



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

**INTEGRACIÓN Y ANÁLISIS DE EVENTOS DE MEJORA CON LEAN  
CONSTRUCTION EN PROYECTOS MINEROS DE CODELCO**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL DE MINAS**

**HÉCTOR ANTONIO REYES HERRERA**

PROFESOR GUÍA  
LUIS FELIPE ORELLANA ESPINOZA

MIEMBROS DE LA COMISIÓN  
RODRIGO POZO QUIJADA  
HUGO VEGA ESPINOZA

SANTIAGO DE CHILE  
2020

## **INTEGRACIÓN Y ANÁLISIS DE EVENTOS DE MEJORA CON LEAN CONSTRUCTION EN PROYECTOS MINEROS DE CODELCO**

La Corporación Nacional del Cobre de Chile (Codelco) debe mantener la continuidad de sus operaciones, por lo que ha debido impulsar una serie de proyectos de construcción mineros que permitirán mantener la vida útil de sus divisiones. La Vicepresidencia de Proyectos (VP) de Codelco es la encargada de gestionar y ejecutar la cartera de proyectos de la empresa, por lo que cumple un rol clave al impulsar la excelencia en proyectos.

Este trabajo consiste en aportar valor para Codelco, por medio de la recopilación, análisis y digitalización de data relacionada con productividad en la ejecución de proyectos. En específico, con la gestión de las Causas de No Cumplimiento (CNC) y eventos de mejora históricos de tres de los proyectos de construcción de la VP.

Este trabajo integra las lecciones aprendidas de dos proyectos estructurales, Proyecto Mina Chuquicamata Subterránea (PMCHS) y Andes Norte Nuevo Nivel Mina (NNM), además de un proyecto de relaves, Talabre Etapa VIII. Estas lecciones aprendidas son analizadas con el objetivo de utilizarlas como medidas preventivas que disminuyan la probabilidad de ocurrencia de CNC en futuros proyectos de construcción mineros de la Corporación.

Esta información resulta ser una muestra representativa de lo que sucede en los Proyectos que gestiona la VP, pues incorpora información de los tres tipos de contratos claves que se encuentran en construcción, contratos mineros, de infraestructura y movimiento de tierra. Además los contratos analizados son sumamente relevantes para Codelco, pues el costo de inversión de los contratos analizados suma más de MUS\$ 2.500.

La información analizada en este trabajo se dispone en una plataforma digital, que permite la gestión del conocimiento de forma ágil, rápida y transversal para toda la VP. Esta plataforma permite sostener en el tiempo la metodología empleada y establecer un precedente en el uso de las lecciones aprendidas.

Al analizar las CNC se desprende que estas se fundamentan en problemas en la confiabilidad de los datos, comunicación y entrega de la información; sobreutilización de equipos y cultura de mantenimiento reactivo; la no estandarización de procesos y una deficiente planificación, ya que es realizada en silos sin considerar las actividades de contratos que realizan labores en áreas de trabajo cercanas.

Al estudiar los eventos de mejora, se rescatan acciones que puedan ser propuestas como medidas que prevengan la ocurrencia de CNC en futuros contratos. Estas medidas se sostienen en fomentar y construir una robusta cultura de disciplina operacional. Todas las medidas propuestas provienen de eventos de mejoramiento altamente efectivos, por lo cual se estima, de forma conservadora y cumpliendo ciertos supuestos, que evitan la ocurrencia de CNC en un 75% para cada uno de los tipos de contratos incluidos en el estudio.

# Summary

Codelco must maintain the continuity of its operations, due this it has promoted a series of mining construction projects that will allow maintaining the useful life of its divisions. VP is in charge of managing and executing the company's portfolio of projects, therefore it plays a key role in promoting excellence in projects.

This work consists of adding value to Codelco, through the collection, analysis and digitization of data related to productivity in the execution of projects. Specifically, with the management of the historical Non-Compliance Causes (NCC) and events of improvement of three of the projects in execution of the VP.

This work integrates the lessons learned from two structural projects, Chuquicamata Underground Mine, Andes Norte Nuevo Nivel Mina, and a tailings project, Talabre Etapa VIII. These lessons learned are analyzed in order to use them as preventive actions that reduce the probability of occurrence of NCC in future mining construction projects of the Corporation.

This information turns out to be a representative sample of what happens in the Projects managed by the VP, since it incorporates information from the three types of key contracts that are under Construction: mining, infrastructure and earthmoving contracts. In addition, the contracts analyzed are extremely important to Codelco, since the capital cost of the contracts analyzed is more than MUS \$ 2.500.

The information analyzed in this work is available on a digital platform, which let the management of the knowledge in an agile, fast and transversal way for the entire VP, according to the transformation carried out by the Codelco VP. This platform allows the methodology used to be sustained over time and to establish a precedent in the use of the lessons learned.

When analyzing the NCC, it appears that these are based on problems in the reliability of the data, communication and delivery of information; equipment overuse and reactive maintenance culture; the non-standardization of processes and mistaken planning, because they are doing in an isolated way without considering the activities of contracts that carry out work on nearby.

When studying the events of improvement, recommendations that can be proposed as actions to be taken to minimize the occurrence of NCC in future contracts are subtracted. These actions are: promote and create a culture of robust operational discipline. All the actions recommended come from highly effective improvement events, for which it is estimated, conservatively and complying with certain assumptions, that 75% prevent the occurrence of NCC for each of the types of contracts included in the study.

*A mi mamá, por su amor incondicional.*

*A mi papá, por su inmensa sabiduría.*

*A mi hermano Nicolás, por su leal amistad.*

*A mi hermana Valeria, por su cariño y alegría.*

*A mi hermana Catalina, por su cariño y curiosidad.*

*A Zenaida, por su amor y compañía.*

*A Bobbi, mi fiel amigo que me cuida desde el cielo.*

*A mi tierra querida que tanto me ha dado...*

*Tierra de sol y cobre.*

# Agradecimientos

*Primero dar las gracias a mi madre, pilar fundamental de mi vida, quien siempre me acompañó a pesar de la distancia, me aconsejó y estuvo en todo este camino. Gracias por amarme tanto. Agradecer a mi padre, quien fue mi consejero y mi cable a tierra cada vez que las cosas se ponían difíciles. Gracias por acompañarme siempre. Ambos, con su ejemplo, son la inspiración de mi vida y todo lo que soy y seré, es y será gracias a ustedes.*

*Agradecer a mi hermano Nicolás, por estar siempre para mí, a pesar de la distancia tu cariño y preocupación fue siempre un soporte. Gracias por no solo ser mi hermano, sino que también mi amigo y consejero. Gracias a mi hermana Valeria, mi Osita, por su apoyo, felicidad, preocupación y amor incondicional. Gracias a mi hermana Catalina, mi Gatito, por tu amor incondicional, por su soporte, preocupación y alegría. Ustedes son mi orgullo y felicidad.*

*Gracias Bobbi, el extrañarte me hizo esforzarme más para volver antes a casa y a Toby por tu alegría y cariñoso recibimiento cada vez que volvía a mi hogar. Ustedes, mi familia, son mi motivación y mi fortaleza. Los he extrañado cada segundo lejos de ustedes.*

*Quiero dar las gracias a Zenaida, quien es un pilar fundamental de mi vida. Gracias por estar a mi lado en aquellos largos días de estudio, por tu amor y compañía cuando las cosas se ponían difíciles y por tu inmensa alegría cuando alcanzaba algún logro. Gracias por cada sonrisa y cada abrazo que me impulsaron a seguir adelante. Todo esto es en gran parte gracias a ti.*

*Agradecer a mis amigos de toda la vida, a Eduardo Saavedra, Miguel Herrera y Rodrigo Chacón, con quienes a pesar de la distancia logramos construir un lazo más fuerte de amistad. Gracias por las risas, consejos y por todo su apoyo.*

*Dar las gracias a mis amigos que conocí en la universidad, a Carlos López, Enrique Poblete, Juan Pablo Zepeda y José Matías Espinoza. Gracias por cada momento que disfrutamos en la universidad, por las alegrías y todo su apoyo.*

*Quiero dar un especial agradecimiento a Fernanda Dreau, por apoyarme en este trabajo. Muchas gracias por tus consejos y revisiones. Aprendí muchísimo.*

*Agradecer al profesor Luis Felipe Orellana por aceptar ser mi guía en este desafío tan importante para mí carrera y dar las gracias a Hugo Vega por aceptar ser parte de mi comisión y su excelente disposición.*

*Quiero dar las gracias a la Vicepresidencia de Proyectos de Codelco, por darme la oportunidad de desarrollar este trabajo de título y aprender, acogiéndome en estos vertiginosos tiempos. Agradecer especialmente a Rodrigo Pozo por ser mi tutor en este camino, por sus recomendaciones y respaldo, a Don Carlos Lexutt por darme la oportunidad y encomendarme este trabajo, a Paula Encina, Jorge Asencio, Camila Barra, Julio Araya, Marcelo Contreras y Francisco Lizana por su buena onda, consejos y compañía en mi estancia en Codelco. Gracias por permitirme aprender de ustedes.*

*Reconocer a toda la gente de los proyectos por su buena disposición y voluntad al momento de reunirnos y proporcionar información, en especial a Nicolás Valenzuela, Evelyn Rojas, Don Jaime Olivero, Don Francisco González, Lucas Mardones y Camilo Silva.*

# Tabla de contenido

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 1.  | Introducción.....                                       | 1  |
| 1.1 | Motivación.....   | 1  |
| 1.2 | Objetivos.....  | 2  |
| 1.3 | Alcances.....   | 2  |
| 1.4 | Revisión Bibliográfica.....                             | 3  |
| 2.  | Metodología.....  | 19 |
| 2.1 | Conceptualización del problema.....                     | 19 |
| 2.2 | Documentación.....                                      | 20 |
| 2.3 | Recopilación y organización de datos.....               | 20 |
| 2.4 | Manejo y análisis de datos.....                         | 23 |
| 2.5 | Digitalización de la información.....                   | 27 |
| 3.  | Resultados.....   | 29 |
| 3.1 | Categorías y subcategorías estándar de CNC.....         | 29 |
| 3.2 | Estadísticas de CNC.....                                | 31 |
| 3.3 | Eventos de mejora.....                                  | 63 |
| 3.4 | Estimación de efectos al tomar medidas preventivas..... | 69 |
| 3.5 | Digitalización de la información.....                   | 69 |
| 4.  | Discusión.....  | 72 |
| 4.1 | Categorización estándar de CNC.....                     | 72 |
| 4.2 | Análisis de CNC.....                                    | 72 |
| 4.3 | Eventos de mejora.....                                  | 79 |
| 4.4 | Digitalización de la información.....                   | 82 |
| 5.  | Conclusiones.....                                       | 83 |
| 5.1 | CNC críticas.....                                       | 83 |

|     |   |     |
|-----|---|-----|
| 5.2 | Medidas preventivas .....   | 84  |
| 5.3 | Recomendaciones .....   | 86  |
| 6.  | Glosario .....  | 87  |
| 7.  | Bibliografía.....   | 88  |
| 8.  | Anexos.....   | 91  |
|     | Anexo A: Resumen Extendido .....  | 91  |
|     | Anexo B: Base de datos resumida eventos de mejora.....                              | 100 |
|     | Anexo C: Memoria de cálculo estimación de efectos al tomar medidas preventivas. ... | 103 |

## Índice de figuras

|   |    |
|---|----|
| Figura 1: Ubicación geográfica de las divisiones de Codelco (Codelco, 2020).....  | 5  |
| Figura 2: Sección vertical que plasma las reservas minerales, el rajo final de Chuquicamata y los niveles de extracción (Flores & Catalán, 2019)..... | 6  |
| Figura 3: Isométrica Mina El Teniente y Proyecto Andes Norte Nuevo Nivel Mina (Codelco, 2019).....  | 8  |
| Figura 4: Layout muros Proyecto Talabre Etapa VIII. Región de Antofagasta, comuna de Calama (Codelco, 2017).....                                      | 9  |
| Figura 5: Conjunto de herramientas MGP (Codelco, 2019).....   | 13 |
| Figura 6: Etapas Full Potential (Codelco, 2019). .....  | 14 |
| Figura 7: Secuencia de desarrollo Obeya. Elaboración propia.....  | 15 |
| Figura 8: Secuencia de desarrollo POD. Elaboración propia. ....   | 15 |
| Figura 9: Diagrama de elección de RdP (Codelco & TBM Consulting Group, 2020).....   | 16 |
| Figura 10: Ejemplo de aplicación de herramientas MGP (Codelco, 2019).....   | 18 |
| Figura 11: Etapas de la metodología utilizada en el estudio. ....   | 19 |
| Figura 12: Etapas realizadas en la recopilación y organización de la información. Elaboración propia.....   | 21 |
| Figura 13: Diagrama de actividades de CNC (Codelco, 2019).....  | 22 |
| Figura 14: Ejemplo de gráfico de Pareto genérico. Elaboración propia.....   | 24 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 15: Ejemplo de diagrama de Jackknife (Cárdenas, 2014).....   | 25 |
| Figura 16: Diagrama de etapas de análisis de eventos de mejora. Elaboración propia. ....                                  | 26 |
| Figura 17: Distribución de CNC.....   | 30 |
| Figura 18: Pareto de frecuencia de CNC para la Vicepresidencia de Proyectos de Codelco.<br>.....                          | 32 |
| Figura 19: Pareto de frecuencia de CNC para los contratos mineros. ....   | 33 |
| Figura 20: Pareto de frecuencia de CNC para los contratos de infraestructura.....   | 34 |
| Figura 21: Pareto de frecuencia de CNC para el contrato de movimiento de tierra. ....                                     | 35 |
| Figura 22: Pareto de frecuencia de CNC para los contratos mineros monofrente. ....  | 36 |
| Figura 23: Pareto de frecuencia de CNC para los contratos mineros multifrente. ....                                       | 37 |
| Figura 24: Pareto de frecuencia de CNC para la disciplina montaje.....  | 38 |
| Figura 25: Pareto de frecuencia de CNC para la disciplina de obras civiles.....   | 39 |
| Figura 26: Pareto de frecuencia de CNC para la disciplina de Piping. ....   | 40 |
| Figura 27: Pareto de frecuencia de CNC, contrato CC10.....  | 41 |
| Figura 28: Identificación de las CNC críticas y cuantificación del impacto por etapa del<br>contrato, contrato CC10.....  | 42 |
| Figura 29: Pareto de frecuencia de CNC, contrato CC13.....  | 43 |
| Figura 30: Identificación de las CNC críticas y cuantificación del impacto por etapa del<br>contrato, contrato CC13.....  | 44 |
| Figura 31: Pareto de frecuencia de CNC, contrato CC23B.....   | 45 |
| Figura 32: Diagrama de Jackknife de CNC, contrato CC23B.....  | 46 |
| Figura 33: Identificación de las CNC críticas y cuantificación del impacto por etapa del<br>contrato, contrato CC23B..... | 46 |
| Figura 34: Pareto de frecuencia de CNC, contrato CC24B.....   | 47 |
| Figura 35: Diagrama de Jackknife de CNC, línea 3 contrato CC24B.....  | 48 |
| Figura 36: Identificación de las CNC críticas y cuantificación del impacto por etapa del<br>contrato, contrato CC24B..... | 48 |
| Figura 37: Pareto de frecuencia de CNC, contrato CC51.....  | 49 |
| Figura 38: Diagrama de Jackknife de CNC, contrato CC51. ....  | 50 |
| Figura 39: Identificación de las CNC críticas y cuantificación del impacto por etapa del<br>contrato, contrato CC51.....  | 50 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 40: Pareto de frecuencia de CNC, contrato CC81.....  | 51 |
| Figura 41: Diagrama de Jackknife de CNC, contrato CC81. ....  | 52 |
| Figura 42: Identificación de las CNC críticas y cuantificación del impacto por etapa del contrato, contrato CC81..... | 52 |
| Figura 43: Pareto de frecuencia de CNC, contrato CC82.....  | 53 |
| Figura 44: Diagrama de Jackknife de CNC, contrato CC82. ....  | 54 |
| Figura 45: Identificación de las CNC críticas y cuantificación del impacto por etapa del contrato, contrato CC82..... | 54 |
| Figura 46: Pareto de frecuencia de CNC, contrato CC85.....  | 55 |
| Figura 47: Diagrama de Jackknife de CNC, contrato CC85 .....  | 56 |
| Figura 48: Identificación de las CNC críticas y cuantificación del impacto por etapa del contrato, contrato CC85..... | 56 |
| Figura 49: Pareto de frecuencia de CNC, contrato CC86.....  | 57 |
| Figura 50: Diagrama de Jackknife de CNC, contrato CC86. ....  | 58 |
| Figura 51: Pareto de frecuencia de CNC, contrato CC001.....   | 59 |
| Figura 52: Diagrama de Jackknife de CNC, contrato CC001. ....   | 60 |
| Figura 53: Pareto de frecuencia de CNC, contrato CC13.....  | 61 |
| Figura 54: Diagrama de Jackknife de CNC, contrato CC13. ....  | 62 |
| Figura 55: Gráfico distribución de tipos de Eventos de mejora recopilados.....  | 63 |
| Figura 56: Distribución de eventos de mejora por tipo de contrato .....   | 63 |
| Figura 57: Gráfico de la efectividad de eventos Kaizen.....   | 64 |
| Figura 58: Gráfico de la efectividad de eventos de Resolución de problemas.....                                       | 64 |
| Figura 59: Gráfico del valor ganado por eventos de mejora. ....   | 65 |
| Figura 60: Diagrama de funcionamiento Sipro. ....   | 70 |
| Figura 61: Dashboard de CNC. Elaboración propia.....  | 70 |
| Figura 62: Dashboard de eventos de mejora. Elaboración propia.....  | 71 |
| Figura 63: Resumen de acciones propuestas a partir de los eventos de mejora. Elaboración propia.....                  | 81 |
| Figura 64: Pilares que sustentan las medidas preventivas. Elaboración propia. ....                                    | 85 |
| Figura 65: Pareto de frecuencia de CNC para la Vicepresidencia de Proyectos de Codelco. ....                          | 95 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 66: Resumen de acciones propuestas a partir de los eventos de mejora. Elaboración propia..... | 96 |
|--|----|

## Índice de tablas

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1: Producción de cobre por países 2019.....  | 3  |
| Tabla 2: Producción chilena de cobre por empresa 2019.....   | 4  |
| Tabla 3: Contratos de construcción analizados de PMCHS.....  | 7  |
| Tabla 4: Contratos de construcción analizados de Andes Norte NNM.....  | 8  |
| Tabla 5: Contratos de construcción analizados de Talabre Etapa VIII.....   | 9  |
| Tabla 6: Resumen eventos de mejora.....  | 17 |
| Tabla 7: Subcategorías de las CNC.....   | 30 |
| Tabla 8: Subcategorías de las CNC.....   | 31 |
| Tabla 9: Subcategorías de las categorías de CNC de mayor ocurrencia.....   | 32 |
| Tabla 10: Subcategorías de las categorías de CNC de mayor ocurrencia para los contratos mineros.....                 | 33 |
| Tabla 11: Subcategorías de las categorías de CNC de mayor ocurrencia para los contratos de infraestructura.....      | 34 |
| Tabla 12: Subcategorías de las categorías de CNC de mayor ocurrencia para los contratos de movimiento de tierra..... | 35 |
| Tabla 13: Subcategorías de las categorías de CNC de mayor ocurrencia para la disciplina minea monofrente.....        | 36 |
| Tabla 14: Subcategorías de las categorías de CNC de mayor ocurrencia para la disciplina minea multifrente.....       | 37 |
| Tabla 15: Subcategorías de las categorías de CNC de mayor ocurrencia para la disciplina de montaje.....              | 38 |
| Tabla 16: Subcategorías de las categorías de CNC de mayor ocurrencia para la disciplina de obras civiles.....        | 39 |
| Tabla 17: Subcategorías de las categorías de CNC de mayor ocurrencia para la disciplina de piping.....               | 40 |

|  |     |
|--|-----|
| Tabla 18: Subcategorías de las categorías de CNC de mayor ocurrencia para el contrato CC10.....  | 41  |
| Tabla 19: Subcategorías de las categorías de CNC de mayor ocurrencia para el contrato CC13.....  | 43  |
| Tabla 20: Subcategorías de las categorías de CNC de mayor ocurrencia para el contrato CC23B..... | 45  |
| Tabla 21: Subcategorías de las categorías de CNC de mayor ocurrencia para el contrato CC24B..... | 47  |
| Tabla 22: Subcategorías de las categorías de CNC de mayor ocurrencia para el contrato CC51.....  | 49  |
| Tabla 23: Subcategorías de las categorías de CNC de mayor ocurrencia para el contrato CC81.....  | 51  |
| Tabla 24: Subcategorías de las categorías de CNC de mayor ocurrencia para el contrato CC82.....  | 53  |
| Tabla 25: Subcategorías de las categorías de CNC de mayor ocurrencia para el contrato CC85.....  | 55  |
| Tabla 26: Subcategorías de las categorías de CNC de mayor ocurrencia para el contrato CC86.....  | 57  |
| Tabla 27: Subcategorías de las categorías de CNC de mayor ocurrencia para el contrato CC001..... | 59  |
| Tabla 28: Subcategorías de las categorías de CNC de mayor ocurrencia para el contrato CC13.....  | 61  |
| Tabla 29: Acciones realizadas por eventos de mejora en contratos mineros. ....                   | 66  |
| Tabla 30: Acciones realizadas por eventos de mejora en contratos de infraestructura. ....        | 67  |
| Tabla 31: Acciones realizadas por eventos de mejora en contratos de movimiento de tierra. ....   | 68  |
| Tabla 32: Reducción estimada de la ocurrencia de CNC al utilizar medidas preventivas. ..         | 69  |
| Tabla 33: Reducción estimada del impacto de CNC al utilizar medidas preventivas.....             | 69  |
| Tabla 34: Recomendación de incorporación para las acciones preventivas principales. ....         | 86  |
| Tabla 35: Subcategorías de las categorías de CNC de mayor ocurrencia. ....                       | 95  |
| Tabla 36: Base de datos resumida eventos de mejora recopilados.....                              | 100 |

|  |     |
|--|-----|
| Tabla 37: Frecuencia e Impacto de CNC real antes del evento de mejora para contratos mineros. ....                 | 103 |
| Tabla 38: Frecuencia e Impacto estimada al tomar medidas preventivas para contratos mineros. ....                  | 103 |
| Tabla 39: Indicadores totales para el conjunto de CNC. ....  | 103 |
| Tabla 40: Tabla de equivalencia de impacto horas a metros. ....  | 103 |
| Tabla 41: Frecuencia e Impacto de CNC real antes del evento de mejora para contratos de infraestructura. ....      | 104 |
| Tabla 42: Frecuencia e Impacto estimada al tomar medidas preventivas para contratos de infraestructura. ....       | 104 |
| Tabla 43: Indicadores totales para el conjunto de CNC. ....  | 104 |
| Tabla 44: Frecuencia e Impacto de CNC real antes del evento de mejora para contratos de movimiento de tierra. .... | 104 |
| Tabla 45: Frecuencia e Impacto estimada al tomar medidas preventivas para contratos de movimiento de tierra. ....  | 104 |

## **Índice de ecuaciones**

|   |    |
|---|----|
| Ecuación 1: Impacto en plazo de las CNC. ....       | 25 |
| Ecuación 2: Impacto en ventas de las CNC. ....      | 25 |
| Ecuación 3: Valor ganado por evento de mejora. .... | 27 |
| Ecuación 4: Efectividad evento de mejora. ....      | 27 |

# 1.Introducción

## 1.1 Motivación

Codelco debe mantener la continuidad de sus operaciones, por lo que ha debido impulsar una serie de proyectos de construcción mineros. Sin embargo, el financiamiento de estos ha aumentado el nivel de endeudamiento de Codelco de forma considerable (Vergara, 2020). Además, la constante fluctuación del precio del cobre, los altos costos de operación y altos costos de inversión que requieren los proyectos en los que se desenvuelve la corporación, hacen que su escenario actual sea bastante complejo.

A modo de hacer frente a esta realidad, la compañía se ha propuesto una ambiciosa meta de ahorrar MUS\$ 8.000 al año 2028 y aumentar los excedentes anuales en MUS\$ 1.000 a partir del 2021 (Codelco, 2019). Para tales efectos, se encuentra en una etapa de transformación basada en tres pilares fundamentales: La excelencia en operaciones, la excelencia en proyectos y la exploración de recursos y reservas.

La VP, quien es la encargada de gestionar y ejecutar la cartera de proyectos que permitan asegurar la continuidad de las operaciones de la empresa, cumple un rol clave al impulsar la excelencia en proyectos. Esto lo hace por medio de diseñar los proyectos de forma simple, construirlos dentro del alcance y plazo contemplado y desarrollando siempre la mejora continua (Codelco, 2020). Para impulsar la excelencia en proyectos, se encuentra gestionando su propia transformación, la transformación digital VP.

La transformación digital de la VP busca desarrollar una serie de capacidades por medio de la adopción de la tecnología, que permitan convertir la información recopilada de los proyectos en palancas de valor, es decir, que esta información pueda ser analizada y utilizada para promover las mejores prácticas, tanto en diseño como en construcción y el aprovechamiento de las lecciones aprendidas. Esto impulsa el modelo de trabajo integrado y digital que permite construir un mejor futuro para Codelco, con una organización de alto desempeño, flexible e innovadora (Codelco, 2020).

Es en este contexto que se enmarca este trabajo, el cual consiste en aportar valor para Codelco, por medio de la recopilación, análisis y digitalización de data relacionada con productividad en la ejecución de proyectos mineros. En específico, con la gestión de las CNC y eventos de mejora históricos de tres de los proyectos en ejecución de la VP: Mina Chuquicamata Subterránea, Andes Norte NNM y Talabre Etapa VIII.

Esto permite comenzar a aprovechar las lecciones aprendidas, pues las buenas prácticas se encuentran atomizadas por proyectos y no son utilizadas. Al utilizar las lecciones aprendidas, estas se convierten en información valiosa para a disminuir el riesgo en la

construcción de proyectos mineros y aumentan la probabilidad de éxito de futuros proyectos, ya que su análisis aporta con herramientas que permiten prevenir fugas de valor al aprovechar las lecciones aprendidas y dejar de trabajar en silos.

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo general

Integrar y analizar las lecciones aprendidas de procesos constructivos anteriores para aumentar la probabilidad de éxito en el cumplimiento de metas de construcción de futuros proyectos que desarrollen labores mineras, de infraestructura o movimiento de tierra.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Recopilar e integrar data histórica referente a CNC y eventos de mejora al desarrollar labores mineras, de infraestructura y movimiento de tierra.
- Estandarizar las categorías y subcategorías de CNC que permitan analizar en conjunto su ocurrencia para los contratos de construcción principales de la VP.
- Analizar la información por medio de herramientas estadísticas descriptivas para identificar patrones en la ocurrencia de CNC.
- Identificar las CNC más comunes y de mayor impacto según el tipo y la etapa de contratos mineros y de infraestructura.
- Reconocer aquellas mejoras que hayan sido claves para apalancar plazos o mitigar la ocurrencia de CNC por tipo de contrato.
- Proponer medidas por tipo de contrato para prevenir la ocurrencia de CNC en futuros proyectos.

## 1.3 Alcances

- Se trabaja con información de dos proyectos estructurales, Mina Chuquicamata Subterránea y Andes Norte NNM, y un proyecto de expansión del tranque de relaves, Tranque Talabre Etapa VIII.
- Los contratos de construcción a analizar serán aquellos que consideren la aplicación del Modelo de Gestión de Productividad (MGP) dentro de sus bases técnicas para documentar CNC y realizar eventos de mejora.

- Los contratos de construcción a analizar serán aquellos desarrollen labores mineras, de infraestructura o movimiento de tierra.
- La información del estudio proviene de dos contratos mineros y tres de infraestructura del proyecto PMCHS, cuatro contratos mineros del proyecto de Andes Norte NNM, y un contrato de movimiento de tierra y uno de infraestructura del proyecto Talabre Etapa VIII.

## 1.4 Revisión Bibliográfica

El presente apartado se ha organizado en seis secciones que abordan información sobre Codelco, Productividad y Metodologías Lean, con tal de plasmar conocimientos sobre los fundamentos de estas materias y encontrar los puntos en donde convergen. Para tales efectos se adopta la siguiente estructura: la minería en Chile, donde se expone la importancia de este rubro para el país; Codelco, donde se contextualiza la actualidad e historia de la empresa; VP, donde se explicita su labor; Productividad, donde se define y explica sus fundamentos; Filosofía Lean, donde se destacan sus bases y rescata información clave de la revisión bibliográfica; y, por último, el MGP, donde se describen las principales herramientas que sustentan el modelo.

### 1.4.1 Minería en Chile

La minería es una actividad clave para la economía nacional, ya que su aporte al PIB es del 10%, genera un 8,6% del empleo del país (directo e indirecto) y entre el 2009 y 2018 aportó aproximadamente MUS\$ 54.700 a las arcas fiscales (Consejo Minero, 2018). La minería metálica destaca dentro de las actividades mineras, donde el cobre es protagonista.

El cobre ha sido la principal exportación de Chile durante más de un siglo (Comisión Nacional de Productividad, 2017) y Chile es el mayor productor de este metal a nivel mundial (Tabla 1). Su explotación a gran escala es llevada a cabo por un grupo de empresas privadas como BHP o Anglo American y la empresa estatal Codelco (Tabla 2).

*Tabla 1: Producción de cobre por países 2019.*

| <b>País</b>           | <b>Producción Total 2019 [kt]</b> |
|-----------------------|-----------------------------------|
| <b>Chile</b>          | 5.600                             |
| <b>Perú</b>           | 2.400                             |
| <b>China</b>          | 1.600                             |
| <b>RD del Congo</b>   | 1.300                             |
| <b>Estados Unidos</b> | 1.300                             |
| <b>Australia</b>      | 960                               |
| <b>Zambia</b>         | 790                               |
| <b>México</b>         | 770                               |
| <b>Rusia</b>          | 750                               |

## 1.4.2 Codelco

La Corporación del Cobre de Chile, líder mundial de la industria minera de cobre, lleva a cabo sus operaciones a través de ocho divisiones distribuidas a lo largo del país tal como se observa en la Figura 1, que son administradas por Casa Matriz. Estas divisiones son: Chuquicamata, Radomiro Tomic, Ministro Hales, Gabriela Mistral, El Salvador, Andina, Ventanas y El Teniente.

Muchas de estas divisiones explotan yacimientos centenarios que, para seguir siendo explotados, requieren cambios estructurales profundos. Tal es el caso de Chuquicamata que, luego de 105 años de explotación por el método de rajo abierto, hoy debe migrar a una explotación subterránea para asegurar la continuidad operacional y su aporte a todos los chilenos.

Tabla 2: Producción chilena de cobre por empresa 2019.

| <b>Empresa</b>              | <b>Producción Total 2019 [kt]</b> |
|-----------------------------|-----------------------------------|
| <b>Codelco</b>              | 1.588,2                           |
| <b>Escondida</b>            | 1.187,8                           |
| <b>Collahuasi</b>           | 565,4                             |
| <b>Anglo American</b>       | 475,5                             |
| <b>Los Pelambres</b>        | 375,9                             |
| <b>Otros</b>                | 245,6                             |
| <b>Centinela (Sulfuros)</b> | 195,5                             |
| <b>Spence</b>               | 193,4                             |
| <b>Caserones</b>            | 145,5                             |
| <b>Zaldívar</b>             | 116,1                             |
| <b>Sierra Gorda</b>         | 114                               |
| <b>Candelaria</b>           | 111,4                             |
| <b>El Abra</b>              | 81,9                              |
| <b>Centinela (Óxidos)</b>   | 81,1                              |
| <b>Lomas Bayas</b>          | 78,9                              |
| <b>Antucoya</b>             | 71,9                              |
| <b>Cerro Colorado</b>       | 71,7                              |
| <b>Andacollo</b>            | 54                                |

Fuente: Cochilco (2020).

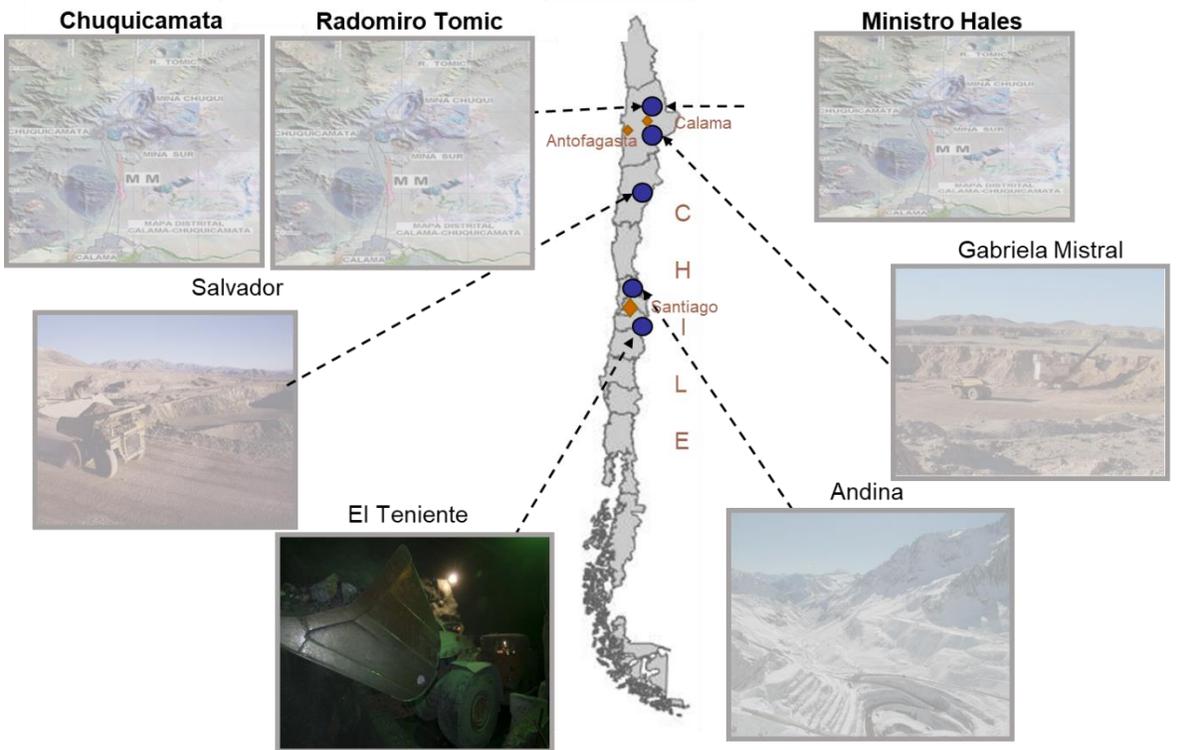


Figura 1: Ubicación geográfica de las divisiones de Codelco (Codelco, 2020).

#### 1.4.2.1 VP

El organismo responsable de conceptualizar, diseñar, construir y poner en marcha los proyectos que permitan dar continuidad operacional a las divisiones, es la VP. Esta se hace cargo de los proyectos geo-minero-metalúrgicos de Codelco que requieran de una inversión mayor a MUS\$ 10 (Codelco, 2018).

El modelo constructivo VP se basa en un rol fundamentalmente de gestión, ya que la construcción no se realiza con recursos propios, sino que se sustenta en el desarrollo de labores por Empresas Contratistas (EECC) especialistas en construcción. Las EECC se adjudican los contratos de construcción por medio de licitaciones.

