



**Determinar los primeros síntomas de la fatiga de radier del sector Taller Mecánico Diablo Regimiento.**

Proyecto de Título para optar al Título de Constructor Civil

Estudiante:

Juan Pablo Coria Reyes

Profesor Guía:

Nicolás Moreno Sepúlveda

Fecha:

Julio del 2019

Santiago, Chile

## AGRADECIMIENTOS

A **Dios** por su fuerza,  
A Rodrigo Valenzuela Dastres por su apoyo y dedicación,  
Y a mi profesor Nicolas Moreno Sepúlveda.

SOLO USO ACADÉMICO

## RESUMEN

### **“Determinar los primeros síntomas de la fatiga de radier del sector Taller Mecánico Diablo Regimiento”**

El presente proyecto de título tiene como objetivo determinar, condiciones inaceptables que se pudieron haber generado los trabajos realizados en un área en el interior mina, el Sector Diablo Regimiento en Codelco división El Teniente. Es hay cuando la presencia de pequeñas grietas, en una visita de inspección, se dejaron ver en un piso de taller mecánico, la presencia de estas anomalías llegó a formular la interrogante expuesta de cómo se generó un agrietamiento producido en el radier del hormigón en el área del taller Mecánico, es una característica propia de hormigones en grandes masas o se trata de un mal manejo o falta de conocimiento del profesional encargado de la ejecución del trabajo.

Se analizó la información que se disponía en ese momento, junto con la investigación a los profesionales que habían efectuado la labor. En los resultados obtenidos se detectó que es un error que se repite, quizás, en otros sectores el cual nadie había controlado.

Lo que se presenta continuación es una solución limpia y clara para las labores de hormigonado, pues, como ya sabemos las grietas en cualquier pavimento influyen en la durabilidad del elemento estructural. Este proyecto de título, ayuda a una empresa a mejorar sus controles de calidad y entrega detalles para un buen control a terceros.

## SUMMARY

The purpose of this draft title is to determine, unacceptable conditions that could have been generated by the work done in an area inside the mine, the Sector Diablo Regimiento in Codelco El Teniente division. It is there when the presence of small cracks, in an inspection visit, were seen in a mechanical workshop floor, the presence of these anomalies came to formulate the exposed question of how a cracking produced in the concrete radier was generated in the Mechanical workshop area, is a characteristic of concrete in large masses or it is a bad management or lack of knowledge of the professional in charge of the execution of the work.

We analyzed the information that was available at that time, along with the research to the professionals who had carried out the work. In the obtained results it was detected that it is an error that is repeated, perhaps, in other sectors which nobody had controlled.

What follows is a clean and clear solution for the work of concreting, because, as we know the cracks in any pavement influence the durability of the structural element. This title project helps a company improve its quality controls and delivers details for good control of third parties.

# ÍNDICE

<b>1. CAPITULO 1</b> .....	<b>1</b>
1.1. Introducción .....	1
1.2. Antecedentes Generales .....	3
1.3. Presencia de agrietamiento de los Hormigones en el Taller de Mecánico de Diablo Regimiento .....	5
1.4. Problematización.....	9
1.5. Pregunta de Investigación .....	10
1.6. Justificación del Tema .....	11
1.7. Objetivo General.....	11
1.8. El Objetivo Específico .....	12
1.9. Metodología de Investigación.....	12
<b>2. CAPÍTULO 2</b> .....	<b>14</b>
2.1 Marco Teórico.....	14
2.2 Componente del Hormigón.....	15
2.3 Cemento .....	16
2.4 Áridos.....	18
2.5 Aditivos.....	21
2.6 Tipos de Aditivos.....	22
2.7 Procesos de Fraguado.....	23
2.7.1 La velocidad de Fraguado.....	25
2.8 Hormigón en la Minería Chilena .....	26
2.9 Tipo de hormigón en la Minería .....	29
2.10 El Hormigones de Alta Resistencia en la Minería.....	30
2.10.1 Controles antes de la Aplicación.....	31
2.10.2 Controles post aplicación.....	31
2.11 Marco Normativo del Hormigón .....	32
2.12 Recomendaciones Generales para el Hormigón .....	33
2.12.1. Deformaciones y Agrietamiento sin carga existente. ....	34
2.12.2. Tipos de Agrietamiento .....	35
2.12.3. Retracción Hormigón en grandes Masas.....	37

<b>3. CAPÍTULO 3</b> .....	<b>38</b>
3.1. Desarrollo de la Investigación .....	38
3.2. Tipos de Antecedentes .....	40
3.3. Obtención de datos previos .....	42
3.4. Grietas típicas en un pavimento. ....	44
3.5. Realización de pruebas .....	47
<b>4. CAPÍTULO 4</b> .....	<b>48</b>
4.1. Implementación de Soluciones .....	48
4.2. Alternativas de Solución.....	49
4.2.1. Sistemas de reparación propuestos. ....	49
4.2.2. Reparación grietas ubicadas al borde de las juntas.....	50
<b>5. CAPÍTULO 5</b> .....	<b>51</b>
5.1. Recomendaciones. ....	51
<b>6. CAPÍTULO 6</b> .....	<b>52</b>
6.1. Conclusiones.....	52
<b>7. CAPÍTULO 7</b> .....	<b>53</b>
7.1. Referencia y Bibliografías .....	53
7.2. Libros .....	53
7.3. Boletines y Manuales.....	53
7.4. Especificaciones Técnicas .....	54
7.5. Materiales de Estudios .....	54
7.6. Planos y material de propuesta. ....	54

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

<i>Fotografía 1 Visita inefectiva en Sala de Taller de Maquinas del Diablo Regimientos. Fuente: BMX-235, áreas Ingeniería de empresa Bormax.....</i>	<i>6</i>
<i>Fotografía 2 Desarrollo de pequeñas grietas, imágenes de la Vista a la Sala eléctrica.....</i>	<i>6</i>
<i>Fotografía 3 Desarrollo de pequeñas grietas, imágenes de la Vista a la Sala eléctrica. Fuente: BMX-235, áreas Ingeniería de empresa Bormax.....</i>	<i>7</i>
<i>Fotografía 4 Mantenición de pisos según especificaciones, imágenes de la Vista a la Sala eléctrica. Fuente: BMX-235, áreas Ingeniería de empresa Bormax.....</i>	<i>7</i>
<i>Fotografía 5 Imagen de vaciado del Hormigón en faena. Fuente: BMX-235 Área de Ingeniería Bormax.....</i>	<i>20</i>
<i>Fotografía 6 Proceso de descarga del hormigón en la faena .....</i>	<i>21</i>
<i>Fotografía 7 Vista microscópica del hormigón, Fuente: imagen de American Mineralogist, de GeoScienceWorld, boletín de Hormigón de publicación de Resistencia. ....</i>	<i>24</i>
<i>Fotografía 8 Vista microscópica del hormigón, Fuente: imagen de American Mineralogist, de GeoScienceWorld, boletín de Hormigón de publicación de Resistencia. ....</i>	<i>25</i>
<i>Fotografía 9 Grietas por retracción plásticas generadas por viento. ....</i>	<i>45</i>
<i>Fotografía 10 Vista de las diferencias de espesor pavimento.....</i>	<i>46</i>
<i>Fotografía 11 Grieta en borde de la junta de dilatación. ....</i>	<i>46</i>
<i>Fotografía 12 Equipos para medir actividad de fisuras. ....</i>	<i>47</i>
<i>Fotografía 13 Grieta antes de puesta en servicio. ....</i>	<i>48</i>
<i>Fotografía 14 Grieta dañada por desgaste. ....</i>	<i>48</i>

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1 Niveles actuales de producción, Mina el Teniente Codelco.</i> .....	2
<i>Ilustración 2 Ubicación del Sector taller mecánico Diablo Regimiento.</i> .....	2
<i>Ilustración 3 Detalle de corte de Taller, Fuente: Planos del proyecto “Ingeniería de detalle proyecto Diablo Regimientos Fase V”</i> .....	8
<i>Ilustración 4 Información de disposición general Nave sur Área General Proyecto – Diablo Regimiento Fase V.</i> .....	8
<i>Ilustración 5 Equipo cargador para minería subterránea de tipo LHD, m: marca CAT modelo R3000H Fuente: Documento C10561389 Especificación Técnica Cat maquinaria.</i> .....	10
<i>Ilustración 6 Demostración de funcionamiento de modelo: marca CAT modelo R3000H, Fuente: Documento C10561389 Especificación Técnica Cat maquinaria.</i> .....	10
<i>Ilustración 7 Metodología de Investigación. Fuente: Esquema de la metodología del trabajo confección con él con profesor guía, Nicolás Moreno S.</i> .....	13
<i>Ilustración 8 Esquema de la fabricación cemento. Fuente: elevación propia. según Catedra Sistemas Constructivos en Hormigón, Profesor Nicolas Moreno, Universidad Mayor.</i> .....	15
<i>Ilustración 9 Estudios previos de abastecimiento de árido, según Catedra Sistemas Constructivos en Hormigón, Profesor Nicolas Moreno, Universidad Mayor</i> .....	19
<i>Ilustración 10 Detalle de los Piques de acopio de áridos de la planta de hormigón del sector Diablo Regimiento. Fuente: Presentación Proyecto Nuevo Nivel Mina, autor Jorge Revuelta Alfaro</i> .....	27
<i>Ilustración 11 Detalle de los Piques de acopio de áridos de la planta de hormigón del sector Diablo, Fuente: Presentación Proyecto Nuevo Nivel Mina, autor Jorge Revuelta Alfaro</i> .....	27
<i>Ilustración 12 “Proyección de la producción esperada de cobre en Chile 2018 – 2029”, Fuente: Proyección de la producción de cobre en Chile 2017 – 2028. DEPP 19/2017.</i> .....	28
<i>Ilustración 13 Labores de hormigonado en el sector taller mecánico, Diablo Regimiento,</i> 34	
<i>Ilustración 14 Tipos de grietas sin carga. Fuente: Tecnología del concreto Adam Neville Publicación 2013.</i> .....	37

## INDICE DE TABLA

<i>Tabla 1 Principales tipo de cementos Portland, Fuente: Libro de Tecnologías de Concreto, Adam Neville, publicación 2013.....</i>	<i>17</i>
<i>Tabla 2 Tamaños de los agregados pétreos, según Catedra Sistemas Constructivos en Hormigón, Profesor Nicolas Moreno, Universidad Mayor. ....</i>	<i>18</i>
<i>Tabla 3 Información NCh148 con relación a los tiempos de fraguado. Fuente: Nch 148. 26</i>	

SOLO USO ACADÉMICO

# 1. CAPITULO 1

## 1.1. Introducción

En este trabajo de proyecto de título se presentará un estudio de las vulnerabilidades que se presentaron forma temprana una carpeta de rodado que sé que llevó a cabo en un proyecto minero en sector de talleres de servicios en el sector de la Mina Diablo Regimiento Fase V en Mina El Teniente de la División de Codelco.

El proyecto que se analizara fue realizado por una empresa contratista llamada Bormax, la que posee una amplia gama de negocios en el mundo minero y que fue invitada por Codelco para ejecutar el servicio en el sector talleres Mecánico de la mina Diablo Regimiento.

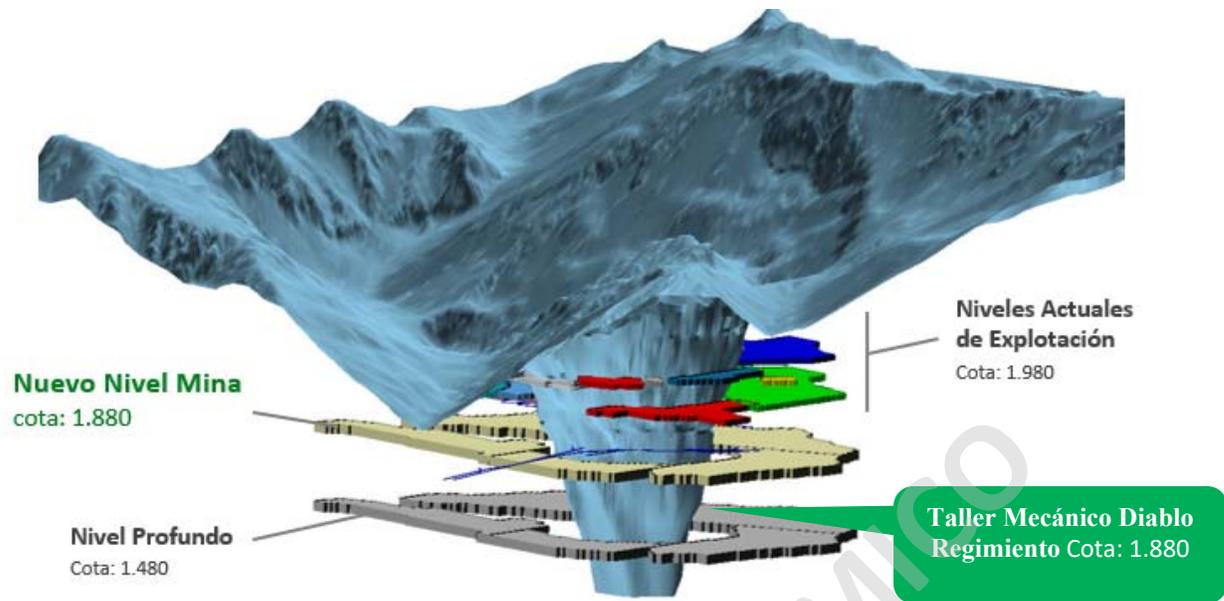
El estudio de este proyecto se concentrará en el procesamiento de datos, en la forma en que se llevó a cabo los estándares de aplicación del hormigón en el sector del taller, cuáles fueron los requerimientos mínimos que se deberían haber considerado para la aplicación, fabricación, transporte y colocación del hormigón en Obra. Se procederá al estudio de toda la información disponible, que se usó para estudio de la planificación de la Obra, algunos elementos complementarios como planos, especificaciones u otro elemento de similar característica.

