

Nombre
66644

T
BPS7d
2011



Universidad de Valparaíso
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil



**DIAGNÓSTICO Y ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN
PARA PROLONGAR LA VIDA ÚTIL DE LAS
CARPETAS DE RODADO INTERIOR MINA**

por

FRANCISCO IGNACIO BURGOS SEPÚLVEDA

**Trabajo de Título para optar al grado de
Licenciado en Ciencias de la Ingeniería y Título de
Ingeniero Civil**

PROFESOR GUÍA: GUILLERMO BRANTE LARA

DICIEMBRE 2011

R. 16902

- Pavimento
- Hormigón
- Coque/Co

A Dios,

A mis Padres Carlos Burgos y Gloria Sepúlveda,

A mis Hermanos Claudio, Carlos y Macarena,

Por el apoyo entregado durante todo este tiempo.

INDICE GENERAL.

RESUMEN	9
GLOSARIO	10
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	14
1.1. Planteamiento del Problema	14
1.2. Hipótesis de Investigación.....	15
1.3. Objetivos	15
1.3.1. Objetivo General	15
1.3.2. Objetivos Específicos	16
1.3.3. Alcances.....	16
1.3.4. Pregunta de Investigación.....	16
1.3.5. Metodología	16
CAPÍTULO II: ANTECEDENTES	18
2.1. Descripción general del Nivel de Producción	18
2.2. Pavimentos usados en la minería.....	20
2.2.1. Pavimentos de Estabilizado Compactado o Grava	20
2.2.2. Pavimentos en Roca Nivelada	21
2.2.3. Pavimento con bloques de hormigón o articulado.....	21
2.2.4. Pavimento Asfáltico.....	22
2.2.5. Pavimentos de Hormigón.....	22
2.3. Resumen	22
2.4. Exposiciones de las carpetas de Hormigón.....	23
2.4.1. Solicitaciones de las LHD.....	23
2.4.2. Aguas Ácido-Sulfatadas	24
2.5. Situación Actual Mina Esmeralda	25
CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO	28
3.1. Hormigones	28
3.1.1. Durabilidad del Hormigón.....	28
3.1.2. Reacciones del Árido y de la Pasta.....	29
3.1.3. Hormigones de Alta Resistencia	31

3.1.4. Uso de adiciones minerales en el Hormigón.....	32
3.2. La Minería	33
3.2.1. Proyecciones.....	33
3.2.2. Participación de Codelco.....	35
CAPÍTULO IV: ESTUDIO DE TRÁNSITO.....	37
4.1. Estudio de Tránsito.....	37
4.2. Análisis Esmeralda.....	39
CAPÍTULO V: DIAGNÓSTICO	56
CAPÍTULO VI: Bases para propuestas de diseño de pavimentos.....	63
6.1. Tránsito de diseño con recomendaciones del Manual de Carreteras... 65	65
6.2. Recomendaciones para la temperatura y las precipitaciones.	69
6.3. Esquema Diseño Actual.	70
CAPÍTULO VII: Propuesta de Diseños de Pavimentos.....	71
7.1. Diseño con relleno de rocas trituradas (Tipo 1).....	71
7.2. Diseño con base granular y subrasante de roca viva (Tipo 2).....	73
7.3. Diseño con base granular, binder y subrasante de roca viva (Tipo 3)..	74
7.4. Análisis de sensibilidad diseño de pavimento tipo 2.....	75
7.5. Resumen.....	87
Conclusiones	91
Bibliografía.....	94
ANEXO A “METODOS DE EXPLOTACION”.....	96
A.1 Métodos de explotación por hundimiento	97
A.1.1 Introducción	97
A.1.2 Características de Método de Explotación	97
A.1.3 Historia del Método en El Teniente.....	99
A.1.4 Variantes del Método de Explotación.	100
ANEXO B “EXTRACTO DE CRITERIOS DE DISEÑO PARA OBRAS CIVILES AL INTERIOR DE LA MINA”	105

INDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Esquema de la metodología de trabajo.	17
Figura N° 2: "Sistema de traspaso de mineral, mina Esmeralda"	18
Figura N° 3: "Nivel de Producción, mina Esmeralda".....	19
Figura N° 4: "Sección tipo, Calle Nivel de Producción, mina Esmeralda"	20
Figura N° 5: "LHD enfrentando a Frontón de Mineral".....	23
Figura N° 6 "Circuito de entrada del LHD a la Zona de Extracción, Nivel de Producción, Mina Esmeralda".....	41
Figura N° 7: "Esquema Zonas LHD correspondiente a 1 baldada, Nivel de Producción, Mina Esmeralda"	42
Figura N° 8 "Criterio de vaciado al punto más cercano, Nivel de Producción, Mina Esmeralda".	43
Figura N° 9: "Diagrama de Tiempos LHD, Nivel de Producción, Mina Esmeralda."	54
Figura N° 10 "Esquema Zonas LHD correspondiente a 1 baldada, Nivel de Producción, Mina Esmeralda".....	56
Figura N° 11."Daños a neumáticos, Nivel de Producción, Mina Esmeralda"	57
Figura N° 12: "Corte longitudinal en calle, sección de puntos de extracción y elipsoides de extracción, Nivel de Producción, Mina Esmeralda".....	58
Figura N° 13: "Planta de elipsoides de extracción, Nivel de Producción, Mina Esmeralda".	59
Figura N° 14: "Planta de intersección calle con zanja, Nivel de Producción, Mina Esmeralda".	60
Figura N° 15: "Corte Longitudinal de la Calle, Nivel de Producción, Mina Esmeralda".	60
Figura N° 16: "Esquema Diseño Actual".....	70
Figura N° 17: "Esquema Solución Tipo1".	72
Figura N° 18 "EsquemaSoluciónTipo2".	73
Figura N° 19: "EsquemaSoluciónTipo3."	74
Figura N° 20: "EsquemaSoluciónTipo2".	89
Figura N° A.1 "BlockCavingConvencional".	101

Figura N° A.2: "PanelCavingConvencional"	101
Figura N° A.3: "Esquema de Niveles necesarios para el Panel Caving y Malla Teniente Tipo".	103

INDICE DE TABLAS

Tabla N°1 “Distribución de Pesos LHD”	23
Tabla N° 2 “Muestra de aguas agresivas sector Tte. 4”	24
Tabla N° 3 “Grado de ataque ante exposición a sulfatos según NCh 170 Of. 85”	25
Tabla N° 4 “Evolución Reparaciones en Metros Interior Mina”	26
Tabla N°5 “Evolución Presupuesto Reparaciones en US\$”	26
Tabla N° 6 “Tipos de LHD, Niveles de Producción, Mina Esmeralda.”	40
Tabla N° 7 “Producción de 1 mes con 90 turnos, Niveles de Producción, Mina Esmeralda”	44
Tabla N° 8 “Ejemplo Pasadas/Día, Niveles de Producción, Mina Esmeralda”	45
Tabla N°9 “Resumen Pasadas Acumuladas por Punto de Vaciado (OP), entre 2005 - 2010, Nivel de Producción, Mina Esmeralda”	46
Tabla N° 10 “Tiempos de Ciclo, Equipos LHD, Niveles de Producción”	49
Tabla N° 11 “Velocidad y Aceleración de Operación, Equipos LHD, Niveles de Producción”	49
Tabla N° 12 “Interferencias que afectan a los equipos LHD, Niveles de Producción”	50
Tabla N° 13 “Tiempos Promedios de Interferencias por Turnos, Nivel de Producción, Mina Esmeralda”	52
Tabla N° 14 “Tiempos Promedios de Interferencias por Turnos, Nivel de Producción, Mina Esmeralda”	54
Tabla N° 15 “Propiedades Físicas de la Roca Intacta, Mina Esmeralda”.	62
Tabla N° 16 “Distribución de Pesos por Ejes, LHD 7 yd ³ ”	65
Tabla N° 17 “Distribución y Ejes Equivalentes de los Equipos LHD, Eje Patrón 80 kN”	68
Tabla N° 18 “Influencia de la precipitación media anual en las propiedades de la carpeta”	76
Tabla N° 19 “Influencia de la cantidad de días con lluvia mayor a 5 (mm) en las propiedades de la carpeta”	78
Tabla N° 19 “Influencia del viento en las propiedades de la carpeta”	80

Tabla N° 20 "Parámetros Básicos para la Sensibilidad de Diseños Propuestos."	81
Tabla N° 21 "Descripción de Suelo A-1-a, Rangos de Variación"	82
Tabla N° 22 "Influencia de la rigidez de la base en las propiedades de la carpeta."	82
Tabla N° 23 "Influencia del espesor de la base en las propiedades de la carpeta."	84
Tabla N° 24 "Influencia del módulo de elasticidad de la base en las propiedades de la carpeta."	85
Tabla N° 25 "Influencia de la resistencia a la flexotracción del hormigón en las propiedades de la carpeta."	85
Tabla N° 26 "Influencia del módulo de elasticidad del hormigón en las propiedades de la carpeta."	87
Tabla N° 27 "Parámetros Básicos para Diseño Tipo 2"	89

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N°1 “Evolución de los Gastos de Reparaciones en US\$”	27
Gráfico N° 2 “Pasadas Diarias por Punto de Extracción entre 2005 - 2010, Nivel de Producción, Mina Esmeralda”	47
Gráfico N° 3 “Evolución T.M.D.A. por Punto de Extracción durante el período 2005 a 2010, Nivel de Producción, Mina Esmeralda”	48
Gráfico N° 4 “Pasadas por Día, Nivel de Producción, Mina Esmeralda.”	66
Gráfico N° 5 “Evolución de Ejes Equivalentes Solicitantes”	68
Gráfico N° 6 “Tensión Máxima en la Esquina (T.M.E.) vs Precipitación Media Anual (P.M.A.), Nivel de Producción, Mina Esmeralda”	77
Gráfico N° 7 “Escalonamiento (mm) vs Días de Lluvia > 5 (mm), Nivel de Producción, Mina Esmeralda”	79
Gráfico N° 8 “Espesor vs Velocidad del Viento, Nivel de Producción, Mina Esmeralda”	80
Gráfico N° 9 “T.M.E. vs K de la subrasante, Nivel de Producción, Mina Esmeralda”	83
Gráfico N°10 “Espesor vs Flexotracción, Nivel de Producción, Mina Esmeralda”.	86

RESUMEN

CARPETAS DE RODADO

Actualmente en la minería se aprecia una diversidad de carpetas de rodado, que varían tanto en su metodología de instalación como en los hormigones utilizados. Encontrándose incluso variadas alternativas y opciones de carpetas cuya vida útil depende entre otras variables de: Las condiciones del terreno como la presencia de aguas agresivas para el hormigón y las bajas temperaturas que fomentan la posibilidad de los ciclos de hielo y deshielo.

Conforme a esto, en la División el Teniente se han desarrollado diferentes diseños que buscan considerar las relevancias que tienen estos factores en el desempeño de las carpetas, considerando el inconveniente que se produce cuando un sector debe detener las faenas afectado por problemas en las carpetas de rodado de las calles, interrumpiéndose la producción hasta que la vía quede libre y reparada para el tránsito de los equipos.

Por este motivo, esta investigación busca determinar las razones de los fallos a diferentes edades de las carpetas, aún cuando el diseño es homogéneo en cuanto a las especificaciones, los espesores resistentes y la calidad del hormigón, pero que difieren en cuanto a su exposición al tránsito de los equipos encargados de la producción. Entendiendo esto, en una segunda etapa se proponen diseños teóricos, que sean capaces de disminuir esa variación en la vida útil de las carpetas, realizando un análisis de sensibilidad de los comportamientos de estos diseños, frente a las variables de diseño actual.

Palabras Clave: *Carpetas de rodado, aguas agresivas, mina de cobre, Codel División El Teniente.*

ABSTRACT

ROLLED PAVEMENT

The mining industry today enjoys a variety of rolled pavements that vary as much in the methodology of their installation as in the types of concrete used. This variety is the product of various alternatives and options of pavement whose lifetime depends on, among other variables, the conditions of the terrain (such as the presence of abrasive water and low temperatures that encourage the possibility of continuous cycles of freeze and thaw).

Therefore, different designs in the Codelco División El Teniente copper mine have been developed that try to consider the relevance of these factors on the performance of pavement. These designs consider the inconvenience that is produced when a sector must stop work affected by problems in the pavement, interrupting production until the roadway is cleared and repaired for the transit of equipment.

Taking this into consideration, this thesis will determine the reasons for the failures of pavement of varying ages, even when the design of the concrete is identical in specifications, such as thickening agent and quality of concrete, but that differ in the exposure to traffic of equipment used for production. Once design failures have been identified, theoretical designs in a second part of this thesis are proposed that are capable of diminishing the variation in the lifetime of pavement while analyzing the sensitivity of the performance of these designs against the variables of current design.

Keywords: *Rolled pavement, abrasive water, copper mine and Codelco División El Teniente.*

GLOSARIO

- **Adit:** Nombre que se le da a los túneles de acceso para ingresar y/o salir del interior de la mina, estos permiten el tránsito ya sea de vehículos, en el caso de los Adit de acceso, el flujo de aire para los Adit de ventilación y el flujo de agua para los Adit de drenaje.
- **Bateas:** Excavación vertical que se realiza sobre los puntos de extracción para la recolección del mineral proveniente del nivel de hundimiento en el método de explotación Panel Caving. Desde estas excavaciones se extrae el mineral utilizando los equipos cargadores LHD.
- **Buzones de Carguío:** Obra Civil, parecida al balde de los equipos LHD o al de un cargador frontal, localizada a la salida de los piques, que permite mediante un sistema hidráulico o neumático, cargar en forma controlada carros de ferrocarril o camiones en los niveles de transporte.
- **Calle:** Nombre correspondiente a la galería en la cual están emplazadas las zanjas o puntos de extracción y los puntos de vaciados. Estas recorren de Norte a Sur todo el Nivel de Producción.
- **Chancadores:** Equipos dedicados a la disminución de la granulometría del mineral extraído desde el Nivel de Producción, estos pueden ser Giratorios o de Mandíbula, el primero es más grande y se encuentra dentro de la mina; el segundo también se encuentra en el interior de la mina pero es de menor tamaño, ya que requiere menos espacio y pueden existir más de uno por Mina de acuerdo a la cantidad de producción que esta tenga. También están los Chancadores en el exterior de la mina, los cuales se encargan de reducir aún más el tamaño del mineral, para su posterior traslado a través de cintas transportadoras a los Condensadores.
- **Cruzados:** Denominados por las siglas XC, que pueden ser de acceso, ventilación o drenaje, al igual que los Adit, como por ejemplo XC-Acceso.

- **Desarrollo Horizontal:** Se denomina a todas las excavaciones horizontales que se realizan dentro de la mina, especialmente utilizado para referirse a las obras de desarrollo de Calles y Zanjias en los Niveles de Producción o en los demás Niveles que contempla el proceso de explotación subterránea de la División El Teniente, que determina la extensión horizontal que va a tener la mina en desarrollo.
- **Desarrollo Vertical:** Se denomina a todas las excavaciones verticales que se realizan dentro de la mina, especialmente utilizado para referirse a las obras de desarrollo de Piques de Traspaso, Chimeneas, Puntos de Vaciado, entre otros; que determina la extensión vertical que va a tener la mina en desarrollo.
- **Escalonamiento:** Diferencia de alturas que se produce entre las juntas transversales del pavimento producto de los ejes equivalentes de diseño.
- **Estallidos de Roca:** Fenómeno que se produce cuando el cerro, en la redistribución de las tensiones dentro del macizo rocoso, encuentra un lugar débil dentro de la galería y estalla, destruyendo cualquier infraestructura que esté inmediatamente delante del lugar donde se produjo el estallido. Generalmente afecta a los techos y muros de las galerías, rompiendo el refuerzo de malla-perno-hormigón, conocido también como shockcrete.
- **Frente de socavación:** Nombre dado a la dirección en la cual se produce el fenómeno de hundimiento en los niveles superiores al nivel de producción, correspondiente al nivel de hundimiento (UCL).
- **Galería(s):** Nombre con el cual se denomina a los túneles construidos dentro de la mina.
- **GRACE Enriching Lives, Everywhere:** Empresa extranjera interesada en el proyecto de las carpetas de rodado, que realizará los diseños de los hormigones.
- **Interior Mina:** Nombre correspondiente al interior de la mina, desde los Adit de acceso hacia adentro.

- **LHD:** Nombre denominado al equipo con que se extrae el mineral desde los puntos de extracción en los niveles de producción, sus siglas corresponden a las palabras en inglés “Load”, “Haul” y “Dump” (LHD), y que en español significan, “Carga”, “Transporte” y “Vaciado”.
- **Metaleros:** Nombre local con que se denomina a los trenes que transportan el mineral extraído hacia las afueras de la mina, ya sea hacia los chancadores o concentradores de acuerdo al proceso que se le esté dando al mineral.
- **Nivel de Hundimiento:** Conocido también como UCL, por sus siglas en inglés. Corresponde al primer nivel (el más superficial) de las labores de explotación minera, en el cual se realizan cortes basales al macizo rocoso para que, producto de la gravedad se comience a fracturar y caer hacia los Niveles de Producción, a través de las Bateas.
- **Nivel de Producción:** Este es el nivel en donde se producen las labores de extracción del mineral proveniente del hundimiento. En este nivel normalmente la extracción se realiza utilizando equipos LHD, los cuales extraen el mineral desde los puntos de extracción y son vaciado a los piques de traspaso de mineral
- **Nivel de Traspaso:** Es un nivel intermedio que poseen algunas minas, que permite clasificar y reducir el mineral mediante equipos denominados martillos rompe roca. Desde este nivel el mineral continúa hacia los niveles de transporte intermedios o principales de la mina.
- **Nivel de Transporte:** Es el nivel en donde se produce como lo dice su nombre, el transporte a través de camiones o trenes. Si el destino final de este mineral es la planta de chancado ubicada en superficie, este nivel se denomina en la Mina El Teniente Nivel de Transporte Principal y corresponde al nivel Teniente 8. En caso contrario se denomina Nivel de Transporte Intermedio.
- **Niveles de Ventilación:** Estos son los niveles que permiten la ventilación de los distintos niveles de la mina, haciendo circular el aire a

través de circuitos de chimeneas y Adit que van a permitir tanto la inyección como la extracción de aire a los niveles que requiera la mina.

- **Plan Quinquenal:** Plan de desarrollo a nivel de División de los sectores productivos de la mina, que comprende un lapso de 5 años, haciendo referencia a los sectores a explotar dentro de los niveles de producción, los efectos de estos sobre las demás infraestructuras, y las instalaciones necesarias para conseguir este propósito.
- **Polígono de Explotación:** Corresponde al área que define la explotación minera dentro del nivel de producción, en donde se realizará la extracción del mineral por los próximos 5 años.
- **Puntos de Vaciado:** Correspondiente a la obra de desarrollo vertical que permite el traspaso del mineral proveniente desde el nivel de producción hasta el nivel de acarreo o nivel traspaso según sea la configuración de la mina, la cual finaliza con un buzón, en el caso de que los Piques (puntos de vaciado) lleguen al nivel de acarreo; que permite la correcta regulación en la entrega de mineral al momento de cargar los carros del tren.
- **SIM:** Siglas para designar a la Superintendencia de Ingeniería Mina, encargada de la realización de todos los proyectos mineros y civiles dentro de la División El Teniente.
- **Zanja:** Nombre de la excavación horizontal que recibe desde el Nivel de Hundimiento, el material que cae a través de la Batea por acción de la gravedad.
- **Zanjas Activas:** Nombre dado al conjunto de zanjas que van a descargar en un mismo punto de vaciado, de una determinada calle en los niveles de producción.
- **Zona Crítica:** Nombre dado a la intersección entre una calle y una zanja para indicar que es el lugar por donde más cantidad de veces debe pasar el equipo al hacer el recorrido de carga y descarga del mineral.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del Problema

Al interior de la mina El Teniente se aprecia una diversidad de maquinarias y vehículos que transitan por las calles interiores, no sólo en los barrios cívicos sino que principalmente en las zonas de producción, siendo en estas donde se concentra el mayor impacto producto del tránsito pesado encargado de la producción. Este impacto se ve reflejado en las carpetas de rodado de los niveles de producción, en donde las fallas más importantes derivan en problemas en la cadena de producción, retrasando las faenas de extracción del mineral y el rendimiento de las maquinas.

A raíz de esto se ha implementado una diversidad de carpetas de rodado que varía tanto en su metodología de instalación como en los hormigones utilizados. Incluso en una misma calle se encuentran variadas alternativas y opciones de carpetas cuya vida útil está siendo afectada.

Como consecuencia de lo anterior, en varios sectores productivos de la mina se ha acumulado un deterioro importante en las carpetas de rodado, que no ha permitido alcanzar una vida útil de diseño estándar y coherente con la vida programada en los planes quinquenales de la División El Teniente para cada una de las minas. Un ejemplo de esto se encuentra en las minas Esmeralda y Reservas Norte, donde se han realizado diferentes pruebas para encontrar un diseño que permita un mejor desempeño para la mayoría de las condiciones ambientales preponderantes dentro de la mina, humedades altas durante todo el año, zonas con posibilidad de ciclos de hielos deshielo durante el invierno, y condiciones externas a la operación y diseño que no se pueden evitar, como los acomodamientos del cerro y los estallidos de roca.

Hoy en día para resistir estas condiciones extremas de uso, los diseños implementados son en base a hormigones de alta resistencia H70, con recubrimiento de hormigones sintéticos de alta resistencia específicamente Densitop de la marca Densit, que otorgan una mayor resistencia al impacto y a la abrasión. Con esto se ha obtenido un mejor desempeño ante la abrasión, pero no ha evitado la variación de las vidas útiles de los tramos dentro del mismo sector productivo.

Lo que busca esta investigación en una primera etapa es diagnosticar el estado de las carpetas más comprometidas en el nivel de producción de la Mina Esmeralda, en función de los tipos de fallas encontradas tanto en el origen como en los procesos involucrados en la aparición de estas. Para luego a través de una comparación entre diseños teóricos, determinar las variables más influyentes en el comportamiento de la carpeta, planteando un diseño que busque eliminar la incertidumbre en la vida útil y permita un mayor tiempo de uso, compatible con los años de vida útil de los sectores productivos, en los niveles de producción de la mina Esmeralda.

1.2. Hipótesis de Investigación

Es posible determinar los factores que afectan a la durabilidad de las carpetas de rodado en el nivel de producción de la Mina Esmeralda, de tal manera que permita plantear diseños teóricos con recomendaciones del Manual de Carreteras que pretendan mejorar, apoyados por futuras investigaciones, el promedio de vida útil y el rendimiento de las carpetas de rodado.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Diagnosticar el por qué de la variabilidad en las vidas útiles de las carpetas de rodado, a través de las fallas presentes en ellas en el nivel de producción de la mina Esmeralda. Para luego proponer un diseño teórico que avalado por futuras investigaciones, permita reducir esta variabilidad y otorgue una mayor serviciabilidad para las carpetas en relación al diseño actual.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Establecer las fallas más recurrentes en las carpetas de rodado del nivel de producción, en la mina Esmeralda.
- Determinar el origen y procesos involucrados en la aparición de estas fallas.
- Determinar diseños teóricos que propongan una mejora en el desempeño actual de las carpetas de rodado en el sector mencionado anteriormente.

1.3.3. Alcances

El área en que está acotada esta investigación dentro de la División El Teniente corresponde al Nivel de Producción de la Mina Esmeralda, debido a la variedad de carpetas presentes en ese sector, tanto en resistencias a la compresión, como en recubrimientos anti abrasivos, que en comparación otras minas dentro de la división, es la con mayor experiencia respecto a carpetas de rodado.

1.3.4. Pregunta de Investigación

¿Cómo determinar los factores más importantes en el deterioro temprano de las carpetas de rodado que permitan proponer a través de diseños teóricos, una mayor utilización frente a las demandas de disponibilidad por parte de la operación minera?

1.3.5. Metodología

A través del siguiente esquema se pretende explicar las actividades más importantes desarrolladas en el transcurso de esta investigación, que permiten la realización de los objetivos planteados anteriormente.

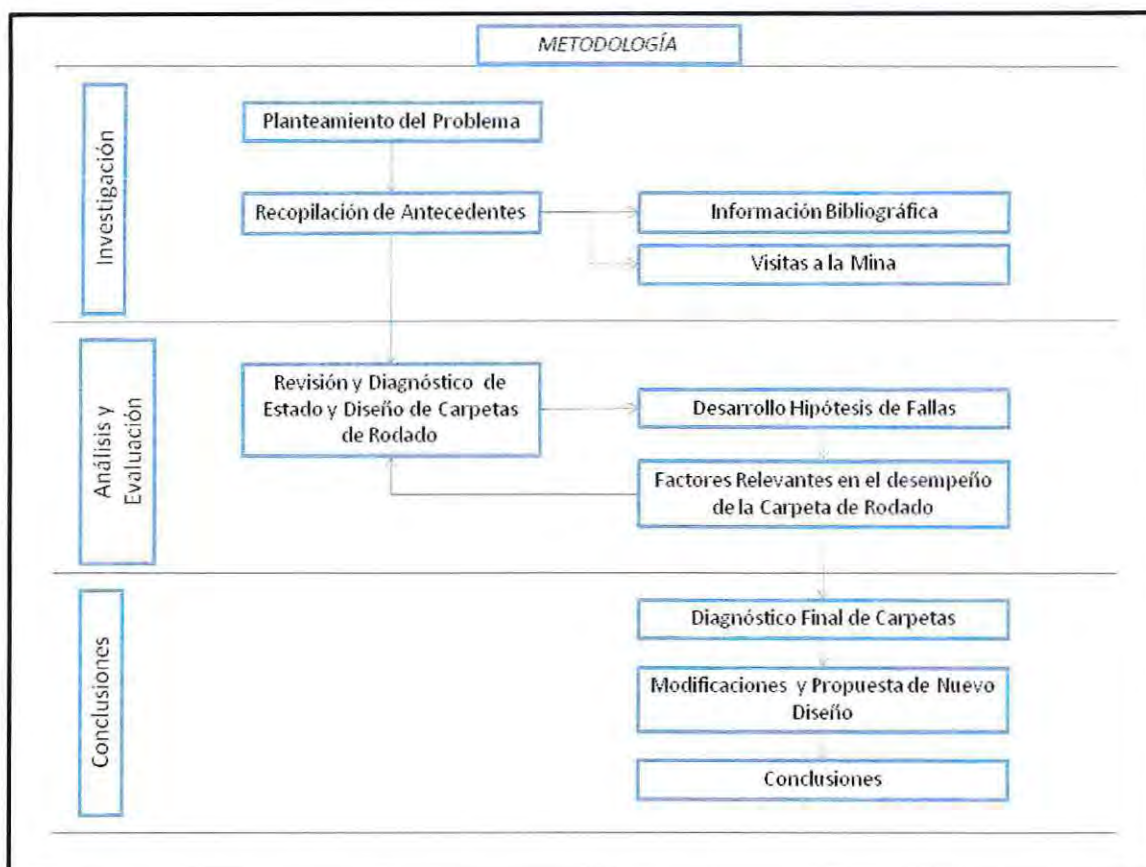


Figura N° 1: Esquema de la metodología de trabajo.
Fuente: "Elaboración Propia".

La primera etapa considera la realización de un catastro de la documentación existente en el área de diseño civil sobre la construcción y diseño de carpetas de rodado. Luego a través de visitas a las diferentes minas, se contrastara esta información y se procederá a la elección del área de estudio, que contempla la mayor cantidad de diseños y fallas encontradas dentro de la mina.

En la segunda etapa se plantean hipótesis sobre el origen de las fallas, analizando los procesos que están involucrados en su aparición, especialmente la acción de los equipos de producción sobre la superficie de las carpetas de rodado.

Una vez determinado el diagnóstico final, que permita comprobar el origen de la mayoría de las fallas presentes en las carpetas de rodado, se procederá a evaluar soluciones del tipo teóricas que asimilen de la mejor manera las condiciones ambientales y las cargas extremas, presentes en el nivel de producción de la mina Esmeralda, para que luego de una comparación entre sí, determinar el diseño más óptimo para ser realizado en futuras pruebas dentro de este nivel de producción.

CAPÍTULO II: ANTECEDENTES

2.1. Descripción general del Nivel de Producción

El nivel de producción es aquel nivel dentro de la mina en el cual se produce la extracción del mineral de cobre, por medio de los equipos LHD para su posterior traslado hacia el nivel de acarreo a través de piques de traspaso.

