

**UNIVERSIDAD VIÑA DEL MAR
ESCUELA DE INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL INDUSTRIAL**

**ESTRATEGIA DE REPARACIONES PLANIFICADAS A
FORTIFICACIONES DE PUNTOS DE EXTRACCIÓN EN
EL SECTOR DE DIABLO REGIMIENTO DE CODELCO
DIVISIÓN EL TENIENTE**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL
Y AL GRADO DE LICENCIADO EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**

CARLOS ALONSO NAVARRETE ROJAS

PROFESOR GUÍA: JULIO-HUGO RAMIREZ

2010

INDICE DE CONTENIDOS

GLOSARIO	10
RESUMEN	15
1. INTRODUCCIÓN.....	17
2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA BAJO ESTUDIO.....	19
2.1 La Empresa.	19
2.1.1 Historia de CODELCO División El Teniente.	19
2.1.2 Visión de CODELCO División El Teniente.	19
2.1.3 Misión de CODELCO División El Teniente.....	19
2.1.4 Ubicación.....	20
2.1.5 Antecedentes generales de El Teniente.....	20
2.1.6 Plan Estratégico Actual de la División.....	21
2.1.7 Estructura Organizacional de CODELCO División El Teniente.	23
2.2 Gerencia de Minas.....	23
2.2.1 Visión Gerencia Minas.	23
2.2.2 Misión Gerencia de Minas.....	24
2.2.3 Principales Procesos GMIN.	24
2.3 Superintendencia de Preparación Minera.	25
2.3.1 Labor.	25
2.3.2 Misión de la SPM.....	25
2.3.3 Visión de la SPM.	26
2.3.4 Clientes de la SPM.	26
2.3.5 Servicios ofrecidos por la SPM.	26
2.3.6 Mapa de Proceso.....	27
2.4 Situación Actual de la División El Teniente.	27
2.4.1 Importancia de las Actividades de Reparación Proporcionadas por la SPM en los Resultados del Negocio.	30
2.5 Situación Actual de la SPM.....	30
2.6 Situación Actual de las Reparaciones.....	32

2.7	Factores que Inciden en la Necesidad de Reparaciones de Puntos de Extracción.....	33
2.7.1	Factores que Influyen en el Rendimiento de la Fortificación en los Puntos de Extracción.....	34
2.7.2	Por Variación de Esfuerzos: Esfuerzos Inducidos por la Actividad Minera.	35
2.7.3	Por Uso de Explosivos.....	36
2.7.4	Por Insuficiencia en Fortificación.....	36
2.7.5	El Traspaso de Mineral: Extracción de Mineral.	37
3.	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.	39
3.1.1	Enunciado del Problema.....	39
3.2	Objetivos.....	40
3.2.1	Objetivo General.....	40
3.2.2	Objetivos Específicos.....	40
4.	MARCO TEÓRICO.	41
4.1	Mantenciones.	41
4.1.1	Concepto de Mantenición.	41
4.1.2	Finalidad del Mantenimiento.	41
4.1.3	Confiabilidad y Mantenimiento.	42
4.1.4	Patrones de Falla en Función del Tiempo.....	43
4.1.5	Metodologías para Definir Políticas de Mantenimiento.....	45
4.1.6	Políticas de Mantenimiento.	47
5.	ESTADO DEL ARTE.....	49
5.1	Seguridad Estructural y Criterios de Diseño.....	49
5.1.1	Criterios de Diseño.	50
5.1.2	Diseños de Puntos de Extracción.	52
5.1.3	Fortificación Utilizada en Puntos de Extracción de Diablo Regimiento. ...	55
5.1.4	Diseños en Puntos de Extracción en Otras Mineras.	56
6.	METODOLOGÍA Y PROGRAMA DE ACTIVIDADES.....	58
6.1	Fases y Metodologías a Aplicar en el Proyecto.....	58

6.1.1	Fase 1: Comprensión de las Variables que Inciden en el Deterioro de los Puntos de Extracción.	59
6.1.2	Fase 2: Recolección y Preparación de Datos.	59
6.1.3	Fase 3: Análisis y Modelado de Datos.	60
6.1.4	Fase 4: Análisis de Costos de Modificaciones a la Actual Estrategia de Reparaciones de Puntos de Extracción.	60
6.2	Programa de Actividades.	60
7.	ANALISIS DE LOS MODOS DE FALLA Y EFECTOS.	62
7.1	Contexto Operacional: Antecedentes de Diablo Regimiento.	62
7.1.1	Características de la Litología Presente en el Sector.	62
7.1.2	Características de Explotación y Diseño Minero del Sector.	62
7.2	Función Deseada de los Puntos de Extracción.	66
7.3	Fallas Funcionales o Estados de Falla.	67
7.4	Modos de Falla, Efectos de Falla y Definición de las Variables en Estudio.	67
7.5	Consecuencias de las Fallas.	70
7.5.1	Consecuencias de Seguridad.	70
7.5.2	Consecuencias Operacionales.	71
7.5.3	Consecuencia Medio Ambiente.	71
7.5.4	Consecuencias no Operacionales.	71
8.	RECOLECCIÓN Y PREPARACIÓN DE DATOS.	73
8.1	Selección de Muestra.	73
8.2	Características de la Vida Útil de los Puntos de Extracción.	74
8.2.1	Registros Disponibles.	74
8.2.2	Fragmentación.	75
8.2.3	Uso de los Explosivos.	76
8.2.4	Abrasión.	76
8.2.5	Energía Cinética.	77
8.2.6	Comportamiento Estructural.	78
9.	ANÁLISIS Y MODELADO DE DATOS.	79

9.1.1	Fragmentación.....	79
9.1.2	Utilización de Explosivos.	79
9.1.3	Energía Cinética.	81
9.1.4	Abrasión.	82
9.1.5	Comportamiento Estructural.	84
10.	RELACIÓN DE LAS VARIABLES Y ANÁLISIS DE SUPERVIVENCIA.	85
10.1	Identificación de Distribuciones de Probabilidad que se Ajustan Mejor al Tonelaje Extraído Acumulado.....	86
10.2	Análisis de Supervivencia.	86
11.	ANÁLISIS DE COSTOS PARA SELECCIÓN DE ESTRATEGIAS DE REPARACIONES DE PUNTOS DE EXTRACCIÓN.....	90
11.1	Propuesta de Nueva Estrategia de Reparaciones.....	90
11.2	Costos Asociados a la No Planificación de las Reparaciones.	91
11.2.1	Costos Indirectos.	91
11.2.2	Costos de Reparación con Marcos.	92
11.2.3	Costos de Operación.	93
11.3	Costos asociados a las Reparaciones Planificadas.	95
11.3.1	Costos Indirectos.	95
11.3.2	Costos de Reparar.....	95
11.3.3	Costos de Operación.	96
11.4	Evaluación Económica.....	96
11.4.1	Determinación de los Flujos de Proyecto.....	97
11.4.2	Cálculo de costos de operación futuros por equipo.....	97
11.4.3	Costos de reparación.....	98
11.5	Flujos de caja.....	99
11.5.1	Estrategia actual (existencia de sobre-daño).	99
11.5.2	Estrategia de intervenciones planificadas de reparación.....	99
11.5.3	Evaluación del CAUE.....	100
12.	CONCLUSIONES.	101
13.	RECOMENDACIONES.....	103

14.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	104
14.1	Bibliografía.....	104
14.2	Linkografía.....	105
15.	ANEXOS.....	108
16.	APÉNDICES.....	110

INDICE DE FIGURAS

Figura 2-1: Ubicación geográfica mina El Teniente	20
Figura 2-2: Proceso GMIN.....	25
Figura 2-3: Relación cliente – servidor de la Unidad de Reparaciones y Construcciones	27
Figura 2-4: Mapa de proceso general.....	28
Figura 2-5: Contribución Divisional por Toneladas Finas Métricas a CODELCO	28
Figura 2-6: Plan Minero para el Quinquenio 2009-2013	29
Figura 2-7: Toneladas recuperadas por la SPM	30
Figura 2-8: Distribución de costos primarios de la Superintendencia de Preparación Minera	31
Figura 2-9: Distribución de costos de servicio de terceros	32
Figura 2-10: Costos de Reparaciones plan vs. real	32
Figura 2-11: Distribución de costos en reparaciones 2003-2007	32
Figura 2-12: Costos anual por tipo de actividad de reparación	33
Figura 2-13: Principales factores que originan sobre excavación de los sistemas de traspaso	35
Figura 2-14: Muestra la secuencia de colgadura por efecto combinado de extracción en el talud y visera	38
Figura 3-1: Desviaciones de los costos unitarios de puntos de extracción (referencial)	40
Figura 4-1: Curva de Bañera	43
Figura 4-2: Tipos de falla.....	44
Figura 4-3: Procedimiento básico de MCR	46
Figura 5-1: Acciones y Efectos en las Estructuras.....	50
Figura 5-2: Marcos Metálicos para Puntos de Extracción	52
Figura 5-3: Distancia entre batea y primer marco de un punto de extracción cuatro marcos (perspectiva aérea)	53
Figura 5-4: Consola de Hormigón.....	54
Figura 5-5: Cables de Acero para Fortificación.....	55

Figura 5-6: Consolas tipo Bunker.	56
Figura 5-7: Comparación Consolas tipo Viseras y Bunker	57
Figura 6-1: Resumen metodología a seguir	58
Figura 7-1: Nivel de Producción Diablo Regimiento.....	65
Figura 7-2: Nivel de Hundimiento Diablo Regimiento	65
Figura 7-3: Diablo Regimiento.	66
Figura 7-4: Punto de extracción.....	67
Figura 7-5: Árbol de fallas en puntos de extracción.	69
Figura 7-6: Daño por deformación.	70
Figura 7-7: Daño en Primer marco.	70
Figura 8-1: Ubicación de los puntos de extracción en plano de Diablo Regimiento	73
Figura 8-2: Presentación en plano tipo de roca	78
Figura 9-1: Evolución de la granulometría	79
Figura 9-2: Evolución de la reducción secundaria	80
Figura 9-3: Relación entre la granulometría gruesa y la reducción secundaria...80	
Figura 9-4: Granulometría predominante.....	82
Figura 9-5: Histograma de tonelaje extraído hasta la reparación.....	82
Figura 9-6: Histograma de porcentaje de extracción hasta la reparación	83
Figura 9-7: Altura extraída entre reducciones secundarias.....	84
Figura 10-1: Proporción de la granulometría con el porcentaje de extracción.....	85
Figura 10-2: Análisis gráfico de los datos	88
Figura 11-1: Círculo vicioso producto de las malas prácticas	92
Figura 11-2 : Actividades realizadas por operarios de Producción y Reparación	94

INDICE DE TABLAS

Tabla 6-1: Programa de actividades	61
Tabla 7-1: Antecedentes generales de Diablo Regimiento	64
Tabla 7-2: Sistemas de clasificación geotécnica, Diablo Regimiento	66
Tabla 8-1: Presentación de la granulometría.	74
Tabla 8-2: Presentación de datos de la extracción (tiraje por turno)	74
Tabla 8-3: Código de granulometría	75
Tabla 8-4 : Construcción de tabla para análisis de granulometría	75
Tabla 8-5: Registros de reducción secundaria.....	76
Tabla 8-6: Construcción de datos para calculo energía cinética	77
Tabla 8-7: Presentación tablas de tipo roca extraída.....	78
Tabla 9-1: Índices de fragmentación.....	81
Tabla 10-1: Bondad de ajuste.....	86
Tabla 10-2: Tonelaje y probabilidad de supervivencia	87
Tabla 10-3: <i>Mean time to failure</i> para distintas distribuciones de probabilidad ...	89
Tabla 11-1: Ítems y proporción en el precio unitario de reparación con Marcos (referencial).	93
Tabla 11-2: Costo de mano de obra por equipo.	95
Tabla 11-3: Costo de combustible utilizado por equipo.	95
Tabla 11-4: Ítems y proporción en el precio unitario de reparación Consola (referencial).	96
Tabla 11-5: Proyección de precios insumo relevante.	97
Tabla 11-6: Costo proyectado del combustible utilizado anual.	97
Tabla 11-7: Costo mano de obra proyectado.....	98
Tabla 11-8: Cuadro resumen de costo de operaciones.	98
Tabla 11-9: Costos de reparación.	98
Tabla 11-10: Flujos de caja por período de la estrategia actual.....	99
Tabla 11-11: Flujos de caja por periodo de la estrategia planificada	99
Tabla 11-12: Evaluación CAUE	100

INDICE DE ECUACIONES.

Ecuación 1: Confiabilidad	42
Ecuación 2: Tiempo medio hasta la falla	43

GLOSARIO

- **Adit 41 y 72:** Corresponde a galerías que permiten el acceso y salida de la mina El Teniente.
- **Área disponible:** Área promedio diaria del conjunto de puntos de extracción que están en condiciones de ser extraídos en cualquier momento y su estado es: O (operativo), L (limitado), C (cerrado) o S (reabierto).
- **Block caving:** Método de explotación masivo en la cual un bloque de mineral en algunos casos representando el área basal del cuerpo mineralizado se corta en su base y luego a partir de la extracción se produce la propagación del hundimiento
- **Carpetas de rodado:** Piso de hormigón por donde transitan vehículos LHD, punzonadora, personas, entre otros.
- **Carta de tiraje:** Resumen de la programación diaria, desglosada en tres turnos, que indica los puntos de extracción que deben ser tirados en el turno para cumplir las metas de producción.
- **Columna extraíble:** Columna de mineral que equivale al 100% de extracción.
- **Convergencia Geotécnica:** Deformación o achatamiento gradual de un sector productivo.
- **Estado punto de extracción:** Se refiere a la condición operacional que presenta un punto de extracción. Dependiendo de su condición operacional, se ha establecido una clasificación de estados de puntos de extracción.
- **Estallidos de roca:** Explosión de roca en la Mina producto de acumulación de esfuerzos en el macizo rocoso.
- **Galería de ventilación:** corresponde a una red de galerías que se ubican por debajo del nivel de producción. Éstas tienen por objetivo conducir aire fresco, captado desde la superficie por grandes extractores, hacia los

lugares donde se está trabajando, y retirar el aire viciado (contaminado por los gases de tronadura y de equipos diesel) para expulsarlo a la superficie.

- **Ley de Cobre:** es el porcentaje de cobre que encierra una determinada muestra. Cuando se habla de una ley del 1% significa que en cada 100 kilogramos de roca mineralizada hay 1 kilogramo de cobre puro.
- **Ley de Corte:** (*cutoff grade*) corresponde a la ley más baja que puede tener un cuerpo mineralizado para ser extraído con beneficio económico. Todo el material que tiene un contenido de cobre sobre la ley de corte se clasifica como mineral y es enviado a la planta para ser procesado, en tanto que el resto, que tiene un contenido de cobre más bajo, se considera estéril o lastre y debe ser enviado a botaderos.
- **Malla de extracción:** Conjunto de puntos de extracción de las mismas características de diseño, que en conjunto con otras labores conforman el nivel de producción.
- **Nivel de Hundimiento (UCL):** Corresponde al nivel en que se produce la socavación de la columna de mineral.
- **Nivel de Producción o Galería:** Corresponde al nivel de galerías desde las cuales es captado el mineral quebrado y traspasado hacia el siguiente nivel. Se sitúa entre 8 y 18 metros por debajo del Nivel de Hundimiento.
- **Panel Caving:** Es una forma del método de hundimiento en que bloques consecutivos se hunden en forma continua de modo de evitar la dilución lateral y los esfuerzos de relajación producidos en el método convencional de *block caving*.
- **Pique:** Galerías verticales que por medio de la gravedad se traspasa las rocas extraídas a los niveles inferiores como acarreo o chancado.
- **Piques de traspaso:** corresponde a una serie de galerías verticales que permiten controlar el paso del mineral desde el nivel de producción hasta el nivel de acarreo.

- **Punto de Extracción:** Lugar físico de donde se extraen las rocas para ser transportadas al pique.
- **Recuperación de Calle Colapsada o Levante de Calle:** Proceso que involucra el acceso a determinada calle que ha sido colapsada, también es llamado recuperación de área colapsada.
- **Reducción Secundaria:** Contempla la operación de perforación y tronadura, aplicada a colpas de gran tamaño, atascadas en la boca de los puntos de extracción.
- **Reservas:** Recursos minerales que se encuentran en los yacimientos.
- **Sobreextracción:** Material extraído por sobre el límite económico extraíble.
- **Tiraje:** Se refiere a la operación de extraer material desde uno o más puntos de extracción.
- **Vehículos LHD:** Palas mecanizadas que transportan a las rocas desde el punto de extracción hasta el pique.

GLOSARIO DE SIGLAS.

- **ALTEXTR:** Altura extraída.
- **APP:** Aproximado.
- **CMTE:** Complejo Máfico El Teniente.
- **CODELCO:** Corporación Nacional del Cobre.
- **CU:** Cobre.
- **DDPM:** Departamento de Desarrollo y Preparación Minera.
- **DR:** Diablo Regimiento.
- **FMEA:** *Failure mode and effects analysis* (Análisis de modos de falla y efectos).
- **FW:** Patilla (Este)
- **GMIN:** Gerencia de Minas.
- **GRMD:** Gerencia de Recursos Mineros y Desarrollo.
- **GSI:** *Geological strength index*, Hoek et al. (1995) (índice de resistencia geológica del macizo rocoso).
- **HW:** Cabeza (Oeste)
- **IQR:** *Interquartile Range* (Rango intercuartil)
- **LEYAS:** Ley de Arsénico.
- **LEYASITUR:** Ley asignada al turno;
- **LEYCUNS:** Ley de Cobre no Sulfuro.
- **LEYEXDFEC:** Ley extraída a la fecha.
- **LEYMO:** Ley de Molibdeno.
- **LHD:** *Load Haul Dump* (Cargar, descargar y acarrear).
- **MRMR:** *Mining rock mass rating*, Laubscher (1977, 90, 93) (rating minero del macizo rocoso).
- **MSNM:** Metros sobre el nivel del mar.
- **MTTF o MTBF:** *Mean Time to Failure, Mean Time Between the Failures* (tiempo medio hasta la falla o tiempo medio entre fallas).
- **N-S-E-O:** Norte, Sur, Este y Oeste.

- **OP:** *Ore Pass* (pique de traspaso).
- **P&T:** Perforación y Tronadura.
- **PE:** Punto de extracción.
- **PORCCUMP:** Porcentaje por cumplir.
- **PORCEXT:** Porcentaje de extracción, se calcula en base a la reserva.
- **Q:** *Quality index*, Barton et al. (1974) (índice de calidad de la roca).
- **RCM:** *Reliability Centered Maintenance* (mantenimiento centrado en la confiabilidad).
- **RMR:** *Rock mass rating*, Bieniawski (1973, 76, 79) (rating del macizo rocoso).
- **RQD:** *Rock quality designation*, Deere et al. (1967) (designación de la calidad del macizo rocoso).
- **SAE:** *Society of Automotive Engineers* (Sociedad de Ingenieros Automotrices).
- **SIM:** Superintendencia de Ingeniería Minas.
- **SP:** Sector productivo.
- **SPM:** Superintendencia de Preparación Minera.
- **TON:** Toneladas.
- **TONEXDFEC:** Tonelaje extraído a la fecha.
- **TPD:** Tonelaje por día.
- **TUREXT:** Turno extraído.
- **UCL:** Nivel de Hundimiento.
- **URUMAN:** Sociedad Uruguaya de Mantenimiento.
- **US\$ y kUS\$:** Dólares y Miles de Dólares.
- **VAN:** Valor Actual Neto.

RESUMEN

El presente proyecto estudia el efecto que tiene la extracción de mineral en la vida útil de las fortificaciones de “puntos de extracción” en la mina Diablo Regimiento de CODELCO División El Teniente. Dichas estructuras son aberturas utilizadas en la minería subterránea para extraer los minerales fragmentados.

En este trabajo se identifica el componente crítico que forma parte de todos los puntos de extracción y las causas que inciden en su deterioro, con el fin de modelarlo para realizar un análisis de la supervivencia de la fortificación, de forma tal que se permita predecir y proyectar las necesidades de reparación.

Posteriormente, se evalúa económicamente la conveniencia de modificar la actual política de reparaciones por un sistema de planificación, a modo de reducir las distorsiones financieras y operacionales provocadas por un sistema que considera un actuar reactivo ante un daño severo de la fortificación.

Finalmente, se demuestra que cambiar la actual estrategia de reparaciones por una correctiva planificada promueve la eficiencia en costos lo que beneficia económicamente a toda la Empresa.

ABSTRACT

The current project studies the effect that mining has on the fortifications lifespan of the draw points in the mine Diablo Regimiento from CODELCO División El Teniente. These structures are openings used on underground mining to extract the fragmented ores.

This paper identifies the critical component that takes part of every draw point and the causes of its worsening to make an analysis of the survival period of the fortification. In this way the needs of repair can be predicted and projected.

Then, it is evaluated if it is convenient to modify the current repair policy into a planning system to reduce the financial and operational distortions caused by a system that considers an reactive performance before a hard damage of the fortification.

Finally, we show that changing the current repair strategy to a planned corrective promotes cost efficiency that economically benefits the entire business.

1. INTRODUCCIÓN.

El proyecto se realiza en la Superintendencia de Preparación Minera de CODELCO División El Teniente, en el área de intervención, encargada de reparar la infraestructura de sectores productivos.

En el capítulo dos se entregan antecedentes del sistema bajo estudio en que se mencionan aspectos de la Empresa y de la Superintendencia de Preparación Minera (SPM) a modo de comprender mejor sus actividades. Se indican los principales objetivos estratégicos de la Empresa y cómo se alinea la SPM con ellos, mencionando aspectos tales como su visión, misión y principales servicios ofrecidos. Además, se describe la situación actual de las actividades de reparación realizadas por la SPM donde se pone énfasis en los factores que provocan fallas en la fortificación de los puntos de extracción.

Luego de identificar el sistema en estudio, en el capítulo tres se define el problema a enfrentar; para posteriormente determinar los objetivos que permiten dar los lineamientos al proyecto.

Los capítulos cuatro y cinco reúnen antecedentes bibliográficos e históricos que permitirán construir un marco teórico que entregue los métodos de solución al problema definido en el capítulo tres y, además, el estado del arte con el objetivo de entender de mejor forma los métodos constructivos de los puntos de extracción y su entorno.

Posteriormente, en el capítulo seis, se define la metodología a seguir donde se separa el proyecto en cuatro fases: comprensión de las variables que inciden en el deterioro de los puntos de extracción, recolección y preparación de datos, análisis y modelado de datos y, finalmente, análisis de costos de las modificaciones a la actual estrategia de reparaciones en los puntos de extracción.

En el capítulo siete se realiza un análisis de los modos de falla y efectos con el objeto de identificar las causas que inciden en las necesidades de reparación de los puntos de extracción y las consecuencias de sus daños o fallas. Posteriormente se identifican las variables a estudiar para que en el capítulo ocho, se recolecten y preparen datos que serán modelados y analizados en el capítulo nueve y diez, con el objetivo de predecir las fallas por medio de un análisis de supervivencia.

En el capítulo once, se propone una estrategia de reparaciones planificadas y se analiza su viabilidad económica comparando sus costos anuales uniformes equivalentes con los de la actual estrategia correctiva.

Finalmente, los capítulos doce y trece incluyen las conclusiones y recomendaciones del proyecto respectivamente.

2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA BAJO ESTUDIO.

2.1 La Empresa.

2.1.1 Historia de CODELCO División El Teniente.

“En 1905 el pionero estadounidense William Braden, con su empresa Braden Copper Co., comenzó la explotación del mineral en plena Cordillera de Los Andes. Posteriormente, su administración fue traspasada a la Kenecott Corporation, que catapultó a la empresa al liderazgo de la gran minería mundial, introduciendo paulatinamente la tecnología e ingeniería en minas.

Su sitio como la mina subterránea más grande del mundo, se vio confirmado a partir de 1968, cuando el Estado Chileno adquirió el 51 por ciento de la propiedad de El Teniente, a través del proceso de Chilenización del Cobre. Buscando consolidar esa posición y aportar al máximo para el desarrollo de Chile, en 1971, con la nacionalización de la gran minería, se convirtió en una empresa ciento por ciento estatal.”[Teniente2010]

2.1.2 Visión de CODELCO División El Teniente.

“CODELCO Chile División El Teniente, empresa minera estatal y orgullosa de su tradición, será líder mundial en competitividad, desplegando todo su potencial de negocios, para beneficio y con aprecio de todos los Chilenos, constituyéndose en oportunidad de desarrollo para sus trabajadores, los que conformarán un gran equipo humano, en un ambiente grato y de colaboración, en el marco de la Alianza Estratégica.”[Teniente2010]

2.1.3 Misión de CODELCO División El Teniente.

“Desplegar en forma responsable y con excelencia, toda su capacidad de negocios mineros y relacionados en Chile y en el mundo, con el propósito de maximizar en el largo plazo su valor económico y su aporte al Estado.

CODELCO llevará a cabo su misión, enfatizando una organización de alto desempeño, la participación, la innovación creativa y el conocimiento de las personas en permanente desarrollo.”[Teniente2010]

2.1.4 Ubicación.

El Teniente se encuentra al Noreste de la ciudad de Rancagua, Provincia de Cachapoal, VI Región, Chile. El acceso a la mina es a través de la moderna Carretera El Cobre.

Figura 2-1: Ubicación geográfica mina El Teniente



Fuente: CODELCO.