Se desarrollará una comprensión en el estudio de Normas relativas que se realizan a elementos de Hormigón en las memorias evaluativas de Codelco, cual fue el alcance de lo que se ha aplicado en cuanto Norma Chilena y a Normas extranjeras que pudieron ser utilizadas en esta obra.

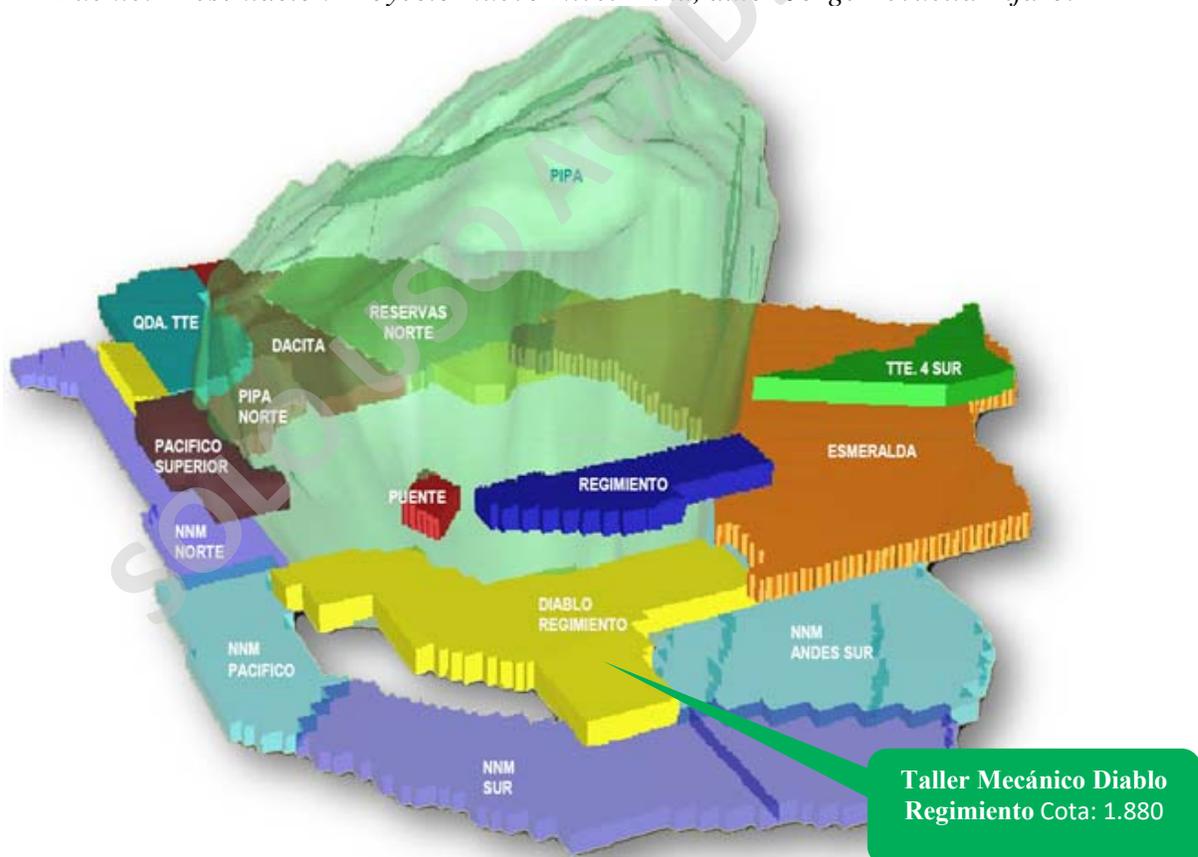
También se determinará cómo se llevó a cabo el hormigonado de la obra, cuáles fueron los sistemas de transporte de hormigón que la empresa Bormax debió cumplir, considerando las exigencias del proyecto, entre otros aspectos. Los tipos de Terminaciones Superficiales del Hormigón que se presentan en el interior de la mina.

Como etapa final, estudiando los problemas de durabilidad, que se observan para proponer los sistemas de reparación más adecuados.

En la figura 01 y figura 03 se esquematiza los niveles don se desarrolló el proyecto.



*Ilustración 1 Niveles actuales de producción, Mina el Teniente Codelco.  
Fuente: Presentación Proyecto Nuevo Nivel Mina, autor Jorge Revuelta Alfaro.*



*Ilustración 2 Ubicación del Sector taller mecánico Diablo Regimiento.  
Fuente: Presentación Proyecto Nuevo Nivel Mina, autor Jorge Revuelta Alfaro*

## 1.2. Antecedentes Generales

Como se mencionó el proyecto que se presenta en este documento fue desarrollado por la empresa Bormax, la que en sus 28 años de experiencia ha aprendido a ajustarse a las necesidades y servicios solicitados por la gran minería chilena a través del tiempo. Sus conocimientos en obras civiles la han llevado a la ejecución de la Obras de habilitación de los Talleres Mecánicos en el sector del Diablo Regimiento en la División el Teniente de Codelco.

El desarrollo del proyecto “Habilitación Talleres Mecánicos” tenía como misión la ampliación del área de los talleres de mantención, para brindar los servicios continuos en el momento de la producción de cobre por parte de la División. Con este proyecto Codelco busca minimizar el gasto asociados a mantención y mantenimiento de sus equipos productivos. En la figura 03 (página 4) se puede observar con precisión cual es el área intervenida en el barrio cívico del sector ya mencionado, el área involucrada queda marcada bajo un cuadro segmentado, esta información correspondiente plano de infraestructura y disposición general de taller.

Durante la ejecución de las obras, en el tema de hormigonado, se vieron involucrados diversos tipos de documentación, normativa, manuales y procedimientos que fueron necesarios estudiar para lograr que el trabajo encomendado se realizara con los estándares exigidos para la recepción final.

La inquietud que hace desarrollar este trabajo de título, se genera a partir de una inspección de calidad realizada en una de las áreas del departamento de calidad de Bormax, en el taller mecánico, inspeccionado la carpeta de rodado ubicada junto a uno de los pozos N°1 y N° 2 del taller mecánico. Durante esta inspección se pudo observar, que existía un notable desarrollo de fisuras en el hormigón de la carpeta.

Como es sabido, las fisuras en el hormigón no es una característica que habla de un buen manejo del material o de un buen desarrollo y labores en aplicación, por lo tanto, es importante tomar nota y verificar que tipos anomalías o condiciones adversas estuvieron presente en este sector.

Estando en conocimiento que un hormigón en condiciones óptimas de fraguado y proceso de endurecimiento no debería presentar fisuras ni agrietamiento, es ahí cuando nace la inquietud, para encontrar respuestas mediante un estudio y verificación del problema presentado.

Es relevante tener la claridad para la empresa contratista, lo que debe hacer en este tipo de inconvenientes de modo de que pueda abordar, evitar posibles fallas o situaciones a futuro de forma adecuada.

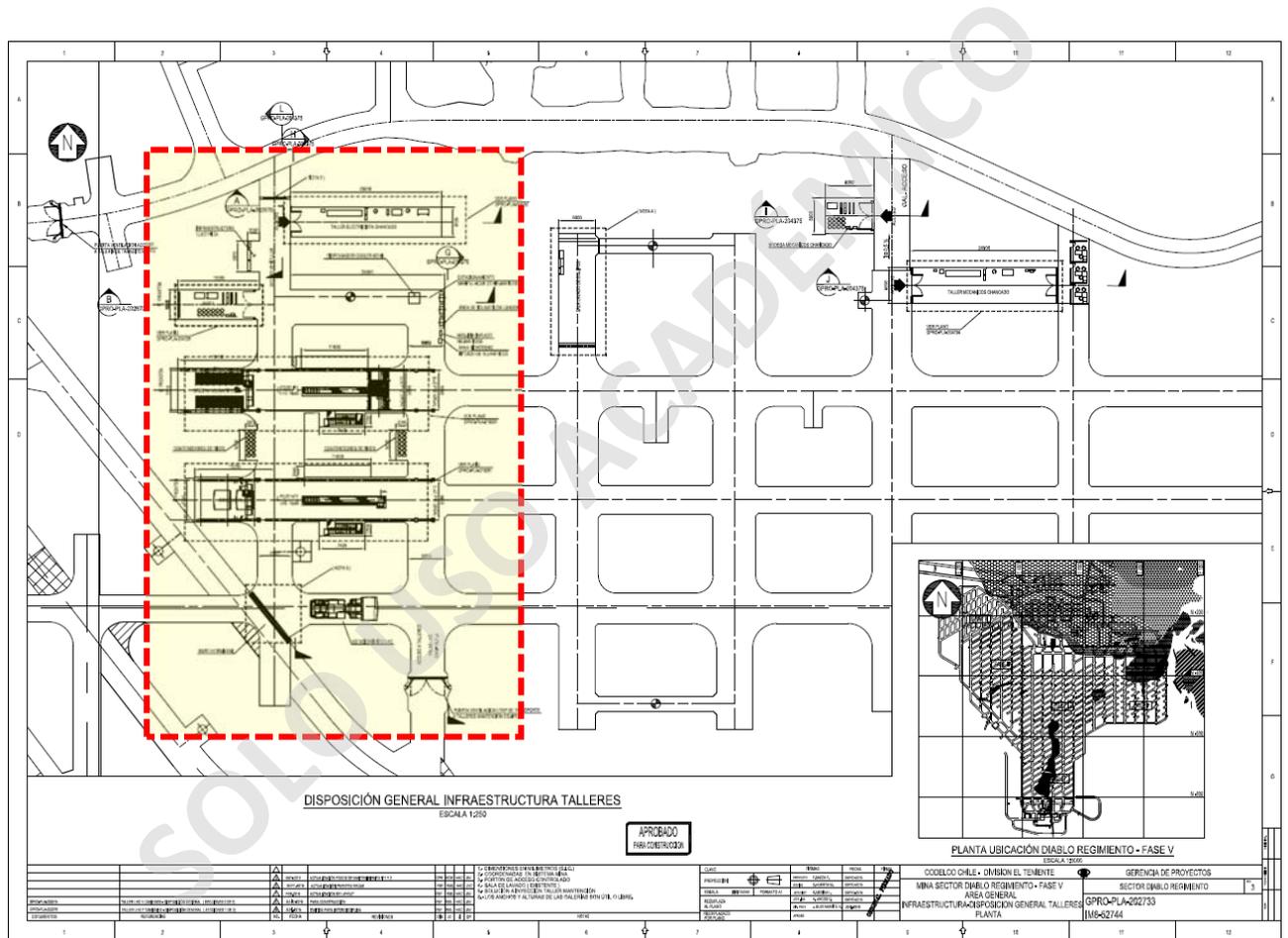


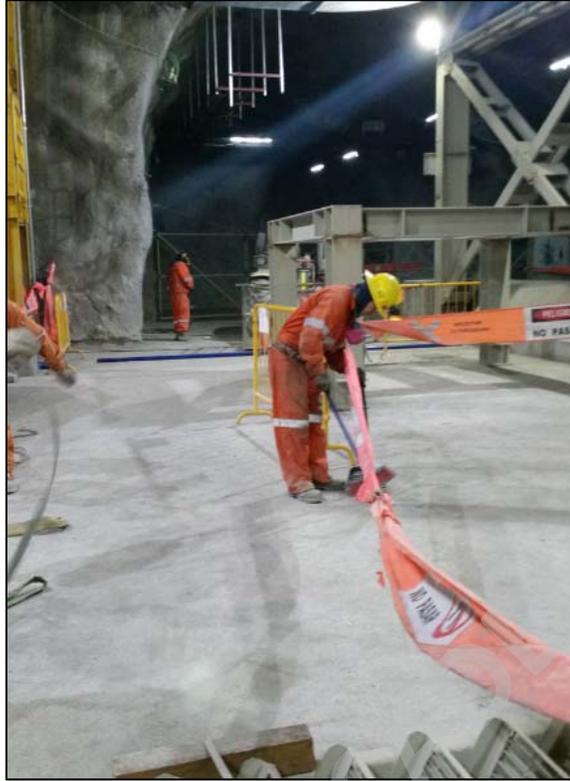
Figura 1 : Ubicación del Sector taller mecánico Diablo Regimento  
Fuente: Planos del proyecto “Ingeniería de detalle proyecto Diablo Regimientos Fase V”

### 1.3. Presencia de agrietamiento de los Hormigones en el Taller de Mecánico de Diablo Regimiento

Cuando se desarrollaron las labores de inspección, en la etapas en que el hormigón está en procesos de endurecimiento, fue fácil encontrar desperfectos en el desarrollo de las resistencias finales de la carpeta de rodado que se ejecutó en el talle de Mecánico, las imperfecciones a simple vista hicieron investigar que estaba pasando, de por qué se desarrollaron las grietas, cuando se trabajó con hormigones certificados por las planta que se encuentran en el interior de la división, que tipos de síntomas son los que está revelando la losa con este tipo de manifestación.

Esta área que pertenece al taller de maquinaria, el cual recibirá equipos para la explotación minera subterránea, llamado LDH, estos equipos se desplazaran sobre este hormigón con una carga, la que se posicionaran en determinados puntos según sea los requerimientos de la mantención. Se logra analizar en la visita que se van a presentan cargas de forma dinámicas las que pueden producir un deterioro interno en estas fisuras que se habían observado, si seguimos con el análisis brevemente, la unión de estas fisuras recibiendo el peso aplicado dará como resultado una grieta que aumentará de tamaño a medida que pase el tiempo. Por lo tanto, es grave el desarrollo de este fenómeno no controlado, en el radier existente que afectará en forma significativa la durabilidad proyectada.

Quizás se podrían aplicar productos que minimizaran el impacto, pero se debería hacer un análisis más riguroso para terminar el daño real, pero sabemos que traerá consecuencia y se deberían atacar antes de que imposibilite el transito del lugar dejando sin uso áreas del taller, quizás en el momento de producción sería un impacto, que se haría más notorio generando pérdidas en la productividad.