Para aquellos contratos que incluyan el requisito de productividad en las bases de licitación, se exige que las EECC deban presentar una oferta técnica que incluya el plan de productividad que satisfaga los requerimientos de Codelco (Codelco, 2020).

Los requerimientos de Codelco se sustentan en el marco de herramientas que provee el MGP, que buscan impulsar la excelencia en productividad y son claves para desarrollar los proyectos de construcción dentro del plazo y los costos estipulados.

Actualmente la VP se encuentra desarrollando una serie de proyectos, tanto en etapa de ejecución, como de ingeniería. Dentro de estos destacan los proyectos estructurales,

PMCHS y Andes Norte NNM, y la expansión de tranques de relaves como el Tranque Talabre Etapa VIII.

### 1.4.3 PMCHS

El PMCHS permitirá la continuidad operacional de la División Chuquicamata. Está ubicado en el distrito minero de Chuquicamata, en la precordillera de la segunda Región, Comuna de Calama, Provincia de El Loa, a una altura de 2.870 msnm y aproximadamente a 17 km en línea recta al noreste de la ciudad de Calama.

Este proyecto contempla la construcción y emplazamiento de una mina subterránea masiva, junto con la infraestructura asociada, con la finalidad de recuperar 1.760 Mt de mineral, con una ley media de 0,7% de cobre y 340 partes por millón de molibdeno (Codelco, 2018). Para tales efectos, se utilizará el método de hundimiento masivo Block Caving con la variante de Macrobloques (MB's).

La mina será dividida en tres niveles, los cuales serán desarrollados y explotados en forma secuencial descendente como se observa en la Figura 2. La estimación, para llevar a cabo la operación, es de 40 años, considerando un ritmo de explotación en régimen de un promedio de 140.000 tpd (Flores & Catalán, 2019).

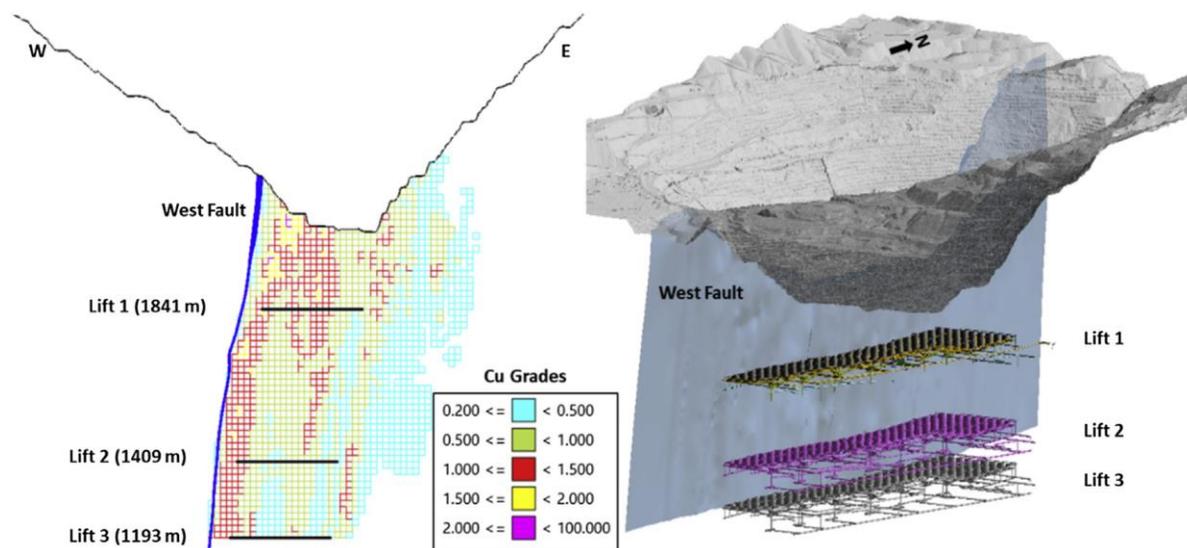


Figura 2: Sección vertical que plasma las reservas minerales, el rajo final de Chuquicamata y los niveles de extracción (Flores & Catalán, 2019).

La VP, para llevar a cabo este proyecto, gestiona diferentes contratos de construcción (CC) detallados en la Tabla 3, tanto de tipo mineros como de infraestructura, entre los cuales destacan: CC-010: Desarrollo de Subniveles Superiores en MB's y de Barrio Industrial Norte, CC-013: Desarrollos de Subniveles Inferiores de Macro Bloques Iniciales y de Transporte de Nivel 1, CC-023B: Montaje Sistema de Transporte Principal, CC-024B: Montaje Sistema de Chancado y Transporte Intermedio y CC-051: Suministro, instalación y montaje de Redes Piping y Redes Eléctricas.

Tabla 3: Contratos de construcción analizados de PMCHS.

| Contrato | Nombre   | Tipo de contrato | Disciplina          | Costo de inversión [MUS\$] | Empresa Contratista             |
|----------|--|------------------|---------------------|----------------------------|---------------------------------|
| CC-010   | Desarrollo de Subniveles Superiores en MB's y de Barrio Industrial Norte                   | Minería          | Minería Multifrente | 600                        | Züblin International GmbH Chile |
| CC-013   | Desarrollos de Subniveles Inferiores de Macro Bloques Iniciales y de Transporte de Nivel 1 | Minería          | Minería Monofrente  | 450                        | Astaldi                         |
| CC-23B   | Montaje Sistema de Transporte Principal  | Infraestructura  | Montaje             | 220                        | Sigdo Koppers                   |
| CC-24B   | Montaje Sistema de Chancado y Transporte Intermedio  | Infraestructura  | Montaje             | 50                         | Sigdo Koppers                   |
| CC051    | Suministro, instalación y montaje de Redes piping y Redes Eléctricas                       | Infraestructura  | Piping              | 130                        | Salfa                           |

Fuente: Codelco (2018)

#### 1.4.4 Proyecto Andes Norte NNM

El Proyecto Andes Norte NNM busca proporcionar la continuidad operacional de la División El Teniente. Esta división está ubicada en la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins, en la provincia de Cachapoal, comuna de Machalí, a 80 km al Sureste de la ciudad de Santiago y a 44 km al Este de la ciudad de Rancagua. El proyecto está en la cota 1.880 msnm.

Debido a que este proyecto contempla la incorporación de nuevas reservas mineras a la explotación como se observa en la Figura 3, se requiere la construcción de una infraestructura completamente nueva. Esta nueva infraestructura contempla: un nuevo nivel de explotación, una planta de chancado primario interior mina y un sistema de transporte de mineral. También incluye una infraestructura general para las operaciones, accesos principales, sistemas de ventilación, entre otros.

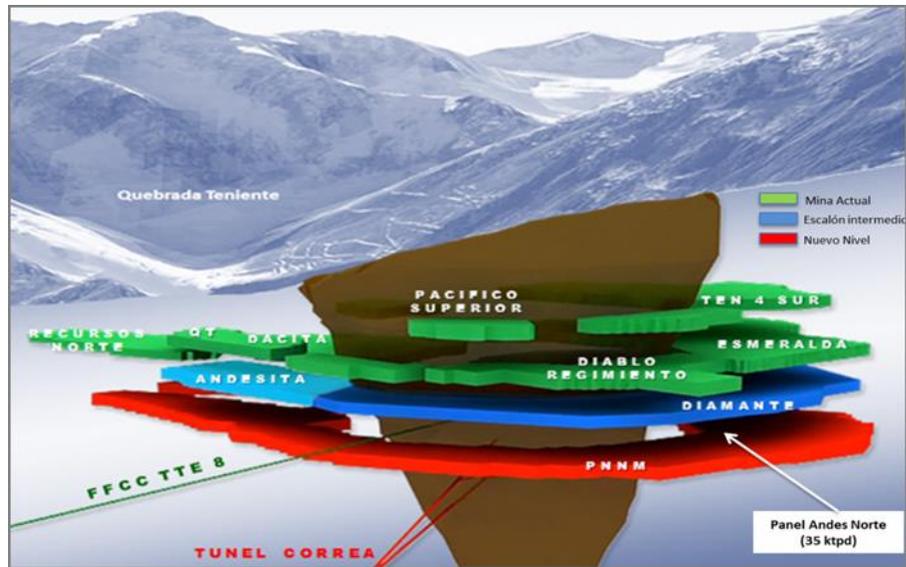


Figura 3: Isométrica Mina El Teniente y Proyecto Andes Norte Nuevo Nivel Mina (Codelco, 2019).

La VP, para llevar a cabo este proyecto, gestiona diferentes contratos de construcción detallados en la Tabla 4, entre los cuales destacan los contratos mineros: CC-081: Obras Mineras y Civiles Niveles Principales, CC-082: Obras Interior Mina, CC-085: Obras Mineras Sistema de Chancado y CC-086: Obras Mineras Túnel Correa (Codelco, 2019).

Tabla 4: Contratos de construcción analizados de Andes Norte NNM.

| Contrato | Nombre   | Tipo de contrato | Disciplina          | Costo de inversión [MUS\$] | Empresa Contratista          |
|----------|--|------------------|---------------------|----------------------------|------------------------------|
| CC-081   | Obras mineras y civiles niveles principales        | Minería          | Minería Multifrente | 385                        | Züblin International GmbH    |
| CC-082   | Adits de ventilación y enlaces obras interior mina | Minería          | Minería Multifrente | S/I                        | Salfa                        |
| CC-085   | Obras mineras sistema de chancado                  | Minería          | Minería Monofrente  | 115                        | Constructora Gardilcic Ltda. |
| CC-086   | Obras mineras túnel correa                         | Minería          | Minería Monofrente  | 210                        | Züblin International GmbH    |

Fuente: Codelco (2019).

#### 1.4.5 Proyecto Talabre Etapa VIII

Este proyecto permite aumentar la capacidad de almacenamiento del Tranque de relaves Talabre para dar continuidad al tratamiento de sulfuros del Distrito Norte de Codelco. Este distrito está ubicado en la precordillera de la segunda Región, Provincia de El Loa,

Comuna de Calama, aproximadamente a 13 km en línea recta al noreste de la ciudad de Calama a una altura de 2.870 msnm.

El proyecto Talabre contempla la construcción de muros perimetrales, como se observa en la Figura 4, y obras complementarias para la modificación del actual sistema de transporte gravitacional y depositación de relaves, la modificación del actual sistema de recuperación y recirculación de aguas claras desde el tranque a la planta concentradora.



Figura 4: Layout muros Proyecto Talabre Etapa VIII. Región de Antofagasta, comuna de Calama (Codelco, 2017).

La VP, para llevar a cabo este proyecto, administra diferentes contratos de construcción detallados en la Tabla 5, entre los cuales destacan los contratos: CC-001: Construcción de Muros, Obras Electromecánicas y Piping y CC-013: Aducción Talabre (Codelco, 2018).

Tabla 5: Contratos de construcción analizados de Talabre Etapa VIII.

| Contrato | Nombre   | Tipo de contrato     | Disciplina           | Costo de inversión [MUS\$] | Empresa Contratista                                  |
|----------|--|----------------------|----------------------|----------------------------|--|
| CC-001   | Construcción de Muros, Obras Electromecánicas y Piping | Movimiento de tierra | Movimiento de tierra | 214                        | Conpax Constructora, OHL Andina y Valko Constructora |
| CC-013   | Aducción Talabre                                       | Infraestructura      | Montaje              | 23                         | Montec   |

Fuente: Codelco (2018).

Los proyectos antes mencionados permiten extender la vida útil de varias de las divisiones de Codelco, por lo cual su correcta ejecución es trascendental para el futuro de Empresa de todos los chilenos. Lamentablemente, la VP debe afrontar uno de los escenarios más adversos de la historia de la industria minera, debido a las constantes fluctuaciones del precio del cobre y el aumento de los costos de producción y de proyectos.

Una de las palancas claves que aparece para afrontar la realidad actual y donde se deben enfocar los planes de acción es en la excelencia en la ejecución de proyectos (Codelco, 2020), donde la productividad es un foco fundamental que permite hacer frente a los diferentes escollos que aparecen, permitiendo optimizar costos, plazos y promover la mejora continua.

#### 1.4.6 Productividad

La productividad es la relación que existe entre la cantidad de producción y la cantidad de recursos empleados para ello (Quiroz, 2016). Para el caso de proyectos de construcción, la productividad es la relación entre los avances realizados o HH ganadas, y la cantidad de trabajo empleado, es decir, HH gastadas (Codelco, 2018). Esta relación permite entender qué tan eficiente se es en la utilización de recursos como el tiempo, mano de obra y materiales para obtener determinadas metas.

Existen distintos indicadores para medir la productividad, tal como la productividad laboral, la productividad de los materiales, la productividad de los equipos, la productividad total de los factores, entre otros (Tello, 2016). En este trabajo los indicadores de productividad son la ocurrencia de CNC y el impacto de éstas sobre el cumplimiento de la programación.

Estos indicadores se asocian directamente con el porcentaje del cumplimiento del plan en la ejecución de proyectos de la VP. Una alta adherencia al plan, implica una alta productividad y esto a su vez significa que se logra la promesa constructiva dentro del plazo pronosticado y con los costos dentro de los alcances delimitados en las etapas de ingeniería (Codelco, 2019).

Existen variadas metodologías para impulsar la productividad, como las metodologías Ágiles, el método Six Sigma (Pyzdek, 1999), el Modelo Gestión del Cambio Kotterentre (Carrizo, 2015), entre otros, dentro de los cuales destaca la metodología basada en la Filosofía Lean.

#### 1.4.7 Filosofía Lean

La Filosofía Lean hace referencia a una serie de herramientas o métodos que permiten, entre otras cosas, eliminar las pérdidas por demoras e ineficiencias en los procesos internos de la organización, además de buscar siempre la perfección y mejoras de calidad (Rojas et al., 2017). Esto genera el incremento del valor de los procesos realizados mediante la eliminación de desperdicios.

Los desperdicios corresponden a todo aquello que no se requiere, pues no generan valor ni son necesarios. En otras palabras, son los residuos de los procesos que generan ineficiencias

y pérdidas de calidad. Según destacan Banawi & Bilec (2014), los desperdicios se pueden clasificar en siete categorías principales:

- Transporte: Movimiento de productos o materiales alrededor. Mientras más cosas se deban movilizar, existen más posibilidades de que ocurra un perjuicio.
- Espera: Esperas de cualquier forma.
- Sobreproducción: Producir más de lo que los clientes requieren. La sobreproducción resulta en costos innecesarios de inventario, consumo de materiales y mano de obra.
- Defectos: Todo proceso que no trasfiere entradas a las salidas deseadas.
- Inventario: Todo inventario es considerado como un producto sin valor agregado a pesar de ser necesario. Existe un riesgo de daño, obsolescencia, deterioro y problemas de calidad.
- Movimiento: Cualquier movimiento físico de personas que no agregan valor al proceso.
- Procesamiento extra: Cualquier proceso que no agrega valor al producto.

La filosofía Lean indica que, para poder eliminar los desperdicios, se deben tomar decisiones basadas en el beneficio a largo plazo, aunque estas decisiones impliquen pérdidas a corto plazo. Se deben estandarizar tareas, utilizar control visual y adoptar solo tecnologías que sean rentables. También, se debe involucrar toda la cadena de trabajo para perfeccionar la creación de valor (Chlebus et al., 2015) y aplicar la mejora continua que intenta optimizar y aumentar la calidad de un producto, proceso o servicio (Ibañez, 2018).

Desde el nacimiento de Lean el siglo pasado, muchas disciplinas han adoptado esta filosofía, ejemplos de esto son la industria manufacturera y la de salud. La industria de la construcción, es relativamente menos organizada y predecible que otras industrias, lo cual se puede comprobar al compararla con la manufacturera, pues la construcción presenta pérdidas de tiempo estimadas en un 57%, mientras que en la industria de la manufactura, es solo un 12% (Aziz & Hafez, 2013). Esto deja en manifiesto que la construcción presenta grandes retos, los cuales pueden ser afrontados al adaptar la filosofía Lean a esta disciplina. Es así que nace Lean Construction.

#### *1.4.7.1 Lean Construction*

Al aplicar de forma práctica los principios Lean en la industria de la construcción, nace la metodología Lean Construction. Sus objetivos principales se enfocan en: el mejoramiento continuo, la eliminación de pérdidas, la valoración del dinero, la alta calidad de gestión de proyectos y cadena de valor; y en las mejoras en la comunicación (Aziz & Hafez, 2013). Lo anterior, permite alcanzar un balance entre el uso de personas, materiales y recursos, para lograr la promesa de un proyecto de construcción apalancando plazos, costos y calidad.

Esta metodología permite que las compañías reduzcan costos y entreguen proyectos a tiempo (Singh & Kumar, 2020). Para lograr lo anterior, se deben considerar dos factores claves: el mejoramiento del rendimiento y el espacio para la interpretación, pues a diferencia de la industria manufacturera, la industria de la construcción presenta una gran variedad de desafíos (Baladrón & Alarcón, (2017).

La aplicación de Lean Construction, específicamente en la construcción de proyectos mineros, ha permitido generar mejoras, tanto en productividad como en calidad de ejecución del trabajo. Lo anterior se puede traducir en apalancar disminución de recurso tanto de capital como de trabajo (Vera, 2019), obtener una reducción significativa en los plazos de los proyectos (Codelco, 2020) y generar un impacto positivo en el rendimiento.

En particular, su impacto en el rendimiento promedio, cuantificado mediante horas efectivas, avance físico y porcentaje del plan cumplido (PPC), es estadísticamente significativo, pues reduce la variabilidad de los procesos lo que hace que sea más estable (Baladrón et al., 2017).

A pesar del impacto positivo de esta herramienta, se identifica una dificultad en cuanto a su implementación producto de la formación de los trabajadores y su experiencia histórica. Vera (2020) indica que a menudo la implementación se vuelve compleja ya que los factores socioculturales obstaculizan la transformación debido al rechazo de nuevas formas de hacer el trabajo.

Para hacer frente a esta dificultad se debe fomentar la disciplina operacional desde el comienzo de las labores constructivas, en base al trabajo colaborativo, la buena comunicación, el buen acceso a la información y un trato respetuoso recíproco entre mandante y contratista. Es así que se logra construir una relación de confianza que impulsa la cultura de mejora continua durante la vida de un contrato de construcción.

#### 1.4.8 MGP

El MGP es un marco de referencia basado en la política corporativa de Codelco que busca impulsar la productividad. Las herramientas que provee el MGP, que se observan en la Figura 5, buscan maximizar el valor en la ejecución de proyectos de construcción, sustentado en tres principios: la constante búsqueda de valor, la generación de procesos y el cambio en las personas para construir una cultura Lean.

La VP, con el propósito de gestionar objetivos productivos, utiliza la filosofía Lean aplicando un conjunto de herramientas Lean Construction, las cuales se encuentran enmarcadas en el MGP. Además de la filosofía Lean, el MGP se sustenta a través del Full Potential (FP), metodología que busca palancas de mejora en los procesos, con tal de alcanzar el máximo potencial de sus operaciones (Codelco, 2020).

El MGP sirve para implementar el ciclo de productividad, considerando la planificación y documentación de los procesos, y buscar el mejoramiento continuo. Para ello

define un conjunto de instancias de gestión y herramientas de productividad, con tal de identificar y gestionar las restricciones, brechas y CNC (Codelco, 2018).

Las causas por las cuales no se cumple la programación se denominan CNC. Estas se entienden como aquellas interferencias que limitan el rendimiento del contratista y, por esta razón, lo alejan del máximo potencial definido como objetivo o meta del contrato. El impacto que tienen las CNC sobre la programación genera que el contratista deje de ganar una cierta cantidad de HH de trabajo, lo cual se ve reflejado en una reducción del tiempo efectivo del mismo.

El tiempo efectivo de trabajo corresponde al porcentaje de tiempo en el que se generan avances, es decir, es el porcentaje del tiempo disponible que genera valor. Por su parte, el tiempo disponible, es el porcentaje del tiempo de trabajo aprovechable dentro de la jornada laboral (Cámara Chilena de la Construcción & Consejo Minero, 2015).

Para identificar las CNC que poseen un alto impacto en las actividades, una alta frecuencia o que generen una reducción en el tiempo efectivo de trabajo, las CNC deben ser documentadas y analizadas. Este análisis permite determinar cuándo es necesario realizar eventos de mejora para paliar los efectos de las CNC y reducir su ocurrencia (Codelco, 2018).



Figura 5: Conjunto de herramientas MGP (Codelco, 2019).

#### 1.4.8.1 FP

El FP es un proceso analítico que permite identificar el máximo de las capacidades del proyecto en base a benchmarks, optimización de recursos y secuencia constructiva. Su aplicación permiten la sustentabilidad del negocio en el tiempo, en base a tres principios: buscar palancas de gestión para deshacer restricciones, identificar palancas no gestionables y definir un plan alcanzable, desafiante y sin holguras (Codelco, 2019).

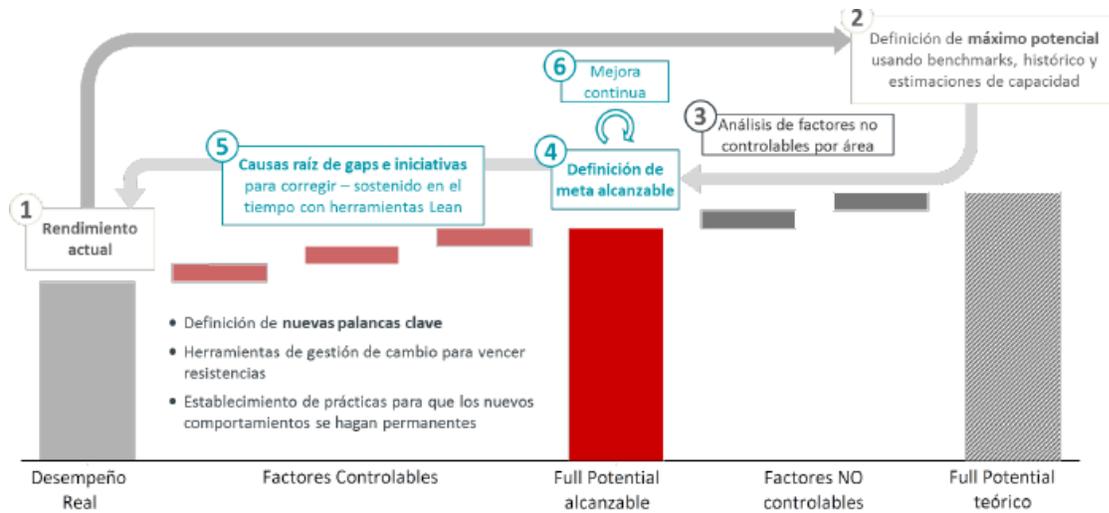


Figura 6: Etapas Full Potential (Codelco, 2019).

#### 1.4.8.2 Should Cost

Este análisis se realiza para determinar el valor de mercado de una oferta por trabajos, en la cual participan uno o pocos oferentes. Su objetivo es determinar cuánto debería ser el precio de un producto o servicio considerando materiales, equipos, horas de trabajo, costos indirectos y margen del contratista.

En general, es un proceso utilizado cuando el producto o servicio ofrecido es altamente especializado o hay pocos oferentes en el mercado, normalmente también es costoso, ya que el cálculo de un Should Cost es muy demandante en horas hombre (Codelco, 2020).

#### 1.4.8.3 Pull Planing

Este sistema organiza todas las actividades e hitos constructivos desde la última actividad de un proceso hasta el primer paso. Permite generar un plan de trabajo con responsables y fechas claras en torno al hito o necesidad definida como origen. Debe ser utilizado tanto como una tarea para programar como para garantizar el cumplimiento de hitos constructivos y/o de Puesta en Marcha (Codelco, 2019).

#### 1.4.8.4 Programación Trisemanal

Es una planificación de la cantidad de obra para las siguientes 3 semanas de ejecución, en donde se revisan los requerimientos de los recursos, servicios, insumos, estado de las áreas, etc. Permite identificar restricciones y definir planes de acción para afrontarlas (Codelco, 2020).

#### 1.4.8.5 Obeya

Reunión liderada por el Contratista que permite una gestión táctica, con el objetivo de mejorar los indicadores de rendimientos y aumentar la eficiencia de los equipos de trabajo. La reunión se desarrolla una vez a la semana y posee una duración máxima de una hora (Socias, 2017). Los asistentes son el Administrador del Contratista y su personal clave, con injerencia en la implementación y resultados del Plan de Productividad (Codelco, 2019).

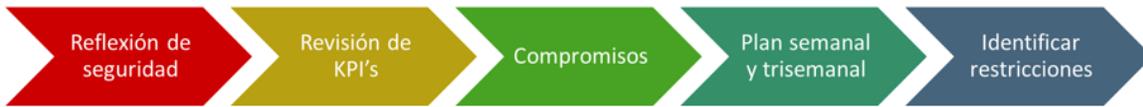


Figura 7: Secuencia de desarrollo Obeya. Elaboración propia.

#### 1.4.8.6 Plan Of Day

La reunión Plan Of Day (POD) debe ser realizada por el Contratista a comienzo de turno y tiene una duración aproximada de 30 minutos. Su foco es operativo y su objetivo es programar el trabajo del turno entrante tomando como información: el resultado del turno anterior, las interferencias y restricciones que puedan afectar el estatus de equipos; y las condiciones de los puntos de trabajo (Codelco, 2019).



Figura 8: Secuencia de desarrollo POD. Elaboración propia.

#### 1.4.8.7 Evento de mejora Kaizen

Es un proceso de mejoramiento continuo basado en la formación de equipos multidisciplinario (Löow & Johansson, 2015). Sirve para analizar y definir acciones de mejora ante desviaciones o CNC que poseen un alto impacto o frecuencia.

Su objetivo es identificar brechas y causas raíces de las desviaciones del plan, con la finalidad de generar mejoras. A partir de estos resultados, se crea un plan con acciones concretas y resultados medibles, los cuales se verifican periódicamente mediante un plan de seguimiento de efectividad de las mejoras adoptadas (Codelco & TBM Consulting Group, 2020).

Sus fundamentos son: tener una tendencia a la acción inmediata, impulsar la creatividad antes que el capital, tener un enfoque en resultados tangibles y transformación física, aprender haciendo, inculcar el cambio de cultura y buscar superar la resistencia (Codelco, 2019).

Se desarrolla en cinco etapas: Entrenamiento del equipo en conceptos de herramientas Lean, descubrimiento y análisis actual del proceso de trabajo, implementación y mejora de los procesos observados, afinar mejoras y establecer operaciones estándar; y la celebración de resultados y presentación de retos futuros (Codelco & TBM Consulting Group, 2020).

#### 1.4.8.8 Resolución de Problemas (Rdp)

Este evento de mejora busca asegurar un análisis y definición de acciones a partir de la identificación de desviaciones y/o CNC señaladas en reuniones Obeyas y POD. Su foco está en procesos específicos y críticos, para generar mejoras rápidas en base a datos técnicos y al conocimiento de expertos involucrados. Existen dos tipos de RdP, el de tres pasos y el de 8 pasos. El primero se utiliza para solucionar una problemática conocida, mientras que el segundo afronta un problema que no está claramente definido (Codelco & TBM Consulting Group, 2020).

En la Figura 9 se identifica cuando se debe realizar un RdP y de qué tipo en función del nivel de incertidumbre que presenta una problemática y en Tabla 6 se observan los fundamentos y diferencias entre los tipos de eventos de mejora mencionados.

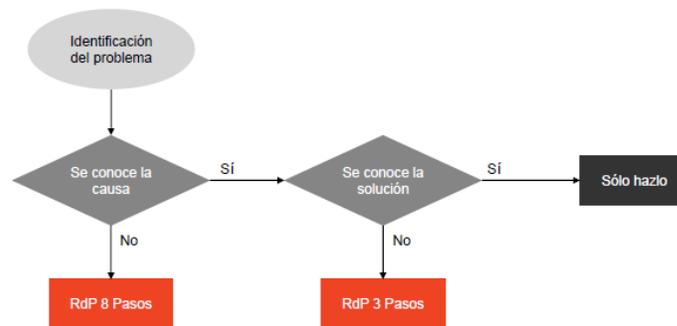


Figura 9: Diagrama de elección de RdP (Codelco & TBM Consulting Group, 2020).

Tabla 6: Resumen eventos de mejora.

| Evento de mejora   | Cuando Utilizar  | Objetivo   | Equipo   | Herramientas   | Informaciones avanzadas   |
|--------------------|--|--|--|--|---|
| <b>RdP 3 pasos</b> | Problema puntual claramente conocido. (POD y Obeya)  | Solucionar el problema rápidamente en una única reunión.<br>Diario, se sugiere para el POD       | Generalmente se requieren para trabajar desde 2 o más personas, que tienen un conocimiento profundo del proceso. | Ishikawa, 5 por qué, plan de acción.   | Problemas con informaciones suficientes que identifique el problema: KPI fuera de control, fotos, reclamo cliente.  |
| <b>RdP 8 pasos</b> | Problema puntual, pero no está claramente definido (Obeya).  | Requiere más de una sesión para solucionar el problema (2 o 3 reuniones). Se sugiere para Obeya. | Generalmente se requieren para trabajar desde 4 o más personas, que tienen conocimiento profundo del proceso.    | Lluvia de ideas, Ishikawa, Pareto, 5 Por qué, plan de acción y Formato A3.                                     | Problema puntual con posible causa primaria conocida, pero requiere técnicas más avanzadas para buscar la causa raíz. Necesita de informaciones suficientes que identifiquen el problema: KPI fuera de control, fotos, reclamo cliente. |
| <b>Kaizen</b>      | Problema con alcance que se puede involucrar varios temas<br>Cuando se quiere mejorar procesos complejos y que tiene como objetivo resultado financiero de alto impacto.<br>Cuando se requiere involucrar una mayor cantidad de personas para acelerar el cambio cultural. | Solucionar problemas de 3 M (desperdicios, variación y sobre esfuerzo) en corto plazo.           | De 6 a 12 personas multidisciplinaria, 1/3 de especialistas, q/3 de áreas de soporte y 1/3 fuera de proceso.     | Proceso de cinco etapas<br><br>VSM, Matriz de Impacto, Hoja Estándar, Toma de tiempos o ciclos, 7 desperdicios | Problema definido con datos validados que se permita comprender la magnitud del problema y el alcance claramente definido, con los objetivos SMART establecidos.  |

Fuente: Codelco & TBM Consulting Group (2020).

#### 1.4.8.9 Visual Stream Mapping (VSM)

Esta herramienta es utilizada para identificar flujos de información, materiales y productos. Considera la creación de “cajas” que representan cada subproceso del análisis de un proceso mayor, en el cual se describe toda la información que permite medir el real desempeño de los subprocesos e identificar las mudas (Löw & Johansson, 2015).

La aplicación de cada herramienta del MGP, como se puede apreciar en la Figura 10, se aplica en las siguientes etapas del contrato: El Should Cost y FP se deben realizar antes de la adjudicación del contrato, la herramienta Pull Planing es aplicada por la VP durante la movilización de la empresa contratista y luego en conjunto con las EECC. Iniciado el contrato se ejecutan de manera constante las herramientas de planificación táctica y operativa, Obeya y POD, y eventos de mejora, RdP y Kaizen.

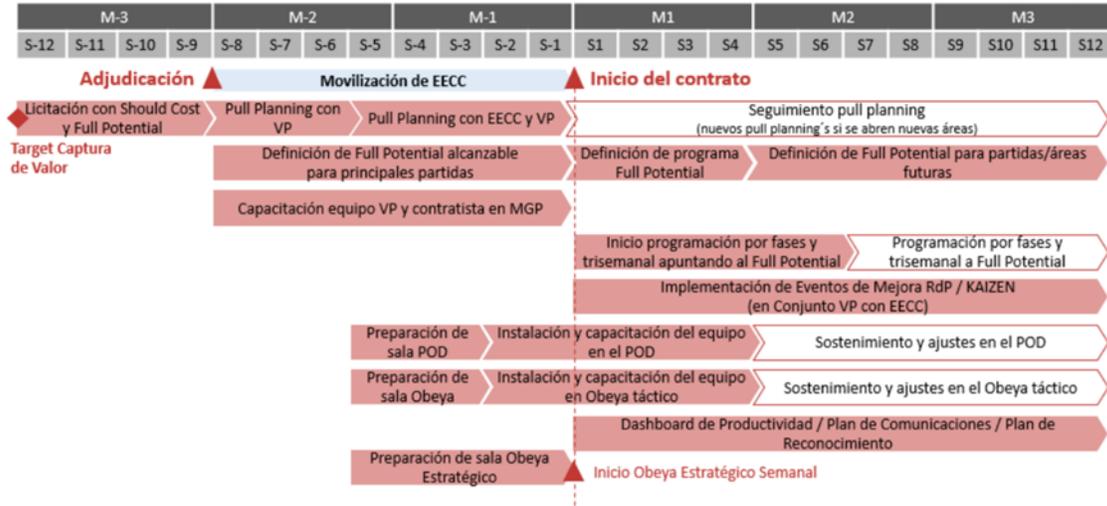


Figura 10: Ejemplo de aplicación de herramientas MGP (Codelco, 2019).

## 2. Metodología

Este capítulo describe la metodología empleada en el estudio tal como se aprecia en la Figura 11. Para tal efecto, en primera instancia, se conceptualiza el problema donde se definen los objetivos y alcances de la memoria, luego se recopila bibliografía asociada a los fundamentos de la problemática, es decir se recopilan documentos técnicos y artículos científicos relacionados con productividad, metodologías Lean y Codelco. En tercer lugar se recopila la información necesaria, es decir bases de datos de CNC y documentos asociados a eventos de mejora para luego, organizarla y estudiarla utilizando herramientas estadísticas. Finalmente, se digitalizan los resultados en una base de datos transversal para la cartera de proyectos de la VP que permita hacer estadística integrando la data de todos los proyectos por medio de una serie de dashboard.

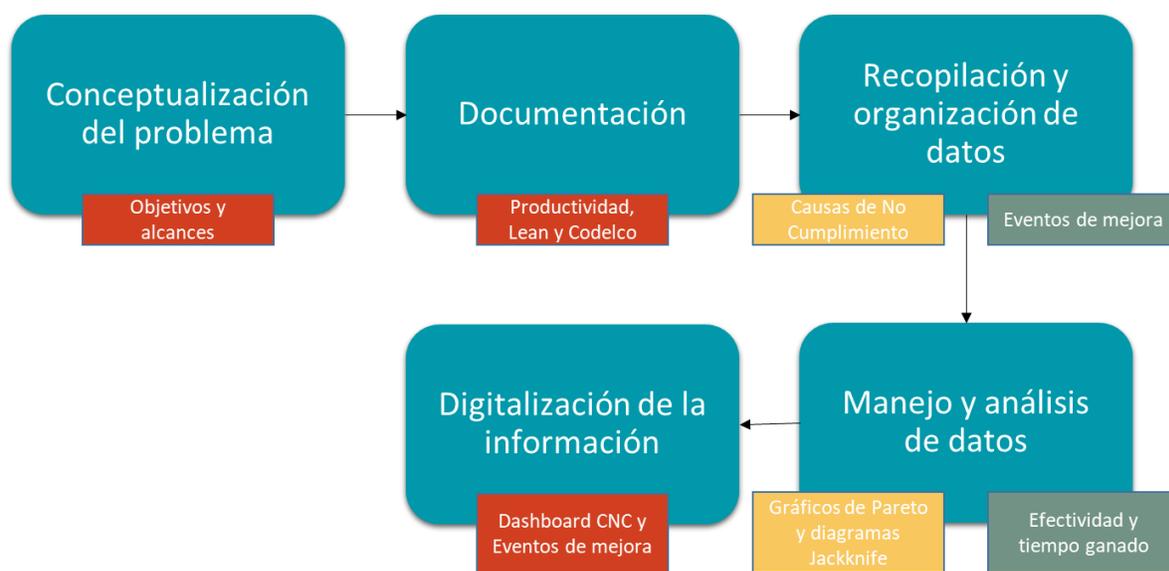


Figura 11: Etapas de la metodología utilizada en el estudio.

