AN-Revision R.
- Vicepresidencia de Proyectos Codelco. (2018). *Informe Mensual Junio 2018 Proyecto Andes Norte Nuevo Nivel Mina.*

9. ANEXOS

ANEXO A: CÁLCULO DEL TIEMPO DE CICLO

En el siguiente apartado se presentan las fórmulas, supuestos y cálculos para la estimación de rendimientos de cada una de las actividades del ciclo minero, con los que se establecieron histogramas de distribución que son aplicados en la confección del modelo.

- Colocación de Malla (CM)

$$\begin{aligned} \text{Total CM (m}^2\text{)} &= \text{Perimetro (m)} \times \text{Avance (m)} \times (\text{Sobrex (\%)} + 1) \\ \text{Rendimiento CM SE} \left(\frac{\text{m}^2}{\text{min}} \right) &= \frac{\text{Total CM (m}^2\text{)}}{\text{Duración Actividad Sin Espera (min)}} \end{aligned}$$

- Acondicionamiento de Malla (AM)

$$\begin{aligned} \text{Total AM (m}^2\text{)} &= \text{Perimetro (m)} \times \text{Avance (m)} \times (\text{Sobrex (\%)} + 1) \\ \text{Rendimiento AM SE} \left(\frac{\text{m}^2}{\text{min}} \right) &= \frac{\text{Total AM (m}^2\text{)}}{\text{Duración Actividad Sin Espera (min)}} \end{aligned}$$

- Perforación de Frente (PF)

$$\begin{aligned} \text{Total PF (ml)} &= \text{Largo Perforación (m)} \times \text{N}^\circ \text{ Perforaciones} \times (\text{Tolerancia (\%)} + 1) \\ \text{Rendimiento PF SE} \left(\frac{\text{ml}}{\text{min}} \right) &= \frac{\text{Total PF (ml)}}{\text{Duración Actividad Sin Espera (min)}} \end{aligned}$$

- Perforación de Pernos (PP)

$$\begin{aligned} \text{Total PP (ml)} &= \text{Largo Perforación (m)} \times \text{N}^\circ \text{ Perforaciones} \times \text{N}^\circ \text{ Paradas} \times (\text{Tolerancia (\%)} + 1) \\ \text{Rendimiento PP SE} \left(\frac{\text{ml}}{\text{min}} \right) &= \frac{\text{Total PP (ml)}}{\text{Duración Actividad Sin Espera (min)}} \end{aligned}$$

- Perforación de Splitset (PS)

$$\begin{aligned} \text{Total PS (ml)} &= \text{Largo Splitset (m)} \times \text{N}^\circ \text{ Perforaciones} \times (\text{Tolerancia (\%)} + 1) \\ \text{Rendimiento PS SE} \left(\frac{\text{ml}}{\text{min}} \right) &= \frac{\text{Total PS (ml)}}{\text{Duración Actividad Sin Espera (min)}} \end{aligned}$$

- Proyección de Shotcrete (S)

$$\begin{aligned} \text{Total S (m}^3\text{)} &= (\text{Perimetro (m)} \times \text{Espesor (m)} \times \text{N}^\circ \text{ Paradas} \times (\text{Sobrex (\%)} \\ &+ 1)) \times \text{Largo Efectivo Botada (m)} \times (\text{Perdida (\%)} + 1) \end{aligned}$$

$$\text{Rendimiento S SE} \left(\frac{m^3}{min} \right) = \frac{\text{Total S (m}^3\text{)}}{\text{Duración Actividad Sin Espera (min)}}$$

- Instalación de Pernos (IP)

$$\text{Total IP (ml)} = \text{Largo Inserción (ml)} \times N^{\circ} \text{ Pernos} \times N^{\circ} \text{ Paradas} \times (\text{Tolerancia (\%)} + 1)$$

$$\text{Rendimiento IP SE} \left(\frac{ml}{min} \right) = \frac{\text{Total IP (ml)}}{\text{Duración Actividad Sin Espera (min)}}$$