*Fotografía 1 Visita inefectiva en Sala de Taller de Maquinas del Diablo Regimientos.  
Fuente: BMX-235, áreas Ingeniería de empresa Bormax*



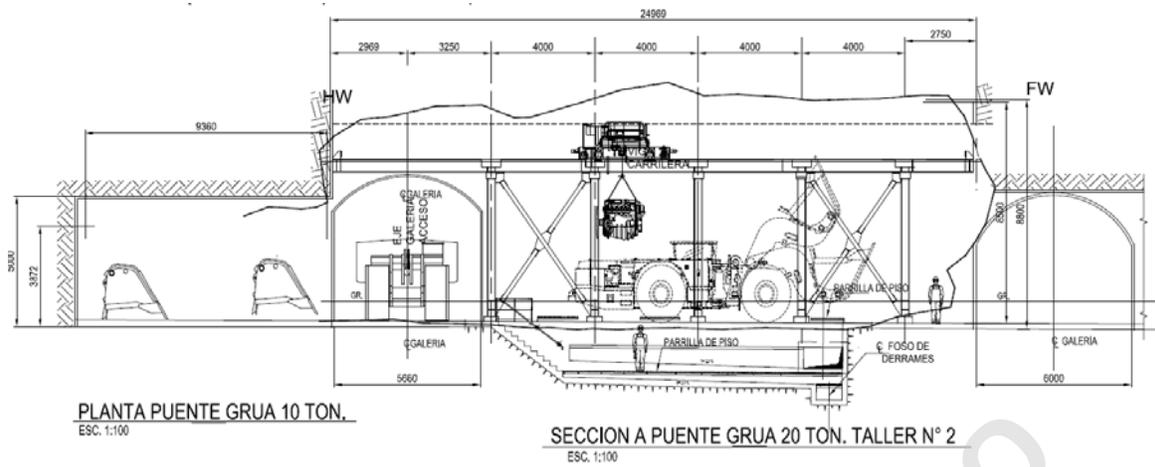
*Fotografía 2 Desarrollo de pequeñas grietas, imágenes de la Vista a la Sala eléctrica  
Fuente: BMX-235, áreas Ingeniería de empresa Bormax.*



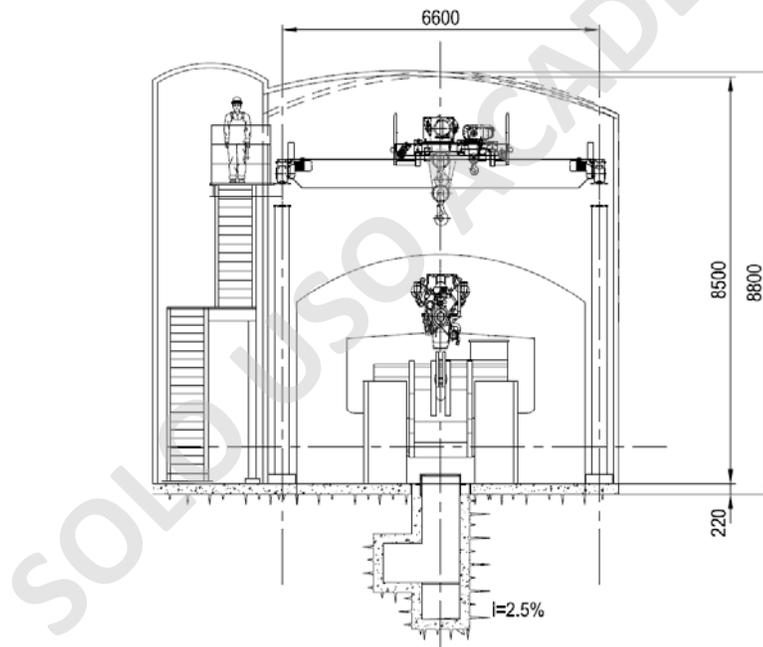
*Fotografía 3 Desarrollo de pequeñas grietas, imágenes de la Vista a la Sala eléctrica.  
Fuente: BMX-235, áreas Ingeniería de empresa Bormax*



*Fotografía 4 Mantenimiento de pisos según especificaciones, imágenes de la Vista a la Sala eléctrica. Fuente: BMX-235, áreas Ingeniería de empresa Bormax*



*Ilustración 3 Detalle de corte de Taller, Fuente: Planos del proyecto “Ingeniería de detalle proyecto Diablo Regimientos Fase V”*



*Ilustración 4 Información de disposición general Nave sur Área General Proyecto –  
Diablo Regimiento Fase V.  
Fuente: Planos del proyecto “Ingeniería de detalle proyecto Diablo Regimientos Fase V”*

#### 1.4. Problematización

La compañía minera Codelco con el fin de apoyar a sus faenas de explotación, desarrolla grandes proyectos de expansión e invierte en la ejecución de grandes talleres de Mantenimiento para la maquinaria (equipos LHD ver *Figura 03*) en el área de la Mina Sector Diablo Regimiento en Fase V, en esta área en particular se construyó un pavimento con una carpeta de rodado apta para recibir el esfuerzo de abrasión de los equipos que entran a sus mantenciones preventivas.

En los trabajos posteriores a la colocación de hormigón, se pudo verificar mediante una visita de inspección para una futura entrega el cual está planificado en los procesos de entrega, se pudo ver con facilidad en sectores determinados del área de la intervención había presencia de grietas y fisuras.

En general según los profesionales que estaban en la recepción preliminar, estas grietas y fisuras, que se habían presentado por procesos mal ejecutados, ya sea en el hormigonado o quizás son propias del material hormigón, ellos expresaron como nota de inspección que no representaban riesgos estructurales, pero si se hace un pequeño análisis del uso al cual será expuesto el pavimento de este taller, se puede decir que el pavimento agrietado, recibirá el peso de la maquinaria que circulan en el interior, incrementando el daño superficial debido a que tendrán la característica de resistir el paso de estos equipos.

Como se ha mencionado, este taller está proyectado para recibir los equipos LHD, que son máquinas similares a un cargador frontal, que están diseñados para la extracción de recursos en la minería Subterránea, poseen buen rendimiento, por lo que lo hace ser un equipo muy confiable y apetecido por las grandes empresas, el resultado de trabajar con estos equipos es que permite reducir los costos y aumentar la productibilidad.

En circulación en el taller, uno de estos equipos llega a pesar 80,4 toneladas peso bruto y podemos recordar que hormigón en estudio, es el que recibirá esta carga gravitatoria que en desarrollo. Si se analiza más profundamente podemos obtener la problemática de cual es el impacto que tendrán estas áreas de fisuradas, ¿cuál es el impacto que tendrán las fuerzas directas en estas grietas?, quizás la problemática es que no se está visualizando este agrietamiento como una anomalía, también se puede interpretar que el general de los profesionales ha

adoptado este tipo de evento a una compartimento aceptable del procesos de endurecimiento del hormigón en grande volúmenes o en pisos de este tipo.



*Ilustración 5 Equipo cargador para minería subterránea de tipo LHD, m: marca CAT modelo R3000H Fuente: Documento C10561389 Especificación Técnica Cat maquinaria.*



*Ilustración 6 Demostración de funcionamiento de modelo: marca CAT modelo R3000H, Fuente: Documento C10561389 Especificación Técnica Cat maquinaria.*

### 1.5. Pregunta de Investigación

Con la información que se ha descrito, junto a los antecedentes y considerando la problematización que se ha expuesto anteriormente de este proyecto de título, se plantean las siguientes problemática respecto a las grietas y pequeñas fisuras que se presentaron en el área de taller del sector Diablo Regimiento Fase V.

Las preguntas de investigación son:

- El agrietamiento producido en el radier del hormigón en el área del taller Mecánico es una característica propia de hormigones en grandes masas o se trata de un mal manejo o falta de conocimiento del profesional encargado de la ejecución del trabajo.

- ¿Qué tipos de soluciones podrían haberse adoptado para evitar este tipo de eventos, sin que afecte la calidad del producto y que no encarezcas los gastos de la partida en la obra?

## 1.6. Justificación del Tema

La explotación de cobre por parte de Codelco es de suma importancia para el país, ya que representa un alto porcentaje de ingresos para las arcas fiscales, por esta razón la explotación del mineral debe ser estratégica y eficiente. Un material noble con gran desempeño como lo es el hormigón es imprescindible para este propósito, por lo tanto, es de suma importancia analizar el comportamiento del hormigón en áreas de mantención, pues el factor de mantenimiento preventivo de los equipos es considerado un factor importante dentro de la gran minería chilena.

Dicho lo anterior, la información resultante de este proyecto de título podrá ayudar la empresa Bormax en sus labores de soporte tanto a la mina el Teniente, como a los demás yacimiento en lo que tiene presencia en Chile.

Paralelamente otro beneficiario es los resultados será Codelco, pues podrían ayudar mejorar la normativa interna que ya existe, de modo que se pueda evitar el mal manejo de los hormigones en grandes masas, logrando productos más calificados y certificados.

## 1.7. Objetivo General

El objetivo general de este proyecto de título es ofrecer una solución clara a los profesionales que se encuentran en las ejecuciones de vaciado, control y aplicación del hormigón, específicamente en áreas del interior mina. Para así lograr evitar las fallas que se han generado en los hormigones en interior mina, aportando información de calidad para los departamentos de control de procesos, tanto para los contratistas, como Bormax, como a Codelco.

## 1.8. El Objetivo Específico

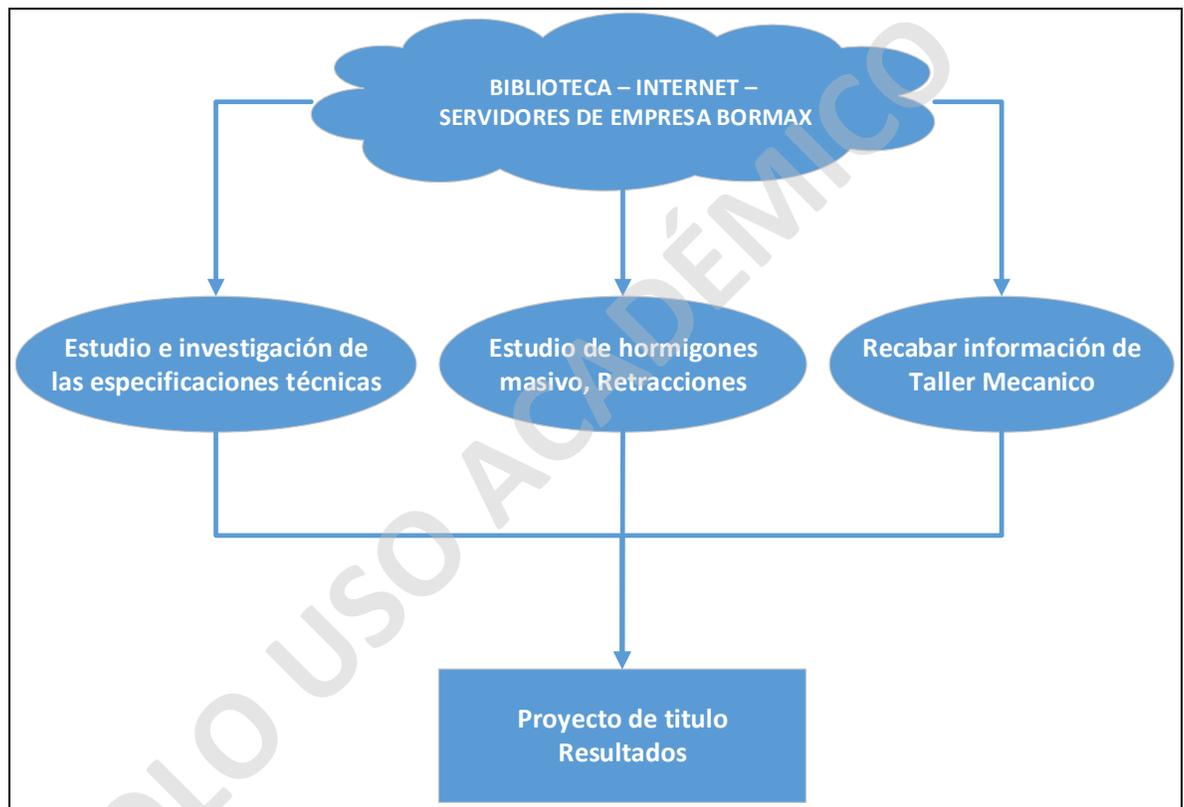
- Realizar un diagnóstico al problema de las grietas y fisuras, que se desarrollaron el sector del Taller de Maquinaria, revisando los procedimientos bajo los cuales se realizaron las labores constructivas, para luego corregir las fallas en los futuros proyectos.
- Poder entregar un documento que permita hacer análisis rápido, para evitar la formación de grietas o fisuras en las áreas más delicadas de un proceso de hormigonado, con el objetivo hacer mejoras continuas de las labores.
- Realizar un detallado análisis que permita entregar información del producto y/o sistemas, que de la solución en las áreas de agrietamiento, para evitar problemas de soplado o erosión por el tránsito de la maquinaria.
- Verificar las verdaderas causas de por qué el hormigón experimenta anomalías, analizar los cambios necesarios en la dosificación de forma de evitar el exceso de exudación y calor de hidratación.
- Identificar procedimientos y/o productos que ayuden a mejorar la carpeta de rodado del hormigón en zonas de alto tránsito o que además sean capaces de recibir cargas puntales como son los talleres de Maquinas.

## 1.9. Metodología de Investigación

Los métodos que ocuparán para el desarrollo este proyecto de título serán los siguientes:

- Hacer una investigación de las especificaciones técnicas que se pudieron ocupar para los trabajos en el proyecto, estudiarlas de forma acabada, con el fin de verificar sus cumplimientos en torno a la partida de hormigones del taller de Maquinaria.
- Realizar estudios de la información bibliográfica de hormigones masivos, retracciones en el hormigón, enfocar la atención en procesos recomendados y técnicas.