2.1.5 Antecedentes generales de El Teniente.

- Personal propio: 4.761 trabajadores.
- Personal contratista: 10.540 trabajadores.
- Mina subterránea de cobre más grande del mundo, en operación desde 1905.
- Más de 111 millones de toneladas de cobre fino en reservas.
- Más de 2.400 kilómetros de galerías subterráneas.
- Áreas productivas a 2.500 metros sobre el nivel del mar.
- Producción 138.901 toneladas por día (promedio anual).

2.1.6 Plan Estratégico Actual de la División.

La Planificación Estratégica de la División se dio a conocer a comienzos del 2009 (ver Apéndice 1: Mapa Estratégico 2009 División El Teniente), estableciendo objetivos de corto, mediano y largo plazo. El objetivo es recuperar competitividad, reducir los costos e iniciar la construcción de “El Teniente Futuro”. Para tales objetivos, la empresa ha definido cinco importantes aristas del Plan Estratégico para el primer cuartil 2008 - 2014, las que son mencionadas a continuación.

1. Continuidad Operacional.

Este objetivo busca asegurar la producción, y mejorarla en la medida de lo posible, mantener la continuidad operacional y reducir los gastos en los insumos más relevantes.

2. Productividad.

El objetivo es alcanzar mayores tiempos efectivos de trabajo, por lo que la división evalúa distintas opciones para conseguirlo, dentro de ellas está en modificaciones de la jornada laboral. Sin embargo, en este caso la empresa no tiene posibilidades de tomar decisiones de manera unilateral, por lo que deben existir negociaciones con los grupos sindicales si llega a ser una opción viable.

3. Servicios de Terceros.

La revisión en la compra de insumos y la optimización de los servicios contratados a terceros son otras de las aristas del plan de reducción de costos. En este último aspecto, se está realizando una revisión a todos los contratos de empresas contratistas. El objetivo de esto es analizar qué actividades se pueden dejar de hacer, como asesorías, consultorías y estudios preinversionales, donde ya se ha rebajado del orden del 10% los costos.

Lo mismo se está haciendo para la compra de materiales y repuestos relevantes para la División, como acero, bolas o reactivos, entre otros. Es decir, se están revisando los precios de esos contratos y solicitando acordar nuevas condiciones, como por ejemplo liberarlos de algunas condiciones o extender los contratos, de forma de que para los proveedores también les resulte más barato abastecer la empresa.

4. Energía.

La estrategia de la División apunta, por un lado, aumentar la eficiencia en su consumo y por otro, a optimizar la demanda máxima de combustibles y energía eléctrica.

Con respecto a la eficiencia en el consumo, se están identificando aquellos procesos en los que existe espacio para ahorrar energía, como por ejemplo apagar los equipos cuando sea posible o buscar la manera de ser más eficiente en su uso, siempre que no comprometa la seguridad y producción.

Respecto de la demanda máxima, se trata de ahorrar por el pago de la potencia, utilizando menos potencia en Teniente en el momento en que se espera que produzca el máximo consumo de energía a nivel nacional.

5. Cambio Cultural.

Para complementar este plan, la necesidad de reforzar la comunicación entre las distintas áreas de la organización se vuelve relevante, de forma que todos los trabajadores estén informados sobre el resultado de la gestión de sus respectivas áreas, ya sea en costos, producción, ausentismo y seguridad y participen en la solución de los problemas desde el inicio.

Por ello, realizó un rediseño de la organización, creando nuevas gerencias y añadiendo más funciones a las ya existentes (Apéndice 2:

Organigrama Codelco Div. El Teniente). El rediseño apunta a un cambio cultural, en la forma de relacionarse las distintas áreas, en el modo de hacer las cosas y en la manera en que se toman las decisiones.

2.1.7 Estructura Organizacional de CODELCO División El Teniente.

La estructura organizacional de la Empresa comprende distintas direcciones, gerencias y subgerencias que trabajan en áreas primarias y de apoyo (ver Apéndice 2: Organigrama Codelco Div. El Teniente).

La Subgerencia de Operaciones se encarga de las principales operaciones en los sectores productivos que procesan el mineral desde su extracción hasta su fundición, considerando todas las demás actividades necesarias para tener continuidad operacional. De los distintos sectores productivos se identifica a la Gerencia de Minas como la encargada de realizar operaciones al interior de la Mina.

2.2 Gerencia de Minas.

La Gerencia de Minas (GMIN) es la que se encarga de explotar la mina. Para ello, cuenta con siete Superintendencias y dos Departamentos de apoyo (ver Apéndice 3).

2.2.1 Visión Gerencia Minas.

La visión de la GMIN debe ser coherente con la división. Así la visión de la Gerencia de Minas es establecida como sigue:

“Ser el mejor equipo del mundo en preparación y manejo de materiales de minas, para constituirnos en el negocio más eficiente y rentable de la Industria” [Teniente2010].

2.2.2 Misión Gerencia de Minas.

La misión de la Gerencia de Minas busca proveer el servicio de preparación y extracción minera, que a través de calidad, oportunidad y bajo costo, permitan la continuidad del proceso productivo. De esta forma la misión de la Gerencia de Minas se constituye de la siguiente forma:

“Preparar mina y extraer minerales en la cantidad, calidad, oportunidad y al mínimo costo, requerido por nuestro cliente Recursos Mineros y Desarrollo” [Teniente2010].

2.2.3 Principales Procesos GMIN.

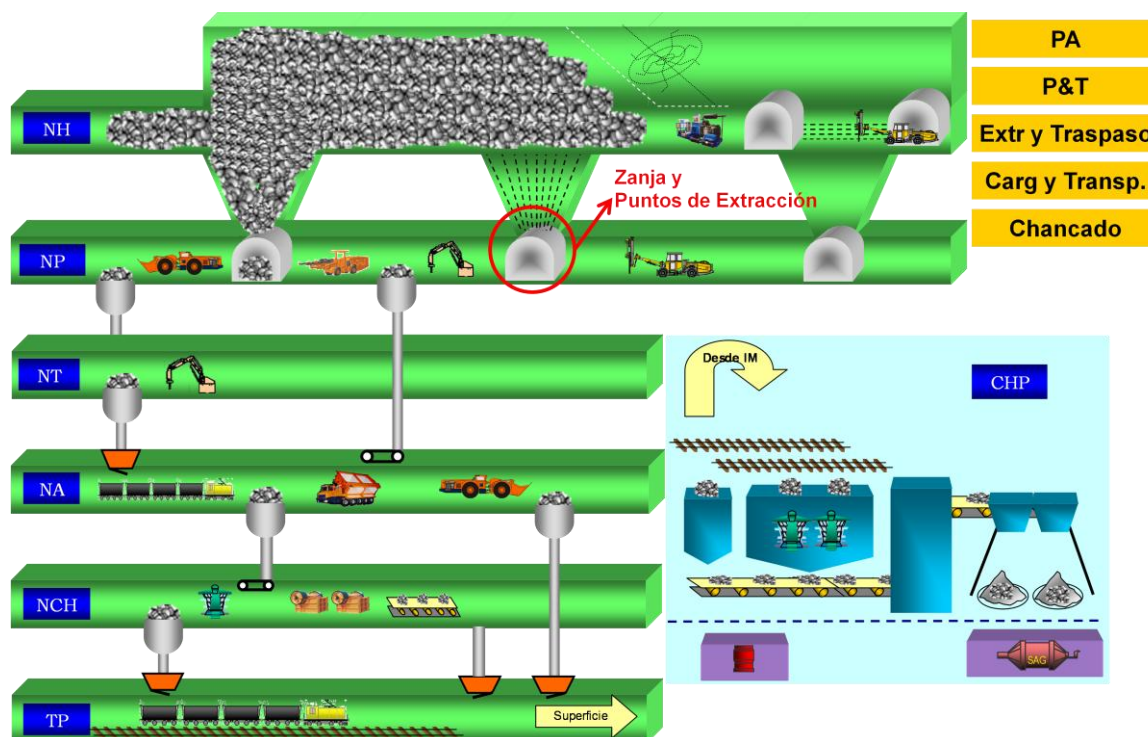
Los procesos desarrollados por la GMIN comprenden distintas actividades para la explotación al interior de la mina, la cual se lleva a cabo por el método Panel Caving que requiere la existencia de galerías ubicadas en distintos niveles.

En el nivel superior, denominado nivel de hundimiento, se realizan actividades de Preacondicionamiento, Perforación y Tronadura (P&T), que tienen por objetivo fragmentar el mineral para que éste sea extraído desde los puntos de extracción ubicados en el nivel (o galerías) de producción. Las palas LHD extraen de los “puntos de extracción” el mineral y lo depositan en piques de traspaso¹ que, por gravedad, es conducido hasta niveles inferiores que pueden ser de Transporte o Chancado.

Finalmente, la GMIN transporta las rocas, ya reducidas de tamaño, en ferrocarril hacia la superficie proveyendo a las Gerencias de Plantas y Fundición para que continúen con el proceso de producción (ver Figura 2-2: Proceso GMIN).

¹ Piques de traspaso: Galerías verticales que traspasan mineral desde un nivel superior a uno inferior por efecto de la gravedad.

Figura 2-2: Proceso GMIN



Fuente: Planificación de Dotaciones SPM, CODELCO.

2.3 Superintendencia de Preparación Minera.

La Superintendencia de Preparación Minera es parte de la Gerencia de Minas y realiza actividades de apoyo a las operaciones de producción, entregando como producto final sectores disponibles para ser explotados.

2.3.1 Labor.

“La Superintendencia de Preparación Minera (SPM) es responsable de preparar infraestructura minera, entregando como producto final reservas quebradas disponibles para los procesos de extracción” [Teniente2010].

2.3.2 Misión de la SPM.

La Superintendencia define su misión de la siguiente forma:
 “Proveer servicios de preparación minera que aseguren la continuidad del proceso productivo, satisfaciendo plenamente las necesidades de los clientes a

precio de mercado, calidad y oportunidad, contribuyendo a maximizar el VAN del negocio, trabajando sin accidentes y en un marco de respeto a las personas y cuidado del medio ambiente” [Teniente2010].

2.3.3 Visión de la SPM.

La Superintendencia define su visión de la siguiente forma:
“Deseamos constituirnos en una alternativa rentable y competitiva en obras de preparación mineras, transformándose en una oportunidad de desarrollo y estabilidad para sus trabajadores y que mediante el trabajo en equipo, innovación y creatividad, contribuyan al posicionamiento de la división como productor líder en la industria del cobre” [Teniente2010].

2.3.4 Clientes de la SPM.

Los clientes más frecuentes de la SPM son Mina Norte y Sur. De éstos se reciben los Programas de Reparaciones que contienen un estimado de sus necesidades probables de reparación a los sectores productivos.

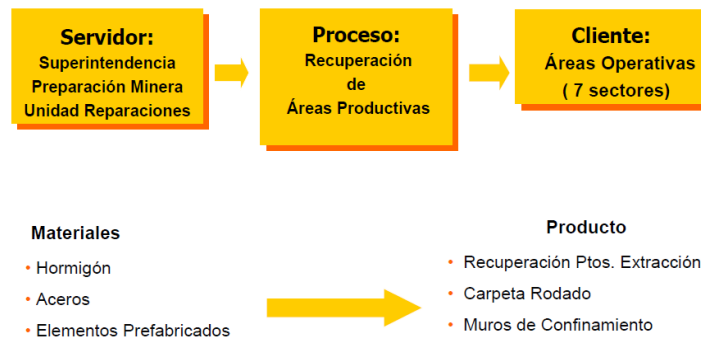
2.3.5 Servicios ofrecidos por la SPM.

La Superintendencia de Preparación Minera cuenta con tres Unidades de apoyo a la producción y una Unidad de gestión (ver Apéndice 4).

Los servicios ofrecidos por la SPM son: conducción de aguas ácidas, realizadas por la Unidad de Servicios de Apoyo a la Producción; Preacondicionamiento del macizo rocoso por medio de fracturamiento hidráulico, realizadas por la Unidad de Preacondicionamiento y las reparaciones de infraestructura minera, realizadas por la Unidad de Reparaciones y Construcciones. Esta última considera principalmente las reparaciones de puntos de extracción, carpetas de rodado, muros, entre otros. Dichas actividades se realizan tanto para los niveles de producción y UCL, garantizando funcionalidad, serviciabilidad y seguridad a los operarios.

En el presente, la Unidad de Reparaciones y Construcciones ha externalizado la mayor parte de sus actividades de construcción debido al alto costo que implica, por lo que su actividad principal son las reparaciones a la infraestructura minera.

Figura 2-3: Relación cliente – servidor de la Unidad de Reparaciones y Construcciones



Fuente: Optimización en la recuperación de carpetas de rodados, CODELCO

2.3.6 Mapa de Proceso.

La GRMD (Gerencia de Recursos Mineros y Desarrollo) está encargada de planificar la producción a la GMIN.

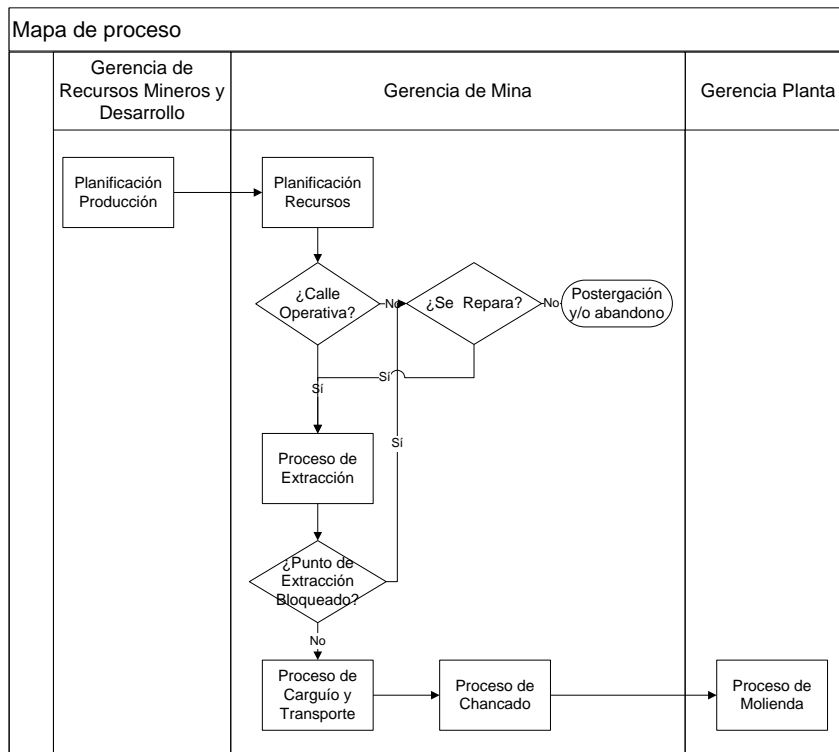
La GMIN planifica y coordina las actividades para cumplir con las metas productivas de la División, considerando las interferencias en la producción por condiciones desfavorables del macizo rocoso y/o fallas estructurales. En éste último caso, interviene la SPM que repara la infraestructura minera permitiendo la continuidad operativa del sector (ver Figura 2-4: Mapa de proceso general).

2.4 Situación Actual de la División El Teniente.

La contribución de El Teniente a la producción de CODELCO no es menor. Según la memoria anual 2009 [CODELCO2009][1], ésta alcanza un nivel de producción de 404.035 toneladas finas métricas de cobre, lo que representa el 24% de la elaboración total de este producto en CODELCO. Con tal nivel de

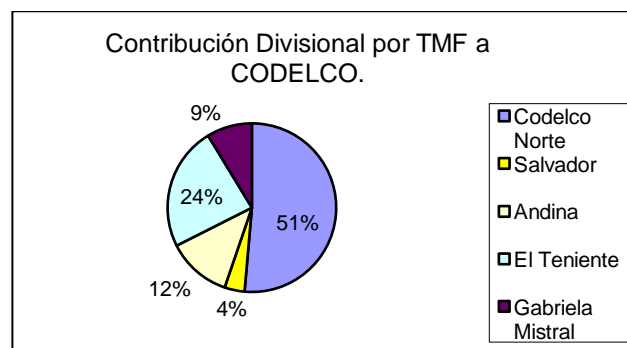
producción, El Teniente se considera como una de las divisiones más importantes en cuanto a las toneladas de cobre producido (ver Figura 2-5: Contribución Divisional por Toneladas Finas Métricas a CODELCO).

Figura 2-4: Mapa de proceso general



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-5: Contribución Divisional por Toneladas Finas Métricas a CODELCO

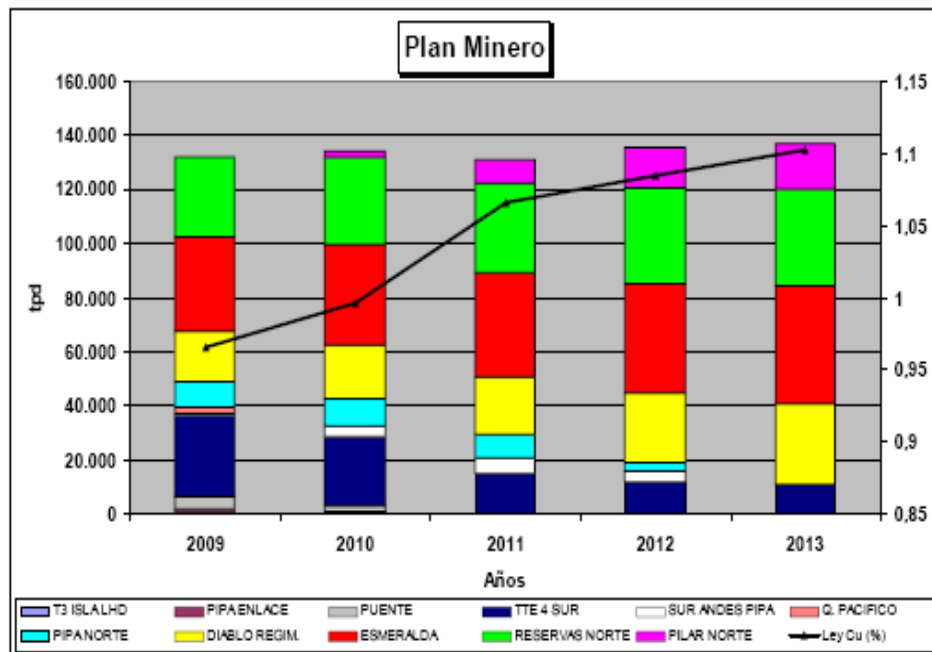


Fuente: Preparado por el autor a partir de información publicada en memoria anual 2009 de CODELCO.

El Teniente tiene planificado aumentar progresivamente su producción diaria, buscando aproximarse a las 140.000 toneladas de mineral por día, por lo que es importante la mejora continua en todos los procesos productivos y de apoyo involucrados en la generación de valor en El Teniente. Por lo mismo, se han planteado los objetivos estratégicos de reducción de costos y aumento de productividad como indicadores que influyen en el desarrollo del negocio (Apéndice 1: Mapa Estratégico 2009 División El Teniente), considerando a la continuidad operacional como el factor clave que influirá en dichos resultados.

El plan minero identifica las toneladas esperadas por día de cada mina en operación, e identifica a los sectores productivos Esmeralda, Diablo Regimiento, Reservas y Pilar Norte como los principales sectores productivos que tendrán una mayor relevancia a partir del 2011 luego del cierre de la producción en Sewell y la disminución progresiva de los sectores restantes (ver Figura 2-6).

Figura 2-6: Plan Minero para el Quinquenio 2009-2013



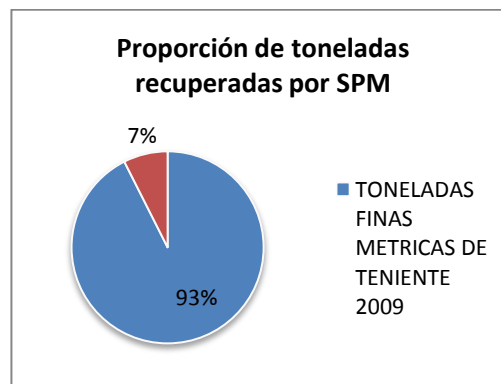
Fuente: CODELCO.

2.4.1 Importancia de las Actividades de Reparación Proporcionadas por la SPM en los Resultados del Negocio.

Es necesaria la disponibilidad de áreas productivas para alcanzar las metas de extracción expresadas en toneladas por día (TPD). La operatividad de los sectores está condicionada al desgaste y al estado tensional de la mina. Así, la SPM juega un rol importante en cuanto a asegurar la continuidad operacional, ya que sus reparaciones a infraestructuras en los distintos sectores de la mina proporcionan áreas operativas.

Según los lineamientos estratégicos para la SPM [CODELCO2009][2] la relevancia de la Superintendencia es cuantificada en 10.000 metros cuadrados recuperados de área productiva. Dicha área es equivalente a 38 puntos de extracción al año, por lo que es posible de valorizar en 214.799.735 dólares anuales² de ingresos y correspondería al 7% del total de las toneladas de cobre fino extraídos por la división.

Figura 2-7: Toneladas recuperadas por la SPM



Fuente: Elaboración Propia

2.5 Situación Actual de la SPM.

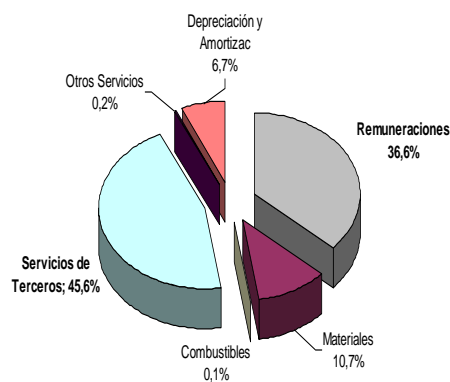
Analizando los costos de la SPM, se puede resaltar que un 36% de los costos primarios conciernen a remuneraciones y un 45% a los servicios

² Valorizado con un precio del cobre de 3 dólares la libra.

externos, de este último un 68% de los costos corresponden a reparaciones y construcciones. En resumen, la SPM cuenta con personal de planta que se hace cargo de los proyectos ofreciendo flexibilidad a las contingencias con calidad y prontitud, factores que los diferencian de las empresas contratistas (ver Figura 2-8 y Figura 2-9).

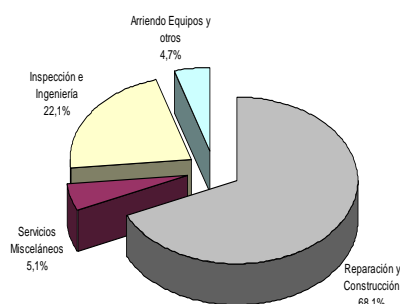
El presupuesto es estimado según el programa de obras entregado por los clientes de la SPM, cuya metodología presenta ineficiencias; ya que el criterio por el cual se estiman los daños es visual y la previsión de necesidad de reparar se basa en la experiencia. Por lo tanto, la SPM al no programar las reparaciones de la infraestructura en los sectores productivos, repara en forma correctiva y a mayor escala, implicando grandes inyecciones de recursos, además, sumado a la existencia de actividades de contingencia (una reparación no considerada en los programas) provocando distorsiones financieras en los presupuestos de las reparaciones que, finalmente, son traspasadas a los usuarios con la interrupción del proceso productivo (ver Figura 2-10).

Figura 2-8: Distribución de costos primarios de la Superintendencia de Preparación Minera



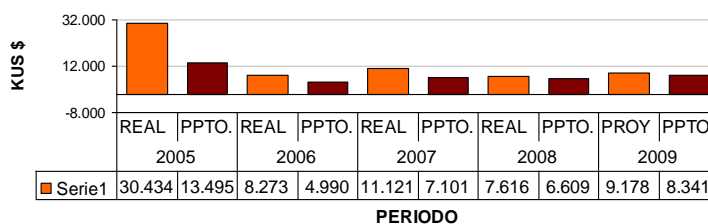
Fuente: Lineamientos Estratégicos Quinquenio 2010 – 2014 SPM, CODELCO

Figura 2-9: Distribución de costos de servicio de terceros



Fuente: Lineamientos Estratégicos Quinquenio 2010 – 2014 SPM, CODELCO

Figura 2-10: Costos de Reparaciones plan vs. real



Fuente: Optimización en la recuperación de carpetas de rodados, CODELCO

2.6 Situación Actual de las Reparaciones.

En el informe preparado por la SPM [CODELCO2007][1], se identifican los principales gastos de reparaciones: reparación de puntos de extracción, carpeta de rodado y recuperación de calle colapsada. Dada la relevancia de cada una de estas actividades, cualquier innovación tecnológica o mejora en los procesos de ejecución permitirá lograr una baja en los costos de reparaciones de la mina.