- Carguío de Frente (CF)

$$\text{Total CF (ml)} = \text{Largo Perforación (ml)} \times N^{\circ} \text{ Perforaciones} \times (\text{Tolerancia (\%)} + 1)$$

$$\text{Rendimiento CF SE} \left(\frac{ml}{min} \right) = \frac{\text{Total CF (ml)}}{\text{Duración Actividad Sin Espera (min)}}$$

- Retiro de Marina (RM)

$$\text{Total RM (Ton)} = \text{Area Sección (m}^2\text{)} \times \text{Avance (m)} \times \text{Densidad}_{\text{Roca}} \left(\frac{\text{Ton}}{m^3} \right) \times (\text{Sobrex (\%)} + 1)$$

$$\text{Rendimiento RM SE} \left(\frac{\text{Ton}}{min} \right) = \frac{\text{Total RM (Ton)}}{\text{Duración Actividad Sin Espera (min)}}$$

- Acuñadura (A)

$$\text{Total A (m}^2\text{)} = (\text{Perimetro (m)} \times \text{Avance (m)} + \text{Area Sección (m}^2\text{)}) \times (\text{Sobrex (\%)} + 1)$$

$$\text{Rendimiento A SE} \left(\frac{m^2}{min} \right) = \frac{\text{Total A (m}^2\text{)}}{\text{Duración Activiad Sin Espera (min)}}$$

- Topografía (T)

$$\text{Total T (m}^2\text{)} = \text{Area Sección (m}^2\text{)}$$

$$\text{Rendimiento T SE} \left(\frac{m^2}{min} \right) = \frac{\text{Total T (m}^2\text{)}}{\text{Duración Actividad Sin Espera (min)}}$$

- Limpieza de Pata (LP)

$$\text{Total LP (m}^3\text{)} = N^{\circ} \text{ Baldadas} \times \text{Capacidad Balde (Yr)}$$

$$/(\text{Densidad} \left(\frac{\text{Ton}}{m^3} \right) \times (1 - \% \text{ Esponjamiento}))$$

$$\text{Rendimiento LP SE} \left(\frac{m^2}{min} \right) = \frac{\text{Total LP (m}^2\text{)}}{\text{Duración Actividad Sin Espera (min)}}$$

- Saneamiento (S)

$$\text{Total T (m}^2\text{)} = \text{Area Sección (m}^2\text{)}$$

$$\text{Rendimiento S SE} \left(\frac{m^2}{min} \right) = \frac{\text{Total S (m}^2\text{)}}{\text{Duración Actividad Sin Espera (min)}}$$

ANEXO B: BONDAD DE AJUSTE

Para determinar que tan bien se ajustará una distribución seleccionada a los datos establecidos con las mediciones en terreno se utilizarán las pruebas de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov y Chi-cuadrado, para esto es necesario plantear la prueba de hipótesis:

$$H_0: \text{Los datos seleccionados se ajustan a una distribución } i.$$

$$H_1: \text{Los datos seleccionados no se ajustan a una distribución } i.$$

Considerar los criterios para rechazar la hipótesis nula:

$$P - \text{Valor} < \alpha$$

$$|\text{Estadístico de Contraste}| \geq \text{Valor Crítico}$$

Actividad	Distribución	Parámetros Estadísticos	Bondad de Ajuste - Kolmogorov-Smirnov				Bondad de Ajuste - Chi-Cuadrado					
			EC	Valor Crítico (α)	α	P-Valor	Rechazar?	EC	Valor Crítico (α)	α	P-Valor	Rechazar?
Retiro Marina (RM) SE	Lognormal	$\sigma=0,11194 \mu=-0,8511 \gamma=-1,387$	0,20382	0,29408	0,05	0,33089	No	0,63731	5,9915	0,05	0,72713	No
Acuñadura (A) SE	Normal	$\sigma=0,10982 \mu=-0,45474$	0,12163	0,30143	0,05	0,90967	No	0,77434	5,9915	0,05	0,67898	No
Limpieza de Pata (LP) SE	Normal	$\sigma=0,44361 \mu=-1,41$	0,15766	0,2417	0,05	0,40308	No	3,9701	5,9915	0,05	0,13737	No
Topografía (T) (SE)	Lognormal	$\sigma=0,25539 \mu=-0,02843 \gamma=0,03588$	0,17894	0,26404	0,05	0,35706	No	4,0024	5,9915	0,05	0,13517	No
Pre-Shotcrete (S1) (SE)	Lognormal	$\sigma=0,28634 \mu=1,7022 \gamma=-0,29681$	0,09576	0,24993	0,05	0,93793	No	1,6171	9,4877	0,05	0,80572	No
Saneamiento (SA) (SE)	Lognormal	$\sigma=0,93039 \mu=0,0198 \gamma=0,3352$	0,08008	0,20517	0,05	0,93069	No	2,8021	11,07	0,05	0,73047	No
Perforación/ Fortificación (PP) (SE)	Triangular	$m=1,0 a=0,66199 b=2,0029$	0,0999	0,19625	0,05	0,71066	No	1,8129	11,07	0,05	0,87439	No
Perforación/ Colocación SplitSet (PS) (SE)	Weibull	$\alpha=4,0137 \beta=2,2259$	0,14516	0,2417	0,05	0,50624	No	2,2583	9,4877	0,05	0,68837	No
Instalación Pernos (IP) (SE)	Normal	$\sigma=0,20154 \mu=1,0362$	0,14568	0,1942	0,05	0,24634	No	4,49	11,07	0,05	0,48122	No
Colocación de Malla (CM) (SE)	Normal	$\sigma=0,37153 \mu=1,8885$	0,10248	0,17091	0,05	0,51067	No	0,83377	9,4877	0,05	0,93386	No
Acondicionamiento Malla (AM) (SE)	Normal	$\sigma=0,29695 \mu=1,8295$	0,11946	0,20056	0,05	0,518	No	0,45231	9,4877	0,05	0,97797	No
Shotcrete (S2) (SE)	Normal	$\sigma=3,0684 \mu=11,791$	0,12181	0,28087	0,05	0,86119	No	0,22634	5,9915	0,05	0,893	No
Perforación de Frente (PF) (SE)	Normal	$\sigma=0,07607 \mu=0,54778$	0,14944	0,25438	0,05	0,53386	No	0,20991	3,8415	0,05	0,64684	No
Carguo de Frente (CF) (SE)	Normal	$\sigma=0,06863 \mu=0,455$	0,29398	0,29408	0,05	0,05012	No	0,2062	3,8415	0,05	0,64976	No

Espera Actividad	Distribución	Parámetros Estadísticos	Bondad de Ajuste - Kolmogorov-Smirnov				Bondad de Ajuste - Chi-Cuadrado					
			EC	Valor Crítico (α)	α	P-Valor	Rechazar?	EC	Valor Crítico (α)	α	P-Valor	Rechazar?
Retiro Marina (RM) SE	Exponencial	$\lambda=0,00845$	0,18091	0,20925	0,05	0,8431	No	0,01115	3,8415	0,05	0,91591	No
Acuñadura (A) SE	Exponencial	$\lambda=0,02852$	0,15471	0,32733	0,05	0,78451	No	0,01601	3,8415	0,05	0,8993	No
Limpieza de Pata (LP) SE	Exponencial	$\lambda=0,02985$	0,53226	0,54926	0,05	0,05125	No	0,04125	3,8415	0,05	0,9915	No
Topografía (T) (SE)	Exponencial	$\lambda=0,04386$	0,26436	0,56328	0,05	0,79752	No	0,45377	2,5018	0,05	0,6547	No
Pre-Shotcrete (S1) (SE)	Exponencial	$\lambda=0,01951$	0,17689	0,37543	0,05	0,78677	No	0,00074	3,8415	0,05	0,9783	No
Saneamiento (SA) (SE)	Exponencial	$\lambda=0,0217$	0,19828	0,36143	0,05	0,61748	No	0,8149	2,5018	0,05	0,1468	No
Perforación/ Fortificación (PP) (SE)	Exponencial	$\lambda=0,00851$	0,08216	0,30376	0,05	0,96574	No	0,47898	9,4877	0,05	0,97551	No
Perforación/ Colocación SplitSet (PS) (SE)	Exponencial	$\lambda=0,01486$	0,12906	0,30143	0,05	0,87039	No	0,54043	5,0015	0,05	0,76321	No
Instalación Pernos (IP) (SE)	Weibull	$\alpha=1,3 \beta=77,536$	0,1011	0,21544	0,05	0,79532	No	1,5987	9,4877	0,05	0,80903	No
Colocación de Malla (CM) (SE)	Exponencial	$\lambda=0,01193$	0,145524	0,21012	0,05	0,33473	No	8,3281	9,4877	0,05	0,08027	No
Acondicionamiento Malla (AM) (SE)	Exponencial	$\lambda=0,01457$	0,16879	0,25907	0,05	0,4043	No	1,1347	5,9915	0,05	0,56703	No
Shotcrete (S2) (SE)	Exponencial	$\lambda=0,01976$	0,23114	0,56328	0,05	0,89794	No	0,30443	2,5018	0,05	0,6547	No
Perforación de Frente (PF) (SE)	Exponencial	$\lambda=0,01047$	0,09942	0,32733	0,05	0,99262	No	0,37657	3,8415	0,05	0,53944	No
Carguo de Frente (CF) (SE)	Weibull	$\alpha=1,3533 \beta=45,152$	0,21124	0,3489	0,05	0,49464	No	0,00601	3,8415	0,05	0,93821	No