### 2.1 Conceptualización del problema

Actualmente, se identifica que las lecciones aprendidas provenientes de las CNC y eventos de mejora, se encuentran atomizadas por proyecto, lo cual impide dejar de trabajar en silos para lograr la gestión del conocimiento de forma transversal a toda la cartera de proyectos de la VP. En base a esto, se definen los objetivos y el alcance de este proyecto, que permiten recopilar, gestionar y analizar las buenas prácticas de construcción y lecciones aprendidas históricas, para definir medidas preventivas que disminuyan el nivel de riesgo de futuros proyectos.

Se dispone esta información en una base de datos digital y global, con la finalidad de trabajarlos para la VP de Codelco. Esta base de datos permite el acceso de manera integral a

las CNC y eventos de mejora, lo cual facilita la gestión, confiabilidad y el flujo de la información para todos los proyectos de la VP.

## 2.2 Documentación

Se busca información sobre Codelco, Productividad y Metodologías Lean, con tal de adquirir conocimientos sobre los fundamentos de estas materias y encontrar los puntos en donde convergen. Esto permite elaborar una secuencia de trabajo que es suficiente para lograr los objetivos definidos y dentro del alcance delimitado.

Las referencias necesarias para el trabajo provienen de documentos e informes técnicos de Codelco, que permiten identificar y conocer las herramientas y metodologías que sustentan el MGP y los fundamentos de los proyectos enmarcados en el alcance del estudio. Además se recopila y estudia información asociada a productividad.

La información asociada a productividad proviene de artículos científicos que describen lo que es la productividad en la minería y en proyectos de construcción. Adicionalmente, se estudian textos de investigación que analizan la aplicación de herramientas Lean que impulsan la productividad. Estos textos entregan información de las herramientas aplicadas en casos de estudio, plasmando los resultados y describen dichas herramientas.

## 2.3 Recopilación y organización de datos

Para recopilar y organizar los datos, se sigue la secuencia de la Figura 12. Donde la información requerida para el trabajo se encuentra atomizada por proyecto, por lo tanto, para poder conseguirla se realizan visitas a terreno. Además, se agendan reuniones por videoconferencia con aquellas personas que se consideren claves por su acceso a esta información.

Las personas claves corresponden a los especialistas de productividad, tanto VP como contratista, y personal de construcción, jefes y especialistas. Son a ellos a quienes se hace el levantamiento de los requerimientos, los cuales según la disponibilidad de los datos, son entregados.

La información recopilada y necesaria para el análisis se puede agrupar en tres: Eventos de mejora, CNC y reportes de avance. Esta información se encuentra disponible en distintas fuentes dependiendo del contrato y la EECC que está en construcción; y por lo tanto realizando su documentación.



Figura 12: Etapas realizadas en la recopilación y organización de la información. Elaboración propia.

Los eventos de mejora son documentados por los especialistas de productividad, quienes organizan la información en presentaciones *Power Point*, archivos *.pdf* y planillas *Excel* que contienen el seguimiento de las acciones propuestas y su cumplimiento. Es importante destacar que no necesariamente existen todos estos archivos para cada evento de mejora.

Las CNC siguen un conjunto de actividades para su reportabilidad como se observa en la Figura 13, estas son documentadas por la empresa contratista, las cuales son presentadas en las reuniones diarias POD y las reuniones semanales Obeya. Algunas EECC generan una base de datos consolidada del histórico de las CNC, mientras otras las almacenan en los reportes mensuales o en las presentaciones de las reuniones antes mencionadas. Para generar un consolidado, se extraen los datos de cada uno de los informes.

Los datos de CNC son revisados y validados en conjunto por los especialistas de construcción, tanto de la VP como de la EECC, los cuales son levantados durante el POD, de forma diaria y los Obeya de forma semanal. Esto implica que las diferentes bases de datos son confiables, pues existen distintos entes que acuerdan su veracidad.

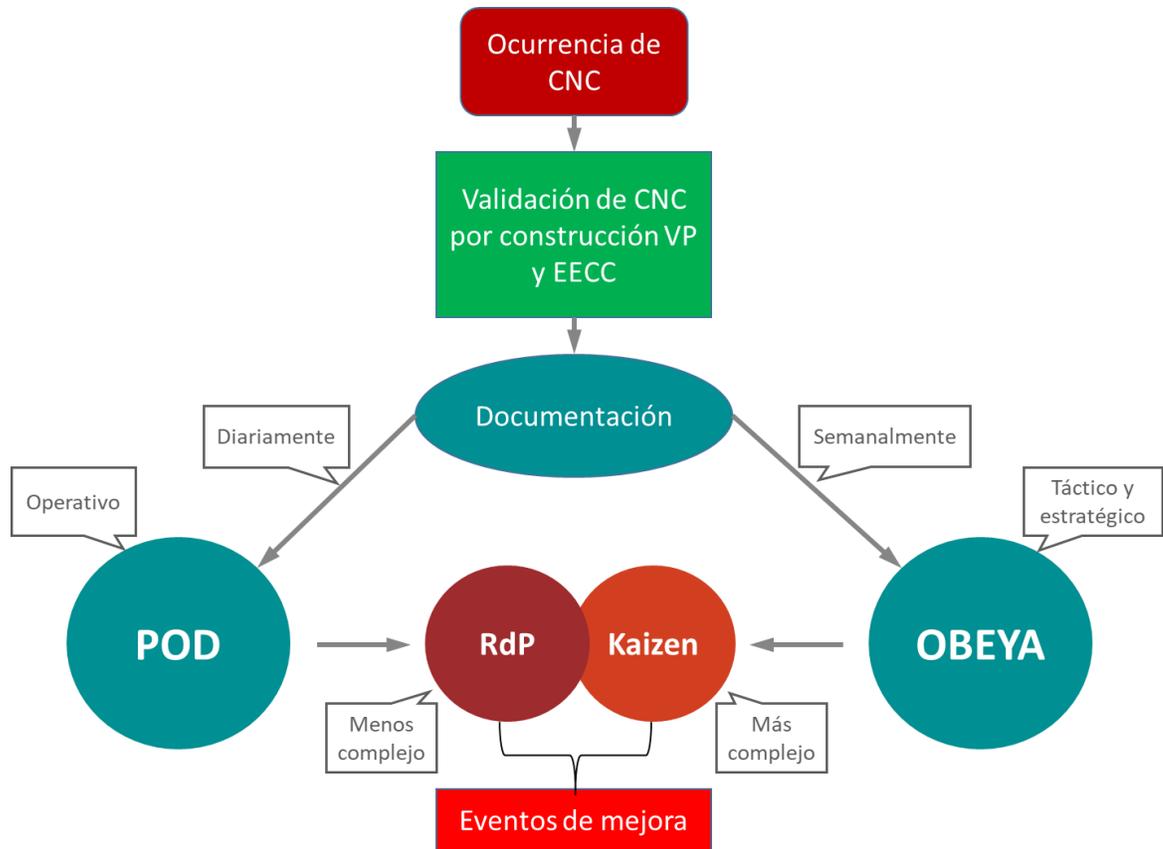


Figura 13: Diagrama de actividades de CNC (Codelfo, 2019).

Es importante señalar que cada EECC categoriza las CNC de forma diferente y algunas solo documentan una descripción, es decir, texto libre. Por lo tanto, se procede a definir diez categorías estándar de CNC para poder agruparlas y realizar estadística de forma general para todos los proyectos del estudio de las CNC. Además, se definen un conjunto de subcategorías de CNC para cada categoría antes definida. Esto permite realizar estadística a un segundo nivel de detalle.

Esta estandarización de categorías y subcategorías se realiza mediante el análisis de la categorización que realizan las diferentes EECC, donde se estudian los parámetros de clasificación que utilizan en los diferentes contratos, cruzando esta información en búsqueda de patrones comunes. Luego de identificar los grupos de clasificación que permiten abarcar toda la información de CNC, independiente del tipo de contrato y disciplina, se valida el estándar de categorías y subcategorías con criterio experto de diferentes especialistas de productividad de diferentes proyectos.

Una vez definido el estándar de categorías y subcategorías, se procede a reclasificar las CNC bajo este nuevo modelo de encasillamiento. Para ello se construyen diccionarios que conectan la clasificación de la EECC con la actual y para aquellos que no están categorizados, se utilizan herramientas de clasificación por medio de la identificación de palabras claves utilizando programación en Macros.

Los reportes de avance se encuentran documentados en las reuniones Obeya o reportes mensuales y, para generar un acumulado, se deben extraer los datos de avances programados y avances reales; además de construir planillas históricas.

Una vez realizada la recolección de datos, estos se ordenan. Para ello se determina cual es el detalle del contenido de cada archivo almacenado y se define un marco estándar de almacenamiento. Para construir el marco estándar de almacenamiento de la información a analizar se realizan las siguientes actividades:

CNC: Categorizar y subcategorizar las CNC por estándar transversal para su posterior agrupamiento en una fuente única de información. Esta fuente única debe incluir la siguiente información: Proyecto, Contrato, Tipo de contrato, Disciplina, Semana del contrato, Fecha, Área, Descripción de CNC, Categoría de CNC, Subcategoría, Impacto, Unidad de Impacto y Medidas de Contención.

Eventos de mejora: Listar eventos de forma resumida y almacenar su contenido en una base de datos transversal. Esta base contiene los datos de: Proyecto, Nombre evento de mejora, si es RdP o Kaizen, Tipo de contrato, Disciplina, Contrato, Fecha, CNC objetivo, KPI objetivo, Valor del KPI previo al evento de mejora, valor de KPI meta, Valor del KPI post evento de mejora y los cálculos del Valor ganado en plazo y efectividad del evento de mejora.

Reportes de avance: Almacenar sistemáticamente la información proveniente de los planes de avance, haciendo una comparativa entre lo planificado y lo realizado.

## 2.4 Manejo y análisis de datos

Este apartado describe la metodología y herramientas empleadas para el manejo y análisis de datos de las CNC y eventos de mejora.

### 2.4.1 CNC

Para el análisis de los 31.367 datos de CNC recopilados, se utilizan herramientas estadísticas, tales como diagramas de Pareto y gráficas de Jackknife (Cárdenas, 2014). Los diagramas de Pareto se realizan en función de la frecuencia absoluta y frecuencia acumulada porcentual de las categorías de CNC, esto permite identificar las CNC que poseen una mayor ocurrencia a nivel VP, por tipo de contrato, disciplina y por contrato en específico (Figura 14).

Para aquellos contratos que cuantifican el impacto de las CNC, ya sea en términos de horas, número de disparos, HH, etc., se realizan diagramas de Pareto en función del impacto total y el impacto acumulado porcentual. Análogo al diagrama de Pareto de frecuencia, se identifican las CNC de alto impacto por contrato.

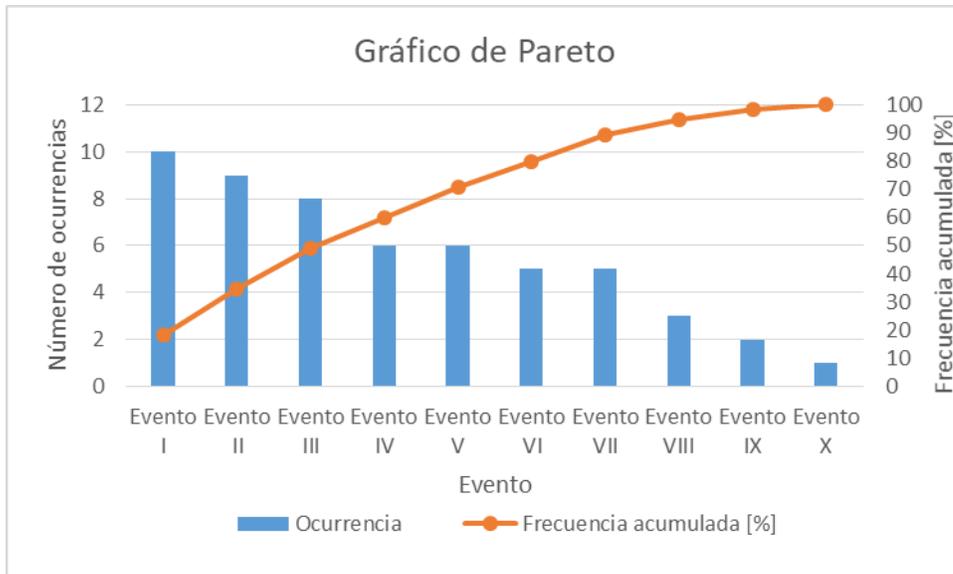


Figura 14: Ejemplo de gráfico de Pareto genérico. Elaboración propia.

En los contratos que documentan el impacto de la CNC, también se utiliza el diagrama de Jackknife. Este diagrama plasma el impacto promedio de un evento, en función de la frecuencia de este evento. Por ejemplo en la Figura 15 se aprecia el tiempo medio de reparación (MTTR) en función del número de detenciones. Para este estudio se visualiza el impacto promedio en función de la frecuencia absoluta de la categoría de CNC. Esta herramienta permite realizar un análisis simultáneo de ambas dimensiones y clasificar las CNC por cuadrante para definir su criticidad.

Los cuadrantes se delimitan a partir de la mediana de cada uno de estos parámetros con el objetivo de minimizar el efecto de la distribución de CNC al identificar la criticidad de estas. Es decir, la mediana del impacto promedio para el límite del eje horizontal y la mediana de la frecuencia absoluta para el límite del eje vertical. Los cuadrantes son:

- Alta criticidad: Alto impacto promedio y alta frecuencia absoluta
- Media criticidad: Bajo impacto promedio y alta frecuencia absoluta
- Baja criticidad: Alto impacto promedio y baja frecuencia absoluta
- Nula criticidad: Bajo impacto promedio y baja frecuencia absoluta

La gráfica de Jackknife solo se utiliza para analizar las CNC a nivel de contrato, pues cada contrato que documenta el impacto, lo realiza utilizando unidades de medidas diferentes.

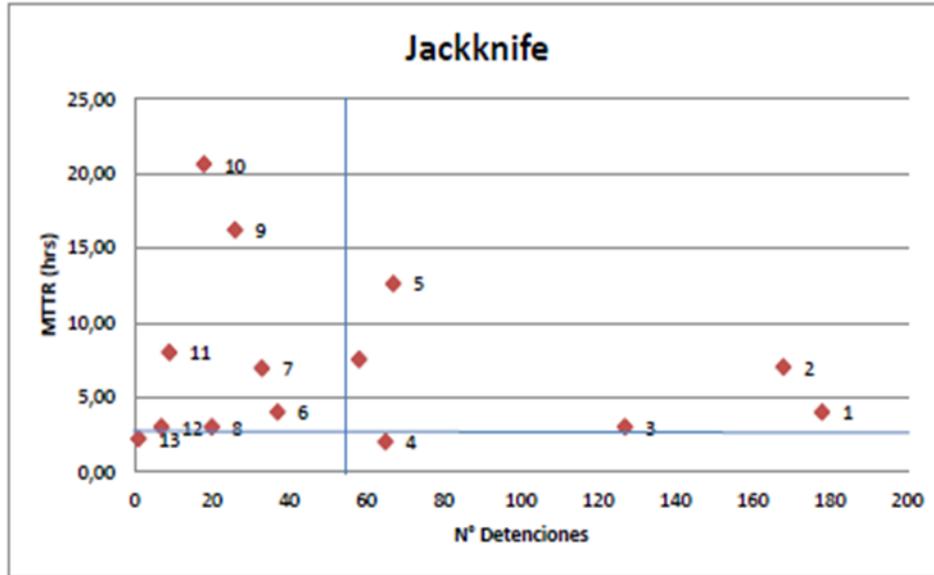


Figura 15: Ejemplo de diagrama de Jackknife (Cárdenas, 2014).

Para poder asociar las CNC críticas por etapa del contrato, se construyen los planes de avance, en los cuales se grafica el avance programado y el real en función del tiempo. Luego se identifican la categoría de las CNC más importantes y sus respectivas subcategorías por etapa del contrato y se cuantifica el impacto de estas sobre la programación en términos de plazo y en ventas, que es lo que deja sobre la mesa la EECC al no cumplir la programación.

#### 2.4.1.1 Cuantificación del impacto de las CNC

Se cuantifica el impacto de las CNC en términos de plazo y de ventas, que hace referencia al ingreso no percibido por las EECC, con el objetivo de plasmar que la ocurrencia de las CNC impide cumplir con la promesa constructiva dentro del plazo estipulado y retrasa los ingresos de las EECC al no cumplir con el plan.

Para cuantificar el impacto de las CNC en términos de plazo, se suma el total del impacto ya sea en metros o HH por etapa del contrato, es decir ramp up, régimen o ramp down y se dividen por el rendimiento promedio en esa etapa del contrato.

*Ecuación 1: Impacto en plazo de las CNC.*

$$\text{Impacto en plazo} = \frac{\text{Impacto total CNC en la etapa } i \text{ del contrato}}{\text{Rendimiento promedio en la etapa } i \text{ del contrato}}$$

Para cuantificar el impacto de las CNC en términos de ventas, se suma el total del impacto por etapa del contrato, ya sea en metros o HH y se multiplican por el costo estimado del metro o HH respectivamente.

*Ecuación 2: Impacto en ventas de las CNC.*

$$\text{Impacto en ventas} = \text{Impacto total CNC por etapa del contrato} \times \text{Costo por unidad de impacto}$$

El costo supuesto del metro es de US\$7.500 y el costo de HH es de US\$55. Estos valores se estiman a partir del criterio experto de los especialistas de construcción y productividad de Codelco.

## 2.4.2 Eventos de mejora

Para el análisis de los eventos de mejora se realizan dos cálculos que permiten identificar aquellos eventos RDP o Kaizen que hayan sido más beneficiosos. Es decir, que su realización haya sido efectivo para paliar la ocurrencia de CNC. Estos cálculos son la cuantificación del valor ganado en términos de plazo y la efectividad como se observa en la Figura 16.

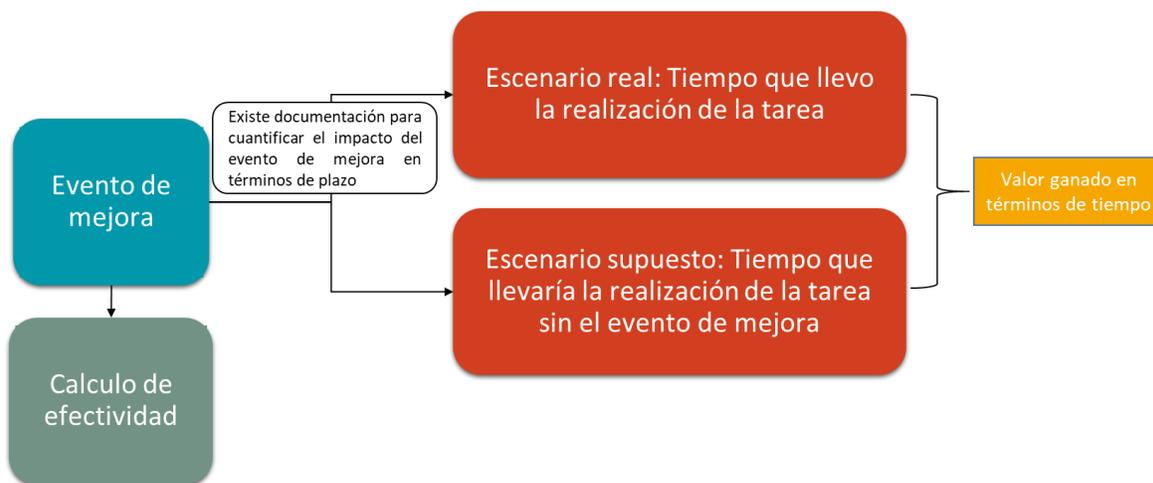


Figura 16: Diagrama de etapas de análisis de eventos de mejora. Elaboración propia.

Para cada evento de mejora se propone una metodología para cuantificar el valor agregado en términos de plazo. La finalidad de esta metodología es identificar aquellos eventos que generan un mayor incremento de valor.

Este procedimiento consiste en construir un escenario supuesto, en el cual no se realiza el evento de mejora y por lo tanto el KPI objetivo del evento se mantiene constante. Luego se proyecta el tiempo requerido para realizar la tarea.

El segundo escenario corresponde al real y se obtiene el tiempo que tomó la tarea considerando la realización del evento de mejora y por lo tanto la variación del KPI objetivo del evento.

Escenario real → Considera la variación de KPI producto de la realización del evento de mejora y entrega el tiempo real de la tarea ( $t_{real}$ )

Escenario supuesto → Se proyecta que el KPI no cambia en el tiempo, debido a que no se realizaría el evento de mejora. Se calcula el estimado de cuanto demoraría la tarea ( $t_{supuesto}$ )

Posteriormente se realiza la diferencia entre ambos plazos y el incremento de valor se define como:

*Ecuación 3: Valor ganado por evento de mejora.*

$$\text{Valor ganado por el evento de mejora} = t_{\text{real}} - t_{\text{supuesto}}$$

Además de la cuantificación del tiempo ganado gracias al evento de mejora, se define la efectividad de este para poder identificar aquellos eventos que lograron alcanzar la meta propuesta y, por lo tanto, se infiere que proponen acciones funcionales y replicables para paliar inconvenientes.

Se define la efectividad como:

*Ecuación 4: Efectividad evento de mejora.*

$$\text{Efectividad evento de mejora} = \frac{\text{KPI final} - \text{KPI inicial}}{\text{KPI meta} - \text{KPI inicial}} \times 100$$

Cuando los eventos de mejora tienen una alta efectividad, mayor al 75% en base al criterio experto, o un alto valor agregado en términos de plazo, se infiere que las acciones propuestas en el evento de mejora y realizadas para mitigar la problemática identificada, pueden ser utilizadas como medidas preventivas en contratos futuros y en ejecución que eviten la ocurrencia de CNC.

### 2.4.3 Estimación de efectos al tomar medidas preventivas

Para estimar el efecto que tendrá el tomar medidas que prevengan la ocurrencia de CNC se toma como supuesto que las medidas propuestas tienen una efectividad del 75%, ya que todas ellas provienen de eventos de mejora cuya efectividad es mayor o igual a 75%. Se propone el mínimo de la efectividad para realizar una estimación conservadora.

Luego, para cuantificar la reducción de la frecuencia y el impacto promedio por mes al tomar las medidas preventivas, se identifica que CNC abordan los eventos de mejora y cuál es su impacto y frecuencia promedio en la base de datos de CNC construida para este estudio. Finalmente se multiplican estos indicadores por 0,25 y se tienen los indicadores estimados.

## 2.5 Digitalización de la información

Con el objetivo de generar un acceso a las lecciones aprendidas para toda la cartera de proyectos de la VP, es que se conceptualizan y diseñan dos dashboard, uno de CNC y otro de eventos de mejora y sus respectivas fuentes de alimentación. Estos dashboard se encuentran dispuestos en el sistema integrado de productividad (Sipro) que es una plataforma desarrollada por Zyght (Codelco, 2019).

El dashboard de CNC entrega herramientas estadísticas que permitan hacer un análisis periódico del no cumplimiento de la programación y el dashboard de eventos de mejora es una biblioteca que almacena los parámetros más importantes de los Rdp's y Kaizen's llevados a cabo por la VP.

## 3. Resultados

Esta sección plasma los resultados que se obtienen al aplicar la metodología del estudio. Para tales efectos, en primer lugar se muestran las categorías y subcategorías estándar definidas para realizar la estadística general independiente del tipo de contrato, luego se plasman las estadísticas de CNC a nivel general, por tipo de contrato, por disciplina y para cada contrato en particular. En última instancia aparecen los resultados del estudio de los eventos de mejora, para finalizar con la digitalización del proyecto.

### 3.1 Categorías y subcategorías estándar de CNC

A continuación se encuentran las definiciones de las categorías de CNC, que permiten clasificar de forma global las CNC de este trabajo, y la figura 17, la cual plasma la distribución porcentual de cada clase con respecto al total. Además las tablas 7 y 8 muestran las respectivas subcategorías de cada categoría de CNC.

- Equipos F/S: CNC asociada a falla de equipos.
- Reproceso/ Calidad: CNC asociada a rehacer actividades o no tener procedimientos.
- Servicios: CNC asociada a la falla de servicios requeridos para la operación tales como ventilación, electricidad, etc.
- Coordinación Operacional: CNC asociadas a fallas en la disciplina operacional, tales como la espera de servicios o equipos o insumos, ubicación desconocida de equipos, problemas con acopio de marina, falla de coordinación u operacional, cambio de postura y mala comunicación.
- Personal: CNC asociada a la ausencia de personal por distintos motivos.
- Materiales e Insumos: CNC asociada a la falta de materiales, repuestos, herramientas o insumos.
- Seguridad: CNC asociada a condiciones inseguras, incidentes o accidentes durante la operación.
- Condición de terreno: CNC asociada a eventos climáticos, entorno o geo- mecánicos que impiden el desarrollo normal de la actividad.
- Programación: CNC asociada a la falla en la programación de recursos, personas, equipos, suministros o tiempo.
- Interferencias: CNC asociada a interferencias con otras empresas o con Codelco.

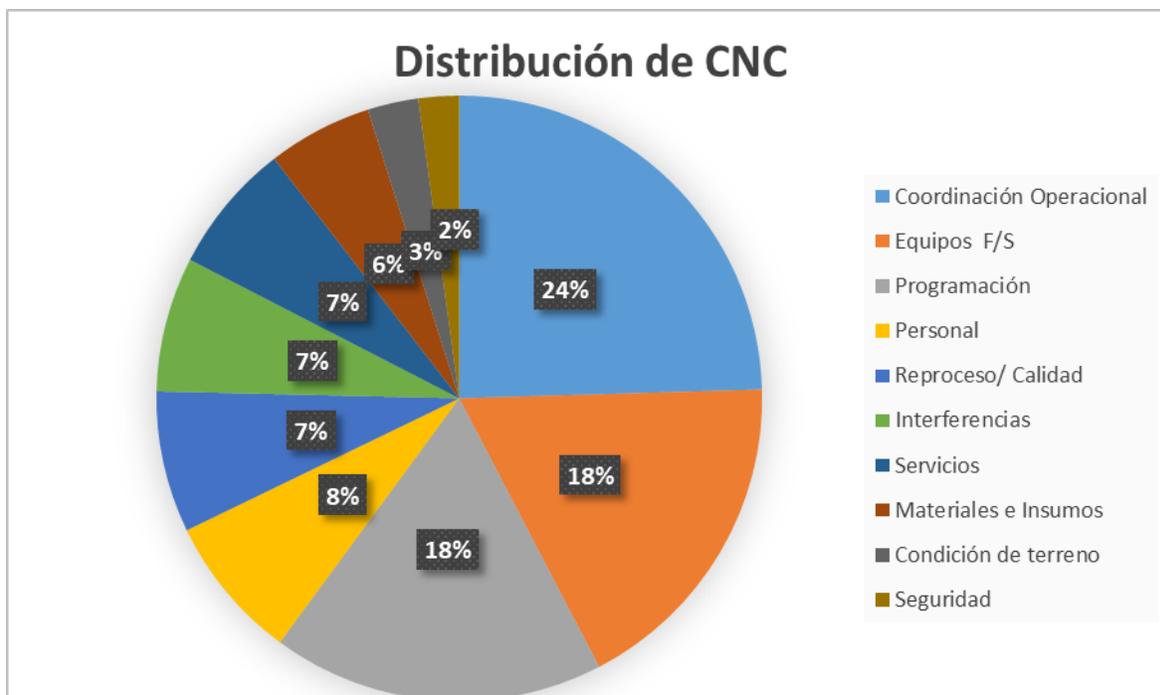


Figura 17: Distribución de CNC.

Tabla 7: Subcategorías de las CNC.

| SEGURIDAD              | CONDICION DE TERRENO     | MATERIALES E INSUMOS               | PROGRAMACIÓN                                    | INTERFERENCIAS                |
|------------------------|--------------------------|------------------------------------|---|-------------------------------|
| Accidente              | Clima                    | Estimación de materiales o insumos | Falla de programación equipos                   | contingencia nacional         |
| Condición insegura     | Condición de entorno     | Estructura temporal                | Falla por cambio en la programación/prioridades | Interferencias Codelco        |
| Incidente              | Condiciones geomecánicas | Falta herramientas                 | Falla por tiempo programado                     | Interferencias otras empresas |
| Reflexión de seguridad | Desprendimiento de roca  | Falta insumos/ repuestos           | Ingeniería y diseño                             | Sernageomin                   |
| Seguridad personal     | Inundación               | Falta materiales                   | -   | -                             |
| Simulacro              | Polución                 | Falta petróleo                     | -   | -                             |
| Tarjeta verde          | Sismicidad               | -                                  | -   | -                             |

Tabla 8: Subcategorías de las CNC.

| EQUIPOS F/S       | COORDINACION OPERACIONAL        | REPROCESO/CALIDAD         | SERVICIOS                  | PERSONAL                  |
|-------------------|---------------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|
| Acuñador          | Actividad Previa                | Calidad                   | Agua Industrial            | Capacitación Programada   |
| Boltec            | Comunicación Deficiente         | Desquinche                | Aire Comprimido            | Charla Sindical           |
| Cabletec          | Coordinación Equipo De Traslado | Re Acuñar                 | Comunicaciones             | Falta De Eléctrico        |
| Camión Explosivos | Disponibilidad De Frente        | Re Enmallar               | Desacople Cañerías         | Falta De Mecánico         |
| Camión Tolva      | Distancia Tiraje Marina Extensa | Re Fortificar             | Drenaje                    | Falta De Minero           |
| Cargador Frontal  | Equipo Sin Llaves               | Re Lechar                 | Electricidad               | Falta De Topógrafo        |
| Compresor         | Equipo Ubicación Desconocida    | Re Perforar Disparo       | Instrumentación            | Falta Operador/Mantenedor |
| Dumper            | Espera De Equipos               | Re Perforar Fortificación | Planta                     | Paro De Trabajadores      |
| Equipo De Levante | Espera De Escolta               | Re Trabajo                | Servicios Generales        | Personal Sin Acreditar    |
| Grúa              | Espera De Explosivos            | Rebaje Piso               | Sistema Sísmico            | -                         |
| Jumbo             | Espera De Geología              | Saneamiento               | Ventilación                | -                         |
| Lechadora/        | Espera De Postura               | Sin Procedimientos        | Ventilación Post Tronadura | -                         |
| Resinadora        |                                 |                           |                            |                           |
| Mixer             | Espera De Supervisor            | Terminaciones             | -                          | -                         |
| Motoniveladora    | Espera De Topografía            | Tiros Quedados            | -                          | -                         |

## 3.2 Estadísticas de CNC

En esta sección se plasman las estadísticas de las CNC para los distintos niveles de análisis, inicialmente se observa el Pareto de frecuencia de CNC para todos los datos del estudio en la Figura 18, posteriormente se observan las estadísticas de las CNC por tipo de contrato y disciplina y finalmente los gráficos de Pareto, diagramas de Jackknife y reportes de avances para cada contrato en particular del estudio.

### 3.2.1 Estadísticas Generales

A partir de la integración y análisis estadístico de 31.367 datos de CNC obtenidas de los 11 contratos revisados, se tiene el gráfico de Pareto de la Figura 18 y para las CNC de mayor frecuencia, la Tabla 9 muestra las subcategorías críticas.

## Pareto de frecuencia de CNC

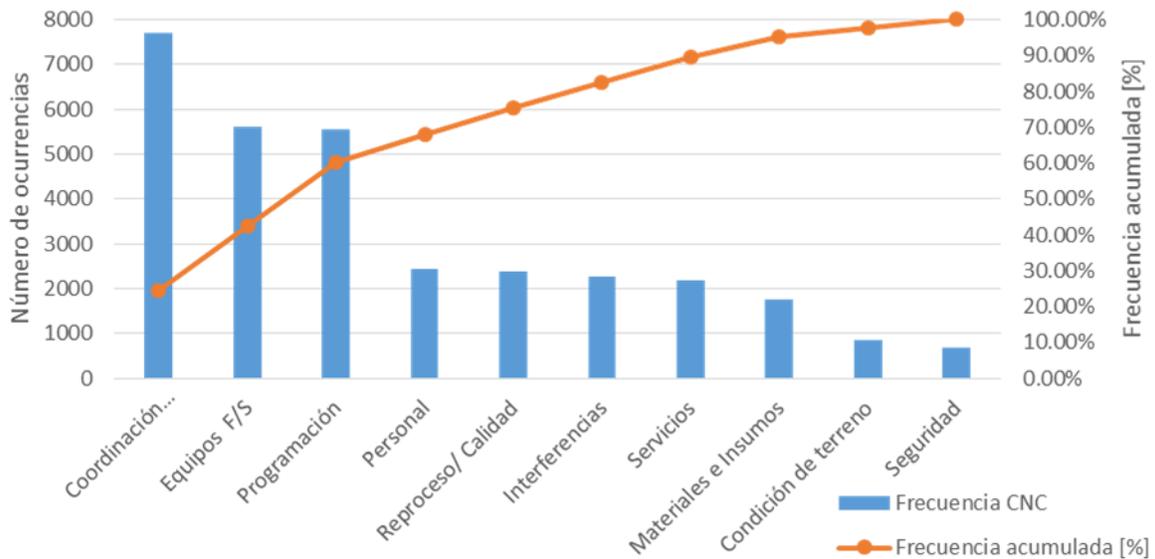


Figura 18: Pareto de frecuencia de CNC para la Vicepresidencia de Proyectos de Codelco.

Tabla 9: Subcategorías de las categorías de CNC de mayor ocurrencia.

| Coordinación Operacional     |                         | Equipo F/S    |                         | Programación                                    |                         |
|------------------------------|-------------------------|---------------|-------------------------|---|-------------------------|
| Subcategoría                 | Frecuencia relativa [%] | Subcategoría  | Frecuencia relativa [%] | Subcategoría                                    | Frecuencia relativa [%] |
| Actividad previa             | 53                      | Jumbo         | 23                      | Falla por cambio en la programación/prioridades | 44                      |
| Coordinación de marina       | 16                      | No especifica | 12                      | Falla por tiempo programado                     | 38                      |
| Equipo ubicación desconocida | 10                      | Boltec        | 12                      | Falla de programación equipos                   | 15                      |

### 3.2.2 Estadísticas por tipo de contrato

En la siguiente sección se observan las estadísticas, por medio de gráficos de Pareto, de las CNC por tipo de contrato, es decir, para contratos mineros, de infraestructura y movimiento de tierra.

#### 3.2.2.1 Minería

A partir del análisis estadístico e integración de las 27.194 CNC asociadas a seis contratos mineros se tiene el gráfico de Pareto de la Figura 19 y para las CNC de mayor frecuencia, la Tabla 10 muestra las subcategorías críticas.