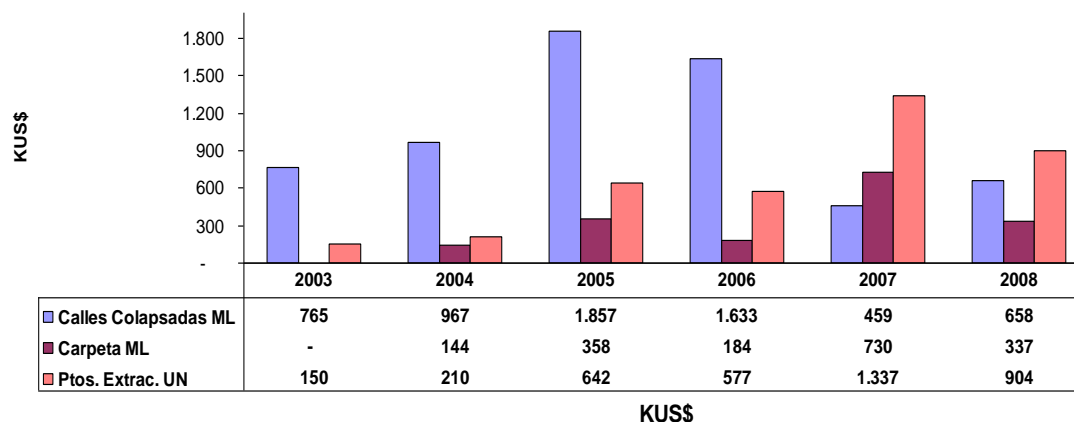
Figura 2-11: Distribución de costos en reparaciones 2003-2007



Fuente: Optimización en la recuperación de carpetas de rodados, CODELCO

Con respecto a los gastos por actividad, se encuentra en primer lugar la recuperación de galerías colapsadas, labor que se ha ido externalizando gradualmente. Seguido, se encuentran las reparaciones a los puntos de extracción cuyos costos se han incrementando paulatinamente, alcanzando en los periodos 2005-2008, valores por sobre el doble de los registrados en años anteriores (ver Figura 2-12).

Figura 2-12: Costos anual por tipo de actividad de reparación



Fuente: Optimización en la recuperación de carpetas de rodados, CODELCO

2.7 Factores que Inciden en la Necesidad de Reparaciones de Puntos de Extracción.

Los puntos de extracción corresponden al lugar físico del que son extraídas las rocas mineralizadas. Dicha infraestructura tiene limitantes que afectan la continuidad de la producción y, por ende, la rentabilidad del negocio.

Los puntos de extracción ven condicionado su rendimiento al dañarse con la variación de estados tensionales del macizo rocoso [CODELCO2009][3] y al desgaste producido por la extracción de mineral (ver Apéndice 7: Antecedentes de SIM-181/06), en tales casos, se requieren las reparaciones que generalmente implican fortificación, instalación de marcos metálicos y/o consolas de hormigón.

Los puntos de extracción tienen definida una vida útil económica en función de las leyes de cobre existentes y proyectadas en los sectores productivos y la altura de columna mineralizada que es posible extraer. Dicha información es utilizada por la GRMD para el proceso de planificación de producción.

Los criterios y parámetros que definen la vida útil de los puntos son:

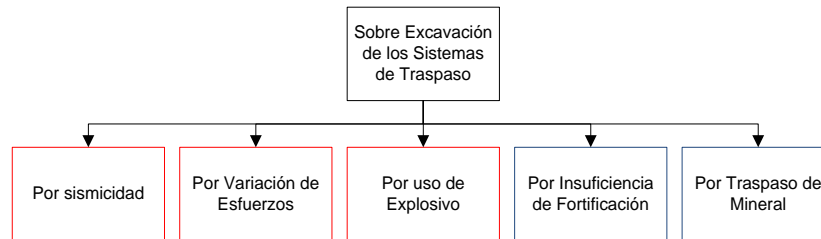
1. Ley de corte: Corresponde a la ley más baja que puede tener un cuerpo mineralizado (bloque) para ser extraído con beneficio económico. Todo el material que tiene un contenido de cobre sobre la ley de corte se clasifica como mineral y es enviado a la planta para ser procesado, en tanto que el resto, que tiene un contenido de cobre más bajo, se considera estéril o lastre y debe ser enviado a botaderos.
2. Altura de la columna de mineral a extraer desde el punto de extracción que puede ser expresada en metros o en toneladas de roca por extraer.

Las actividades de reparación consideran aproximadamente 480 horas-hombres en las que participan 3 trabajadores por turno y tiene un costo unitario estimado entre los 55.680 a 89.938 US\$.

2.7.1 Factores que Influyen en el Rendimiento de la Fortificación en los Puntos de Extracción.

El Instituto de Innovación en Minería y Metalurgia [IM22000][1], en el estudio realizado para El Teniente, define un árbol de falla que menciona los factores que influyen en los daños en piques. Si bien esta infraestructura no será estudiada, hay factores que se relacionan con el comportamiento de los puntos de extracción encerrados en recuadros rojos y hay factores en recuadros azules que requieren una mayor aproximación (ver Figura 2-13).

Figura 2-13: Principales factores que originan sobre excavación de los sistemas de traspaso



Fuente: Estudio de Sistemas de Traspaso de Mineral, IM2 – CODELCO (2000)

2.7.2 Por Variación de Esfuerzos: Esfuerzos Inducidos por la Actividad Minera.

La variación de los esfuerzos son producidos por el tipo de explotación de la mina que, en este caso, corresponde a explotación por hundimiento. Estas variaciones son comunes en la minería subterránea y en El Teniente se toman medidas para minimizarlos y monitorearlos ya que implican riesgos en las estructuras y en los trabajadores, sin embargo, son de carácter impredecibles y por ello se toman acciones preventivas de aislamiento en caso de que el comportamiento de éstos varíe significativamente.

- **Principio del Método de Explotación por Hundimiento.**

Con el objetivo de comprender este factor se explica el comportamiento de los esfuerzos en el macizo rocoso al someterse a explotación por hundimiento [Zuñiga2007]:

Los esfuerzos presentes en algún sector y a cierta profundidad en un yacimiento, tienen su origen en el peso del macizo rocoso que va hasta la superficie y en fenómenos externos como el desplazamiento de placas en la corteza terrestre. Todo macizo rocoso, en presencia de un campo de esfuerzos, se encuentra en equilibrio mientras no se realice una abertura considerable en su interior, de manera de romper ese equilibrio inicial y provocar la redistribución del campo de esfuerzos alrededor de la abertura. La estabilidad de la abertura

depende de su geometría y dimensiones, del campo de esfuerzos y de la calidad de la roca. Luego, si la resistencia de la roca no es suficiente para soportar este cambio, ésta se fracturará y fragmentará hasta llenar la abertura.

Si se extrae el material fragmentado a medida que se socava, el proceso de fracturamiento y fragmentación se extenderá hasta la superficie. Luego, el principio que rige este método de explotación, se basa en crear una abertura que implique una dinámica de desplome constante que permita extraer el mineral a través de una malla de puntos de extracción ubicada en la base del sector a explotar.

2.7.3 Por Uso de Explosivos.

Para el caso de los puntos de extracción, los explosivos son utilizados con el objeto de permitir la continuidad de extracción luego de que ésta se ve interrumpida por formación de arcos naturales de roca. Dichas actividades se denominan “reducción secundaria”, y se presume que dañan las viseras producto de la onda expansiva del explosivo.

2.7.4 Por Insuficiencia en Fortificación.

En este caso, la fortificación en puntos de extracción no debiera ser causa de problemas ya que las empresas encargadas de las labores de construcción poseen certificaciones y procesos estandarizados que garantizan la calidad de las obras. No obstante, la visera está compuesta en su mayoría por “roca viva”, cuya calidad depende del tipo de roca del sector donde está construido el punto de extracción.

Existen indicadores de clasificación geotécnica que tienen por objeto comprender la calidad de la roca presente en el sector. Para una mayor comprensión, a continuación se hace una aproximación conceptual extraída del estudio “Modelo Geomecánico del Macizo Rocosos Primario de mina El Teniente” [CODELCO2007][2]:

- **“Calidad Geotécnica:** Calificación cualitativa de la calidad de una roca, de estructuras geológicas y/o de un macizo rocoso, en relación a sus potenciales usos en ingeniería civil y/o de minas.
- **Clasificación Geotécnica:** Clasificación de la roca y/o de las estructuras y/o del macizo rocoso según su calidad geotécnica, de acuerdo a cierta escala de clasificación que puede basarse en uno o más parámetros geotécnicos.
- **Índice de Calidad Geotécnica:** Parámetro numérico que describe, en forma cuantitativa, la calificación de la calidad geotécnica. Se usan generalmente para calificar el macizo rocoso y los más usados son: la designación de la calidad del macizo rocoso, RQD (*rock quality designation*, Deere et al. (1967)); el rating del macizo rocoso, RMR (*rock mass rating*, Bieniawski (1973, 76, 79)); el rating minero del macizo rocoso, MRMR (*mining rock mass rating*, Laubscher (1977, 90, 93)); y el índice de calidad, Q (*quality index*, Barton et al. (1974)). Actualmente se está comenzando a usar, cada vez más, el índice de resistencia geológica del macizo rocoso, GSI (*geological strength index*, Hoek et al. (1995))”.

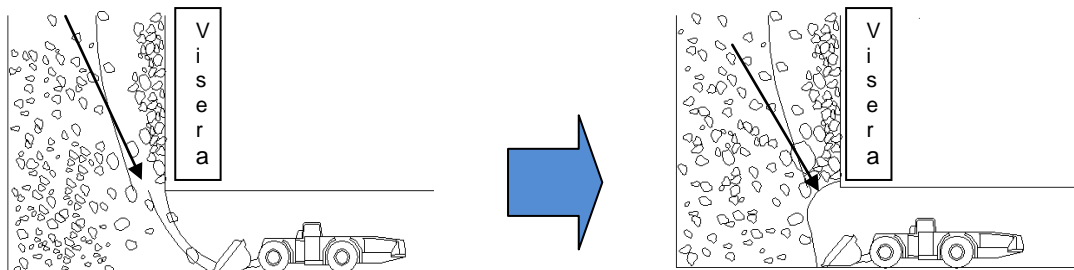
2.7.5 El Traspaso de Mineral: Extracción de Mineral.

Para el comportamiento de los piques, el IM2 señala que “la ocurrencia de golpes o abrasión que ejercen las rocas en las paredes del pique (o sistemas de traspaso en general), está relacionada con la definición de granulometría máxima a traspasar” [IM22000][2], esto indica que el nivel de desgaste está en función del tipo de granulometría que se extrae, además, indica que es válido también para los puntos de extracción.

Según IM2 en su proyecto “Diseño conceptual para Minería continua” menciona que “la visera actúa como una compuerta, estrangulando el flujo del mineral (...) además, actúa como una especie de harnero, al provocar, por el mismo efecto “pared” definido en hidráulica, una retención de las colpas favoreciendo el escurrimiento del mineral de granulometría más fina, quedando rezagado el mineral más grueso el cual tendrá una mayor “viscosidad” a fluir y se acumulará sobre la visera” [IM22003]. Por lo tanto, puede entenderse que la granulometría del mineral influye en el daño de las viseras, por la función que ésta tiene de retener el mineral para evitar que fluya hasta la calle de producción. (ver Figura 2-14: Muestra la secuencia de colgadura por efecto combinado de extracción en el talud y visera)

Este daño por desgaste, se verá influenciado por la energía cinética que trae la roca en su descenso que impacta violentamente a la visera produciendo el efecto físico descrito por la segunda ley de Newton: acción y reacción.

Figura 2-14: Muestra la secuencia de colgadura por efecto combinado de extracción en el talud y visera



Fuente: Diseño Conceptual para Minería Continua, IM2-CODELCO(2003).

El daño en la visera influye directamente en la fortificación, ya que su socavación posibilita a las rocas, en su descenso, golpear directamente al primer marco de acero cuya energía de impacto se disipa en la estructura completa provocando daños. Esto se debe a que su diseño estructural no tiene por objetivo soportar el impacto de las rocas, sino que sólo soportar los esfuerzos provenientes del macizo rocoso circundante.

3. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.

Considerando lo anteriormente expuesto, se puede resumir que la importancia de las reparaciones a la infraestructura para el negocio minero, radica en que constituye una actividad de apoyo a la producción, que posibilitan el acceso a áreas productivas con el objetivo de alcanzar las metas de producción de cobre.

El actual método de programación de reparaciones se basa en la observación y experiencia, por lo que es común que existan necesidades imprevistas de reparación. Esta condición ha limitado las innovaciones en las reparaciones a infraestructuras, las que normalmente están enfocadas a implementar mejoras en los diseños estructurales con el objeto de prolongar la vida útil de la fortificación [CODELCO2009][3]. Por lo que, la carencia de un método de programación de reparaciones fiable basado en la predicción de la vida útil de las fortificaciones de puntos de extracción en un ambiente de producción más que en la observación, obliga a la Superintendencia de Preparación Minera a utilizar una estrategia que contempla el actuar reactivo, generando distorsiones financieras cuando los daños son muy severos³ lo que, eventualmente, interrumpe el proceso productivo⁴ (ver Figura 3-1).

3.1.1 Enunciado del Problema.

- Desconocimiento analítico de la vida útil de las fortificaciones de los puntos de extracción que dependen de variables relacionadas con la extracción del mineral.

³ Esto sucede cuando los requerimientos de materiales y horas-hombre son mayores a los considerados en los precios unitarios.

⁴ La interrupción se provoca cuando Producción no posee más galerías de donde extraer mineral.

3.2 Objetivos.

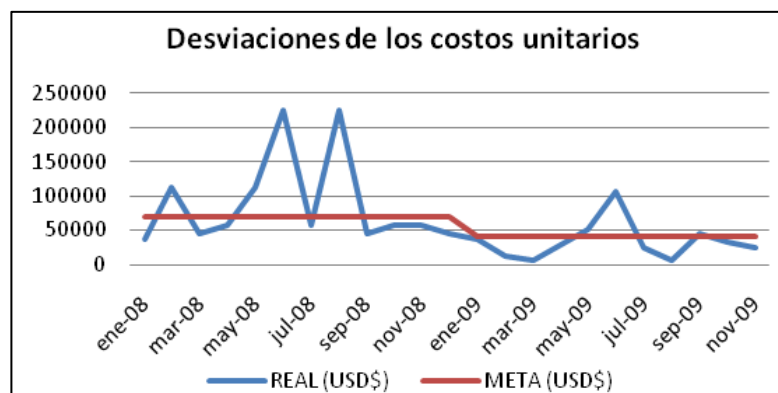
3.2.1 Objetivo General.

- Determinar el efecto de la extracción de mineral en la vida útil de la fortificación de los puntos de extracción del sector Diablo Regimiento, con la finalidad de predecir sus reparaciones por medio de un modelado estocástico y así proponer cambios en el actual sistema de reparaciones que considera actuar en forma reactiva.

3.2.2 Objetivos Específicos.

- Definir las variables que inciden en la vida útil de la fortificación de puntos de extracción mediante un análisis de las fallas.
- Modelar los datos históricos que caractericen el comportamiento de sus variables y su impacto en la vida útil de la fortificación de los puntos de extracción.
- Realizar un análisis de la supervivencia de la fortificación de los puntos de extracción a modo de estimar el momento más probable en que exista la necesidad de reparar los puntos de extracción.
- Analizar la conveniencia económica de modificar la actual estrategia correctiva, gracias a la inferencia de la ocurrencia de fallas en infraestructura.

Figura 3-1: Desviaciones de los costos unitarios de puntos de extracción (referencial)



Fuente: Elaboración propia con datos de tablero de control SPM.

4. MARCO TEÓRICO.

A continuación se mencionan aspectos conceptuales involucrados en el desarrollo del proyecto. Se considerarán conceptos de mantención y técnicas utilizadas para el análisis de las fallas.

4.1 Mantenciones.

4.1.1 Concepto de Mantención.

La Sociedad Uruguaya de Mantenimiento [URUMAN2009], define mantenimiento a “asegurar que todo elemento físico continúe desempeñando las funciones deseadas” poniendo énfasis en lo que se entiende por “función” y “función deseada”:

- Función: Se mantienen funciones, no equipos
- Función deseada: Las funciones están definidas de acuerdo a los objetivos de producción.

En cuanto al contexto de producción minera y de reparación de puntos de extracción, la “función deseada” es que la producción sea continua por lo que ante un eventual bloqueo de sector por realización de obras de reparación, se requieren sectores productivos alternativos para continuar la extracción y así no interrumpir las operaciones.

4.1.2 Finalidad del Mantenimiento.

“Conservar la planta industrial con el equipo, los edificios, los servicios y las instalaciones, en condiciones de cumplir con la función para la cual fueron proyectados con la capacidad y la calidad especificadas, pudiendo ser utilizados en condiciones de seguridad y economía de acuerdo a un nivel de ocupación y a un programa de uso definidos por los requerimientos de Producción” [Cyt2006].

4.1.3 Confiabilidad y Mantenimiento.

Según Roberto Bottini “desde el punto de vista de la ingeniería, la confiabilidad es la probabilidad de que un aparato, dispositivo o persona, desarrolle una determinada función bajo condiciones fijadas durante un período de tiempo determinado” [Bottini2007][1]. En otras palabras, la confiabilidad es la probabilidad de que un sistema no falle y constituye un indicador que es utilizado para la definición de las políticas de mantenimiento y que están enfocadas a actuar antes de que un activo falle.

Ecuación 1: Confiabilidad

Fuente: Ingeniería y Gestión de la Confiabilidad Operacional en Plantas Industriales, Arata (2009)

Donde, $F(t)$ es la función de distribución del tiempo de fallo y $R(t)$ la función de densidad de la confiabilidad o supervivencia.

Además Bottini añade que “el modelamiento de las probabilidades de falla está condicionado a la etapa de vida en que se encuentre el elemento. Con la curva de la bañera es posible modelar el comportamiento en cada una de las tres etapas de la tasa de falla a través de leyes conocidas de probabilidades.” [Bottini2007][2], dichas etapas de vida se grafican en la Figura 4-1.

- Medición de las Fallas

Otro indicador asociado a la confiabilidad que se utiliza para determinar las políticas de reparaciones, es el tiempo promedio de falla (MTTF o MTBF)⁵ interpretado como la vida promedio que una unidad nueva tendrá hasta que falle.

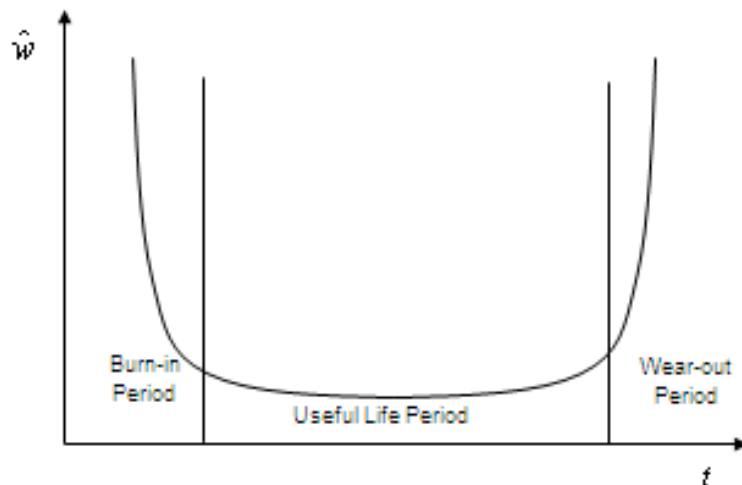
⁵ MTTF: Mean time to failure; MTBF: Mean time between the failure

Ecuación 2: Tiempo medio hasta la falla

Fuente: Ingeniería y Gestión de la Confiabilidad Operacional en Plantas Industriales, Arata (2009)

Donde $f(t)$, es la función de densidad de probabilidad del tiempo hasta la falla (T).

Figura 4-1: Curva de Bañera

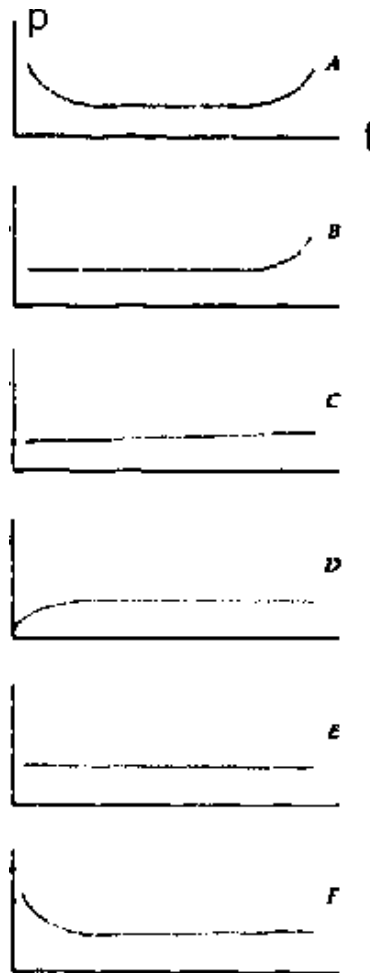


Fuente: Mantenimiento Y Confiabilidad, Bottini (2007).

4.1.4 Patrones de Falla en Función del Tiempo.

Según el artículo publicado en el sitio web “Mantenimiento Planificado” [MP2005] tradicionalmente se relacionaban la probabilidad de falla y el tiempo, considerando el supuesto de que a medida que el equipo es más utilizado, es más probable que falle. Éste afirma que no existen uno o dos patrones de falla, sino que existen seis distintos patrones de falla mostrados en la Figura 4-2.

Figura 4-2: Tipos de falla



Fuente: Mantenimiento y Confiabilidad.

La figura muestra los seis patrones de falla. Cada patrón representa la probabilidad de falla en función del tiempo.

- Un patrón A, donde la falla tiene alta probabilidad de ocurrir al poco tiempo de su puesta en servicio (mortalidad infantil), y al superar una vida útil identificable.
- Patrón B, o “curva de desgaste”.
- Patrón C, donde se ve un continuo incremento en la probabilidad condicional de la falla.

- Patrón D, donde superada una etapa inicial de aumento de la probabilidad de falla, el elemento entra en una zona de probabilidad condicional de falla constante.
- Patrón E, o patrón de falla aleatorio.
- Patrón F, con una alta probabilidad de falla cuando el equipo es nuevo seguido de una probabilidad condicional de falla constante y aleatoria.

4.1.5 Metodologías para Definir Políticas de Mantenimiento.

Según la consultora Andina Group [Andina2009], existen muchos procesos de mantención centrada en la confiabilidad (de siglas RCM en inglés) por lo que la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE) normalizó esta metodología y publicó en 1999 las normas SAEJA1011 y SAEJA1012.

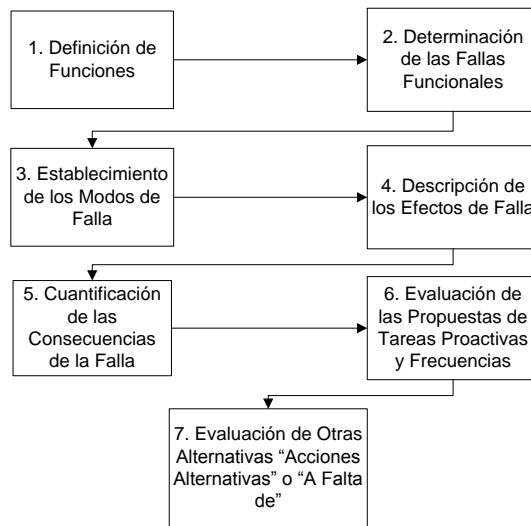
En términos generales el mantenimiento centrado en la confiabilidad es un proceso estructurado que debe de ser capaz de responder a las siguientes interrogantes:

- a) ¿Qué funciones debe de cumplir el activo y cuál es el desempeño que se espera de él en el contexto operacional definido?
- b) ¿De qué manera puede fallar completa o parcialmente la función?
- c) ¿Cuál es la causa origen de la falla original?
- d) ¿Qué sucede cuando ocurre una de las fallas funcionales?
- e) ¿Cuál es la consecuencia de la falla?
- f) ¿Qué se puede hacer para prevenir o predecir la ocurrencia de las fallas funcionales?
- g) ¿Qué se debe hacer si no es posible prevenir o predecir la ocurrencia de la falla funcional?

La Comisión de Integración Energética Regional [Cabrera2009] estructura la manera de responder tales preguntas definiendo la secuencia:

Funciones – Fallas Funcionales – Modos de falla – Efectos de falla – Consecuencias de la falla – Tareas proactivas e intervalos de las tareas – acciones alternativas (ver Figura 4-3).

Figura 4-3: Procedimiento básico de MCR



Fuente: Comisión de Integración Energética Regional.

Además explica cada una de las etapas mencionadas como sigue:

“Como respuesta a la primera pregunta se define el contexto operacional del activo y se identifica todas las funciones del activo o sistema. Al responder la segunda pregunta se identifican las fallas funcionales que son todos los estados de fallas asociados con cada función.

En el tercer paso se identifican los modos de falla que sean la causa razonablemente probable de cada falla funcional.

Como cuarto paso, se identifican los efectos de cada modo de falla, describiendo lo que sucedería si no se realiza ninguna tarea específica para predecir, prevenir o detectar la falla.

Hasta aquí todo este proceso constituye un FMEA (Análisis de los Modos de Falla y Efectos) y no resulta algo nuevo.

Posteriormente los últimos 3 pasos del RCM involucran la selección de la apropiada política de gestión de falla para cada modo de falla.” [Cabrera2009].

4.1.6 Políticas de Mantenimiento.

Adolfo Arata ofrece un resumen de las distintas estrategias de mantenimiento:

“**Correctivas:** comprende la sustitución del elemento por falla. Se clasifica en:

- No planificado: Es el mantenimiento de emergencia (reparación de roturas). Debe efectuarse con urgencia, ya sea por una avería imprevista a reparar lo más pronto posible o por una condición imperativa que hay que satisfacer (problemas de seguridad, de contaminación, etc.)
- Planificado: Es aquel donde se sabe con antelación qué es lo que debe hacerse, de modo que cuando se detenga el equipo para efectuar la reparación, se disponga del personal, repuestos y documentos técnicos necesarios para realizarla correctamente.