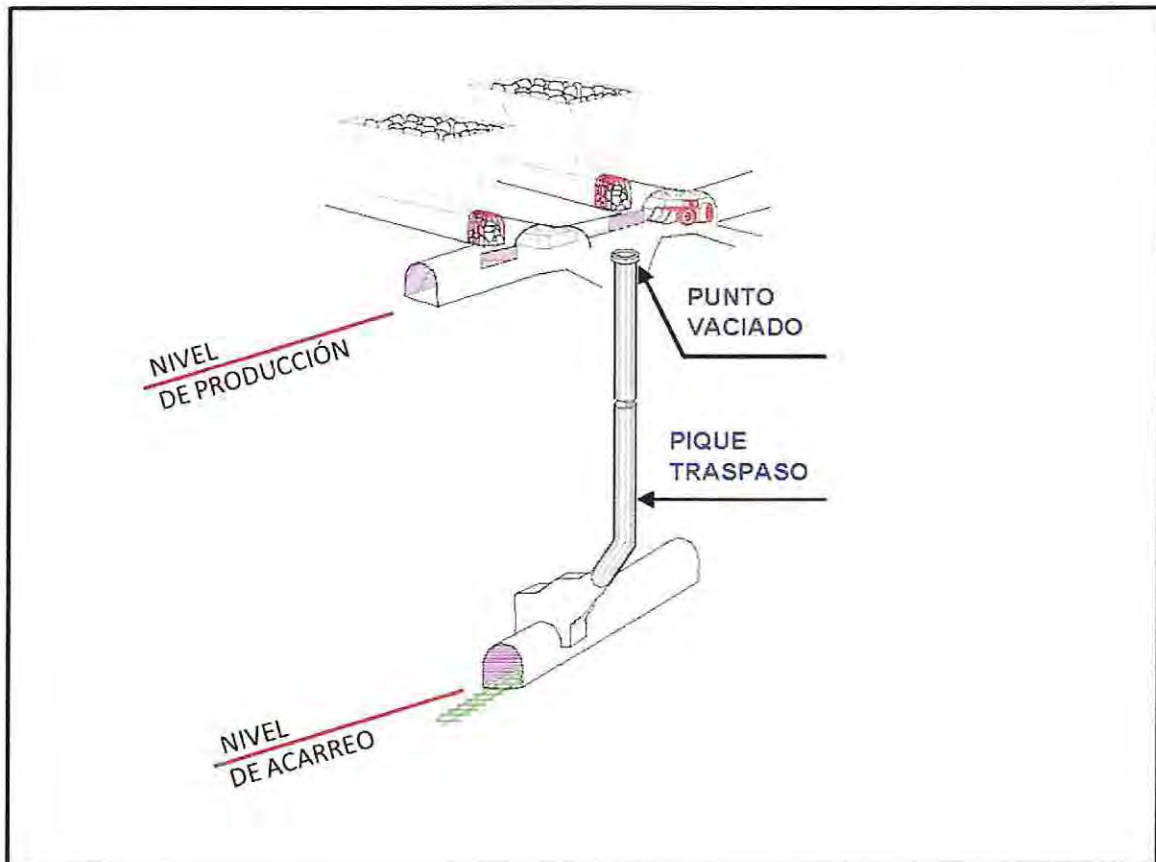


Figura N° 2: "Sistema de traspaso de mineral, mina Esmeralda"
Fuente: "Informe de gestión DPM 2009".

Dentro del nivel de producción se aprecia una serie de túneles que lo cruzan de norte a sur llamados calles, donde se encuentran los puntos de vaciado y otros túneles que cruzan a estas calles llamados zanjas, donde se encuentran los puntos de extracción. Estos últimos conectan el nivel de producción con el nivel de hundimiento a través de bateas, que permiten un flujo regulado de mineral dependiendo de la granulometría con que se esté fragmentando el macizo rocoso.

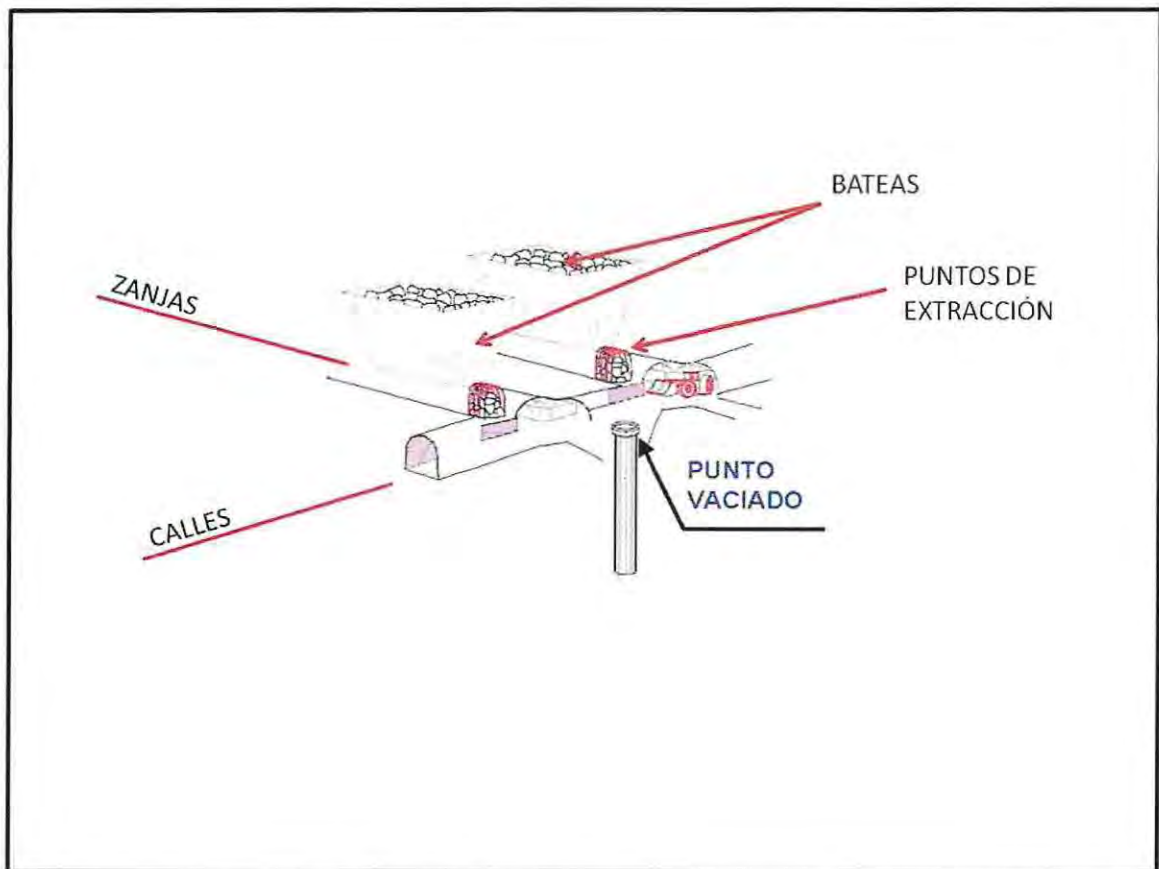


Figura N° 3: "Nivel de Producción, mina Esmeralda"
 Fuente: "Informe de gestión DPM 2009".

En las calles del nivel de producción es por donde transitan la mayor cantidad de tiempo los equipos de extracción, debido a su recorrido para extraer y descargar el mineral a los puntos de vaciado. La carga producida por este tránsito es traspasada hacia la roca primaria que queda expuesta después del desarrollo y construcción de las galerías, a través de las carpetas de rodado, otorgando una superficie uniforme para el tránsito adecuado de los equipos de extracción.

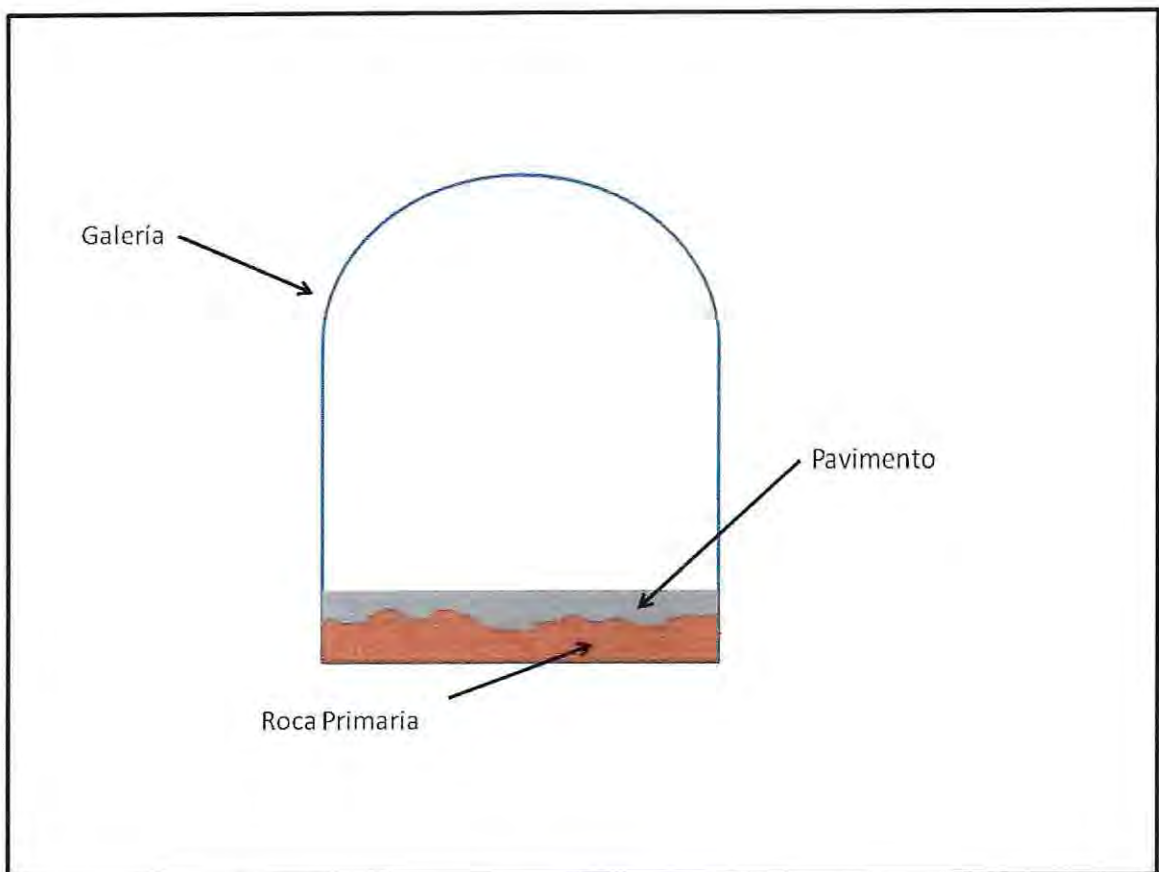


Figura N° 4: "Sección tipo, Calle Nivel de Producción, mina Esmeralda"
Fuente: "Elaboración Propia".

2.2. Pavimentos usados en la minería

En el transcurso de la minería en Chile, se ha utilizado una diversidad de pavimentos capaces de otorgar una superficie de rodado competente con las necesidades de la operación minera en los niveles de producción, evolucionando a la par con las técnicas de extracción del mineral.

2.2.1. Pavimentos de Estabilizado Compactado o Grava

De acuerdo al párrafo anterior, el primer tipo de pavimento consideró la utilización de material granular estabilizado y compactado, proveniente de los desarrollos y/o excavaciones de las galerías al interior de la mina, o de plantas ubicadas en el exterior.

En estos se requería una mantención periódica debido al tránsito de los equipos LHD y a la infiltración de aguas ácidas presentes en el nivel de producción, que los hicieron poco viables en el tiempo.

2.2.2. Pavimentos en Roca Nivelada

Buscando una solución al problema que presentaba el pavimento anterior se optó por retirar esa capa de estabilizado compactado, remplazándola por el relleno de las depresiones más importantes presentes en el terreno natural, a través de los residuos de rocas producto del desarrollo de las galerías, lo que brindó una nivelación al terreno existente más económica que la solución anterior.

El problema que se presentó con este tipo de pavimentos, fue la cantidad de irregularidades que aparecieron producto de la disgregación del material de relleno, trayendo como consecuencia principal un alto impacto sobre los neumáticos y suspensión de los LHD, aumentando el presupuesto de mantención de estos equipos.

2.2.3. Pavimento con bloques de hormigón o articulado

Producto de los problemas que tuvieron los pavimentos realizados con roca estabilizada y/o de relleno, se optó por la utilización de hormigón como superficie de rodado para los equipos. Esta superficie se conformó a través de bloques de hormigón similares a los adoquines, que proveyeron un pavimento articulado y con mejor acabado que los anteriores.

El inconveniente surgió ante la acumulación de agua por debajo de estas piezas de hormigón, provocando en algunos casos la pérdida de trabazón entre los bloques y su posterior desarme, debido a su alta reacción con las aguas ácidas presentes en los niveles de producción.

2.2.4. Pavimento Asfáltico

Los pavimentos de asfalto entonces aparecieron como una buena solución ante la problemática que estaba trayendo la reacción de los áridos y la mezcla de hormigón con las aguas ácidas presentes en los niveles de producción, debido principalmente a su poca o nula reacción ante los agentes ácidos.

La desventaja apareció a los pocos meses de uso de estas carpetas, provocada por el ahuellamiento y abrasión en la línea de los neumáticos, aún cuando se utilizaron geotextiles para mejorar la resistencia entre capas y evitar el deslizamiento producto de la tracción de los LHD.

2.2.5. Pavimentos de Hormigón

Considerando los factores que afectaron los diseños anteriores de pavimentos, se decidió volver al hormigón pero esta vez utilizándolo como carpeta y no en bloques, que ofreció una mayor resistencia tanto al desgaste como a la compresión. Esa variación combinada con una mejor dosificación de la mezcla le dio al hormigón una baja permeabilidad ante las aguas ácidas, mejorando su desempeño ante las cargas de tránsito, pero que no otorgó una solución definitiva para las carpetas de rodado.

2.3. Resumen

Se pudo apreciar que los diferentes diseños de pavimentos utilizados en los niveles de producción, que pretendían otorgar una superficie de rodado óptima a los equipos de extracción, no lograron satisfacer en durabilidad las demandas de la operación minera, debiendo ser reparados continuamente en desmedro de la producción.

Actualmente se pueden apreciar diseños de pavimentos compuestos de una carpeta de hormigón de alta resistencia, con un acabado superficial de hormigón sintético que reduce significativamente el desgaste producido en la superficie de las carpetas.

2.4. Exposiciones de las carpetas de Hormigón

2.4.1. Solicitaciones de las LHD

Las solicitaciones más importantes que deben absorber las carpetas de rodado son las producidas por los equipos LHD, de las cuales derivan también las solicitaciones por impacto y abrasión por efectos del acarreo de mineral, a través del arrastre o caída de rocas sobre la superficie del pavimento.

Estas solicitaciones son transferidas a la carpeta a través de los ejes de estos equipos, que varían en peso de acuerdo a su estado de carga como lo muestra la siguiente tabla.

Tabla N°1

“Distribución de Pesos LHD”

Eje	Vacio	Cargado
Delantero	12.516 Kg	28.000 Kg
Trasero	17.284 Kg	12.000 Kg

Fuente: “Manual Técnico Caterpillar R1600G”.

La siguiente figura muestra un equipo LHD entrando en una zanja para extraer el mineral.



Figura N° 5: “LHD enfrentando a Frontón de Mineral”.

Fuente: “Imágenes varias de equipos mineros”.

2.4.2. Aguas Ácido-Sulfatadas

Aparte de las solicitaciones de carga que deben enfrentar las carpetas de rodado, existen las exposiciones ante los agentes ambientales agresivos al interior de la mina, principalmente concentración de sulfatos en las aguas y ciclos de hielo-deshielo en los meses de invierno, dejando propenso al hormigón para una descomposición temprana.

La siguiente tabla corresponde a la composición química del agua en la mina Teniente 4, en su nivel de producción.

Tabla N° 2

“Muestra de aguas agresivas sector Tte. 4”.

Parámetro	Muestra 1	Muestra 2	Promedio
PH a 20° C	4,9	2,9	3,9
Cloruros (Cl.-) en mg/L	71	1.914	993
Sulfatos (SO4) en mg/L	2.217	9.730	5.974

Fuente: “Hormigones de Alta Resistencia, Seguel Herrera 2006”.

Como se aprecia en la tabla anterior existe una notoria diferencia entre ambas muestras, debido a que la muestra 2 fue tomada más cerca de la superficie por lo que quedó expuesta a mayor infiltración de lluvia y nieve, con los respectivos sulfatos y ácidos.

Estos datos comparados con la Norma Chilena NCh 170 Of. 85 “Hormigón Requisitos-Generales”, muestran que los niveles de exposición a los sulfatos representan una exposición severa aun habiendo diferencia entre las 2 muestras, ya que ambas superan los límites mínimos de exposición a sulfatos para que sea severa, que es de 1.500 ppm (mg/L), como lo muestra la siguiente tabla.

Tabla N° 3

“Grado de ataque ante exposición a sulfatos según NCh 170 Of. 85”.

Exposición a Sulfato	Sulfatos (SO4) en Agua, ppm (mg/L)
Insignificantes	0 – 150
Moderada	150 – 1.500
Severa	1.500 – 10.000
Muy Severa	Sobre 10.000

Fuente: Nch 170 of. 85 “Hormigón Requisitos-Generales”.

2.5. Situación Actual Mina Esmeralda

Al realizar una revisión de la documentación con respecto al diseño y construcción de carpetas de rodado en los niveles de producción, presente en el área de diseño civil de la SIM, se encontró que los diseños de pavimentos implementados en el nivel de producción de la mina Esmeralda, no concordaban en su totalidad con los registrados como aptos para la construcción de carpetas de rodado, procedentes de la misma SIM.

Consciente de este problema la SIM en el año 2007 realizó un diseño estándar para la construcción de las carpetas de rodado en los niveles de producción de la División El Teniente, con el propósito de disminuir la variabilidad en la duración y reparaciones de las carpetas de rodado.

Para evaluar el resultado del plan regulador planteado con anterioridad, en Agosto de 2010 se realizó otra visita al interior de la mina, observando los diseños que estaban siendo implementados hasta ese entonces, comparándolos con el estándar propuesto tres años atrás.

El resultado de este catastro no cumplió con las expectativas de la SIM, debido a que se encontraron nuevamente con diferencias en los diseños que no estaban registradas en la SIM, pero que si estaban aprobados por el Departamento de Preparación Minera (DPM). Esas diferencias encontradas fueron particularmente en cuanto al hormigón a utilizar y específicamente a su resistencia, variando desde H50 hasta H80, dando como resultado una variación en las reparaciones de los diferentes niveles de producción.

Tabla N° 4

"Evolución Reparaciones en Metros Interior Mina".

Sector	Unidad	Real 2009	Acumulado 2010	Presupuesto 2010	Presupuesto 2011
Diablo Regimiento	ml	368	161	497	300
Esmeralda	ml	433	302	40	640
Pilar Norte	ml	0	0	0	120
Pipa Norte	ml	0	0	0	50
Puente	ml	40	81	100	100
QT/SAP	ml	0	0	0	200
Reno	ml	470	136	1.045	1.300
Tte. 4 Sur	ml	445	399	600	330
Total		1.756	1.079	2.282	3.040

Fuente: "Reparación Carpetas de Rodado, Agosto 2010".

Estas variaciones no solo afectaron a los presupuestos de reparaciones dedicados a cada mina, sino que a su vez la inversión involucrada en estas reparaciones proyectada para cada año, en los diferentes sectores o minas dentro de la División El Teniente.

Tabla N°5

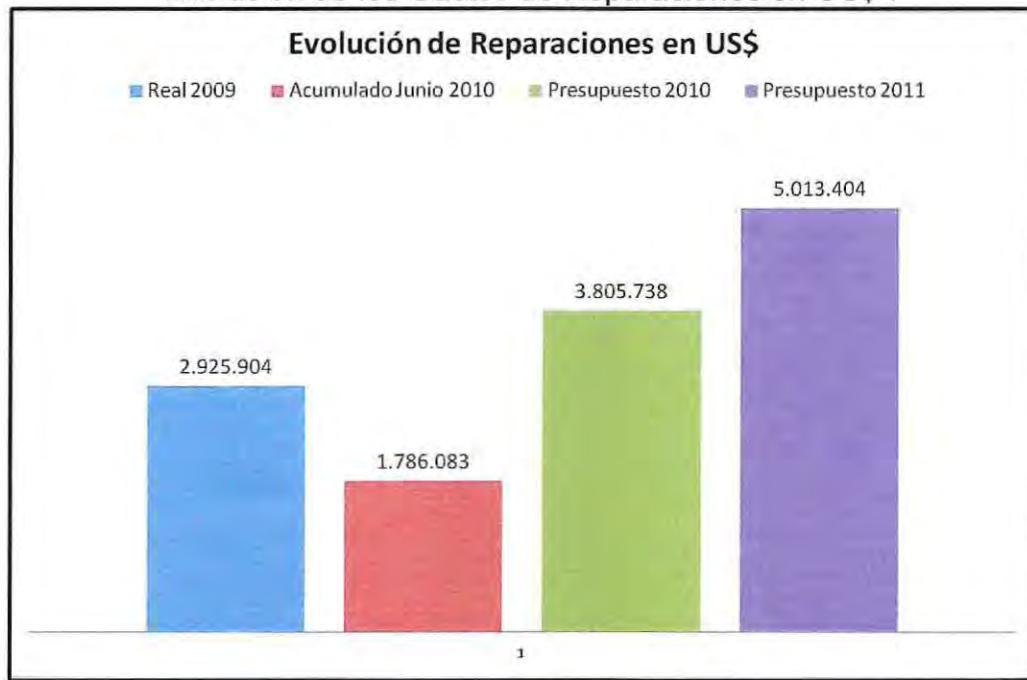
"Evolución Presupuesto Reparaciones en US\$".

Sector	Real 2009	Acumulado 2010	Presupuesto 2010	Presupuesto 2011
Diablo Regimiento	665.800	291.288	899.192	542.772
Esmeralda	705.061	491.752	65.133	1.042.122
Pilar Norte	-	-	-	195.398
Pipa Norte	-	-	-	90.462
Puente	65.133	131.894	162.832	162.832
QT/SAP	-	-	-	325.663
Reno	765.309	221.451	1.701.591	2.116.811
Tte. 4 Sur	724.601	649.698	976.990	537.344
Total	2.925.904	1.786.083	3.805.738	5.013.404

Fuente: "Reparación Carpetas de Rodado, Agosto 2010".

Gráfico N°1

“Evolución de los Gastos de Reparaciones en US\$”.



Fuente: “Reparación Carpetas de Rodado, Agosto 2010”.

Por lo tanto en el nivel de producción de la mina Esmeralda, existe una variedad de diseños de carpetas de rodado que no han permitido satisfacer las necesidades impuestas por la operación minera en cuanto a durabilidad, obligando a realizar todas estas modificaciones mencionadas con anterioridad, yendo en desmedro de la producción debido al alza en las reparaciones que se pudo apreciar en el gráfico anterior; naciendo la necesidad de un diseño de pavimentos, capaz de disminuir estas variaciones de durabilidad y comportamiento.

CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO

3.1. Hormigones

3.1.1. Durabilidad del Hormigón

Toda estructura de hormigón debe cumplir sus funciones, esto es, mantener la resistencia requerida durante el período de vida especificado, o tradicionalmente esperado. (Red Técnica Grupo Polpaico, 2010). Hoy en día hay muchos factores que reducen este periodo de vida, produciendo fallas en los hormigones y creando la necesidad de hacer trabajos de mantención rutinarios, que permitan aumentar o mantener la durabilidad requerida para el hormigón.

Dentro de las causales por las que se producen estos fallos se tienen los siguientes tipos de agentes:

- Físicos, que producen altas temperaturas y expansiones térmicas diferenciales entre la pasta y los áridos.
- Químicos, que producen Anhídrido Carbónico, CO₂, Sulfatos, Cloruros y Líquidos y Gases que pueden ser Naturales o Industriales
- Mecánicos, de impacto, sulfatos, desgaste, erosión y carbonatación.

“Cada uno de estos agentes produce distintos daños en el hormigón, los cuales pueden ser asimilados tanto en las distintas etapas del diseño de un hormigón, ya sea en la dosificación, colocación y posterior uso en las obras. Por lo que el destino de uso va a definir la dosificación de los componentes del hormigón, lo que respaldado con ensayos de laboratorio va a permitir presuponer cual será el comportamiento del hormigón diseñado cuando se encuentre sometido a las exigencias de la obra y de los agentes ambientales en los que estará expuesto” (Ponce. De Maio, 2001).

“Ahora bien, cuando un hormigón presenta problemas, habiéndole realizado controles en las etapas de colocación y demases, la causa más probable de estos es el no haber estimado un “diseño de durabilidad”, acorde a las condiciones ambientales, que son determinantes en el desempeño que va a tener el hormigón durante su vida útil” (Ponce. De Maio, 2001).

Por estas razones se hace necesario analizar la influencia que tiene el medio ambiente sobre el desempeño futuro del hormigón, específicamente las reacciones que produce dentro de éste y que lo llevan a perder sus características resistentes deseadas.

3.1.2. Reacciones del Árido y de la Pasta

Las primeras reacciones que se pueden analizar son las árido-álcali, las que consisten básicamente en que ciertos tipos de áridos reaccionan con las álcalis de la pasta de cemento, produciendo un gel que si entra en contacto con la humedad se expande, provocando presiones internas en el hormigón que lo llevan al debilitamiento. Para poder disminuir el efecto de este fenómeno es necesario conocer las causales que lo producen y los factores a controlar para que en la medida de lo posible, se disminuya el riesgo de que los hormigones tengan esta reacción.

El primer factor que se puede identificar y que va a afectar a la reacción árido-álcali (RAA) es de acuerdo a las formas reactivas del sílice en el árido, encontrándose generalmente en áridos como el Ópalo, Calcedonia, Tridimita o Crisobalita, Vidrio Volcánico y Cuarzo Deformado o Micro cristalino, estando este último presente en el Granito, Gneis, Grauvaca, Argilita, Filita, Arenas y Gravas naturales; los que deben estar presentes en concentraciones mayores al 3% para afectar a la RAA.

El segundo factor que influye para la aparición de la RAA es el alto contenido en álcalis de la solución de poro, lo que aumenta el pH del hormigón y por lo tanto el potencial para que la RAA se desarrolle. El tercer factor es la cantidad de humedad que se encuentra en el ambiente de trabajo, que fomenta la expansión del gel producto de la absorción de esta última, que puede producir fuerzas mayores a 10 MPa en todas direcciones. Generalmente esta expansión se ve en hormigones que están expuestos a humedades relativas de alrededor del 80 %. Esto puede ser disminuido con el aumento de la impermeabilidad del hormigón, lo que se puede lograr adicionando materiales cementicios suplementarios y/o usando relaciones agua/cemento bajas.

El cuarto factor que afecta a la RAA es el contenido de álcalis del hormigón, ya que este por sí mismo la trae, lo que al mezclarlos con áridos altamente reactivos, produce una RAA importante. Esto se puede evitar limitando las

cantidades de álcalis con que venga el hormigón, para así disminuir la posibilidad de una RAA muy grande.

El quinto factor, es similar al anterior pero hacer referencia a los álcalis externos, los que pueden ser aportados por sales de deshielo, agua de mar, aguas subterráneas y aguas de procesos industriales. Para evitar esto se debe reducir la permeabilidad del hormigón, y si es posible también protegerlo con cubiertas impermeables.

El sexto factor que afecta a la RAA son los ciclos de humedad-secado que este tiene, es decir cuando el hormigón posee un alto contenido inicial de agua y no se seca adecuadamente, desarrollando una alta humedad relativa interna. Para disminuir esto es deseable realizarle al hormigón un buen drenaje que permita disminuir la humedad disponible para los ciclos de humedad-secado.

Y el último factor que influye para la generación de RAA es la temperatura, ya que un hormigón expuesto a altas temperaturas tiene mayor susceptibilidad a padecer de RAA que uno a bajas temperaturas.

Otro factor que va a afectar al hormigón tiene relación con su permeabilidad al oxígeno, esta propiedad afecta directamente en la resistencia de los hormigones, y que viene determinada por su método de curado, ya que es en esa etapa cuando se producen los poros para la permeabilidad.

Este fenómeno hace que el pH de los poros de agua del hormigón baje considerablemente de 13 a 9, haciendo que pierda su capacidad de resistir ataques ácidos, desapareciendo su capa de pasividad sobre las armaduras afectándolas por la corrosión rápidamente. También produce que el hormigón pierda consistencia, bajando su resistencia al desprenderse, haciendo que este se salga más fácilmente dejando a las armaduras en contacto directo con los agentes corrosivos del medio ambiente.