- Verificación de la información de los Análisis del muestreo de Hormigón de Taller Mecánico SDR. que pueda existir en la empresa.



*Ilustración 7 Metodología de Investigación. Fuente: Esquema de la metodología del trabajo confección con él con profesor guía, Nicolás Moreno S.*

## 2. Capítulo 2

### 2.1 Marco Teórico

De acuerdo a la definición: *“el cemento se puede describir como un material con propiedades tanto adhesivas como cohesivas, las cuales les dan la capacidad de aglutinar fragmentos de minerales para formar un todo compacto”*- Adam M. Neville entonces el hormigón puede ser definido como la masa de áridos que combinados con la pasta de cemento tiene propiedad de aglomeración y capacidad de solidificación.

Al estudiar los orígenes del cemento portland, encontramos que su nombre proviene originalmente de una piedra extraída de la cantera de Dorset Reino Unido, estas piedras del sector son muy similares al cemento con propiedades puzolánicas, que se producía en la antigüedad y fue conservando el nombre a través de los años hasta llegar a nuestros días.

El cemento que se utiliza principalmente a nivel mundial es el tipo Portland, este cemento posee en su composición una serie de materiales en sus mayorías arcilla, yeso. En la actualidad el desarrollo de este material constructivo ha alcanzado varios tipos de mezcla que dependen de las necesidades de uso.

Para lograr el endurecimiento final de un hormigón, es necesario que se produzca el proceso de hidratación del cemento, para ello se mezclan los componentes básicos del cemento que está disponible en estado de polvo, los que, al entrar en contacto con agua de amasado, se forma una pasta que es lo que conocemos como hormigón. Luego el hormigón presenta un nuevo estado, que se puede describir como fraguado del hormigón, en este proceso químico, es fácil de observar como en la mezcla se genera un cambio de estado, mediante el proceso de inicio de solidificación y primera etapa de desarrollo del calor de hidratación, en la etapa final de endurecimiento se obtiene el volumen y resistencia real del hormigón a través del tiempo.



*Ilustración 8 Esquema de la fabricación cemento. Fuente: elevación propia. según Catedra Sistemas Constructivos en Hormigón, Profesor Nicolas Moreno, Universidad Mayor.*

## **2.2**    Componente del Hormigón

Cabe mencionar que el hormigón es un material pétreo, de origen artificial que se genera en base a la mezcla de porciones determinadas de cementos, áridos y agua. El resultado fue es una masa heterogénea en la que algunos casos, según sea solicitados se agregan aditivos con la una función de mejorar o que modifiquen algunas propiedades del concreto.

Las empresas de cemento en Chile con el objetivo asegurar la durabilidad de los proyectos, han hecho notables avances en donde han desarrollado un abanico de productos que buscan mejorar notablemente la resistencia, mejorar sus reacciones a la contracción, permeabilidad, entre otras importantes características.

En la actualidad los hormigones son clasificados, en base a su atributo principal que entregan, como lo es la resistencia a la compresión, medida en el momento del desarrollo del proyecto en probeta cubica que estaba normalizada de acuerdo a la NCh1017, ensayadas a los 28 días.

### 2.3 Cemento

Los cementos en nuestro país, se fabrican a base de clínquer con yeso más algunos materiales específicos denominados adiciones, como las puzolanas y la escoria de alto horno. Más información de clasificación de los componentes se puede consultar en la Norma NCh148, pero nos vamos a dirigir al cemento en general.

Al momento de referirnos a una calificación de cementos se pueden obtener que destacan los siguientes tipos bajo la norma:

- a) **Cemento Portland:** es el producto que se obtiene de la molienda conjunta de clínquer y yeso, con adición de otros materiales.
- b) **Cemento Siderúrgico:** es en cuya composición entra escoria básica granulada de alto horno, en una proporción comprendida entre el 30% y el 75% del producto terminado.
- c) **Cemento Portland Siderúrgico:** es en cuya composición entra escoria básica granulada de alto horno en una proporción no superior al 30% en peso del producto terminado.
- d) **Cemento Puzolánico:** en cuya composición entrará puzolana en una proporción comprendida entre el 30% y 50% en peso del producto terminado.
- e) **Cemento Portland Puzolánico:** es cuya composición entrara puzolana en la proporción no superiores al 30% en peso del producto terminado

Estos cementos varían en su composición, esto con el objetivo de contar con características especiales, que permitan ser usado en diferentes tipos de climas, con variaciones de

temperatura y humedad, durabilidad en el tiempo y en superficies diversas para lograr así un buen desempeño.

En el mundo se comercializan bajo el estándar de la norma Británica BS y la norma ASTM de Estado Unidos, que corresponden a cementos portland puros.

<b>Tabla 2.2 Tipos Principales de cemento portland</b>	
<b>Descripción Británica Tradicional</b>	<b>Descripción de ASTM</b>
portland ordinario	Tipo I
portland de endurecimiento rápido	Tipo III
portland de endurecimiento extra rápido	
portland de resistencia temprana ultra alta	Fraguado regulado*
portland de bajo calor	Tipo IV
cemento modificado	Tipo II
portland resistente a sulfatos	Tipo V
escoria de alto horno portland	{ Tipo IS Tipo I (SM)
portland blanco	
portland puzolana	{ Tipo I P Tipo I (PM)
cemento de escoria	Tipo S

Nota: Todos los cementos Americanos excepto los Tipos IV y V están también disponibles con un agente inclusor de aire entremolido, y entonces se denotan con la letra A, p. ej., Tipo IA.

\*No es una descripción de ASTM

*Tabla 1 Principales tipo de cementos Portland, Fuente: Libro de Tecnologías de Concreto, Adam Neville, publicación 2013.*

En nuestro país, en la actualidad se disponen de estos cementos en diferentes tipos de presentaciones, siendo el formato de 25 kilos el más comercializado, sin embargo, cuando los proyectos requieren de grandes volúmenes, estos productos son fabricados en las plantas cementeras y llevadas en camiones graneleros a la obra en ejecución, en donde la recepción se hace en silos de más de 30 toneladas.

En el caso particular de la obra en estudio, conscientes del problema que se puede generar por el desarrollo de calor, los más indicados son los cementos con mayor cantidad de adiciones como son los puzolánicos y los siderúrgicos.

## 2.4 Áridos

Los componentes inertes del hormigón, es decir, los áridos son importante por cuanto representan alrededor del 70 al 80% del volumen de hormigón, los que deben cumplir con una serie de propiedades que las plantas de premezclado controlan permanentemente, para lograr tener un material que cumpla con las exigencias de faena. Para que estos áridos estén en óptimas condiciones para ser mezclados, estos deben siempre estar almacenados en forma organizadas y próximo a la planta. Estos componentes deben estar limpios, al igual que libre de sustancias agresivas.

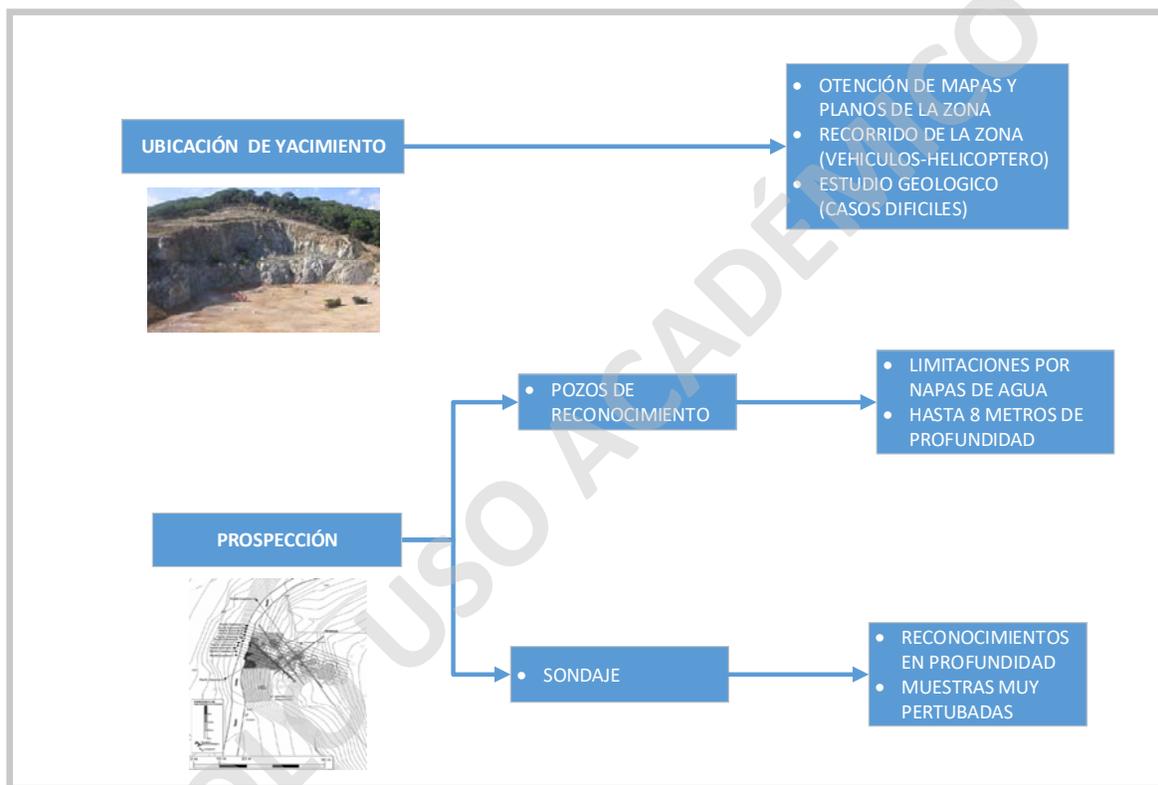
En base a lo anterior, se puede agregar que es posible clasificar los áridos de acuerdo al tamaño de sus partículas, al igual que ser calificadas en cuanto a forma y textura, tamaño, origen y peso.

En el cuadro siguiente se detallan clasificación según su tamaño:

<b>Denominación</b>	<b>Tamaños (mm)</b>	<b>Mas Usados (mm)</b>
Bolón	107,6 – 250,0	
Piedra	76,1 - 107,6	
Grava	19,0 - 76,1	19,0 - 40,0
Gravilla	4,8 - 19,0	4,8 - 19,0
Arena	0,08 - 4,8	0,08 - 4,8

*Tabla 2 Tamaños de los agregados pétreos, según Catedra Sistemas Constructivos en Hormigón, Profesor Nicolas Moreno, Universidad Mayor.*

El origen de estos áridos es principalmente a base de rocas ígneas corresponden a una roca de origen magmático, que se forma cuando el magma volcánico se enfría, para la extracción de este material se utilizan materiales explosivos. También hay de origen Sedimentario, que son extraídas de los deltas de ríos próximos y en algunos casos rocas metamórficas que son de origen de fluidos o de presiones en base a calor.



*Ilustración 9 Estudios previos de abastecimiento de árido, según Catedra Sistemas Constructivos en Hormigón, Profesor Nicolas Moreno, Universidad Mayor*

El origen de cada uno de los áridos hace también resultados en su presentación, como lo es el de origen natural, que presenta paredes regulares generalmente de canto rodado, por otra parte, se tiene de origen chancado que se presenta en base a la trituración.

Cuando se agregan los árido a la mezcla de hormigón, se está potenciando su resistencia a los esfuerzos a los daños, también ayuda a una disminución de volumen de área de pasta, lo que en el caso de hormigones masivos es un método de control notable.



*Fotografía 5 Imagen de vaciado del Hormigón en faena. Fuente: BMX-235 Área de Ingeniería Bormax.*



*Fotografía 6 Proceso de descarga del hormigón en la faena  
Fuente: BMX-235 Área de Ingeniería Bormax.*

## 2.5 Aditivos

Cuando se habla de aditivos en el hormigón, se puede decir que corresponden a todos aquellos productos que se añaden a la mezcla junto al agua de amasado, con el objetivo de modificar alguna de las propiedades del hormigón.

El uso del aditivo, en los últimos años, ha ido en aumento debido a los beneficios económicos y técnicos que estos entregan, por ejemplo, existen ocasiones en donde los proyectos, presentan dificultades considerables en logística y tiempo de traslado, donde la utilización de un aditivo es imprescindible, para lograr más trabajable la mezcla y este modo de llegar a los lugares impensados.

Generalmente los aditivos eran considerados como un costo adicional, pero si se llevan a la práctica además de una reducción de mano de obra, permiten disminuir las retracciones hidráulicas, reducir cemento para las mismas resistencias mecánicas, los resultados son

positivos, especialmente cuando se trata de hormigonados en grandes masas. Es importante advertir que los aditivos no representan una solución para hormigones de mala calidad.

## 2.6 Tipos de Aditivos

Se puede clasificar los aditivos como productos orgánicos o inorgánicos, la diferencia entre ellos es que unos provienen de minerales, mientras que el otro proviene de proceso químico. Es importante señalar que por norma general el aditivo agregado, no debe superar al 5% del peso del cemento, pues si se sobrepasa esta medida podríamos hablar de adiciones para el hormigón como son las cenizas volantes y la microsílíce.

Según la Norma ASTM 494-92 (American Society of Testing Materials, Especificación normalizada para aditivos químicos para el concreto) los aditivos se pueden clasificar en:

- a) Tipo A: Reductores de Agua
- b) Tipo B: Retardantes
- c) Tipo C Acelerante
- d) Tipo D: Reductores de agua y retardantes
- e) Tipo E: Reductores de agua y Acelerante
- f) Tipo F: Reductores de agua de alto rango o superfluidificantes
- g) Tipo G: Reductor de agua de alto rango y retardantes.

Hoy en día en el mercado chileno podemos encontrar una amplia gama de aditivos de diferentes marcas y formatos, satisfaciendo así los requerimientos de todos los sectores de la construcción.