Preventivas: Consiste en la sustitución de elementos antes de la falla. Esta política cubre todo el mantenimiento programado que se realiza con el fin de:

- Prevenir fallas. Se conoce como Mantenimiento Preventivo Directo o Periódico (mantenimiento basado en el tiempo), por cuanto sus actividades están controladas por el tiempo. Se basa en la confiabilidad de los equipos (MTBF), sin considerar las peculiaridades de una instalación dada. Por ejemplo, la limpieza, lubricación, recambios programados.
- Detectar las fallas antes que se desarrollen en una rotura u otras interferencias en producción. Está basado en inspecciones, medidas y control de nivel de condición de los equipos. También conocido como mantenimiento basado en condición. A diferencia del mantenimiento

basado en el tiempo, que asume que los equipos e instalaciones siguen cierta clase de comportamiento estadístico, el mantenimiento basado en condición verifica muy de cerca la operación de cada máquina en su entorno real. Sus beneficios son difíciles de cuantificar, ya que no se dispone de métodos tipo para el cálculo de los beneficios o del valor derivado de su aplicación.” [Arata2009].

Aunque las estrategias preventivas o predictivas parecen ser las más convenientes, solamente se debe optar por ellas en caso de que se justifiquen económicamente, estimando el costo global de la intervención que considera la suma del costo de mantenimiento y el costo de ineficiencia (ingresos no percibidos durante la reparación).

5. ESTADO DEL ARTE.

En el presente capítulo se revisan antecedentes de los diseños estructurales de El Teniente, a modo de obtener un mayor conocimiento de su comportamiento.

5.1 Seguridad Estructural y Criterios de Diseño.

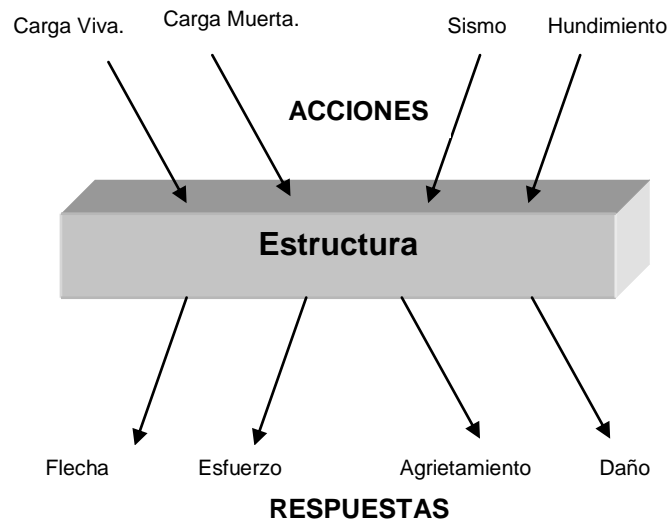
“El objetivo de un sistema estructural es resistir las fuerzas a las que va a estar sometido, sin colapso o mal comportamiento” [Meli1998].

Lo mencionado por Meli es debido a que el proceso de diseño estructural de un proyecto incluye un análisis de los tipos y formas de acciones que afectarán a la estructura y su reacción ante éstas, puesto que deberá resistir para que cumpla su objetivo de vida útil y la seguridad necesaria para operar. Sin embargo, en el caso de la infraestructura minera, es aceptado que la infraestructura tienda a fallar o dañarse luego de los 3 años aproximadamente (ver Figura 5-1).

“Toda excavación subterránea es una estructura extremadamente compleja, donde no siempre el ingeniero tiene los datos necesarios para determinar el diseño de fortificación adecuado. La mayoría de las técnicas o herramientas teóricas sólo le permiten estudiar o simular el comportamiento de una variable en particular, pero no la influencia de varios parámetros simultáneamente como ocurre en la realidad” [Latorre&Contreras1994].

Esto trae consigo que existan diversos criterios de diseños que buscan asegurar la vida útil de la infraestructura minera, entregar una mayor seguridad a los operarios en caso de reparaciones y/o disminuir los tiempos de ciclo de dicho proceso.

Figura 5-1: Acciones y Efectos en las Estructuras



Fuente: Manual de Diseño Estructural, Roberto Meli Piralla.

5.1.1 Criterios de Diseño.

No existen criterios absolutos en la definición de fortificación de un sector, dado que pequeñas diferencias en algunos parámetros de la roca, pueden hacer variar la fortificación a instalar. En general, la fortificación de los sectores productivos considera principalmente el uso en los desarrollos un sistema perno – malla en el caso del nivel de hundimiento y perno – malla – shotcrete, en el caso del nivel de producción.

Las principales funciones que debe cumplir un sistema de soporte son:

- Reforzar el macizo rocoso para fortalecerlo, permitiendo que el macizo rocoso se soporte por sí mismo.
- Retener la roca fracturada en la superficie de la excavación (zona plástica) por razones de seguridad.
- Sostener o adherir fuertemente el elemento(s) de retención del sistema de soporte al fondo de la roca estable y prevenir fractura de roca debido a la gravedad.

Un sistema de soporte incluye una combinación de elementos, cada uno provee una o más de las funciones descritas anteriormente. Algunos elementos actúan en paralelo y disipan la energía de deformación sinérgicamente, mientras otros elementos actúan en serie por transferencia de cargas entre los elementos de soporte (ej. malla a pernos o shotcrete a pernos).

La capacidad del sistema de soporte depende de cómo interactúan los elementos de soporte individual con el macizo rocoso circundante. Por lo tanto las conexiones entre los varios elementos de soporte es otro aspecto importante de considerar en el sistema de fortificación.

En general, los criterios para diseñar un sistema de soporte incluyen las características geotécnicas que presentan los macizos rocosos, además de la concentración de esfuerzos presentes en el sector.

En el diseño del soporte se pueden utilizar algunos de los sistemas de clasificación geotécnica de los macizos rocosos (e.g. RMR_{75} de Bieniawski, RMR_{90} de Laubscher, sistema Q de Barton, etc.), que se basan fundamentalmente de las propiedades mecánicas y/o estructurales de las masas rocosas. También hay que tener presente las experiencias obtenidas en otros sectores dentro de la misma mina o en otras minas con características similares.

Los diseños han cambiado constantemente en El Teniente, gracias a la experiencia de los mismos involucrados en la construcción y reparación o de la observación de diseños de otras minas, sin embargo, sólo consideran variables del macizo rocoso y no de operación como: energía cinética, abrasión, efectos de la reducción secundaria y otros.

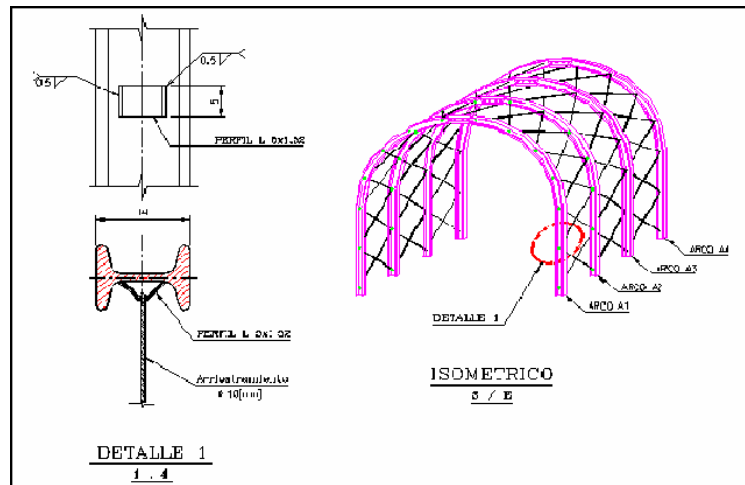
5.1.2 Diseños de Puntos de Extracción.

Los diseños de los puntos de extracción de un sector productivo dependen de las características de la malla de extracción⁶. Los distintos diseños se caracterizan por variar en su cantidad de marcos metálicos, longitud de la visera, longitudes de los cables de acero involucrados y la calidad de hormigón utilizado. A continuación, se detallan los materiales y/o técnicas que son utilizados en las labores de construcción de los puntos de extracción.

- **Marcos Metálicos.**

Los marcos metálicos tienen por objetivo proteger los puntos de extracción de los colapsos o bloqueos que puedan ser ocasionados por los esfuerzos en el macizo rocoso.

Figura 5-2: Marcos Metálicos para Puntos de Extracción



Fuente: Planos de El Teniente, CODELCO.

Los detalles de la instalación de marcos metálicos se encuentran en la Apéndice 6: Procedimiento construcción de marcos.

⁶ Malla de extracción: Conjunto de puntos de extracción de las mismas características de diseño, que en conjunto con otras labores (muros, curvas de alta velocidad, etc.) conforman el nivel de producción.

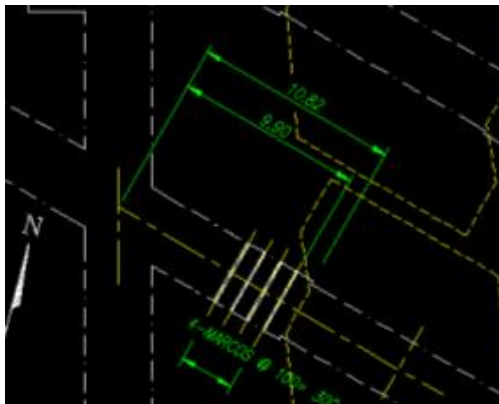
- **Viseras de Puntos de Extracción.**

Las viseras corresponden a roca natural compactada con cables de acero, ubicada entre el primer marco y la batea. La longitud de la visera es aproximadamente de 1 metro (ver Figura 5-3: Distancia entre batea y primer marco de un punto de extracción cuatro marcos (perspectiva aérea)).

En caso de que la visera se dañe, la roca impacta en el primer marco y produciendo daño por socavación, esto trae como consecuencia que las rocas caigan hasta la galería lo que daña las carpetas de rodado.

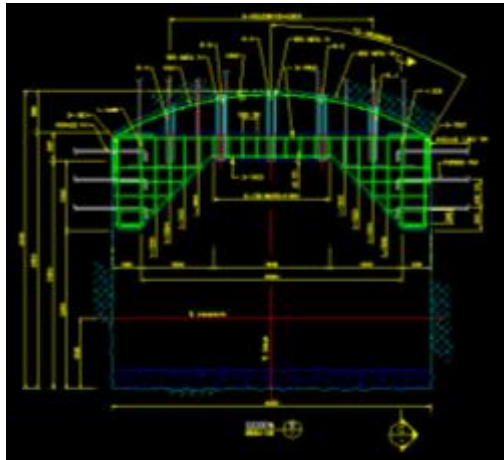
La actividad de reparación de este evento, es la construcción de consolas de hormigón o también llamadas “viseras falsas”, ubicadas en el primer marco. Su función es disminuir el área socavada, a modo de que el flujo de mineral se reduzca y no caiga hasta la galería (ver Figura 5-4: Consola de Hormigón). El diagrama de flujo que representa al proceso se puede observar en el Apéndice 5: Descripción del proceso de reparación a puntos de extracción. Cuando el daño es severo, la reparación consiste en añadir marcos de acero.

Figura 5-3: Distancia entre batea y primer marco de un punto de extracción cuatro marcos (perspectiva aérea)



Fuente: Planos de El Teniente, CODELCO.

Figura 5-4: Consola de Hormigón



Fuente: Planos de El Teniente, CODELCO.

- **Fortificación con Cables de Acero (Piolas).**

La fortificación de labores mineras mediante cables, consiste en el conjunto de los cables de acero de alta resistencia y lechada de cemento en el interior de perforaciones de 35 – 105 mm de diámetro, con el propósito de reforzar excavaciones subterráneas. Siendo su principal campo de aplicabilidad, el control de bloques inestables, tales como: Excavaciones de gran tamaño, puntos de extracción, piques de traspaso, intersección de galerías (ver Figura 5-5).

Una vez instalados en las perforaciones, los cables pueden tensarse por medio de herramientas especiales de perforación. Con la tensión se obtiene mayor estabilidad de la roca al lograr un reforzamiento adicional, disminuyéndose de marca notoria el volumen total de cable a utilizar.

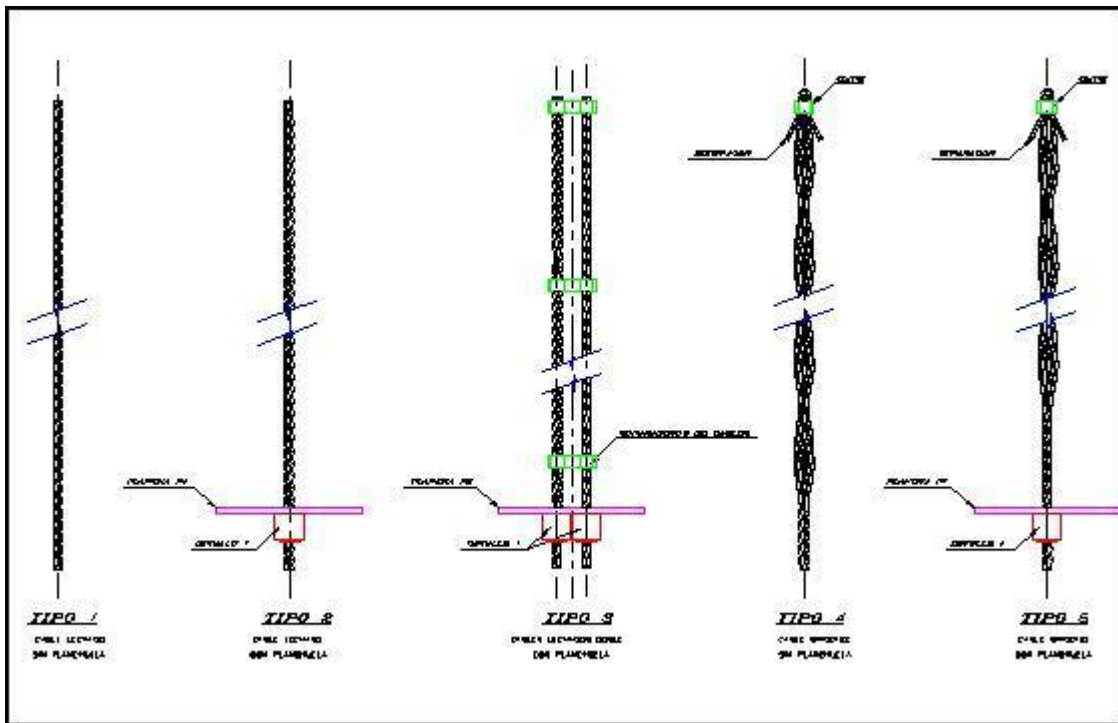
Con cables se puede fortificar grandes volúmenes de roca. Estos son adheridos o grauteados dentro de las perforaciones con una mezcla de cemento y agua (lechada).

En el uso de fortificación con cables, existen una serie de aspectos favorables, algunos de estos son:

- a) Que la longitud del cable no es de importancia, puesto que en túneles estrechos puede instalarse a cualquier longitud desde el carrete.
- b) Tiene una gran capacidad para absorber energía, por lo tanto, su capacidad de soporte aumenta.

Para mejorar su capacidad de reforzamiento, los cables pueden tensarse una vez que han sido anclados. Posteriormente, éstos se cementan en toda su longitud, consiguiéndose un mayor confinamiento y protección a la corrosión. Si no se requiere alta rigidez del cable, no es necesario cementarlos en toda su totalidad.

Figura 5-5: Cables de Acero para Fortificación



Fuente: CODELCO.

5.1.3 Fortificación Utilizada en Puntos de Extracción de Diablo Regimiento.

El diseño de los puntos de extracción tiene las siguientes características:

- 3 Marcos
- Hormigón grado H30;
- Acero estructural calidad A 42-27ES ó ASTM A-36;
- Acero de refuerzo para hormigones calidad A 63-42H;
- 10 pernos lechados para visera;
- 9 pernos lechados para los costados;

5.1.4 Diseños en Puntos de Extracción en Otras Mineras.

- Consolas tipo “Bunker” de hormigón y acero de Mina Grasberg de Indonesia.

La Mina Grasberg aplica un diseño de punto de extracción semejante a las viseras de hormigón ya descritas, pero más costoso. Se aplica un diseño semejante a un “bunker” de hormigón y acero, a modo de que no sea posible su falla o indisponibilidad. Este método ya fue probado en El Teniente y se consideró como mejor opción las viseras descritas anteriormente (ver Figura 5-6).

Figura 5-6: Consolas tipo Bunker.



Fuente: CODELCO.

Según los análisis realizados en la SPM, los costos del bunker son altos, en cuanto a reparación/construcción tiene un mayor tiempo de ciclo (ver Figura 5-7).

Figura 5-7: Comparación Consolas tipo Viseras y Bunker



Fuente: CODELCO.

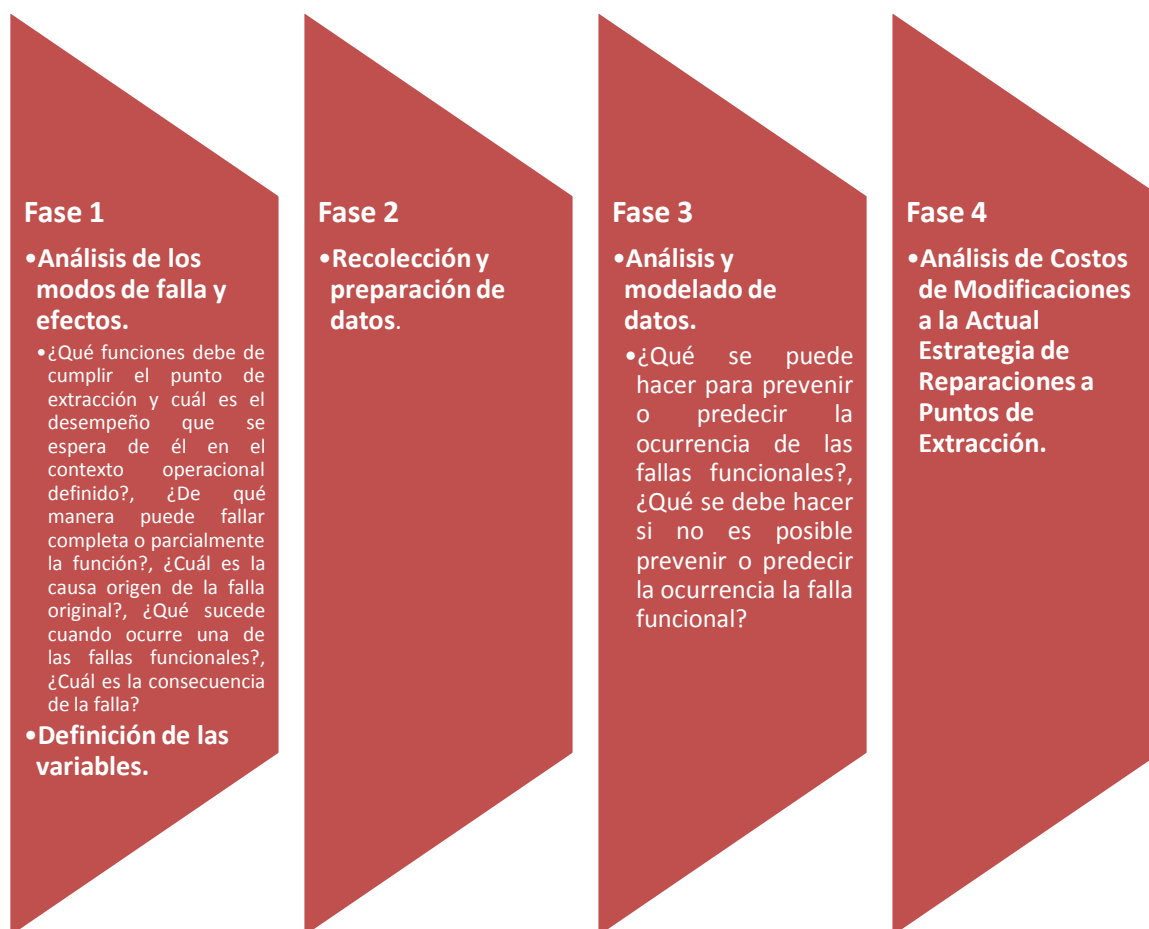
6. METODOLOGÍA Y PROGRAMA DE ACTIVIDADES.

En el presente capítulo, se mencionan las distintas etapas del proyecto con sus correspondientes métodos a utilizar. La forma de proceder en este proyecto es guiada por la metodología de análisis de supervivencia. Siguiendo, se expondrá el programa de actividades requerido.

6.1 Fases y Metodologías a Aplicar en el Proyecto.

El proyecto se lleva a cabo en el sector de Diablo Regimiento, analizando las operaciones extractivas de mineral en 24 puntos de extracción con daños en el primer marco. Se identifican cuatro grandes fases:

Figura 6-1: Resumen metodología a seguir



Fuente: Elaboración propia.

6.1.1 Fase 1: Comprensión de las Variables que Inciden en el Deterioro de los Puntos de Extracción.

- **Etapas 1: Análisis de los Modos de Falla y Efectos.**

El desarrollo de esta fase tiene por objetivo contestar las preguntas:

- a) ¿Qué funciones debe de cumplir el punto de extracción y cuál es el desempeño que se espera de él en el contexto operacional definido?
- b) ¿De qué manera puede fallar completa o parcialmente la función?
- c) ¿Cuál es la causa origen de la falla original?
- d) ¿Qué sucede cuando ocurre una de las fallas funcionales?
- e) ¿Cuál es la consecuencia de la falla?

En esta fase se utilizará el método de Árbol de Fallas, a modo de comprender las causas de las fallas identificadas en visita a terreno a los puntos de extracción.

- **Etapas 2: Definición de las Variables en Estudio.**

Esta fase tiene por objeto definir las variables o indicadores disponibles que permitan estudiar los factores que inciden en el problema. Los factores son: fragmentación, uso de explosivos, abrasión, comportamiento estructural y energía cinética.

6.1.2 Fase 2: Recolección y Preparación de Datos.

El entendimiento de las variables mencionadas en la primera fase, conduce a la recolección de la información histórica de los puntos de extracción, con el objeto de comprender el comportamiento de las variables en función de su tonelaje acumulado extraído, que representa el uso del punto de extracción.

Para llevar a cabo esta etapa, se cuenta con información de reparaciones desde el año 2007, proveniente de los programas anuales de la SPM y Superintendencia Mina Sur, específicamente Diablo Regimiento, que tiene información de la extracción en la base de datos CPM98 y Libros de Novedades.

6.1.3 Fase 3: Análisis y Modelado de Datos.

En esta etapa se analizan y modelan los datos con el propósito de responder las siguientes preguntas:

- h) ¿Qué se puede hacer para prevenir o predecir la ocurrencia de las fallas funcionales?
- i) ¿Qué se debe hacer si no es posible prevenir o predecir la ocurrencia la falla funcional?

Se utilizan distintos métodos de análisis de datos como diagramas de dispersión, distribuciones de frecuencia, entre otros; aplicándolos a los datos recolectados a modo de establecer relaciones entre variables y estudiar comportamientos, dependencias o asociaciones entre las variables para que, finalmente, se evalúe la posibilidad de predecir las reparaciones.

Se decide utilizar software de análisis estadístico Minitab 15, para estudio de ajustes de bondad y análisis de supervivencia, también se utilizan herramientas para analizar base de datos como Microsoft Excel y Access.

6.1.4 Fase 4: Análisis de Costos de Modificaciones a la Actual Estrategia de Reparaciones de Puntos de Extracción.

Según las conclusiones de la fase anterior, se adaptará la capacidad de predicción de reparaciones al contexto de producción, a modo de minimizar los costos y facilitar la programación de obras.

6.2 Programa de Actividades.

El programa de actividades se presenta en la Tabla 6-1. La carta Gantt se puede observar en el Anexo 1.

Tabla 6-1: Programa de actividades

Id	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin
1	Proyecto	161 días	lun 15/03/10	lun 25/10/10
2	Comprensión de las variables	57 días	lun 15/03/10	mar 01/06/10
3	Análisis de los Modos de Falla y Efectos	56 días	lun 15/03/10	lun 31/05/10
4	Definición de variables en estudio	1 día	mar 01/06/10	mar 01/06/10
5	Recolección y preparación de datos	66 días	mié 02/06/10	mié 01/09/10
6	Análisis y Modelado de datos	11 días	jue 02/09/10	jue 16/09/10
7	Análisis de costos	9 días	lun 20/09/10	jue 30/09/10
8	Preparación de informe final	15 días	mar 05/10/10	lun 25/10/10

Fuente: Elaboración propia.

7. ANALISIS DE LOS MODOS DE FALLA Y EFECTOS.

7.1 Contexto Operacional: Antecedentes de Diablo Regimiento.

7.1.1 Características de la Litología Presente en el Sector.

La unidad litológica reconocida en el área de estudio, corresponde al Complejo Máfico El Teniente (CMET). Estas rocas corresponden a las ex-Andesitas y prácticamente cubren el 100% del área. Dicho tipo de roca se presenta de color blanca en el plano de Diablo Regimiento (ver Figura 7-1 y Figura 7-2).

En aspectos generales, el macizo rocoso primario de Mina El Teniente, se caracteriza por ser dura y, por ende, escasamente fracturado (masivo), impermeable y por presentar un enrejado de vetillas selladas con rellenos mineralógicos de distintas durezas.

7.1.2 Características de Explotación y Diseño Minero del Sector.

El método de explotación para el proyecto Diablo Regimiento, es el Panel Caving, implementado en su modalidad de Hundimiento Avanzado.