Por último existen 2 reacciones más que afectan al hormigón, las que son menos comunes, la primera consiste en la reacción de álcali-sílice (RAS), que es la misma que la RAA pero los áridos tiene forma de sílice; la que afectará si en se encuentra una proporción entre el 1 y 5% en los áridos del hormigón; esta produce expansiones relativamente rápidas, las que se observan dentro de los primeros 10 años posteriores a la construcción del hormigón.

La siguiente hace referencia a la reacción de álcali-sílice-silicato (RASS), o de expansión lenta, que se produce cuando los álcalis reaccionan con los áridos

con cuarzo deformado o angulado; esto produce expansiones lentas que dependen de muchos factores, las que se podrán ver pasados los primeros 20 años desde la construcción del hormigón.

En general estas interacciones se activan por agentes externos al hormigón, los cuales entran en él y generan la reacción, para evitar esto se debe mejorar la densidad de la mezcla del cemento, limitando la migración de aguas y/u oxígeno con agentes contaminantes que deterioren las características químicas del hormigón.

3.1.3. Hormigones de Alta Resistencia

Para solucionar los problemas anteriores nace la necesidad de crear hormigones que resistan no sólo de buena manera las condiciones de uso a las que estarán expuestas a lo largo de su vida útil en referencia a las cargas, sino que también deberán resistir de manera correcta a la interacción que tendrán con el medio ambiente, la que se podrá transformar en el agente determinante en la durabilidad de los hormigones.

“En esta dirección el cemento Portland ha contribuido sustancialmente al desarrollo de hormigones de alta resistencia, implementando nuevos conocimientos en la ciencia del hormigón permitiendo que se sitúe como el material predilecto para la construcción que requieran estándares elevados” (Juan José Dopico, Mayo 2008).

“En la actualidad para lograr un cemento de alta resistencia se utilizan una gran variedad de cementos mezclados, los cuales están compuestos principalmente por materiales inorgánicos utilizados para reducir el consumo de cemento, dentro de los más utilizados son las cenizas volantes, escorias granulares, micro sílice y otras puzolanas naturales o calcinadas que se consideran como adiciones minerales” (Fernando Martinera Hernández, Mayo 2008).

Para generar hormigones resistentes se debe considerar en primera instancia su dependencia a las propiedades de las puzolanas y del clinker utilizados para la confección de este, y la relativa proporción de los productos de reacción que dependen de las características químicas y a mineralógicas de las puzolanas utilizadas, dando como resultado productos de reacción como el silicato cálcico hidratado (CSH) y pequeñas cantidades de estringita, hidrogranate y aluminatos

hidratados; que afectan directamente a las propiedades resistentes del hormigón no solo físicas y mecánicas, sino que químicas también.

Esto debe presentar cuidado al momento de agregar algún aglomerante cal-puzolánico o cemento mezclado, ya que el exceso crea una nucleación de Hidróxido de Calcio (HC) adicional no disuelto, principalmente debido a la alta superficie específica de este, que estando presente en edades tempranas del hormigón acelera la reacción puzolánica, haciendo que fragüe antes de lo normal, con una mejora considerable en todas sus capacidades resistentes.

3.1.4. Uso de adiciones minerales en el Hormigón

Estas adiciones minerales de alta finura ayudan al mejoramiento de las cualidades del hormigón, reflejadas en efectos físicos tal como el incremento de la compacidad, o físico-químicos como los nuevos productos de reacción formados durante la reacción puzolánica. En ambos casos el resultado final es similar, la porosidad del hormigón disminuye y la distribución y tamaño de los poros se hacen más pequeños.

En hormigones de resistencia normal, las puzolanas son añadidas para reducir los costos mejorando los valores de resistencia y durabilidad de la masa endurecida. En tales casos, las puzolanas ayudan a mejorar la compacidad de los sólidos, pero el rol primario es proveer silicato cálcico hidratado (CSH) por medio de la reacción con el agua y el hidróxido cálcico (HC) proveniente de la reacción del cemento portland.

“Algunas de esas puzolanas altamente reactivas (como el caso de la sílica fume) son añadidas en pequeñas proporciones y ayudan a mejorar los valores de resistencia a edades tempranas así como también la durabilidad a mayores edades” (Shannang y Yeginobali, 1995; Singh, 2000).

“En los hormigones de alta y ultra-altas prestaciones, el fin primario es optimizar la distribución de tamaño de partículas, especialmente las finas. El uso de plastificantes de alto poder dispersante permiten obtener mezclas con baja relación agua-aglomerante, por lo que el hormigón resultante tiene una alta resistencia, alta compacidad y por ende baja porosidad. En muchas de estas mezclas la sustitución de cemento Portland es menos del 15%” (Malhotra y Mehta, 1996; Zhang et al.1, 1996; Aitcin, 2000).

“Conservadoramente, en hormigones con altos volúmenes de cenizas volantes, las adiciones minerales son mucho más altas que en los hormigones de cemento portland ordinario, y la relación agua/aglomerante mucho más baja, por lo que la resistencia a los 28 días está en el rango de los 60-90 MPa, muy lejos de los calores obtenidos en hormigones con el 100% de CPO” (Bouzoubaa et al., 1998; Lam et al, 2000, Poon et al, 2000).

“Las adiciones minerales o puzolánicas ejercen una doble función en estos casos. Las finas partículas puzolánicas llenan los espacios vacíos entre los granos de cemento y entre el resto de los granos puzolánicos mejorando la compactación. Solo una pequeña parte de las adiciones puzolánicas, menos del 20% reacciona. La resistencia a la compresión no se corresponde con el bajo nivel de hidratación se alcanza, lo que es atribuible a la contribución de la interacción eléctrica entre las partículas más finas de las cenizas volantes” (Lam et al., 2000; Qualin et al., 2003).

“La reacción puzolánica en muchas puzolanas es significativa después de los 7 días, cuando la mayoría de los productos de reacción del cemento ya se han formado y la concentración alcalina es considerable para romper los enlaces y facilitar la formación de productos de reacción del cemento. En muchos casos y dependiendo de la reactividad de la puzolana, muchas de las reacciones finalizan en los primeros 60 días” (Shannang y Yeginobali, 1995; Jamal, 1995, Malhotra y Mehta, 1996). “Sin embargo, el uso de grandes volúmenes de adiciones puzolánicas incrementan el riesgo de la auto-neutralización debido al excesivo consumo de hidróxido de calcio durante la reacción puzolánica. Una caída significativa en el pH, puede causar la disolución de otros productos de reacción y la destrucción de la matriz cementicia” (Groves y Richardson, 1994).

3.2. La Minería

3.2.1. Proyecciones

“La minería en Chile tiene un rol importante dentro del desarrollo del país, y esto lo ha venido demostrando durante los últimos años, en los cuales ha sido un agente importante en las políticas de ahorro de la nación, a tal nivel que en los últimos años ha superado las expectativas pronosticadas por el estado, al proveer aproximadamente US\$ 3.600 millones para el año 2009, lo que será

cuadruplicado según nuevas estimaciones, llegando a un aporte aproximado de US\$ 15.000 millones, sumando los aportes de la empresa estatal Codelco y las Mineras Privadas". (Pamela Jimeno y Carola Pizarro, Negocios-Noticia 08 de Marzo de 2010, La Tercera).

"Estas proyecciones crean grandes expectativas sobre la producción de la minería en Chile, ya que si el aporte de la empresa estatal Codelco alcanza los US\$ 7.000 millones y la minería privada logra igualar los excedentes de Codelco en lo que son impuestos y pagos al Fisco, la minería podría aportar al Estado casi US\$ 15.000 millones mencionados anteriormente". (Santiago González, Ex-Ministro de Minería, 08 de Marzo de 2010)

"La importancia de alcanzar estas proyecciones toma mayor relevancia este año, al ocurrir la catástrofe del 27 de Febrero, que desequilibró los planes que hasta ese minuto existían para el crecimiento del país. Pero como hemos estado analizando la minería ha dado grandes sorpresas, y en la medida que el cobre se mantenga sobre los US\$ 3 por libra habrán ingresos necesarios para la reconstrucción". (Patricio Rojas, socio de Rojas y Asociados, 08 de Marzo de 2010).

Para que lo anterior sea sustentable en el tiempo y los precios considerados rindan fruto, es necesario que los agentes involucrados tomen las medidas correspondientes, específicamente en referencia a la actuación del estado chileno, el cual debe propiciar las condiciones para que estas proyecciones se cumplan.

"En función de lo anterior el Estado ha tomado una serie medidas para los próximos años partiendo del actual, que pretenden impulsar y sustentar la inversión minera en Chile" (Ministerio de Minería, 2010). Dentro de las cuales destacan, el Programa de Aceleramiento de Permisos, destinado a acelerar (en el marco del cumplimiento normativo), los permisos necesarios para que la inversión en proyectos mineros efectivamente se materialice en los plazos óptimos.

Nuevos Proyectos de Inversión Enami, enfocados a la pequeña y mediana minería, que tiene relevancia social y económica en el norte de nuestro país, permitirán entregar asesorías técnicas a las más de 2.600 empresas mineras en los inicios de sus operaciones agregando valor a sus actividades extractivas, para llevar su producción de cobre a los mercados internacionales.

Actualización del Decreto Supremo N° 76, el que regula los modelos de precios se sustentación y crédito que otorga la Enami a los pequeños mineros, la cual permitirá crear un modelo de precios de largo plazo sustentado en variables exógenas, cuya determinación sea independiente de la negociación comercial, aumentando la objetividad y transparencia de los sistemas de fijación tarifarias del material. Lo que permitirá además, apoyar a las pequeñas y medianas empresas en sus programas de planificación de producción y ventas.

Fomento a la Exploración Minera, que permitirá el crecimiento de esta, ya que siendo Chile actualmente un líder indiscutido en la producción de cobre mundial, con una participación del orden del 35%, no han crecido las tasas de exploración, ubicando al país en el séptimo lugar del ranking de exploración mundial, superado solo por un 5% por Perú, que actualmente es el segundo productor de cobre mundial. (Ministerio de Minería, 2010)

3.2.2. Participación de Codelco

“Es por este motivo que Codelco se ha propuesto ser líder mundial en la producción de cobre, empezando por aumentar su producción, que en el año 2008 alcanzó una cifra de 1.548 miles de toneladas de cobre fino, lo que corresponde a un 10.2% de la producción mundial de cobre refinado”. (Memoria Anual 2009, Corporación Nacional del Cobre de Chile).

Para lograrlo, no sólo es necesario un aumento en su producción, sino que una mejora en los procesos de explotación y tecnologías involucradas en estos. La innovación tecnológica ha sido una de las palancas para alcanzar el nivel de producción actual, que desde el año 1996 está vigente en políticas de investigación e innovación, focalizando los esfuerzos hacia los desafíos minero-metalúrgicos de los yacimientos propios, para los que el mercado no tiene soluciones, siendo necesario que la misma empresa desarrolle soluciones.

“Bajo esta premisa, desde el año 2000 se ha aplicado el concepto de “Top Down”, a la innovación y tecnología, que alinea los desafíos estratégicos de Codelco con un conjunto de Programas Tecnológicos Corporativos, que son de largo alcance y requieren entre 5 a 10 años para su validación, que permiten sustentar la actividad en un horizonte de tiempo adecuado” (Estrategia Corporativa, Codelco 2010).

Otra herramienta importante para alcanzar los estándares deseados, ha sido el promover alianzas para la investigación e innovación tecnológica con universidades, institutos de investigación y empresas. Basándose en la relación que hay entre el nivel de madurez de oportunidad y el valor que se espera de ella, se identifican 3 formas de interacción. La primera, referente a estudios exploratorios o investigación básica, con valor incierto o bajo, que quedan en las manos de universidades o consorcios colaborativos multi empresas.

La segunda trata de proyectos con valor esperado medio o bajo, cuya madurez tecnológica es avanzada, como es el desarrollo de prototipos de equipos y su posterior validación, quedando en manos de empresas del mercado dedicadas a su construcción, siendo probados en una División de Codelco, para luego, si sus resultados son óptimos, aplicarlos como mejora tecnológica.

Por último, es cuando hay iniciativas de alto valor esperado y que requieren desde la conceptualización hasta la validación industrial, en donde se busca la asociación a través de una sociedad; concepto que ya se ha aplicado en Codelco, con 5 empresas filiales de base tecnológica como lo son: IM2, Biosigma, MIRS, Kairos Minin y Micomo.

Todo esto permite situar a la minería como un pilar importante dentro del desarrollo económico y tecnológico del país, lo que genera grandes expectativas de los capitales interesados en los nuevos proyectos que se están realizando a lo largo de todo Chile en la minería.

CAPÍTULO IV: ESTUDIO DE TRÁNSITO

4.1. Estudio de Tránsito

El elemento básico que permite evaluar la variación del tránsito, como también las características que pueda desarrollar en un futuro, es el número de vehículos que pasan por un punto o sección de un camino durante un período de tiempo determinado. Este elemento básico también se denomina volumen o flujo vehicular del tránsito, y su medición directa se determina mediante el conteo de los vehículos que pasan por ese punto o sección determinado anteriormente. Estos datos acerca de los volúmenes de tránsito, son utilizados en distintas áreas de la actividad vial, ya sea para la planificación, el diseño geométrico y/o estructural del camino, o para dictar las normas necesarias para la correcta circulación de los vehículos, entre otras cosas.

Teniendo esto en cuenta, nace la necesidad de conocer la cantidad de vehículos que van a transitar por el camino a proyectar, debiendo para esto realizar un censo vehicular. Este movimiento de vehículos no es constante, sino que depende de las variaciones en el flujo de tránsito que se ve determinado de acuerdo al camino y localización. Para obtener esas variaciones, como así también cualquier otra característica fundamental del flujo del tránsito, se emplean dos tipos de censos de tránsito.

- Censos Volumétricos y Censos de Origen y Destino. Los que en general cuentan el número de vehículos que pasan por un punto del camino durante un período de tiempo convenientemente elegido, de manera que permita determinar la característica que se desea.

Idealmente para la realización de los censos ya sean Volumétricos o de Destino, es necesario establecer estaciones censales, las que deben funcionar los 365 días del año, en forma continua durante las 24 horas del día, proporcionando los valores horarios del tránsito. De esta manera poder construir curvas de variaciones horarias, diarias, semanales, mensuales, dependiendo de lo que se necesite; correspondientes a cada estación ubicada a lo largo del camino.

Con los datos aportados por estas estaciones se pueden determinar los valores del Tránsito Medio Diario Anual de ahora en adelante T.M.D.A., para las secciones de caminos en donde se ubican las estaciones. Si bien es cierto esto

es aplicable a todo lo que es Obras Viales en general, al tratar de extrapolar estos conceptos a otros ámbitos, es necesario redefinir ciertos parámetros, para que en otras circunstancias se mantenga una consistencia en los conceptos mencionados anteriormente.

Aquí se presenta el primer desafío, ya que es necesario saber cómo se comportan los flujos vehiculares fuera de las carreteras y caminos comúnmente estudiados, considerando condiciones de uso extremas ya sea en carga, en número de pasadas o climas adversos que impidan la aplicación de las tecnologías comúnmente usadas para solucionar estos problemas.

Todos estos extremos los encontramos en la minería, la que por sus condiciones de operación se ve afectada por los siguientes factores:

- Climas Extremos, sobre todo en invierno cuando la nieve hace que la circulación de vehículos menores sea prácticamente imposible, por su gran acumulación en los caminos exteriores de la mina. A su vez impacta también el interior de la mina, producto de las bajas temperaturas que alcanzan el punto de congelación, provocando que el agua de escorrentía sobre los caminos se congele, exponiendo a los pavimentos a los ciclos de hielo y deshielo.
- Altos Tráficos, sobre todo en los Niveles de Producción producto del tránsito de los equipos LHD para las faenas de extracción del mineral, los que como se explicará más adelante, por el flujo característico que tienen de acuerdo a los planes de explotación producen sobre los caminos grandes concentraciones de esfuerzos los que se van acumulando durante la vida útil de los sectores productivos.
- Alto Desgaste, producido por lo anterior ya que los equipos solicitan a los caminos resistencias no solo a la compresión sino que a la flexo-compresión y a la abrasión.

Este conjunto de variables demanda que, al aplicar los parámetros para determinar los flujos de tránsito que circulan por los caminos de los Niveles de Producción, se tenga sumo cuidado en las proyecciones que se deban realizar de este y en el manejo de los actuales niveles de tránsito ya que una variación pequeña en este ámbito, puede traer como consecuencia una gran diferencia

en la vida útil de los caminos al interior de la mina. Estas variaciones volumétricas se producen dentro de cada hora, entre las distintas horas del día, durante los diferentes días, semanas y meses. Pero la minería posee una característica especial dentro de este fenómeno vehicular, ya que se pueden determinar los lapsos en los cuales el tránsito es activo dentro de los niveles de producción y en cuáles no.

A través de esto se pueden realizar proyecciones de tránsito ayudadas por los planes de producción, que definen las cantidades de extracción de cada punto de extracción, permitiendo estimar cuantas baldadas y por ende pasadas van a ser necesarias para cumplir con esa extracción. Este último punto es importante y necesario explicar para no producir equivocaciones más adelante. El saber cuánta producción se va a extraer de un punto determinando las baldadas y pasadas correspondientemente necesarias, no implica que no pasen más veces por ese sector, es decir un punto de extracción de una calle puede estar agotado, pero no así su punto de vaciado, por lo que si este último sigue operativo puede ser utilizado por otras calles que tengan problemas con sus puntos de vaciado y que no tengan otra opción que ir a vaciar su producción a ese lugar.

4.2. Análisis Esmeralda

El flujo de tránsito presente en el nivel de producción de la mina Esmeralda, difiere del que se encuentra normalmente en una obra vial, debido a que se produce por zonas y en tiempos determinados por la programación de explotación realizada en los Planes Quinquenales de la División El Teniente. Estas zonas y tiempos corresponden a los polígonos de explotación, que definen el área a explotar dentro de 5 años.

El polígono mencionado determina qué área dentro del nivel de producción es transitable para las faenas de extracción, quedando delimitado su avance para los próximos años por el frente de socavación.

Las zonas descritas anteriormente van a establecer los flujos que tendrán los equipos, siendo determinados por la planificación de acuerdo a las capacidades de carga y volumen, resumidas en la siguiente tabla.

Tabla N° 6
 “Tipos de LHD, Niveles de Producción, Mina Esmeralda.”

Pala	Eje	Vacio	Cargado	Capacidad (Volumen)
Caterpillar R1600G	Delantero	12.516 KG	28.000 Kg	4.8 m ³
	Trasero	17.284 Kg	12.000 Kg	
Sandvick Toro 007	Delantero	11.700 Kg	27.050 Kg	4.6 m ³
	Trasero	14.500 Kg	9.150 Kg	

Fuente: "Manual Técnico Caterpillar R1600G y Sandvick Toro 007".

Como se aprecia en la tabla anterior, ambos equipos son muy similares en capacidad de carga y volumen, pero el Caterpillar R1600G es el más utilizado en el nivel de producción de la mina Esmeralda, por su mayor capacidad y calidad. Ambos equipos representan la flota que se encuentra disponible para operar dentro del Nivel de Producción de la mina Esmeralda y no puede ser invadido por otro tipo, y menos de mayores capacidades, debido a que la geometría de las calles del nivel de producción está pensada para este tipo de equipos, y no admite dimensiones mayores. Para el caso que se desee aumentar la extracción se procederá a aumentar la cantidad de equipos presentes en la flota, pero en ningún caso un equipo que no cumpla con las características mencionadas anteriormente en la tabla.

Conociendo el sector y las zonas por donde transitan los equipos de producción, se puede describir el circuito que estos realizan, determinando las zonas de mayor influencia del tránsito sobre las carpetas de rodado, de acuerdo a la siguiente figura.

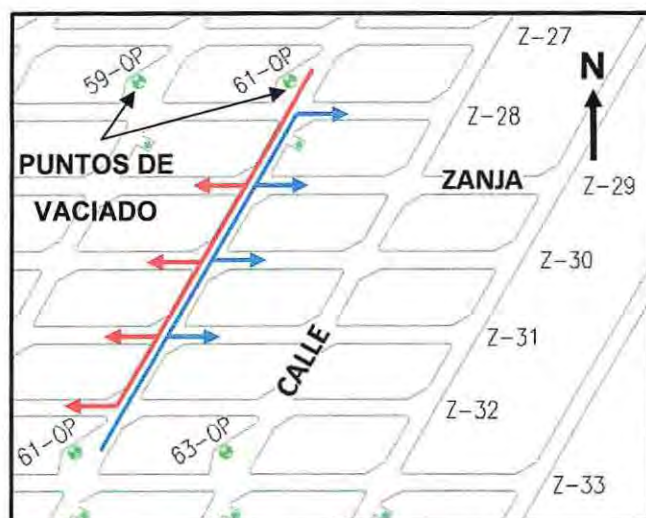


Figura N° 6

“Circuito de entrada del LHD a la Zona de Extracción, Nivel de Producción, Mina Esmeralda”.

Fuente: Elaboración Propia.

La figura anterior corresponde a la vista en planta del nivel de producción de la mina Esmeralda, donde las calles van de sur a norte y las zanjas de este a oeste. Como se puede apreciar, existen 2 circuitos posibles de entrada para los LHD, ya sea desde abajo para extraer de las zanjas a la derecha de la calle, como lo indica la línea azul, o desde arriba para extraer de las izquierdas, permitiendo al equipo extraer de manera ordenada.

Establecido el circuito realizado por el equipo para la extracción del mineral, se determinan las diferentes posturas que debe realizar el LHD para esta operación, constituyendo las zonas de influencia más representativas en cuanto a pasadas, a través de la siguiente figura.

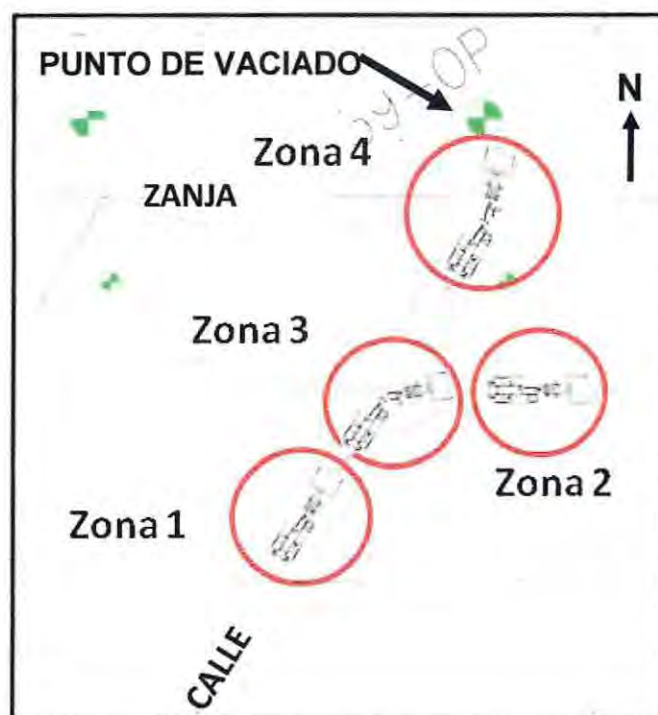


Figura N° 7

“Esquema Zonas LHD correspondiente a 1 baldada, Nivel de Producción, Mina Esmeralda”.

Fuente: Elaboración Propia.

Como se aprecia en el esquema anterior, el equipo frecuenta 4 zonas para realizar 1 baldada, específicamente partiendo en la Zona 1, en donde espera para entrar a la zanja pasando por la Zona 3, una vez estando en la Zona 2 procede a la carga del balde con el mineral del punto de extracción, devolviéndose una vez lleno a la Zona 3 para luego descargar en el punto de vaciado pasando por la Zona 4, para finalizar el recorrido pasando por la Zona 3 y llegando nuevamente a la Zona 1, donde se repite este proceso. Por ende, para realizar 1 baldada el equipo debe pasar 4 veces por las zonas 1 y 3, y una sola vez por las zonas 2 y 4.

Esta particularidad determina entonces que a las afueras de los puntos de extracción (Zona 3 y parte de la Zona 1), o bien en la intersección de las calles con las zanjas, se produzca el mayor número de pasadas que determinan el tránsito de diseño para los pavimentos.

Ahora bien, para cada punto de extracción existe un punto de vaciado, que de acuerdo al criterio utilizado en el interior mina por parte de la operación minera, corresponde al punto de vaciado más cercano al lugar de extracción. Por lo tanto este criterio establece entonces que el LHD solo pasará por las

intersecciones presentes en la misma calle, que estén lo suficientemente cercanas del punto de vaciado escogido, ya que de otra forma descargará al punto de vaciado más cercano.

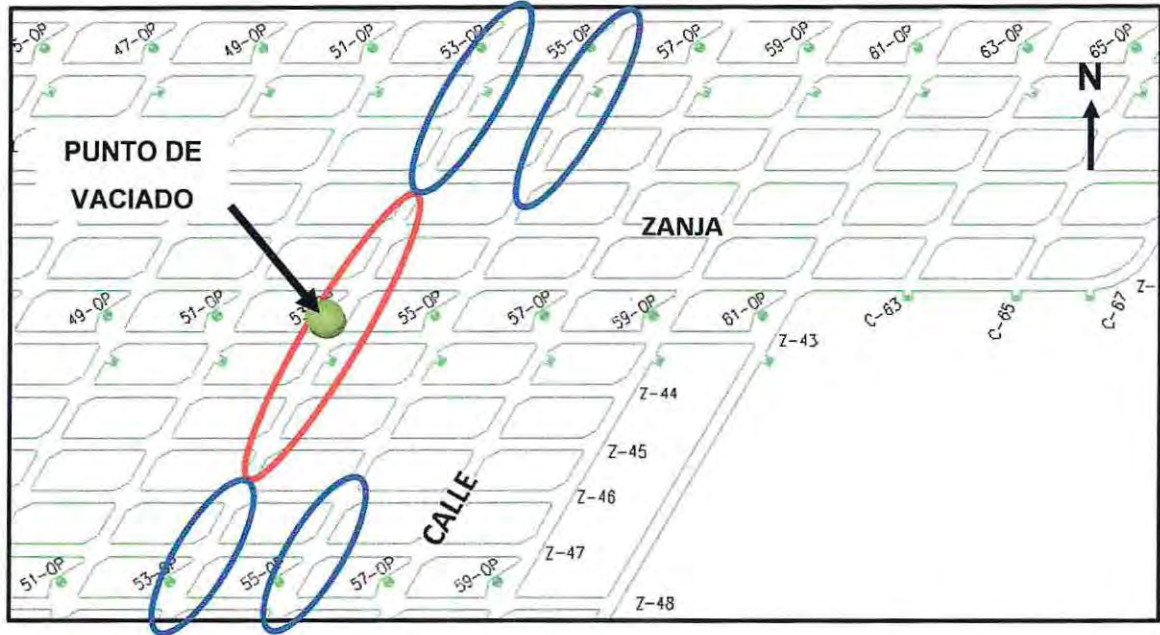


Figura Nº 8

“Criterio de vaciado al punto más cercano, Nivel de Producción, Mina Esmeralda”.

Fuente: Elaboración Propia.

La figura anterior corresponde al criterio descrito, en donde se aprecia un punto verde indicando un punto de vaciado correspondiente al 53-OP, de la calle del mismo número. La zona encerrada en rojo responde a este criterio indicando las zanjas que están más cerca del punto de vaciado y las encerradas en azul corresponden a las zanjas más lejanas.

Entendiendo esto, es posible el determinar el número de pasadas a través de la cantidad de baldadas realizadas por los equipos de extracción en todo el nivel de producción de la mina Esmeralda, para determinar el volumen de tránsito a utilizar en los diseños, como lo muestra el ejemplo de la siguiente tabla.

Tabla N° 7

“Producción de 1 mes con 90 turnos, Niveles de Producción, Mina Esmeralda”.

Producción (Ton.)	Capacidad de LHD (Ton)	N° de Baldadas	Pasadas por Baldadas	N° de Pasadas
		Producción/Capacidad	De acuerdo a la Zona 3	Baldadas*Pasadas
10.000	7	1429	4	5716

Fuente: “Elaboración Propia”.

Como se muestra en el ejemplo de la tabla anterior, la cantidad de pasadas está directamente relacionada a la cantidad de pasadas por baldadas que se aprecian en la Zona 3 descrita en párrafos anteriores. Esta dependencia hace elevar el número de pasadas finales obtenidas en esa zona, en comparación a las presentes en las zonas 1 y 2, siendo la mitad.

Antes de seguir el análisis es necesario acotar una característica especial acerca de este cálculo, debido a que la cantidad de pasadas no es solamente dependiente de la cantidad de producción obtenida durante un mes sino que también de los turnos trabajados en ese mismo tiempo. Es decir, si de la tabla anterior se quisiera determinar la cantidad de pasadas por día que existieron en ese mes, el cálculo sería el siguiente.