## Pareto de frecuencia de CNC

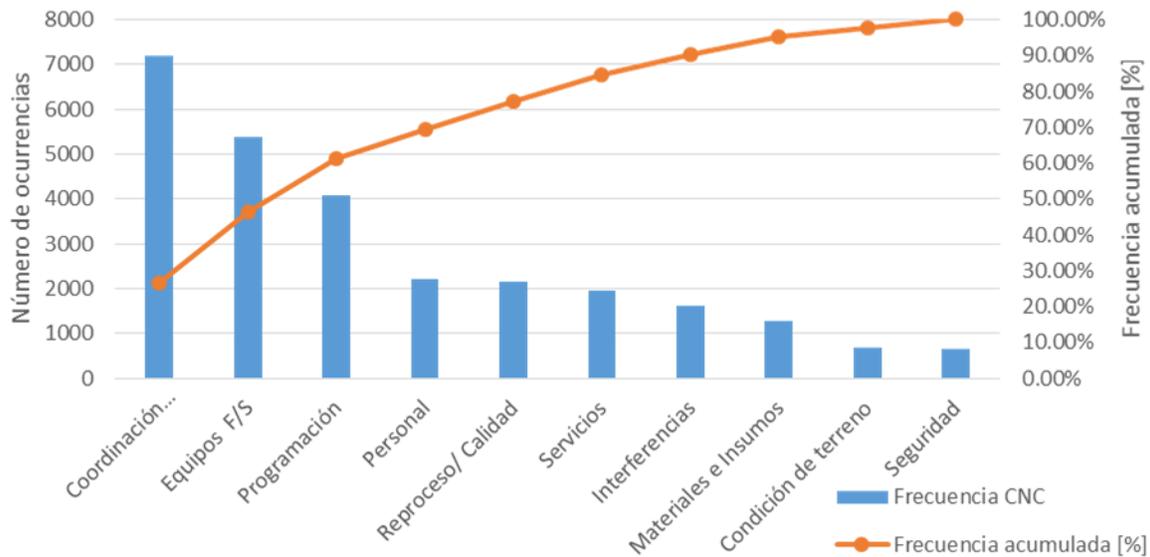


Figura 19: Pareto de frecuencia de CNC para los contratos mineros.

Tabla 10: Subcategorías de las categorías de CNC de mayor ocurrencia para los contratos mineros.

| Coordinación Operacional     |                         | Equipo F/S    |                         | Programación                                    |                         |
|------------------------------|-------------------------|---------------|-------------------------|---|-------------------------|
| Subcategoría                 | Frecuencia relativa [%] | Subcategoría  | Frecuencia relativa [%] | Subcategoría                                    | Frecuencia relativa [%] |
| Actividad previa             | 53                      | Jumbo         | 23                      | Falla por tiempo programado                     | 48                      |
| Mala coordinación de marina  | 16                      | Boltec        | 13                      | Falla por cambio en la programación/prioridades | 37                      |
| Equipo ubicación desconocida | 11                      | No especifica | 13                      | Falla de programación de equipos                | 15                      |

### 3.2.2.2 Infraestructura

A partir del análisis estadístico e integración de las 3.864 CNC asociadas a cuatro contratos de infraestructura se tiene el gráfico de Pareto de la Figura 20 y para las CNC de mayor frecuencia, la Tabla 11 muestra las subcategorías críticas.

## Pareto de frecuencia de CNC

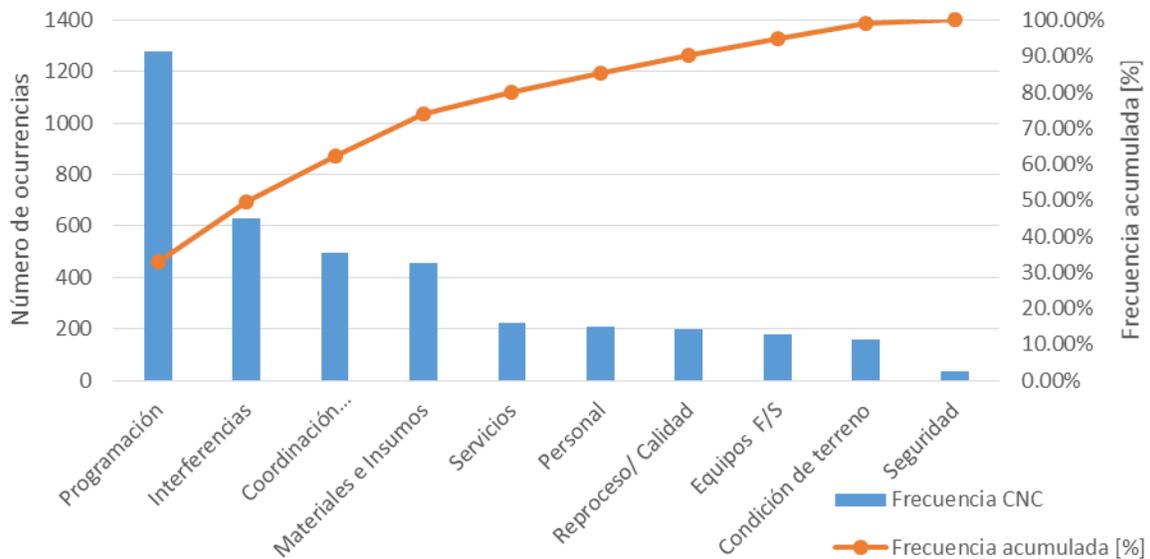


Figura 20: Pareto de frecuencia de CNC para los contratos de infraestructura.

Tabla 11: Subcategorías de las categorías de CNC de mayor ocurrencia para los contratos de infraestructura.

| Programación                                    |                         | Interferencias                |                         | Coordinación Operacional |                         |
|---|-------------------------|-------------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|
| Subcategoría                                    | Frecuencia relativa [%] | Subcategoría                  | Frecuencia relativa [%] | Subcategoría             | Frecuencia relativa [%] |
| Falla por cambio en la programación/prioridades | 63                      | Interferencias otras empresas | 70                      | Actividad previa         | 50                      |
| Falla de programación equipos                   | 18                      | Interferencias Codelco        | 29                      | Falla de coordinación    | 20                      |
| Falla por tiempo programado                     | 11                      | Contingencia nacional         | 1                       | Comunicación deficiente  | 10                      |

### 3.2.2.3 Movimiento de tierra

A partir del análisis estadístico de 261 CNC asociadas a un contrato de movimiento de tierra, se tiene el gráfico de Pareto de la Figura 21 y para las CNC de mayor frecuencia, la Tabla 12 muestra las subcategorías críticas.

## Pareto de frecuencia de CNC

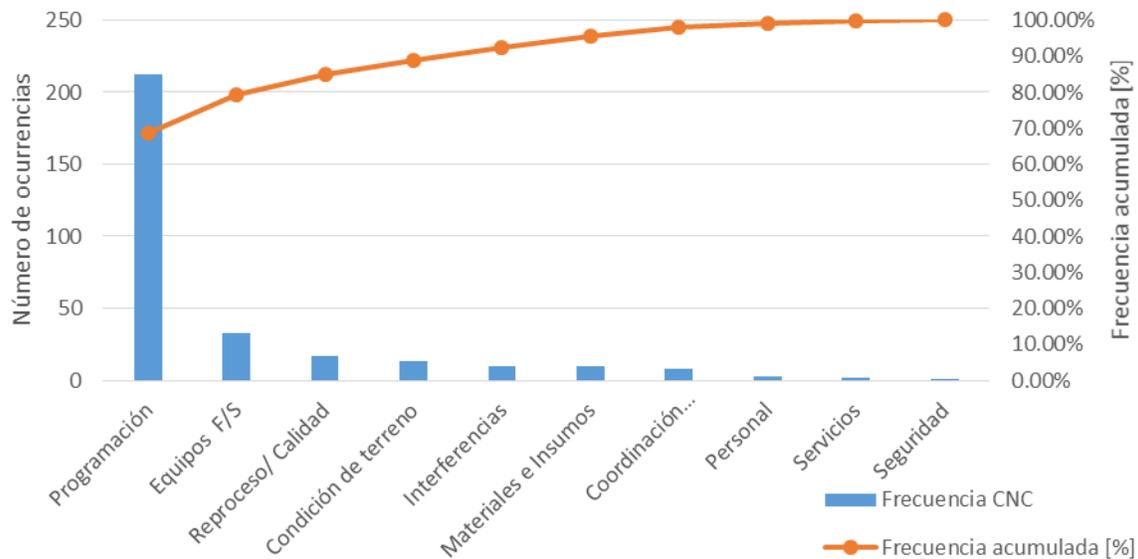


Figura 21: Pareto de frecuencia de CNC para el contrato de movimiento de tierra.

Tabla 12: Subcategorías de las categorías de CNC de mayor ocurrencia para los contratos de movimiento de tierra.

| Programación                                    |                         | Equipo F/S       |                         | Reproceso/Calidad  |                         |
|---|-------------------------|------------------|-------------------------|--------------------|-------------------------|
| Subcategoría                                    | Frecuencia relativa [%] | Subcategoría     | Frecuencia relativa [%] | Subcategoría       | Frecuencia relativa [%] |
| Falla por cambio en la programación/prioridades | 90%                     | No especifica    | 91%                     | Sin procedimientos | 100%                    |
| Ingeniería y diseño                             | 5%                      | Retroexcavadora  | 6%                      | -                  | -                       |
| Falla de programación equipos                   | 4%                      | Termofusionadora | 3%                      | -                  | -                       |

### 3.2.3 Estadísticas por Disciplina

A continuación se observan las estadísticas, por medio de gráficos de Pareto, de las CNC por disciplina. Estas disciplinas son para los contratos mineros: la minería monofrente y multifrente, para los contratos de infraestructura: los contratos de montaje y piping. También se observa el gráfico de Pareto para la disciplina obras civiles que es común a los contratos mineros y de infraestructura.

#### 3.2.3.1 Minería Monofrente

A partir del análisis estadístico de 12.071 CNC asociadas a tres contratos mineros monofrente, se tiene el gráfico de Pareto de la Figura 22 y para las CNC de mayor frecuencia, la Tabla 13 muestra las subcategorías críticas.

## Pareto de frecuencia de CNC

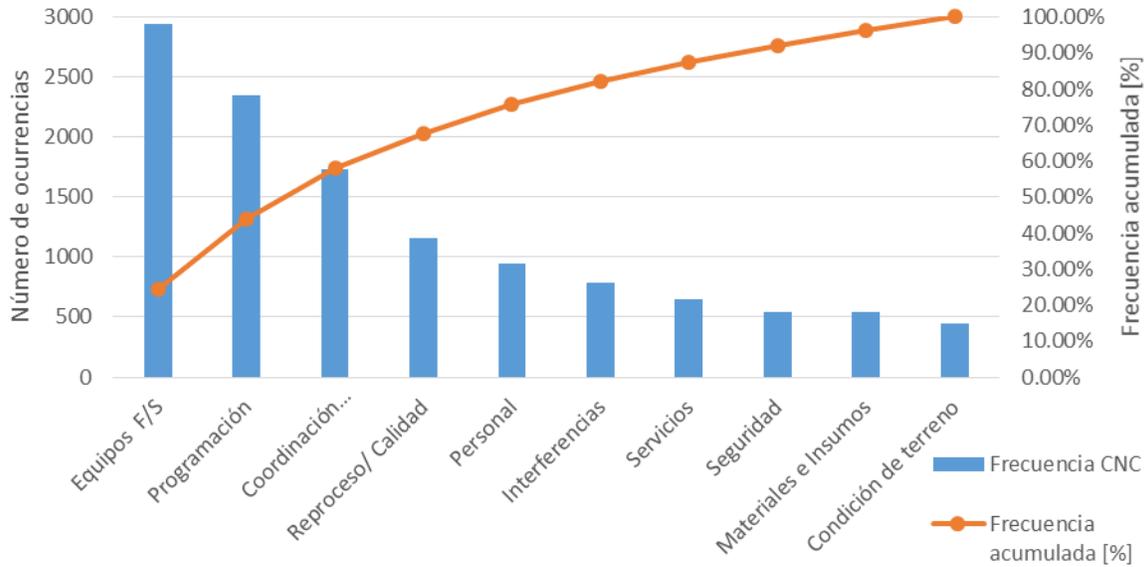


Figura 22: Pareto de frecuencia de CNC para los contratos mineros monofrente.

Tabla 13: Subcategorías de las categorías de CNC de mayor ocurrencia para la disciplina minea monofrente.

| Equipos F/S  |                         | Programación                                    |                         | Coordinación Operacional     |                         |
|--------------|-------------------------|---|-------------------------|------------------------------|-------------------------|
| Subcategoría | Frecuencia relativa [%] | Subcategoría                                    | Frecuencia relativa [%] | Subcategoría                 | Frecuencia relativa [%] |
| Boltec       | 23                      | Falla por tiempo programado                     | 74                      | Actividad previa             | 40                      |
| Jumbo        | 20                      | Falla por cambio en la programación/prioridades | 18                      | Espera de equipos            | 12                      |
| Dumper       | 12                      | Falla de programación equipos                   | 8                       | Equipo ubicación desconocida | 12                      |

### 3.2.3.2 Minería Multifrente

A partir del análisis estadístico de 14.349 CNC asociadas a tres contratos mineros multifrente, se tiene el gráfico de Pareto de la Figura 23 y para las CNC de mayor frecuencia, la Tabla 14 muestra las subcategorías críticas.

## Pareto de frecuencia de CNC

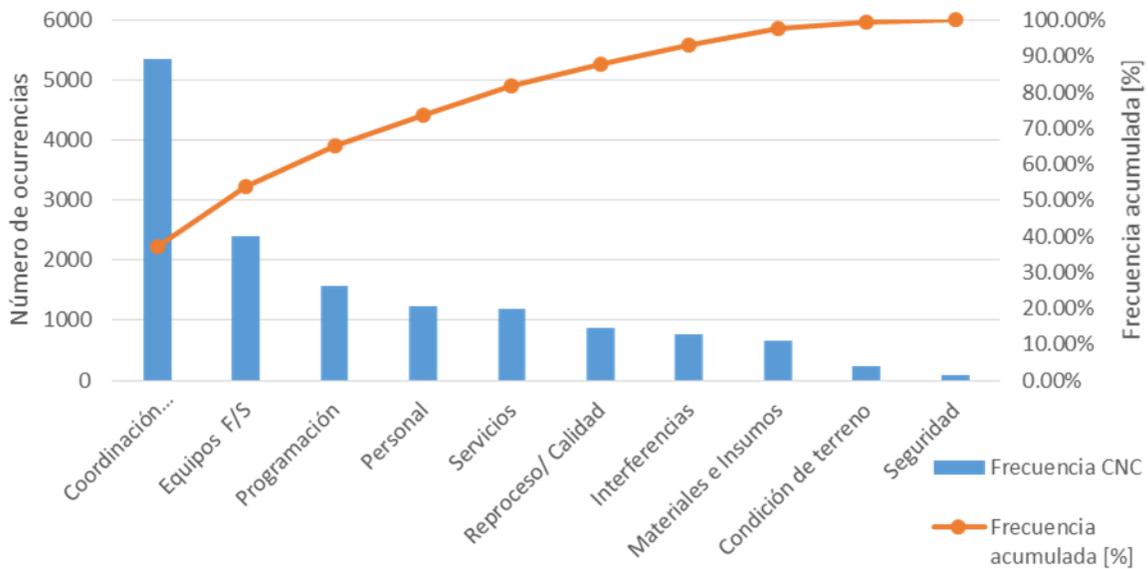


Figura 23: Pareto de frecuencia de CNC para los contratos mineros multifrente.

Tabla 14: Subcategorías de las categorías de CNC de mayor ocurrencia para la disciplina minea multifrente.

| Coordinación Operacional     |                         | Equipo F/S    |                         | Programación                                    |                         |
|------------------------------|-------------------------|---------------|-------------------------|---|-------------------------|
| Subcategoría                 | Frecuencia relativa [%] | Subcategoría  | Frecuencia relativa [%] | Subcategoría                                    | Frecuencia relativa [%] |
| Actividad previa             | 57                      | Jumbo         | 27                      | Falla por cambio en la programación/prioridades | 59                      |
| Mala coordinación de marina  | 19                      | No especifica | 24                      | Falla de programación equipos                   | 28                      |
| Equipo ubicación desconocida | 11                      | Scoop         | 12                      | Falla por tiempo programado                     | 13                      |

### 3.2.3.3 Montaje

A partir del análisis estadístico de 1.715 CNC de la disciplina de montaje asociadas a cuatro contratos, se tiene el gráfico de Pareto de la Figura 24 y para las CNC de mayor frecuencia, la Tabla 15 muestra las subcategorías críticas.

## Pareto de frecuencia de CNC

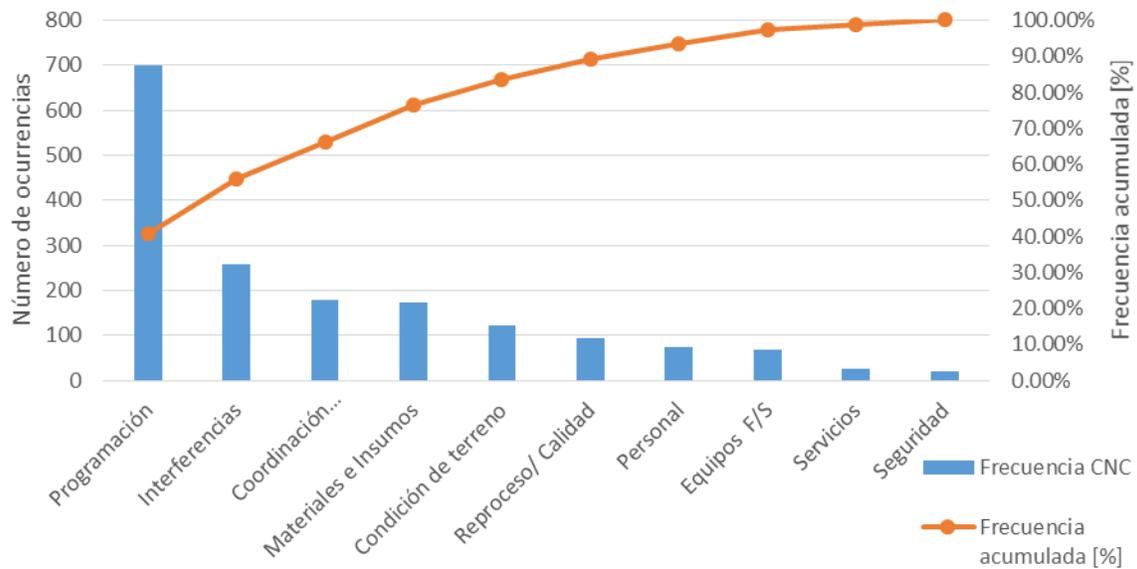


Figura 24: Pareto de frecuencia de CNC para la disciplina montaje.

Tabla 15: Subcategorías de las categorías de CNC de mayor ocurrencia para la disciplina de montaje.

| Programación                                    |                         | Interferencias                |                         | Coordinación Operacional |                         |
|---|-------------------------|-------------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|
| Subcategoría                                    | Frecuencia relativa [%] | Subcategoría                  | Frecuencia relativa [%] | Subcategoría             | Frecuencia relativa [%] |
| Falla por cambio en la programación/prioridades | 73                      | Interferencias Codelco        | 59                      | Actividad previa         | 52                      |
| Falla de programación equipos                   | 18                      | Interferencias otras empresas | 40                      | Falla de coordinación    | 33                      |
| Falla por tiempo programado                     | 5                       | Contingencia nacional         | 1                       | Comunicación deficiente  | 5                       |

### 3.2.3.4 Obras Civiles

A partir del análisis estadístico de 1.005 CNC de la disciplina de obras civiles asociadas a cuatro contratos, se tiene el gráfico de Pareto de la Figura 25 y para las CNC de mayor frecuencia, la Tabla 16 muestra las subcategorías críticas.

## Pareto de frecuencia de CNC

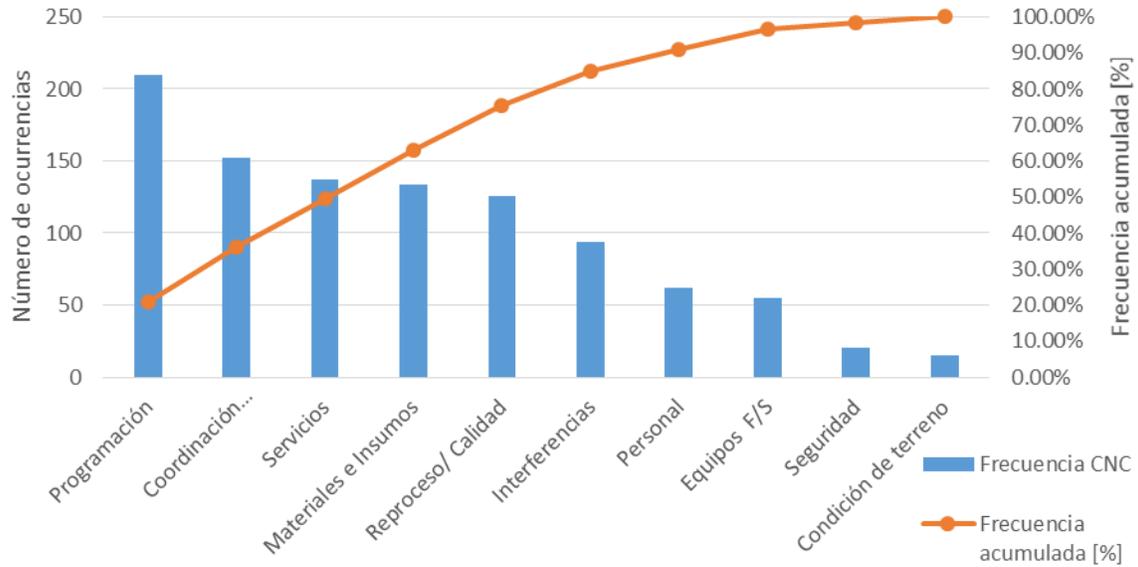


Figura 25: Pareto de frecuencia de CNC para la disciplina de obras civiles.

Tabla 16: Subcategorías de las categorías de CNC de mayor ocurrencia para la disciplina de obras civiles.

| Programación                                    |                         | Coordinación Operacional     |                         | Servicios       |                         |
|---|-------------------------|------------------------------|-------------------------|-----------------|-------------------------|
| Subcategoría                                    | Frecuencia relativa [%] | Subcategoría                 | Frecuencia relativa [%] | Subcategoría    | Frecuencia relativa [%] |
| Falla por cambio en la programación/prioridades | 62                      | Actividad previa             | 71                      | Electricidad    | 46                      |
| Falla por tiempo programado                     | 18                      | Equipo ubicación desconocida | 12                      | Comunicaciones  | 23                      |
| Falla de programación equipos                   | 11                      | Mala coordinación de marina  | 7                       | Instrumentación | 23                      |

### 3.2.3.5 Piping

A partir del análisis estadístico de 1.966 CNC de la disciplina de piping asociadas a tres contratos, se tiene el gráfico de Pareto de la Figura 26 y para las CNC de mayor frecuencia, la Tabla 17 muestra las subcategorías críticas.

## Pareto de frecuencia de CNC

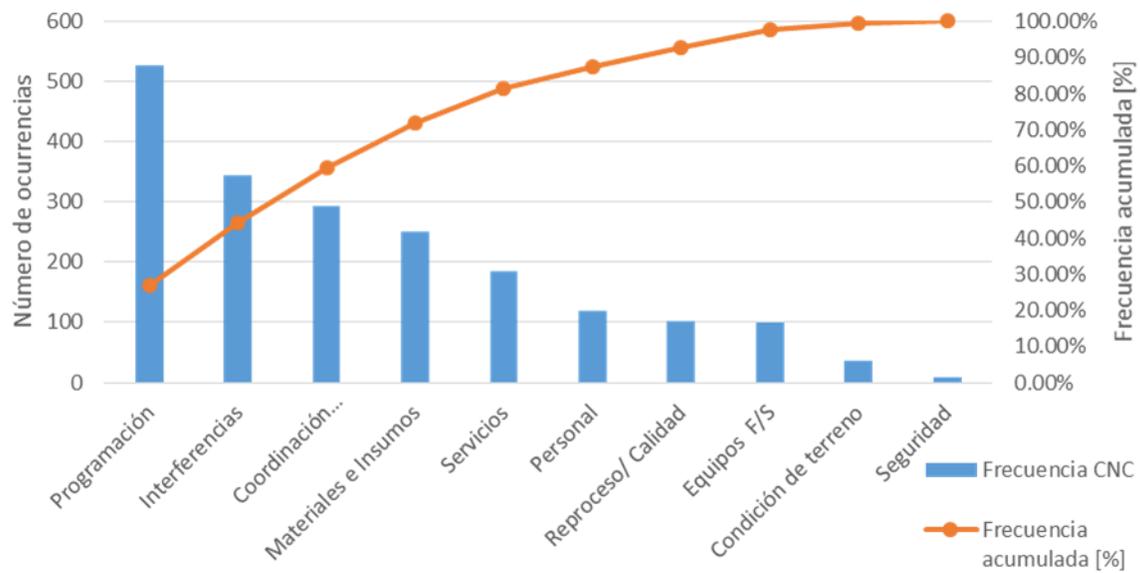


Figura 26: Pareto de frecuencia de CNC para la disciplina de Piping.

Tabla 17: Subcategorías de las categorías de CNC de mayor ocurrencia para la disciplina de piping.

| Programación                                    |                         | Interferencias                |                         | Coordinación Operacional |                         |
|---|-------------------------|-------------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|
| Subcategoría                                    | Frecuencia relativa [%] | Subcategoría                  | Frecuencia relativa [%] | Subcategoría             | Frecuencia relativa [%] |
| Falla por cambio en la programación/prioridades | 49                      | Interferencias otras empresas | 91                      | Actividad previa         | 47                      |
| Falla de programación equipos                   | 18                      | Interferencias Codelco        | 9                       | Falla de coordinación    | 14                      |
| Falla por tiempo programado                     | 18                      | -                             | -                       | Comunicación deficiente  | 13                      |

### 3.2.4 Estadísticas de los contratos PMCHS

En esta sección se observa el análisis estadísticos de las CNC de los contratos de PMCHS. Estos contratos son dos contratos mineros y tres de infraestructura.

#### 3.2.4.1 CC010

Se realiza el análisis estadístico de la información recopilada del contrato CC10, que incluye información de toda la duración del contrato. Este contrato no documenta el impacto de cada CNC, por lo tanto se realiza un análisis de este en función del reporte de avances.

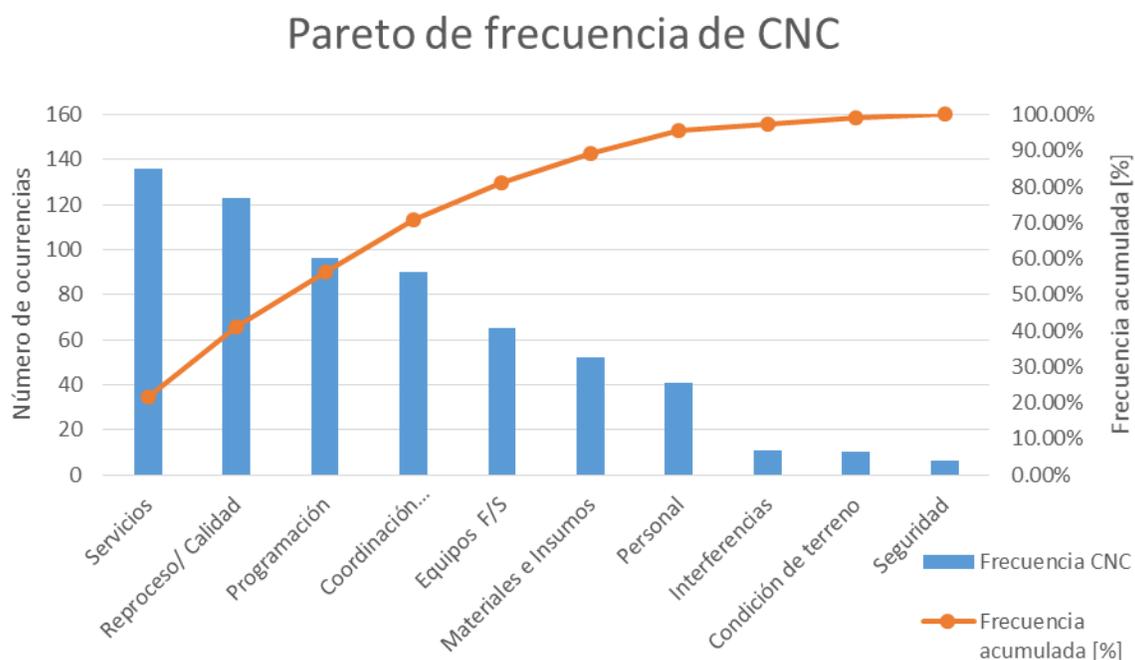


Figura 27: Pareto de frecuencia de CNC, contrato CC10.

Tabla 18: Subcategorías de las categorías de CNC de mayor ocurrencia para el contrato CC10.

| Servicios       |                         | Reproceso/Calidad  |                         | Programación                                    |                         |
|-----------------|-------------------------|--------------------|-------------------------|---|-------------------------|
| Subcategoría    | Frecuencia relativa [%] | Subcategoría       | Frecuencia relativa [%] | Subcategoría                                    | Frecuencia relativa [%] |
| Electricidad    | 68                      | Calidad            | 67                      | Falla por cambio en la programación/prioridades | 93                      |
| Agua industrial | 15                      | Terminaciones      | 8                       | Falla de programación equipos                   | 4                       |
| Instrumentación | 10                      | Sin procedimientos | 6                       | Falla por tiempo programado                     | 3                       |

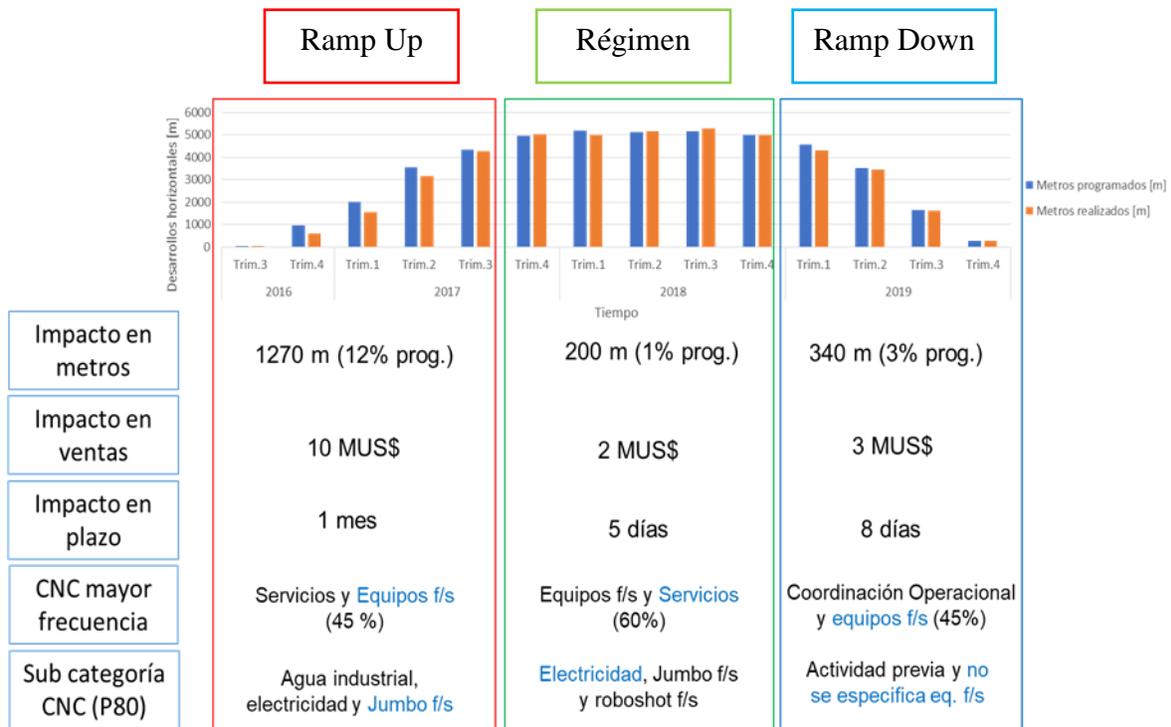


Figura 28: Identificación de las CNC críticas y cuantificación del impacto por etapa del contrato, contrato CC10.

### 3.2.4.2 CC013

Se realiza el análisis estadístico de la información recopilada del contrato CC13, la cual se distribuye en 13 meses que corresponden al régimen del contrato. Este contrato no documenta el impacto de cada CNC, por lo tanto se realiza un análisis de este en función del reporte de avances.

## Pareto de frecuencia de CNC

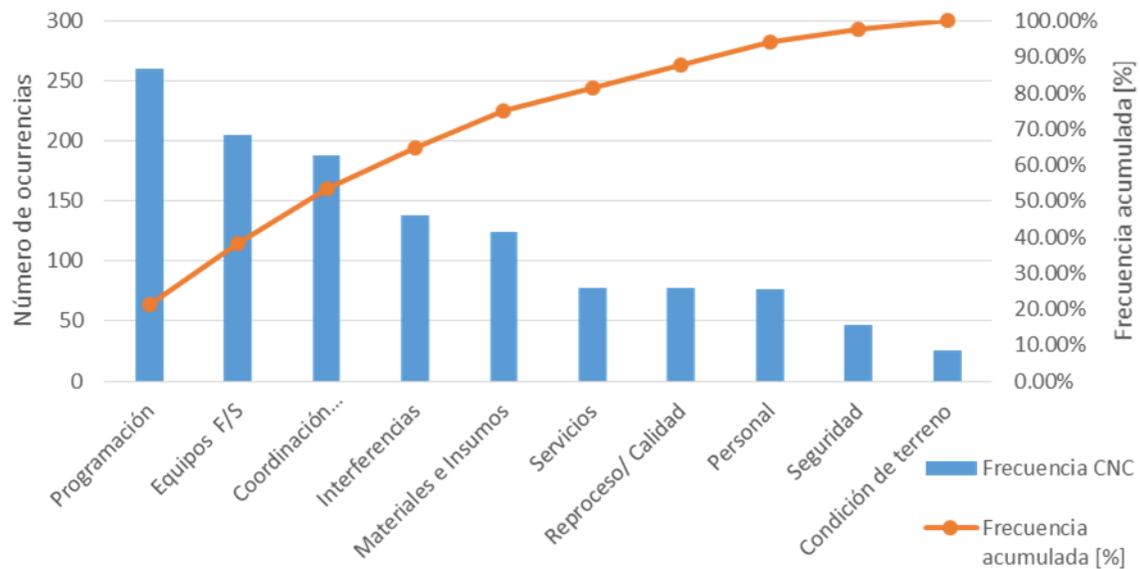


Figura 29: Pareto de frecuencia de CNC, contrato CC13.