El método de explotación se ha definido con cuatro niveles principales:

- **Nivel de Hundimiento:** Ubicado en la cota 2.210 m.s.n.m.⁷, a 20 metros por encima del nivel de producción, con galerías de 4,0 metros x 4,0 metros de sección, separadas cada 17 metros en el sector central, con orientación N-S, en cambio en el sector Este o FW las calles se encuentran separadas cada 18 metros y con orientación E-W. Para los

⁷ M.s.n.m.: Metros sobre el nivel del mar.

sectores con hundimiento convencional se tienen calles con orientación N-S, separadas entre sí a 34 metros; aquí la socavación es de tiros Paralelos de 4" de diámetro de baja altura y tiros radiales de 3".

- **Nivel de Producción:** El mineral quebrado es extraído por este nivel, ubicado en la cota 2.190 msnm, 20 metros bajo el nivel de hundimiento y se compone de calles principales o de producción, orientadas con rumbo N-S, interceptadas por calles de zanjas orientadas con rumbo N60°E. En este nivel se desarrollan las actividades de extracción del mineral socavado en el nivel de hundimiento, para posteriormente ser transportado hacia las respectivas plantas de chancado ubicadas en este mismo nivel. También se realizan actividades de muestreo en puntos de extracción, reducción secundaria de colpas y descuelgue de puntos de extracción colgados. Este nivel presenta una malla de extracción de 34 x 20 y para el manejo de materiales en el nivel de producción se utilizan equipos LHD de 13 yardas cubicas.
- **Nivel de Chancado y Acarreo:** En estas plantas de chancado se inicia el proceso de elaboración del producto. Este primer paso, corresponde al chancado primario, que permitirá obtener un mineral de 8", el que será traspasado al nivel de acarreo mediante un circuito de correas transportadoras que descarga el mineral a los OP-20 y OP-21, hacia el nivel Teniente 8.
- **Niveles de Ventilación y Drenaje:** En estos niveles o subniveles, se realiza la circulación de aire requerida para la explotación. El aire fresco ingresa a través del nivel de inyección desde la superficie hacia los distintos sectores del Diablo Regimiento. Por su parte, el aire viciado es extraído a través del nivel de extracción, apoyado por ventiladores extractores ubicados en el Adit 72. El nivel de ventilación inyección se ubica en la cota media 2.177 m.s.n.m, y el nivel de ventilación extracción, que simultáneamente cumple funciones de drenaje, en la cota media de 2.157 m.s.n.m. La ventilación principal, está constituida por un conjunto de

túneles y chimeneas, permiten la circulación de los volúmenes de aire que deben ser conducidos desde una galería de inyección principal que estará conectada al Adit 41, hacia una galería de extracción principal, conectada al Adit 72.

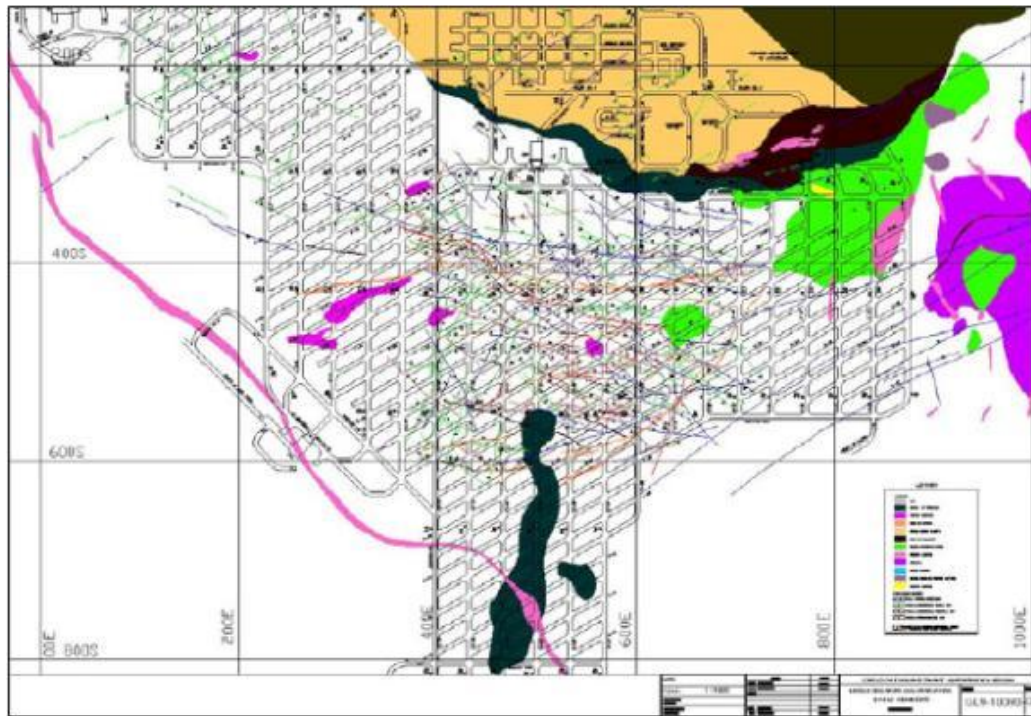
A continuación se presenta la Tabla 7-1 con el resumen de la información general del diseño del sector.

Tabla 7-1: Antecedentes generales de Diablo Regimiento

Malla de Extracción	m ²	600
Distancia entre Puntos de Extracción	m	20
Distancia entre Calles	m	34
Nivel de Producción RL	m.s.n.m	2190
Nivel de Socavación RL	m.s.n.m	2210
Nivel de Correas	m.s.n.m	2165
Sub Nivel Extracción y Drenaje	m.s.n.m	2155
Nivel de Ventilación RL	m.s.n.m	2177
Altura de Socavación	m	4.0
Diámetro de Perforación	pulg	2.5"
Abertura de Parrilla en Piques de Traspaso	pulg x pulg	70 x 70
Abertura del Chancador	Pulg x pulg	84 x 66
Galerías de Producción Xc	m	4.0 x 4.0
Bateas de Producción	m	4.0 x 4.0
UCD	m	4.0 x 4.0
Galerías de Ventilación Xc	m	4.5 x 4.0
Galerías de Traspaso Xc	m	4.5 x 4.0
Chimeneas de Ventilación	m	Diam = 1.5

Fuente: Estudio de Sistemas de Traspaso del Mineral, CODELCO.

Figura 7-1: Nivel de Producción Diablo Regimiento



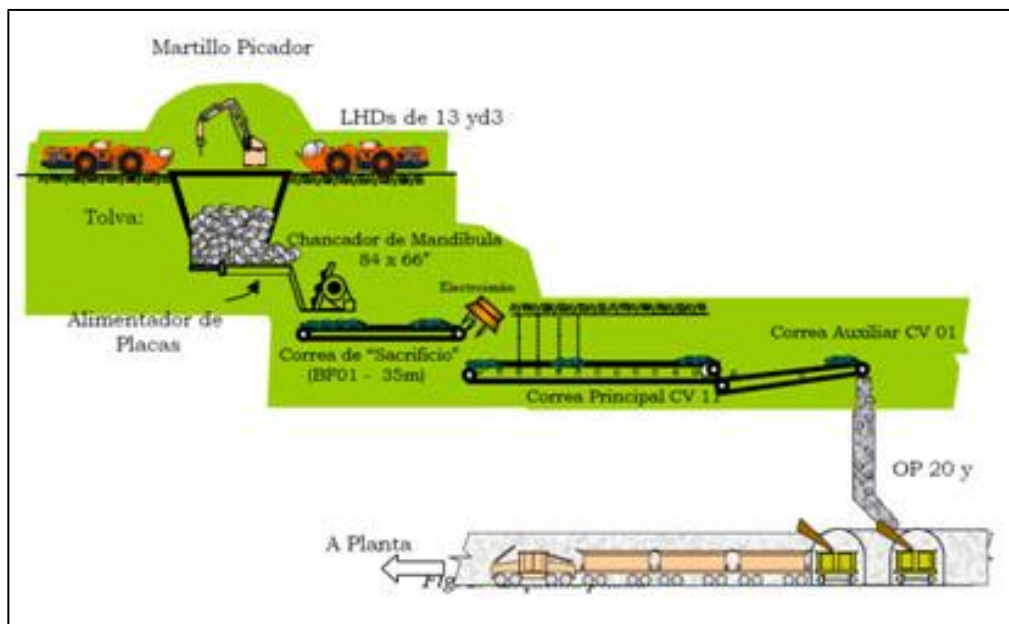
Fuente: Planos de El Teniente, CODELCO.

Figura 7-2: Nivel de Hundimiento Diablo Regimiento



Fuente: Planos de El Teniente, CODELCO.

Figura 7-3: Diablo Regimiento.



Fuente: Estudio de Sistemas de Traspaso del Mineral, CODELCO.

Dado que existe el mismo tipo de roca en todo el sector productivo de Diablo Regimiento, los indicadores utilizados en la definición de la fortificación no varían (ver Tabla 7-2). Además, las propiedades geotécnicas homogenizan las características de las rocas extraídas por lo que su fragmentación debiese tener un comportamiento similar.

Tabla 7-2: Sistemas de clasificación geoténica, Diablo Regimiento

Unidad Geotécnica	RMR _{Laubscher} 1990	IRMR _{Laubscher & Jakubec}	RMR _{Bieniawski}	Q _{Barton et al.1974}	GSI _{Hoek 1994}
CMET	55-58	53-54	68-70	7.2	70-85

Fuente: Codelco.

7.2 Función Deseada de los Puntos de Extracción.

Los puntos de extracción tienen por objeto permitir la completa extracción de la columna de mineral (de 250 metros de altura ubicada sobre cada cavidad) estimada por la GRMD (ver Figura 7-4).

Figura 7-4: Punto de extracción



Fuente: CODELCO.

7.3 Fallas Funcionales o Estados de Falla.

Los daños en los puntos de extracción impiden que la operación continúe. Éstos tienen distintas formas:

- **Convergencia geotécnica:** Deformación progresiva del punto, generalmente evidenciada en un achatamiento de la abertura o culminando en un colapso galerías completas.
- **Daño en primer marco:** Depende del rendimiento de la visera y es producto del impacto de las rocas.

7.4 Modos de Falla, Efectos de Falla y Definición de las Variables en Estudio.

Un modo de falla es una posible causa por la cual un activo puede llegar a un estado de falla. A continuación se realiza un árbol de fallas con los factores que influyen en el problema y sus correspondientes variables disponibles para el estudio de su comportamiento. Además, se describen y se mencionan los efectos de falla asociados (ver Figura 7-5).

Según el análisis del árbol de fallas, se distinguen dos tipos de fallas que se caracterizan por ser provocadas por dos factores: estado tensional y desgaste en visera. Las viseras son el componente crítico que determina el rendimiento de los puntos de extracción ya que su desgaste o deterioro expone a daños en toda la fortificación producto del impacto directo de las rocas con el primer marco. Dicho tipos de falla se evidencian en la Figura 7-6 y la Figura 7-7.

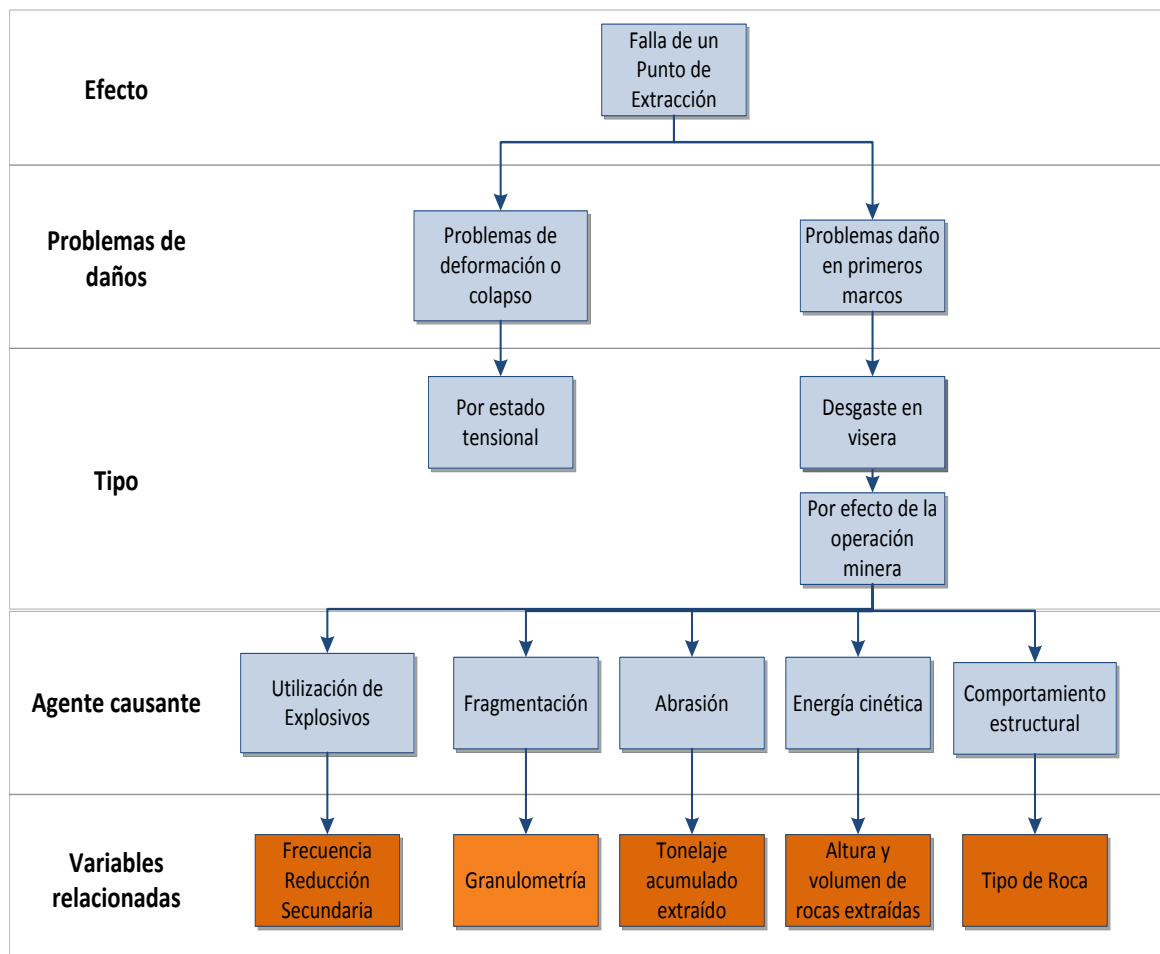
Las variables relacionadas con las fallas por desgaste de visera son:

- **Frecuencia de Reducción Secundaria:** Contempla la cantidad de operaciones de perforación y tronadura, de colpas de gran tamaño, en la boca de los puntos de extracción. Su ejecución se vincula al daño en visera producto de la onda expansiva que generan las detonaciones.
- **Granulometría:** Representa las dimensiones de las rocas extraídas desde los puntos de extracción. Es un indicador de fragmentación y se relaciona con la necesidad de reducción secundaria, aplicada a los volones ya que éstos deben caber en los piques de traspaso, que tienen una dimensión de 4x4 metros, además, las rocas de grandes magnitudes se aglutinan contra la visera formando un arco natural que requieren explosivos para continuar con las labores de extracción.
- **Tonelaje Acumulado Extraído:** El tonelaje extraído hasta las reparaciones es el parámetro de uso de los puntos de extracción, por lo que representará el desgaste existente en la visera. Cabe destacar que éste suele ser del mismo tipo de roca CMET primario, es decir, la roca más dura que puede ser extraída.
- **Tipo de Roca:** Relacionada con la fortificación utilizada, calidad de la roca y los métodos de construcción aplicados.



Las calidades de fortificación y métodos de construcción en los puntos de extracción, cuentan con certificaciones e inspecciones que garantizan el correcto desarrollo de las construcciones. No obstante, los desempeños de estas estructuras están condicionados a la calidad de roca presente en el sector, por lo que debe distinguirse entre los tipos de roca presentes en el sector.

- **Altura y Volumen de la Roca Extraída:** Estas variables inciden en la energía cinética que absorbe la visera.

Figura 7-5: Árbol de fallas en puntos de extracción.



Fuente: Elaboración propia.

<p>Figura 7-6: Daño por deformación.</p>	<p>Figura 7-7: Daño en Primer marco.</p>
	
<p>Fuente: CODELCO.</p>	<p>Fuente: CODELCO.</p>

7.5 Consecuencias de las Fallas.

7.5.1 Consecuencias de Seguridad.

En el caso de falla por convergencia geotécnica, la seguridad de los operarios se ve afectada, ya que los puntos de extracción y, a veces, la calle completa; colapsan inesperadamente, esto trae accidentes y/o cuasi-accidentes.

Con respecto a las fallas por daño en primer marco, las rocas que descenden, caen hasta la galería, lo que arriesga a los operarios de palas LHD. Esto, producto de que la infraestructura ya no está capacitada para retener los volones que se presentan.

En ambos casos, la ocurrencia de fallas, y también, en un contexto de funcionamiento normal, se hacen presentes enfermedades como la silicosis, sordera, lesiones traumáticas y lesiones musculares como la tendinitis.

7.5.2 Consecuencias Operacionales.

Las fallas impiden que continúe la operación por lo que se requiere reparar. En el caso de convergencia geotécnica o colapsos, el tiempo estimado de reparaciones de una galería completa es de 2 meses o más; ya que implica levante de cerro y fortificaciones costosas. Para las reparaciones asociadas a las fallas de primer marco, tienen un tiempo de ciclos de 12 días y los métodos de reconstrucción consisten en consolas de hormigón y la construcción de bóvedas con costos que ascienden los 55.680 y 89.938 dólares respectivamente.

Cuando Producción no tiene áreas disponibles para continuar sus operaciones, los ingresos no percibidos por día son aproximadamente 7.621.270 USD por punto de extracción. Este costo reduce el beneficio económico y, por ende, influye directamente en la rentabilidad del negocio.

7.5.3 Consecuencia Medio Ambiente.

Las consecuencias medio ambientales son:

- Generación de rises.
- Alteración superficial causada por las caídas de colpas en los caminos de acceso como hoyos, fosas y preparación del lugar.
- Polvo por extracción y proveniente del tráfico, perforaciones y desbroce del sitio.
- Contaminación acústica producida por los equipos y la operación.
- Alteración del suelo por los drenajes, la descarga de agua contaminada (nitrato o metales).
- Vibraciones, obstáculos visuales, entre otros.

7.5.4 Consecuencias no Operacionales.

La indisponibilidad de los puntos de extracción producto del bloqueo del área por la necesidad de realizar las reparaciones, trae consigo prácticas inadecuadas por parte de los operarios de producción que buscan cumplir con

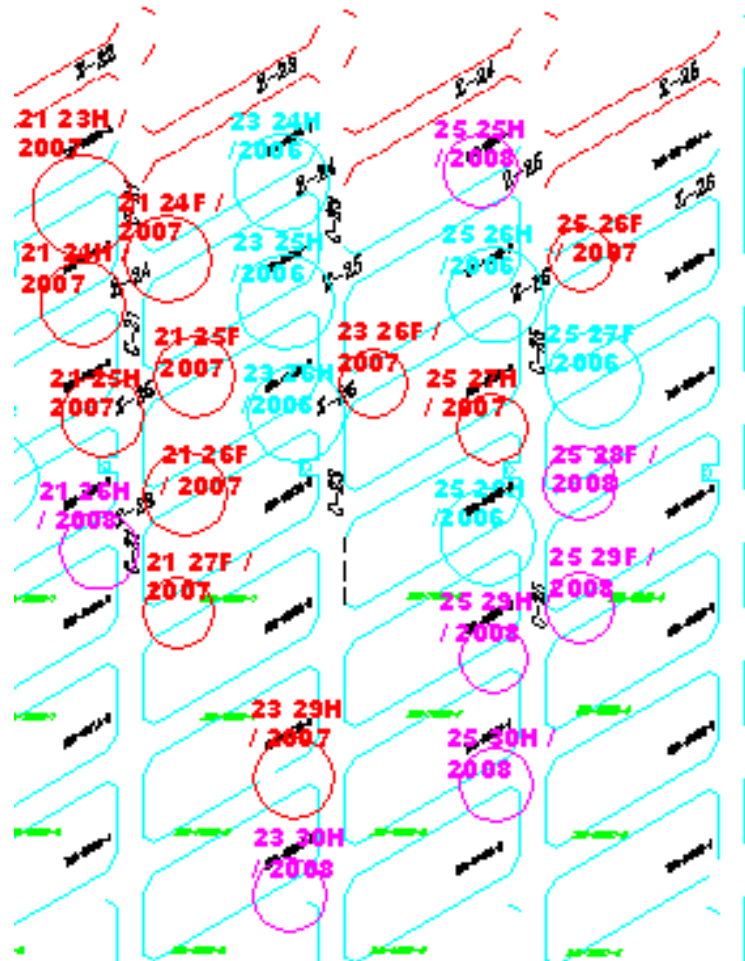
sus metas productivas. Los operarios extraen, de los puntos de extracción restantes, mayor tonelaje del que corresponde lo que trae como consecuencia problemas geomecánicos que se evidencian en daños de los pilares y, en ocasiones, colapsos.

8. RECOLECCIÓN Y PREPARACIÓN DE DATOS.

8.1 Selección de Muestra.

La muestra analizada está compuesta por 24 puntos de extracción, dañados por desgaste cuya información fue obtenida de los registros de la Superintendencia de Ingeniería de Minas y están ubicados en el sector de Diablo Regimiento. Éstos tienen una altura de columna mineralizada promedio de 250 metros equivalente a 230.000 toneladas de mineral extraíble.

Figura 8-1: Ubicación de los puntos de extracción en plano de Diablo Regimiento



Fuente: Elaboración propia.

8.2 Características de la Vida Útil de los Puntos de Extracción.

8.2.1 Registros Disponibles.

La información de la vida útil de los puntos de extracción está registrada en la base de datos de producción llamada CPM98. Dicha base de datos tiene información en tablas del sector productivo (SP), punto de extracción (PE), fecha de extracción, turno de extracción, tipo de granulometría, información de las características del mineral, tonelaje extraído por turno y a la fecha, altura extraída y estado de los puntos.

Tabla 8-1: Presentación de la granulometría.

Sector productivo	Punto de extracción	Fecha	Turno	Granulometría	Porcentaje
DR ⁸	19 23F ⁹	07-09-2005 00:00:00	A	A	5
DR	19 23F	07-09-2005 00:00:00	A	B	45
DR	19 23F	07-09-2005 00:00:00	A	C	15
DR	19 23F	07-09-2005 00:00:00	A	D	20
DR	19 23F	07-09-2005 00:00:00	A	E	15

Fuente: CPM98

Tabla 8-2: Presentación de datos de la extracción (tiraje por turno) ¹⁰

sp	pe	tur ext	tont urno	Leyasitur	tonex dfec	porce xt	leyexdfec	porccump	alte xtr	estado	leyas	leycuns	Leymo
DR	21 23H	A	130	0,773	228	0,1	0,829	234	0	OPERATIVO	101	0	0,02
DR	21 23H	A	130	0,773	358	0,15	0,839	187,2	0	OPERATIVO	101	0	0,02
DR	21 23H	A	130	0,773	488	0,21	0,844	175,5	1	OPERATIVO	101	0	0,02

Fuente: CPM98

⁸ DR: Diablo Regimiento.

⁹ Notación de ubicación de los puntos de extracción: 19 23F ó H: 19 (calle) 23(zanja) F (patilla) o H (cabeza).

¹⁰ Sp: Sector productivo; pe: Punto de extracción; Turext: Turno extraído; Leyasitur: Ley asignada al turno; Tonexdfec: Tonelaje extraído a la fecha; Porcext: Porcentaje de extracción, se calcula en base a la reserva; Leyexdfec: Ley extraída a la fecha; Porccump: Porcentaje por cumplir; Altextr: Altura extraída, se refiere al tonelaje extraído medido en altura. Altura de la reserva de columna; estado: Estado del punto de extracción; Leyas: Ley de Arsénico; Leycuns: Ley de Cobre no Sulfuro; Leymo: Ley de Molibdeno.

8.2.2 Fragmentación.

La variable en estudio que determina la fragmentación de la roca es la granulometría, la cual es determinada según los análisis fotográficos en que se calcula la proporción de rocas existentes en distintas etapas de vida del punto de extracción. El código granulométrico está definido de la siguiente forma.

Tabla 8-3: Código de granulometría

Código de granulometría	Tamaño
A	Menor que 5 cm.
B	Mayor que 5 cm y menor que 27.5 cm.
C	Mayor que 27.5 y menor que 125 cm.
D	Mayor que 125 cm y menor que 175 cm.
E	Mayor que 175 cm.

Fuente: CPM98

Para ser analizada dicha variable, es necesario combinar la información de tonelaje extraído con la fecha más próxima de los registros de granulometría, se puede entender su evolución. Además, se agrupan la granulometría A y B en granulometría fina y C, D y E en granulometría gruesa a modo de simplificar la interpretación de la información.

Tabla 8-4 : Construcción de tabla para análisis de granulometría

Grupo de porcentaje de extracción	Punto de extracción	Fecha	Porcentaje de extracción	Fina %	Gruesa %
0 -10	21 23H	02-01-2006 00:00:00	4,12	45	55
0 -10	21 23H	07-09-2005 00:00:00	1,1	80	20
0 -10	21 23H	12-04-2006 00:00:00	7,2	15	85
0 -10	21 23H	27-03-2006 00:00:00	6,53	20	80
0 -10	21 23H	27-04-2006 00:00:00	7,49	35	65
0 -20	21 23H	02-08-2006 00:00:00	11,17	30	70
0 -20	21 23H	25-10-2006 00:00:00	17,05	45	55
0 -20	21 23H	29-08-2006 00:00:00	12,31	20	80
0 -20	21 23H	29-09-2006 00:00:00	15,24	40	60
0 -30	21 23H	01-12-2006 00:00:00	21,91	50	50

Fuente: Elaboración propia.