La producción total del mes corresponde a 10.000 (Ton), estas requirieron 1429 baldadas, por lo tanto son 1429 (Baldadas/Mes), por otro lado como lo indica la tabla en el título, se trabajaron 90 turnos, es decir 3 turnos por día para un mes de 30 días, dan 90 (Turnos/Mes). Al dividir el número de baldadas por mes en el número de turnos por mes, se obtienen 16 (Baldadas/Turno), que para transformarlas a baldadas por día se debe multiplicar por 3, correspondiente a los turnos por día, dando como resultado 48 (Baldadas/Día). Ahora bien, con este dato se procede a calcular la cantidad de pasadas por día, multiplicando la cantidad de baldadas por día por el número de pasadas por baldada, dando como resultado 192 (Pasadas/Día).

Ahora bien la siguiente tabla resume lo descrito anteriormente y además da un ejemplo de la cantidad de pasadas obtenidas si la cantidad de turnos trabajados en el mes se reduce a 60.

Tabla N° 8

“Ejemplo Pasadas/Día, Niveles de Producción, Mina Esmeralda”.

Producción Mensual (Ton)	Capacidad LHD (Ton)	N° de Baldadas	Turnos Por Mes	Baldadas Por Turno	Baldadas Por Día	Pasadas Por Día
10.000	7	1429	90	16	48	192
			60	24	72	288

Fuente: “Elaboración Propia”.

Como se aprecia en la tabla anterior, la cantidad de turnos realizados en el mes afecta considerablemente al número de pasadas, debido a que al no realizarse un turno, no existe producción extraída y por ende no hay movimiento de los LHD en el nivel de producción.

Entendiendo esta particularidad, se puede extrapolar el mismo cálculo a la cantidad de tonelaje que ha sido extraído del nivel de producción de la mina Esmeralda, durante los últimos cinco años, sin considerar el actual, para conocer la cantidad de pasadas máxima histórica, resumidas y presentadas en la tabla y gráfico siguiente.

Tabla N°9

“Resumen Pasadas Acumuladas por Punto de Vaciado (OP), entre 2005 - 2010, Nivel de Producción, Mina Esmeralda”.

Calles	Punto de Vaciado					
	1º OP	2º OP	3º OP	4º OP	5º OP	6º OP
1	10.875	81	0	0	0	0
3	3.370	6.908	496	0	0	0
5	116	2050	3.534	0	0	0
7	1.121	417	6.315	0	0	0
9	3.128	1.735	5.947	853	0	0
11	2.510	330	4.897	9.058	0	0
13	3.978	506	3.623	14.764	4.224	0
15	6.442	1.085	5.962	15.124	12.015	193
17	7.793	558	8.031	18.785	16.331	727
19	10.846	1.701	5.037	7.916	15.323	1.038
21	9.132	4.667	1.260	4.802	14.388	1.0555
23	9.047	3.216	4.879	2.254	3.410	185
25	5.956	13.504	15.687	1.526	1.893	0
27	190	16.751	21.729	1.118	0	0
29	0	11.723	19.838	15.549	2.251	0
31	0	8.105	19.306	27.315	3.774	668
33	0	4.463	18.040	26.729	1.476	0
35	0,00	2.359	20.206	23.561	845	0
37	0	0	13.950	17.858	707	0
39	0	0	7.881	12.096	240	0
41	0	0	4.261	7.248	0	0
43	0	0	2.034	3.511	0	0
45	0	0	790	1.293	0	0

La notación de 1º OP, 2º OP..., indica el orden de norte a sur en el cual se encuentran los puntos de vaciado.

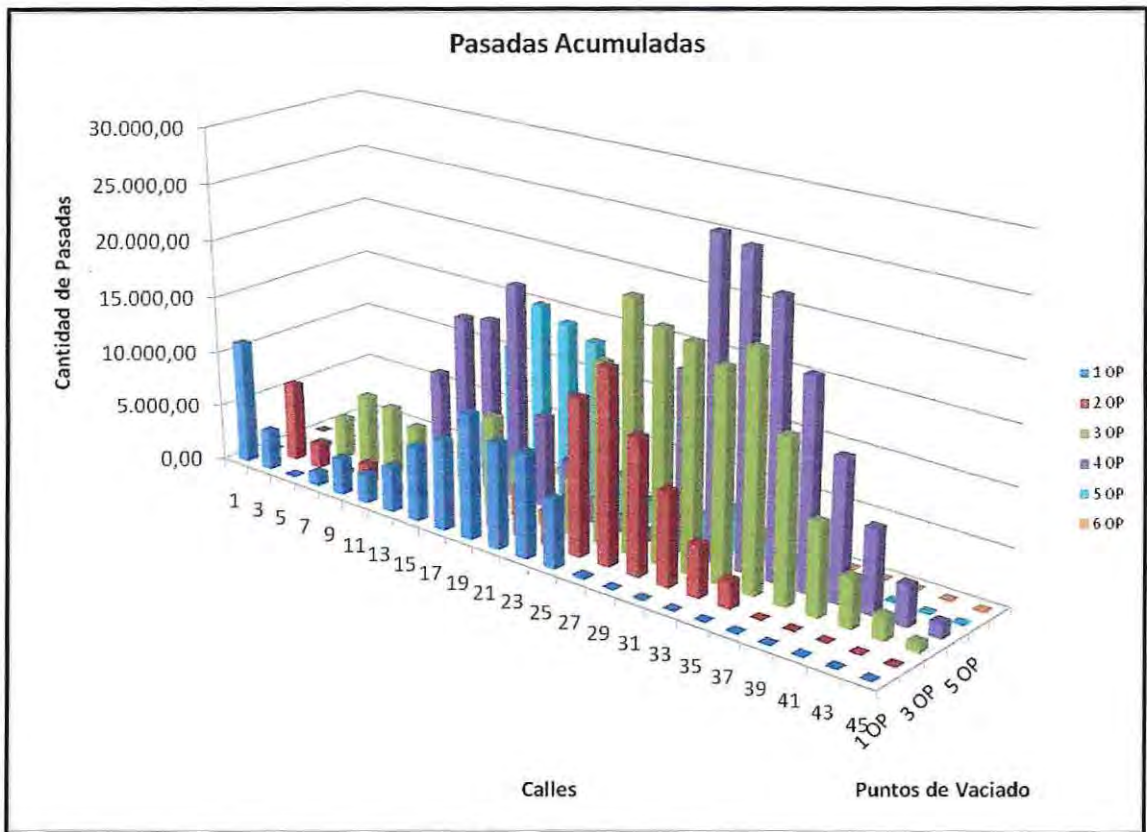


Gráfico N° 2

“Pasadas Diarias por Punto de Extracción entre 2005 - 2010, Nivel de Producción, Mina Esmeralda”.

Fuente: “Elaboración Propia”.

Como se aprecia en el gráfico anterior y se describió en capítulos anteriores, la cantidad de pasadas, aumenta al llegar a las calles y puntos de vaciado centrales, debido al cambio de roca que se produce por sobre el nivel de producción.

Ahora bien conocidas la cantidad de pasadas históricas presentes en el nivel de producción de la mina Esmeralda, se puede determinar el promedio de estas anualmente y representarlas en el siguiente gráfico.

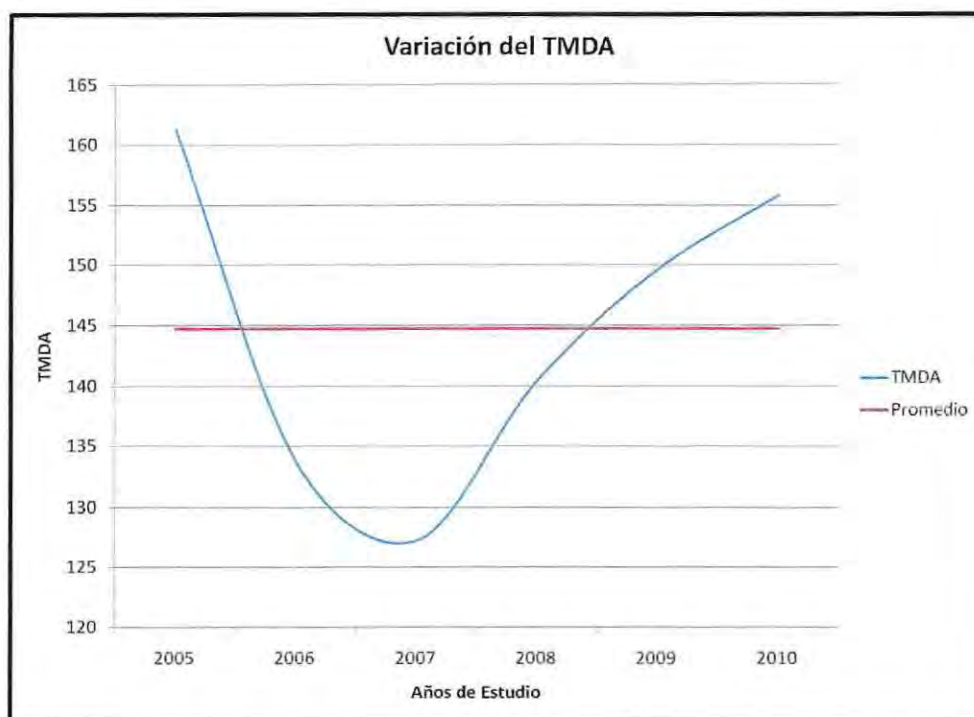


Gráfico N° 3

“Evolución T.M.D.A. por Punto de Extracción durante el período 2005 a 2010, Nivel de Producción, Mina Esmeralda”.

Fuente: Elaboración Propia.

Como se aprecia en el gráfico anterior de TMDA, existe una variación de aproximadamente 20 pasadas con respecto al promedio, explicado por la dependencia a la cantidad de producción extraída y no a la capacidad de tránsito de los equipos LHD.

Sin embargo de acuerdo a los tiempos de ciclo que tiene el equipo al realizar cada una de las baldadas, se puede determinar un tránsito promedio teórico capaz de proyectar la cantidad de pasadas que tendrá un sector antes de ser explotado.

Tabla N° 10

“Tiempos de Ciclo, Equipos LHD, Niveles de Producción”

Proceso	Duración (min)
Carga	0.52
Viaje Cargado	0.35
Descarga	0.13
Viaje Vacío	0.35
Total	1.35

Fuente: “Estudio de Tiempos Operacionales y Reducción Secundaria en Sector Esmeralda”.

Estos tiempos de ciclo dependen de las velocidades y aceleraciones que alcanzan los equipos en las calles de producción, en función de la distancia recorrida hasta los puntos de vaciado correspondientes, además de las condiciones en que se encuentre la carpeta de rodado por la que se está transitando.

Tabla N° 11

“Velocidad y Aceleración de Operación, Equipos LHD, Niveles de Producción”.

Velocidad (Km/Hr.)	16
Aceleración (m/s²)	0.1

Fuente: “Estudio de Tiempos Operacionales y Reducción Secundaria en Sector Esmeralda”.

Otro factor que afecta a estos tiempos de ciclo y es importante a la hora de programar la producción, es el correspondiente a las interferencias operacionales que ocurren en el nivel de producción de la mina Esmeralda, que se detallan en la siguiente tabla.

Tabla N° 12

“Interferencias que afectan a los equipos LHD, Niveles de Producción”.

Interferencia	Definición
Inicio de turno	Compila todas las actividades necesarias para dar comienzo a la producción de un turno. Se inicia con el hito horario del comienzo de turno y termina con el inicio del movimiento de equipos LHD en la calle de producción.
Fin de turno	Se asocia a todas las actividades necesarias para dar término a las operaciones del sector. Se inicia con la detención de los equipos LHD en producción y termina con el hito horario de fin de turno.
Choca	Detención de operaciones para alimentación.
Pique lleno	Detención de operaciones de producción por no contar con capacidad de vaciado en el pique.
Martillo picando	Espera de LHD por operación de picado por parte del martillo.
Problemas con martillo	La imposibilidad de operar el martillo con normalidad detiene las operaciones de producción para su chequeo.
LHD a taller	Suspensión de la operación de un equipo LHD por traslado a taller. Llega otro a reemplazarlo.
Petróleo	Suspensión de la operación de un equipo LHD por carga de combustible.
Problemas con LHD	Detención para chequear incorrecta operación de equipo LHD.
Persona en calle	Suspensión de la operación de producción de un equipo LHD por permitir el ingreso de persona a la zona confinada.
LHD detenida	Detención de equipo por motivos distintos a las interferencias definidas en esta lista.
Personal de mantención	Detención de operaciones de equipo LHD para producción por permitir el ingreso de personal de mantención.
Rikotus	Detención de operaciones de equipo LHD para producción por ingreso de Rikotus.
Limpia calle	Equipo LHD suspende operaciones de producción por limpieza de calle.
Cachorro	Detención de operaciones de equipo LHD para producción por realización de labores de cachorro.
Luz azul o	Detención del equipo por señal para comunicarse con

teléfono	operador.
Entra equipo menor	Detención para permitir circulación de equipo menor.
Muestreo	Detención de la producción para realización de muestre en puntos de extracción.
Revisa pique desde pala	Equipo detiene su operación para revisar estado del pique.
Entra otro LHD	Detención de labores de producción por permitir el ingreso de otro equipo LHD a la zona confinada.
Quemada	Detención de operaciones de equipo LHD de producción por detonación de explosivos.
Cambia colpa	El equipo LHD suspende sus actividades de producción para desbloquear un punto de extracción por presencia de roca con sobre-tamaño.
Problemas con OP	Impedimento para descargar en OP.
Pinchazo	Daño en neumático de equipo LHD.
Rociadores	Detención de actividades de producción del equipo LHD por activación de rociadores.
Cambio de rieles	Reparación de rieles de punto de extracción.
Poca visibilidad	Detención de operaciones por falta de visibilidad.
LHD en otra función	Cese de operación para producción por cambio de actividad.
Chequea pique a pie	Revisión de estado del pique deteniendo el equipo LHD y bajándose de él.
Personal eléctrico	Detención de labores de producción por ingreso de personal eléctrico a la zona confinada.
Zanja colgada	Suspensión de operaciones en un punto de extracción por colgadura.
Revisa zanjas	Detención de LHD por revisión de zanja por parte del operador.
Quemada cercana	Suspensión de operaciones por encontrarse en la zona de seguridad para una quemada.
Invierte pala	Operación para invertir la posición del balde del equipo LHD.
Cambio de calle	Suspensión de actividades de producción por cambio de calle.

Operador se baja	Abandono del equipo LHD por parte del operador.
Cambio de pique	Cambio de pique en operación por imposibilidad de utilizar el asociado al punto de extracción en producción.
Cambio de cinta	Detención de producción por modificación de la zona confinada.
Relevo	Detención del equipo por relevo de operador.
Espera por saca	Detención del equipo por espera de nombrada con puntos de extracción en producción.

Fuente: "Estudio de Tiempos Operacionales y Reducción Secundaria en Sector Esmeralda".

Las interferencias mostradas en la tabla anterior, afectan directamente al proceso de carga, transporte o descarga del LHD según sea el caso. Por lo que se hace necesario cuantificar el tiempo estimado que estas tardan, para obtener disponibilidad de los equipos en la extracción.

Tabla N° 13

"Tiempos Promedios de Interferencias por Turnos, Nivel de Producción, Mina Esmeralda".

Interferencia	Duración (Hr.)	% del turno	HH:MM:SS
Inicio de turno	1,3977	17,471	1:23:52
Fin de turno	1,1300	14,124	1:07:48
Choca	0,9371	11,714	0:56:14
Pique lleno	0,2778	3,472	0:16:40
Martillo picando	0,2046	2,557	0:12:17
Problemas con martillo	0,1401	1,751	0:08:24
LHD a taller	0,0880	1,100	0:05:17
Petróleo	0,0803	1,004	0:04:49
Problemas con LHD	0,0659	0,823	0:03:57
Persona en calle	0,0436	0,545	0:02:37
LHD detenida	0,0368	0,459	0:02:12
Personal de mantención	0,0333	0,417	0:02:00
Rikotus	0,0305	0,382	0:01:50
Limpia calle	0,0280	0,350	0:01:41
Cachorro	0,0233	0,292	0:01:24

Luz azul o teléfono	0,0213	0,266	0:01:17
Entra equipo menor	0,0171	0,213	0:01:02
Muestreo	0,0147	0,183	0:00:53
Revisa pique desde pala	0,0141	0,176	0:00:51
Entra otro LHD	0,0116	0,144	0:00:42
Quemada	0,0103	0,129	0:00:37
Cambia colpa	0,0100	0,125	0:00:36
Problemas con OP	0,0069	0,086	0:00:25
Pinchazo	0,0069	0,086	0:00:25
Rociadores	0,0069	0,086	0:00:25
Cambio de rieles	0,0064	0,081	0:00:23
Poca visibilidad	0,0062	0,078	0:00:22
LHD en otra función	0,0057	0,071	0:00:21
Chequea pique a pie	0,0052	0,064	0:00:19
Personal eléctrico	0,0040	0,050	0:00:14
Zanja colgada	0,0037	0,046	0:00:13
Revisa zanjas	0,0036	0,046	0:00:13
Quemada cercana	0,0036	0,044	0:00:13
Invierte pala	0,0035	0,044	0:00:13
Cambio de calle	0,0021	0,026	0:00:08
Operador se baja	0,0015	0,019	0:00:05
Cambio de pique	0,0014	0,017	0:00:05
Cambio de cinta	0,0011	0,014	0:00:04
Relevo	0,0007	0,009	0:00:03
Espera por saca	0,0001	0,002	0:00:01
Total Interferencias	4,69	58,566	4:41:12

Fuente: "Estudio de Tiempos Operacionales y Reducción Secundaria en Sector Esmeralda".

Como se aprecia en la tabla anterior, estas interferencias toman un tiempo considerable dentro del disponible en el turno, más del 50%, que obliga a una adecuada programación por parte de la operación minera. Este punto se aprecia mejor a través de la siguiente tabla y esquema.

Tabla N° 14

“Tiempos Promedios de Interferencias por Turnos, Nivel de Producción, Mina Esmeralda”.

	TURNO	A	B	C	Promedio
Horas Operativas	Zona Hw	2,43	3,11	2,93	2,82
	Zona Centro	3,50	3,93	3,75	3,72
	Zona Fw	2,37	3,89	3,67	3,31
	Promedio	2,76	3,64	3,45	
	Promedio horas operativas totales				3,30
Promedio horas pérdidas totales					4,69

Fuente: “Estudio de Tiempos Operacionales y Reducción Secundaria en Sector Esmeralda”.



Figura N° 9

“Diagrama de Tiempos LHD, Nivel de Producción, Mina Esmeralda.”

Fuente: Elaboración Propia.

Considerando lo expuesto anteriormente, y aún cuando el tránsito dentro del nivel de producción presenta variaciones relacionadas con las interferencias operacionales producidas en este, se puede determinar una cantidad máxima teórica de baldadas realizadas por los equipos y por consiguiente el número máximo de pasadas a realizar dentro de la zona más cercana a cada punto de vaciado.

Es decir para las 3,30 (horas/turno) efectivas y un tiempo de ciclo de 0,0225 (horas/baldada), se obtienen 147 (Baldadas/Turno), equivalentes a 441 (Baldadas/Día) como máximo promedio para desarrollar dentro del nivel de producción de la mina Esmeralda, a menos que se reduzcan los tiempos en las interferencias.

CAPÍTULO V: DIAGNÓSTICO

El entorno que rodea a las carpetas de rodado en el nivel de producción de la mina Esmeralda es clave para evaluar su desempeño a futuro, considerando que en comparación con pavimentos exteriores, existen condiciones extremas de uso, como por ejemplo el ambiente hostil y el tráfico pesado.

De acuerdo a lo anteriormente expuesto, la primera condicionante hace referencia a lo explicado en el capítulo de estudio de tránsito, en cuanto a la dependencia del flujo de los equipos a los programas y variantes de producción.

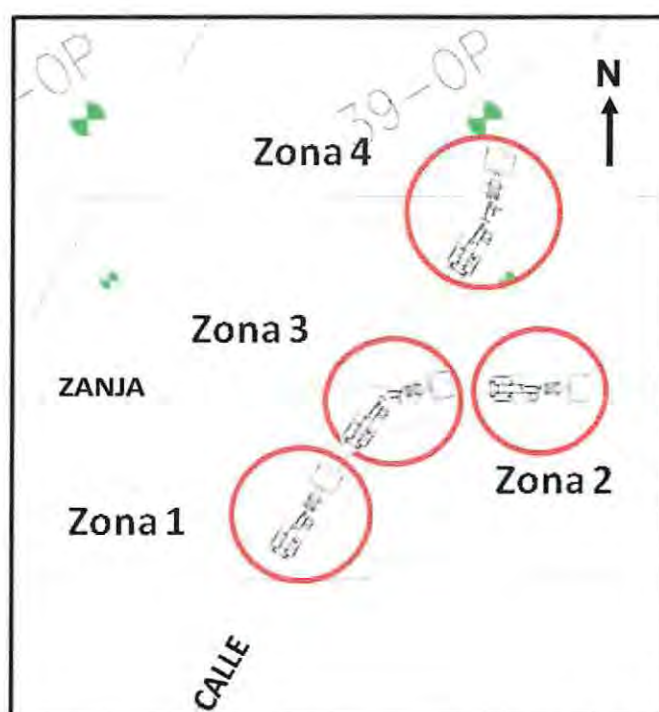


Figura N° 10

“Esquema Zonas LHD correspondiente a 1 baldada, Nivel de Producción, Mina Esmeralda”.

Fuente: Elaboración Propia.

Como se aprecia en la figura anterior, una de las variables más importantes a la hora de determinar el tránsito de diseño es el circuito que realizan los LHD al momento de la extracción del mineral.

Este circuito produce que en las cuatro zonas descritas en la figura se produzcan fallas, ya sea por abrasión encontradas en las zonas 1 y 4, producto de la aceleración y posterior frenado que debe realizar el LHD. Impacto por

caída de rocas (colpas) en la zona 3, producto del acomodamiento del mineral en el balde una vez realizado el retroceso. Y abrasión producida por arrastre y aplastamiento de mineral presente en la superficie de la carpeta de rodado, en las zonas 1,3 y 4.



Figura N° 11

“Daños a neumáticos, Nivel de Producción, Mina Esmeralda”.

Fuente: Elaboración Propia.

Como se aprecia en la figura anterior, el daño producido por mineral presente en la superficie del pavimento no solamente afecta a la carpeta de rodado, sino que también a la integridad de los neumáticos de los LHD.

Otra condicionante que agregan las programaciones para la extracción del mineral, corresponden a los Elipsoides de Extracción producidos en los puntos de extracción del nivel de producción de la mina Esmeralda, como lo muestra la siguiente figura.

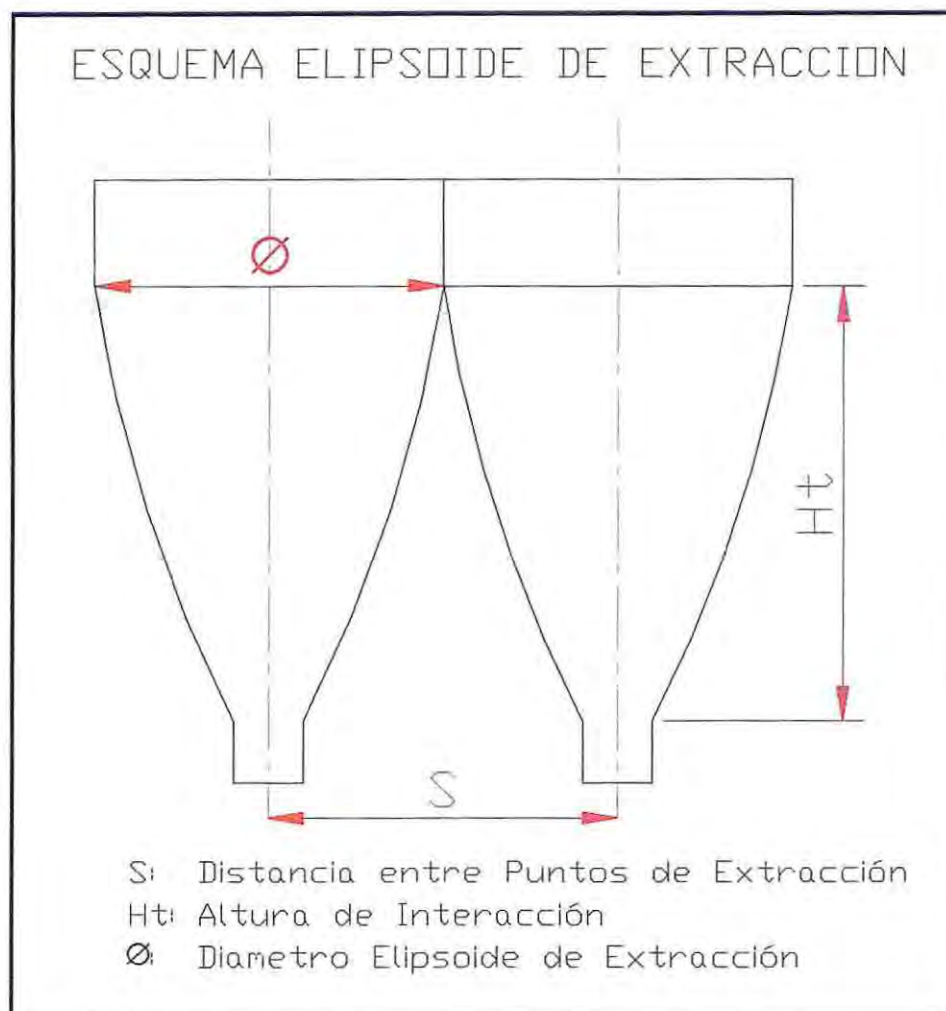


Figura N° 12

"Corte longitudinal en calle, sección de puntos de extracción y elipsoides de extracción, Nivel de Producción, Mina Esmeralda".

Fuente: "Curso Block Caving Panel Caving, Patricio Cavieres 2007".

La figura anterior corresponde a un corte longitudinal realizado a una calle, que muestra las secciones de dos zanjas y que deja ver el elipsoide de extracción que se crea por sobre la batea en el punto de extracción, este mismo esquema mirado en planta, de acuerdo al nivel de producción de la mina Esmeralda, lo muestra la siguiente figura.

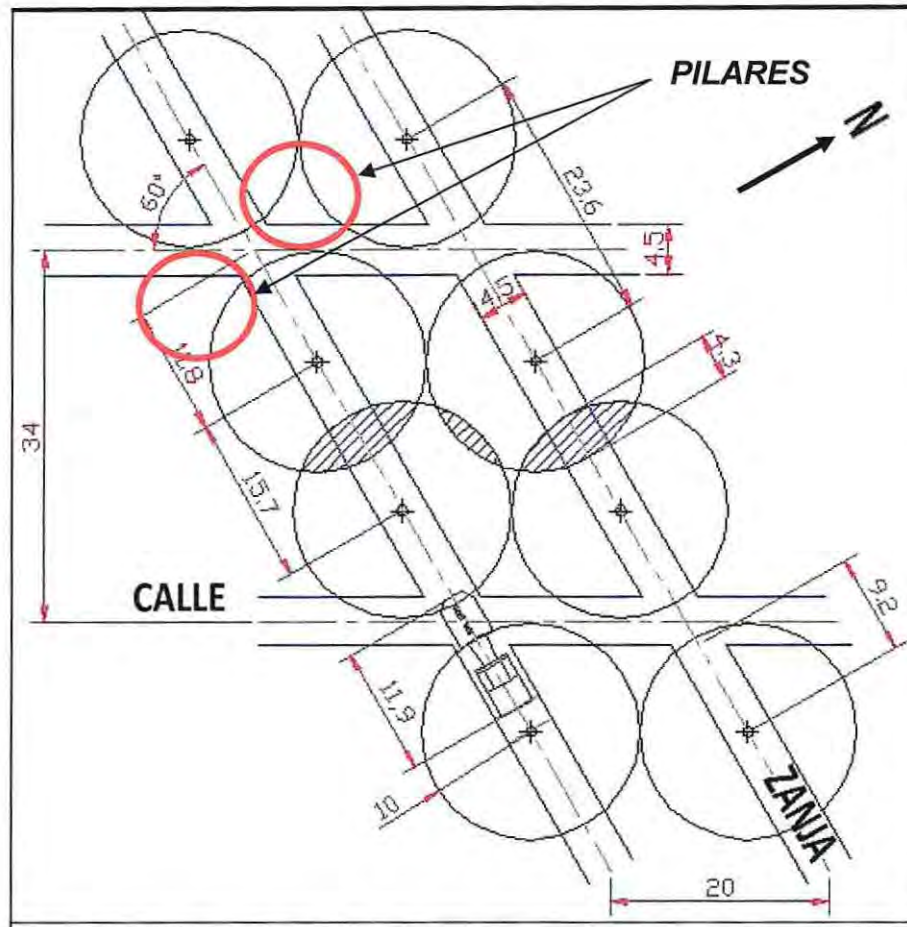


Figura N° 13

“Planta de elipsoides de extracción, Nivel de Producción, Mina Esmeralda”.