Parámetros Simulación	Distribución	Parámetros Estadísticos	Bondad de Ajuste - Kolmogorov-Smirnov				Bondad de Ajuste - Chi-Cuadrado					
			EC	Valor Crítico (α)	α	P-Valor	Rechazar?	EC	Valor Crítico (α)	α	P-Valor	Rechazar?
Tiempo Disponible en la Frente (TDF)	Normal	$\sigma=54,03 \mu=328,97$	0,10398	0,12948	0,05	0,17264	No	5,8226	12,592	0,05	0,44335	No
Metros de Avance - XC 3 AS	Triangular	$m=3,2 a=2,6011 b=4,4934$	0,14054	0,26404	0,05	0,65578	No	0,16272	5,9915	0,05	0,92186	No
Metros de Avance - Rampa a Acceso Nivel Inferior	Normal	$\sigma=0,54063 \mu=2,6472$	0,15707	0,22119	0,05	0,30417	No	1,1131	9,4877	0,05	0,89219	No

VAN	Distribución	Parámetros Estadísticos	Bondad de Ajuste - Kolmogorov-Smirnov				Bondad de Ajuste - Chi-Cuadrado					
			EC	Valor Crítico (α)	α	P-Valor	Rechazar?	EC	Valor Crítico (α)	α	P-Valor	Rechazar?
XC 3 AS	Hipersecante	$\sigma=52684 \mu=194415$	0,08839	0,42940	0,05	0,0755	No	17,6461	15,507	0,05	0,13952	No
R.A.C.I	Weibull	$\alpha=4,9967E+7 \beta=-2,9692E+12 \gamma=-2,9692E+12$	0,04585	0,04800	0,05	0,0679	No	3,9631	16,919	0,05	0,0886	No

ANEXO C: EVALUACIÓN ECONOMICA ANDES NORTE

- Flujo de Caja del Proyecto

DETERMINISTICO				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
AN	Unidad	Σ Nominal	VNA	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Ingreso	miles US\$	18.390.559	\$2.724.263,25	-	-	-	-	-	-	19.422	104.747	216.670	331.336
Cobre	miles US\$	17.199.017	2.553.421	-	-	-	-	-	-	18.668	99.827	204.716	310.648
Molibdeno	miles US\$	1.191.542	170.842	-	-	-	-	-	-	754	4.920	11.954	20.687
Gastos	miles US\$	7.425.507	\$1.074.268,43	-	-	-	-	-	-	28.872	75.371	134.138	158.270
Preparación	miles US\$	1.674.116	299.669	-	-	-	-	-	-	6.193	25.740	46.726	58.240
Mina+Pta+Ov	miles US\$	5.751.391	774.599	-	-	-	-	-	-	22.679	49.631	87.412	100.030
Inversiones (CAPEX Proyecto)	miles US\$	2.454.750	\$1.435.950,81	156.563	128.843	258.760	315.236	376.261	388.346	234.593	103.709	99.213	6.906
Flujo de Caja	miles US\$	8.510.302	\$214.044,01	-156.563	-128.843	-258.760	-315.236	-376.261	-388.346	-244.042	-74.334	-16.681	166.160