Considerando los problemas que se plantearon durante el proceso de construcción del pavimento en estudio, se deberían haber considerado, un reductor de agua y un retardador de fraguado.

Ambos aportan efectos positivos al momento de reducir las retracciones, a decir, con el empleo de un reductor de agua se logra la misma consistencia con una menor cantidad de

agua de amasado, generando por éste efecto una reducción de la cantidad de cemento, es decir, menor calor de hidratación y en el caso del retardador de fraguado se debe esperar una menor temperatura en el hormigón masivo, por cuanto el mismo calor de hidratación se desarrolla en un mayor tiempo reduciendo la temperatura del hormigón y por consiguiente una reducción de la retracción térmica.

Cuando se habla de resistencia en el hormigón nos referimos a su buen desempeño frente a los esfuerzos de compresión y/o tracción, también es correcto decir, que es la capacidad que posee el cemento, a través de la mezcla para lograr la cohesión de sus partículas y agregados obteniendo así un hormigón con alto grado de resistencia.

Para determinar el grado de resistencia se hacen pruebas al hormigón diseñado, como lo son los ensayos a compresión, ensayos a flexotracción y tracción por hendimiento. Cabe señalar que, en este proyecto de título, no se profundiza en las cargas aplicadas al hormigón, por cuanto las resistencias de control medidas en probetas fueron satisfactorias, sino más bien se profundiza en el problema de fisuramiento o agrietamiento del hormigón sin cargas aplicadas. En términos generales se debe tener en consideración que hay dos conceptos en los tipos de cementos, relacionado con sus resistencias mecánicas a temprana edad, para lo cual se cuenta con los de grado corriente y el de alta resistencia.

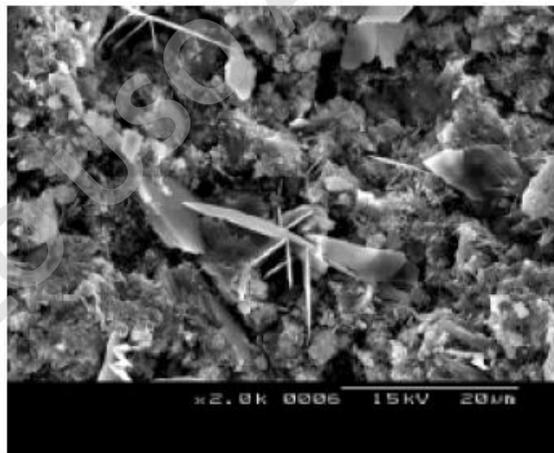
## **2.7 Procesos de Fraguado.**

El primer proceso químico que experimenta el hormigón es el fraguado, en donde pasa de un material plástico a uno más rígido como resultado del inicio de las reacciones químicas al hidratarse el cemento, a partir de éste momento, se inicia el proceso de endurecimiento en el tiempo, a pesar que las resistencias exigidas corresponden a 28 días un hormigón elaborado con cementos con adiciones como los nuestros, requieren de un periodo de tiempo mayor para lograr las máximas, período que puede alcanzar hasta los 90 días según sea su tipo de cementos que se esté usando y las condiciones que se encuentren al momentos de la aplicación. En esta etapa es también posible observar cómo se desarrolla el endurecimiento, esta fase se considera una de las importante por dar lugar a la formación del cuerpo de

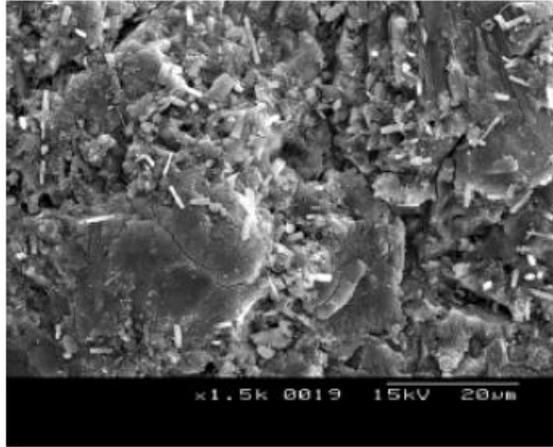
hormigón, es importante tener un alto resguardo en este periodo, pues ante cualquier cambio de las condiciones climáticas el hormigón podría agrietarse o fisurarse.

Dentro del proceso de fraguado existen métodos que se deben considerar con el fin de que el desarrollo de las resistencias, se generen en condiciones de humedad y temperatura para el logro del proceso, ya sea, por la aplicación de agua en forma directa o en forma pulverizada, siempre teniendo en cuenta de mantener las condiciones expuestas, de no hacerse un buen curado, podría verse afectado aumentando la probabilidad de generar fisuras y grietas. Otros métodos relacionados para la hidratación son aquellos que recomienda el fabricante para climas adversos, es así como por ejemplo un clima desértico con oscilación térmica alta debe estar presente un aditivo que permita mantener su hidratación.

En este proceso de fraguado es también posible observar formación de cristales de silicato hidratados los cuales son apreciables a través de un microscopio (ver figura 06) esto también es posible identificar, por el desarrollo de manchas plomizas en el hormigón a temprana edad, estas nos dan el signo de su formación, este proceso de cristalización se puede prolongar a través del tiempo llegando incluso a superar los dos años.



*Fotografía 7 Vista microscópica del hormigón, Fuente: imagen de American Mineralogist, de GeoScienceWorld, boletín de Hormigón de publicación de Resistencia.*



*Fotografía 8 Vista microscópica del hormigón, Fuente: imagen de American Mineralogist, de GeoScienceWorld, boletín de Hormigón de publicación de Resistencia.*

Cuando ya han transcurrido los primeros 15 días, periodo donde está concentrado el fraguado e inicio del desarrollo de las resistencias mecánicas por el proceso de cristalización, el hormigón experimenta una serie de retracciones, las que pueden generar fisuras y grietas, acelerando el proceso de pérdidas de durabilidad.

El control del fraguado es importante, ya que al no ser monitoreado podría presentarse el problema denominado “falso fraguado” que técnicamente se denomina a los procesos de rigidez prematura que experimenta en forma anormal el cemento. Este puede ser identificado cuando, se desarrolla una capa dura a los pocos minutos de entrar en contacto el cemento con el agua. El principal inconveniente asociado a este problema es la fuerte pérdida de asentamiento de cono. La forma correcta de evitar el falso fraguado es, conociendo bien el tipo de cemento que se está utilizando, y de este modo entregarle un proceso de amasado más prolongado.

### 2.7.1 La velocidad de Fraguado

Cuando hablamos de velocidad de fraguado, de debe tener en consideración la finura del cemento que se utilizara, pues en mercado se encuentra cementos que tienen estructuras que están entre los factores 2 y 200  $\mu\text{m}$ . en donde las más activas están entre 5 y 70  $\mu\text{m}$ ., por lo

tanto, es decir, cuando utilizamos un cemento con características de mayor finura, se tiene que saber que tendremos un hormigón con mayor velocidad de fraguado.

Teniendo en consideración lo mencionado en párrafo anterior, sabemos que, al fraguar en forma rápida, se generara mayor temperatura en el hormigón a temprana edad. Entonces si las necesidades de los proyectos requieren de un tipo de hormigón de fraguado rápido, se debe tener un especial control y buena manipulación, de este modo se puede obtener un hormigón de mayor resistencia mecánica y con una mejorada impermeabilidad.

En la siguiente tabla se muestra los tiempos de fraguados de los cementos con grado de finura normal que es denominado “corriente” en comparación al grado de finura mayor que el cemento denominado “alta resistencia”:

Grado	Tiempo de fraguado		Resistencia mínima a la compresión		Resistencia mínima a la Flexión	
	Inicial minino min.	Final Máximo min.	7 días Kg/cm <sup>2</sup>	28 días Kg/cm <sup>2</sup>	7 días Kg/cm <sup>2</sup>	28 días Kg/cm <sup>2</sup>
<b>Corriente</b>	60	12	180	250	35	45
<b>Alta Resistencia</b>	45	10	250	350	45	55

*Tabla 3 Información NCh148 con relación a los tiempos de fraguado. Fuente: Nch 148.*

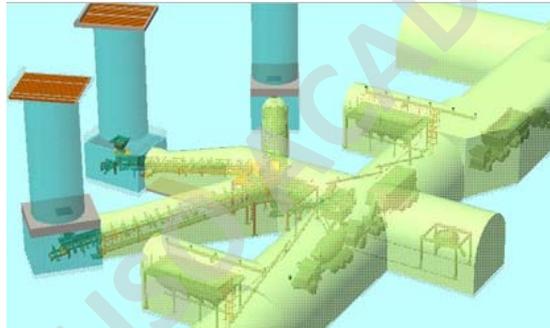
## 2.8 Hormigón en la Minería Chilena

Todas las empresas relacionadas a la Minera de gran escala a nivel nacional, en sus necesidades de ser más eficientes en la extracción de minerales, se ven enfrentadas a buscar nuevos productos con buen desempeño, es por ello que el hormigón se abre paso en el mundo minero, con sus propiedades adaptados a las diferentes necesidades, brindando soluciones duraderas a corto y largo plazo.

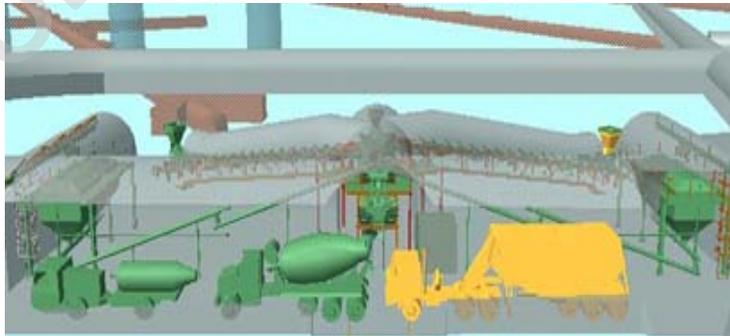
Dentro de los proyectos mineros que se ejecutan gracias buen desempeño de hormigón destacan los siguientes:

- Obras de Infraestructura Vial (carretera, caminos, zanjas, obras de artes)
- Obras eléctricas, sanitarias.
- Obras Civiles, Montajes, mecánicos
- Obras Hidráulicas

Hoy en día la gran minería en su búsqueda de mayor eficiencia y de contar con el hormigón al alcance de sus proyectos, ha desarrollado nuevas formas de distribución al interior de las faenas, es así como, dentro del alcance de este proyecto de título, podemos observar que en la División el Teniente, Codelco cuenta con un contrato de “Servicios de Suministro de Hormigón” que requiere la instalación de una planta de fabricación de hormigón al interior del sector industrial de la División, esto con el fin de garantizar el correcto y oportuno suministro de este material al interior de la mina, sin la necesidad de que el abastecimiento llegue desde largas distancias que perjudiquen los tiempos de ejecución de los proyectos.



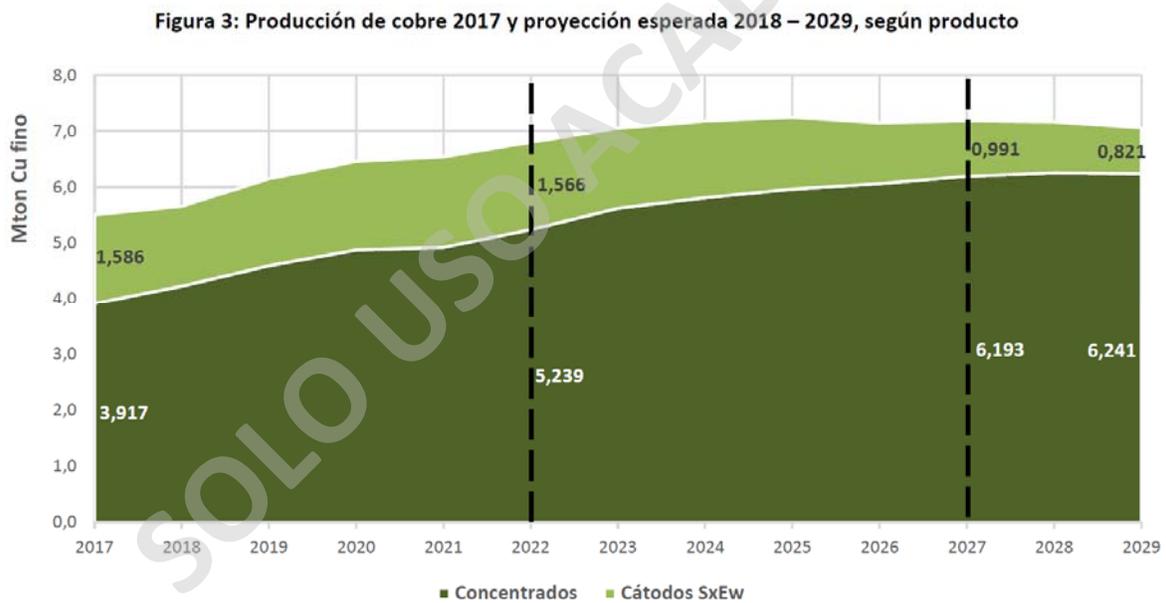
*Ilustración 10 Detalle de los Piques de acopio de áridos de la planta de hormigón del sector Diablo Regimiento. Fuente: Presentación Proyecto Nuevo Nivel Mina, autor Jorge Revuelta Alfaro*



*Ilustración 11 Detalle de los Piques de acopio de áridos de la planta de hormigón del sector Diablo, Fuente: Presentación Proyecto Nuevo Nivel Mina, autor Jorge Revuelta Alfaro*

El hormigón lo podemos encontrar en la planta de producción en los niveles subterráneos de la mina, este se encuentra disponible para la distribución en cada proyecto según sean solicitados. En los grandes proyectos de desarrollo, que involucran grandes volúmenes de hormigones, Codelco a través de las plantas internas puede controlar y garantizar el producto logrando proyecto con estándares de confiabilidad requerida según el diseño.