Fuente: “Curso Block Caving Panel Caving, Patricio Cavieres 2007”.

Como se aprecia en las zonas encerradas en rojo de la figura anterior, la influencia de los elipsoides de extracción provoca que en las esquinas de mayor ángulo, quede formada una especie de pilar que soporta el macizo rocoso que queda por encima del nivel de producción de la mina Esmeralda. Análogamente el esquema que se produce con este fenómeno, es similar a lo ocurrido al alzaprimar una losa, quedando un nivel lleno de “pilares”.

El fenómeno descrito anteriormente sumado al método constructivo que indica la construcción de carpetas de rodado de un extremo a otro de la galería, produce agrietamientos en la zona más débil del pavimento, debido a que el pilar que queda en la intersección de la calle con la zanja, transmite tensiones hacia la carpeta al no haber una junta de dilatación que permita el acomodamiento libre del macizo rocoso, como se esquematiza en la siguiente figura.

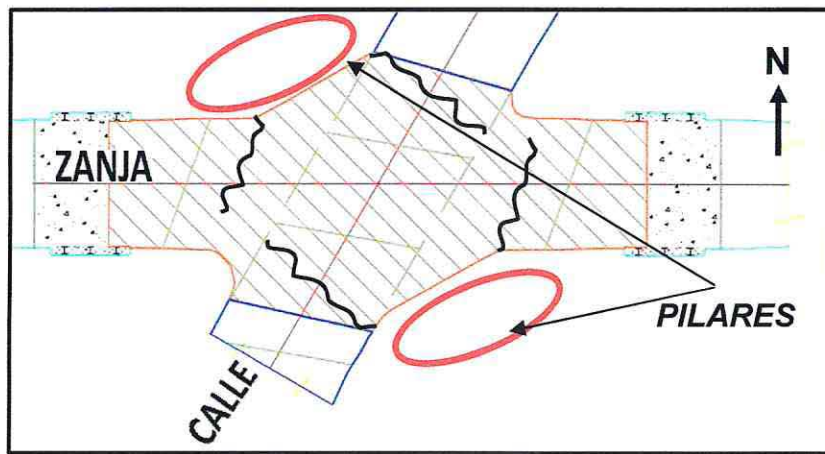


Figura N° 14

“Planta de intersección calle con zanja, Nivel de Producción, Mina Esmeralda”.

Fuente: “Curso Block Caving Panel Caving, Patricio Cavieres 2007”.

De acuerdo a lo descrito anteriormente y como se aprecia en la figura anterior, las grietas aparecen en las zonas de menor ancho, que coinciden con la entrada a las zanjas e inicios de calle.

Otro tipo de factor que afecta al desempeño de la carpeta de rodado, y que se mencionó en los párrafos anteriores tiene que ver con el método constructivo utilizado actualmente.

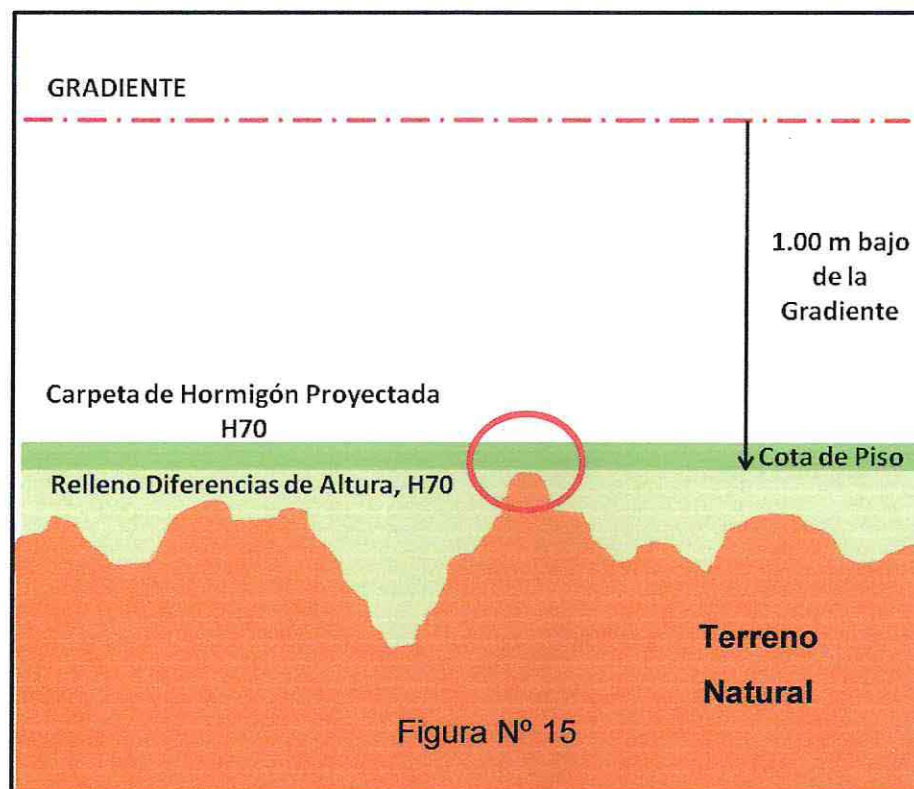


Figura N° 15

“Corte Longitudinal de la Calle, Nivel de Producción, Mina Esmeralda”.

Fuente: “Elaboración Propia”.

Como se aprecia en el corte de la figura anterior, el proceso constructivo de las carpetas de rodado inicia con el terreno de forma irregular, debido a las faenas de construcción de los túneles para las calles y zanjas, aún cuando se especifica un escarpe del terreno, pero que no considera la homogenización de este en cuanto a cota de piso, sino mas bien en cuanto a calidad de la roca, específicamente roca viva, debiendo muchas veces excavar hasta 70 (cm) por debajo de la cota de piso para alcanzar esta especificación.

Esa consideración en el escarpe produce al momento del hormigonado, variaciones en el espesor de la carpeta, llegando como mínimo a los 22 (cm) que especifica el diseño actual, y que se representa en el área encerrada en rojo de la figura anterior.

La suma de ambas situaciones al momento del paso del LHD, provoca que en el área encerrada en rojo se concentren mayormente las tensiones de cada pasada, induciendo una falla temprana. Como resultado se obtiene un agrietamiento temprano en todas las zonas de espesor crítico, es decir los 22 (cm) recomendados por el diseño actual.

El punto anteriormente descrito, representa una condición que en el Manual de Carreteras apartado 3.603.105(3), usado como referencia para describir el comportamiento de los diseños de pavimentos que se proponen más adelante, hace referencia a los Módulos Elásticos de Capas Sucesivas.

La siguiente tabla corresponde a las características de la roca encontrada en los niveles de producción de la mina Esmeralda, para tener una idea de la diferencia en las resistencias que se encuentran al comparar el hormigón de la carpeta con la subrasante.

Tabla N° 15

"Propiedades Físicas de la Roca Intacta, Mina Esmeralda".

ESTIMACIÓN PROPIEDADES FÍSICAS ROCA INTACTA					
SECTOR ENTRE XC-ACCESO 3 Y XC-ACCESO 4, MINA ESMERALDA					
Parámetros	Pórfido Diorítico Hw	CMET Hw	CMET Fw	Complejo de Brechas Fw	Tonalita
γ (ton/m ³)	2.70	2.77	2.78	2.75	2.70
η (%)	0.80	0.40	0.22	0.75	0.90
UCS (MPa)	130	145	104	109	171
T_i (MPa)	14	15	15	10	11
v	0.12	0.12	0.14	0.13	0.12
E/UCS	392	379	452	395	304
UCS/T_i	9	10	7	11	16
V_p (m/s)	5247	5447	5281	4914	4545
V_s (m/s)	3160	3179	3136	2963	2863
m_i (MPa)	14.5	8.5	19.5	8	9.7
σ_{ci} (MPa)	167	146	100	116	204
σ_{ti} (MPa)	-	-	-	-	-

γ = densidad; η = porosidad; UCS = resistencia a la compresión; T_i = resistencia a la tracción; E = módulo de Young; v = razón de Poisson; V_p = velocidad de la onda P; V_s = Velocidad de la onda S; m_i = parámetro de falla de Hoek-Brown; σ_{ci} = resistencia a la compresión según criterio de falla de Hoek & Brown; σ_{ti} = resistencia a la tracción según criterio de falla de Hoek & Brown.

Fuente: "Antecedentes Geológicos-Geotécnicos entre XC-Acceso 3 y XC-Acceso 4, Mina Esmeralda".

CAPÍTULO VI: Bases para propuestas de diseño de pavimentos.

De acuerdo al Manual de Carreteras, todo pavimento tiene por objetivo dotar al camino de un sistema estructuralmente resistente a las solicitaciones que impone el tránsito, proporcionando una superficie que permita una circulación cómoda y segura a la velocidad especificada, bajo las variadas condiciones climáticas y por un periodo determinado.

Los pavimentos de la industria minera no se escapan de esta regla, ya que deben proveer una superficie apta para al tránsito de las pesadas cargas que circulan por los diferentes niveles de la mina. En este aspecto, las zonas que reciben mayor carga en cuanto a solicitaciones por tránsito son los niveles de producción y los niveles de acarreo, por donde transitan los LHD y los camiones. Estas cargas impuestas por el tránsito son traspasadas por el pavimento hacia la subrasante, que en el caso de los pavimentos enunciados en el manual de carreteras depende de las características de los materiales que conforman las diferentes capas, los que a su vez pueden ser clasificados en pavimentos flexibles y rígidos.

El caso de los pavimentos flexibles, su aplicación para estos caminos es muy poco probable, debido a que el nivel de cargas es tan alto que produce el ahuellamiento del pavimento, además de su reacción frente a los combustibles utilizados por los equipos, en este caso petróleo, que produce un gran daño en la superficie de este pavimento, disminuyendo considerablemente su vida útil.

Por otro lado los pavimentos rígidos se proyectan como los de mejor desempeño para ser utilizados en el interior de la mina. Esto debido a que sus características resistentes son mucho mayores que las de los pavimentos asfálticos, además de su facilidad de colocación con respecto a estos últimos que necesitan mucho más tecnología al momento de su construcción.

También su reacción ante los combustibles le otorga una ventaja por sobre los asfaltos, aunque estos últimos poseen una ventaja considerable con respecto a los hormigones, que es su poca o nula reacción ante los agentes ácidos del medio ambiente, particularmente a las aguas sulfatadas, provenientes de la infiltración de aguas por el macizo rocoso mineralizado.

Este último punto obliga a que los diseños de los hormigones deba ser más estricto en cuanto a la permeabilidad de los hormigones utilizados en las carpetas, debido a que el agua ácida produce una “desintegración” del

hormigón al momento de reaccionar con los compuestos que este posee, lo cual se agrava al utilizar áridos y/o arenas reactivas con estas aguas.

Por otro lado al utilizar hormigones de alta resistencia para proveer las condiciones aislantes y resistentes mencionadas, su alto contenido de materiales cementantes incrementan el calor de hidratación y aumenta la probabilidad de producir una mayor contracción por secado (retracción), creando un gran potencial de agrietamiento. A su vez para lograr estas altas resistencias no sólo es necesario agregar materiales cementantes más densos, sino que se deben utilizar relaciones de agua/cemento bajas, alrededor de 0.23 a 0.35, que solo se pueden obtener con muy altas dosificaciones de aditivos reductores de agua de alto rango, como los mencionados en la ASTM C 494.

Otro punto importante que obliga a un mayor estándar en los diseños de pavimentos mineros en comparación a los de carreteras es el desgaste que se produce en la superficie, y que no solo es producto del tránsito sino que también de eventualidades al momento de transportar el mineral, que se ha explicado con anterioridad. Esto obliga a considerar pavimentos de mayores resistencias que las usuales, para así aumentar la resistencia a la abrasión que tendrá la superficie y su resistencia al impacto.

Estas consideraciones no solo abarcan el tipo de pavimento que va a resistir las cargas presentes al interior de la mina, específicamente en los niveles de producción, sino que también al tipo de suelo que va a recibir este pavimento y por el cual van a ser transmitidas las cargas a un suelo más profundo. De acuerdo a esto la teoría actual de diseño de pavimentos, hace referencia a que los métodos de diseño presuponen un aumento de los módulos elásticos desde la subrasante hacia la superficie, de manera que siempre recomiendan estructurar siguiendo esta condición. (Módulos Elásticos de Capas Sucesivas (3.603.105(3)).)

Aquí es donde encontramos la primera particularidad de los pavimentos mineros, los cuales no siguen esta regla, debido principalmente a que el desarrollo de la minería se encuentra en zonas de roca primaria dentro del macizo rocoso, por lo cual el tipo de suelo que recibe a los pavimentos es roca primaria, estando más o menos fracturada de acuerdo a las condiciones en las cuales naturalmente se encontraba o en las que quedó después de la construcción de los desarrollos de las galerías o túneles.

Esta variación de los módulos de elasticidad, contraria a la recomendada para los pavimentos, produce una concentración de tensiones en la carpeta de hormigón, producto de la concentración de tensiones en la carpeta a través de las rocas que quedan por sobre el nivel de piso, disminuyendo en esos puntos el espesor del hormigón. También se producen mayor cantidad de “voladizos”, ya que la base rígida compuesta de roca no permite mayores deformaciones, provocando mayores levantamientos de la carpeta en las zonas de espesor constante.

Con respecto a las solicitaciones que afectan a las capas más profundas de los pavimentos, la teoría indica que no se pueden simular a través de cargas estáticas, ya que estas entregan una influencia de las cargas no más allá del metro de profundidad, lo que queda muy por debajo de los cerca de 3 metros que se considera de manera simplificada la influencia de las cargas en los pavimentos rígidos, obtenido a través de ensayos con deflectómetro de impacto. La rigidez similar a la de la carpeta, pero con mayor resistencia a la compresión de la base y la profundidad a la que llegan las cargas provocan que las tensiones se concentren en el pavimento y no que sean disipadas hacia las capas inferiores de la base, por lo que aumenta el esfuerzo solicitante que poseen normalmente las carpetas de hormigón, reduciendo su capacidad resistente. (Profundidad a que afectan las solicitaciones (3.603.105(4)))

6.1. Tránsito de diseño con recomendaciones del Manual de Carreteras.

Como se describió en la sección de estudio de tránsito, el equipo seleccionado para ser utilizado como vehículo de diseño corresponde al Caterpillar R1600G, cuyas características están resumidas en la siguiente tabla.

Tabla N° 16

“Distribución de Pesos por Ejes, LHD 7 yd³”.

Pala	Eje	Vacio	Cargado
Caterpillar R1600G	Delantero	12.516 KG	28.000 Kg
	Trasero	17.284 Kg	12.000 Kg

Fuente: “Manual Técnico Caterpillar R1600G”.

Por otro lado la cantidad de pasadas quedaron determinadas por la Zona 3, la cual presentaba 4 pasadas por baldada, obteniendo un máximo histórico en Agosto del año 2010 con 1218 (Pasadas/Día), teniendo un tope teórico promedio considerado en la misma sección de estudio de tránsito correspondiente a 441 (Baldadas/Día), equivalentes a 1764 (Pasadas/Día).

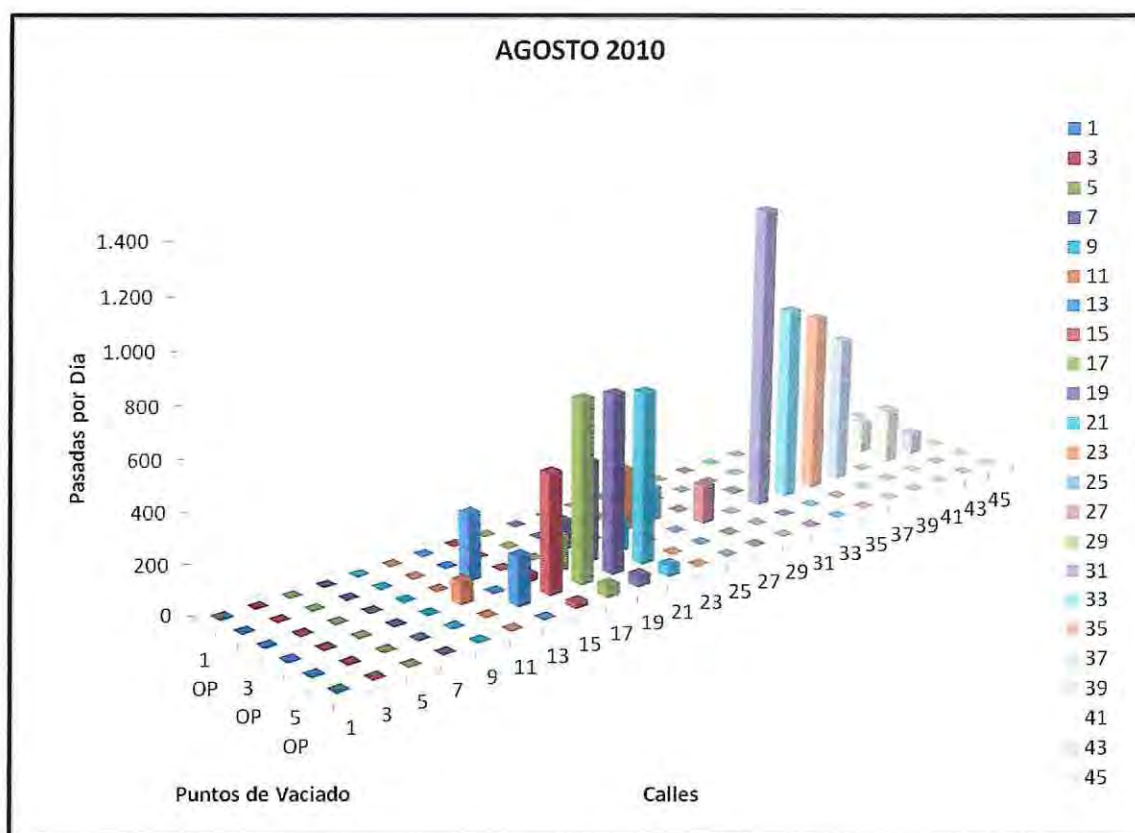


Gráfico N° 4

“Pasadas por Día, Nivel de Producción, Mina Esmeralda.”
Fuente: “Elaboración Propia”.

Entendiendo lo expuesto anteriormente, se considera que las solicitudes inducidas al pavimento por el tránsito es el factor individual más importante para establecer las dimensiones y características que debe tener un pavimento para soportar el estrés en condiciones adecuadas y por un periodo de tiempo determinado.

De acuerdo a esto, es necesario transformar los diferentes tipos de pesos de ejes que circulan por un camino, a un eje patrón único. Este eje patrón corresponde a un eje simple de rueda doble, de acuerdo al método AASHTO para el cálculo de pavimentos, considerando un factor de equivalencia para llevar a cabo esta transformación.

Ese factor de equivalencia es el cociente que resulta entre el número de ejes patrón requeridos para producir una determinada pérdida de serviciabilidad, respecto del número de ejes de determinada configuración y peso, necesarios para producir la misma pérdida de serviciabilidad; por lo que el valor de este cociente es el factor de Ejes Equivalentes.

Si bien es cierto, lo descrito en los párrafos anteriores es recomendado al momento de calcular los ejes equivalentes debido a la variabilidad que presenta el tránsito en las carreteras, para los pavimentos del nivel de producción de la mina Esmeralda es necesaria una aproximación de este factor, debido principalmente a que las consideraciones expuestas en el método AASHTO no están presentes en su mayoría al interior de la mina.

Por lo tanto, una segunda aproximación que permite calcular los ejes equivalentes solicitantes, viene de la simplificación de las fórmulas obtenidas por la AASHTO las que involucraban todos los parámetros mencionados anteriormente tales como las serviciabilidades y espesores de pavimentos (Aylas Jaras, Universidad Nacional de San Marcos, Perú, 2002).

Esta relación conocida como la ley de la cuarta potencia, idealmente aplicable para ejes simples coincidente con lo encontrado en la mina Esmeralda, hace referencia a que la cantidad de ejes equivalentes de un eje cualquiera en relación a un eje patrón viene determinada por la cuarta potencia del cociente entre ellos, es decir:

$$E.E. = \left(\frac{\text{Peso Eje Cualquiera}}{\text{Peso Eje Patrón}} \right)^4$$

(Ec. 6.1)

La ecuación descrita anteriormente permite determinar las cantidades de pasadas de un eje cualquiera en función de otro, asimilando que el daño producido por el eje a transformar es tantas veces el que produce el eje patrón que se esté dando; sin la necesidad que sea el utilizado convencionalmente en el método AASHTO.

Por lo tanto los ejes equivalentes expresados en ejes simples de rueda doble de 80 kN determinados por la AASHTO para los vehículos de diseño de la mina se expresan de la siguiente forma.

Para los equipos LHD de 7 y 13 yd³ respectivamente, los pesos por eje y su correspondiente equivalencia a ejes patrones se muestran a continuación.

Tabla N° 17

“Distribución y Ejes Equivalentes de los Equipos LHD, Eje Patrón 80 kN”.

Eje Patrón	8.160 (Kg) o 80 (kN)			
Situación	Descargado		Cargado	
Eje	Delantero	Trasero	Delantero	Trasero
LHD 7 yd ³	12.516	17.284	28.000	12.000
E. E.	5,535	20,129	138,635	4,677
LHD 13 yd ³	18.270	25.760	45.070	16.130
E. E.	25,130	99,317	930,657	15,268

Fuente: “Elaboración Propia”.

De acuerdo a la tabla anterior, la influencia de la distribución de pesos es muy importante en el cálculo de los ejes equivalentes, ya que una pequeña variación en el peso del eje afectará el valor obtenido, producto de la cuarta potencia. Esto se aprecia más claramente a través del siguiente gráfico.

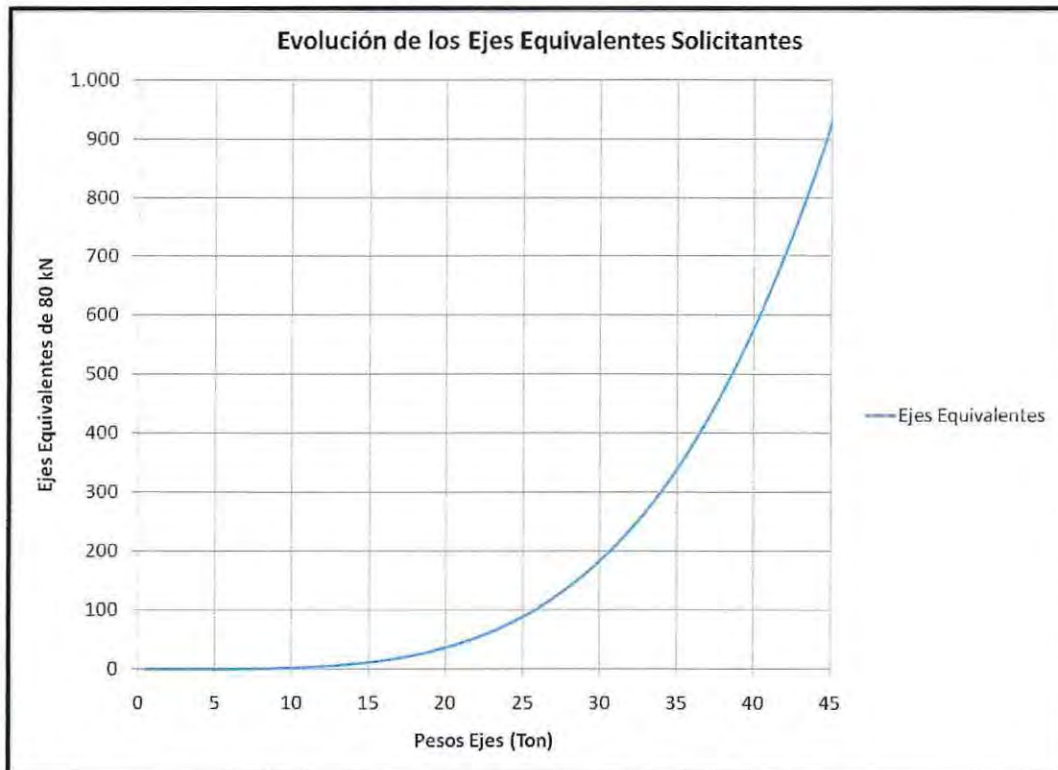


Gráfico N° 5

“Evolución de Ejes Equivalentes Solicitantes”.

Fuente: Elaboración Propia.

Como se aprecia, la influencia de esta variación es considerable después de las 15 (Ton) de peso por eje que posea el equipo, producto de que se encuentra muy cerca del eje patrón correspondiente a 8,16 (Ton). También se advierte que al incrementar 5 toneladas en el peso del eje, observadas desde 25 (Ton) a 30 (Ton), produce un aumento de los ejes equivalentes obtenidos de aproximadamente el doble, tomando vital importancia a la hora de escoger el eje de diseño.

Como se ha indicado anteriormente, los TMDA permiten determinar una proyección en el crecimiento del tránsito para una posterior obtención de los ejes equivalentes solicitantes que van a circular por sobre la carpeta de rodado.

En particular con respecto a este punto, en los Niveles de Producción existe una característica en cuanto a la aplicación de las cargas sobre un mismo tramo de pavimento, la que se traslada a medida que va avanzando la explotación, por lo que el pavimento en algunas minas no estaría siendo cargado con ese TMDA durante toda la vida útil con que se está diseñando.

De acuerdo a lo anterior se determina una vida útil media de los pavimentos de 5 años, consistente con los Planes Quinquenales que definen el polígono de explotación con esa duración de tiempo.

De acuerdo a los datos anteriores, los ejes equivalentes correspondientes a las pasadas máximas históricas y teóricas son 187.803.093 E.E_{8,160} y 271.990.686 E.E_{8,160} respectivamente.

6.2. Recomendaciones para la temperatura y las precipitaciones.

Dentro de los puntos que se mencionan en el apartado del Manual de Carreteras, se debe considerar los aplicables al interior de la mina, o su ajuste para obtener un diseño de acuerdo a sus realidades.

Entre los mencionados cuentan:

- Velocidad Media Anual del Viento (nudos)
- Temperatura del Aire Media Anual (° C)
- Precipitación Media Anual (mm)
- Número de días con Precipitación mayor que 5 mm

El primer punto se puede extraer, debido a que dentro de la mina la presencia de viento es casi nula, solamente brisas producidas por la ventilación necesaria para la circulación del aire en su interior. En cuanto a la temperatura, esta se mantiene dentro de rangos pequeños, debido a la aislación que produce el macizo rocoso a toda la infraestructura interior, obteniendo como temperatura promedio 15° C en casi todos los sectores de la mina.

Para el caso de las precipitaciones estas no existen como tal dentro de la mina, pero si infiltraciones de agua producto de precipitaciones en el exterior, lo que explica la presencia de agua, que se suma a la utilizada por el proceso productivo.

6.3. Esquema Diseño Actual.

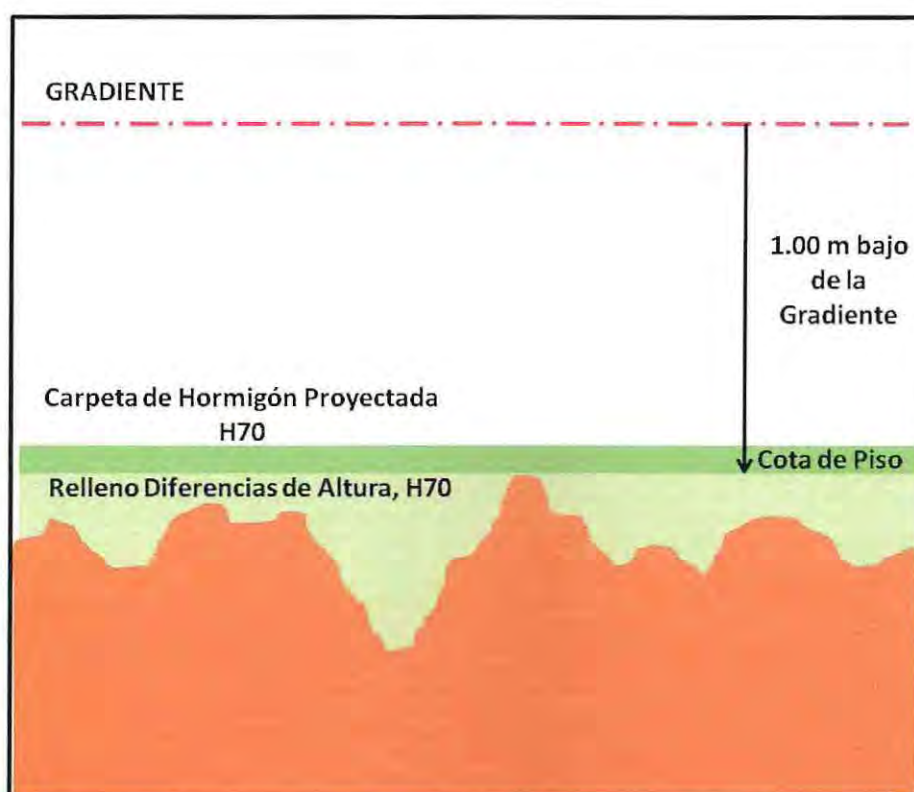


Figura N° 16

“Esquema Diseño Actual”.