11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044
434.181	552.963	686.081	801.267	780.234	772.198	752.743	720.883	693.415	660.987	628.304	623.616	628.818	635.918	633.958	639.330	645.006	655.087
407.295	520.964	645.634	750.532	729.843	723.261	705.345	675.440	649.788	618.815	586.909	583.165	587.124	593.053	591.502	598.216	604.552	613.111
26.886	31.999	40.448	50.735	50.391	48.937	47.398	45.444	43.627	42.172	41.395	40.451	41.694	42.864	42.457	41.115	40.454	41.976
187.284	209.927	226.317	246.165	247.716	250.541	261.663	252.465	250.446	251.295	248.168	251.610	256.902	262.023	262.938	256.631	254.783	254.692
61.261	59.378	53.824	51.719	54.862	57.419	61.225	63.294	62.828	62.262	60.854	65.037	71.660	76.164	76.172	72.473	71.179	70.351
126.022	150.549	172.493	194.447	192.855	193.122	200.438	189.171	187.619	189.034	187.314	186.574	185.242	185.859	186.766	184.158	183.604	184.341
12.028	10.865	10.585	18.674	10.614	18.793	14.372	16.200	16.926	12.704	15.720	12.155	15.892	17.182	10.201	11.978	16.191	13.951
234.869	332.170	449.179	536.427	521.903	502.864	476.708	452.218	426.042	396.988	364.417	359.851	356.024	356.713	360.819	370.722	374.032	386.444

29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
2045	2046	2047	2048	2049	2050	2051	2052	2053	2054	2055	2056	2057	2058	2059
668.129	646.747	598.783	547.955	508.663	476.092	468.599	443.842	299.522	285.755	269.729	212.024	154.949	148.854	43.754
623.588	602.298	558.320	511.979	475.317	443.491	435.733	413.966	279.517	266.029	250.824	197.088	144.124	137.926	40.413
44.541	44.450	40.462	35.977	33.346	32.601	32.867	29.876	20.005	19.725	18.904	14.936	10.825	10.929	3.342
252.116	251.806	253.721	254.912	245.965	217.966	196.228	186.109	134.286	135.168	136.218	114.469	89.766	89.809	38.752
68.318	67.970	69.310	70.043	59.637	34.389	12.820	2.769	-	-	-	-	-	-	-
183.798	183.836	184.411	184.868	186.328	183.576	183.409	183.340	134.286	135.168	136.218	114.469	89.766	89.809	38.752
12.654	13.387	10.804	10.456	11.020	8.281	9.437	11.086	11.565	7.988	5.747	7.905	4.850	5.339	772
403.359	381.554	334.258	282.587	251.678	249.846	262.934	246.647	153.671	142.599	127.763	89.649	60.333	53.707	4.231