El hormigón en la minería, se proyecta para los próximos años con un gran crecimiento, pues las cifras de producción van en alza, así como también los proyectos estructurales que extenderán la vida útil de los yacimientos. Para dar cifras más concretas se muestra un gráfico del informe que presento Cochilco (Comisión Chilena del Cobre) para el año 2018, donde se detalla las ampliaciones del mercado de producción de cobre en Chile.



*Ilustración 12 “Proyección de la producción esperada de cobre en Chile 2018 – 2029”,  
Fuente: Proyección de la producción de cobre en Chile 2017 – 2028. DEPP 19/2017*

## 2.9 Tipo de hormigón en la Minería

En la minería generalmente el uso de hormigón se usa en grandes volúmenes, entre los principales trabajos se pueden mencionar son: desarrollo de buzones mineros y sala de molinos de chancados, su empleo en la minería se debe a que principalmente se busca garantizar el buen desempeño en los proyectos.

El uso de hormigón en grande volumen se denomina técnicamente como “Hormigones Masivos” pero en Chile la norma actuales no tiene una definición muy explícita para estos, de acuerdo a los que indica la norma chilena NC170 corresponden a hormigones masivos los elementos que tengan medidas de 90 centímetros de profundidad, con estos parámetros es considerado hormigón masivo, al estar carente de información y de un manejo o normas que se deban cumplir generalmente se debe recurrir a obtener información en la American Concrete Institute (ACI) bajo una norma ACI - 207.

Según estas norma Americana la principal diferencias que se producen entre un hormigón masivo con un hormigón tradicional, es que el primero presentara un comportamiento térmico diferente debido a las diferencias de temperatura que se pueden generar entre las distintas capas, especialmente entre el núcleo y las superficies expuestas al medio ambiente, lo que genera el desarrollo del calor por medio del proceso de hidratación, este inconveniente es el principal problema que a futuro se presenten los agrietamiento y fisuras superficiales si no se considera la adopción de procedimientos en la dosificación del hormigón considerando una mínima cantidad de cemento, además del empleo de un cemento de bajo desarrollo de calor como puede ser uno del grado corriente, además de reductores de agua y retardadores de fraguado.

Para trabajar con estos hormigones en la minería se toman cierto medidas de control, como por ejemplo, el que se agregan aditivos que principalmente cumplen la función de retardar la temperaturas al momento de vaciado de hormigón en sus lugar definitivo, otra medida para los hormigones que da buenos resultados es la disminución de la cantidad de agua con el objetivo de minimizar la hidratación excesiva para no generar temperatura internas, otra medida recurrente es que los agregados a la mezcla sean de gran tamaño, para lograr la

mínima superficie específica en los áridos, requiriendo así de una menor cantidad de pasta de cemento para lograr las resistencias requeridas.

Los recurrentes problemas que se producen en los hormigones en grandes masas presentes en la minería, es el que se observa por una retracción plástica, para efecto de este trabajo de título se estudia una carpeta de rodado aplicada en el taller de Mantenimiento en el sector del Diablo Regimiento de Mina el Teniente, donde esta retracción quizás pudo haber generado pequeñas fisuras superficiales. Cuando se produce una fisuración por retracción plástica el daño se puede ver reflejado en una gran cantidad de pequeñas grietas, las que sumada la retracción térmica pueden incluso atravesar completamente una losa.

Generalmente la evaporación rápida del agua superficial, antes del inicio de fraguado desde la superficie del hormigón ayuda a efectuarse una contracción de masa y como consecuencia la generación de las pequeñas grietas, problema muy recurrente en los proyectos mineros.

Esta pérdida de agua se produce por condiciones ambientales en la faena, como alta temperatura, humedad relativa baja y por viento, en el caso de interior mina el factor más complicado es el último y se forman en forma perpendicular a la dirección del viento.

## **2.10** El Hormigones de Alta Resistencia en la Minería

Cuando un proyecto necesita proceso desarrollo de las resistencias elevadas a la compresión se recurre a un tipo de hormigón denominado “Alta Resistencia”, lo relevante del producto entre sus muchas características es que son hormigones que entregan resistencias mecánicas antes de los 28 días, con resultados de superiores de 500 kg/cm<sup>2</sup>, medidas en probeta cubica o cilíndricas normalizadas de acuerdo a Nch 1017 y Nch 1037.- *según fuentes de especificaciones técnicas Ready Mix cementos Biobío*. En la actualidad se comercializan dos tipos hormigones de alta resistencia, uno de ellos es el Alta Resistencia final, cuando los ensayos de probeta son solicitados a los 28 días, mientras tanto que el segundo es de Alta Resistencia Inicial, que es muy utilizado cuando se requieren resistencia para puestas en servicio rápidas.

El campo de aplicación de este último tipo de hormigón es principalmente en la fabricación de elementos prefabricados en hormigón, al igual que elementos pretensado para usos generalmente de vigas pretensadas, también en elementos postensados, otro requerimiento es cuando necesita un desmolde en forma anticipada, logrando buenos resultados.

Un buen proceso de colocación en obra es elemental, ya que como se ha dicho es un producto de tiempos de fraguado rápido, por la cantidad y tipo de cemento y aditivos, lo que obliga a tener un buen programa de planificación y organización en la faena al momento de vaciado. El chequeo de elementos que se van a usar en la faena está claro que no deberían presentar imperfecciones la buena elección de vibradores y otros elementos son de suma importancia.

#### 2.10.1 Controles antes de la Aplicación

Al momento de la colocación del hormigón este tipo alta resistencia se debe tener presente importantes controles de modo de no perder el factor tiempo, por lo tanto, un buen control en conjunto a una detallada planificación en la obra es de suma importancia para el momento del vaciado. También el revisar con detalle cada uno de los documentos de diseño del proyecto, comprobando que este es el tipo de hormigón que requiere el proyecto. El acceso a la obra debe ser revisado e incluso custodiado para no tener retrasos de los camiones hacia a obra.

Evitar la colocación de agua adicional al proyectado ya que se lograría malos resultados, siendo el más grave las pérdidas de resistencias mecánicas, el que genera un incremento en las retracciones y exudación superficial debilitando la carpeta de rodado del pavimento.

#### 2.10.2 Controles post aplicación

Una vez que el hormigón ya se encuentra vaciado, se procede a la brevedad a las labores de compactación, siendo esta una de las claves para garantizar la resistencia potencial que entregara este hormigón. Se debe realizar la compactación lo más rápido eliminando el aire que se encuentre atrapado, también hacerlo llegar hasta los lugares más profundos del moldaje.

Por otra parte, las labores de curado son relevantes si se quiere alcanzar el máximo de resistencia de este hormigón, más cuando el requerimiento es resistencia a los primeros días, el control de la humedad se hace fundamental evitando así la pérdida de agua, para un buen desarrollo también, se debe tener condiciones ambientales favorables.

Entre los métodos que los fabricantes recomiendan serían:

- El control con láminas impermeables de polietileno
- El recubrimiento con arpilleras mojadas, según sea la necesidad.
- La elección de una buena membrana de curado.

## **2.11 Marco Normativo del Hormigón**

Existen diferentes tipos de normativas que se requieren para una certificación y normalización de hormigón en las obras y para todos los trabajos en la minería, Codelco posee una serie de documentos, los que tiene el objetivo de velar por el fiel cumplimiento de la calidad del producto final.

Cuando se ejecuta un proyecto que involucre una carpeta de rodado, por ejemplo, en un taller en cualquier nivel del sector minero, Codelco hacer regir el fiel cumplimiento de una serie de documentación, basados por las normas tanto chilenas como extranjeras. Entre las principales se pueden mencionar brevemente para conocimiento y desarrollo de este proyecto título son las siguientes:

- G 10- Nch 170, para emplantillados
- G 25 -NCh170 para obras menores o secundarias, tales como bodegas y talleres edificios oficinas y habitacionales, obras de evacuaciones de aguas lluvias y alcantarillado, radieres comunes (no pavimentos) obras hidráulicas y similares.
- G 35-NCh 170 para obras mayores tales como fundaciones de edificio y equipamiento de procesos principales.

Con lo anteriormente expuesto podemos decir que la fabricación de una losa en la minería debe tener un requerimiento mínimo que corresponda a un hormigón tipo G 70 (NCh170)

con un nivel de confianza de 90 %, todo esto debidamente informado por bases específicas, documentos Técnicos y Especificaciones Técnica entre las más importante. El cemento más utilizado en base a los requerimientos según normas es el cemento Portland Puzolánico o Portland Siderúrgico el cual en su estándar de alta resistencia cumplen con la Norma Chilena 148.

El transporte y suministro del hormigón se realiza en camiones mixer, apto para labores en diferente tipo de altura en niveles de piso, los camiones tolva de hormigón, tienen un tamaño específico dependiendo donde se realiza la distribución de hormigón o la obra este ejecutándose, los tiempos de traslado del hormigón no puede ser mayor a 120 minutos. Hay casos donde el difícil acceso para el vaciado de hormigón de las losas en obra se encuentra obstruidas, o con fallas que impiden el libre acceso, lo cual hace que el área de logística busque nuevas formas de traslado, es este caso se recomienda en uso de un Hormigón bombeable.

## **2.12 Recomendaciones Generales para el Hormigón**

Lo recomendable según las normas, para un buen resultado en una losa es completar con un emplantillado o relleno en su base, el grado recomendable es H10 -según NCh170 – que debería tener un nivel de confianza de 85%, lo que con ayuda de un vibrador se puede hacer un compactado eficiente. Es importante recordar que las superficies donde se procederá con los trabajos deben estar limpias, compactados y libre de materia orgánica.

Un punto importante en colocación de losas de hormigón es la temperatura ambiental, las que en la interior mina son estables, en un promedio de 18°C dependiendo el nivel, los problemas trascurren cuando son inferiores a 5 °C ya que se deben adoptar operativos para subir la temperatura y dar cumplimiento a las Norma Nch 170(10.4.1) en el caso de nuestro estudio en el taller de Mecánica en el sector Diablo Regimiento, se presentan complicaciones por ser espacios abierto.

La etapa de vibrados es una labor importante en la obra ya que tiene como función la eliminación de los vacíos de aire producto de la viscosidad de la mezcla que se vacía a una

determinada altura, los vibradores logran la mayor compactación, por lo se recomienda la elección de los equipos para la obra que se esté ejecutando, de modo que esta pueda acceder a los lugares profundos, si este fuera el caso y de lo contrario no es recomendable ocupar vibradores muy largos en losas pequeñas. Al término del vibrado se recomienda hacer la terminación con un planchado la que consiste en la eliminación del agua superficial de exudación, importante labor.



*Ilustración 13 Labores de hormigonado en el sector taller mecánico, Diablo Regimiento,  
Fuente: BMX-235 Área de Ingeniería Bormax.*

#### 2.12.1. Deformaciones y Agrietamiento sin carga existente.

Los hormigones en una carpeta de rodado en el interior de la mina pueden presentar varias deformaciones, estas pueden ser visibles a simple vista y otras ocasiones podrían desarrollarse con tiempo haciéndose visible posteriormente, especialmente las ocasionadas por retracciones hidráulicas, que corresponden a grietas anchas y profundas.

Al analizar las problemáticas más recurrentes encontramos que la contracción del hormigón es la más recurrente, esta anomalía se produce principalmente por la pérdida de agua que se evapora de la superficie del hormigón en la etapa de fraguado, también es conocida como “Contracción Plástica” en palabras simple la pérdida de agua en su cara superficial lo que obliga a que la parte inferior supla con su humedad. Entonces la contracción induce a

esfuerzo de tracción a la superficie o cara superior que se encuentra seca y rígida al momento que la cara inferior no está contraída, en esta etapa el hormigón es muy joven y débil por lo que genera rápidamente agrietamiento plástico en su superficie.

Como sabemos la contracción plástica, tiende a desarrollarse cuando el grado de evaporación de agua es alto, esto dependiendo de la temperatura, la humedad relativa y el viento del medio ambiente. Entonces la solución a este problema observado cuando se presentan grandes áreas de hormigón, la solución es la protección de la superficie, mediante la aplicación de una membrana de curado antes de que se produzca en la superficie del hormigón una pérdida superficial superior a  $1,0 \text{ Kg} / \text{m}^2 / \text{hora}$ .

También en esta etapa hay complementos de hidratación al hormigón, los que se adicionan durante el fraguado con el objetivo de hidratarlo, pero debemos tener cuenta que es posible este producto sea absorbido por el gel de cemento el que podría aumentar su tamaño de en 10 a 20 veces su tamaño (*según información del libro “tecnología del concreto” de Adam Neville*).

En el proceso de contracción por secado, corresponde a la pérdida de agua se produce a través del tiempo, en donde el agua de hidratación del cemento es ocupado por aire que no está saturado, cuando se produce este proceso se presenta en dos formas, una reversible y la otra que no posee solución, analizando la primera forma reversible, se le ha permitido el secado con aire controlado, para después producir la hidratación también de forma controlada, el único inconveniente que puede ocurrir es un aumento de volumen que también puede estar controlado. Al no hacer una correcta hidratación en la etapa de fraguado, bajo un ambiente de aire seco el resultado seguro, es contracción del hormigón.