Como se muestra en la figura anterior y se especifica en el Anexo B, el diseño actual considera la construcción de la carpeta de rodado sobre la subrasante de roca viva, que anteriormente se excavó, explicado en el apartado de diagnóstico, rellenando las diferencias de cotas a través del mismo hormigón utilizado para la carpeta de rodado de 22 (cm) proyectada y con un recubrimiento de alta resistencia para mejorar su respuesta ante la abrasión.

CAPÍTULO VII: Propuesta de Diseños de Pavimentos.

Como se describe en los apartados anteriores, el diseño actual de los pavimentos al interior de la mina posee un desempeño incierto desde el punto de vista teórico, debido principalmente a las variaciones en su vida útil. Por otro lado, en el capítulo anterior se comentan dos de los factores más importantes que recomienda el Manual de Carreteras que son aplicables como referencia para asegurar un desempeño teórico de los diseños de pavimentos a proponer en el interior de la mina.

Debido a que no existe un diseño específico para los pavimentos mineros, a continuación se proponen tres soluciones teóricas considerando lo recomendado por el Manual de Carreteras, en donde sólo se analizará el Tipo 2 haciendo variar sus factores de diseño en un análisis de sensibilidad, como si se estuviera diseñando un pavimento normal con las características de diseño presentes en la mina.

7.1. Propuesta de diseño con relleno de rocas trituradas (Tipo 1).

Esta primera propuesta de diseño considera la utilización de un relleno compactado en base a rocas trituradas provenientes del desecho de las excavaciones, colocado entre la subrasante de roca viva y la carpeta de rodado, la que se aprecia de acuerdo al siguiente esquema.

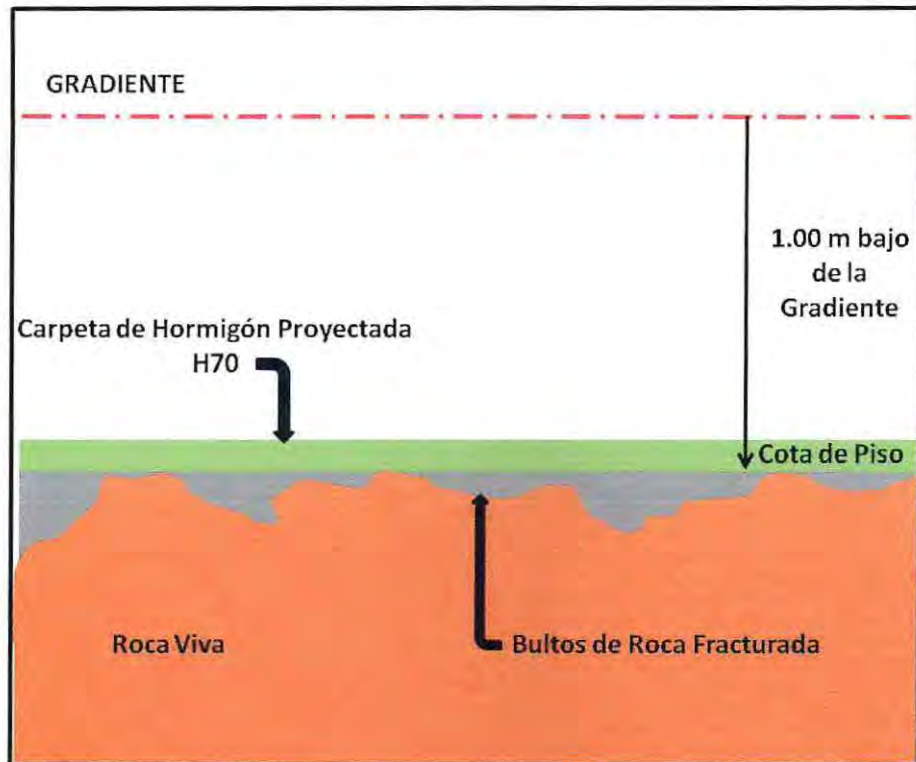


Figura N° 17

“Esquema Solución Tipo1”.

Como se aprecia en el esquema anterior, esta solución pretende considerar las experiencias de los diseños aplicados en el nivel de producción de la mina Esmeralda, debido a que la utilización de una base intervenida con cemento no brinda una estabilidad adecuada producto de su reacción ante las aguas ácidas. Por lo tanto una base de la misma composición mineralógica que el macizo rocoso presente en el nivel de producción, otorga una mejor respuesta ante este agente agresivo, permitiendo además la posibilidad del escurrimiento del agua proveniente de la infiltración.

El espesor de esta capa de relleno cubre todas las diferencias de nivel hasta llegar a la cota de piso, como se muestra en el esquema anterior, otorgando una superficie uniforme para el desarrollo de la carpeta de rodado, considerando el mismo espesor presente en el diseño actual correspondiente a 22 (cm) con el coronamiento de alta resistencia.

7.3. Propuesta de diseño con base granular, binder y subrasante de roca viva (Tipo 3)

Esta tercera propuesta de diseño comprende la utilización de 2 capas intermedias antes de la carpeta de rodado, que consisten en una base granular sobre la subrasante de 18 (cm) de espesor, considerados desde el punto más alto de la subrasante, seguido de un binder o capa asfáltica, de 5 (cm) de espesor, para terminar con la carpeta de rodado especificada a la flexo compresión, como se muestra en la siguiente figura.

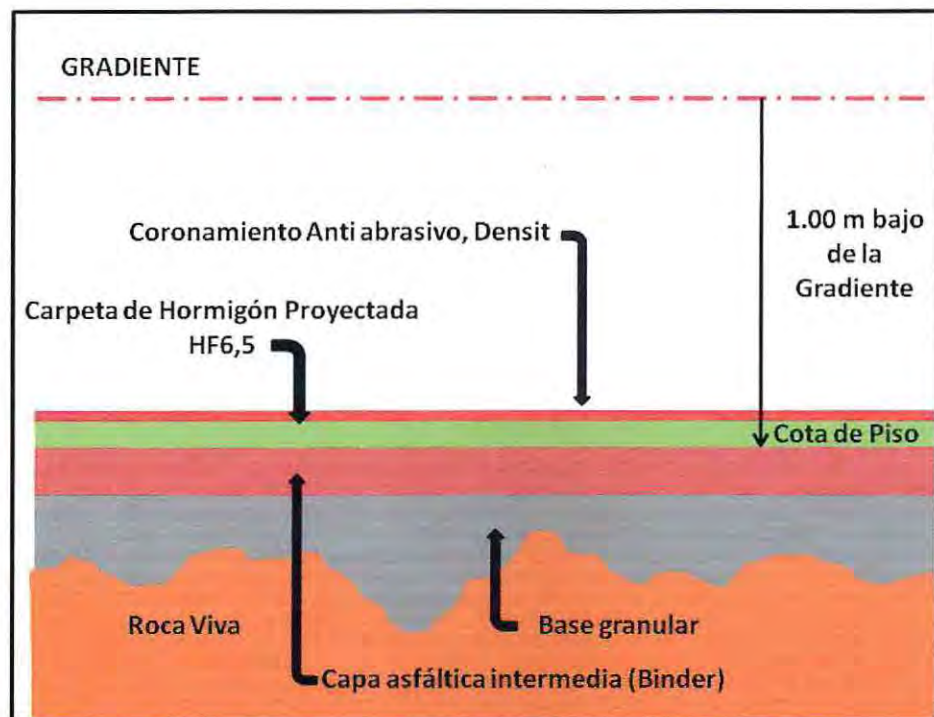


Figura N° 19
"Esquema Solución Tipo 3."

Como se aprecia en el esquema anterior, con estas capas de base y binder se pretende igualar el número estructural proporcionado por la base de la solución tipo n°2, permitiendo simular un comportamiento similar entre ambos diseños.

7.4. Análisis de sensibilidad diseño de pavimento tipo 2.

El siguiente análisis pretende determinar en un principio, el valor más probable de los factores que no son directamente aplicables a los pavimentos mineros, pero que pueden ser homologados para describir las particularidades que se encuentran al interior de la mina, como es el caso de la cantidad de días de lluvia, el promedio de la precipitación y la velocidad media del viento.

Una vez conocidos estos valores, se analizará el comportamiento que presenta el diseño al variar individualmente cada factor aplicable a estos pavimentos dejando los demás fijos, como las propiedades resistentes de la sub-base y el hormigón a utilizar.

Este comportamiento se analizará a través del programa Pavivial, perteneciente al Manual de Carreteras, que considera cálculos iterativos para encontrar los espesores y esfuerzos en las diferentes capas del pavimento.

Antes de empezar con el análisis es necesario aclarar un alcance de nombres, ya que en los esquemas de más arriba se menciona una "base" haciendo referencia a las propiedades resistentes que debe tener el material granular a utilizar debajo de la carpeta de rodado y en los cálculos a continuación presentes en el programa Pavivial, el nombre utilizado es sub-base haciendo referencia a la capa inmediatamente bajo la carpeta de rodado, siendo ambas la misma capa.

La siguiente tabla muestra la variación que produce la precipitación media anual en las propiedades de la carpeta de rodado, considerando valores promedios en las propiedades del hormigón y bases a utilizar, que son solo para describir la influencia que producirá la variable a las propiedades de la carpeta y no para el diseño final del pavimento, en el cual se entregarán todos los datos necesarios para contrastar esos valores.

Tabla N° 18

"Influencia de la precipitación media anual en las propiedades de la carpeta"					
Precipitación Media Anual (mm)	Espesor (mm)	Escalonamiento (mm)	T. M. E. (MPa)	T. M. B. (MPa)	Delta T - (°C)
0	359	32,9	3,35	0,91	-21,2
100	358	32,9	3,34	0,91	-21,2
200	357	32,9	3,34	0,91	-21,2
300	357	32,9	3,34	0,91	-21,2
400	356	32,9	3,33	0,91	-21,2
500	355	32,9	3,33	0,91	-21,1
600	355	32,9	3,33	0,91	-21
700	354	32,9	3,32	0,91	-21
800	353	32,9	1,95	0,91	-13,2
900	353	32,9	1,95	0,91	-13,1
1000	352	32,9	1,95	0,92	-13,1
1100	351	32,9	1,94	0,92	-13,1
1200	351	32,9	1,94	0,92	-13,1
1300	350	32,9	1,94	0,92	-13
1400	350	32,9	1,94	0,92	-13
1500	349	32,9	1,94	0,92	-13
1600	348	32,9	1,93	0,92	-12,9
1700	348	32,9	1,93	0,92	-12,9
1800	347	33	1,93	0,92	-12,9
1900	346	33	1,93	0,92	-12,9
2000	346	33	1,93	0,92	-12,8

Fuente: "Elaboración Propia".

Como se aprecia en la tabla anterior, la variación en la precipitación media anual afecta a dos propiedades de la carpeta de rodado, el espesor y la tensión máxima de esquina. La primera varía en 13 (mm) correspondiente al 3,7% de disminución, lo que es poco en comparación con lo observado en la tensión máxima de esquina disminuyendo de 3,35 (MPa) a 1.93 (MPa) equivalente a un 42.4%.

Esta influencia determina que la variación en la precipitación media anual, afecta directamente a las tensiones que presentará la carpeta al momento del tránsito y no tanto al espesor final que pueda tener esta, aunque una variación de un poco más de 1 (cm) no deja de ser considerable pero en rangos más bajos, como se muestra en el siguiente gráfico.

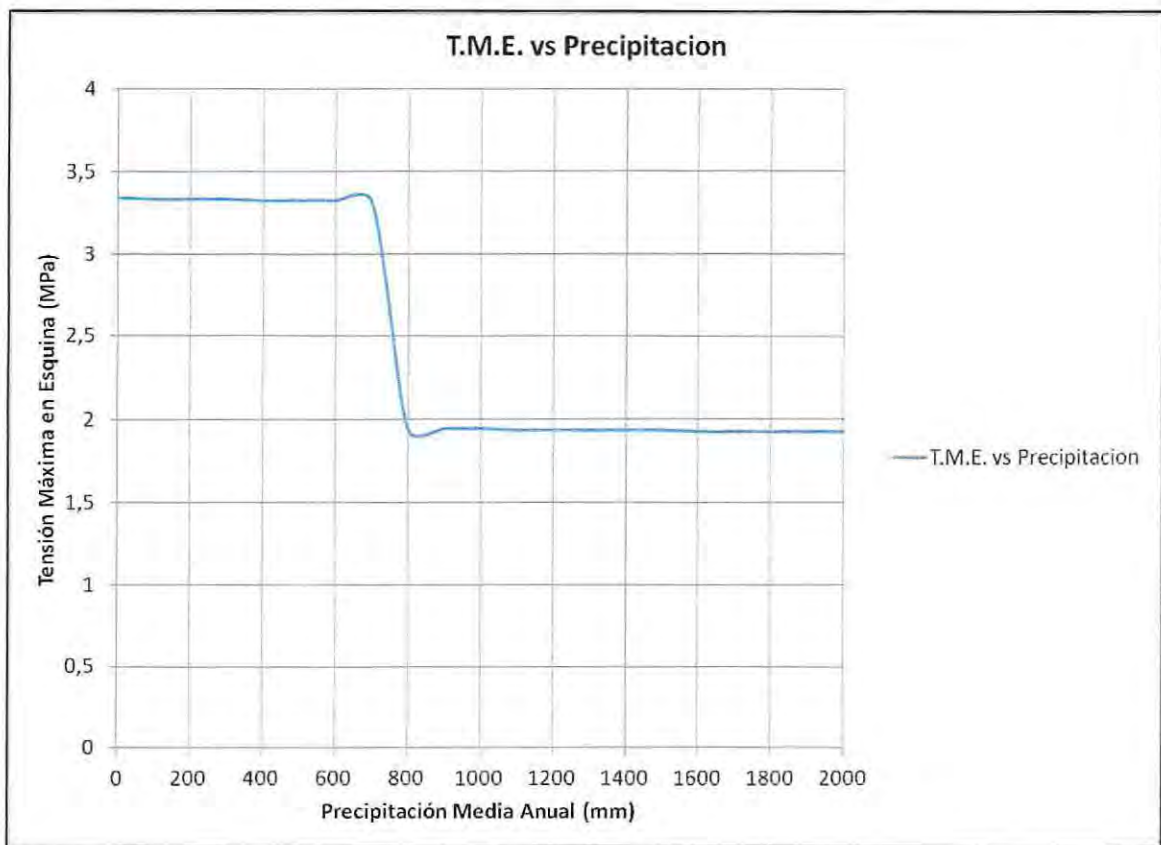


Gráfico N° 6

“Tensión Máxima en la Esquina (T.M.E.) vs Precipitación Media Anual (P.M.A.), Nivel de Producción, Mina Esmeralda”.

Fuente: “Elaboración Propia”.

El punto de inflexión que se produce en los 800 (mm) hace que la elección de uno de los dos valores, ya sea antes o después de ese punto, sea difícil debido a que las tensiones resultantes de la carpeta varían como lo muestra el gráfico anterior, no obstante se considerará la condición promedio encontrada en los niveles de producción correspondiente a carpetas de rodado con presencia de agua una cantidad importante de días al año, utilizando un valor bajo los 800 (mm) para el posterior diseño.

El siguiente factor a calibrar corresponde a la cantidad de días con precipitaciones mayores a 5 (mm), que viene de la mano con el descrito anteriormente, ya que para producir una precipitación media es necesario que existan días de lluvia superiores a este valor.

Los valores mostrados en la siguiente tabla corresponden a una precipitación media anual de 2000 (mm), que en un principio pueden parecer contradictorio con lo mencionado en el factor anterior, en el cual se determinó un promedio anual bajo los 800 (mm).

Pero esta elección no afecta a la variación de los valores de escalonamiento, ya que para una precipitación promedio de 1000 (mm) solo varían los esfuerzos encontrados en la losa mostrados en la Tabla N° 18, manteniéndose la misma proporción constante en el escalonamiento no importando la cantidad anual media de lluvia precipitada.

Tabla N° 19

“Influencia de la cantidad de días con lluvia mayor a 5 (mm) en las propiedades de la carpeta”

Días de lluvia > 5 mm	Espesor (mm)	Escalonamiento (mm)	T. M. E. (MPa)	T. M. B. (MPa)	Delta T - (°C)
0	346	2,7	1,93	0,92	-12,8
20	346	4,4	1,93	0,92	-12,8
40	346	6,1	1,93	0,92	-12,8
60	346	7,7	1,93	0,92	-12,8
80	346	9,4	1,93	0,92	-12,8
100	346	11	1,93	0,92	-12,8
120	346	12,7	1,93	0,92	-12,8
140	346	14,3	1,93	0,92	-12,8
160	346	16	1,93	0,92	-12,8
180	346	17,6	1,93	0,92	-12,8
200	346	19,3	1,93	0,92	-12,8
220	346	21	1,93	0,92	-12,8
240	346	22,6	1,93	0,92	-12,8
260	346	24,3	1,93	0,92	-12,8
280	346	25,9	1,93	0,92	-12,8
300	346	27,6	1,93	0,92	-12,8
320	346	29,2	1,93	0,92	-12,8
340	346	30,9	1,93	0,92	-12,8
360	346	32,5	1,93	0,92	-12,8
365	346	33	1,93	0,92	-12,8

Fuente: “Elaboración Propia”.

Esta variación se aprecia de mejor manera en el siguiente gráfico, el cual muestra una pendiente constante correspondiente al 8,5%. Esa pendiente hace que al variar de 100 a 200 días de lluvia se obtenga una diferencia del 43% de aumento en el escalonamiento, que por recomendación del Manual de Carreteras no debe pasar los 6 (mm) en losas sin barras de traspaso, cosa que se sobrepasa teniendo solamente 40 días de lluvia mayor a 5 (mm).

Por lo tanto para homologar la situación actual dentro de los niveles de producción y poder utilizar este valor, se considerarán los sectores que

presentan agua permanentemente en la superficie de la carpeta de rodado la mayor cantidad de días al año, encontrándose incluso carpetas totalmente sumergidas todo el año, siendo la situación promedia la utilizada en el diseño correspondiente a 180 días de lluvia al año.

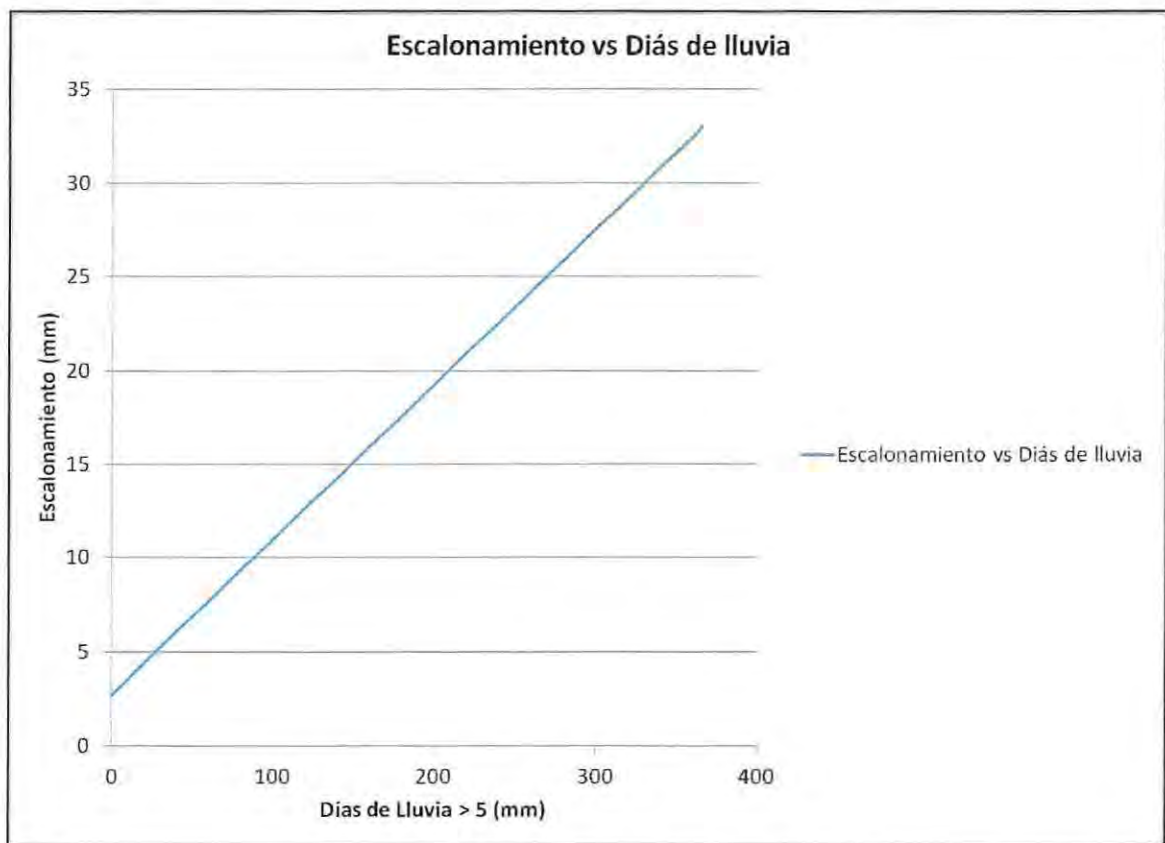


Gráfico N° 7

“Escalonamiento (mm) vs Días de Lluvia > 5 (mm), Nivel de Producción, Mina Esmeralda”.

Fuente: “Elaboración Propia”.

El último factor a sensibilizar corresponde a la velocidad media del viento, cosa que no se encuentra con frecuencia dentro de la mina, pero que se puede considerar como una brisa constante en algunos niveles de producción.

Como se aprecia en la siguiente tabla, este factor afecta principalmente al espesor de la carpeta de rodado resultante, variando un 18% en 10 (nudos), o de otra forma, variando 78(mm) en 10 (nudos), lo que es bastante considerable.

Debido a esto se considerará un máximo de 2 (nudos) equivalentes a 3,7 (Km/h) como valor máximo en la velocidad del viento, debido principalmente a las brisas encontradas en algunos sectores de los niveles de producción, producto de la ventilación natural de los niveles de la mina.

Tabla N° 19

“Influencia del viento en las propiedades de la carpeta”

Velocidad del Viento (Nudos)	Espesor (mm)	Escalonamiento (mm)	T. M. E. (MPa)	T. M. B. (MPa)	Delta T - (°C)
0	351	32,9	3,37	0,92	-21,1
1	359	32,9	3,35	0,91	-21,3
2	366	32,9	3,32	0,9	-21,4
3	374	32,8	3,29	0,9	-21,5
4	382	32,8	3,26	0,89	-21,7
5	390	32,8	3,23	0,89	-21,8
6	397	32,7	3,19	0,88	-21,9
7	405	32,7	3,15	0,88	-22
8	413	32,7	3,11	0,87	-22,1
9	420	32,7	3,07	0,86	-22,3
10	428	32,6	3,02	0,86	-22,4

Fuente: “Elaboración Propia”.

El siguiente gráfico muestra la variación descrita en la tabla anterior.

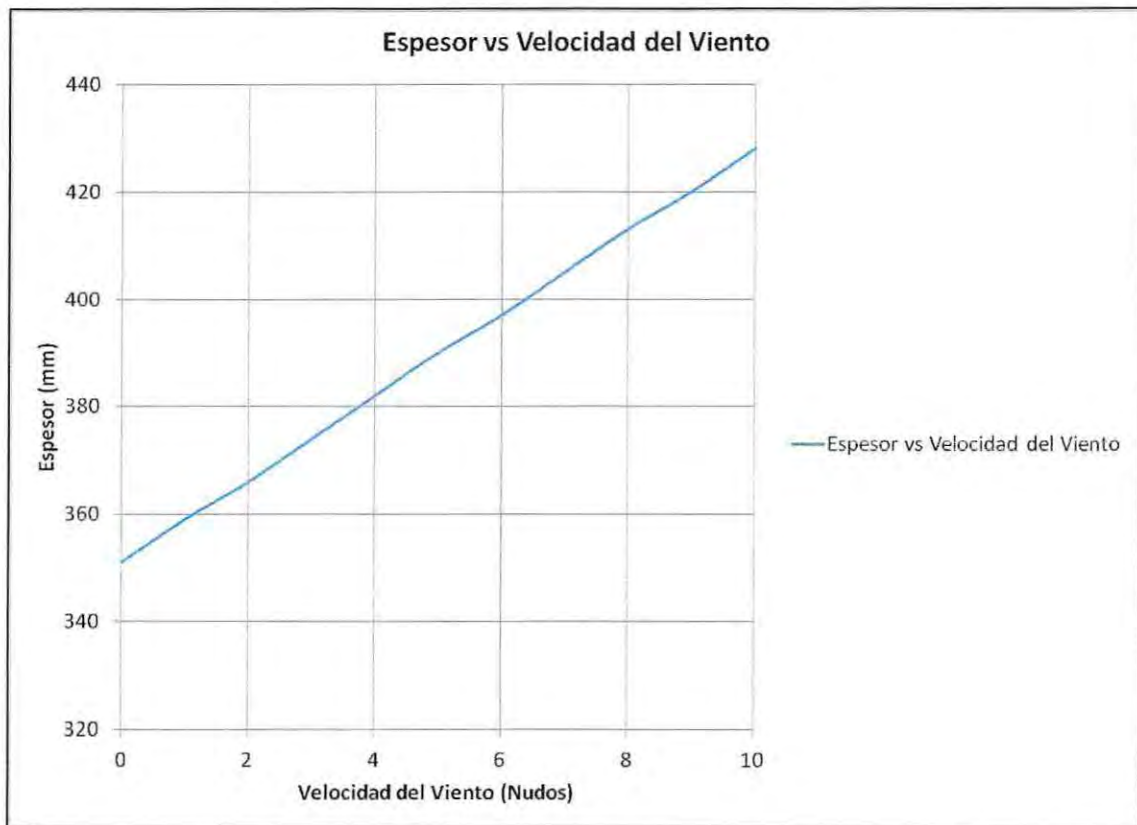


Gráfico N° 8

“Espesor vs Velocidad del Viento, Nivel de Producción, Mina Esmeralda”.

Fuente: “Elaboración Propia”.

Una vez calibrados los valores a las condiciones ambientales presentes en los niveles de producción, se pueden analizar las variaciones que producirán en el diseño, las propiedades de los materiales de la estructura del pavimento.

Para ello se considerarán los datos de entrada resumidos en la siguiente tabla, variando tanto las propiedades de la base como del hormigón constituyente de la carpeta de rodado.

Tabla N° 20

“Parámetros Básicos para la Sensibilidad de Diseños Propuestos.”

PARAMETROS E INFORMACION DEL DISEÑO					
Ejes Equivalentes de Diseño	230.000	miles	Velocidad Media Anual del Viento	2,0	Nudos
Índice de Serviciabilidad Inicial	4,5	--	Temperatura Media Anual del Aire	15,0	°C
Índice de Serviciabilidad Final	2	--	Precipitación Media Anual	6	mm
Resistencia a la Flexotracción	5,4	MPa	Nº días con Precipitación > 5 mm	180	días
Módulo Elástico del Hormigón	30.000	MPa	Valor k de la subrasante	170	MPa/m
Razón de Poisson del Hormigón	0,15	--	Longitud de la Losa	3,0	m
Módulo Elástico de la Sub-base	130,4	MPa	Tipo de Berma :	Sobre ancho 0,6 m + Berma Granular ó Asfáltica	
Espesor de Diseño de Sub-base	150	mm			
Factor de Fricción Sub-base/Losa	1	--	Tipo de Base :	GRANULAR	
Nivel de Confiabilidad	95	%	Presencia de DREN lateral de calzada :	NO	
Desviación Estándar Total	0,34	--	Presencia Barras de Traspaso de Carga :	NO	

Fuente: Elaboración Propia.

Como se aprecia en la tabla anterior, los valores de serviciabilidad corresponden a los recomendados por el Manual de Carreteras para pavimentos rígidos.

Por otro lado, para los valores iniciales de la base se considerarán suelos del tipo granulares gruesos, debido a su alta capacidad de drenaje y poca o nula presencia de finos, evitando bombeos y otros problemas sobre la losa, resumidos en la siguiente tabla.