ANEXO D: GASTOS GENERALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL	TOTAL Mensualizado
PERSONAL DE DIRECCIÓN				1.642.534.344	91.251.908
Gerente de Proyecto	HM	18	7.513.134	135.236.412	7.513.134
Administrador del Contrato	HM	18	6.586.499	118.556.982	6.586.499
Jefe de Terreno	HM	18	5.735.507	103.239.126	5.735.507
Jefe de Terreno	HM	18	5.735.507	103.239.126	5.735.507
Jefes de Turno	HM	105	3.371.025	353.957.625	19.664.313
Jefe de OCCC	HM	18	3.400.006	61.200.108	3.400.006
Jefe de Nivel de Minería	HM	201	2.582.845	519.151.845	28.841.769
Jefe de Nivel de Marinas	HM	54	2.582.845	139.473.630	7.748.535
Jefe de Nivel de OCCC y Montajes	HM	42	2.582.845	108.479.490	6.026.638
PERSONAL OFICINA TÉCNICA				672.944.731	37.385.818
Jefe Oficina Técnica	HM	18	5.432.932	97.792.776	5.432.932
Ingeniero Jefe de Planificación	HM	18	3.163.620	56.945.160	3.163.620
Ingeniero Programación y Control	HM	18	3.163.620	56.945.160	3.163.620
Ingeniero de Costos	HM	18	3.163.620	56.945.160	3.163.620
Ingeniero Seguimiento Gestión	HM	18	4.494.004	80.892.072	4.494.004
Asistente Seguimiento Gestión	HM	17	2.405.299	40.890.083	2.271.671
Ingeniero Geomensor	HM	18	3.248.719	58.476.942	3.248.719
Topografo	HM	69	1.382.724	95.407.956	5.300.442
Dibujante	HM	18	2.629.323	47.327.814	2.629.323
Alarife	HM	68	1.195.906	81.321.608	4.517.867
PERSONAL BODEGA				496.704.475	27.594.693
Jefe de Abastecimiento	HM	18	3.163.620	56.945.160	3.163.620
Digitador	HM	35	1.218.040	42.631.400	2.368.411
Pañoleros	HM	103	1.195.906	123.178.318	6.843.240
Chofer Camión de Combustible	HM	52	1.319.495	68.613.740	3.811.874
Chofer Camioneta de Explosivos	HM	103	1.319.495	135.907.985	7.550.444
Chofer de servicios	HM	18	1.342.511	24.165.198	1.342.511
Chofer Camión Pluma	HM	18	1.373.150	24.716.700	1.373.150
Rigger	HM	18	1.141.443	20.545.974	1.141.443
PERSONAL ADMINISTRATIVO				200.957.978	11.164.332
Jefe de RRHH y RRLL	HM	18	3.012.332	54.221.976	3.012.332
Administrativo	HM	35	2.022.312	70.780.920	3.932.273
Pasatiempo	HM	51	970.912	49.516.512	2.750.917
Personal de Aseo	HM	34	777.605	26.438.570	1.468.809
PERSONAL DEPTO. SEGURIDAD, S.O Y MEDIO AMBIENTE				566.355.359	31.464.187
Jefe Depto S&SO	HM	18	5.262.733	94.729.194	5.262.733
Experto en Prevención de Riesgos en Turnos	HM	51	3.381.464	172.454.664	9.580.815
Encargado APR	HM	51	3.214.450	163.936.950	9.107.608
Encargado SBC	HM	17	2.319.127	39.425.159	2.190.287
Control Documentos	HM	35	1.382.724	48.395.340	2.688.630
Jefe de Sustentabilidad	HM	18	2.634.114	47.414.052	2.634.114
PERSONAL DEPTO. CALIDAD				255.354.824	14.186.379
Jefe de Aseguramiento de Calidad	HM	18	3.163.620	56.945.160	3.163.620
Asistente de Calidad	HM	17	2.319.127	39.425.159	2.190.287
Control Documentos	HM	18	1.382.724	24.889.032	1.382.724
Inspector Calidad	HM	51	2.629.323	134.095.473	7.449.749