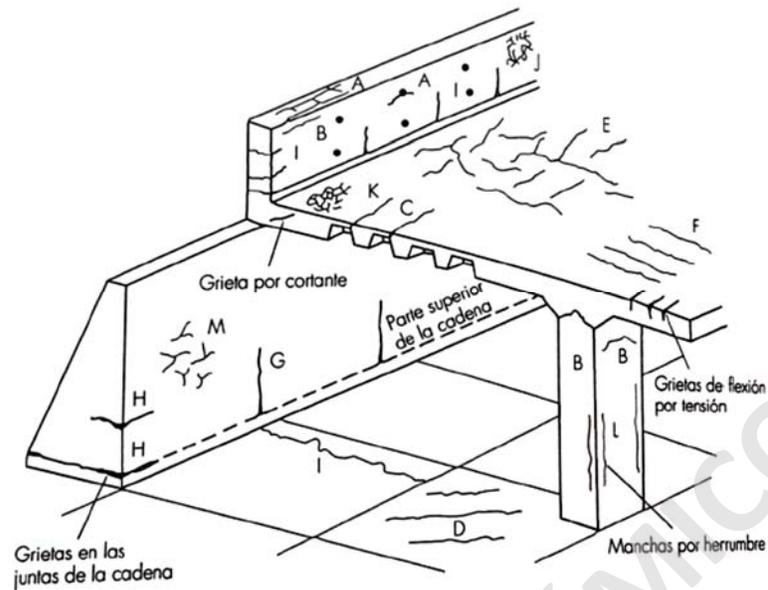
#### 2.12.2. Tipos de Agrietamiento

Este trabajo de Proyecto de Título se enfoca a los problemas de agrietamiento que se producen sin cargas estas son denominadas fallas del agrietamiento por factores intrínsecos, actualmente este grupo de grietas son clasificados en tres grupos que son:

- a) Grietas Plásticas
- b) Grietas Térmicas Prematuras
- c) Grietas de Construcción por Secado

Pueden existir quizás varias otras más, pero para este proyecto de título nos enfocaremos en los ya citadas.

- a) Grietas Plásticas son aquellas que se desarrollan en forma temprana en el hormigón, su formación está entre 1 y 8 horas vaciada la mezcla, una solución para este problema es planificar un sistema de curado tal, que permita mantener a temperatura y evitar la pérdida de agua de amasado, tal como se ha mencionado, además mediante un sistema de aislación térmica para evitar diferenciales importante de temperatura entre el núcleo de hormigón y la superficie expuesta, evitando con ello la disipación de la temperatura lograda con el calor de hidratación.
- b) Grietas Térmicas Prematuras, estas se desarrollan en lugares con altas temperaturas, dando como resultado que el periodo de fraguado sea menor, por lo tanto, no se alcance correctamente el grado de maduración. Una de las soluciones más utilizadas es la incorporación de un aditivo que retarda el fraguado, eliminando así la contracción y problemas que ya se han mencionado.
- c) Grietas de Contracción por Secado: El retiro de agua del concreto almacenado en aire no saturado ocasiona contracciones por secado. Una parte de este movimiento es irreversible y se deberá distinguir del movimiento reversible de humedad causado al alternar las condiciones de almacenaje de mojado y secado. (Información de Libro Técnicas del concreto, capítulo 9 Elasticidad, contracción y fluencia).



*Ilustración 14 Tipos de grietas sin carga. Fuente: Tecnología del concreto Adam Neville Publicación 2013.*

### 2.12.3. Retracción Hormigón en grandes Masas.

En una obra, en donde se debe colocar una gran cantidad de hormigón en un mismo volumen y superficie, se denomina hormigón en grandes masas, para esta definición el hormigón debe cumplir ciertas características especiales al igual que procesos de curado especiales. El manejo que se debe tener es el proceso de la colocación, ya que puede generar endurecimiento en su capa superior, antes de recibir la siguiente capa que se descarga en el volumen de trabajo, y otro más importante es aquel producido por el calor interno que desarrolla el cemento al momento de hidratarse en grandes masas.

El manejo más recomendable que debería realizar en una aplicación en grande masa, es de forma de escalones, de modo que se pueda avanzar aplicaciones que queden trabadas y que se vaya liberando calor.

### 3. Capítulo 3

#### 3.1. Desarrollo de la Investigación

En este capítulo se analizarán las singularidades que se presentaron en la terminación superficial del pavimento al interior de la mina y en forma particular lo realizado en el Taller de Mantenimiento, en donde por Especificaciones Técnicas se solicitaba un pavimento de hormigón afinado, para el tránsito de maquinaria pesada, todo esto se desarrolla en el interior de la Mina El Teniente en la región de O'Higgins.

Una vez finalizado el proceso constructivo, en el proyecto quedó la inquietud respecto a la aparición de fisuras, en la construcción de pavimentos de hormigón con exigencia de alta resistencia, la que debe analizarse para poder tener clara las causas que las generan, con el fin de evitar que se produzcan o en el peor de los casos minimizarlas.

Si analizamos brevemente este tipo de fisuras de ancho mínimo, que son pequeñas a nuestros ojos y teniendo en cuenta que se desarrollan sólo en algunos sectores del hormigón en la obra, solo en la capa superior del radier, las que quizás no representan mayor inconveniente, ya que serán cubiertas por algún producto de terminaciones, el que fuera requerido según la especificación técnica, haciéndolas invisible e imperceptible a la inspección Técnica al momento de aprobación de estados de pago o entrega de la Obra.

Estas pequeñas grietas, que no deberían haberse presentado durante en el proceso de colocación del hormigón, podrían complicar el buen cumplimiento de este piso de taller de máquinas a futuro, especialmente cuando estén en uso y reciba las cargas dinámicas de los equipos que entran a sus mantenciones. Las complicaciones que pueden esperarse son el ensanchamiento de las grietas, ruptura de los bordes de ella, además del desprendimiento de los bordes de la carpeta de rodado en forma superficial.

Lo normal es que un profesional antes de hacerse responsable de un proyecto de este tipo, tenga los conocimientos y la experiencia para detectar en el proceso de planificación de una obra de esta envergadura, a fin de evitar que se produzcan estos detalles constructivos, que afectarán la durabilidad del pavimento en su puesta en servicio.

Se debe tener conciencia que el hormigón es un material que experimenta en el transcurso de su proceso de endurecimiento una serie de pérdidas de volumen, debido a distintas causas, deben tenerse en consideración aspectos relevantes desde el proceso de dosificación hasta su colocación y terminación.

El hormigón desde que se inicia el proceso de hidratación del cemento, se tiene la que se denomina retracción endógena, en estado fresco se tiene la retracción plástica originada por un deficiente proceso de curado, retracción térmica en obras de grandes espesores y la retracción hidráulica producto de la pérdida de agua en el tiempo. Los procesos mencionados deben tenerse en cuenta para disminuir el riesgo de aparición de fisuras en cualquier estructura, especialmente en un pavimento.

En el caso de estudio se debe hacer un análisis de las posibles causas que pueden haberlas generado, para implementar las medidas y los procedimientos para eliminar los riesgos de su generación.

Para realizar un análisis de las causas que intervinieron en el proceso de fisuración del pavimento, corresponde al pavimento de los talleres que tenía las siguientes características, que debieron considerarse antes de abordar su materialización:

- Pavimento en el interior de la mina, con espesores totalmente irregulares fundado sobre la roca, con espesores variables que fluctuaron entre los 60 y 150 cm.
- Hormigón especificado de alta resistencia del tipo G 70 – 90% de nivel de confianza, lo que indica que la dosis de cemento es alta.
- Hormigón con una terminación lisa y resistente para lo cual se especificó un mortero endurecedor de piso, mortero con un alto contenido de cemento.

Por las características mencionadas que se exigieron en las Especificaciones Técnicas, el profesional a cargo tuvo que evaluar en forma previa a la solicitud de hormigón a la planta, aspectos relevantes para reducir al máximo la aparición de grietas y fisuras, entre las que se encuentran:

- a. Por las dimensiones del pavimento deberían haberse tomado las precauciones necesarias de un hormigonado en masa, de manera de que la planta de premezclado dosificara el hormigón orientado a este problema, es decir, emplear grava en su dosificación, con el fin de lograr las resistencias con la mínima cantidad de cemento, reduciendo con ello, el desarrollo del calor de hidratación, producto de la hidratación del cemento.
- b. Al no contar con la información la planta dosificó el hormigón orientado exclusivamente al cumplimiento de las resistencias mecánicas, que son altas y no fue modificada por el riesgo del desarrollo del calor de hidratación, que puede modificarse adicionando mayor cantidad de aditivo retardador y reemplazando parte del cemento por adiciones activas como la microsílíce.
- c. Ante las pérdidas de consistencia, se optó por adicionarle más agua, al hormigón para tener el asentamiento de cono requerido para su colocación, incrementándose el riesgo de retracción hidráulica.

### 3.2. Tipos de Antecedentes

En el área de la minería en Chile se trabaja con varias exigencias y normativa como lo es la Norma Chilena (Nch. 148 cementos – Tecnología y clasificación y especificaciones generales, Nch. 158 cementos -Ensayos de Morteros de cementos), Nch 170 “Hormigón. Requisitos Generales”, además de Normativa Internacional (American Society for Testing and Materials (ASTM), British Standard (BS), Standards Association on New Zealand), las que buscan garantizar el correcto desempeño de proyectos y el éxito de los trabajos.

La empresa estatal Codelco ha generado varios documentos en busca de entregar calidad a cada uno de sus proyectos ejecutados, con esta misión desarrolla especificaciones técnicas de distintos tipos, estos documentos entregan recomendaciones y determinan el control de calidad para la recepción.

Al momento de ejecutar un proyecto minero, es importante un acabado conocimiento y estudio de la documentación asociada al contrato como lo son: bases tanto especificación y/o de contratación, documentos de especificaciones técnicas. Estos documentos deben ser estudiado con rigurosidad, ya que el éxito en una obra minera es cumplir los objetivos y con los plazos establecidos.

Al tener la empresa Codelco normativas más exigentes que debe ser cumplida a cabalidad, hace que la ejecución de un proyecto tenga desafíos que debe cumplir en conjunto de exigencias y aprobar cada una de las partidas de cada proyecto, con el objetivo de un desarrollo adecuado y exitoso de ellos. Cada proyecto que se ejecuta, las empresas constructoras se ven enfrentadas a salvar con los desafíos logísticos y/o geográficos, debido a la ubicación de los yacimientos, también al desafío de introducir sistemas y equipos con innovación, con nuevas tecnologías y trasladándolas a las obras con el fin de ser más eficiente y más productivos.

Esta partida presenta requerimientos y antecedentes que son necesarios entre los más importantes a nombrar:

- Estudios preliminares que no fueron abordados con el profesionalismo que se requería.
- Implementar un sistema de control a todos los procesos de operación.
- Confeccionar y mantener un control del plan de Calidad.
- Analizar e implementar un plan de Inspección acorde a las exigencias del proyecto.

Lo que se busca siempre es velar por fiel cumplimiento de seguridad, calidad, operaciones y normativas vigentes.

Una de las labores que pueden hacer el éxito en una partida de hormigonado, en un buen plan de autocontrol, el que tendría como objetivo único, velar por aquellos procesos definidos en conjunto con los planes de calidad que estén vinculados con la de la obra. Se entiende que en esta etapa los profesionales involucrados, verifican dimensiones y ubicación de cada uno de los elementos, que están proyectados o intervenidos en la obra de hormigonado.

Una de las formas en que se garantiza el correcto funcionamiento de las labores que se estipularon en las bases, es contar con profesionales idóneos, los ensayos certificados, las pruebas y controles que muchas veces están estipuladas en las especificaciones técnicas del proyecto, todas estas labores solo buscan evitar la fallas que se pueden percibir posteriormente efectuada la faena.

En cada una de las partidas se contemplan materiales de calidad para el uso e implementación del proyecto, se da por entendido que los materiales que se usan son de calidad, los que gracias a la buena planificación se encuentran con anticipación en el lugar de la faena, antes del comienzo de la obra, quedando en lugares habilitados o destinados al almacenaje de estos.

Hay algunos casos dentro de la obra de hormigonado que se refiere a productos comerciales como son los aditivos o sistemas que ayudan en las juntas, según como sea estipulados en los documentos correspondientes a la obra, estos materiales deben ser autorizados por profesionales competente y calificados. La aplicación será de acuerdo con lo recomendado por el fabricante evitando que se produzcan anomalías en la aplicación las que si llegaran a ocurrir son responsabilidad del Constructor.

### 3.3. Obtención de datos previos

Considerando las especificaciones técnicas de la obra, con el fin de lograr una buena resistencia mecánica, especialmente a la abrasión esfuerzo relevante a que estará sometido el pavimento en estudio, se especificó un hormigón grado H 70 – 90%, además de la aplicación de un mortero para endurecer la superficie, espolvoreado en dosis de 6 kg / m<sup>2</sup>.

La colocación y especialmente el curado producto del desconocimiento respecto a las precauciones de un hormigón masivo, se tuvo sólo un cuidado medio de la pérdida de agua, que no fue el que se requería por cuanto igual aparecieron fisuras por retracción plástica. Esto último al no considerar las corrientes de aire que se tenían en el sector, aspecto ambiental no tomado en cuenta.

Respecto a los sectores que se tenían mayores espesores de hormigón, deberían haberse llenado en forma inicial, para forzar una pérdida del calor de hidratación en esas partes o

planificar el proceso de hormigonado considerando como elemento fundamental, la disipación del calor de hidratación.

La solicitud del hormigón a la planta de premezclados se realizó en función de obtener las resistencias mecánicas exigidas, sin informar que se tenían espesores que superaban las indicaciones de la norma de espesores máximos de 90 cm.

Las modificaciones que deberían haberse considerado para lograr las resistencias mecánicas y reducir al máximo el desarrollo de calor son:

- Empleo de un cemento de bajo desarrollo de calor, grado corriente.
- Reflexionar respecto al empleo del mayor tamaño máximo compatible con una buena colocación, por ejemplo, grava dosificada que presenta una menor superficie específica y por consiguiente necesita una menor cantidad de cemento para una misma resistencia.
- Considerar el reemplazo de parte del cemento por una adición del tipo microsílíce, que su reacción química no desarrolla calor.
- Empleo de aditivos superplastificantes adicionados en obra, para lograr la consistencia requerida para una buena consolidación, con una cantidad de agua de amasado mucho más baja disminuyendo el riesgo de la retracción hidráulica.
- Aditivo retardador de fraguado, para que el desarrollo de calor se generara en mayor tiempo sin incrementos importantes en la temperatura de la masa del hormigón.