8.2.3 Uso de los Explosivos.

Con respecto al uso de explosivos, no existe información digitalizada, por lo que es necesario recurrir a los libros de novedades de la producción en Diablo Regimiento.

La información es tabulada en planillas Excel por mes y es combinada con información de tiraje (como se hizo en la fragmentación). Las variables a relacionar son: el porcentaje de extracción (por rangos) y la altura de mineral extraído, con el número de reducciones secundarias realizadas.

Tabla 8-5: Registros de reducción secundaria

Rango Porcentaje de extracción	Punto de extracción	Altura extraída (m)	# Red. Sec.
0 a 10	19 23F	23,74193548	12
0 a 10	23 30H	23,56756757	13
0 a 10	25 30H	23,53333333	10
0 a 10	27 27F	0	2
0 a 10	27 27H	25,39534884	16
0 a 10	27 30H	22,8	5
0 a 10	27 31H	22,73684211	30
0 a 10	27 32H	22,7962963	11
0 a 10	29 29H	23,20512821	90
0 a 10	29 31H	21,47727273	46
11 a 20	19 23F	50,02985075	17
11 a 20	19 27F	42,36206897	0
11 a 20	21 23H	48,9	0

Fuente: Elaboración propia desde los libros de novedades y CPM98.

8.2.4 Abrasión.

De la misma base de datos mencionada (CPM98), se puede estimar el tonelaje acumulado extraído, cuya información disponible puede ser medida en altura extraída, toneladas acumuladas extraídas, porcentaje extraído. Los tres

parámetros están relacionados entre sí ya que son distintas formas de entender la extracción de mineral.

8.2.5 Energía Cinética.

Para estimar la energía cinética, es necesario combinar la información de las tablas ya mencionadas, y asumir supuestos válidos que permitan calcular la masa. El supuesto es utilizar la granulometría dominante al momento de reparación convirtiéndolo en una esfera y calcular la velocidad con formulas físicas de caída libre.

En este aspecto, se requiere combinar la información de la base de datos de las reparaciones de la SPM (mes de reparación, punto de extracción y ubicación) y el sistema CPM98 (granulometría de las rocas).

En síntesis, se construye la siguiente tabla.

Tabla 8-6: Construcción de datos para calculo energía cinética

PE	Gr dominante	Gr prom	Gr metros	Altura	VF	Vol. esfera	Masa (tons)	E. Cinética (J)
19 23F	Gruesa	125	1,25	2	6,26	1,02	3375	66150
19 25F	Iguals	70	0,7	3	7,67	0,18	1890	55566
21 23H	Iguals	70	0,7	4	8,85	0,18	1890	74088
21 24F	Fina	17	0,17	1	4,43	0,00	459	4498,2
21 24H	Fina	17	0,17	2	6,26	0,00	459	8996,4
21 25F	fina	17	0,17	2	6,26	0,00	459	8996,4
21 25H	gruesa	125	1,25	2	6,26	1,02	3375	66150
21 27F	gruesa	125	1,25	1	4,43	1,02	3375	33075
23 24H	Fina	17	0,17	3	7,67	0,00	459	13494,6
23 25H	Iguals	70	0,7	1	4,43	0,18	1890	18522
23 26F	gruesa	125	1,25	4	8,85	1,02	3375	132300
23 26H	gruesa	125	1,25	2	6,26	1,02	3375	66150
23 29H	fina	17	0,17	2	6,26	0,00	459	8996,4
23 30H	fina	17	0,17	4	8,85	0,00	459	17992,8
25 25H	fina	17	0,17	4	8,85	0,00	459	17992,8
25 26F	gruesa	125	1,25	4	8,85	1,02	3375	132300
25 26H	fina	17	0,17	1	4,43	0,00	459	4498,2
25 27F	iguales	70	0,7	2	6,26	0,18	1890	37044
25 27H	fina	17	0,17	1	4,43	0,00	459	4498,2
25 28F	gruesa	125	1,25	4	8,85	1,02	3375	132300
25 28H	gruesa	125	1,25	2	6,26	1,02	3375	66150
25 29F	fina	17	0,17	4	8,85	0,00	459	17992,8
25 29H	gruesa	125	1,25	4	8,85	1,02	3375	132300
25 30H	gruesa	125	1,25	3	7,67	1,02	3375	99225

Fuente: Elaboración propia.

8.2.6 Comportamiento Estructural.

Para el comportamiento estructural, se considera el tipo de roca extraída, que es obtenido desde CPM98 (ver Tabla 8-7) y el tipo de roca del área circundante al punto de extracción. Esta última información se encuentra en los planos de la Superintendencia de Ingeniería Mina (SIM) (ver Figura 8-2).

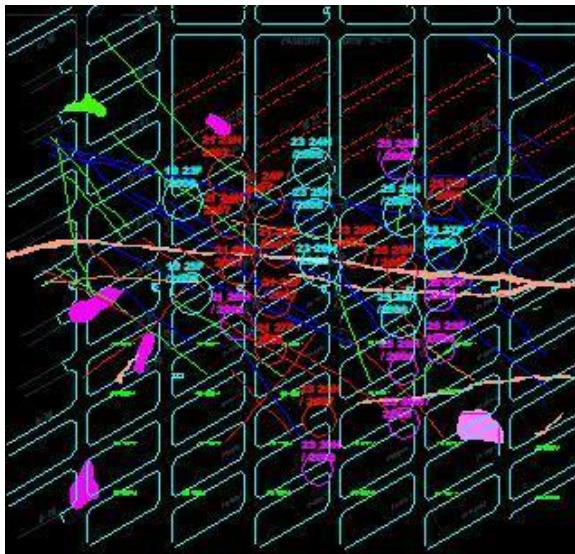
En ambos casos, el prevalece roca de tipo CMET (fondo negro en plano y código de tipo de roca 1001 en tabla) como se mencionó en el marco teórico.

Tabla 8-7: Presentación tablas de tipo roca extraída

Sector productivo	Punto de extracción	Fecha	Turno	Tipo de roca ¹¹
DR	19 23F	07-09-2005 00:00:00	A	1001
DR	19 23F	20-10-2005 00:00:00	A	1001
DR	19 23F	02-01-2006 00:00:00	A	1001
DR	19 23F	27-03-2006 00:00:00	A	1001

Fuente: CPM98

Figura 8-2: Presentación en plano tipo de roca¹²



Fuente: CODELCO (SIM).

¹¹ Identificadas por código. 1001 corresponde a roca de tipo CMET.

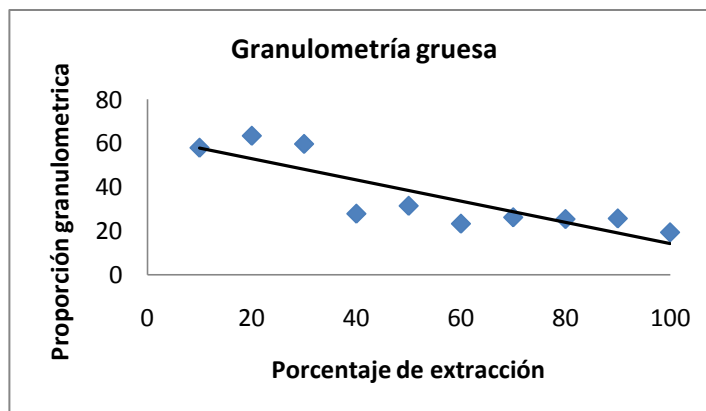
¹² Las manchas verdes y violetas que resaltan del fondo negro, corresponden a variaciones en los tipos de roca.

9. ANÁLISIS Y MODELADO DE DATOS.

9.1.1 Fragmentación.

La fragmentación representada con granulometría gruesa de las rocas provenientes de los puntos de extracción en estudio, demuestra que dicha variable es inversamente proporcional al porcentaje de mineral extraído, es decir, que en el comienzo de la extracción las rocas son de mayor tamaño y que a medida que aumenta el tonelaje extraído del punto se hacen presentes rocas más finas.

Figura 9-1: Evolución de la granulometría



Fuente: Elaboración propia.

Esta relación puede ser considerada como correcta al comprender que las rocas al caer desde mayor altura se golpean entre ellas mismas, y con las murallas cuyo impacto y roce provocan mayor fragmentación que las más cercanas a la boca del punto de extracción.

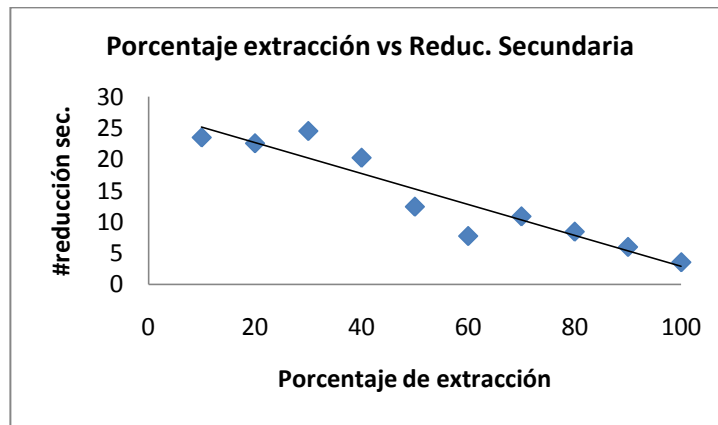
9.1.2 Utilización de Explosivos.

El análisis de las actividades de reducción secundaria, indica que su frecuencia va disminuyendo a medida que se extrae el mineral de los puntos de extracción. Esto supone que la reducción secundaria está también relacionada con la granulometría existente de la roca.

Como se mencionó en el apartado anterior, las rocas de mayor tamaño se encuentran al comienzo de la extracción, por lo que los puntos tienden a colgarse con mayor frecuencia en esta etapa.

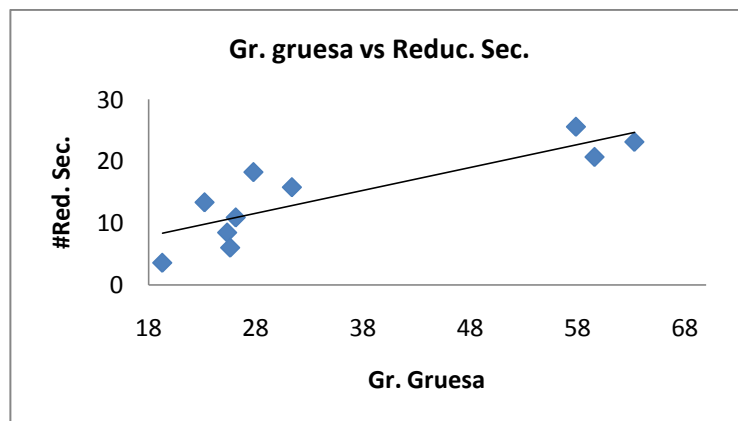
La relación entre la granulometría gruesa y la reducción secundaria puede observarse en la Figura 9-3: Relación entre la granulometría gruesa y la reducción secundaria

Figura 9-2: Evolución de la reducción secundaria



Fuente: Elaboración propia.

Figura 9-3: Relación entre la granulometría gruesa y la reducción secundaria



Fuente: Elaboración propia.

9.1.3 Energía Cinética.

La información requerida para las colgaduras no está disponible debido a que no se ha llevado un registro periódico.

Sin embargo, un estudio realizado por el IM2 [IM22006], concluye que la altura de las colgaduras está en función de la fragmentación y define un sistema de medición como se muestra en la Tabla 9-1.

Tabla 9-1: Índices de fragmentación

Fragmentación Fina y Media	Descripción
6	Largado
5	Material con Reducción Secundaria
4	Bloqueado con Bolones en piso
Fragmentación Gruesa	
3	Colgado a 1 Coligüe (3 a 3.2m encadenamiento de rocas). (C1)
2	Colgado a 2 coligües (6 a 6.4m encadenamiento de rocas de mayor tamaño).(C2)
1	Colgado a 3 coligües (9 a 9.6m. encadenamiento de rocas grandes).

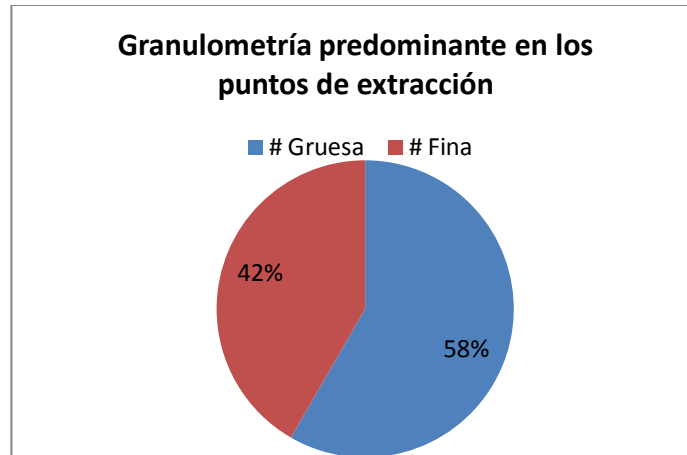
Fuente: Evaluación de la Fragmentación en Mina Diablo Regimiento, IM2-CODELCO (2006)

Para llevar a cabo un estimativo, se identifican las rocas con su granulometría predominante y, en caso de que ésta sea gruesa, se calculan las distintas alturas en las que se podrían colgar los puntos.

El cálculo de la energía cinética indica que cuando se está en presencia de rocas con granulometría gruesa, la visera puede absorber desde 99.225 hasta 214.987 Joules dependiendo de las alturas desde las que esté colgado el punto.

En el caso de la muestra analizada, se puede observar que la mayoría de los puntos de extracción (58%) considera la existencia de rocas de granulometría gruesa en el instante en que se intervino el sector para reparar, lo que aparentemente influiría en el daño de la visera (ver Figura 9-4).

Figura 9-4: Granulometría predominante

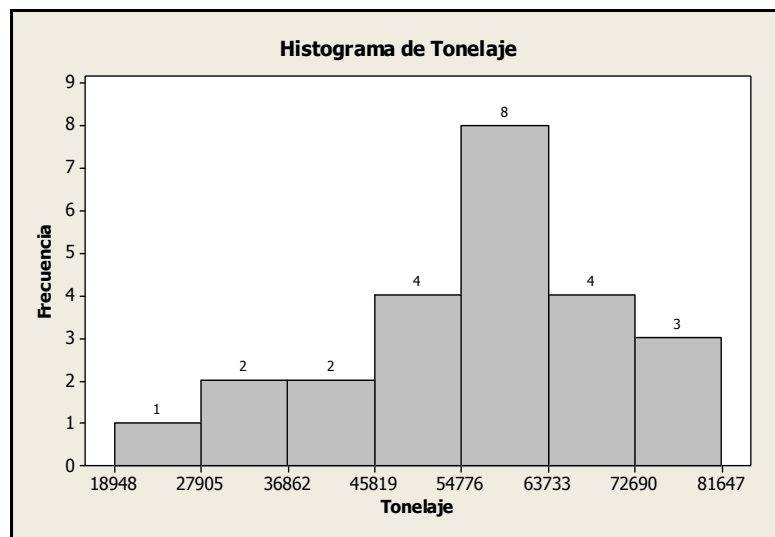


Fuente: Elaboración propia.

9.1.4 Abrasión.

Los registros del tonelaje extraído hasta la fecha de reparación en los puntos de extracción, tienen un mínimo de 18.948 (ton), un máximo de 81.647 (ton), un promedio de 57.391(ton) y una desviación estándar de 15.798 (ton). El histograma de la Figura 9-5 indica que la mayor cantidad de puntos reparados alcanzan una extracción entre las 45.819 (ton) y las 72.690 (ton).

Figura 9-5: Histograma de tonelaje extraído hasta la reparación

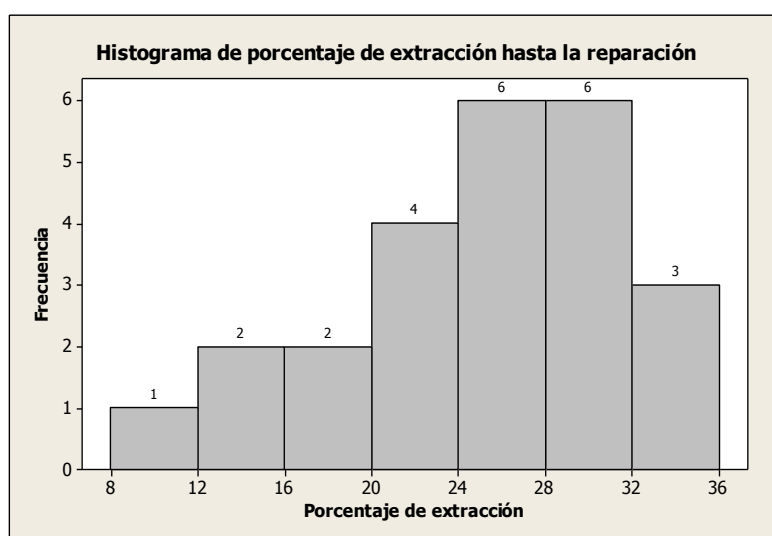


Fuente: Elaboración propia.

El histograma sugiere una distribución acampanada en que las más coincidentes son Normal y Weibull.

Al igual que el tonelaje, el porcentaje de extracción es otro indicador similar que mide la extracción, el cual se diferencia solamente en la escala utilizada. Éste indica que la mayoría de los puntos son reparados cuando se encuentran entre 20% y 32%.

Figura 9-6: Histograma de porcentaje de extracción hasta la reparación



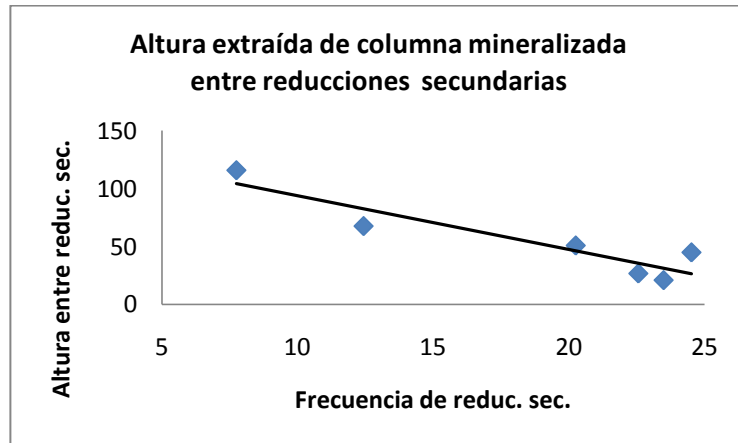
Fuente: Elaboración propia.

De los datos recolectados se observa la existencia de una relación inversa entre la frecuencia de actividades de reducción secundaria o colgadas y el tonelaje acumulado extraído desde los puntos de extracción. Esto se debe a que las actividades de reducción secundaria son consideradas interrupciones operacionales.

La Figura 9-7 demuestra la relación mencionada en que el tonelaje extraído se representa en metros de altura extraída de columna mineralizada desde los puntos de extracción, el que aumenta cuando la frecuencia de las reducciones secundarias se hace menor, lo que indica que la abrasión es más

acelerada cuando las interrupciones operacionales, producto de la reducción secundaria, disminuyen.

Figura 9-7: Altura extraída entre reducciones secundarias



Fuente: Elaboración propia.

9.1.5 Comportamiento Estructural.

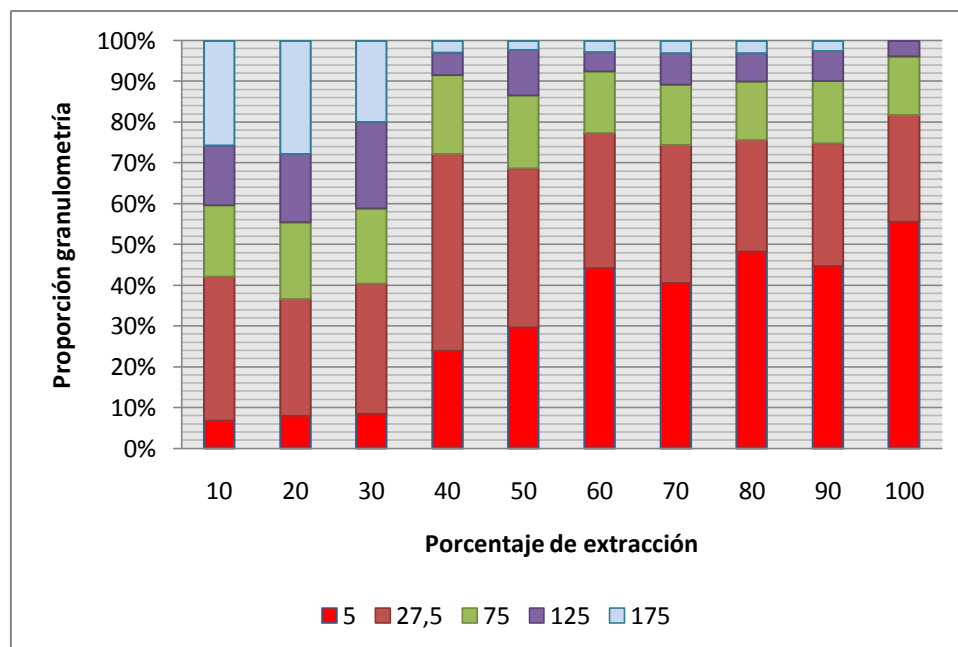
Como se menciona en el capítulo 7.1, no existen distorsiones con respecto a las variables relacionadas al tipo de roca extraída. Sin embargo, es importante reconocer que dicho parámetro influye en la vida útil de la estructura y es necesario distinguir los grupos de análisis según las características de cada tipo.

10. RELACIÓN DE LAS VARIABLES Y ANÁLISIS DE SUPERVIVENCIA.

Según el análisis del capítulo anterior, se evidencia que la presencia de rocas con granulometría gruesa y la frecuencia de las reducciones secundarias, tienen la tendencia a disminuir según se avanza la extracción. Además, en el apartado de abrasión se identificó que la vida útil de la mayoría de las viseras están entre los 20 y 32% de extracción.

Relacionando de manera más detallada la evolución de la granulometría con la abrasión, se puede observar que superando el 30% de extracción, las rocas de granulometría gruesa adquieren una tendencia a decrecer, por lo que la presencia de rocas finas se hace más común. Coincidencia que sugiere dos etapas distintas de extracción y que permite asociar el deterioro de la visera a la primera etapa (antes del 30%).

Figura 10-1: Proporción de la granulometría con el porcentaje de extracción



Fuente: Elaboración propia.

Este tipo de comportamiento sugiere utilizar como variable de estudio el tonelaje extraído hasta la falla, para realizar el análisis de supervivencia o confiabilidad.

10.1 Identificación de Distribuciones de Probabilidad que se Ajustan Mejor al Tonelaje Extraído Acumulado.

El análisis se realiza por medio del *software* estadístico Minitab 15 y se detalla un informe de la bondad de ajuste para las siguientes distribuciones.

Tabla 10-1: Bondad de ajuste.

Distribución	Anderson-Darling (ajust.)	Coefficiente de correlación
Weibull	0,965	0,976
Lognormal	1,599	0,924
Exponencial	11,871	*
Normal	0,938	0,977
Logística	0,946	0,979

Fuente: Elaboración propia.

El nivel de correlación y el indicador Anderson-Darling, que refleja la diferencia entre la frecuencia esperada y la real, representando un valor cercano a cero, indican que las distribuciones de Weibull, con parámetros de escala y forma de 61.521 (ton) y 355.125 (ton) respectivamente, y la distribución Normal, con promedio y desviación estándar de 55.304 (ton) y 15.752 (ton) respectivamente, son las más adecuadas para modelar los datos.

10.2 Análisis de Supervivencia.

El análisis de supervivencia se realiza con la Distribución de Weibull porque es fácilmente adaptable a este tipo de procesos de reparación, no obstante, se pueden observar los resultados del análisis para la Distribución Normal en el Anexo 2.

La Distribución de Weibull hace la suposición de una tasa de falla (o función de riesgo) creciente o decreciente. Dicho patrón representa generalmente a sistemas de desgaste y se ve representada en la función de riesgo graficada en la esquina inferior derecha de la Figura 10-2 y que, además, muestra en la esquina superior derecha el ajuste gráfico de los datos a la Distribución de Weibull.