PERSONAL DE MANTENCIÓN				2.242.095.375	124.560.854
Jefe Mantenimiento Mecánico	HM	18	3.730.948	67.157.064	3.730.948
Jefe de Taller	HM	18	2.625.604	47.260.872	2.625.604
Planificador de Mantencion	HM	18	2.319.127	41.744.286	2.319.127
Supervisor Mantención	HM	52	1.826.525	94.979.300	5.276.628
Secretario Técnico Mantención	HM	18	1.574.218	28.335.924	1.574.218
Mécanico	HM	394	1.579.348	622.263.112	34.570.173
Mecanico Especialista	HM	300	1.579.348	473.804.400	26.322.467
Ayudante Mecánico	HM	285	1.195.906	340.833.210	18.935.178
Jefe Eléctrico	HM	18	3.352.729	60.349.122	3.352.729
MAESTRO ELÉCTRICO SERVICIOS	HM	210	1.503.293	315.691.530	17.538.418
MAESTRO ELÉCTRICO SERVICIOS	HM	70	1.530.174	107.112.180	5.950.677
AYUDANTE ELÉCTRICO SERVICIOS	HM	35	1.216.125	42.564.375	2.364.688
MANTENCIÓN Y CONTROL DE VIAS				409.770.936	22.765.052
CONTROL GARITA	HM	162	1.349.072	218.549.664	12.141.648
OPERADOR MARTILLO/RETRO OP-14	HM	54	1.502.237	81.120.798	4.506.711
OP MOTONIVELADORA	HM	18	2.069.477	37.250.586	2.069.477
OPERADOR CAMION ALJIBE	HM	54	1.349.072	72.849.888	4.047.216
EQUIPOS				1.076.858.354	59.825.464
Camionetas D/C	Mes	90	1.097.102	98.739.187	5.485.510
Subcontrato de Movlizacion Interna	Mes	18	15.000.000	270.000.000	15.000.000
CAMIÓN DE EXPLOSIVO	Mes	34	3.850.000	130.900.000	7.272.222
CAMION DE COMBUSTIBLE	Mes	17	3.900.000	66.300.000	3.883.333
CAMION PLUMA	Mes	18	5.070.000	91.260.000	5.070.000
CAMION DE SERVICIOS	Mes	18	5.070.000	91.260.000	5.070.000
CAMION LUBRICADOR	Mes	17	3.900.000	66.300.000	3.883.333
MOTONIVELADORA	Mes	17	6.877.906	116.924.400	6.495.800
CAMION ALJIBE	Mes	17	4.702.480	79.942.160	4.441.231
Retroexcavadora	Mes	17	3.837.212	65.232.606	3.624.034
OTROS				81.000.000	4.500.000
Seguridad	Mes	18	2.000.000	36.000.000	2.000.000
Señalética	Mes	18	1.000.000	18.000.000	1.000.000
Capacitación	Mes	18	1.500.000	27.000.000	1.500.000
MATERIALES				990.199.368	55.011.076
Arriendo Casa supervisión Rancagua	Mes	72	500.000	36.000.000	2.000.000
Equipos e Insumos Computacionales	Mes	18	3.894.287	70.097.168	3.894.287
Insumos Varios	Mes	18	700.000	12.600.000	700.000
Laboratorio	Mes	17	9.000.000	153.000.000	8.500.000
Comunicaciones	Mes	18	2.500.000	45.000.000	2.500.000
Equipo Topografía	Mes	35	350.000	12.250.000	680.556
Instrumento Medición Velocidad de Partículas	Mes	18	1.000.000	18.000.000	1.000.000
Mantenciones y Rep. Refugio Minero	Mes	18	2.000.000	36.000.000	2.000.000
Transporte de Materiales	Mes	18	2.500.000	45.000.000	2.500.000
Retiro Rises	Mes	17	10.000.000	170.000.000	9.444.444
Manejo Residuos Peligrosos	Mes	18	2.000.000	36.000.000	2.000.000
Agua Potable	Mes	18	2.500.000	45.000.000	2.500.000
Baños Químicos	Mes	188	250.000	47.000.000	2.611.111
Apoyo Mantención Equipos	Mes	17	11.426.600	194.252.200	10.791.789
Movilización e Instalación Plata de Hormigón	Mes	6	11.666.667	70.000.000	3.888.889
GASTOS FINANCIEROS				3.638.691.333	202.149.518
Financiamiento	Mes	18	24.956.089	449.209.600	24.956.089
Boletas de Garantía	Mes	18	1.661.460	29.906.283	1.661.460
Seguros	Mes	18	4.621.042	83.178.750	4.621.042
Imprevistos	Mes	18	51.531.038	927.558.680	51.531.038
Negociación colectiva	Mes	18	42.083.333	757.500.000	42.083.333
Oficina central	Mes	18	77.296.557	1.391.338.020	77.296.557
			TOTAL GASTOS GENERALES (cl)	12.273.467.076	681.859.282
			TOTAL GASTOS GENERALES (\$)	18.568.029	1.031.557