Tabla N° 21

“Descripción de Suelo A-1-a, Rangos de Variación”.

Clasificación AASHTO	Descripción	U.S.C.S.	Densidad Seca (Kg/m³)	CBR (%)	k (MPa/m)
A-1-a, bien graduado	Grava	GW, GP	2.000 – 2.250	60 – 80	80 – 120
A-1-a, mal graduado			1.900-2.100	35-60	80-110

Fuente: Manual de Carreteras, Tabla 3.604.206.B.

Cabe destacar que para el valor k de la base se debe realizar una corrección indicada en el punto 3.604.206(5) del Manual de Carreteras, que hace referencia al ajuste de este valor al encontrarse con un estrato de roca a menos de 3 (m) de profundidad, de acuerdo a la Lámina 3.604.206.A, que puede encontrarse en los anexos, dando como resultado un k=170, siendo 80 su valor inicial. Con esta consideración se modelará la subrasante con estas propiedades debido a una limitante del programa Pavivial en cuanto a la rigidez de esta.

Para los otros valores, se consideran los expuestos en la Tabla N° 20, ya sea para las características de la base y el hormigón, entre otras mencionadas, dejándolos fijos.

Tabla N° 22

“Influencia de la rigidez de la base en las propiedades de la carpeta.”

K subrasante (MPa)	Espesor (mm)	Escalonamiento (mm)	T. M. E. (MPa)	T. M. B. (MPa)	Delta T - (°C)
170	362	17,6	3,3	0,91	-21,1
180	365	17,5	3,47	0,91	-21,2
190	367	17,5	3,66	0,9	-21,4
200	370	17,4	3,84	0,9	-21,5
210	373	17,4	4,03	0,9	-21,7
220	377	17,3	4,23	0,9	-21,8
230	380	17,3	4,43	0,89	-22
240	383	17,3	4,64	0,89	-22,2
250	387	17,2	4,86	0,89	-22,3
260	390	17,2	5,08	0,89	-22,5

Fuente: Elaboración Propia.

La principal influencia que ejerce la rigidez de la subrasante, como se aprecia en la tabla anterior, es en la tensión máxima de esquina (T.M.E.), aumentando 1,78 (MPa) equivalente a un 35%, y en el espesor de la carpeta aumentando 28 (mm) correspondiente al 7,2%, que se aprecia en el siguiente gráfico.

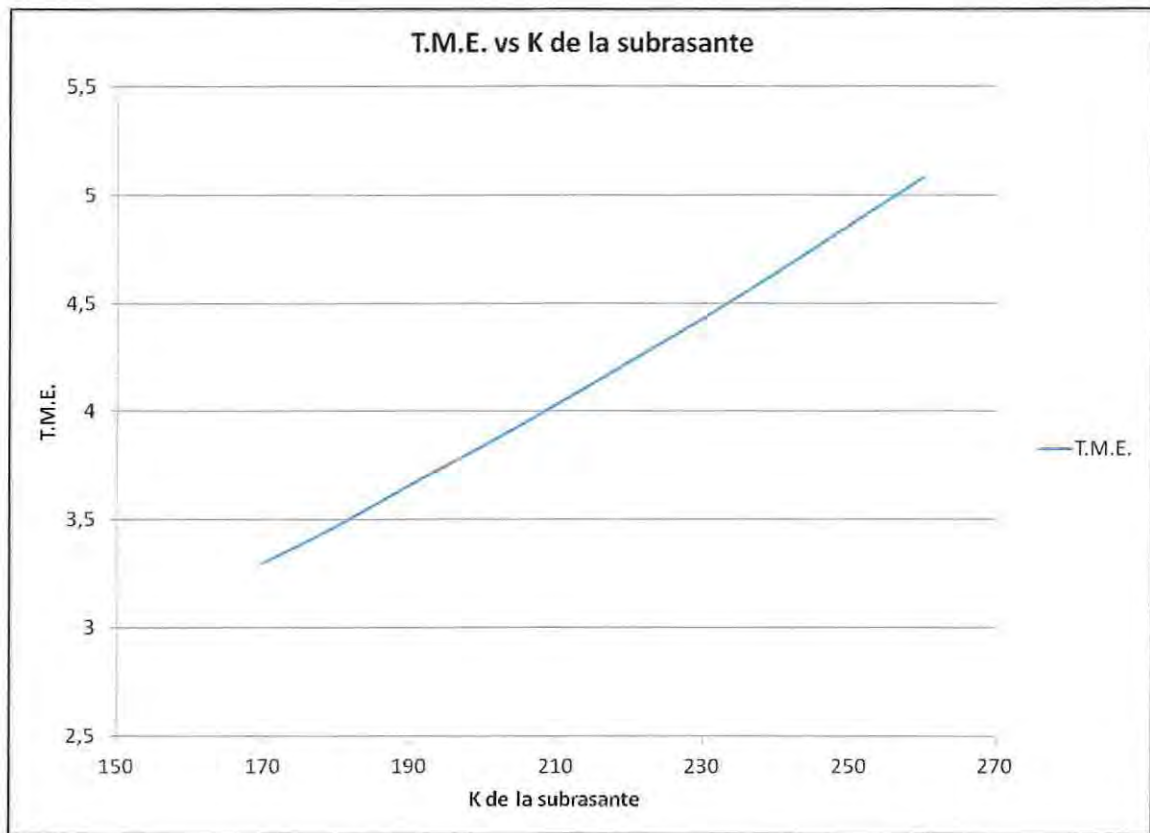


Gráfico N° 9

“T.M.E. vs K de la subrasante, Nivel de Producción, Mina Esmeralda”.
Fuente: “Elaboración Propia”.

Es necesario acotar que para subrasantes con mayores rigideces, el programa Pavivial no permite hacer el análisis ya que tiene como tope el valor de 260 (MPa/m), que corresponden al valor máximo modificado de la Tabla N° 21 de 120 (MPa/m) a 260 (MPa/m), por la presencia de un estrato de roca. Por lo tanto se considerará la utilización de 260 (MPa/m) como el valor de la rigidez de la subrasante para poder seguir con el análisis.

Ahora bien, la variación en el espesor de la base produce los siguientes efectos en las características de la carpeta de rodado, resumidas en la siguiente tabla.

Tabla N° 23

“Influencia del espesor de la base en las propiedades de la carpeta.”

Espesor Base (mm)	Espesor (mm)	Escalonamiento (mm)	T. M. E. (MPa)	T. M. B. (MPa)	Delta T - (°C)
150	390	17,2	5,08	0,89	-22,5
160	390	17,2	5,08	0,89	-22,5
170	389	17,2	5,08	0,89	-22,5
180	389	17,2	5,07	0,89	-22,4
190	389	17,2	5,07	0,89	-22,4
200	388	17,2	5,07	0,89	-22,4
210	388	17,2	5,06	0,89	-22,4
220	388	17,2	5,06	0,89	-22,4
230	387	17,2	5,06	0,89	-22,4
240	387	17,2	5,05	0,89	-22,3
250	387	17,2	5,05	0,89	-22,3
260	386	17,2	5,05	0,89	-22,3
270	386	17,2	5,05	0,89	-22,3
280	386	17,2	5,04	0,89	-22,3
290	386	17,2	5,04	0,89	-22,3
300	385	17,2	5,04	0,89	-22,3

Fuente: Elaboración Propia.

De acuerdo a la tabla anterior y contrariamente a lo que se puede esperar, para las condiciones reinantes en los niveles de producción el espesor de la base que se utilice, no afecta mucho a las características finales de la carpeta de rodado disminuyendo el espesor de esta en solo 5 (mm) y la tensión en el extremo en 0,04 (MPa), producto de la subrasante extremadamente rígida. Por lo que se considerarán 150 (mm) de base, debido principalmente a las condicionantes de altura que presentan los equipos en los niveles de producción no pudiendo levantar demasiado la cota de piso, para no chocar el techo de la galería con el balde del equipo al momento del traslado del mineral a los puntos de vaciado.

El mismo fenómeno ocurre con el módulo de elasticidad de la base, el cual no afecta por si solo a las condiciones finales que tendrá la carpeta de rodado, como se aprecia en la tabla siguiente, la influencia del módulo de elasticidad de la base disminuye el espesor de la carpeta en 10 (mm), equivalente a 2,55%. Por lo tanto se considerará una base con un alto módulo de elasticidad ya que se utilizarán el mismo tipo de roca que existe en la subrasante para realizar la base, considerando un E de 310 (MPa).

Tabla N° 24

“Influencia del módulo de elasticidad de la base en las propiedades de la carpeta.”

E base (MPa)	Espesor (mm)	Escalonamiento (mm)	T. M. E. (MPa)	T. M. B. (MPa)	Delta T - (°C)
100	392	17,2	5,1	0,89	-22,6
120	391	17,2	5,09	0,89	-25,5
140	390	17,2	5,08	0,89	-22,5
160	389	17,2	5,07	0,89	-22,4
180	388	17,2	5,06	0,89	-22,4
200	387	17,2	5,05	0,89	-22,3
220	386	17,2	5,04	0,89	-22,3
240	385	17,2	5,03	0,89	-22,3
260	384	17,2	5,03	0,89	-22,3
280	384	17,2	5,02	0,89	-22,2
300	383	17,2	5,01	0,89	-22,1
320	382	17,2	5,01	0,89	-22,1

Fuente: Elaboración Propia.

Por último la variación en las propiedades del hormigón, producen los siguientes efectos en las características finales de la carpeta de rodado, resumidas a continuación.

Tabla N° 25

“Influencia de la resistencia a la flexotracción del hormigón en las propiedades de la carpeta.”

Flexotracción (MPa)	Espesor (mm)	Escalonamiento (mm)	T. M. E. (MPa)	T. M. B. (MPa)	Delta T - (°C)
5,4	383	17,2	5,01	0,89	-22,1
5,5	374	17,3	4,92	0,92	-21,7
5,6	365	17,3	4,83	0,94	-21,3
5,7	357	17,3	4,74	0,96	-20,8
5,8	348	17,4	4,65	0,99	-20,4
5,9	340	17,4	4,55	1,01	-20
6	332	17,4	4,45	1,03	-19,6
6,1	324	17,5	4,35	1,06	-19,2
6,2	317	17,5	4,25	1,08	-18,8
6,3	309	17,5	4,15	1,1	-18,5
6,4	302	17,6	4,05	1,12	-18,1
6,5	295	17,6	3,95	1,15	-17,7

Fuente: Elaboración Propia.

Como se aprecia en la tabla anterior, la resistencia a la flexotracción influye considerablemente en el espesor final de la carpeta de rodado, produciendo

una disminución de 88 (mm) correspondiente a un 23%, que se muestra en el siguiente gráfico.

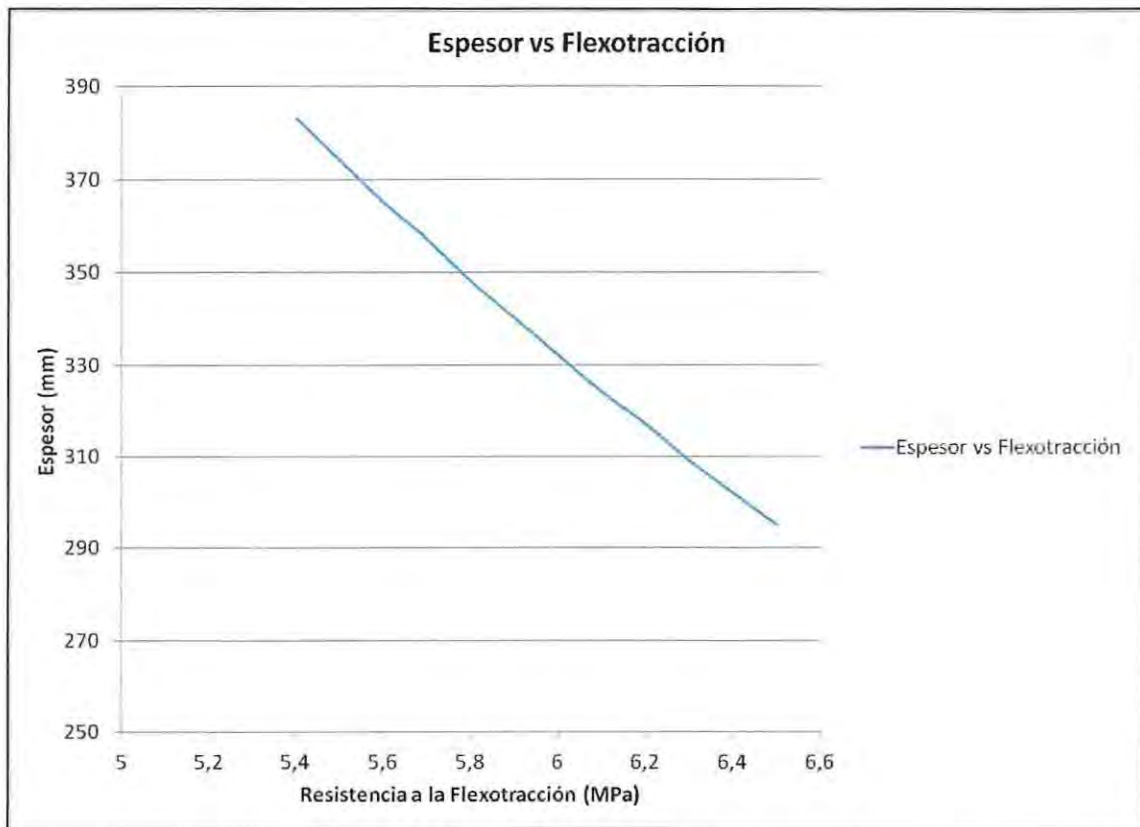


Gráfico N° 10

“Espesor vs Flexotracción, Nivel de Producción, Mina Esmeralda”.
Fuente: “Elaboración Propia”.

Esta variación hace necesaria la utilización de hormigones de alta resistencia en cuanto a la flexotracción, para disminuir el espesor de la carpeta de rodado resultante, optando por una resistencia de 6,5 (MPa) correspondiente también al valor máximo admitido por el programa Pavivial para esta característica del hormigón.

Debido a esto mismo las variaciones que produce el módulo de elasticidad del hormigón en las propiedades de la carpeta son las resumidas a continuación.

Tabla N° 26

“Influencia del módulo de elasticidad del hormigón en las propiedades de la carpeta.”

Módulo de Elasticidad (MPa)	Espesor (mm)	Escalonamiento (mm)	T. M. E. (MPa)	T. M. B. (MPa)	Delta T - (°C)
30000	295	17,6	3,95	1,15	-17,7
31000	301	17,6	4,03	1,14	-18
32000	306	17,5	4,1	1,14	-18,3
33000	310	17,5	4,16	1,14	-18,5
34000	313	17,4	4,21	1,13	-18,7
35000	317	17,4	4,25	1,13	-18,8
36000	320	17,4	4,29	1,13	-19
37000	322	17,4	4,32	1,13	-19,1
38000	324	17,3	4,35	1,13	-19,2
39000	326	17,3	4,38	1,12	-19,3
40000	328	17,3	4,4	1,12	-19,4

Fuente: Elaboración Propia.

De acuerdo a la tabla anterior, el pensar que un hormigón con mayor resistencia a la compresión, el cual tiene un módulo de elasticidad directamente proporcional a esta resistencia, implica una mejora en la respuesta de la carpeta es un criterio equivocado, debido a que las tensiones y espesores son mayores. Por lo tanto se considerará un bajo módulo de elasticidad cercano a los 30.000 (MPa) para obtener un espesor de carpeta de rodado de 300 (mm) aproximadamente.

7.5. Resumen.

Hasta ahora se han definido valores para los diferentes parámetros que involucran el diseño de un pavimento, aplicados a las particularidades presentes en los niveles de producción, realizando una variación de estos para ver su influencia sobre las propiedades finales de la carpeta de rodado.

Por esto, es necesario describir la situación global y el porqué de la utilización de esos parámetros para la correcta comprensión de este análisis.

Como se mencionó en los primeros capítulos, la situación de las calles antes de recibir el pavimento corresponde a una sección con una rasante irregular de roca primaria producto del desarrollo horizontal del nivel de producción, a la que se le realizan excavaciones extras para intentar dejar una subrasante de iguales características resistentes pero con profundidades muy variables.

Sobre estas irregularidades es que los diseños propuestos buscan colocar una capa granular como base, otorgando no solo una homogeneidad en las características resistentes de esta nueva superficie, sino que también en la cota, permitiendo el correcto desempeño de las capas superiores como parte de la estructuración de una carpeta de rodado.

Ahora bien, como se ha explicado en los párrafos de la sección anterior, la sensibilidad del diseño tipo 2, que comprende la utilización de una capa granular que otorga una base homogénea de 150 (mm) como mínimo para toda la sección de la carpeta, considera la utilización de hormigones de alta resistencia a la flexotracción para resistir las cargas de tránsito debido a que al existir un estrato de roca tan cerca de la superficie, disminuye la influencia que produce la base para la disminución de tensiones hacia los estratos más inferiores (Tabla N° 22).

Haciendo referencia al punto anterior y por las condicionantes ambientales de presencia de agua una gran cantidad de días al año, la influencia de la base solo se ve considerada en la capacidad de drenar al agua que se infiltra por debajo de la carpeta y que determina la cantidad de días que las capas de la carpeta de rodado estarán sumergidas en agua (Días con precipitación mayor a 5 (mm), Tabla N° 19), lo que afecta considerablemente el escalonamiento si es que se está en un sector con alta infiltración.

Este punto afecta también a las tensiones producidas por el tránsito en el extremo de la carpeta, manteniéndose constante hasta un valor de 800 (mm) de precipitación media, que puede ser homologado por los caudales de agua presentes en la superficie de rodado y corregido una vez puesto a prueba el prototipo de diseño, ya que determinarán el uso de las barras de traspaso que no son recomendadas sin una aislación efectiva para los sulfatos presentes en el agua.

Por último las características básicas del diseño tipo 2 están resumidas en la siguiente tabla y figura, representando las condiciones promedio para un nivel de producción.

Tabla N° 27

“Parámetros Básicos para Diseño Tipo 2”.

PARAMETROS E INFORMACION DEL DISEÑO					
Ejes Equivalentes de Diseño	230.000	miles	Velocidad Media Anual del Viento	2,0	Nudos
Índice de Serviabilidad Inicial	4,5	--	Temperatura Media Anual del Aire	15,0	°C
Índice de Serviabilidad Final	2	--	Precipitación Media Anual	700	mm
Resistencia a la Flexotracción	6,5	MPa	N° días con Precipitación > 5 mm	180	días
Módulo Elástico del Hormigón	30.000	MPa	Valor k de la subrasante	260	MPa/m
Razón de Poisson del Hormigón	0,15	--	Longitud de la Losa	3,0	m
Módulo Elástico de la Sub-base	310	MPa	Tipo de Berma :	Sobre ancho 0,6 m + Berma Granular ó Asfáltica	
Espesor de Diseño de Sub-base	150	mm			
Factor de Fricción Sub-base/Losa	1,4	--	Tipo de Base :	GRANULAR	
Nivel de Confiabilidad	95	%	Presencia de DREN lateral de calzada :	NO	
Desviación Estándar Total	0,34	--	Presencia Barras de Traspaso de Carga :	NO	

Fuente: Elaboración Propia.

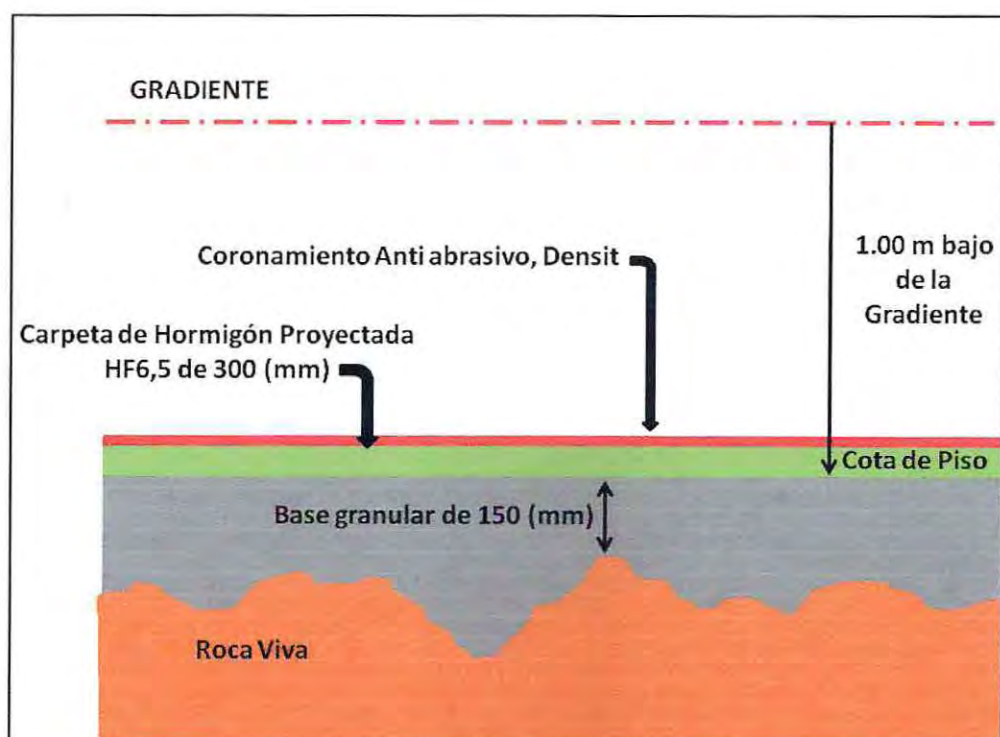


Figura N° 20

“Esquema Solución Tipo 2”.

Este prototipo presenta 2 condiciones extremas representadas por la cantidad de agua presente en el nivel de producción, la primera corresponde a una zona inundada todos los días del año, por lo cual se deberán colocar barras de traspaso para contrarrestar el elevado escalonamiento que se da como guía en la Tabla N° 19 y que considerando los valores finales del diseño varía a 32,9 (mm) sin barra de traspaso. Esta barra debe ser de no menos de 22 (mm) de diámetro y un módulo elástico mínimo de 250.000 (MPa) para reducir el escalonamiento a 5,7 (mm) justo por debajo del permitido por las recomendaciones del Manual de Carreteras.

La segunda condición extrema que presenta este diseño es en un lugar seco, es decir que no tengo presencia de aguas de infiltración, cosa que es muy poco probable pero puede darse el caso. Esta condición presenta un escalonamiento bajo equivalente a 2,7 (mm), pero un aumento en la tensión de extremo y en el espesor de la losa, que hacen necesaria la utilización de barras de traspaso.

Conclusiones

Como se ha podido apreciar a lo largo de esta investigación, los factores ambientales son una condicionante para el comportamiento de la carpeta de rodado ante las cargas de tránsito. El primero de ellos fue considerado en los capítulos iniciales, correspondiente a las aguas ácidas presentes en el nivel de producción de la mina Esmeralda, la que sobrepasaba en concentración lo recomendado para la exposición de los hormigones.

Esta concentración no afectaba solo el comportamiento del hormigón, sino que a los componentes de este, especialmente los áridos traídos desde plantas externas, que presentaban más probabilidad de reacciones. Para solucionar este problema se consideró la aplicación de nano sílice para disminuir la permeabilidad y así aislar el hormigón y sus componentes del agua ácida.

El segundo factor es la causa de la exposición anterior, y corresponde a la infiltración de agua durante todo el año en algunos sectores del nivel de producción, que provoca una inmersión de las carpetas. Esto se describió en los capítulos finales, en donde se presentó el prototipo de diseño considerando algunas recomendaciones del Manual de Carreteras con respecto a esta situación, particularmente los días del año con precipitaciones mayores a 5 (mm).

Esta cantidad de días juntamente con la precipitación media anual afectaron principalmente al escalonamiento y a la T.M.E. que presentaba el prototipo, haciendo necesaria la incorporación de algún mecanismo de traspaso en las losas con el fin de evitar este fenómeno, en zonas de más de 40 días de inmersión al año.

Las recomendaciones anteriores son válidas sobre todo en los puntos de extracción, debido principalmente a que fuera de estos se encuentra la mencionada Zona 3, en donde se produce la mayor cantidad de pasadas por baldadas correspondientes a 4, haciendo necesario un bajo escalonamiento para no romper el recubrimiento de alta resistencia colocado en esas zonas.

Ahora bien, si se considera la utilización del prototipo de diseño 3 que consiste en utilizar una capa intermedia de asfalto entre la base y la carpeta de hormigón, es necesario hacer una analogía al comportamiento del diseño tipo 2, debido a que en el programa Pavivial no hace referencia a la utilización de capas

intermedias de asfalto, sino que a la intervención directamente de una base con asfalto, que se aleja del prototipo mencionado.

Para lograr esta comparación se utilizará el concepto de número estructural de pavimentos flexibles, el cual hace referencia en cierta medida a la capacidad resistente de las diferentes capas que conforman el apoyo para la carpeta de rodado, en este caso hormigón, reflejado en la siguiente ecuación.

$$NE \text{ (mm)} = A_i * D_i + A_i * D_i * m_i$$

En donde A_i representa el coeficiente estructural de la capa i, el D representa el espesor de la capa i y m representa el coeficiente de drenaje de la capa i.

Si se considera una base granular, como en la del prototipo 2, posee un coeficiente estructural de acuerdo al Manual de Carreteras, en el punto 3.604.107, de 0.13 para bases granulares con poca o nula presencia de finos en su composición, a su vez estas bases poseen una capacidad de drenaje representada por el coeficiente de drenaje, que varía desde 1.35 a 1.40.

Con estos valores es posible determinar el número estructural de una capa de 300 (mm) de base granular del tipo usado en el prototipo 2, dando como resultado, $NE = 0.13 * 300 * 1.35 = 52.65 \text{ (mm)}$.

Ahora bien, si se considera la aplicación de una capa intermedia de asfalto de 5 (cm) con un coeficiente estructural de 0.41 de acuerdo a la tabla 3.604.107.A del Manual de Carreteras correspondiente a una capa asfáltica intermedia (binder), y la utilización de una capa granular de las mismas características de la anterior, se deberá determinar el espesor de esta capa, para alcanzar el mismo número estructural que la situación anterior con solo base granular.

$NE = 0.13 * X * 1.35 + 0.41 * 50$, en donde X es el espesor de la capa granular, dando como resultado 183 (mm), aproximado a 180 (mm).

Por lo tanto, la capacidad resistente de una capa granular de 300 (mm) es similar a una capa de 50 (mm) de binder mas una capa granular de 18 (mm).

Como se vio en los gráficos de espesor de la carpeta versus espesor de la base, la influencia del espesor de la base no variaba más de 10 (mm) el espesor de la carpeta, por lo tanto al considerar los 150 (mm) de espesor del prototipo 2, manteniendo el mismo número estructural, se obtienen espesores muy pequeños correspondientes a 50 (mm) de binder y 33 (mm) de grava, que constructivamente no son recomendables. En conclusión para el prototipo de

diseño tipo 2 se recomienda utilizar los espesores calculados en los párrafos anteriores correspondientes a 50 (mm) de binder y 180 (mm) de grava.

Por último el prototipo tipo 1, que especifica un relleno compactado en las diferencias de nivel hasta la roca más sobresaliente de la subrasante, podrá presentar problemas de punzonamiento en las zonas donde la carpeta quede en contacto directo sobre la subrasante, produciendo una falla temprana por el paso de los equipos, por lo que no se recomienda esta solución para los niveles de producción en donde se demande un gran estrés para las carpetas de rodado.

Cabe señalar que estas consideraciones con respecto al Manual de Carreteras no buscan señalar que dicho manual sea aplicable para los pavimentos al interior de la mina, sino como referencia para conocer el comportamiento de los diseños propuestos como prototipo de solución.

Bibliografía.