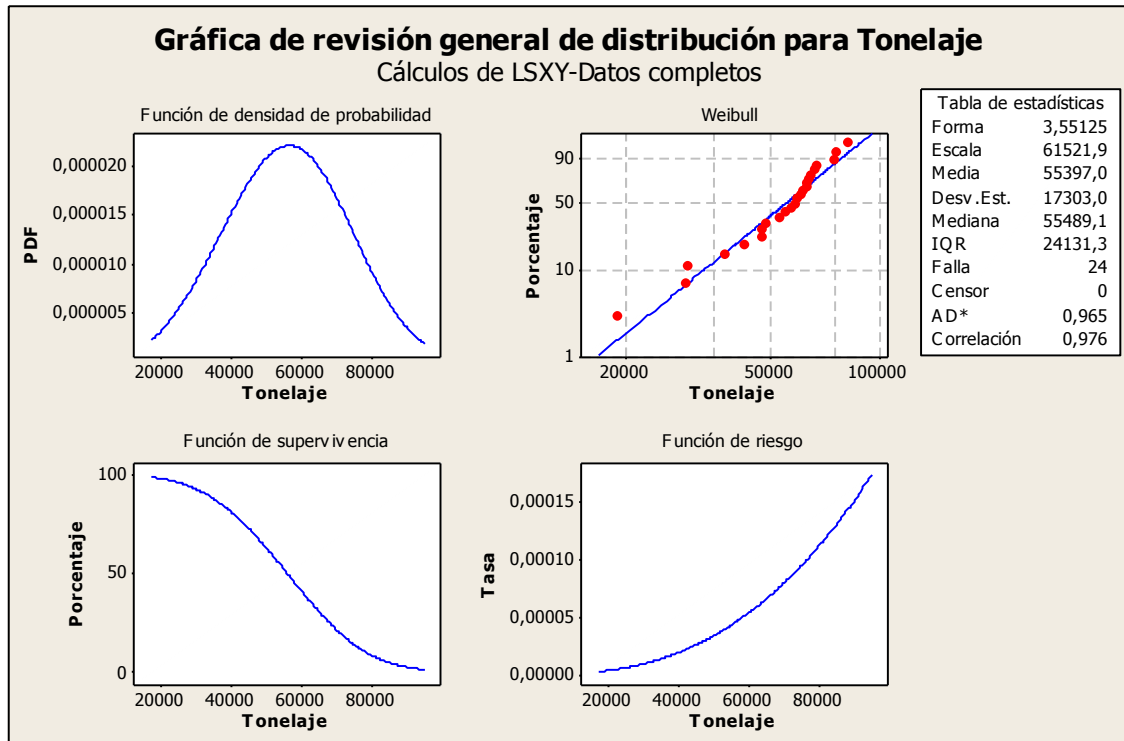
La función de supervivencia se ubica en la esquina inferior izquierda de la misma figura e ilustra la probabilidad de que el elemento sobreviva hasta un momento particular. De esta manera, la gráfica de supervivencia muestra la confiabilidad de los puntos de extracción (eje Y) según tonelaje acumulado extraído (eje X). También pueden observarse los datos en la Tabla 10-2 en la que se detalla la relación inversa entre la probabilidad de supervivencia y el tonelaje acumulado extraído de los puntos de extracción.

Tabla 10-2: Tonelaje y probabilidad de supervivencia

Tonelaje de fallas	Probabilidades de supervivencia
18.000	98.7493
22.000	98.7360
26.000	95.4135
30.000	92.4924
34.000	88.5393
38.000	83.4700
42.000	77.2754
46.000	70.0399
50.000	61.9511
54.000	53.2953
58.000	44.4362
62.000	35.7767
66.000	27.7092
70.000	20.5633
74.000	14.5625
78.000	9.79998
82.000	6.23983
86.000	3.74232
90.000	2.10445
94.000	1.10439

Fuente: Elaboración propia con apoyo de Minitab 15.

Figura 10-2: Análisis gráfico de los datos¹³



Fuente: Elaboración propia con apoyo de *software* Minitab 15.

Los ajustes probabilísticos permiten predecir y proyectar la vida útil de la fortificación y por lo tanto es una herramienta que facilita la programación de reparaciones de puntos de extracción dañados por dejaste.

Luego de identificar la función de supervivencia, se procede a calcular el indicador MTTF (*mean time to failure*) o MTBF (*mean time between failures*) que permite estimar el momento apropiado para reparar los puntos de extracción (ver Tabla 10-3).

¹³ IQR (*Interquartile Range*) En estadística descriptiva, se denomina rango intercuartílico o rango intercuartil, a la diferencia entre el tercer y el primer cuartil de una distribución. Es una medida de la dispersión estadística.

Para el caso de uso de la distribución de Weibull corresponde un MTTF de 55.397 toneladas lo que equivale a 783 días promedio (2 años app.) de extracción ininterrumpida por punto de extracción.

Tabla 10-3: Mean time to failure para distintas distribuciones de probabilidad

Tabla de MTTF				
Distribución	Media	Error estándar	IC normal de 95%	
			Inferior	Superior
Weibull	55397,0	3479,78	48979,9	62654,9
Lognormal	55683,7	3861,33	48607,4	63790,2
Exponencial	38022,8	6435,45	27288,3	52980,0
Normal	55304,8	3215,50	49002,5	61607,1
Logística	55304,8	3209,24	49014,8	61594,8

Fuente: Elaboración propia con apoyo de software Minitab 15.

11. ANÁLISIS DE COSTOS PARA SELECCIÓN DE ESTRATEGIAS DE REPARACIONES DE PUNTOS DE EXTRACCIÓN.

11.1 Propuesta de Nueva Estrategia de Reparaciones.

Las estrategias de reparación preventiva, son adecuadas cuando se minimizan los costos globales y suelen aplicarse a las maquinarias en que el método de mantención consiste en el reemplazo de un componente que está próximamente a fallar. Para el caso de los puntos de extracción es más complicado, puesto que la reparación no considera un reemplazo sino que es un proceso que involucra métodos de demolición y construcción; por lo que requieren un tiempo de ciclo de muchos días (5 días app.), por lo mismo, la falta de un método de reparación preventiva para puntos de extracción no posibilita el análisis de la viabilidad de esta estrategia. No obstante, se distinguen dos tipos de reparaciones según la gravedad del daño que presentan los puntos de extracción: reparación de consolas y reparación de marcos.

Empíricamente el daño más severo se asocia a la reparación de marcos, cuya causa está relacionada con la extracción excesiva de mineral desde un punto que ya requiere reparación (“sobre-daño”). Dicha reparación cuesta 26.352 US\$ más que la reparación de consolas y requiere de dos semanas de trabajos reconstructivos.

A modo de evaluar la conveniencia económica de un sistema planificado de reparaciones, se consideran como beneficios los ahorros producidos por intervenir un punto de extracción antes de que alcance daños severos que requieran la reparación por marcos.

En síntesis, la nueva estrategia de reparaciones propuesta, consiste en una correctiva planificada cuyo enfoque es obtener mayor eficiencia en costos.

11.2 Costos Asociados a la No Planificación de las Reparaciones.

11.2.1 Costos Indirectos.

Además de los costos directos de las obras de reparación, se pueden identificar otros costos de carácter indirectos, como la seguridad operacional y de los trabajadores.

Los operarios de las palas LHD tienen por objetivo cumplir con las metas, de velocidades de extracción y de carta de tiraje que son definidas todos los años por la GRMD, sin embargo, dichas metas no incluyen las interrupciones operacionales por ocurrencia de fallas en la infraestructura y, por ende, los operarios muchas veces recurren a prácticas inadecuadas para cumplirlas.

Normalmente, los operarios sólo entregan la galería dañada a la Unidad de Reparaciones cuando existen galerías operativas alternativas que permitan continuar la extracción, no obstante, en caso de que esto no se dé, evitan cederla y extraen desde los puntos ya deteriorados, dañando la infraestructura en forma excesiva y arriesgando su propia integridad física al ser expuestos a golpes directos de las rocas.

Además se practica la denominada “sobre-extracción de mineral” de los puntos disponibles, lo que significa extraer de los puntos mayor cantidad de mineral de la que está planeada. Dicha acción, desestabiliza el macizo rocoso por lo que aumenta la concentración de esfuerzos provocando eventuales colapsos de sectores productivos y/o estallidos de roca que ponen en riesgo a los obreros y a los resultados económicos del negocio por inactividad productiva

de los sectores y a los costos excesivos por reparación de la infraestructura dañada (levantando de cerro).

Conceptualmente se produciría lo que indica la consultora IXC [IRA2009] "mantención se entiende como una actividad orientada a satisfacer los requerimientos de operaciones y operaciones tiene como meta cumplir con los planes de producción, eso lleva a que las instalaciones muchas veces no estén disponibles para tareas de mantención, en especial si se trata de mantenciones preventivas. Esta situación si es repetitiva lleva necesariamente a que se produzcan fallas y deban realizarse actividades de mantención correctivas no planificadas que además de subir los costos de mantención, hacen que las cuotas de producción no se cumplan y el círculo vicioso se sigue conservando sistémicamente".

Figura 11-1: Círculo vicioso producto de las malas prácticas



Fuente: Elaboración propia.

11.2.2 Costos de Reparación con Marcos.

Los costos asociados al peor efecto de no planificar las reparaciones, es decir, las actividades de sobre-extracción, son difíciles de cuantificar ya que los colapsos no necesariamente ocurren producto de esta práctica, por lo que las

pérdidas de producción y el costo de reparación de dicho daño no pueden ser atribuidos directamente.

No obstante, puede atribuirse el efecto del desgaste excesivo, lo que considera reparaciones con marcos cuyo costo supera los 89.938 US\$ (ver Tabla 11-1).

Tabla 11-1: Ítems y proporción en el precio unitario de reparación con Marcos (referencial).

Costo de reparación con marcos	89.938 US\$.		
	Mano de Obra	Materiales	Equipos
Descripción Itemizado			
Tapados	53%	46%	1%
Demolición Infraestructura	39%	14%	46%
Acuñadura	89%	4%	7%
Refortificación con Pernos Labores Colapsadas	35%	27%	38%
Refortificación con Malla 10006 Labores Colapsadas	64%	26%	10%
Sumin y Coloc. De Planch. Y Tuerca	61%	26%	13%
Escarpe de Piso	25%	5%	70%
Construcción Carpeta Rodado H-70	5%	82%	12%
Sumin. e Insta. Estructura Metálica	44%	50%	6%
Suministro y Colocación Pernos Acero A44-28H	36%	25%	39%
Suministro y Colación de Malla Acma	39%	52%	9%
Suministro, Tran. y Colo. Hormigón H-30	30%	48%	22%
Acondicionamiento	71%	15%	14%
Sumin y Coloc. De Shotcrete Sh-22,5	26%	42%	32%

Fuente: SPM

11.2.3 Costos de Operación.

Los costos de operación corresponden a las actividades relacionadas con la extracción de mineral. Dichas actividades son continuas y son realizadas por los operarios de las palas LHD.

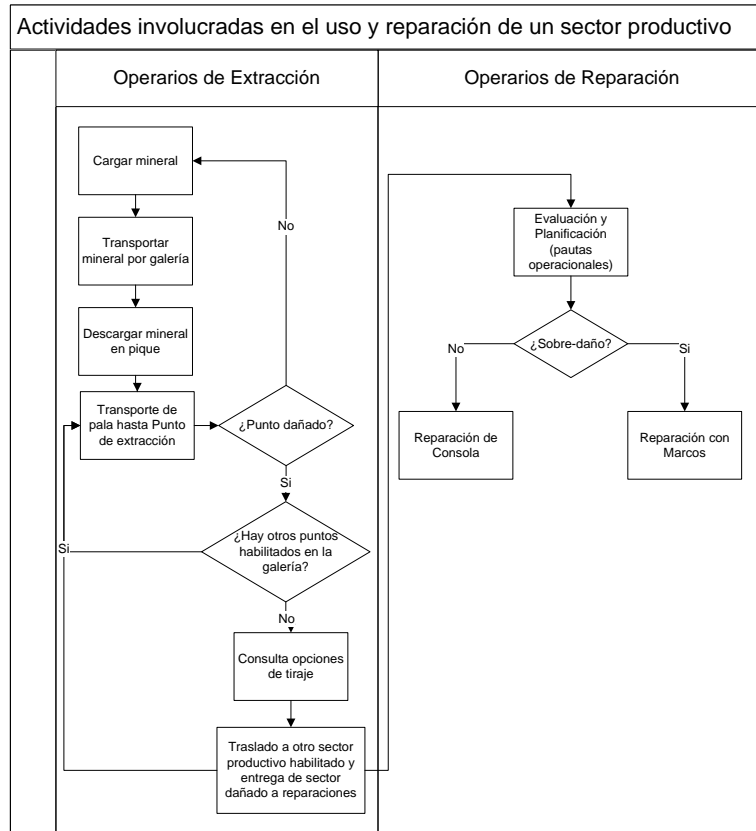
Al momento de requerir reparaciones a los puntos de extracción, el operario consulta la carta de tiraje para proceder a extraer en otra galería y así poder entregar el área dañada a los obreros de reparaciones sin la necesidad de interrumpir la actividad de extracción (ver Figura 11-2).

El costo de operaciones considera dos ítems: Costo de mano de obra y Costo de combustible.

Sólo un equipo utiliza la galería en el proceso de extracción, por lo que el cálculo del costo de mano de obra por equipo dependerá del número de operarios del equipo LHD por turno (3 turnos) y su costo anual por operador. En este caso se considera un operario por turno con un costo anual promedio de 49.572 US\$ (ver Tabla 11-2).

El costo de combustible depende del consumo promedio por equipo de dicho insumo, la utilización anual por equipo y el costo del barril de petróleo cuyo valor debe convertirse a litros para estimar el costo total anual (ver Tabla 11-3).

Figura 11-2 : Actividades realizadas por operarios de Producción y Reparación



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11-2: Costo de mano de obra por equipo.

Costo Mano de Obra por equipo(2010)	Cantidad	Unidad
Cant. Operadores por equipo al día (A)	3	Op.
Costo anual promedio (B)	49.572	US\$/Año-Op.
Costo total anual MO (A * B)	148.716	US\$/año

Fuente: Elaboración propia con datos de CODELCO.

Tabla 11-3: Costo de combustible utilizado por equipo.

Costo de Combustible por equipo(2010)	Cantidad	Unidad
Consumo promedio equipo	25	L/hr
Costo unitario combustible ¹⁴	0.5	US\$/L
Costo total anual de combustible ¹⁵	52.834	US\$/año

Fuente: Elaboración propia con datos de CODELCO.

11.3 Costos asociados a las Reparaciones Planificadas.

11.3.1 Costos Indirectos.

Los costos indirectos que se presentan en la estrategia actual, serían evitados ya que la determinación del MTTF corresponde a un nuevo parámetro que permite mejorar la planificación de producción. Esto no justificaría la sobre-extracción basada en el alcance de metas y permite a la Superintendencia de Preparación Minera, programar su intervención antes de que los puntos de extracción se dañen de sobremanera.

11.3.2 Costos de Reparar.

Para cuantificar los costos de las reparaciones, se consideran los precios unitarios de la actividad de reparación de consolas que se atribuye principalmente al daño moderado de la estructura.

¹⁴ Considera como costo de barril de petróleo 80 US\$, en que un barril contiene 159 litros.

¹⁵ Considera una utilización anual por equipo de 4200 hr-motor/equipo-año

La reparación de consola requiere menos cantidad de horas-hombre y materiales, que la reparación con instalación de marcos lo que se traduce en un precio mucho menor (ver Tabla 11-4).

Tabla 11-4: Ítems y proporción en el precio unitario de reparación Consola (referencial).

Costo total de reparación	55.680 US\$		
Descripcion Itemizado	Mano de Obra	Materiales	Equipos
Tapados	53%	46%	1%
Demolición Infraestructura	39%	14%	46%
Acuñadura	89%	4%	7%
Refortificación con Pernos Labores Colapsadas	35%	27%	38%
Refortificación con Malla 10006 Labores Colapsadas	64%	26%	10%
Sumin y Coloc. De Planch. Y Tuerca	61%	26%	13%
Escarpe de Piso	25%	5%	70%
Construcción Carpeta Rodado H-70	5%	82%	12%
Suministro y Colocación Enfierraduras Acero A44-28H	34%	51%	14%
Suministro y Colocación Pernos Acero A44-28H	36%	25%	39%
Colocación Acero A37 - 24 ES (rieles)	68%	19%	13%
Suministro, Tran. y Colo. Hormigón H-40	29%	50%	21%
Acondicionamiento	71%	15%	14%
Sumin y Coloc. De Shotcrete Sh-22,5	26%	42%	32%

Fuente: SPM.

11.3.3 Costos de Operación.

Los costos de operación son los mismos observados en el apartado 11.2.3; no obstante, existirán diferencias en el costo acumulado de operación hasta el momento de la reparación, ya que la actividad de extracción de mineral se realiza por menos tiempo producto de la intervención oportuna a reparar.

11.4 Evaluación Económica.

Debido a que el objetivo es obtener una mayor eficiencia en costos, el método de evaluación económica más conveniente es el Costo Anual Uniforme Equivalente (CAUE) aplicado a la selección de dos alternativas.

11.4.1 Determinación de los Flujos de Proyecto.

Los datos utilizados para la proyección de los costos provienen del documento Antecedentes Económicos y Comerciales para Planificación, que contiene indicadores y parámetros determinados por CODELCO para la normalización de las evaluaciones económicas de sus proyectos de inversión [CODELCO2010] (ver Tabla 11-5).

Dicho documento determina por medio de la metodología WACC, una tasa de descuento de un 8%, considerando el costo de financiamiento y estado de deuda que posee la empresa.

La cantidad de periodos depende del momento en que se realiza la reparación, que será identificado como el ciclo a evaluar.

Tabla 11-5: Proyección de precios insumo relevante.

Insumo	2010	2011	2012	2013	2014	Largo Plazo
Petróleo US\$/barril	80	84	85	80	85	92

Fuente: Antecedentes económicos y comerciales para planificación 2011, CODELCO.

11.4.2 Cálculo de costos de operación futuros por equipo.

Con la información de los costos futuros del barril de petróleo, se pueden determinar los flujos futuros correspondientes a los costos por combustible (en dólares).

Tabla 11-6: Costo proyectado del combustible utilizado anual.

Año	Costo Combustible (kUS\$)
2010	53
2011	55
2012	56
2013	53

Fuente: Elaboración propia con datos de CODELCO.

Con respecto a las variaciones del costo de mano de obra por período, se aplica una tasa de crecimiento de sueldos en términos reales de 2,5% [CODELCO2010] (ver Tabla 11-7).

Finalmente, los costos de operación por período se resumen en la Tabla 11-8.

Tabla 11-7: Costo mano de obra proyectado.

Año	Costo MO (kUS\$)
2010	149
2011	152
2012	156
2013	160

Fuente: Elaboración propia con datos de CODELCO.

Tabla 11-8: Cuadro resumen de costo de operaciones.

Año	Costo MO	Costo Combustible	Costo Operaciones	Unidad
2010	149	53	202	kUS\$/año
2011	152	55	208	kUS\$/año
2012	156	56	212	kUS\$/año
2013	160	53	213	kUS\$/año

Fuente: Elaboración propia con datos de Antecedentes económicos y comerciales para planificación 2011

11.4.3 Costos de reparación.

Los costos de reparación son sólo referenciales de los precios unitarios. El valor referencial quiere decir que fueron amplificados por el mismo factor con la finalidad de mantener su diferencia económica.

Tabla 11-9: Costos de reparación.

Año	Tipo de reparación	Costo Unitario (US\$)
2012	Reparación consola	55.680
2013	Reparación con marcos	89.938

Fuente: Elaboración propia con datos de reparaciones.

11.5 Flujos de caja.

Para evaluar económicamente las reparaciones planificadas se utilizará la lógica de los diagrama de flujo de caja. Ésta considera que los ingresos o desembolsos son al final del periodo.

Para efectos de la evaluación, la extracción de mineral se realiza continuamente en la galería hasta los 3,2 años promedio¹⁶, para el caso de la estrategia actual, y 2,3 años para la estrategia planificada. Además, se considera la reparación de un solo punto de extracción por galería.

11.5.1 Estrategia actual (existencia de sobre-daño).

Tabla 11-10: Flujos de caja por período de la estrategia actual.

Periodo	Costo Operaciones (kUS\$)	Costo de reparación (kUS\$)	Flujo neto (kUS\$)
0	0	0	0
1	202	0	202
2	208	0	208
3	212	0	212
4	0	90	90

Fuente: Elaboración propia.

11.5.2 Estrategia de intervenciones planificadas de reparación.

Tabla 11-11: Flujos de caja por periodo de la estrategia planificada

Periodo	Costo Operaciones (kUS\$)	Costo de reparación (kUS\$)	Flujo neto (kUS\$)
0	0	0	0
1	202	0	202
2	208	0	208
3	0	56	56

Fuente: Elaboración propia.

¹⁶ Según los registros de la muestra analizada en el estudio de la abrasión.

11.5.3 Evaluación del CAUE.

La evaluación indica que realizar las reparaciones en el momento definido por el MTTF son más rentables que intervenir los puntos hasta el daño severo (reparación de marcos) equivalente a una extracción de 3 o más años.

El ahorro generado por la estrategia de planificaciones asciende los 22 mil dólares (ver Tabla 11-12).

Tabla 11-12: Evaluación CAUE

Tipo de rep.	Valor presente (kUS\$)	VP anualizado (kUS\$)
Marcos (A)	600	181
Consolas (B)	409	159
Diferencia (A-B) (kUS\$)		22

Fuente: Elaboración propia.

12. CONCLUSIONES.

Los diseños de las fortificaciones de los puntos de extracción están definidos en función de las características del macizo rocoso, por lo que tienden a deteriorarse cuando éstas, que son de carácter imprevisible, se alteran de manera significativa. No obstante, en ocasiones se requieren reparaciones para los puntos que se encuentran en zona relajada, por lo que el daño se produce por el efecto de la extracción de mineral, variable que no es considerada normalmente en los diseños. Dicho tipo de daños, se evidencian en el deterioro de los primeros marcos (los que están más próximos a la boca del punto de extracción), que se produce por el desgaste de la visera; la cual está expuesta a rocas de sobretamaño, a la energía liberada por las mismas y al uso de explosivos.

El estudio pudo relacionar que la vida útil de la fortificación está condicionada principalmente al tipo de proceso de explotación utilizado, ya que finalmente la dimensión de la roca, las actividades de reducción secundaria (uso de explosivos que dañan la visera) y la energía con que impacta la roca a la visera, dependen de la producción realizada hasta el momento.

Relacionando las variables con el momento de la reparación, se observa que los “puntos de extracción” no superan el 30% de extracción y que la granulometría observable, cambia de manera significativa siendo más fina al fin del ciclo de extracción. Esto sugiere que es posible efectuar el modelamiento a partir del tonelaje acumulado extraído en un análisis de supervivencia, a modo de identificar el momento más oportuno para reparar los puntos de extracción.

Aunque es posible realizar la reparación preventiva en función de la ocurrencia de fallas (o necesidad de reparación), no es posible evaluarla exantes por carencia de un método de reparación preventivo que minimice los costos

actuales. No obstante, se propone una estrategia de reparaciones correctivas planificadas, que puede solucionar el problema de las distorsiones financieras.

A modo de determinar la conveniencia económica de la planificación de reparaciones, se definió que el método reconstructivo asociado a dicha estrategia, considera la reparación de consolas y en el caso contrario, un existente “sobre-daño”, la reparación con marcos. De la evaluación económica realizada, por medio del método Costo Anual Uniforme Equivalente (CAUE), se concluye que es conveniente planificar las reparaciones ya que constituye un ahorro de 22 mil dólares por punto de extracción.

Promover mejoras en la gestión, previendo la necesidad de reparaciones, trae ventajas en la relación de la Superintendencia de Preparación Minera con el cliente, ya que intervenir los puntos de extracción antes que alcancen un “sobre-daño”, permite dar disponibilidad al sector productivo en forma más rápida (ya que considera menores requerimientos de hora-hombre y materiales que las reparaciones asociadas a daños excesivos), lo que evitaría la necesidad de realizar prácticas indebidas de sobre-extracción y, por ende, reduciría los potenciales daños mayores en estructura producto de los estados tensionales y/o estallidos de roca.

13. RECOMENDACIONES.

A modo de conseguir una buena ejecución de las reparaciones planificadas y de replicar el estudio a otros sectores productivos, se hacen las siguientes recomendaciones:

- Para eliminar las eventuales pérdidas por interrupción de las operaciones generadas por la carencia de sectores disponibles de extracción, se recomienda que la Unidad de Producción de Diablo Regimiento, considere el parámetro MTTF en su planificación de la producción, a modo de preparar planes de contingencia que permitan continuar la extracción de mineral en sectores alternativos para cuando los sectores en utilización estén próximos a las 55.397 toneladas extraídas acumuladas. Así la SPM puede cumplir con mantener la función deseada de los puntos de extracción por medio de la reparación oportuna y evitar incurrir en costos mayores por daños severos provocados por sobre-extracción.
- Se recomienda innovar en un nuevo método constructivo preventivo (de reemplazo de partes o componentes) aplicado a las reparaciones de los puntos de extracción, con el enfoque de reducir costos y tiempos de ciclo de las reparaciones.
- El estudio puede ser replicado en otros sectores productivos, pero se recomienda estudiar la influencia de los tipos de roca que caracterizan al sector productivo, ya que puede que los resultados varíen producto de la influencia de una distinta fragmentación a la analizada, la que incide en el comportamiento de todos los demás factores que causan daños en la visera.

14. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

14.1 Bibliografía

- [Arata2009] Arata, A. (2009). **Ingeniería y Gestión de la Confiabilidad Operacional en Plantas Industriales**. Santiago: RIL editores. 4: 195 – 196.
- [Canavos1988] Canavos, G. (1988). **Probabilidad y Estadística, aplicaciones y métodos**. McGrawHill.
- [CODELCO2007][1] CODELCO. (2007). **Optimización en la recuperación de carpetas de rodados mina Esmeralda**. Rancagua. 3:6-9.
- [CODELCO2007][2] CODELCO. (2007). **Modelo geomecánico del macizo rocoso primario de mina El Teniente**. Santiago. 3:10 - 25.
- [CODELCO2007][3] CODELCO. (2007). **Viseras en reparación de puntos de extracción**. Rancagua.
- [CODELCO2009][1] CODELCO. (2009). **Memoria Anual**. Santiago.
- [CODELCO2009][2] CODELCO. (2009). **Lineamientos Estratégicos Quinquenio SPM 2010 - 2014**. Rancagua.
- [CODELCO2009][3] Gerencia de Recursos Mineros y Desarrollo CODELCO. (2009). **Situación Mina Esmeralda**. Rancagua.
- [CODELCO2010] CODELCO. (2010). **Antecedentes Económicos Y Comerciales Para Planificación 2011 (Abril 2010)**, Santiago.
- [IM22000][1] Instituto de Innovación en Minería y Metalurgia. (2000). **Estudio Sistemas de Traspaso del Mineral**. Rancagua. 3: 12.
- [IM22000][2] Instituto de Innovación en Minería y Metalurgia. (2000). **Estudio Sistemas de Traspaso del Mineral**.