Tabla 19: Subcategorías de las categorías de CNC de mayor ocurrencia para el contrato CC13.

| Programación                                    |                         | Equipos F/S   |                         | Coordinación Operacional        |                         |
|---|-------------------------|---------------|-------------------------|---------------------------------|-------------------------|
| Subcategoría                                    | Frecuencia relativa [%] | Subcategoría  | Frecuencia relativa [%] | Subcategoría                    | Frecuencia relativa [%] |
| Falla por cambio en la programación/prioridades | 75                      | No especifica | 36                      | Actividad previa                | 36                      |
| Falla de programación equipos                   | 21                      | Jumbo         | 29                      | Mala coordinación de marina     | 13                      |
| Falla por tiempo programado                     | 2                       | Perforadora   | 8                       | Coordinación equipo de traslado | 11                      |

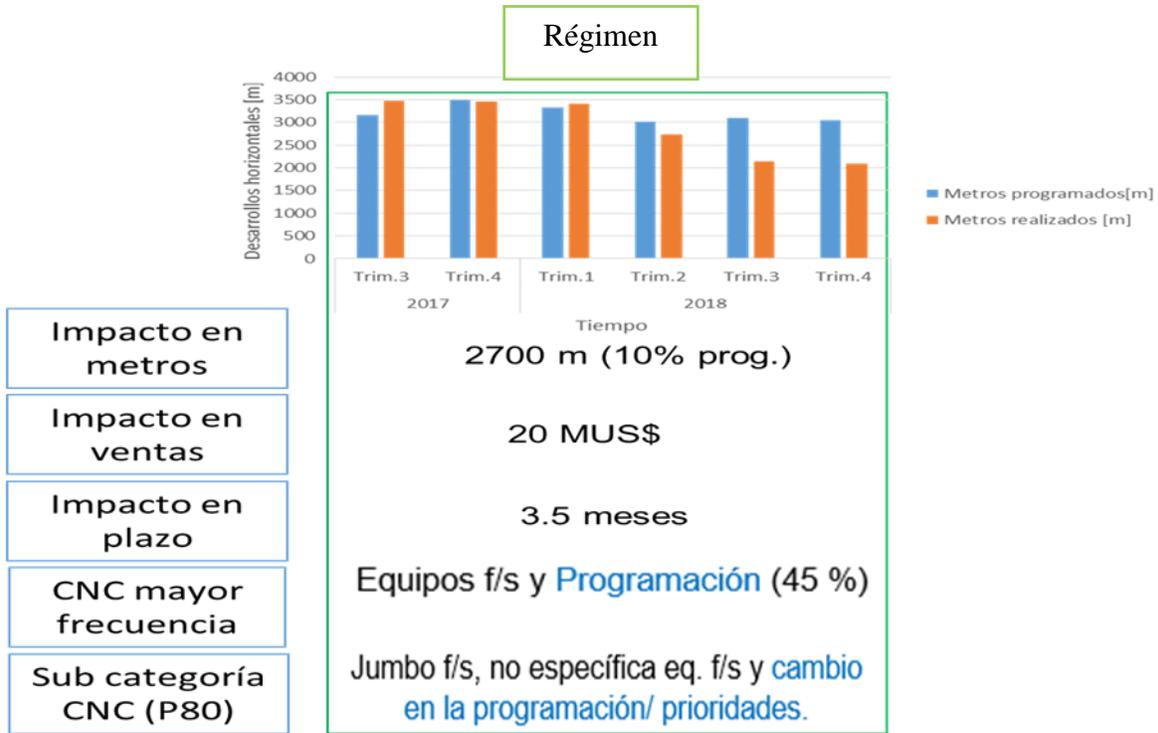


Figura 30: Identificación de las CNC críticas y cuantificación del impacto por etapa del contrato, contrato CC13.

### 3.2.4.3 CC23B

Se realiza el análisis estadístico de la información recopilada del contrato CC23B, la cual se distribuye en 12 semanas que corresponden al término del régimen y comienzo del ramp down del contrato. Este contrato cuantifica el impacto en HH de cada CNC, por lo tanto además del Pareto de frecuencia se utiliza el diagrama de Jackknife.

## Pareto de frecuencia de CNC

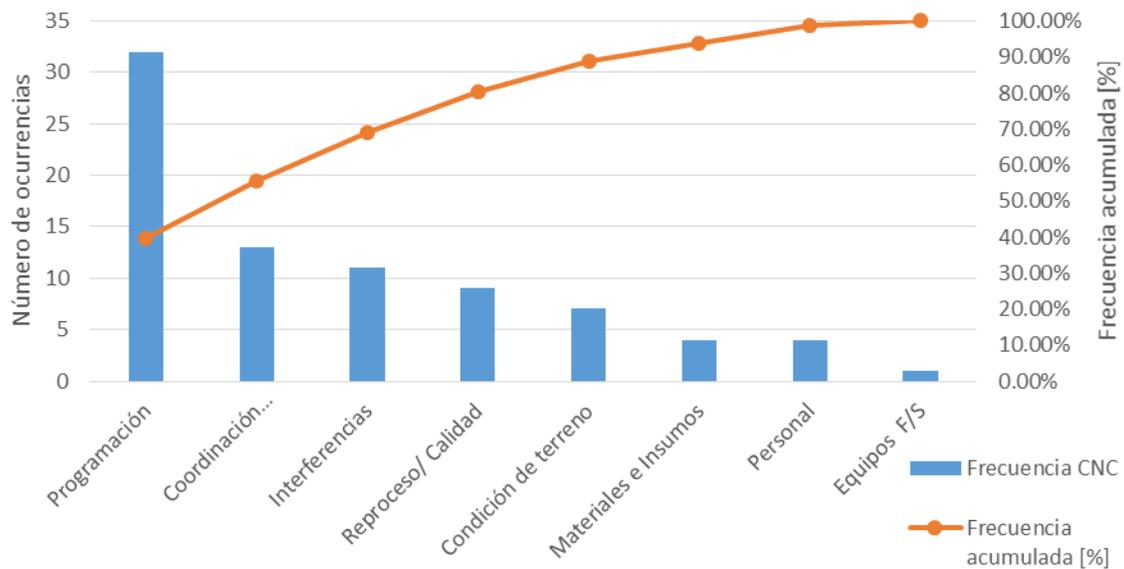


Figura 31: Pareto de frecuencia de CNC, contrato CC23B.

Tabla 20: Subcategorías de las categorías de CNC de mayor ocurrencia para el contrato CC23B.

| Programación                                    |                         | Coordinación Operacional |                         | Interferencias                |                         |
|---|-------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| Subcategoría                                    | Frecuencia relativa [%] | Subcategoría             | Frecuencia relativa [%] | Subcategoría                  | Frecuencia relativa [%] |
| Falla por cambio en la programación/prioridades | 88                      | Actividad previa         | 54                      | Interferencias otras empresas | 82                      |
| Ingeniería y diseño                             | 9                       | Comunicación deficiente  | 38                      | Interferencias Codelco        | 18                      |
| Falla por tiempo programado                     | 3                       | Disponibilidad de frente | 8                       | -                             | -                       |

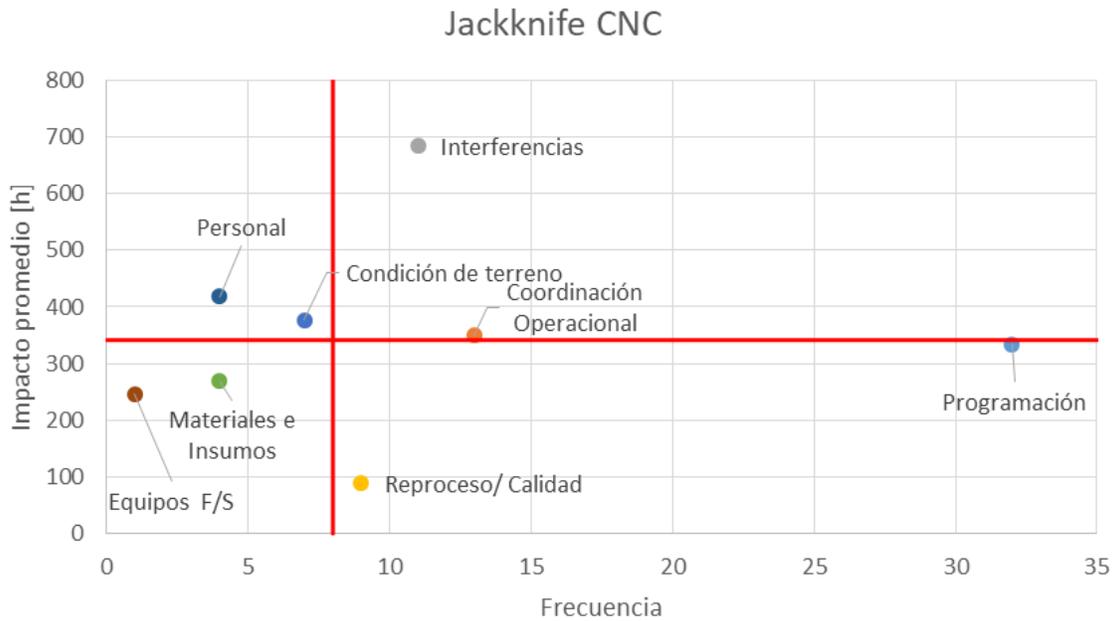


Figura 32: Diagrama de Jackknife de CNC, contrato CC23B.

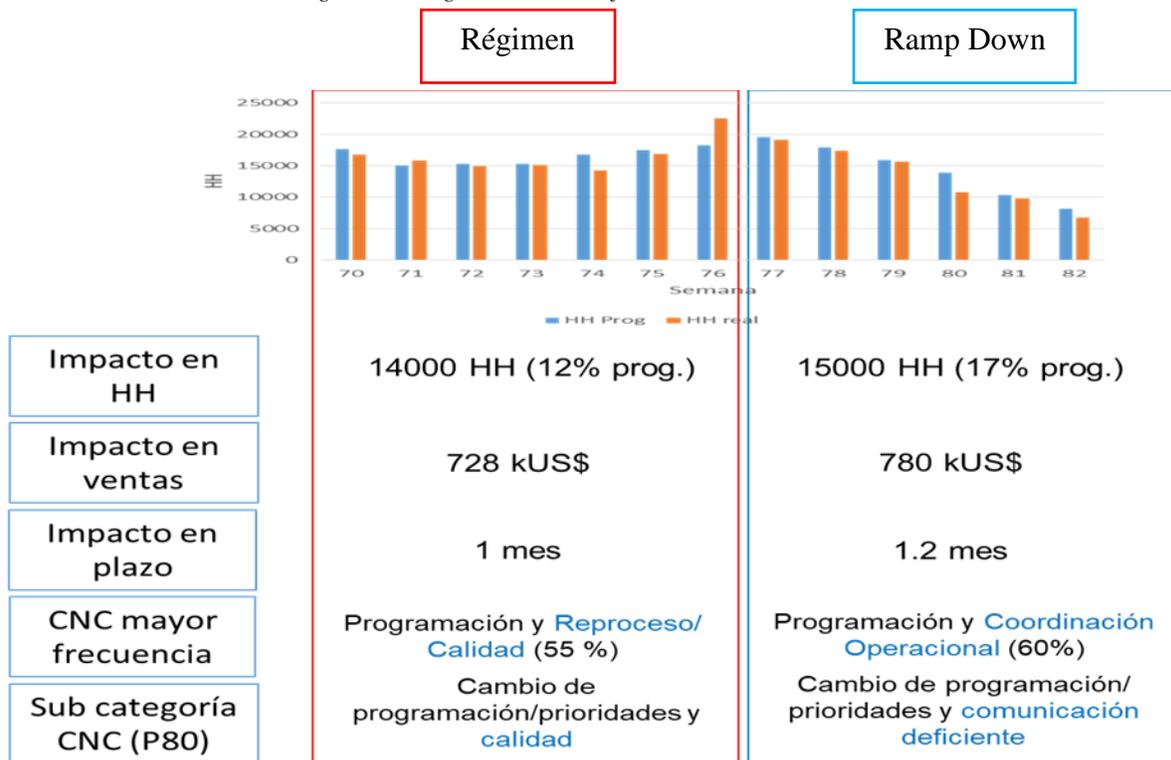


Figura 33: Identificación de las CNC críticas y cuantificación del impacto por etapa del contrato, contrato CC23B.

#### 3.2.4.4 CC24B

Se realiza el análisis estadístico de la información recopilada del contrato CC24B, la cual se distribuye en 17 meses que corresponden al desarrollo de la línea 1 y línea 3 de chancado y manejo de materiales. Este contrato cuantifica el impacto en HH de las CNC de la línea 3, por lo cual para esta parte del contrato se utiliza el diagrama de Jackknife.

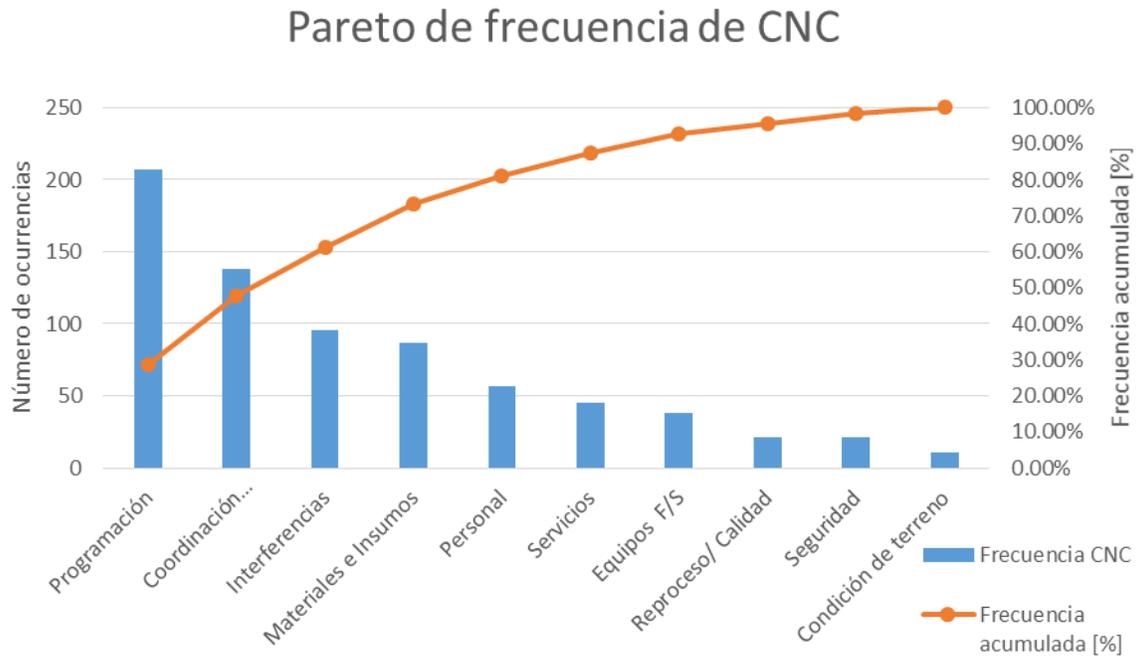


Figura 34: Pareto de frecuencia de CNC, contrato CC24B.

Tabla 21: Subcategorías de las categorías de CNC de mayor ocurrencia para el contrato CC24B.

| Programación                                    |                         | Coordinación Operacional     |                         | Interferencias                |                         |
|---|-------------------------|------------------------------|-------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| Subcategoría                                    | Frecuencia relativa [%] | Subcategoría                 | Frecuencia relativa [%] | Subcategoría                  | Frecuencia relativa [%] |
| Falla por cambio en la programación/prioridades | 67                      | Actividad previa             | 80                      | Interferencias otras empresas | 90                      |
| Falla por tiempo programado                     | 18                      | Falla de coordinación        | 4                       | Interferencias Codelco        | 8                       |
| Falla de programación equipos                   | 12                      | Equipo ubicación desconocida | 4                       | Contingencia nacional         | 2                       |

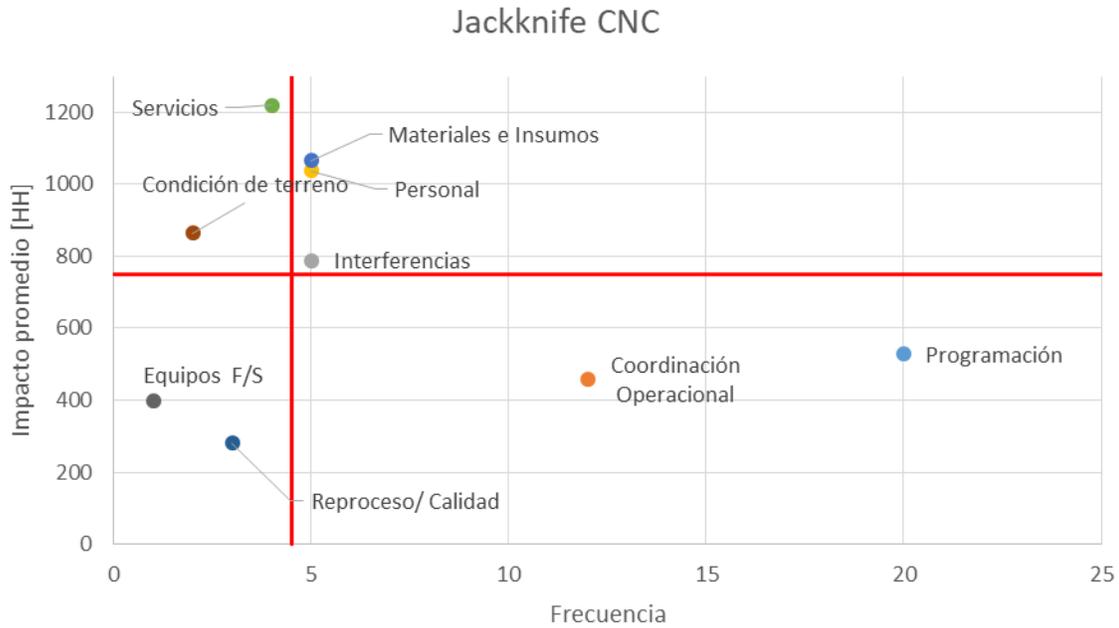


Figura 35: Diagrama de Jackknife de CNC, línea 3 contrato CC24B.

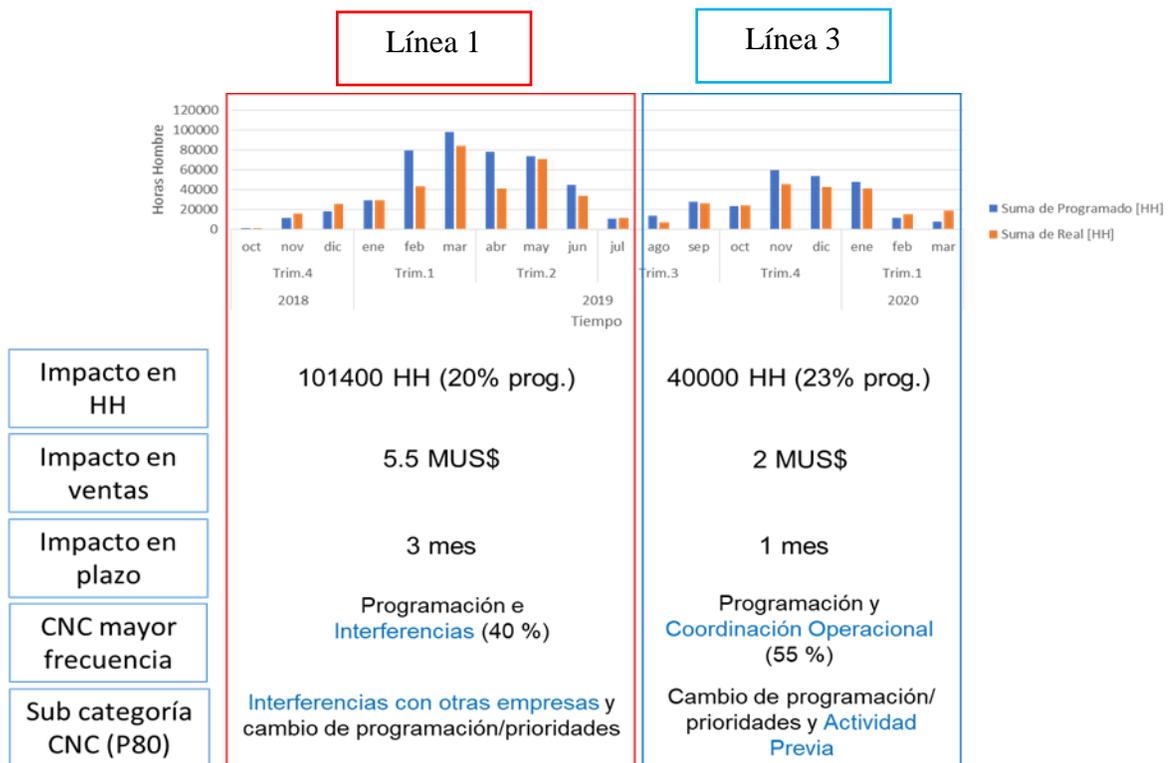


Figura 36: Identificación de las CNC críticas y cuantificación del impacto por etapa del contrato, contrato CC24B.

### 3.2.4.5 CC51

Se realiza el análisis estadístico de la información recopilada del contrato CC51, la cual se distribuye en 7 meses que corresponden al inicio y régimen del contrato. Este contrato cuantifica el impacto de las CNC en HH, por lo cual se utiliza el diagrama de Jackknife.

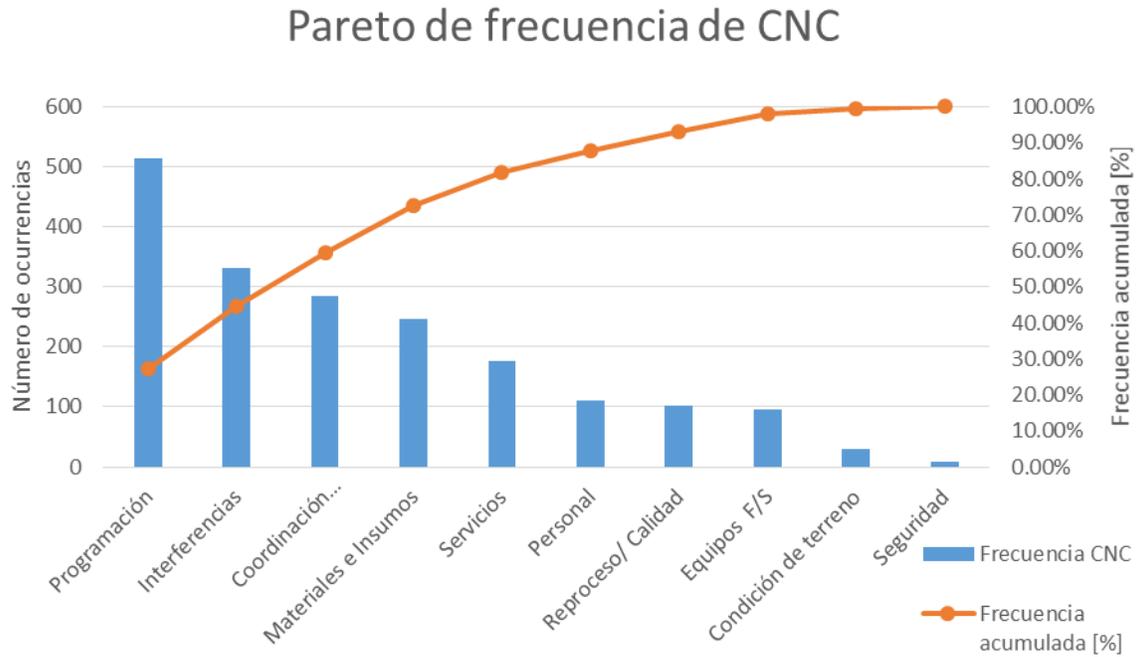


Figura 37: Pareto de frecuencia de CNC, contrato CC51.

Tabla 22: Subcategorías de las categorías de CNC de mayor ocurrencia para el contrato CC51.

| Programación                                    |                         | Interferencias                |                         | Coordinación Operacional |                         |
|---|-------------------------|-------------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|
| Subcategoría                                    | Frecuencia relativa [%] | Subcategoría                  | Frecuencia relativa [%] | Subcategoría             | Frecuencia relativa [%] |
| Falla por cambio en la programación/prioridades | 49                      | Interferencias otras empresas | 92                      | Actividad previa         | 47                      |
| Falla de programación equipos                   | 19                      | Interferencias Codelco        | 8                       | Falla de coordinación    | 14                      |
| Falla por tiempo programado                     | 18                      | -                             | -                       | Comunicación deficiente  | 14                      |

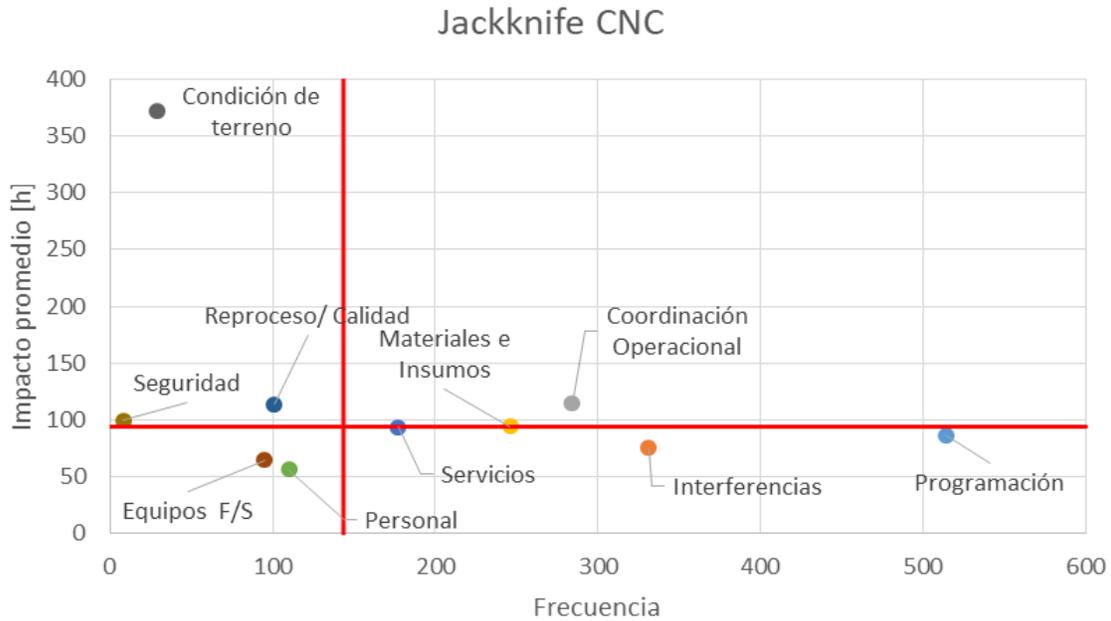


Figura 38: Diagrama de Jackknife de CNC, contrato CC51.

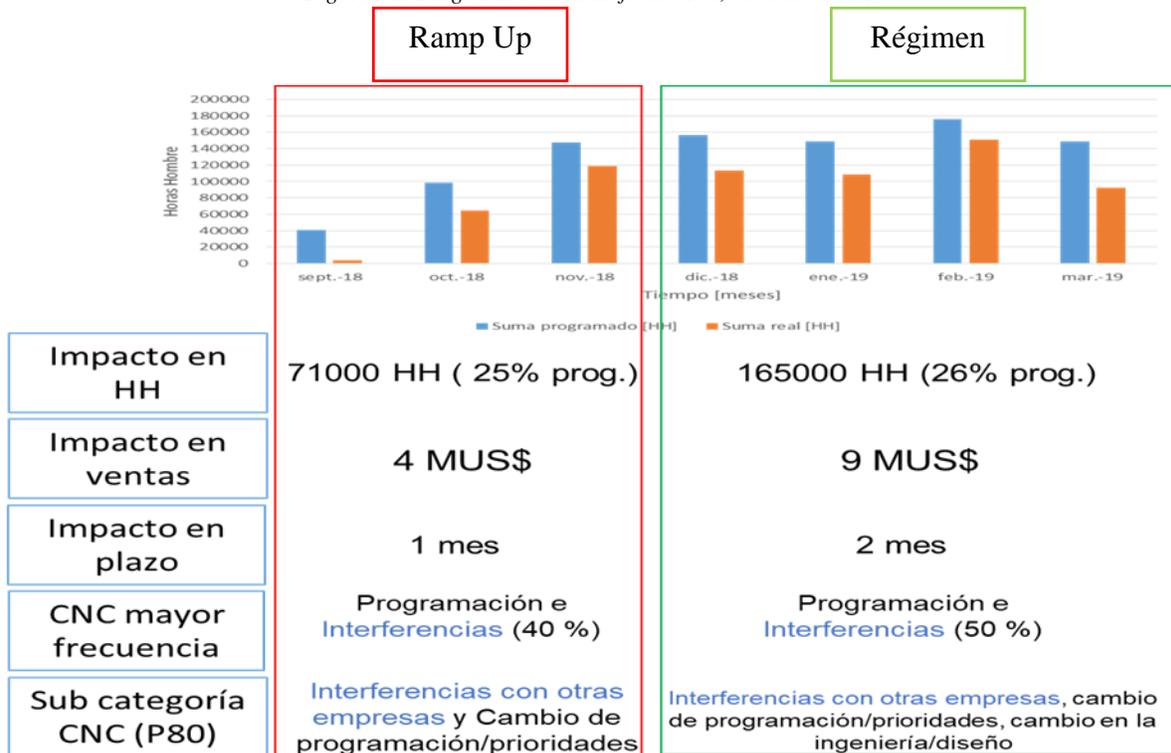


Figura 39: Identificación de las CNC críticas y cuantificación del impacto por etapa del contrato, contrato CC51.

### 3.2.5 Estadísticas de los contratos Andes Norte NNM

En esta sección se observa el análisis estadísticos de las CNC de los contratos de Andes Norte NNM. Estos contratos son cuatro contratos mineros.

#### 3.2.5.1 CC081

Se realiza el análisis estadístico de la información recopilada del contrato CC81, la cual se distribuye en diez meses que corresponden al ramp up y comienzo del régimen del contrato. Este contrato cuantifica el impacto de las CNC en horas, por lo cual se utiliza el diagrama de Jackknife.

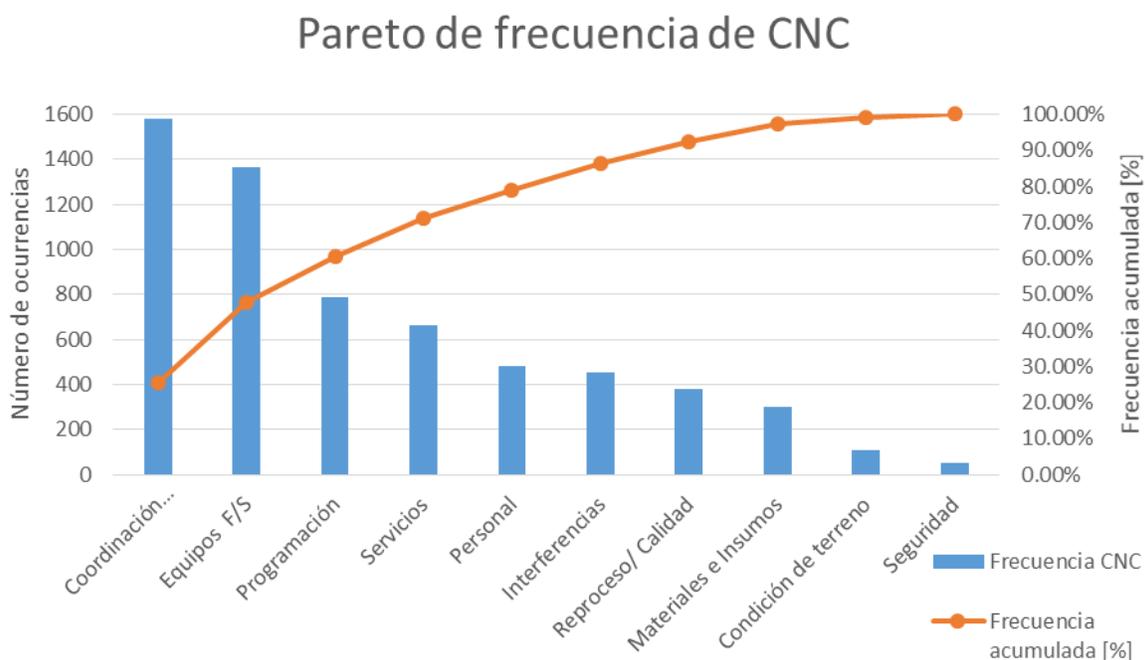


Figura 40: Pareto de frecuencia de CNC, contrato CC81.

Tabla 23: Subcategorías de las categorías de CNC de mayor ocurrencia para el contrato CC81.

| Coordinación Operacional     |                         | Equipos F/S   |                         | Programación                                    |                         |
|------------------------------|-------------------------|---------------|-------------------------|---|-------------------------|
| Subcategoría                 | Frecuencia relativa [%] | Subcategoría  | Frecuencia relativa [%] | Subcategoría                                    | Frecuencia relativa [%] |
| Mala coordinación de marina  | 46                      | Jumbo         | 28                      | Falla por cambio en la programación/prioridades | 68                      |
| Equipo ubicación desconocida | 24                      | No especifica | 20                      | Falla de programación equipos                   | 24                      |
| Actividad previa             | 11                      | Scoop         | 15                      | Falla por tiempo programado                     | 8                       |

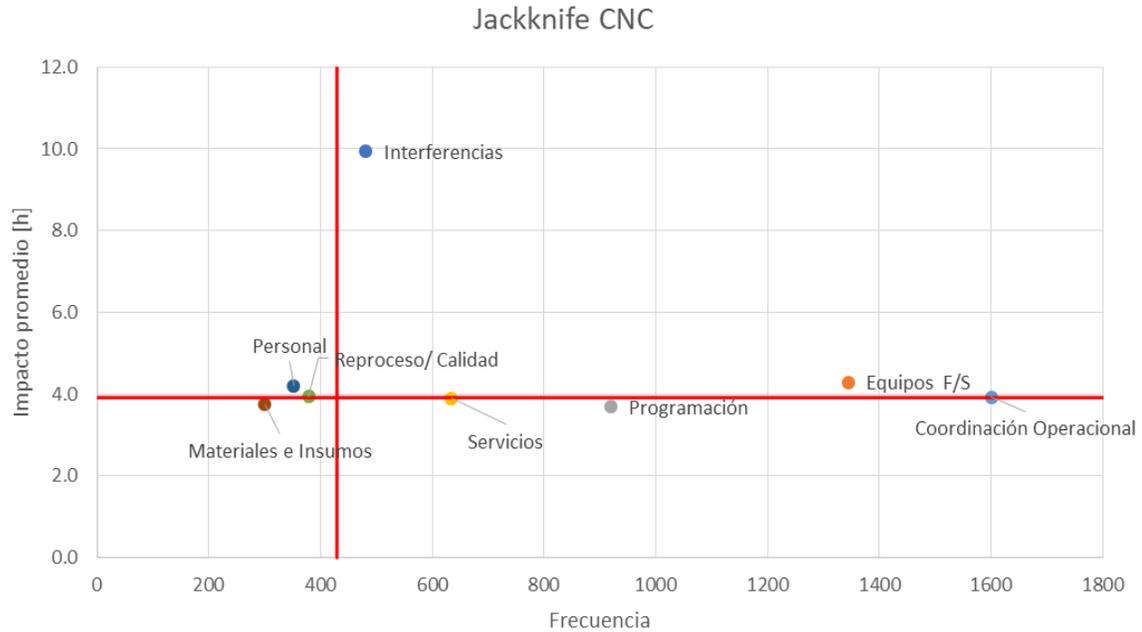


Figura 41: Diagrama de Jackknife de CNC, contrato CC81.