Respecto al proceso de colocación, debió hacerse por capas de 60 a 70 cm siguiendo una secuencia de manera de facilitar la disipación de temperatura en el hormigón, iniciando el procedimiento de colocación en los sectores de espesores más desfavorables.

El proceso de curado se debió colocar en forma pulverizada una membrana de curado base solvente inmediatamente de finalizado el proceso de terminación superficial y posteriormente colocar mantas térmicas para disminuir la pérdida de temperatura a nivel de la superficie y evitar tener variaciones superiores a 20° C, entre el núcleo y la superficie expuesta.

Con las consideraciones expuestas se deberían haber reducido al máximo la aparición de las fisuras superficiales.

### 3.4. Grietas típicas en un pavimento.

En general en una estructura de hormigón y en los pavimentos en forma particular, se presentan una serie de daños típicos, los que se analizarán en detalle para contrastar los que se han manifestado en el pavimento de los talleres en estudio y proponer sistemas de reparación para los que se presentaron.

Un hormigón en general por sus características y propiedades, se pueden generar una serie de esfuerzos que sobrepasan las resistencias a la tracción, entre las cuales se encuentran:

- 1) Grietas por retracción plástica
- 2) Grietas por retracción térmica.
- 3) Grietas por retracción hidráulica
- 4) Grietas por atraso en la inducción del corte.
- 5) Grietas al borde de las juntas

- 1) Grietas por retracción plástica.

El hormigón una vez terminado el alisado y terminación superficial y por las condiciones ambientales, especialmente por el viento se genera una pérdida de agua que supera al que se genera por la exudación del hormigón que equivale a  $1,0 \text{ kg} / \text{m}^2 / \text{hora}$ , se generan grietas finas en forma perpendicular a la dirección del viento.



*Fotografía 9 Grietas por retracción plásticas generadas por viento.  
Fuente: BMX-235 Área de Ingeniería Bormax.*

2) Grietas por retracción térmica.

Se presentan a nivel superficial producto de la disipación de la temperatura del calor de hidratación al medio ambiente cuando el núcleo del hormigón está a mayor temperatura, son grietas en general de un par de milímetros que no presentan movimiento.

3) Grietas por retracción hidráulica.

Como se ha mencionado se producen por pérdidas de agua en el tiempo, cuyo ancho depende principalmente por la cantidad de agua de conveniencia con la cual se haya confeccionado el hormigón. Son grietas de anchos variables dependiendo del proceso de curado, de la cantidad de agua, la disposición de las armaduras entre otros aspectos.

4) Grietas por atraso en la inducción de juntas del pavimento.

Los pavimentos de hormigón requieren de una inducción de juntas, para evitar el agrietamiento que se puede presentar una forma irregular y con permanente movimiento ante cualquier variación de temperatura.

La inducción de las juntas se debe hacer a profundidad de  $1/3$  del espesor del pavimento, en las condiciones de irregularidad que tuvo el pavimento fue difícil tener una profundidad similar en todos los sectores.



*Fotografía 10 Vista de las diferencias de espesor pavimento.  
Fuente: BMX-235 Área de Ingeniería Bormax.*

5) Grietas en borde de juntas.

Por efecto del esfuerzo que involucra el paso del disco de corte en el hormigón con baja resistencia mecánica, generalmente se presentan grietas en el perímetro del corte, las que deben ser reparadas para que el daño no se ensanche y profundice.



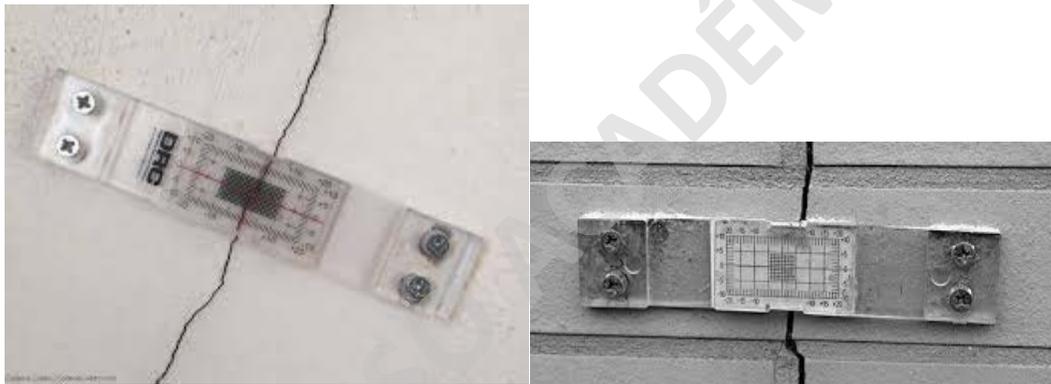
*Fotografía 11 Grieta en borde de la junta de dilatación.  
Fuente: BMX-235 Área de Ingeniería Bormax.*

Al realizar la visita para la entrega preliminar, como se ha mencionado, se observaron una serie de grietas que por su configuración su origen es:

### 3.5. Realización de pruebas

Los ensayos que deben realizarse a las grietas es determinar la actividad que ellas tienen, por cuanto las soluciones son diferentes, según las necesidades del proyecto.

La actividad que tienen las grietas, se puede medir empleando soluciones simples, como la colocación de placas delgadas de yeso en forma transversal a la grieta, que en caso de presentar movimientos se agrietará o empleando equipos de medición más sofisticados.



*Fotografía 12 Equipos para medir actividad de fisuras.  
Fuente: BMX-235 Área de control de Calidad, Bormax.*

## 4. Capítulo 4

### 4.1. Implementación de Soluciones

Como se ha mencionado las grietas en cualquier pavimento son influyentes en la durabilidad del elemento estructural, por cuanto el paso de los equipos en mantenimiento, las irán dañando en forma progresiva en el tiempo, para lo cual se debe abordar un trabajo de reparación adecuado para cada caso en particular.



*Fotografía 13 Grieta antes de puesta en servicio.  
Fuente: BMX-235 Área de Ingeniería Bormax.*



*Fotografía 14 Grieta dañada por desgaste.  
Fuente: BMX-235 Área de Ingeniería Bormax.*

Como se observa con el esfuerzo de abrasión producto del paso de vehículos, los bordes de las grietas se van degradando en forma paulatina, hasta llegar a daños superiores, hasta llegar a un punto de no permitir un paso fluido de los equipos que requieren mantención, por lo que se necesita hacer un tratamiento de ellas en función de la actividad que tiene y su ubicación.

#### 4.2. Alternativas de Solución.

De los posibles tipos de grietas que se han analizados, las que se presentaron en los pavimentos de sector de talleres, en general se puede decir que las causas son principalmente, retracción plástica, retracciones por retracción térmica generadas por el calor de hidratación, grietas en los bordes de las juntas, para lo cual se detallan los sistemas de reparación que se recomiendan antes de la colocación del revestimiento epóxico final.

Las grietas que se han mencionado son de tipo superficial y sin movimiento, para lo cual se debe recurrir a soluciones de tipo rígida, considerando los siguientes procedimientos:

##### 4.2.1. Sistemas de reparación propuestos.

Para las grietas producto de las retracciones plásticas y las generadas por calor de hidratación, que son de tipo superficial, se recomienda el siguiente procedimiento:

1. Ensanchar la grieta con una galleta de corte en un ancho comprendido entre 5 y 10 mm.
2. Limpiar y eliminar el polvo superficial mediante una aspiradora industrial.
3. Imprimir la superficial con un sistema epóxico de baja viscosidad con el fin de obtener una buena adherencia.
4. Llenar la abertura imprimada con una masilla epóxica.
5. Dejar totalmente nivelada la reparación para posteriormente pasar con el revestimiento final.

#### 4.2.2. Reparación grietas ubicadas al borde de las juntas.

Con la finalidad de reparar el borde de las juntas agrietadas y evitar que el daño aumente, se debe abordar la reparación siguiendo el siguiente procedimiento:

1. Delimitar el sector dañado cortando con disco formando un rectángulo, abarcando totalmente el sector dañado.
2. Una vez delimitado el sector se debe proceder a eliminar dejando el fondo de la reparación totalmente horizontal, para distribuir en forma uniforme la carga.
3. Se debe colocar en el sector de la junta un material compresible como una plancha de poliestireno expandido del ancho de la junta, para mantener su factor forma.
4. Limpiar el sector a reparar, mediante una aspiradora de forma de eliminar totalmente el polvo.
5. Sobre la superficie limpia, se debe aplicar un puente de adherencia epóxico aplicado con brocha en el total de la superficie.
6. El reemplazo se puede hacer con un mortero para grout y dependiendo del espesor se puede adicionar gravilla, considerando que el tamaño máximo del agregado puede ser hasta  $1 / 3$  del espesor.
7. Se debe hacer un curado por lo menos durante 3 días.

## 5. Capítulo 5

### 5.1. Recomendaciones.

Antes de abordar una faena que implica un trabajo tan especializado como fue el pavimento de los talleres, se deben considerar todos los aspectos técnicos de forma de minimizar, todos los riesgos que ello implica.

En este proceso lo recomendable antes de iniciar las labores de hormigonado, es que deben estudiar todas las posibilidades que se presentan en terreno, como lo son:

- Diferencias importantes en los espesores del pavimento, producto de la excavación de la roca de fundación, presentándose diferencias importantes en los espesores que debieron haberse solucionado al inicio del proyecto, ya sea colocando hasta un nivel mínimo de proyecto una capa de hormigón de relleno o en todo el pavimento considerar sistema de hormigón masivo.
- Eliminar el agua resultante de la limpieza de la roca, empleando una aspiradora de tipo industrial, al ni eliminarla el agua libre se incorporó al hormigón aumentando la razón A / C,, disminuyendo las resistencia potencial del hormigón e incrementando la retracción hidráulica.
- Generalmente al interior de una mina, las condiciones de curado no se toman en cuenta, por cuanto no se tienen variaciones importantes de temperatura que en sector eran de 18° C, una humedad relativa estable, pero la complicación la presentó el viento permanente, la solución debió considerarse aplicando una membrana de curado una vez finalizado el proceso de terminación, considerando las pérdidas de agua y lo requerido para hormigón en masa.

## 6. Capítulo 6

### 6.1. Conclusiones.

Al desarrollar el tema de investigación respecto a la formación de grietas y fisuras que se generaron en la obra en estudio, se generó la necesidad de evaluar todas las causas que pueden presentar estas anomalías en un pavimento de tipo vial e industrial en forma particular en donde las armaduras de refuerzo pueden actuar como un aspecto que aporta más seguridad.

De las causas que se analizaron, principalmente los factores que incidieron en el proceso de agrietamiento fueron principalmente las generadas por temperatura generadas por el calor de hidratación producto de la hidratación del cemento, las que se formaron por retracciones plásticas y las de los bordes de las juntas inducidas de contracción.

Se entregan sistemas de control de las grietas en atención a definir en forma certera si presentan movimiento o son del tipo estáticas, para definir los sistemas de reparación adecuados para cada uno de ellos.

Las reparaciones recomendadas son necesarias de abordar cuando se tiene como sistema de terminación un revestimiento de alta resistencia mecánica a la abrasión, como puede ser un sistema epóxico, el que requiere de un tratamiento seguro de reparación de grietas.

## 7. Capítulo 7

### 7.1. Referencia y Bibliografías

### 7.2. Libros

- Libro Tecnología del Concreto, autor Adán M. Neville, publicación 2013.
- Libro Tecnología del Concreto, autor Adán M. Neville
- Libro Procesos y Técnicas de Construcción, Hernán de Solminihac / Guillermo Thenoux Z. Quinta edición.

### 7.3. Boletines y Manuales

- Boletín Técnico de la Construcción del Software Notrasnoches, “Las tecnologías del Hormigón”
- Norma Chilena Nch 170 Of.85, alcances de requisitos mínimos para fabricación, transportar y colocar hormigones de densidad entre 2000 y 8000 kg/m<sup>3</sup>.
- NCh148. Of. 68, Terminología, clasificación y especificaciones generales de cemento.
- Manual de Productos y Servicios Hormigones, cementos Bio Bio.
- Confecciones, transporte y puesta en obras de hormigón. The Chemical Company
- Proyección de la producción de cobre en Chile 2018-2029, Comisión Chilena del Cobre, Cochilco.
- Documento C10561389 Cargador Subterráneo para Minería R3000H, Especificación Técnica Cat maquinaria.

#### 7.4. Especificaciones Técnicas

- Especificación Técnica C-658-CI-ET-100 “Obras y estructura de Hormigón” documento de empresa de Ingeniera Alerce, para contrato Proyecto de preparación mina.
- Especificación Técnica “Carpeta de Hormigón” ET C-658-099 Carpetas de Hormigón, para proyectos de mantenimiento Mina.

#### 7.5. Materiales de Estudios

- Material de apuntes de Áridos, Catedra Sistemas Constructivos en Hormigón. Nicolás Moreno Sepúlveda

#### 7.6. Planos y material de propuesta.

- GPRO-PLA-202677 (IM8-52172) Proyecto Diablo Regimiento Fase V, Área General, Taller LHD Disposición Nave Sur, Plantas Secciones.
- GPRO-PLA-202733 (IM8-52744) Proyecto Diablo Regimiento Fase V, Área General, Infraestructura Disposición General Talleres, Planta
- GPRO-PLA-204806 (IM8-54078) Mina Sector Diablo Regimiento Fase V, Área General -Talleres de Mantenimiento, Foso de Mantenimiento N°1 y N°2 – Armaduras 3-3, Planta Secciones y Detalles.
- GPRO-PLA-204855 (IM8-52753) Proyecto Diablo Regimiento Fase V, Área General, Área General, Carpeta de Rodado Talleres Mantenimiento- Estacionamiento, Planta.
- Bases Técnicas, GPRO-BAS-56232 revisión 3, Corporación Nacional de Cobre Gerencia de Proyectos, Dirección de Proyectos Diablo Regimiento.