- Rancagua. 4: 23.
- [IM22003] Instituto de Innovación en Minería y Metalurgia. (2003). **Diseño Conceptual para Minería Continua**. Santiago. 4:30.
- [IM22006] Instituto de Innovación en Minería y Metalurgia. (2006). **Evaluación de la Fragmentación Mina Diablo Regimiento**. Rancagua. 7:18.
- [Latorre&Contreras1994] Latorre, J., & Contreras, H. (1994). **Fortificación de Minas**. Santiago. 3:29.
- [Meli1998] Meli, R. (1998). **Manual de Diseño Estructural**. México D.F.: Limusa.
- [Multidisciplinaria08] Consultora Multidisciplinaria. (2008). **Apuntes inducción de seguridad**. Rancagua. 19.
- [Rodriguez2002] Rodríguez, W. (2002). **Evaluación económica comparativa para las variantes de panel caving tradicional y panel caving con hundimiento previo**. Antofagasta: CODELCO. 50 – 100.
- [Zuñiga2007] Zúñiga, C. (2007). Estudio del efecto de la distribución granulométrica en el flujo gravitacional. Santiago: Universidad de Chile. 6.

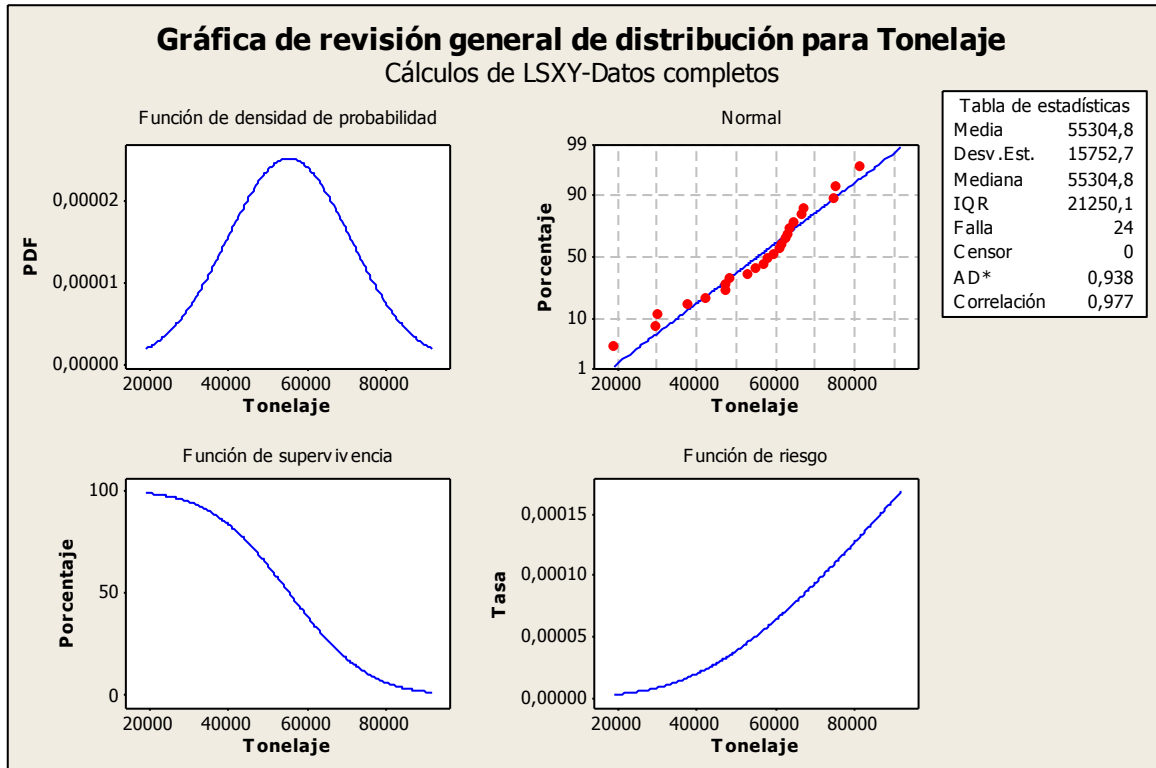
14.2 Linkografía

- [Andina2009] Andina Group. (2009). Recuperado el 20 de Octubre de 2010, de sitio Web Andina Group: http://www.andinagroup.net/rmg/servicios/servicios_preview.asp?id=21&tema=1
- [Bottini2007][1] Bottini, R. (17 de Agosto de 2007). Recuperado el 20 de Octubre de 2010, de sitio Web URUMAN: http://www.uruman.org/3er_congreso_docs/trabajos_t

- ecnicos/UA-Presentacion%20URUMAN-3.pdf. 6.
- [Bottini2007][2] Bottini, R. (17 de Agosto de 2007). Recuperado el 20 de Octubre de 2010, de sitio Web URUMAN: http://www.uruman.org/3er_congreso_docs/trabajos_tecnicos/UA-Presentacion%20URUMAN-3.pdf. 7.
- [Cabrera2009] Cabrera, David. (30 de Septiembre de 2009). Experiencias en la Aplicación de Metodología de Administración y Planeación del Mantenimiento. Recuperado el 20 de Octubre de 2010, de sitio web de CIER: [http://sg.cier.org.uy/cdi/cier-zeus.nsf/752a4962ef6482ff03256f050077c9f7/C1ABB554AEDB277B8325766C005BAA3E/\\$FILE/IISIMSE-BO-T-02.pdf](http://sg.cier.org.uy/cdi/cier-zeus.nsf/752a4962ef6482ff03256f050077c9f7/C1ABB554AEDB277B8325766C005BAA3E/$FILE/IISIMSE-BO-T-02.pdf). 3.
- [COCHILCO2010] Comisión Chilena del Cobre. (4 de Junio de 2010). Recuperado el 28 de Septiembre de 2010, del sitio Web de COCHILCO, Comunicados de prensa: [http://www.cochilco.cl/archivos/comunicados/20100604111608_Comunicado%20de%20prensa%20informe%20a%20mayo%202010%20\(2\).pdf](http://www.cochilco.cl/archivos/comunicados/20100604111608_Comunicado%20de%20prensa%20informe%20a%20mayo%202010%20(2).pdf)
- [CODELCO-Educa] Codelco Educa. (s.f.). Recuperado el 19 de Marzo de 2010, del sitio Web de Codelco Educa: <http://www.codelco.cl/educa/divisiones/definiciones/>
- [Cyt2006] Manual de Gestión de Mantenimiento a la Medida (2006). Recuperado el 20 de Octubre de 2010, de sitio Web División de Ciencia y Tecnología: http://www.science.oas.org/oea_gtz/libros/manten_medita/ch2_ma.htm
- [IRA2009] Innovación en Relaciones de Abastecimiento. (2009). De Arte e Ingeniería: En la Minería. Recuperado el 6 de Octubre de 2010, de De Arte e Ingeniería:

- http://www.ixc.cl/ingenieria_mineria.html
- [Juan2002] Juan, Á. (2002). Ajuste de datos por una distribución teórica con Minitab. Recuperado el 15 de Abril de 2010, de http://www.uoc.edu/in3/emath/docs/Ajuste_datos.pdf
- [MP2005] Mantenimiento Planificado (2005). Recuperado el 20 de Octubre de 2010, de sitio Web Confiabilidad Argentina: <http://www.rcm-confiabilidad.com.ar>. 8 – 9.
- [Teniente2010] Aspectos generales El Teniente. Recuperado el 20 de Marzo de 2010, de sitio intranet El Teniente.
- [URUMAN2009] URUMAN. (19 de Octubre de 2009). Recuperado el 20 de Octubre de 2010, de sitio Web URUMAN: http://www.uruman.org/CHARLA190CT06_AIU.pdf. 7-8.

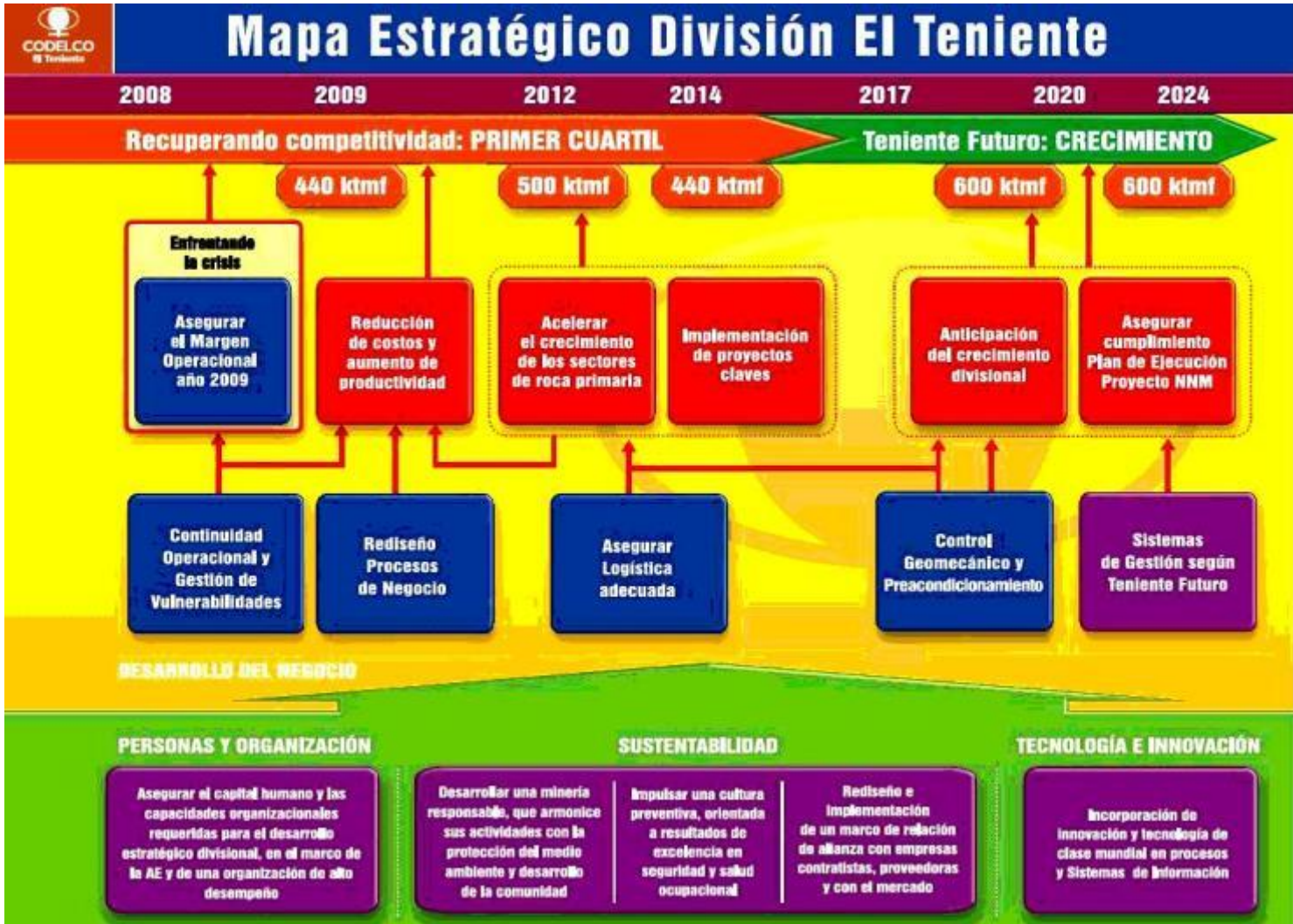
Anexo 2: Análisis de Supervivencia con Distribución Normal



Fuente: Elaboración propia con Software Minitab 15.

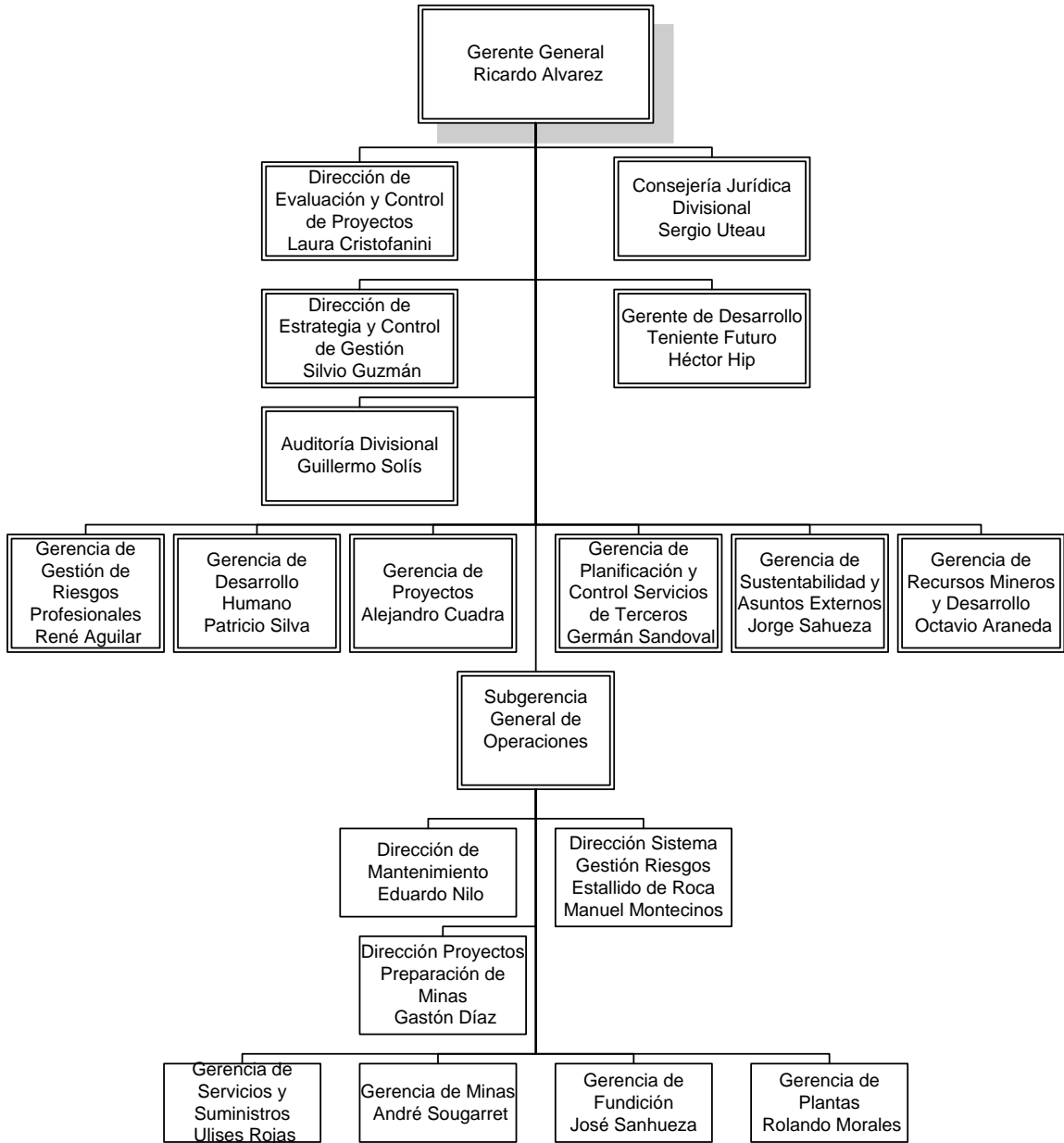
16. APÉNDICES.

Apéndice 1: Mapa Estratégico 2009 División El Teniente



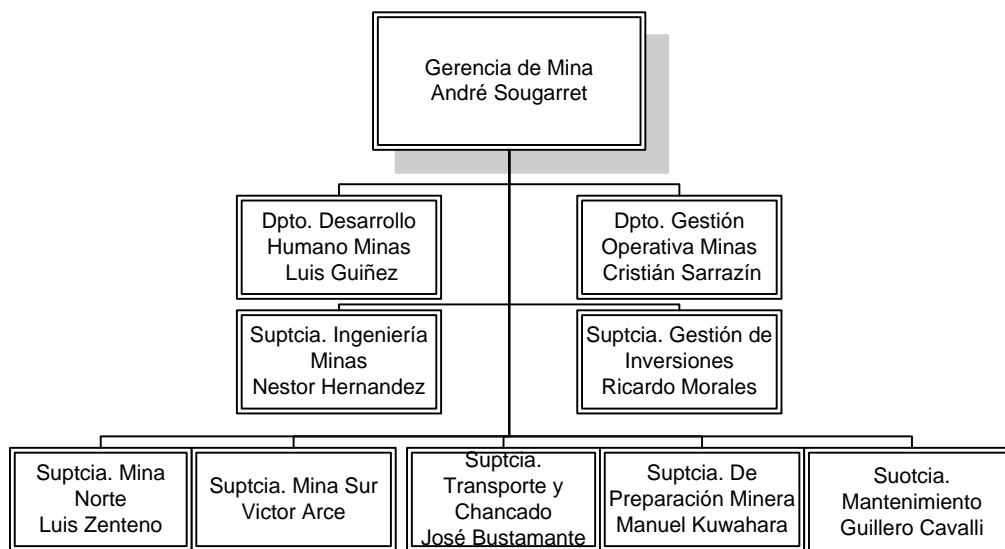
Fuente: Dirección de estrategia y control de gestión, CODELCO División El Teniente.

Apéndice 2: Organigrama Codelco Div. El Teniente



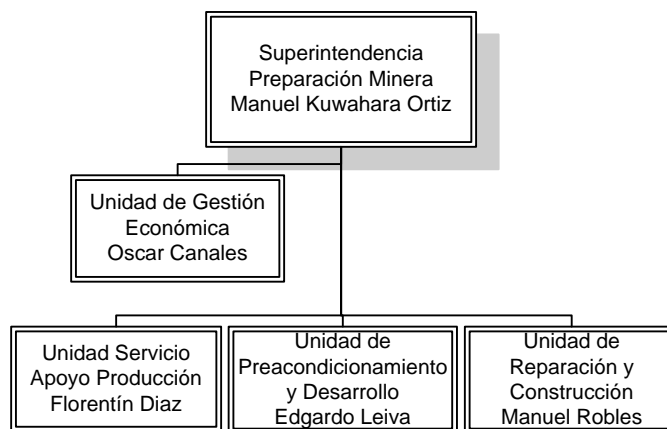
Fuente: Dirección de estrategia y control de gestión, CODELCO División El Teniente.

Apéndice 3: Organigrama de Gerencia de Mina



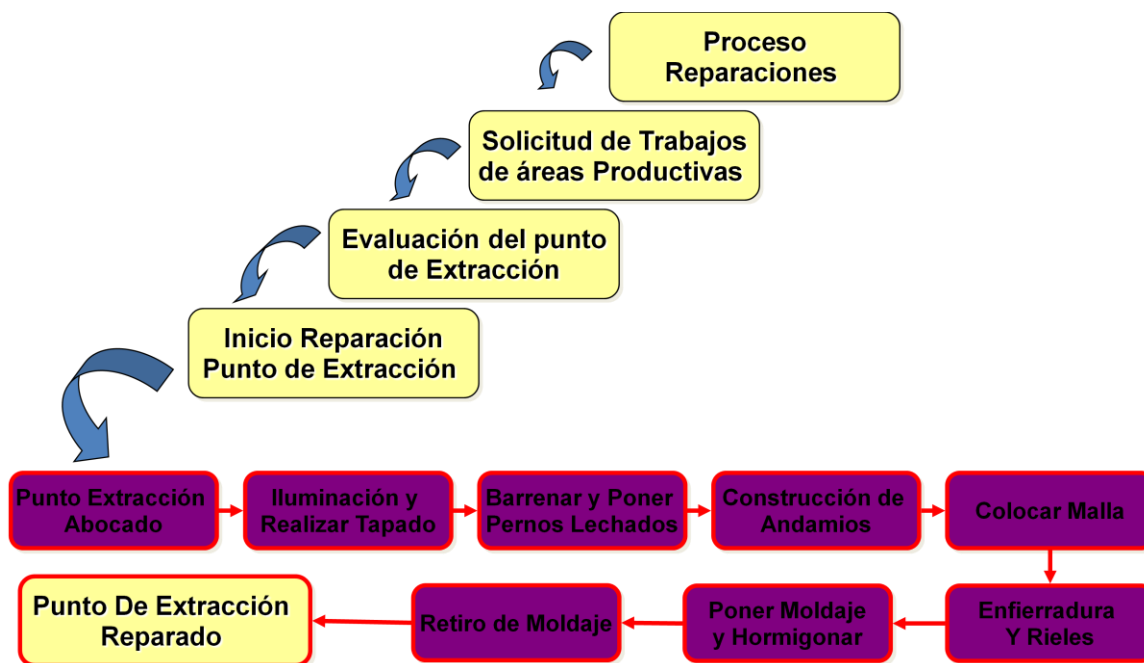
Fuente: Dirección de estrategia y control de gestión, CODELCO División El Teniente.

Apéndice 4: Organigrama Superintendencia de Preparación Minera



Fuente: Dirección de estrategia y control de gestión, CODELCO División El Teniente.

Apéndice 5: Descripción del proceso de reparación a puntos de extracción



Fuente: Proyecto Viseras en Puntos de Extracción, Concurso XIV Creatividad e Innovación, SPM.

Apéndice 6: Procedimiento construcción de marcos.

PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCION

Nota: Este procedimiento es válido bajo las siguientes condiciones.

* Sobre excavación máxima.

Techo medida desde la parte más alta del arco 40[cm].

Caja medida desde el borde exterior del arco 40 [cm].

* Emplazamiento del punto fuera de singularidades como discontinuidades , diques o en general grandes discontinuidades inestables.

Al encontrarse algunos de los casos señalados anteriormente, se deberá solicitar una revisión individual del diseño al geomecánico del área.

Antes de cualquiera de las etapas de hormigonado, el lugar debe estar limpio, libre de impurezas y de aguas ácidas.

- 1 Preparación de la sección.
 - 1.1 Nivelación de pisos.
 - 1.2 En caso de ser necesario desquinche de cajas y/o techos.
- 2 Construcción de radier de estabilización hormigon H18.
- 3 Construcción de sobre base Hormigón, H18.

- 4 Instalación de fortificación con cables (norma ASTM 416-84), la cantidad, posición y longitud debe ser especificadas en croquis simple por el geomecánico del área en forma específica e individual para cada punto.
- 5 Instalación de armadura de muros con malla C 443 H, se deberá colocar un paño de malla espaciada cada 25[cm] según sea la sobre excavación.
- 6 Colocación de arcos.
- 7 Centrar arcos, instalación de arriostamientos y malla C 443 H entre arcos.
- 8 Instalación de barras de anclajes para sostenimiento de arcos.
- 9 Colocación de Estribos.
- 10 Colocación de barras 8[mm] soporte de moldaje.
- 11 Impregnación de moldajes con aditivo desmoldante.
- 12 Instalación de moldajes.
- 13 Hormigonado H18
 - Primera etapa: Lados rectos
 - Segunda etapa: Lados curvos
 - Tercera etapa: Corona
- 14 Descimbre a las 48 horas del término del hormigonado.

Fuente: CODELCO.

Apéndice 7: Antecedentes de SIM-181/06

ANTECEDENTES

En la mina Diablo Regimiento, se han observado daños considerables en los puntos de extracción, esto es debido principalmente a la inexistencia de visera natural de roca, según observaciones de terreno, sumado a lo anterior al gran tamaño de la granulometría generada al inicio de la extracción del punto que estos impactan directamente al primer marco, además de la abrasión producida por el paso de flujo de mineral, terminan por dañar el punto de extracción.

En Marzo del presente año la superintendencia ingeniería mina entrega los diseños para la licitación de contrato de reparación de puntos de extracción, esta define que se construirán con 3 marcos y hormigón de relleno H-30 (plano IM0-12886-2), siendo el mismo diseño de los puntos a los cuales se encuentran con daños serios.

A fines de julio la superintendencia ingeniería mina, diseño civil genera nota interna N° SIM-181/06, con fecha 27/7/06, cuya referencia es: alternativas de reparación de puntos de extracción mina diablo regimiento, el cual cambia completamente la reparación de los puntos de extracción, según lo considerado en el contrato N° 4500678868, denominado: obras de reparación puntos de extracción mina diablo regimiento.

En dicha nota interna hubo cambios relevantes que establecieron el nuevo diseño para la reparación de los puntos de extracción, generando obras extras las cuales consideran la armadura de fierro calidad del acero A63-42H., de diferentes diámetros embebidos en hormigón de alta resistencia para las consolas y hormigón H-70 para los portales, además la consideración por aspectos de seguridad del personal la construcción del tapado corta saca y el retiro de la marina de dicho punto.

El aumento de ítem de debe preferentemente al aumento de la sección donde se construirá el nuevo diseño, que en un principio estaba considerada para el contrato original de 4,5 x 4,5 m. de sección, pero con los nuevos antecedentes el desquinche debe ser mayor, para lograr una sección libre de 5,5 x 5,5 para la construcción tanto el portal como la visera

La disminución se genera por ítemes que no se utilizaran, debido al cambio innovador del diseño, implicando la no utilización de los marcos metálicos y hormigón H-30.