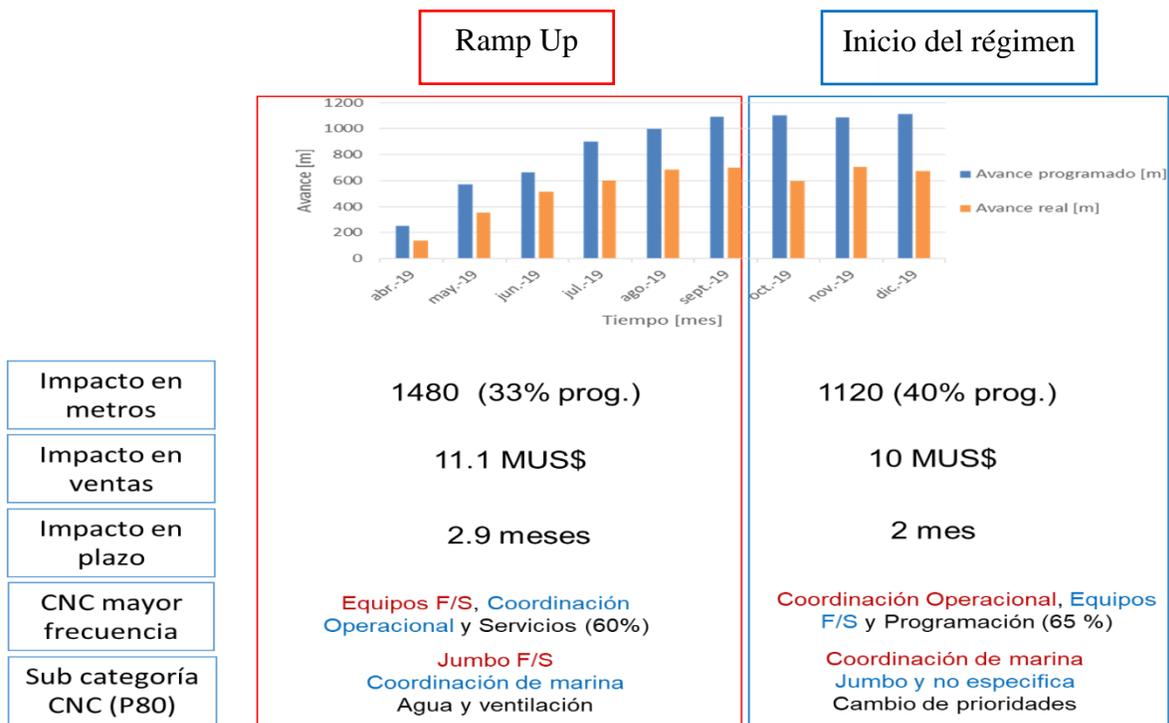


Figura 42: Identificación de las CNC críticas y cuantificación del impacto por etapa del contrato, contrato CC81.

### 3.2.5.2 CC082

Se realiza el análisis estadístico de la información recopilada del contrato CC82, la cual se distribuye en ocho meses que corresponden al ramp up y comienzo del

régimen del contrato. Este contrato cuantifica el impacto de las CNC en número de disparos, por lo cual se utiliza el diagrama de Jackknife.

### Pareto de frecuencia de CNC

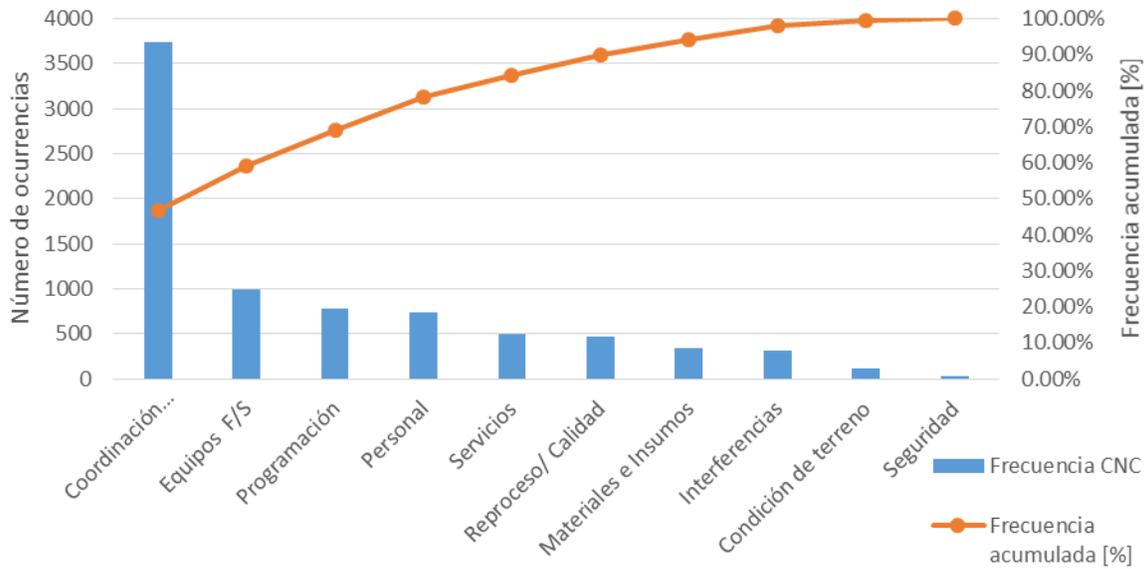


Figura 43: Pareto de frecuencia de CNC, contrato CC82.

Tabla 24: Subcategorías de las categorías de CNC de mayor ocurrencia para el contrato CC82.

| Coordinación Operacional     |                         | Equipos F/S   |                         | Programación                                    |                         |
|------------------------------|-------------------------|---------------|-------------------------|---|-------------------------|
| Subcategoría                 | Frecuencia relativa [%] | Subcategoría  | Frecuencia relativa [%] | Subcategoría                                    | Frecuencia relativa [%] |
| Actividad previa             | 77                      | No especifica | 29                      | Falla por cambio en la programación/prioridades | 51                      |
| Mala coordinación de marina  | 7                       | Jumbo         | 26                      | Falla de programación equipos                   | 32                      |
| Equipo ubicación desconocida | 6                       | Scoop         | 8                       | Falla por tiempo programado                     | 17                      |

### Jackknife CNC

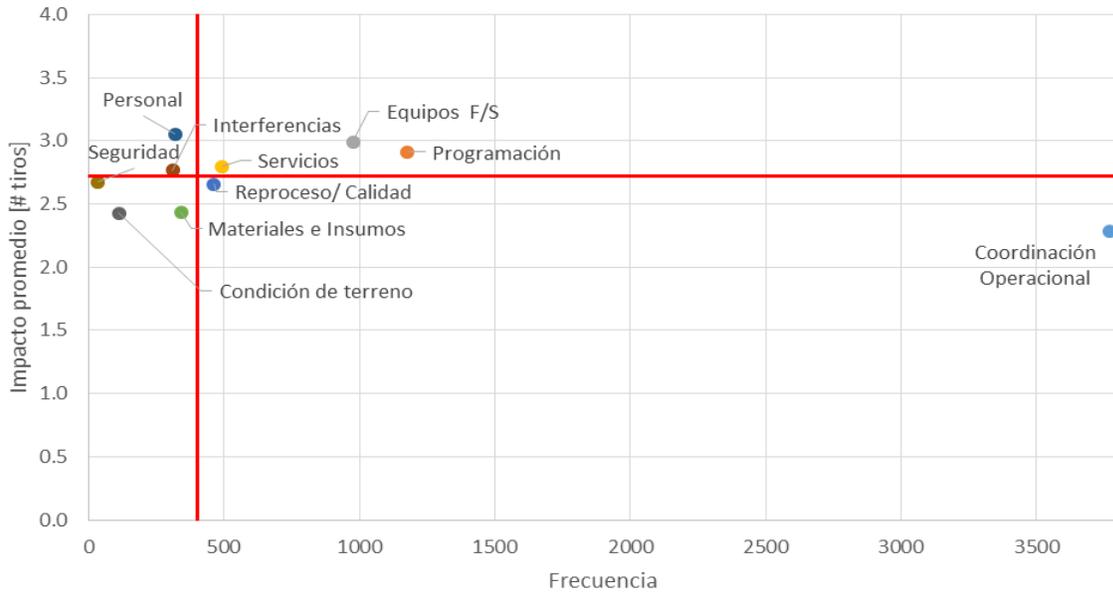


Figura 44: Diagrama de Jackknife de CNC, contrato CC82.

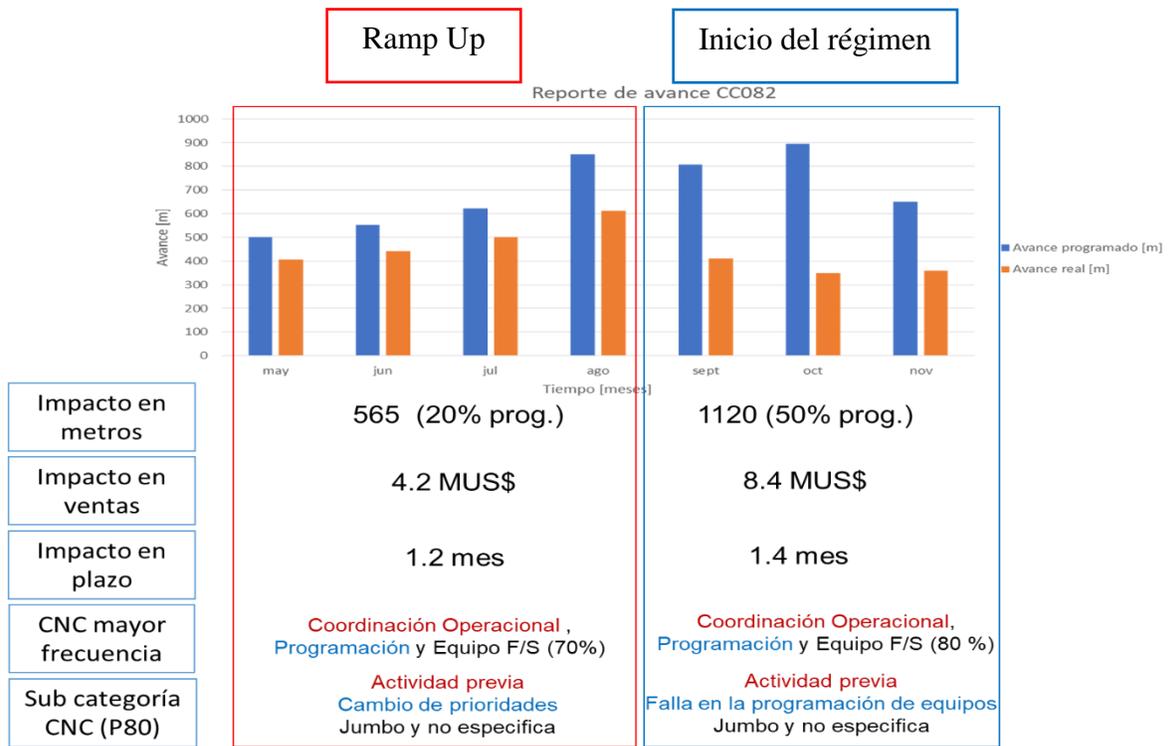


Figura 45: Identificación de las CNC críticas y cuantificación del impacto por etapa del contrato, contrato CC82.

### 3.2.5.3 CC085

Se realiza el análisis estadístico de la información recopilada del contrato CC85, la cual se distribuye en cinco meses que corresponden al régimen del contrato. Este

contrato cuantifica el impacto de las CNC en horas, por lo cual se utiliza el diagrama de Jackknife.

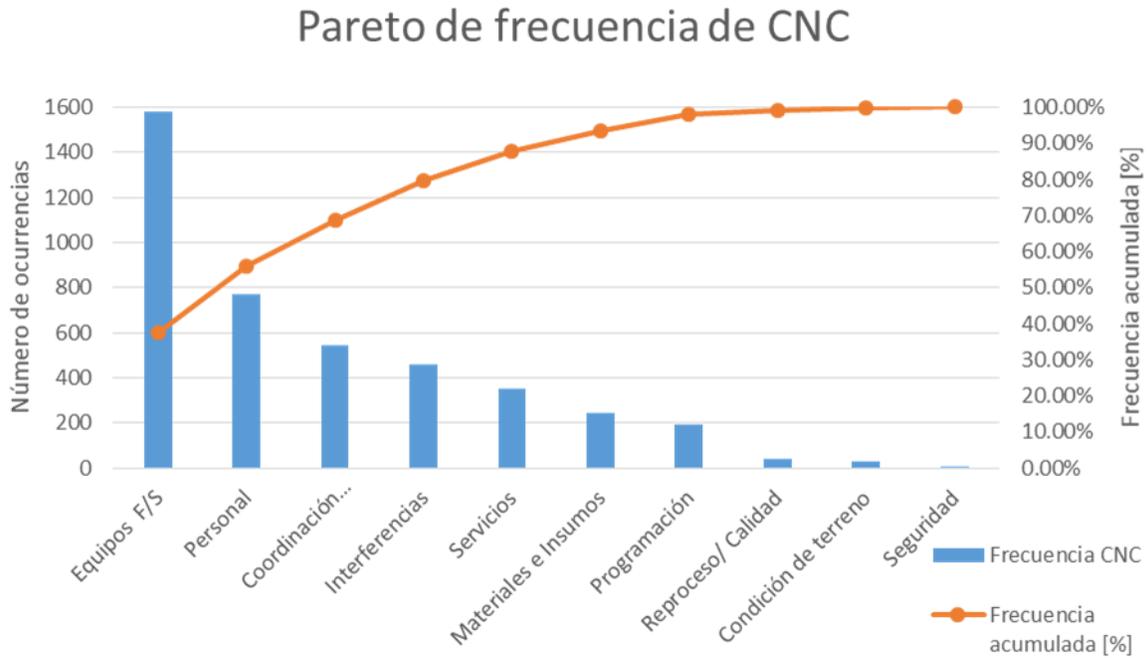


Figura 46: Pareto de frecuencia de CNC, contrato CC85.

Tabla 25: Subcategorías de las categorías de CNC de mayor ocurrencia para el contrato CC85.

| Equipos F/S  |                         | Personal                  |                         | Coordinación Operacional        |                         |
|--------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------------|-------------------------|
| Subcategoría | Frecuencia relativa [%] | Subcategoría              | Frecuencia relativa [%] | Subcategoría                    | Frecuencia relativa [%] |
| Dumper       | 22                      | Falta operador/mantenedor | 84                      | Coordinación equipo de traslado | 32                      |
| Jumbo        | 17                      | Personal sin acreditar    | 13                      | Equipo ubicación desconocida    | 30                      |
| Scoop        | 16                      | Paro de trabajadores      | 1                       | Mala coordinación de marina     | 20                      |

### Jackknife CNC

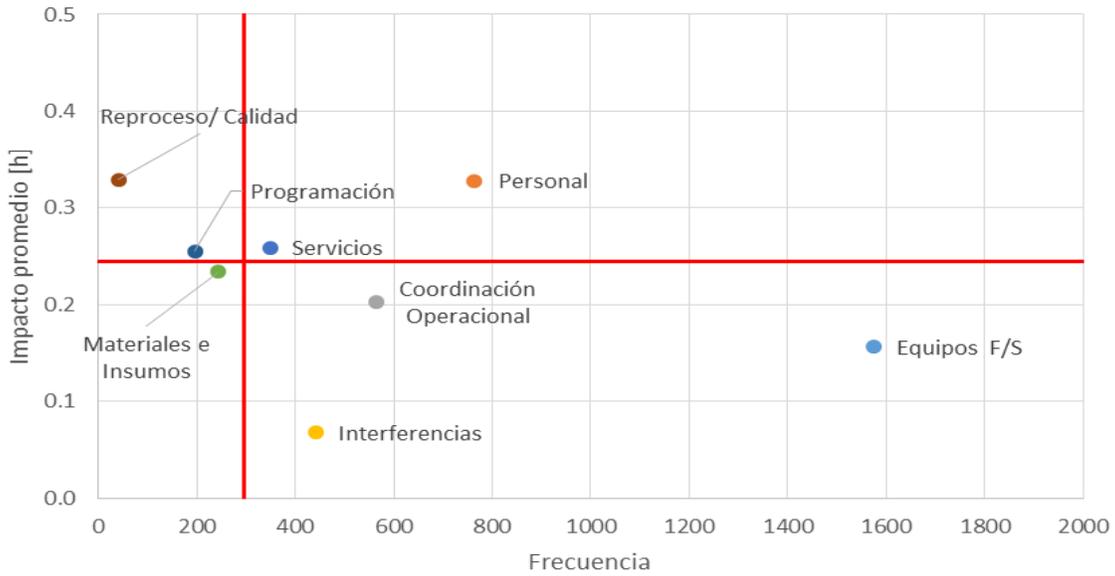


Figura 47: Diagrama de Jackknife de CNC, contrato CC85

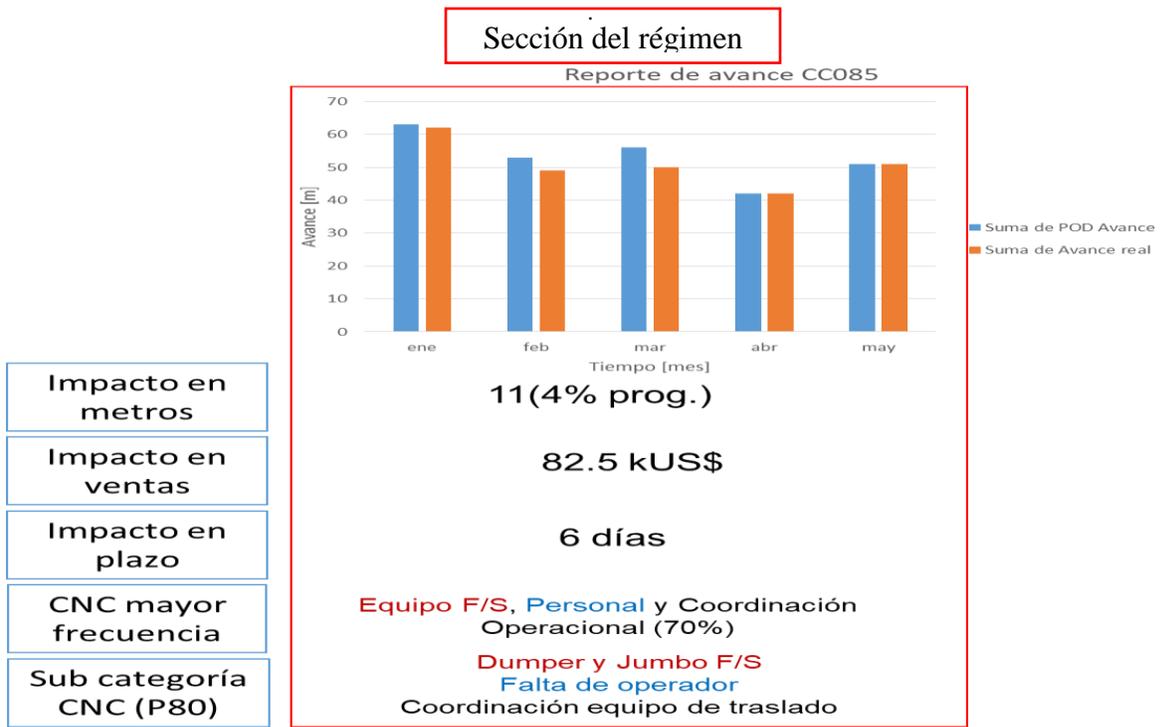


Figura 48: Identificación de las CNC críticas y cuantificación del impacto por etapa del contrato, contrato CC85

### 3.2.5.4 CC086

Se realiza el análisis estadístico de la información recopilada del contrato CC86, la cual se distribuye en 13 meses. Este contrato cuantifica el impacto de las CNC en

HH, por lo cual se utiliza el diagrama de Jackknife, pero no es posible acceder a los reportes de avance lo que implica que no se identifican las CNC críticas por etapa del contrato.

### Pareto de frecuencia de CNC

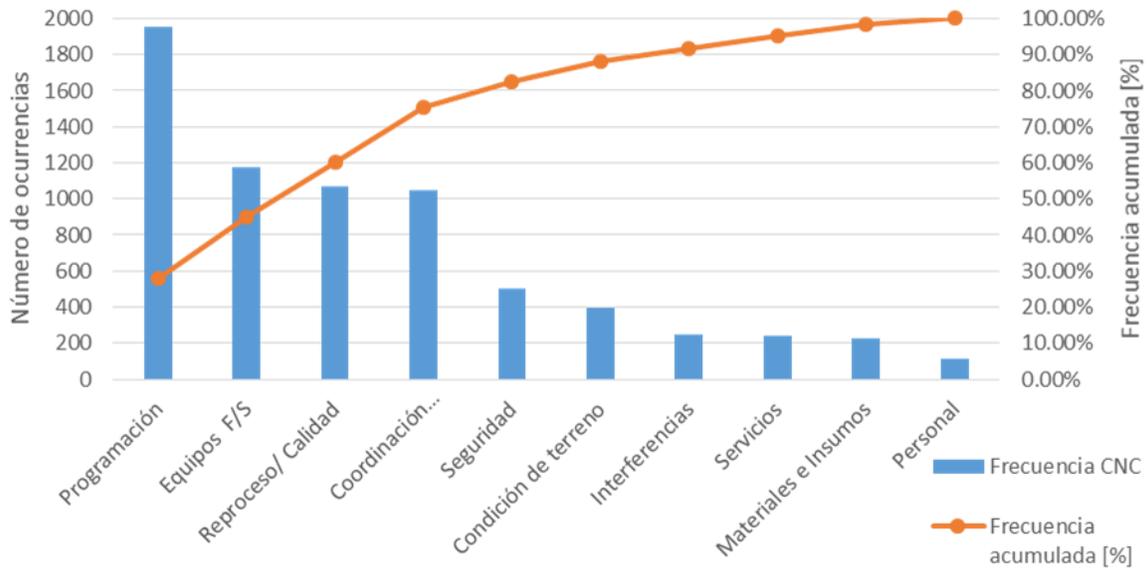


Figura 49: Pareto de frecuencia de CNC, contrato CC86.

Tabla 26: Subcategorías de las categorías de CNC de mayor ocurrencia para el contrato CC86.

| Programación                                    |                         | Equipos F/S  |                         | Reproceso/Calidad |                         |
|---|-------------------------|--------------|-------------------------|-------------------|-------------------------|
| Subcategoría                                    | Frecuencia relativa [%] | Subcategoría | Frecuencia relativa [%] | Subcategoría      | Frecuencia relativa [%] |
| Falla por tiempo programado                     | 87                      | Boltec       | 57                      | Saneamiento       | 61                      |
| Falla por cambio en la programación/prioridades | 13                      | Jumbo        | 23                      | Re fortificar     | 22                      |
| -   | -                       | Scoop        | 6                       | Calidad           | 9                       |

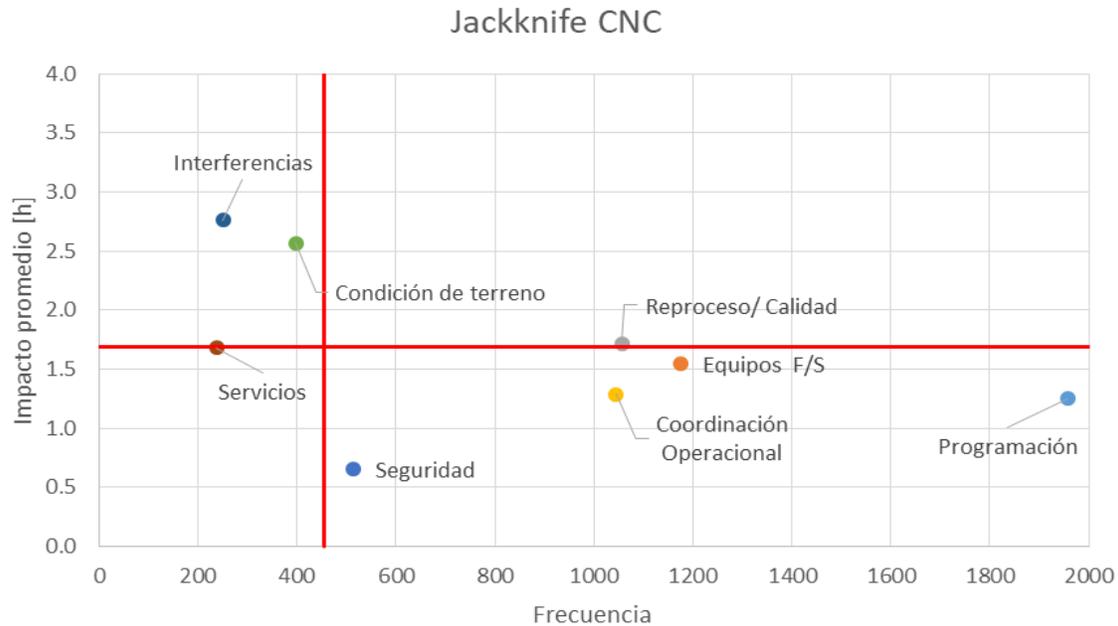


Figura 50: Diagrama de Jackknife de CNC, contrato CC86.

### 3.2.6 Estadísticas de los contratos Proyecto Talabre Etapa VIII

En esta sección se observa el análisis estadísticos de las CNC de los contratos del Proyecto Talabre Etapa VIII. Estos contratos son un contrato de movimiento de tierra y un contrato minero.

#### 3.2.6.1 CC001

Se realiza el análisis estadístico de la información recopilada del contrato CC001, la cual se distribuye en 16 meses. Este contrato cuantifica el impacto de las CNC en  $m^3$ , por lo cual se utiliza el diagrama de Jackknife, pero no es posible adquirir los reportes de avance por lo que no se identifican las CNC críticas por etapa del contrato.

## Pareto de frecuencia de CNC

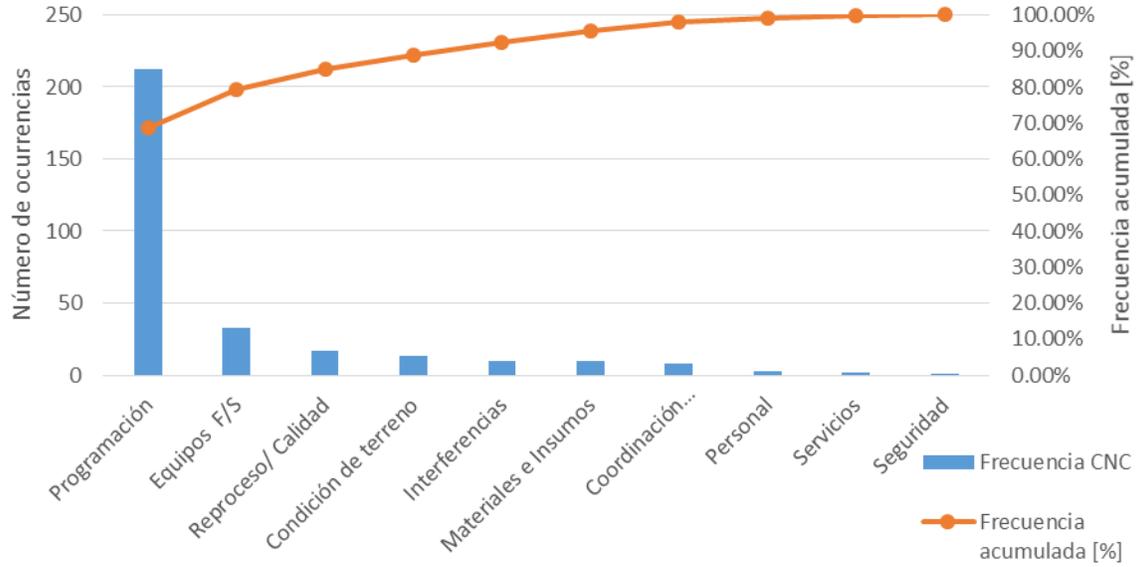


Figura 51: Pareto de frecuencia de CNC, contrato CC001.

Tabla 27: Subcategorías de las categorías de CNC de mayor ocurrencia para el contrato CC001.

| Programación                                    |                         | Equipos F/S      |                         | Reproceso/Calidad  |                         |
|---|-------------------------|------------------|-------------------------|--------------------|-------------------------|
| Subcategoría                                    | Frecuencia relativa [%] | Subcategoría     | Frecuencia relativa [%] | Subcategoría       | Frecuencia relativa [%] |
| Falla por cambio en la programación/prioridades | 90                      | No especifica    | 91                      | Sin procedimientos | 100                     |
| Ingeniería y diseño                             | 5                       | Retroexcavadora  | 6                       | -                  | -                       |
| Falla de programación equipos                   | 4                       | Termofusionadora | 3                       | -                  | -                       |

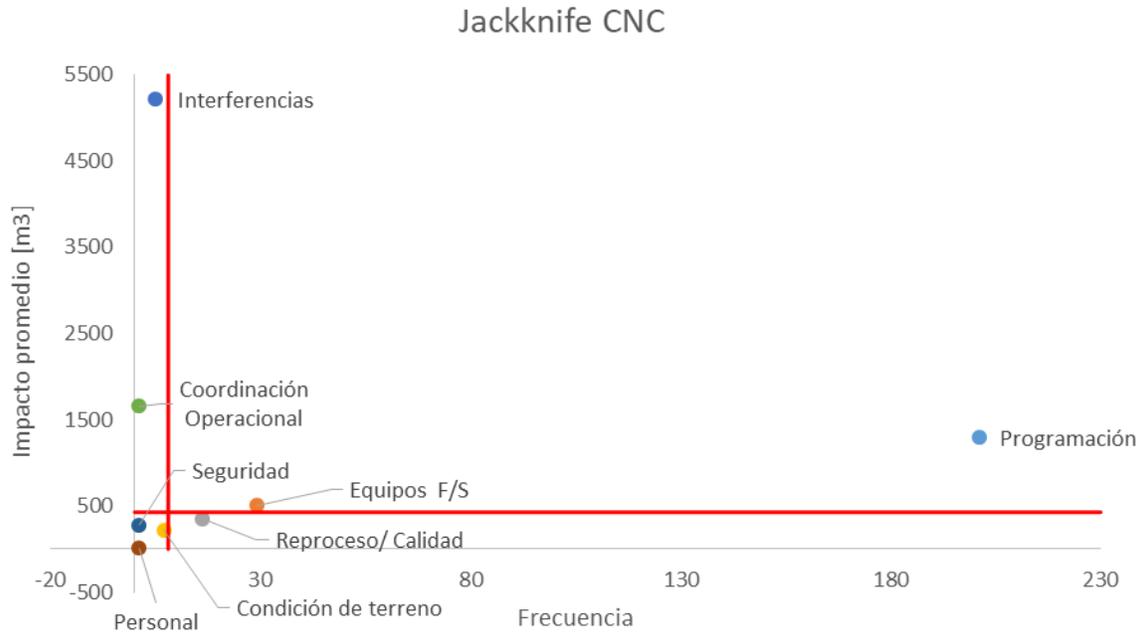


Figura 52: Diagrama de Jackknife de CNC, contrato CC001.

### 3.2.6.2 CC013

Se realiza el análisis estadístico de la información recopilada del contrato CC001, la cual se distribuye en 16 meses. Este contrato cuantifica el impacto de las CNC en HH, por lo cual se utiliza el diagrama de Jackknife, pero no es posible adquirir los reportes de avance por lo que no se identifican las CNC críticas por etapa del contrato.

## Pareto de frecuencia de CNC

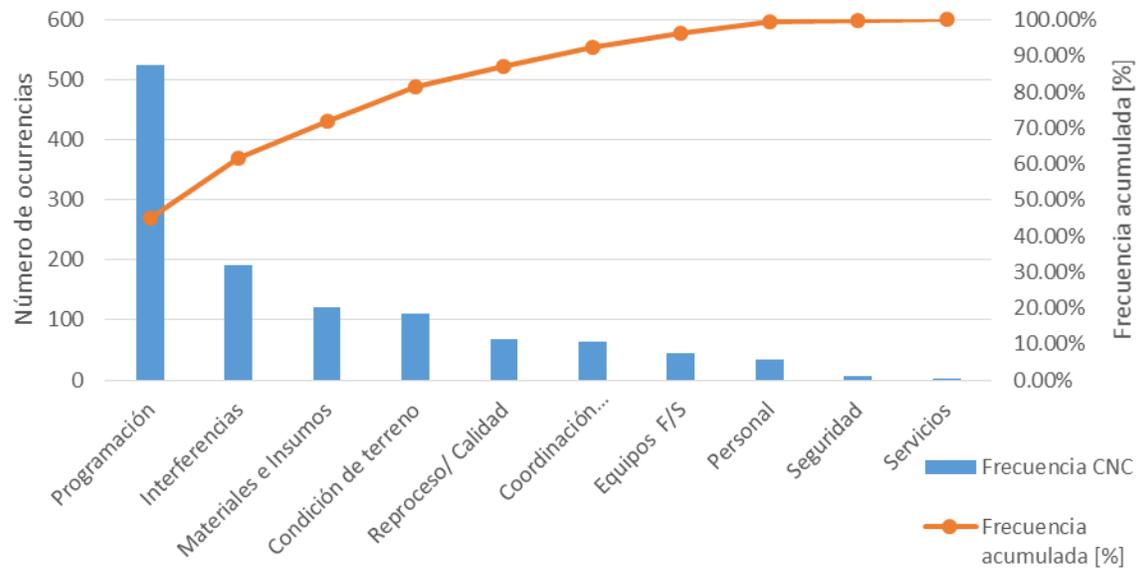


Figura 53: Pareto de frecuencia de CNC, contrato CC13.

Tabla 28: Subcategorías de las categorías de CNC de mayor ocurrencia para el contrato CC13.

| Programación                                    |                         | Interferencias                |                         | Materiales e Insumos     |                         |
|---|-------------------------|-------------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|
| Subcategoría                                    | Frecuencia relativa [%] | Subcategoría                  | Frecuencia relativa [%] | Subcategoría             | Frecuencia relativa [%] |
| Falla por cambio en la programación/prioridades | 73                      | Interferencias Codelco        | 76                      | Falta insumos/ repuestos | 79                      |
| Falla de programación equipos                   | 21                      | Interferencias otras empresas | 23                      | Falta materiales         | 17                      |
| Ingeniería y diseño                             | 5                       | Contingencia nacional         | 1                       | Falta herramientas       | 4                       |

## Jackknife CNC

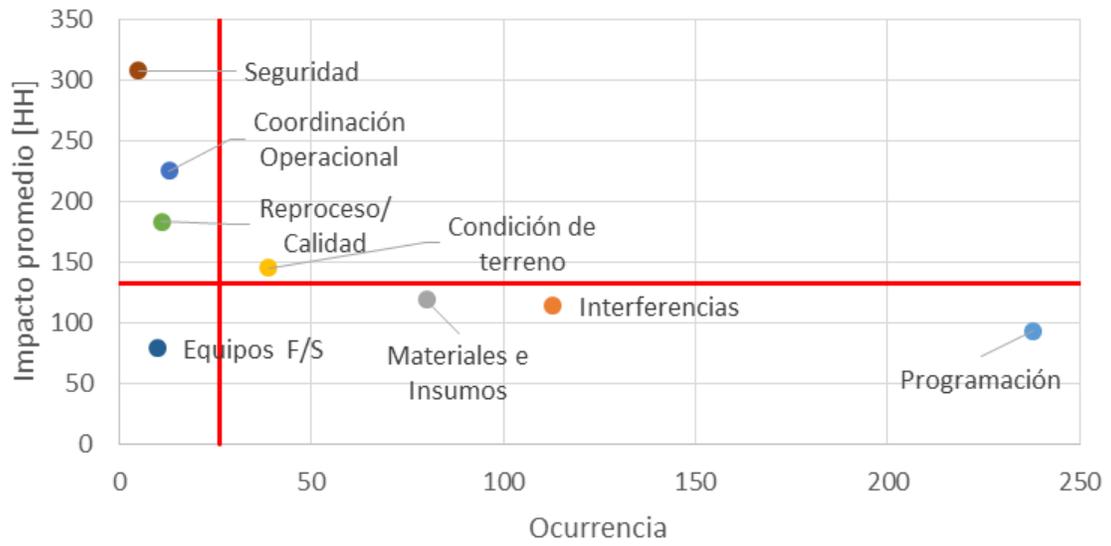


Figura 54: Diagrama de Jackknife de CNC, contrato CC13.