1. CABRERA, Oscar A. "et al". *Efecto del curado en los hormigones de alta performance*. Laboratorio de Materiales. Facultad de Ingeniería del Valle-(B7400JWI) Olavarría-Argentina.
2. CAVIERES, Patricio. *Curso Block Caving Panel Caving*. Santiago de Chile, 2007. En: Cátedra, Universidad de Chile.
3. Consejo de Directores de Carreteras de Iberia e Iberoamérica. *Catálogo de deterioros de pavimentos rígidos*. Volumen 12, 2002.
4. DENSIT. *Manual Técnico Densitop*.
5. Departamento de Planificación Minera (DPM). *Plan Quinquenal 2011-2015*. División El Teniente, 2010.
6. FERNANDEZ C., Manuel. *Durabilidad del hormigón en ambiente marino*. Profesor Emérito. Universidad Politécnica de Madrid. España.
7. GARCÍA H., Álvaro. *Resistencia a la abrasión y al impacto*. En su: Pavimentos industriales desde el punto de vista del acabado superficial, Noviembre 2007.
8. GONZÁLEZ de la C., Manuel. *Ataque químico al concreto*, 1991. En: Exposición en el ciclo organizado por el ACI, Capítulo Peruano sobre Corrosión en Estructuras de Concreto. Diciembre 1991.
9. Ministerio de Obras Públicas. *Diseño estructural del a obra básica y de la plataforma*. En su: Manual de Carreteras, Volumen 3. Chile, Departamento Manual de Carreteras Dirección de Vialidad, 2002, pp. 33-195.
10. Norma ASTM D 5340, *Índice de condición de pavimentos en aeropuertos*.
11. SANFANDILA, Qro. *Mecánica de materiales para pavimentos*. México, Instituto Mexicano del Transporte, ISSN 0188-7297. Publicación Técnica No. 197.
12. SEGUÉL H., Claudio A. *Hormigones de alta resistencia H-70*. Tesis (Para optar al título de Ingeniero Civil). Valdivia, Chile. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, 2006, 125 h.
13. SEMINARIO Nuevos Desafíos y Tendencia en Pavimentos de Hormigón. *Tendencias de pavimentación de hormigón*. Instituto Chileno del Hormigón, Noviembre 2010.
14. Superintendencia Ingeniería Mina (SIM). *Criterios de diseño para obras civiles interior mina*. División El Teniente, 2007.

15. Superintendencia Ingeniería Mina (SIM). *Seguimiento de pavimentos de prueba mina Esmeralda*. División El Teniente, 2002.
16. Superintendencia de Geología. *Antecedentes Geológicos-Geotécnicos Entre XC-Acceso 3 y XC-Acceso 4 Mina Esmeralda*. División El Teniente, Septiembre 2010.
17. VIDELA C. *Tecnología del hormigón*. Pontificia Universidad Católica. En: Cátedra, Pontificia Universidad Católica.
18. ZÚÑIGA S., Carlos R. *Estudio de la distribución granulométrica en el flujo gravitacional*. Memoria (Para optar al título de Ingeniero Civil de Minas). Santiago de Chile, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería de Minas, 2007, 111 h.

ANEXO A “METODOS DE EXPLOTACION”.

A.1 Métodos de explotación por hundimiento

A.1.1 Introducción

“En el ámbito de la minería subterránea, el método de explotación de menor costo para su aplicación en grandes yacimientos es el denominado “Método de Hundimiento de Bloques o Paneles” que consiste en fragmentar la roca por hundimiento y extraerla desde una infraestructura de puntos de extracción” (Cerrutti y Molina, Visualización Tetra Dimensional Evolutiva de la Minería Subterránea, 2004).

Estos métodos de explotación consisten en que el cuerpo mineralizado, luego de socavada su base, se hunde y el material hundido es extraído por puntos de extracción localizados bajo esta socavación con una disposición geométrica determinada. Esto se explica debido a que los esfuerzos presentes en un lugar y a cierta profundidad de un yacimiento, tienen su origen en el peso del macizo rocoso y en fenómenos externos como el movimiento de las placas tectónicas en la corteza terrestre.

Por otro lado la estabilidad que exista dentro de la cavidad que se forme dependerá de sus dimensiones, de la calidad de roca y del campo de esfuerzos existentes en el área. Ya que si la resistencia de la roca no es lo suficiente para soportar las variaciones de esfuerzos, se fracturará y socavará hasta llenar la cavidad con el material fragmentado de distintas densidades.

Esto permite que si la extracción es continua, a medida que se socava, el equilibrio dentro del macizo no se restablece y la socavación continuará hasta la superficie, creando el fenómeno llamado subsidencia, siendo visible por la aparición de un cráter en la superficie del macizo.

A.1.2 Características de Método de Explotación

Este método de explotación por hundimiento se base en que tanto la roca mineralizada como la no mineralizada se encuentren fracturas, cosa que se puede encontrar a través de prospecciones y que se disponen en el diseño antes de comenzar las obras de tronadura.

La extracción crea como se explicó anteriormente, una zona de hundimiento sobre la superficie del yacimiento. Esto cobra vital importancia cuando se determina que el fracturamiento debe ser continuo y completo, ya que las cavidades subterráneas no soportadas presentan un riesgo muy elevado, por los repentinos desplomes que pudieran haber, que generarían problemas graves al proceso de explotación, perdiéndose este punto de extracción hasta que se puede recuperar a través de tronaduras que disminuyan el tamaño de las rocas que por su sobre tamaño no permiten la extracción de más mineral. Por lo tanto es necesario conocer el comportamiento de la mina, la cual depende esencialmente de las características de la roca que se esté explotando y la fragmentación que esta posea al momento de la tronadura.

Esta fragmentación es provocada principalmente por fatigas de tracción que actúan sobre el macizo rocoso a explotar, que pueden afectar a la infraestructura existente debajo de esta redistribución de esfuerzos. Por lo que para mantener esta infraestructura, primordialmente las galerías de extracción, se deben minimizar las concentraciones de esfuerzos cerca de estas y sobre los pilares de protección del nivel de producción, y aumentar los esfuerzos cercanos a los niveles de hundimiento, para facilitar la socavación del macizo y tener una redistribución de esfuerzos permanente, que estén desprendiendo constantemente rocas para la producción con una adecuada granulometría.

Generalmente para asegurar una granulometría adecuada cuando el macizo rocoso se encuentra poco fracturado, y no correr el riesgo de que se produzca una “colgadura” del punto de extracción, se preparan en los niveles tiros que producen fracturas previas en el cuerpo mineralizado que va a ser hundido, que cuando se produce la abertura del punto de extracción a través de disparos para comenzar con su producción, la fragmentación con que se desarrolla es adecuada para permitir una producción constante.

Con relación al punto anterior, vale la pena explicar un fenómeno que ocurre cuando la columna de mineral a extraer llega hasta un punto, en el cual ya no se producirán colgaduras sino que será un proceso de hundimiento constante, que se conoce localmente con el nombre de “Pique Liberado”.

A.1.3 Historia del Método en El Teniente.

En los inicios de la explotación de las diferentes minas de la División El Teniente, la ventaja que presentaba este método en su forma primitiva era exitosa, debido a que el mineral se encontraba en lo que se denomina roca secundaria, que corresponde a una roca que su estructura varía de mediana a intensamente fracturada, haciendo que los procesos de extracción fueran mucho más rápidos y con mejores resultados en cuanto a granulometría y ley de mineral.

Este método de explotación se llamaba “Realce sobre Mineral”, el cual sirvió para explotar la mayoría del mineral contenido en la roca secundaria. Esto varió cuando se llegó a roca primaria, una roca que no tenía los mismos niveles de fractura que la anterior y que era más tenaz al momento de perforarla, lo que produjo una reducción de los resultados obtenidos hasta ese momento, mayor granulometría y menor ley. Debido a esto es que nace la necesidad de variar el método de producción dejando las aplicaciones mecánico manuales abriéndose hacia la industrialización de la explotación.

La variación del método de explotación y la inminente necesidad de seguir la extracción del mineral llevó a la minería a otra esfera, debiendo introducirse al cerro para continuar con la explotación del cuerpo mineral abundante en la zona. Producto de las bajas cantidades de ley que se estaban extrayendo en la superficie y el agotamiento de la roca secundaria. Esta integración en el macizo rocoso, producto de las necesidades de explotación, produjo alteraciones al equilibrio natural que este poseía en cuanto a esfuerzos, debiendo haber una redistribución de estos últimos para mantener su estabilidad. Produciendo la necesidad de aplicar un método que utilizara esta redistribución de esfuerzos para la producción, de los cuales se escogió el método hundimiento gravitacional, ya que se ajustaba a todas las variables presentes en la minería subterránea de El Teniente.

Este método comenzó con el “Hundimiento de Pilares” seguido por el “Hundimiento de Bloques”, los cuales fueron utilizados en lugares donde la condición del macizo rocoso correspondía todavía a roca secundaria, pero de una tenacidad mayor a la primera explotada. A medida que la explotación avanzaba, las faenas se profundizaban agotando la roca secundaria, en donde se encontraba el mineral de mayor ley y de fácil acceso. Esto trajo como consecuencia la necesidad de mecanizar las operaciones de extracción, debido

a la proximidad de la roca primaria la cual es mucho más tenaz, con menor ley y fragmentación más gruesa que su predecesora. Este fenómeno produjo que el método de "Hundimiento de Bloques" que se utilizaba, principalmente manual y algunas etapas semi-mecanizado, fuera evolucionando hasta dar con el método de "Hundimiento de Paneles" que posee un traspaso mecanizado e incorporación continua de área hundida a la producción.

Con el desarrollo de este nuevo método de explotación en roca primaria, se fueron observando fallas en las galerías inferiores, producto del avance del frente de hundimiento. Para solucionar este problema se debió nuevamente modificar el método de explotación utilizado y se definió una nueva variante de explotación llamada "Hundimiento Previo", la cual consiste en avanzar adelantado con el frente de hundimiento y llevar desfasada la preparación de los niveles inferiores, que queden detrás y debajo del área socavada; lo que permite reducir considerablemente el daño producido a las galerías ubicadas justo por debajo del nivel de hundimiento y además reducir el fenómeno llamado estallido de roca, el cual consiste en una liberación brusca de energía por un punto del macizo rocoso produciendo daños en la infraestructura cercana.

A.1.4 Variantes del Método de Explotación.

Las evolución de las variantes de explotación siempre ha buscado adecuarse a las necesidades y solucionar problemas de sus antecesores, por lo que cada uno posee una ventaja comparativa sobre el otro, pero que a su vez deja atrás otras que eran propias del método original. El primero de ellos es el Block Caving (BC) que consiste en un método de explotación de hundimiento gravitacional masivo, en el cual el bloque mineralizado se prepara (desarrollo y construcción), socava y, posteriormente, se extraen las reservas mineras. Este dependiendo del tamaño del yacimiento, puede representar el plan minero completo de la mina, lo que produce que el frente de explotación se aprecie "estático".

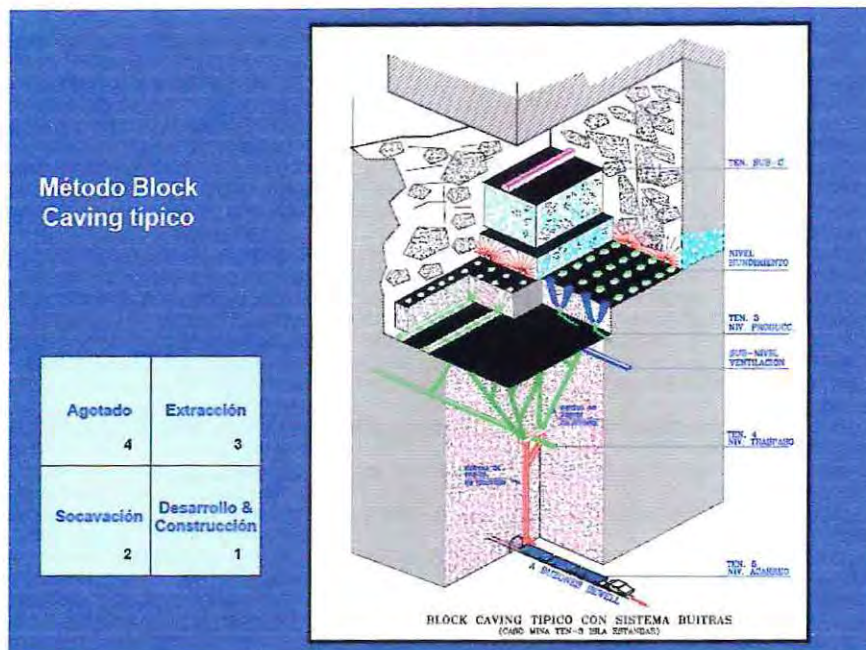


Figura N° A.1
"Block Caving Convencional".

Fuente: "Curso Block Caving Panel Caving, Patricio Cavieres 2007".

El segundo de ellos corresponde al Panel Caving (PC) que también es un método de explotación por hundimiento gravitacional, en el cual el yacimiento se prepara, socava y extrae progresivamente en "tajadas" (Paneles Paralelos) por lo que produce que el frente de explotación sea dinámico en comparación con el método anterior.

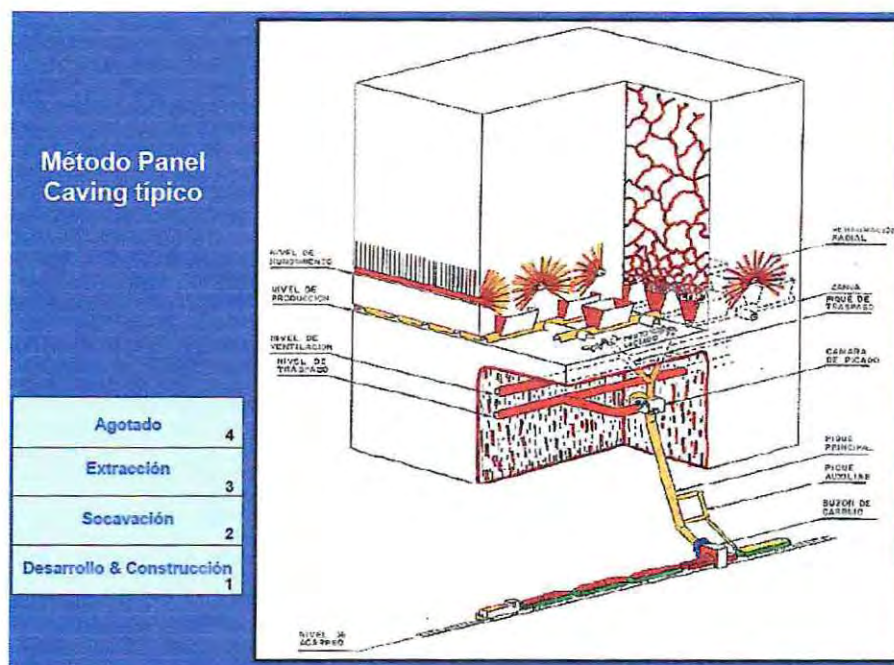


Figura N° A.2
"Panel Caving Convencional"

Fuente: "Curso Block Caving Panel Caving, Patricio Cavieres 2007".

Como se puede apreciar en las figuras anteriores, una diferencia a favor en cuanto a la planificación del desarrollo de la mina la posee el método de Panel Caving Convencional, el cual permite que ante cualquier eventualidad que pueda ocurrir en la zona que ya está preparada para producción, se pueda continuar y desarrollar las zonas aledañas previamente preparadas para afrontar los planes de producción y no tener que, una vez producida la eventualidad, se deban desarrollar zonas aledañas trayendo como consecuencias, grandes pérdidas de producción

Ahora bien, de acuerdo a esas eventualidades que se puedan presentar dentro del macizo rocoso explotado con alguno de estos métodos, es necesario pensar en modificaciones que permitan continuar con la explotación, en primer lugar segura para las personas que van a trabajar en ella, y una estabilidad en el tiempo, ya que no sería grato tener que cambiar el método de explotación a la mitad del proceso debido a que no funcionó como se esperaba. Aunque esto no invalida que ante la presencia de eventualidades que no puedan sortearse con el método de explotación utilizado, o problemas con la estabilidad el macizo producto de otras minas aledañas, se tenga que modificar el método de explotación para hacer de la mina una zona sustentable.

Para poder desarrollar este último método (Panel Caving) es necesario constar básicamente con 5 niveles, hundimiento, producción, traspaso, ventilación y transporte. Se pueden ver algunos en la siguiente figura.

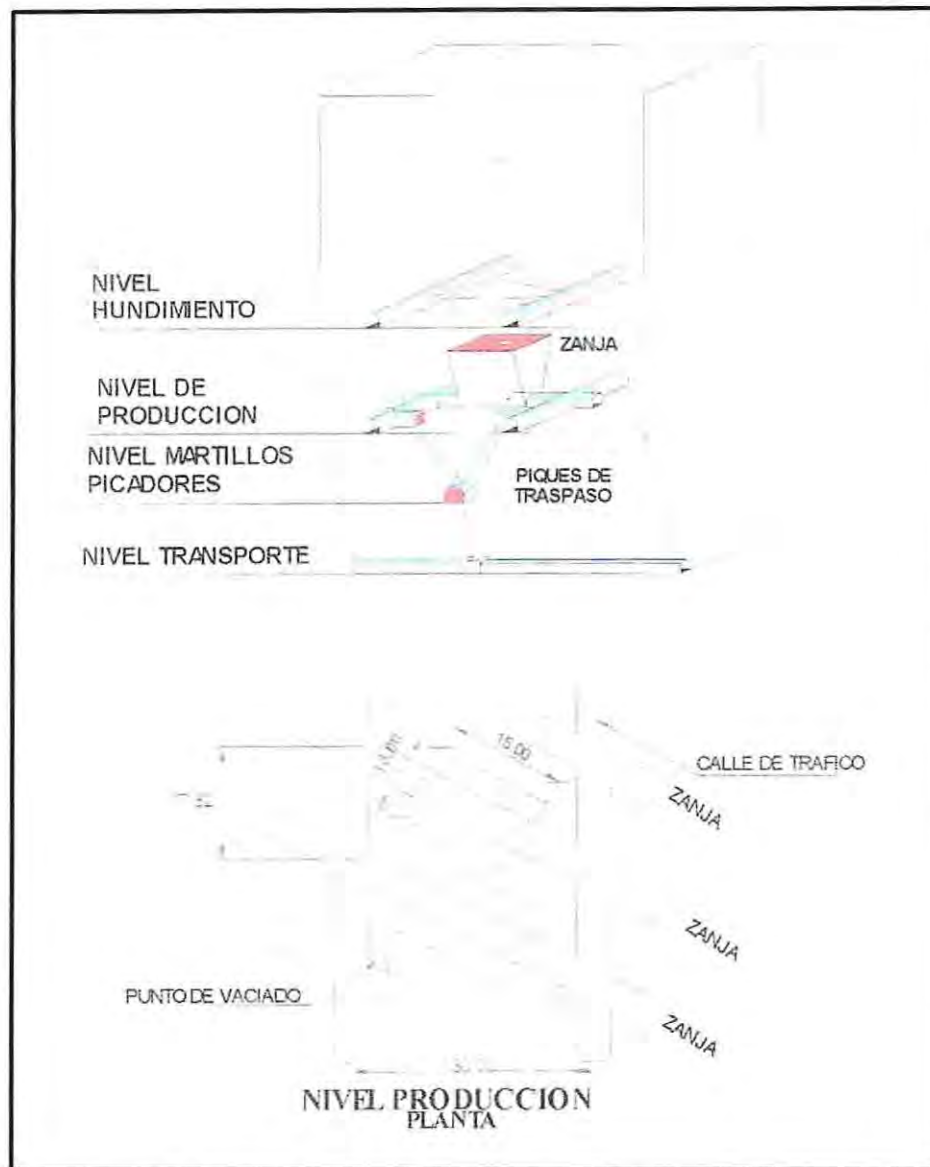


Figura N° A.3

Esquema de Niveles necesarios para el Panel Caving y Malla Teniente Tipo.

Fuente: "Curso Block Caving Panel Caving, Patricio Cavieres 2007".

Estos diferentes niveles se explican detalladamente a continuación para entender mejor que función cumplen dentro del proceso productivo. Antes de definir el primer nivel correspondiente al Nivel de Producción, es necesario hacer una diferencia entre el Hundimiento Previo, Avanzado y Convencional. El Hundimiento Previo, consiste en avanzar con el de hundimiento, o socavación, llevando desfasada la preparación del nivel de producción, disminuyendo el grado de deterioro de la infraestructura productiva. El Hundimiento Convencional consiste en la construcción inicial de zanjas para luego proceder a socavar, avanzando con el hundimiento con las zanjas ya desarrolladas. Y la tercer variante corresponde al Hundimiento Avanzado, en donde se realiza

parte del nivel de producción antes de socavar, a diferencia del primero, lo que permite tener áreas listas para recibir el frente o abrir bateas si es necesario en casos de eventualidades que se interpongan en el normal avance del frente de socavación.

- Nivel de Hundimiento: La función que cumple este nivel es propiciar la abertura que iniciará el hundimiento del panel, y que consiste en una serie de galerías paralelas ubicadas sobre las calles del nivel de producción.
- Nivel de Producción: El objetivo que se busca en este nivel es permitir la extracción del mineral fragmentado. Está ubicado bajo el nivel de hundimiento y formado por una serie de galerías, paralelas entre sí, que forman las vías para la circulación de los equipos de extracción, LHD. Las que son interceptadas por las zanjas, que son estocadas de carguío, que permiten que el equipo pueda ingresar a extraer al punto de extracción el mineral para la producción. La intersección entre las calles y zanjas se conoce como Malla de Extracción.
- Nivel de Ventilación: Su objetivo es permitir la ventilación de los niveles de producción, hundimiento, reducción traspaso y transporte. Consiste en una serie de cruzados alternados por los cuales se inyecta aire limpio que va hacia los diferentes niveles, recorriéndolos y luego siendo extraído por chimeneas a otros cruzados en donde finalmente es enviado a la superficie.
- Nivel de Traspaso: Su objetivo principalmente es permitir el flujo del material extraído hasta el nivel de transporte, el cual es transportado a través de piques de traspaso y que dependiendo de las características granulométricas de la roca, se deberá contemplar la colocación de un nivel de reducción, en donde martillos y demás equipos estén reduciendo el tamaño de la roca de mineral para su posterior traslado al siguiente nivel.
- Nivel de Transporte: El objetivo principal de este nivel es como lo dice su nombre transportar el material a la superficie, este se ubica justo por debajo del nivel de traspaso y convergen todos los piques de traspaso. De aquí el mineral es extraído a la superficie a través de ferrocarril, camiones de bajo perfil o correas transportadoras, dependiendo de los factores productivos que presente la mina dentro de su planificación y desarrollo.

**ANEXO B “EXTRACTO DE CRITERIOS DE DISEÑO PARA
OBRAS CIVILES AL INTERIOR DE LA MINA”**

CRITERIOS DE DISEÑO PARA OBRAS CIVILES
INTERIOR MINACODELCO - DIVISIÓN EL TENIENTE
SUPERINTENDENCIA INGENIERÍA MINA
Revisión 0 – Junio de 2007

1 MATERIA

Recopilación de política y criterios de diseño.

2 OBJETIVO

Establecer la política del área y recopilar los criterios empleados en la elaboración de Diseños de Obras Civiles para la Mina.

3 ALCANCES

- Definición de políticas del área Diseño Civil.
- Definición de criterios de diseño y bases de cálculo.

4 DEFINICIONES

Diseño Estructural de la Carpeta de Rodado: Se entiende por la definición de materiales y espesores para las distintas capas que conforman la carpeta de rodado, de acuerdo al tráfico que solicita la carpeta durante su vida útil.

Pavimento Rígido: Se entiende por Pavimento Rígido, en general, a la base estructural, que ante las cargas de tráfico se someta a esfuerzos de flexión comportándose como una losa, apoyada en un medio elástico. Por lo general se trata de carpetas de hormigón.

Tráfico Solicitante: Cantidad de ejes cargados que solicita la carpeta durante su vida útil o de diseño.

Coronamiento antiabrasivo: Capa de hormigón con propiedades resistentes a la abrasión que se aplica sobre el pavimento, para mejorar su desempeño ante el

tránsito de vehículos pesados interior mina.

Hormigón fresco: al que se encuentra en proceso de endurecimiento habitualmente se considera durante los primeros 28 días de colocado.

Hormigón curado: al que se mantiene bajo las condiciones de humedad y temperatura durante los primeros 28 días de vida.

5 POLÍTICAS

Diseño Civil

El Área Diseño Civil de la SIM desarrolla sus diseños para las unidades de la Gerencia de Minas de la DET, con una perspectiva de negocio, que considera las condiciones operacionales, y geomecánicas, empleando criterios que velen por la seguridad, el medioambiente y todas las disposiciones legales vigentes que aplican para las operaciones y preparación minera.

Normativa

En todos sus diseños se aplican las normativas nacionales NCh para el diseño estructural, pudiendo complementarse estas con los códigos ACI 318 para hormigón y AISC para estructuras de acero. Además del decreto supremo 72 modificado por el 132 "Reglamento de seguridad minera" y el Reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo decreto N° 594, de 1999. Los análisis de riesgo se rigen por la NCC-24 de Codelco Chile.

Comunicaciones

La documentación y comunicaciones del área, como los criterios de diseño, particularmente las mejoras, se informan a través de Nota Interna a las áreas involucradas.

Cargas debido al macizo rocoso

Las cargas debido al macizo rocoso, tanto en su magnitud como dirección constituyen un dato de entrada para los diseños, ellas son recibidas de la Superintendencia Geomecánica, por medio de documento emitido por el geomecánico de área, para el jefe de Diseño Civil.

Calidad

Los diseños elaborados por el área se controlan durante toda el período que dure la ejecución del trabajo, quedando registrados en los formularios llamados "Registro de Revisión", los controles de los originadores y revisores designados para el trabajo.

Todas las tareas del área se realizan siguiendo el procedimiento GMIN-DICI-P-001, del área Diseño Civil.

La oportunidad de entrega de los diseños del área queda determinada por la prioridad que éstos reciben dentro de las tareas que se ejecutan.

6 CRITERIOS DE DISEÑO ESPECÍFICOS

6.1 Carpetas de Rodado

Las carpetas de rodado se aplican en sectores donde se requiere un tránsito vehicular fluido como ser accesos, rampas, calles y zanjas de niveles de producción y niveles de acarreo.

En los casos en que se especifique la aplicación de un coronamiento antiabrasivo sobre la carpeta, para garantizar su integridad estructural, éstos deben ser colocados en sectores relajados o bajo sombra, a una distancia mínima de 80m del frente de hundimiento).

Materiales

Carpeta estructural

El grado de hormigón a aplicar es H70 con un 90% nivel de confianza para todos los casos, salvo excepciones aprobadas por las Superintendencias Ingeniería Mina.

El hormigón base para la carpeta de rodado debe considerar lo siguiente:

Tamaño máximo de árido 20 mm.
Máxima relación agua/cemento: 0,4
Asentamiento de cono máximo: 8 cm.

Los hormigones serán homogéneos, es decir no se considera la utilización de vigas o rieles metálicos.

Relleno de sobreexcavaciones de piso

Las sobreexcavaciones se deben rellenar con hormigón calidad H70.

Coronamiento antiabrasivo

Cuando se requiera, se empleará coronamiento antiabrasivo (o recubrimiento superficial) de algunas de las características señaladas en las tablas 1 y 2, y cuya aplicación depende de cada situación en particular

Tabla 1.- Parámetros estructurales de coronamiento
Antiabrasivo 1

PARÁMETRO ESTRUCTURAL	MAGNITUD
Resistencia a la compresión	150-170 MPa
Resistencia a la flexotracción	21 – 23 MPa
Módulo de elasticidad	90.000 – 100.000 MPa
Densidad	2750 kg/cm ³

Tabla 2.- Parámetros estructurales de coronamiento
de antiabrasivo 2

PARÁMETRO ESTRUCTURAL	MAGNITUD
Resistencia a la compresión	100 - 120 MPa
Resistencia a la flexotracción	12 -14 MPa
Módulo de elasticidad	50.000 – 70.000 MPa
Densidad	2500 kg/cm ³

Espesor de la carpeta de rodado

El espesor de la carpeta de rodado se establece en función del tipo de tráfico que circula por el sector. La tabla 3 muestra su relación.

Tabla 3.- Espesores de carpeta de rodado en función
de su clasificación de tránsito, DET.

TRÁNSITO ACUMULADO	ESPESOR RODADO	CARPETA
ALTO	22 cm	
MEDIO	18 cm	
BAJO	12 cm	

El espesor total debe incluir eventuales aplicaciones de coronamiento antiabrasivo.

En caso de que la carpeta tendrá coronamiento antiabrasivo fresco sobre fresco no será necesario sellar las juntas

Curado y protección del hormigón

El método de curado lo evaluará la ITO según las condiciones ambientales reinantes durante la pavimentación.

Se deberá proveer un techo que proteja el pavimento del agua de filtraciones de las galerías; éste se debe colocar inmediatamente después de completadas la operaciones de terminación superficial y deberá permanecer durante 12 horas.

Colocación de coronamiento antiabrasivo

Se emplean dos métodos para aplicar el coronamiento antiabrasivo dependiendo del estado de la base de hormigón, estos son: hormigón curado, y hormigón fresco.

La aplicación del coronamiento sobre hormigón curado y fresco sobre fresco, se realiza siguiendo los lineamientos establecidos en el documento SIM-I-114/2004 "Especificación de Construcción Coronamiento de Alta Resistencia Densit para Carpetas de Rodado Interior Mina"