### 3.3 Eventos de mejora

Se recopilan 50 de eventos de mejora, los cuales se observan de forma resumida en el Anexo B: Base de datos resumida eventos de mejora. Estos son 45 RdP y 5 Kaizen como se observa en la Figura 55. La mayor cantidad de estos eventos de mejora provienen de contratos mineros tal como se observa en la Figura 56.

El 74% de los eventos de mejora recopilados genera reportabilidad trazable de la evolución del KPI, lo que implica que a solo 37 eventos de mejora se les puede calcular la efectividad. Además, el 24% dispone de información suficiente para el cálculo del valor ganado en plazo.

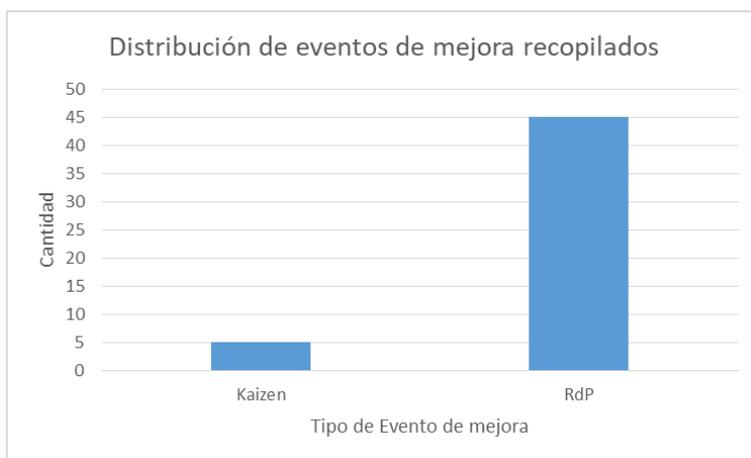


Figura 55: Gráfico distribución de tipos de Eventos de mejora recopilados.



Figura 56: Distribución de eventos de mejora por tipo de contrato

Se grafican aquellos eventos de mejora que tengan una efectividad mayor a 75% como se observa en la Figura 57 y la Figura 58, y aquellos que posean documentación suficiente para calcular el valor agregado en plazo, los cuales se observan en la Figura 59. Estos eventos de mejora son candidatos para proponer medidas preventivas a partir de las acciones reactivas realizadas.

### 3.3.1 Efectividad eventos de mejora

De los 37 Eventos de mejora que se les puede calcular la efectividad, se tienen 4 eventos Kaizen, Figura 57, y 9 RdP, Figura 58, que poseen una efectividad mayor o igual al 75%.

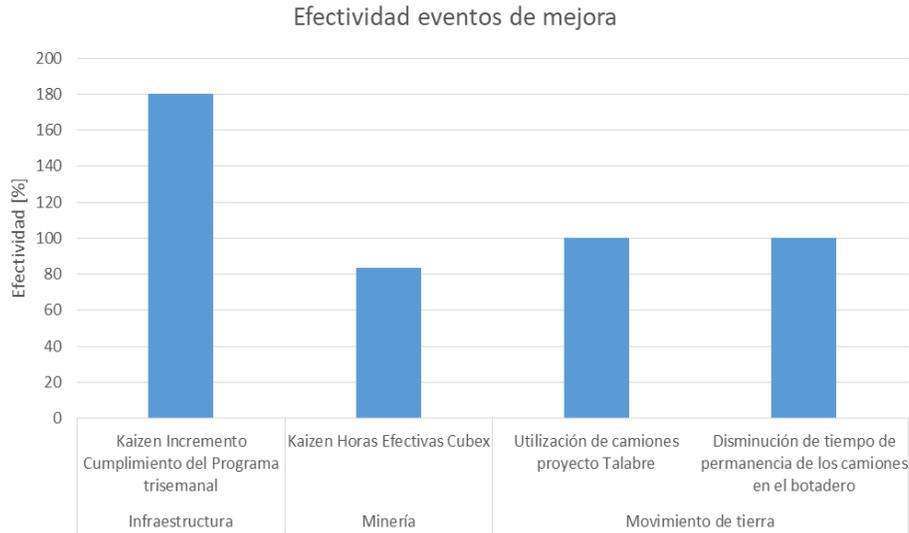


Figura 57: Gráfico de la efectividad de eventos Kaizen.

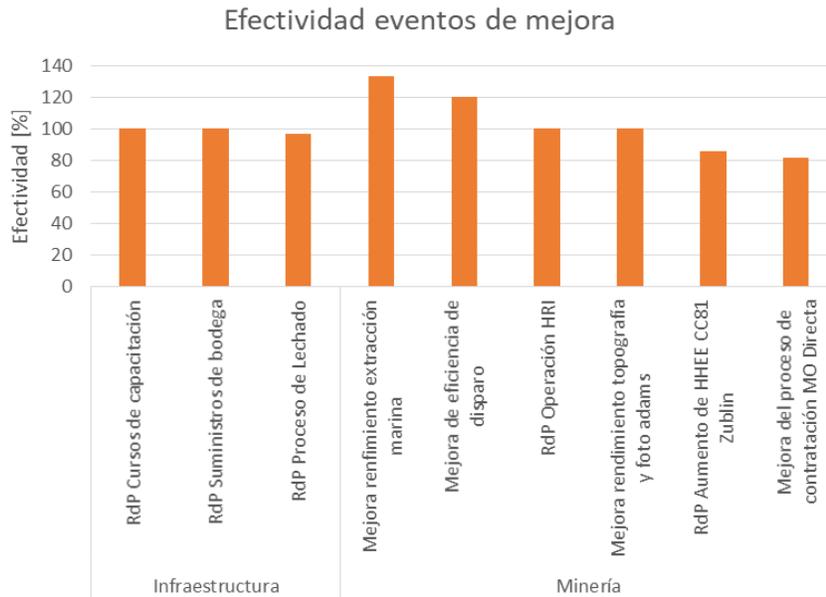


Figura 58: Gráfico de la efectividad de eventos de Resolución de problemas.

### 3.3.2 Valor ganado en plazo por el evento de mejora

En la Figura 59 se observa el valor ganado en terminos de plazo, para los 12 eventos de mejora que poseen documentación suficiente para calcular este indicador. De estos 12 eventos solo los dos primeros tienen un alto valor ganado en termino de plazo.

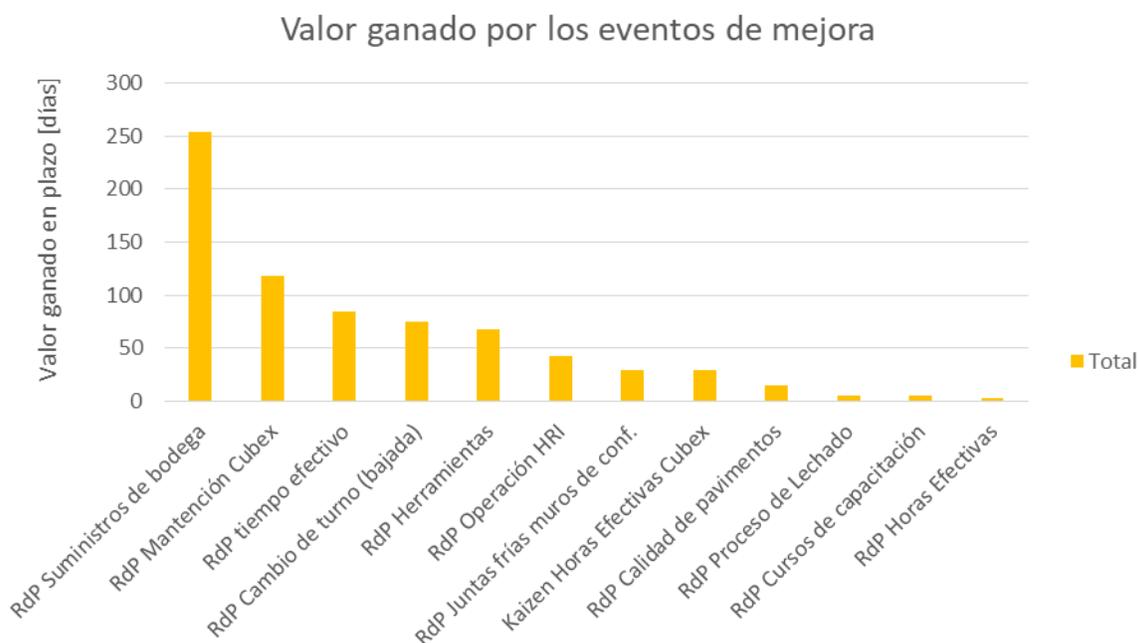


Figura 59: Gráfico del valor ganado por eventos de mejora.

### 3.3.3 Acciones de eventos de mejora

Se tienen 15 eventos de mejora que cumplen con las condiciones para ser analizados, es decir, estos eventos de mejora poseen una efectividad mayor o igual al 75% o un alto valor ganado en términos de plazo. Se analizan estos eventos en búsqueda de acciones que puedan ser propuestas como medidas que prevengan la ocurrencia de CNC.

De estos eventos de mejora, se extraen 52 acciones correctivas, las cuales se muestran en la Tabla 29 para los eventos de mejora de contratos mineros, en la Tabla 30 para los eventos de mejora de contratos de infraestructura y en la Tabla 31 para los eventos de mejora realizados en los contratos de movimiento de tierra.

Estas acciones buscan paliar la ocurrencia de CNC de 5 grupos diferentes, como se observa en la Tabla 29, la Tabla 30 y la Tabla 31. Las CNC son Coordinación Operacional, Equipos F/S, Personal, Reproceso/ Calidad y Materiales e Insumos.

Tabla 29: Acciones realizadas por eventos de mejora en contratos mineros.

| <b>Evento de mejora</b>                                  | <b>Acción</b>   | <b>CNC que ataca</b>     |
|--|---|--------------------------|
| <b>RdP Mejora rendimiento extracción marina en P4600</b> | Estandarizar proceso de extracción de marina  | Coordinación Operacional |
|  | Crear y realizar checklist del correcto uso del LHD   | Equipo F/S               |
| <b>RdP Mejora en el flujo de información</b>             | Crear una pizarra de control de equipos   | Equipo F/S               |
|  | Reforzar el rol de Jefes de Nivel   | Coordinación Operacional |
| <b>RdP Aumento horas efectivas (HHEE)</b>                | Coordinar y estandarizar horarios de entrada y salida de buses interior mina                                      | Coordinación Operacional |
|  | Ordenar bodega para poner los elementos con mayor consumo cerca del despachador                                   | Coordinación Operacional |
| <b>RdP Optimización traslado de camiones con marina</b>  | Generar estándar para el control de marina  | Coordinación Operacional |
|  | Generar la contratación de Loros para mejorar el flujo de camiones  | Personal                 |
|  | Estandarizar estacionamientos y colocar señalética  | Coordinación Operacional |
|  | Coordinar equipos de trabajo para solucionar los problemas de comunicación  | Coordinación Operacional |
| <b>RdP Mejora eficiencia de disparo</b>                  | Confecionar cuadernillo plastificado para los distintos protocolos de disparo para ser entregado a Jefes de Nivel | Coordinación Operacional |
|  | Controlar en terreno del cumplimiento de protocolos   | Reproceso/ Calidad       |
| <b>RdP Mejora rendimiento topografía y foto Adams</b>    | Generar secuencia de trabajo observado en terreno   | Coordinación Operacional |
|  | Generar reunión con Jefa de Topografía y topógrafos para definir mejor secuencia de trabajo                       | Coordinación Operacional |
|  | Hacer seguimiento de estándar en terreno  | Reproceso/ Calidad       |
|  | Crear e implementar checklist para los topógrafos   | Reproceso/ Calidad       |
| <b>Kaizen horas efectivas cubex</b>                      | Generar un plan de comunicación de los requerimientos por hora y día del servicio                                 | Coordinación Operacional |
|  | Implementar controles visuales que facilite a los operadores realizar las inspecciones                            | Equipo F/S               |

|   |  |                          |
|---|--|--------------------------|
|   | Realizar y estandarizar las verificaciones e inspecciones diarias que realiza el operador          | Equipo F/S               |
|   | Mantener limpio el equipo tal que se puedan identificar futuras fallas                             | Equipo F/S               |
|   | Pronosticar vida útil de componentes, utilizando análisis de fallas y diagnóstico de mantenimiento | Equipo F/S               |
|   | Definir proceso de verificación al terminar una tarea  | Coordinación Operacional |
| <b>RdP Operación de equipo HRI</b>                            | Revisar postura de forma anticipada: Implementar protocolo de entrega anticipada (2 frentes)       | Coordinación Operacional |
|   | Generar acceso a internet a operadores, para generar cambio de turno y traspaso de información     | Coordinación Operacional |
|   | Verificar si existe proceso de verificación de pozos una vez terminados de perforar                | Reproceso/ Calidad       |
|   | Ingresar en camioneta y liberar área por supervisión de ITH  | Coordinación Operacional |
| <b>RdP mejora en el proceso de contratación de MO directa</b> | Reforzar área de reclutamiento   | Personal                 |
|   | Agilizar entrega de pases  | Personal                 |
|   | Solicitar cursos de capacitación con tiempo  | Personal                 |

Tabla 30: Acciones realizadas por eventos de mejora en contratos de infraestructura.

| <b>Evento de mejora</b>  | <b>Acción</b>   | <b>CNC que ataca</b>     |
|--|---|--------------------------|
| <b>Kaizen Incremento de cumplimiento programado trisemanal</b> | Generar pizarras de control y seguimiento a suministros pendientes y revisar de forma diaria el POD   | Programación             |
|  | Realizar reunión conjunta de cambio de turno entre VP y Contratista                                   | Coordinación Operacional |
|  | Levantar informe de estatus en las áreas a entregar que deberían quedar programadas iniciar la semana | Coordinación Operacional |
|  | Buscar mayor adherencia para encontrar más frentes para ganar HH y mayor avance.                      | Programación             |
| <b>RdP Suministro de bodega</b>                                | Energizar e implementar pañol en sala de chancado   | Materiales e insumos     |
|  | Trasladar e implementar un segundo pañol en interior mina.  | Coordinación Operacional |
|  | Definir stock y elementos críticos de alta rotación   | Materiales e insumos     |
|  | Planificar requerimientos de insumos de ferretería a partir de la planificación trisemanal.           | Materiales e insumos     |

|                               |  |                          |
|-------------------------------|--|--------------------------|
|                               | Implementar una re-inducción al procedimiento para solicitar EPP, suministros y uso de vales en charla de hombre nuevo | Coordinación Operacional |
| <b>RdP Cursos</b>             | Mejorar sala de presentación de cursos de expeditoría con telón y proyector  | Personal                 |
|                               | Tener una sala habilitada para cursos de HSEC con un horario que permita realizar la mayor cantidad de cursos          | Personal                 |
|                               | Coordinar sala de capacitación para los días martes y miércoles, con agua y vasos para los trabajadores                | Personal                 |
|                               | Realizar solo curso de bloqueo VP  | Personal                 |
|                               | Revisar una vez a la semana de status de cursos entre SK Capacitación y HSEC   | Personal                 |
| <b>RdP Proceso de lechado</b> | Capacitar en el lavado correcto de Lechadora   | Equipo F/S               |
|                               | Generar e imprimir boletín informativo relativo al proceso de dosificación, preparación y mezcla de lechada            | Reproceso/Calidad        |
|                               | Generar Plan de Mantenimiento de Lechadora   | Equipo F/S               |
|                               | Generar Check de limpieza y ejecutar supervisión diariamente   | Reproceso/Calidad        |
|                               | Implementar en terreno utensilios para dosificar insumos   | Materiales e insumos     |

Tabla 31: Acciones realizadas por eventos de mejora en contratos de movimiento de tierra.

| <b>Evento de mejora</b>   | <b>Acción</b>   | <b>CNC que ataca</b> |
|---|---|----------------------|
| <b>Kaizen Disminución de tiempo de permanencia de los camiones en el botadero</b> | Disponer de radio Base para la persona que direcciona los camiones  | Programación         |
|   | Disponer de coordinador en la entrada al botadero   | Programación         |
| <b>Kaizen Utilización camión Talabre</b>  | Revisar el procedimiento de carguío de combustible y estándar de seguridad  | Programación         |
|   | Revisar y adecuar el checklist que permita cumplir con el alcance de este en seguridad y de acuerdo a lo que puede y debe hacer el operador | Programación         |

### 3.4 Estimación de efectos al tomar medidas preventivas

Se considera que al utilizar las actividades de los eventos de mejora como medidas preventivas, la reducción de la frecuencia y el impacto de las CNC abordadas por los eventos de mejora, se reducirán en un 75% tal como se observa en la Tabla 32 en la Tabla 33 respectivamente.

Tabla 32: Reducción estimada de la ocurrencia de CNC al utilizar medidas preventivas.

| <b>Tipo de contrato</b>     | <b>Frecuencia real<br/>[CNC/mes]</b> | <b>Frecuencia estimada<br/>[CNC/mes]</b> |
|-----------------------------|--------------------------------------|--|
| <b>Minería</b>              | 840                                  | 210                                      |
| <b>Infraestructura</b>      | 312                                  | 80                                       |
| <b>Movimiento de tierra</b> | 170                                  | 45                                       |

Tabla 33: Reducción estimada del impacto de CNC al utilizar medidas preventivas.

| <b>Tipo de contrato</b>     | <b>Impacto real</b>           | <b>Impacto estimado</b>      |
|-----------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| <b>Minería</b>              | 150 [m/mes]                   | 40 [m/mes]                   |
| <b>Infraestructura</b>      | 34.000[HH/mes]                | 8.500 [HH/mes]               |
| <b>Movimiento de tierra</b> | 220.000 [m <sup>3</sup> /mes] | 56.000 [m <sup>3</sup> /mes] |

### 3.5 Digitalización de la información

Debido a que la cantidad de CNC es alta, es que la alimentación de la información a la plataforma Sipro será mediante planillas en un repositorio de Sharepoint, mientras que para los eventos de mejora, estos se agregan mediante formularios de acceso rápido contenido en Zyght tal como muestra la Figura 60. La estadística relacionada a esta información se plasma en dos dashboard, el de CNC y el de Eventos de mejora (Figura 61 y Figura 62).

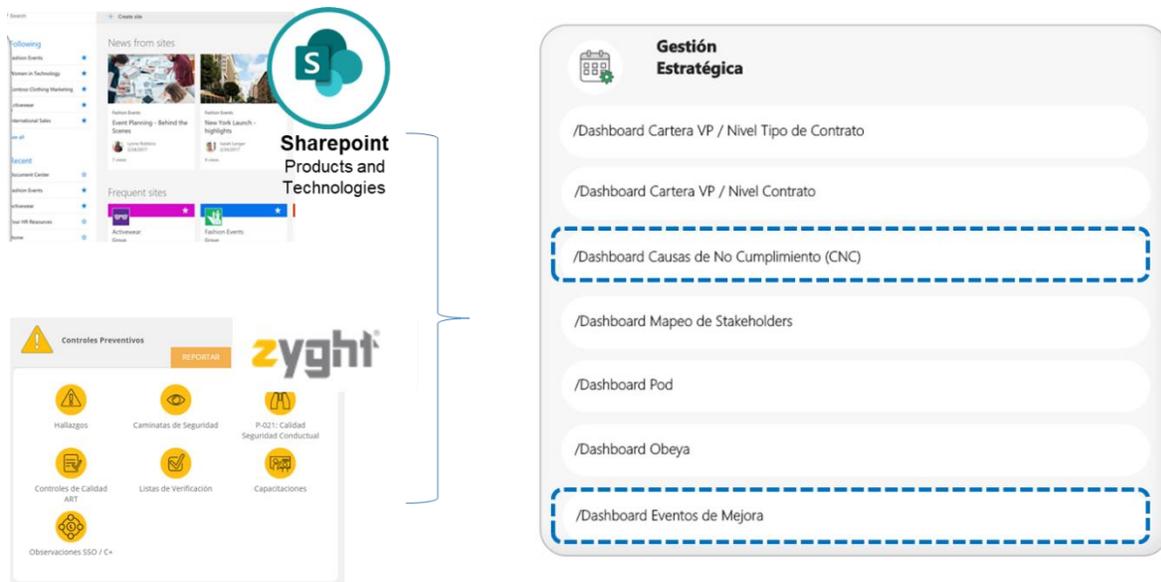


Figura 60: Diagrama de funcionamiento Sipro.

El dashboard de CNC permite visualizar estadísticas por categoría y subcategoría de CNC, filtrando por proyecto, contrato, tipo de contrato y disciplina como se observa en la Figura 61.

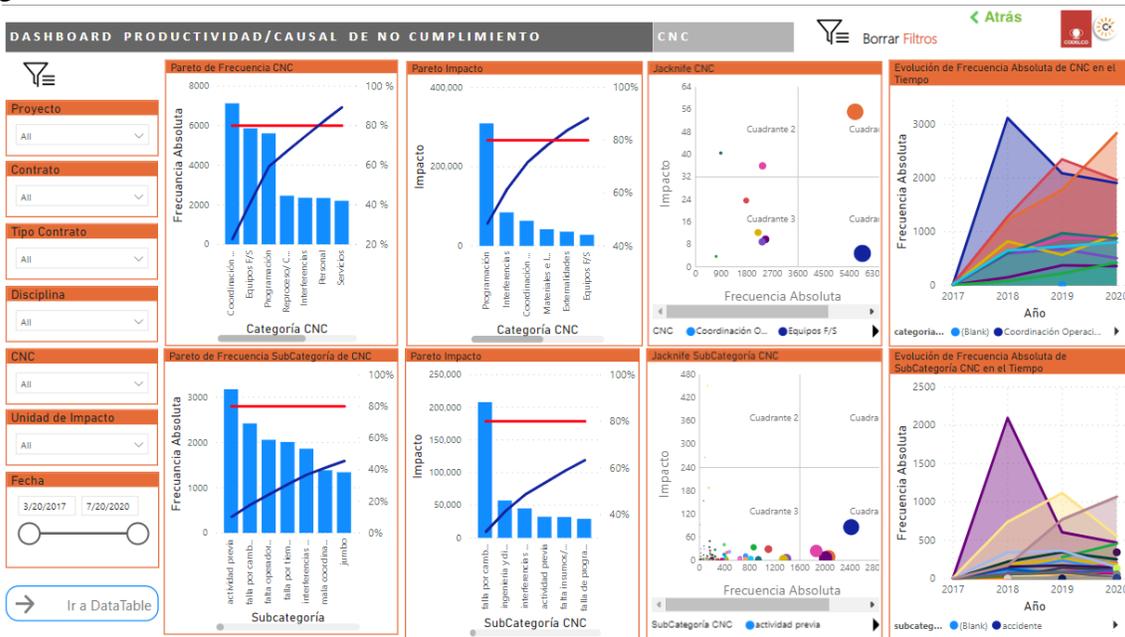


Figura 61: Dashboard de CNC. Elaboración propia.

El dashboard de eventos de mejora permite visualizar la cantidad de eventos de mejora realizados en el tiempo, el valor ganado en términos de plazo, un treemap de KPI de control más utilizados y un data table que contiene los valores más importantes del evento de mejora, filtrando por proyecto, CNC que ataca el evento, disciplina, tipo de contrato y si es un RdP o Kaizen como se observa en la Figura 62.

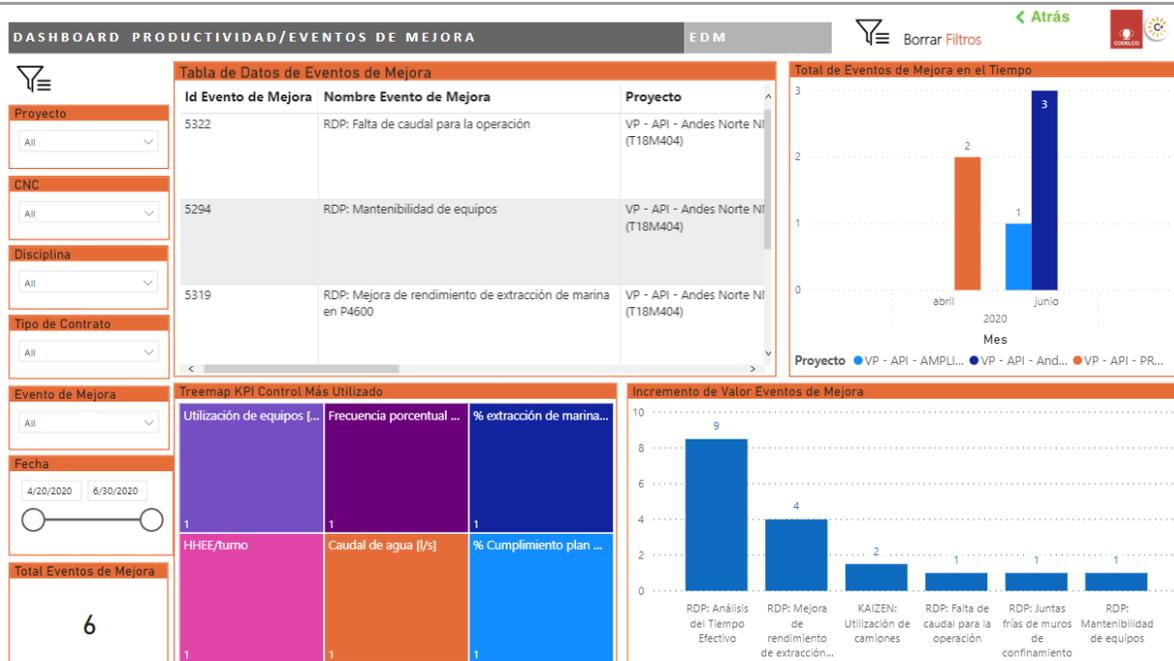


Figura 62: Dashboard de eventos de mejora. Elaboración propia.

# 4. Discusión

Esta sección pretende plasmar el análisis de los resultados obtenidos al implementar la metodología del estudio. Para tal efecto, en primer lugar, se muestra la utilidad de la estandarización de CNC. Luego, se muestra el análisis obtenido al aplicar herramientas estadísticas para las CNC a distintos niveles. En tercer lugar, se explicita la comprensión de la información de eventos de mejora. Finalmente, se destaca la importancia de digitalizar la información y disponer de una base de datos transversal para la VP de Codelco.

## 4.1 Categorización estándar de CNC

Se definen diez categorías estándar que permiten clasificar las CNC de los once contratos analizados, como se observa en la sección 3.1 . Para cada categoría se definen una serie de subcategorías que permiten conocer una segunda derivada de la información y abarcar todas las CNC independiente del tipo de contrato, las cuales en total suman 103 (Tabla 7 y Tabla 8).

## 4.2 Análisis de CNC

### 4.2.1 Análisis general

En la Figura 18 se aprecia que al analizar las CNC de forma transversal a nivel de la VP, estas se pueden agrupar en tres: las CNC de alta frecuencia, superior a las 2.500 ocurrencias; las de frecuencia intermedia, entre las 1.500 y 2.500; y de baja frecuencia, bajo las 1.500 ocurrencias.

Las CNC más recurrentes, es decir, de alta frecuencia, son: Coordinación Operacional, Equipos F/S y Programación como se observa en la Figura 17. Estas representan el 60% de la ocurrencia acumulada, por lo tanto los esfuerzos deben estar enfocados en minimizar la ocurrencia de estas tres categorías.

Al aumentar el detalle, es decir, al analizar las subcategorías de la Tabla 9, se desprende que para cada categoría, las CNC más recurrentes se relacionan con actividad previa para Coordinación Operacional. Esto hace referencia a la CNC que ocurre cuando un equipo se dirige a realizar una labor programada a una frente y la actividad predecesora aún no ha terminado. Esto deja en manifiesto que existen problemas de flujo de información y comunicación al actualizar el estado de las frentes de trabajo.

Para Equipo F/S, los equipos que más veces generan problemas en la programación por estar fuera de servicio son el jumbo y el boltec. Mientras que en el 12% de las ocurrencias de estas CNC no se especifica el equipo. Para realizar un correcto análisis es crucial que se especifique el equipo involucrado durante la documentación de CNC.

En cuanto a la CNC Programación, las subcategorías críticas son la falla por cambio en la programación/prioridades y la falla por tiempo programado. Estas subcategorías agrupan sobre el 80% de la CNC Programación.

La gran cantidad de CNC falla por cambio en la programación/prioridades, se origina debido a tres motivos: como consecuencia de CNC anteriores que obligan a la EECC reasignar recursos para paliar atrasos, por problemas en la calidad de la programación o por la utilización de esta subcategoría de CNC para justificar no cumplimientos no documentados.

#### 4.2.2 Análisis por tipo de contrato

Al separar la información por tipo de contrato, se evidencia que la CNC Programación posee una alta frecuencia independiente del tipo de contrato (Figura 19, Figura 20 y Figura 21). Además para los contratos mineros y de movimiento de tierra, la CNC Equipo F/S posee una alta ocurrencia debido a que ambas labores son intensivas en la utilización de equipos.

Para los contratos de infraestructura, la CNC Interferencias aparece con una alta frecuencia. Esto se explica por su dependencia con las actividades previas de otros contratos como los mineros. También es habitual que se realicen en paralelo labores de infraestructura con otros contratos. Por ejemplo en el caso del PMCHS, los contratos de montaje del sistema de manejo de materiales, realizan trabajos en paralelo con labores de montaje de puertas de ventilación, lo que genera una alta tasa de interferencias.

#### 4.2.3 Análisis por disciplina

Al analizar los contratos mineros por disciplina, es decir minería monofrente (Figura 22) y multifrente (Figura 23), se observa que la CNC Equipos F/S posee una alta frecuencia para ambas disciplinas, teniendo en común los equipos que más veces impactan la programación. Estos son: el jumbo, boltec y dumper. Esto se explica por el intensivo uso de equipos que tienen las labores mineras.

Los problemas asociados a Coordinación Operacional son más diversos para la minería monofrente, dentro de la cual las tres subcategorías principales de CNC no superan el 70%, mientras que para minería multifrente son solo dos las que agrupan el 76%. Independiente de esto, la segunda clasificación de Coordinación Operacional, actividad previa, es transversal a ambas. Lo anterior evidencia que el número de frentes activas no posee correlación con los problemas de comunicación y flujo de información del estado de éstas, sino más bien es un tema asociado a la disciplina operacional.

Para la disciplina de montaje (Figura 24), la CNC Programación es la que más ocurre, agrupando el 40% del total de ocurrencias. Al analizar las subcategorías de Programación, la más recurrente es la falla por cambio en la programación/prioridades. Esto se justifica ya que por la alta tasa de interferencias, los contratos de montaje deben estar constantemente re programando recursos. La alta tasa de interferencias se debe a que los trabajos de montaje

dependen del término de otras disciplinas predecesoras, como labores mineras, para poder desarrollar su trabajo.

Para las labores relacionadas con obras civiles (Figura 25), la CNC que posee mayor frecuencia es Programación con un 20% de las ocurrencias, donde el cambio en la programación/ prioridades agrupa el 80% de estas causas. En segunda instancia aparece la CNC Coordinación Operacional con un 16% de frecuencia absoluta, lo cual se debe fundamentalmente a la subcategoría actividad previa y con un 13% de frecuencia absoluta, la CNC servicios es crítica asociada principalmente al servicio electricidad.

Lo anterior se debe a que las labores de obras civiles comparten recursos con labores mineras o de montaje, lo cual genera una constante competencia por servicios y disponibilidad de frente, lo que conlleva a reprogramar actividades constantemente.

Las CNC más recurrentes para los trabajos de pipping (Figura 26) se clasifican en las categorías de: Programación, Interferencias y Coordinación operacional. La primera agrupa la mayor cantidad de CNC con un 27% del total de las CNC, de las cuales el 70% está asociada la falla por cambios en la programación/ prioridades y la mala programación de equipos como se observa en la Tabla 17.

Las CNC críticas en piping se fundamentan en que esta disciplina depende de la disponibilidad de frentes que dispongan contratos de mayor envergadura como los mineros. Esto implica que sus labores están sujetas a los cambios y CNC que afectan a los contratos principales, lo cual genera una alta tasa de interferencias y un constante cambio en la programación o prioridades. Esto repercute fuertemente en la cantidad de tiempo efectivo de trabajo, pues a pesar de tener los recursos disponibles, sus horas efectivas son muy bajas.

#### 4.2.4 Análisis por contratos

##### 4.2.4.1 CC010

Las CNC que más ocurren en el contrato se agrupan dentro de las categorías Servicios y Reproceso/Calidad (Figura 27), siendo la electricidad la CNC más crítica asociada a servicios y la calidad de las labores la CNC de mayor ocurrencia dentro de la clasificación de Reproceso/Calidad (Tabla 18).

Al analizar las CNC por etapa del contrato, se denota que las CNC asociadas a Equipos F/S son muy frecuentes independiente de la temporalidad del contrato, siendo el equipo jumbo el que más veces genera el no cumplimiento de la programación. Esto se explica porque al ser un contrato multifrente, se maximiza la utilización de equipos por lo tanto la utilización del jumbo es intensa. Además, se evidencia que el comienzo del contrato es la etapa con mayor ocurrencia e impacto de CNC, las cuales están asociadas a servicios, específicamente a agua industrial y electricidad.

Finalmente, el impacto de las CNC proveniente del reporte de avances (Figura 28) es de un 4% de los metros programados. Esto se traduce en un atraso de un mes y un impacto en

ventas para el contratista del 4% del valor del contrato, es decir la EECC no cobro MUS\$ 24 dentro de lo programado producto del no cumplimiento.

#### 4.2.4.2 CC013

Las CNC más recurrentes son las agrupadas en Programación, Equipos F/S y Coordinación Operacional, como se observa en la Figura 53, siendo la falla por cambio en la programación/prioridades la más frecuente dentro de la programación. Por otra parte, las causas no específica equipo y jumbo son las que más aparecen dentro de la clasificación Equipos F/S y actividad previa dentro de Coordinación Operacional (Tabla 19).

El impacto de las CNC sobre régimen del contrato CC013, es de un 10% de los metros programados, esto se traduce en un atraso de 3,5 meses y un impacto en ventas del 4% del valor del contrato que son aproximadamente MUS\$ 20 (Figura 30).

#### 4.2.4.3 CC023B

Al analizar el gráfico de Pareto (Figura 31) se aprecia que la CNC que más ocurre es Programación, agrupando un 40% del total de las CNC. El 90% de las CNC clasificadas dentro de Programación corresponden a fallas por cambio en la programación o prioridades

Ahora, al examinar el diagrama de Jackknife (Figura 32), se obtiene que la CNC Programación se encuentra en el cuadrante de criticidad media, ya que tiene alta frecuencia, pero bajo impacto. Luego, las CNC de alta criticidad corresponden a Coordinación operacional e Interferencias, específicamente asociado a la CNC actividad previa e interferencia con otras empresas.

Al estudiar esta información por etapa (Figura 33) , es decir, por el término del régimen y ramp down del contrato, se obtiene que el impacto de las CNC sobre el contrato es de un 15% de las HH programadas en esta etapa. Lo anterior se traduce en un atraso de dos semanas y un impacto en ventas del 12% del costo de la etapa analizada.

Al hacer un contraste entre las HH impactadas asociadas a las CNC, estas suman un total de 30.000, mientras que al analizar de forma global la programación a partir del reporte de avance, estas solo son 5.000 HH. Esto se debe a que la EECC toma medidas reactivas para hacer frente al atraso y en la semana 76 realiza más HH de lo programado, lo cual permite que a manera global, el atraso generado por las CNC sea solo un 17% de lo reportado en la base de datos de CNC.

#### 4.2.4.4 CC24B

Las CNC más frecuentes son aquellas asociadas a Programación, Coordinación Operacional e Interferencias (Figura 34). Dentro de programación, la CNC con mayor ocurrencia es la falla por cambios en la programación/prioridades. Algo similar ocurre en el

CC23B, debido a que sus razones de origen son las mismas, pues ambos son contratos de montaje sujetos inicialmente a la entrega de excavaciones por contratos mineros.

Dentro de la categoría Coordinación operacional, la CNC que posee una mayor frecuencia, es Actividad previa, mientras que para la CNC Interferencias, las interferencias con otras empresas es la que más veces ocurre.

Al analizar el diagrama de Jackknife (Figura 35), se observa que a pesar de tener una alta frecuencia, las CNC Programación y Coordinación Operacional poseen un bajo impacto promedio, a diferencia de lo que ocurre con Interferencias, Personal y Materiales e Insumos. Luego, se observa que el Pareto, al no considerar el impacto, no es una herramienta suficiente para identificar CNC críticas cuando el impacto de ellas es heterogéneo.

Al observar el reporte de avances, se obtiene que la CNC Programación es transversal a ambas líneas del contrato y que la CNC Interferencias es muy frecuente en la línea uno, pero no así en la línea tres. Esto se explica debido a que el inicio del contrato en la línea uno estaba sujeto a las entregas de contratos mineros, cavernas y excavaciones, mientras que para la línea tres, estas interferencias o atrasos de entregas pueden ser compensados con el término de detalles de la línea uno.

Finalmente a partir del estudio del reporte de avance (Figura 36), se tiene que el impacto de las CNC sobre el contrato es de un 20% de las HH programadas. Esto se traduce en un atraso de cuatro meses y un impacto en ventas para el contratista del 15% del valor del contrato, es decir la EECC no cobro MUS\$ 7.5 dentro de lo programado producto del no cumplimiento.

#### 4.2.4.5 CC51

Al analizar el Pareto se evidencia que las CNC más recurrentes se clasifican en las categorías Programación, Interferencias y Coordinación operacional (Figura 37). La primera es la que agrupa la mayor cantidad de CNC, de las cuales el 50% está asociada la falla por cambios en la programación/ prioridades y la mala programación de equipos.

Las CNC críticas en este contrato se fundamentan en que al ser un contrato de piping, depende de la disponibilidad de frentes que dispongan contratos de mayor envergadura como los mineros. Esto implica que sus labores están sujetas a los cambios y CNC que afectan a los contratos principales lo cual genera una alta tasa de interferencias y un constante cambio en la programación o prioridades.

Luego, a partir del estudio del reporte de avance, se tiene que la ocurrencia de CNC es independiente de la etapa del contrato, pues las categorías son transversales, aunque en el régimen aparece el cambio en la ingeniería y diseño que se asocia a los ajustes que debe hacer el contrato en función de las terminaciones de otros contratos.

Finalmente se observa que el impacto de las CNC sobre el ramp up y régimen del contrato es de un 25% de las HH programadas (Figura 39). Esto se traduce en un atraso de tres meses y un impacto en ventas para el contratista del 10% del valor del contrato. Es decir, la

EECC no cobro MUS\$ 13 dentro de lo programado producto de los atrasos originados por las CNC.

#### 4.2.4.6 CC081

Las CNC que ocurren mayoritariamente están asociadas a Coordinación Operacional y Equipos F/S, las cuales representan más del 50% del total de las CNC (Figura 40). Para la primera categoría, los problemas de coordinación de marina aparecen en primer lugar. Esto se debe a que los piques de traspaso, en donde deben depositar la marina, se comparten con otros contratos mineros y el sistema de manejo de materiales está sujeto a la disponibilidad de la División El Teniente. En segundo lugar aparece equipo ubicación desconocida que ocurre debido a una mala comunicación entre los actores de la EECC.

Dentro de la categoría Equipos F/S, el equipo jumbo, al quedar fuera de servicio, es el que más veces genera problemas con la programación. Al ser un contrato minero multifrente, el uso de equipos es intensivo, lo cual explicaría no solo la alta ocurrencia de jumbo F/S, sino la de los equipos en general. Además, se denota que para el 20% de las CNC asociadas a Equipos F/S no se documenta cual equipo falla, lo cual impide hacer un análisis a un segundo nivel de profundidad.

En tercer lugar, aparece la categoría de Programación, relacionado a fallas por cambios en la programación/prioridades, lo cual deja en manifiesto que existe una mala programación y una constante reprogramación de recursos que se puede deber a las CNC anteriores como causas raíces.

Al analizar el diagrama de Jackknife (Figura 41) aparece la CNC Interferencias como crítica con alto impacto y alta frecuencia, la cual al analizar solo el Pareto de frecuencia, no se considera como crítica. Esto deja en manifiesto que realizar solo el análisis de frecuencia para definir la criticidad de CNC no permite visualizar todo el espectro y por lo tanto puede dejar fuera de la realización de eventos de mejora, a CNC que generan un mayor impacto en la programación.

A partir del reporte de avances (Figura 42), se observa que la CNC Servicios es crítica en la etapa del Ramp up, similar a lo que ocurre con el CC10 del PMCHS y que la CNC Equipo F/S es transversal a todas las etapas del contrato. Esto evidencia la importancia de imponer una cultura de mantenimiento preventivo que aplaque los efectos de esta causa de no cumplimiento.

Al analizar el impacto de las CNC proveniente del reporte de avances se tiene que el impacto total de las CNC sobre el contrato CC081 es de aproximadamente un 30% de los metros programados en los meses analizados. Esto se traduce en un atraso de cinco meses y un impacto en ventas para el contratista del 6% del valor del contrato. Es decir, la EECC no cobró MUS\$ 21 dentro de lo programado producto del atraso.

#### 4.2.4.7 CC082

A partir del Pareto de categorías de CNC (Figura 43), se observa que Coordinación Operacional es la más recurrente, asociado fundamentalmente a la subcategoría actividad previa. Sin embargo, al utilizar el diagrama de Jackknife (Figura 44) se identifica que esta CNC posee una alta frecuencia, pero un impacto promedio bajo, lo cual implica que los esfuerzos para disminuir la ocurrencia de CNC críticas deben estar en Equipo F/S, Programación y Servicios. Lo anterior, debido a que generan la mayor cantidad de disparos impactados promedio por ocurrencia de CNC y poseen una alta frecuencia. Similar a lo que ocurre con el contrato CC81, el equipo que más veces queda fuera de servicio es el jumbo y no siempre se documenta equipo. La falla por cambio en la programación/prioridades también es crítica dentro de programación.

Al analizar el impacto de las CNC proveniente del reporte de avances (Figura 45) se obtiene, por una parte, que la ocurrencia de CNC es independiente de la etapa de contrato y, por otra, que el impacto total de las CNC sobre el contrato CC082 es de aproximadamente un 33% de los metros programados en los meses analizados. Esto se traduce en un atraso de tres meses y un impacto en ventas para el contratista de MUS\$ 2.6 dentro de lo programado producto del atraso.

#### 4.2.4.8 CC085

A partir del gráfico de Pareto (Figura 46), se aprecia que las CNC de mayor ocurrencia es Equipo F/S, la cual tiene una frecuencia mucho mayor al resto. Dentro de esta categoría, los equipos poseen una ocurrencia similar de fallas. Luego, en el Pareto aparecen las CNC Personal, Coordinación Operacional e Interferencias.

El diagrama de Jackknife (Figura 47) indica que a pesar de la alta ocurrencia, Equipos F/S no es una CNC crítica, pues posee un bajo impacto promedio. Esto se debe a que el contrato es minero monofrente, por lo cual la utilización de equipos no es tan intensa como en el multifrente, pues lo que se busca es maximizar la utilización de la frente.

El diagrama permite visualizar que la CNC críticas, con alto impacto y frecuencia, son Personal y Servicios. La primera se fundamenta en la falta de operadores o mantenedores. Nuevamente se observa que el Pareto no es suficiente para identificar a la CNC crítica, pues en este caso Servicios no posee una frecuencia muy alta en comparación con el resto, pero su impacto es muy relevante, por lo tanto clasifica como crítica.

Al analizar el impacto de las CNC proveniente del reporte de avances (Figura 48), en este caso para una sección del régimen del contrato, se tiene que el impacto total de las CNC sobre el contrato es de aproximadamente un 4% de los metros programados en los meses analizados. Esto se traduce en un atraso despreciable de seis días y un impacto en ventas para el contratista de kUS\$ 82.5 dentro de lo programado producto del atraso. Esto evidencia que a pesar de una alta ocurrencia de CNC, aproximadamente 840/mes, con una buena gestión se pueden mitigar sus efectos sobre la programación.

#### 4.2.4.9 CC086

A partir del Pareto (Figura 49) se observa que las CNC que más ocurren son aquellas que se clasifican dentro de Programación. Luego con frecuencias muy similares aparecen las CNC Equipos F/S, Reproceso/ Calidad y Coordinación Operacional.

La alta frecuencia de la CNC Programación se debe principalmente a la falla por tiempo programado, la cual se origina debido a que al momento de programar las actividades, se considera que estas requieren menos tiempo que el que realmente necesitan.

Se observa que el impacto promedio de las CNC para aquellas que poseen una alta frecuencia, es muy similar y solo Reproceso/Calidad se encuentra cerca de ser crítica. Cuando esto ocurre el gráfico de Pareto es una buena herramienta de identificación de CNC críticas.

#### 4.2.4.10 CC001

Se observa que tanto el diagrama de Pareto (Figura 51) como el Jackknife (Figura 52) permiten visualizar que la CNC Programación es la más crítica. Al estudiar una segunda derivada de la información, se aprecia que la falla por cambio en la programación/prioridades agrupa el 90% de las CNC asociadas a Programación.

En segundo lugar aparece la CNC Equipos F/S, producto de que en esta actividad el uso de equipos es exhaustivo, principalmente la utilización de retroexcavadoras y camiones. Al analizar las subcategorías de Equipo F/S se evidencia que no se documenta en específico cual es el equipo que falló, por lo cual es clave mejorar la documentación de CNC para enfocar de forma correcta los esfuerzos para prevenir las ocurrencias de CNC.

#### 4.2.4.11 CC013

Se observa a partir de la Figura 53 que la CNC con mayor frecuencia es Programación, similar a lo que ocurre con el CC001 del mismo proyecto, lo cual deja en manifiesto que los esfuerzos deben ir en mejorar la programación que se realiza. Además, este contrato posee una alta tasa de Interferencias, en específico con Codelco, lo cual se sustenta en que este es un proyecto que comparte espacio con las operaciones de las Divisiones del distrito Norte de Codelco, Chuquicamata, Radomiro Tomic, etc.

Además, el diagrama de Jackknife (Figura 54) indica que la CNC relacionadas con la Condición de Terreno es crítica, lo cual no se puede prevenir por que se fundamenta en el clima de la zona, en específico con las condiciones de viento que son inherentes a la zona de emplazamiento del proyecto Talabre.

### 4.3 Eventos de mejora

A partir del análisis y gestión de las lecciones aprendidas de los eventos de mejora se proponen una serie de acciones como medidas preventivas para futuros proyectos que se

fundamentan en la disciplina operacional. Estas acciones se pueden resumir en 7 puntos como se observa en la Figura 63 y son:

- Estandarizar procesos basado en la experiencia en terreno, incluyendo a todos los actores relevantes de la operación,
- Generar flujos de comunicación directa entre operadores, jefes de nivel, jefes de turno y supervisores con el objetivo de mejorar la confiabilidad de la información,
- Evitar la sobreutilización de equipos promoviendo una cultura de mantenimiento preventivo,
- Realizar planificaciones conjuntas utilizando metodologías de paquetización de contratos de distintas disciplinas,
- Planificar número de buses de transporte interior mina acorde a los requerimientos que maximicen el tiempo efectivo en las frentes y áreas de trabajo, coordinando estas necesidades en tiempo real,
- Disponer de herramientas de gestión que sean simples y permitan monitorear el estado de posturas o áreas de trabajo constantemente para coordinar actividades y sus prioridades
- Utilizar checklist en terreno para asegurar el cumplimiento de actividades según los estándares definidos.

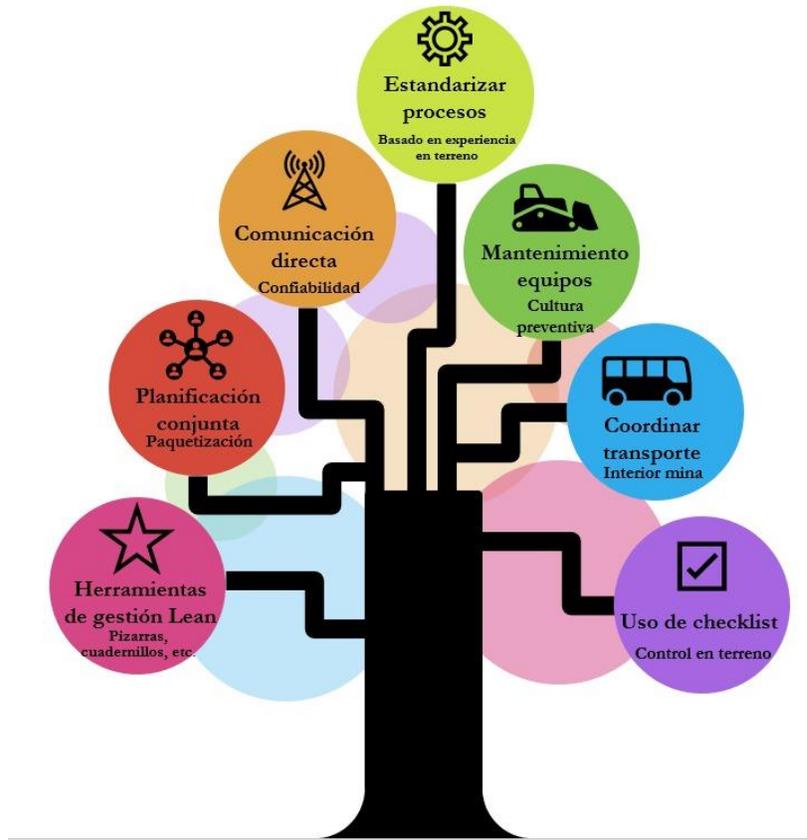


Figura 63: Resumen de acciones propuestas a partir de los eventos de mejora. Elaboración propia.

Estas acciones propuestas se pueden agrupar en cuatro principales:

- Mejorar la confiabilidad y el flujo de la información.
- Estandarizar procesos y asegurar su cumplimiento con checklist.
- Evitar la sobreutilización de equipos y realizar planes de mantenimiento preventivo.
- Paquetizar contratos para planificar en conjunto y así evitar interferencias.

Las medidas propuestas buscan prevenir la ocurrencia de las CNC pertenecientes a las categorías: Reproceso/Calidad, Coordinación Operacional, Equipos F/S y Personal para los contratos mineros, Programación, Materiales e Insumos, Personal y Reproceso/ Calidad para contratos de infraestructura y Programación para los contratos de Movimiento de tierra.

Como todas las medidas propuestas provienen de eventos de mejoramiento continuo cuya efectividad es mayor al 75%, se estima que éstas evitan la ocurrencia de CNC en un 75%. Esta estimación es indicativa y no absoluta, pues se basa en un conjunto de supuesto, tales como omitir las diferencias de condiciones entre los proyectos como las condiciones de entorno, equipos, personas, etc., considera una relación lineal entre efectividad y frecuencia e impacto de CNC, y está sujeta a que el impacto de CNC se mida en metros para contratos mineros, HH para contratos de infraestructura y  $m^3$  para contratos de movimiento de tierra.

Basado en la muestra utilizada para este estudio, las CNC para los contratos mineros se espera se reduzcan de 840 CNC por mes a 200, lo cual se traduce en una reducción del impacto de 150 metros por mes a 40 metros por mes. Para contratos de infraestructura la frecuencia de CNC por mes se contempla pase de 312 a 80, lo cual implica una reducción de 34.000 HH por mes a 8.500 HH por mes y por último, para los contratos de movimiento de tierra se espera que la ocurrencia de CNC por mes se reduzca de 170 a 40, lo cual disminuye el impacto de metros cúbicos por mes de 220.000 a 56.000.

#### 4.4 Digitalización de la información

La plataforma Sipro, provee de un sistema para manejar la data de manera estándar y rápida, y desarrollar analítica y reportabilidad basada en un trabajo integrado y digital. Esto permite darle continuidad al análisis realizado en este trabajo, al disponer de la información de forma transversal para la VP.

## 5. Conclusiones

Este trabajo integra las lecciones aprendidas provenientes de las CNC y eventos de mejora de dos proyectos estructurales, PMCHS y Andes Norte NNM, y un proyecto de relaves, Proyecto Talabre Etapa VIII. Esta información se dispone en una plataforma digital, que permite la gestión del conocimiento de forma ágil, rápida y transversal acorde a la transformación que lleva a cabo la VP de Codelco.

Los datos recopilados resultan ser una muestra representativa de lo que sucede en los Proyectos que gestiona la VP, pues incorpora información de los tres tipos de contratos claves que se encuentran en construcción, es decir, contratos mineros, de infraestructura y de movimiento de tierra. Además, los contratos analizados son sumamente relevantes para Codelco, pues el costo de inversión de estos suma más de MUS\$ 2.500.

Para poder realizar un análisis global de las CNC, se define un estándar de categorías y subcategorías que permiten clasificarlas, el cual se observa en el punto 3.1. Este estándar resulta ser suficiente para estudiar la información de forma transversal para todos los contratos del estudio, utilizando herramientas estadísticas como gráficos de Pareto y diagramas de Jackknife.

A partir de estas herramientas se logran identificar patrones comunes entre los distintos contratos analizados, en donde las CNC críticas se repiten independiente del tipo de contrato, ya que sus raíces son la cultura constructiva imperante. Estas CNC se observan en la Figura 17 y se agrupan en las categorías Coordinación Operacional, Equipos F/S y Programación que corresponden al 60% del total de CNC.

La ocurrencia de estas CNC se fundamenta en problemas de confiabilidad de los datos, comunicación y entrega de la información. También en la sobreutilización de equipos y cultura de mantenimiento reactivo, junto a la no estandarización de procesos y una deficiente planificación, ya que es realizada en silos sin considerar las actividades de contratos que realizan labores en frentes cercanos.

Además, se cuantifica el impacto de las CNC al realizar el cruce de la información asociada a CNC y reportes de avance, donde se desprende que estas generan retrasos en la promesa constructiva de aproximadamente 22 meses lo cual genera retraso en los pagos hacia el contratista de más de MUS\$ 90.

### 5.1 CNC críticas

Para los contratos mineros, las CNC más recurrentes como se observa en Figura 19 son las asociadas a Coordinación Operacional, Equipos F/S y Programación. Al estudiar un segundo nivel de detalle (Tabla 10), para Coordinación Operacional se tiene que las subcategorías más recurrentes son actividad previa, coordinación de marina, coordinación de equipo de transporte y equipos perdidos. Para la clase Equipos F/S los equipos que más fallan

son el jumbo, boltec y scoop. Además, muchas veces no se especifica cual es el equipo que se encuentra fuera de servicio. Finalmente para la categoría Programación la falla por el cambio en la programación/prioridades es la que más ocurre.

Para los contratos de infraestructura, como se observa en la Figura 20, las CNC críticas son las asociadas a Programación, Interferencias y Coordinación Operacional. Al analizar una segunda derivada de la información (Tabla 11: Subcategorías de las categorías de CNC de mayor ocurrencia para los contratos de infraestructura., se observa que las subcategorías de mayor frecuencia son fallas por cambio en la programación/prioridades para Programación, interferencias con otras empresas para Interferencias y actividad previa y comunicación deficiente para Coordinación Operacional.

Para el contrato de movimiento de tierra, como se observa en la Figura 21, las CNC críticas son las asociadas a Programación y Equipos F/S. Al analizar las subcategorías de las CNC de alta ocurrencia se evidencia en la Tabla 12 que las subcategorías de mayor frecuencia son fallas por cambio en la programación/prioridades para Programación y retroexcavadora fuera de servicio y no se especifica equipo fuera de servicio para Equipo F/S.

Se aprecia en la sección 3.2.4.3 que la ocurrencia de CNC no implica necesariamente que exista un atraso global del proyecto, pues se toman medidas reactivas para mitigar el impacto de estas y se realizan gestiones que permiten recuperar los atrasos. Esto implica que el prevenir la ocurrencia de las CNC facilita a las EECC alcanzar el FP y les ahorra recursos al evitar tomar acciones que contrarresten imprevistos.

## 5.2 Medidas preventivas

Una vez que se identifican las CNC críticas para la VP de Codelco, se integra y analiza la información asociada a los eventos de mejoras realizados en los proyectos del estudio. Esto tiene el objetivo de recopilar las acciones propuestas en los procesos de mejora continua para proponer medidas que prevengan la ocurrencia de CNC en futuros proyectos. Para identificar aquellas acciones que puedan ser utilizadas, se deben diferenciar los eventos Kaizen o RdP que hayan funcionado para mitigar las CNC de aquellos que no.

En base a lo anterior, se propone una metodología que permite cuantificar el valor agregado por los eventos de mejora en términos de plazo y se define la efectividad del evento de mejora. Estas herramientas permitirán clasificar los eventos kaizen o RdP, para reconocer aquellos que son claves y poder gestionar las lecciones aprendidas que proporcionan.

De un total de 50 de eventos de mejoras recopilados, el 76% genera reportabilidad trazable de la evolución del KPI y el 40% posee una efectividad mayor o igual al 75%. Esto implica que 15 procesos de mejoramiento continuo califican para proveer de medidas preventivas, como se observa en la Figura 57, la Figura 58 y la Figura 59, ya que fueron efectivos para paliar la ocurrencia de CNC.

A partir del análisis y gestión de las lecciones aprendidas de los eventos de mejora se proponen una serie de acciones como medidas preventivas, tal como se observa en la Figura

63, para futuros proyectos las cuales se agrupan en cuatro pilares (Figura 64): Mejorar la confiabilidad y el flujo de la información, Estandarizar procesos y asegurar su cumplimiento mediante la utilización de checklist, evitar la sobreutilización de equipos e instaurar una cultura de mantenimiento preventivo, y el paquetizar contratos para planificar en conjunto, con la finalidad de evitar interferencias entre diferentes contratos.

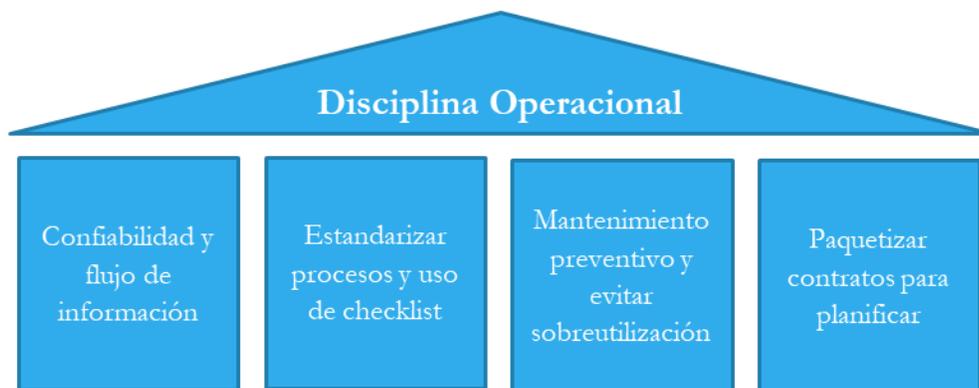


Figura 64: Pilares que sustentan las medidas preventivas. Elaboración propia.

Como todas las medidas propuestas provienen de eventos de mejoramiento continuo cuya efectividad es mayor al 75%, se estima que éstas evitan la ocurrencia de CNC en un 75%. Esta estimación es indicativa y no absoluta, pues se basa en un conjunto de supuesto, tales como omitir las diferencias de condiciones entre los proyectos como las condiciones de entorno, equipos, personas, etc., considera una relación lineal entre efectividad y frecuencia e impacto de CNC, y está sujeta a que el impacto de CNC se mida en metros para contratos mineros, HH para contratos de infraestructura y  $m^3$  para contratos de movimiento de tierra.

Basado en la muestra utilizada para este estudio, las CNC para los contratos mineros se espera se reduzcan de 840 CNC por mes a 200, lo cual se traduce en una reducción del impacto de 150 metros por mes a 40 metros por mes. Para contratos de infraestructura la frecuencia de CNC por mes se contempla pase de 312 a 80, lo cual implica una reducción de 34.000 HH por mes a 8.500 HH por mes y por último, para los contratos de movimiento de tierra se espera que la ocurrencia de CNC por mes se reduzca de 170 a 40, lo cual disminuye el impacto de metros cúbicos por mes de 220.000 a 56.000. Lo anterior se observa en la Tabla 32 y Tabla 33.

Luego, al gestionar los eventos de mejora, se pueden recopilar lecciones aprendidas enfocadas en la disciplina operacional, que pueden ser utilizadas como medidas preventivas. Estas permiten evitar el retraso de los proyectos y apalancar plazos al aumentar las HHEE, evitando tiempos improductivos debido a descoordinaciones.

Es por ello que estas medidas se deben considerar antes de iniciar el contrato, lo que no solo le genera valor a Codelco, sino también al contratista, pues evita controversias y asegura liquidez en sus pagos al entregar los trabajos dentro del plazo estipulado.

La plataforma Sipro permite disponer de la información de todos los proyectos en forma transversal para la VP de Codelco, lo cual facilita la gestión del conocimiento y dispone de una herramienta para realizar el análisis de las lecciones aprendidas.

### 5.3 Recomendaciones

Se debe trabajar en la confiabilidad de la reportabilidad de CNC para todos los proyectos e incentivar su documentación en tiempo real. Esto permite realizar análisis robustos, utilizando herramientas estadísticas como gráficos de Pareto y diagramas de Jackknife que faciliten la toma de decisiones y la realización de eventos de mejora.

Se sugiere estandarizar la unidad de medida para cuantificar el impacto de las CNC de forma transversal. Esto permite realizar el estudio de la criticidad de las CNC incorporando la dimensión de impacto de forma global. Un buen candidato es HH pues es la unidad de medida que utilizan para la programación y control de actividades.

Las acciones recomendadas que se observan en la Figura 63, se deben incorporar, como se observa en la Tabla 34, en bases técnicas, Kick Off Meeting (KOM), talleres previos al inicio del contrato, entre otros, en función de su criticidad, para así inculcar una cultura preventiva y dar a conocer a todos los stakeholders las problemáticas que pueden surgir y el cómo evitarlas.

*Tabla 34: Recomendación de incorporación para las acciones preventivas principales.*

| <b>Acciones</b>                          | <b>Incorporación</b>                          |
|--|---|
| Estandarizar procesos                    | Talleres previos al inicio del contrato y KOM |
| Comunicación directa                     | Talleres previos al inicio del contrato       |
| Planificación conjunta                   | Incorporar en bases técnicas                  |
| Uso de herramientas de gestión           | Talleres previos al inicio del contrato y KOM |
| Cultura de mantenimiento preventivo      | Talleres previos al inicio del contrato y KOM |
| Coordinación de transporte interior mina | Incorporar en bases técnicas                  |
| Utilización de checklist en terreno      | Incorporar en bases técnicas                  |

Se debe fomentar el aprovechamiento de las lecciones aprendidas desde el inicio del contrato e incentivar la disciplina operacional, pues al inculcarlo tempranamente se hace más fácil generar una cultura de mejora continua robusta y permanente.

Adicional a las medidas provenientes de los eventos de mejora, es muy importante el realizar mediciones de todos los procesos, medir horas efectivas, metros perforados, tiempo de transporte, etc. Esto es crucial pues lo que no se mide no se controla y lo que no se controla, no se mejora.

Se invita a realizar un estudio del efecto que tiene tomar las acciones propuestas en este trabajo como medidas preventivas en futuros contratos de la VP, cuantificando la consecuencia real en la reducción de la frecuencia e impacto de las CNC por tipo de contrato y proyecto.

## 6. Glosario

A continuación se presentan el significado de las abreviaciones utilizadas en este trabajo.

|                |   |
|----------------|---|
| Codelco        | : Corporación Nacional del Cobre de Chile |
| VP             | : Vicepresidencia de Proyectos            |
| CNC            | : Causas de No Cumplimiento               |
| PMCHS          | : Proyecto Mina Chuquicamata Subterránea  |
| NNM            | : Nuevo Nivel Mina                        |
| NCC            | : Non-Compliance Causes                   |
| msnm           | : Metros sobre el nivel del mar           |
| Mt             | : Millones de toneladas                   |
| MUS\$          | : Millones de dólares                     |
| kUS\$          | : Miles de dólares                        |
| MB's           | : Macro Bloques                           |
| ppm            | : Partes por millón                       |
| HH             | : Horas Hombre                            |
| FP             | : Full Potential                          |
| RdP            | : Resolución de Problemas                 |
| EECC           | : Empresas Contratistas                   |
| MGP            | : Modelo de Gestión de Productividad      |
| tpd            | : Tonelada por día                        |
| CC             | : Contrato de Construcción                |
| PPC            | : Porcentaje del plan cumplido            |
| POD            | : Plan Of Day                             |
| VSM            | : Visual Stream Mapping                   |
| MTTR           | : Tiempo medio de reparación              |
| SIPRO          | : Sistema Integrado de Productividad      |
| HHEE           | : Horas Efectivas                         |
| KOM            | : Kick Off Meeting                        |
| m              | : Metros                                  |
| m <sup>3</sup> | : Metros cúbicos                          |

## 7. Bibliografía

- Aziz, R. F., & Hafez, S. M. (2013). Applying lean thinking in construction and performance improvement. *Alexandria Engineering Journal*, 52(4), 679-695.
- Baladrón, C., & Alarcón, L. F. (2017). Assessing the impact of lean methods in mining development projects. In *25th Annual Conference of the International Group* (pp. 137-144).
- Banawi, A., & Bilec, M. M. (2014). A framework to improve construction processes: Integrating Lean, Green and Six Sigma. *International Journal of Construction Management*, 14(1), 45-55.
- Cámara Chilena de la Construcción y Consejo Minero. (2015). *Buenas Prácticas en la Construcción Minera*.
- Cárdenas, J., & Enmanuel, A. (2014). Estudio de mantenimiento basado en la confiabilidad acorde al sistema ASSET management aplicado a la flota de bulldozer CAT D10T, Minera Anglo American Operación Mantoverde, 23-24, 42-46.
- Castillo, G., Alarcón, L. F., & González, V. A. (2015). Implementing lean production in copper mining development projects: Case study. *Journal of Construction Engineering and Management*, 141(1), 05014013.
- Carrizo Campos, C. (2015). Modelo gestión productividad para servicios de terceros, gerencia servicios - División El Teniente-Codelco, 13-25. Disponible en <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/137093>
- Chlebus, E., Helman, J., Olejarczyk, M., & Rosienkiewicz, M. (2015). A new approach on implementing TPM in a mine—A case study. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 15(4), 873-884.
- Consejo Minero. (2018). *Reporte Anual*.
- Codelco. (2018). *Agenda Estratégica 2016, Productividad y Costos*. (1st ed.).
- Codelco. (2018). *Bases Técnicas CC-32D, Construcción, montaje y puesta en marcha de ventilación secundaria interior mina*.
- Codelco. (2017). *Comité de Desarrollo de Proyectos, Proyectos Relaves*.
- Codelco. (2019) *Guías de Productividad*. (1st ed.).
- Codelco. (2020). *Lean Full Potential*.
- Codelco. (2018). *Manual de Gestión de Proyectos*. (1st ed.).

- Codelco. (2020). Memoria Anual 2019.
- Codelco. (2020). Modelo de Gestión VP.
- Codelco. (2019). Orden de servicio para incorporación de requerimientos del área de productividad en contrato de gestión de SSO.
- Codelco. (2020). Programación Trisemanal.
- Codelco. (2019). Requisitos de Productividad para Bases Técnicas. (1st ed.).
- Codelco. (2019). Servicios de ingeniería de detalles y terreno para sistema de manejo de mineral, sistema eléctrico y drenaje proyecto AN-NNM (pp. 14-19).
- Codelco. (2020). Should Cost, Academia Lean.
- Codelco & TBM Consulting Group. (2020). Metodología Kaizen.
- Codelco & TBM Consulting Group. (2020). Resolución de Problemas.
- Comisión Nacional de Productividad. (2017). Productividad en la Gran Minería del Cobre. (1st ed., pp. 35-85, 401-433).
- Cuevas, H., Solis, C. & Silva, I. (2019). Programación computacional y análisis de datos en educación estadística. Areté: Revista Digital del Doctorado en Educación de la Universidad Central de Venezuela, 5(9), 11-27.
- Flores, G., & Catalán, A. (2019). A transition from a large open pit into a novel “macroblock variant” block caving geometry at Chuquicamata mine, Codelco Chile. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 11(3), 549-561.
- Ibáñez Valenzuela, F. (2018). Análisis y definición de estrategias para la implementación de las herramientas del Lean Construction en Chile. Disponible en <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/168246>
- López, M. D. R., Grajales, M. H., & Corrales, M. E. V. (2017). Lean construction–LC bajo pensamiento Lean. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 16(30), 115-128.
- Löow, J., & Johansson, J. (2015). An overview of lean production and its application in mining. In *Aachen International Mining Symposia: Mineral resources and mine development 27/05/2015-28/05/2015* (pp. 121-136). RWTH Aachen University, Institute of Mining Engineering I.
- Pyzdek, T., & Keller, P. (2003). *The six sigma*. Estados Unidos: Mcgraw-hill.
- Quiroz Alegría, R. (2016). Implementación de metodología Lean en minería subterránea- estudio de caso Esmeralda. Disponible en [repositorio.uchile.cl/handle/2250/140554](http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/140554)

- Seifullina, A., Er, A., Nadeem, S. P., Garza-Reyes, J. A., & Kumar, V. (2018). A lean implementation framework for the mining industry. *Ifac-Papersonline*, 51(11), 1149-1154.
- Singh, S., & Kumar, K. (2019). Review of literature of lean construction and lean tools using systematic literature review technique (2008–2018). *Ain Shams Engineering Journal*.
- Socías Salas, N. (2017). Propuesta de mejora para el desarrollo de ingeniería pre-inversional de un proyecto minero utilizando el enfoque lean management. Disponible en <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/145337>
- Tello Morales, P. (2016). Análisis de productividad laboral en obras de construcción en proyectos subterráneos de la División El Teniente. Disponible en <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/140399>
- Vera Giglio, P. (2019). Implementación de prácticas productivas en contratos de preparación minera, 24-68. Disponible en [repositorio.uchile.cl/handle/2250/173008](http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/173008)
- Vergara, T. (2020). Codelco enfrenta crisis con peor ratio de deuda a nivel mundial. *El Mercurio*.

## 8. Anexos

### Anexo A: Resumen Extendido

# Integración y análisis de eventos de mejora con Lean Construction en proyectos mineros de Codelco

Héctor REYES HERRERA, Rodrigo POZO, Luis Felipe ORELLANA

Departamento de Ingeniería de Minas, FCFM – Universidad de Chile  
Dirección de Productividad, Vicepresidencia de Proyectos – Codelco

Héctor Reyes ([hector.reyes@ug.uchile.cl](mailto:hector.reyes@ug.uchile.cl))

Luis Felipe Orellana ([luisfelipe.orellana@ing.uchile.cl](mailto:luisfelipe.orellana@ing.uchile.cl))

### Resumen

Al analizar las CNC de los principales proyectos de construcción minera que gestiona la VP de Codelco, se desprende que estas se fundamentan en problemas en la confiabilidad de los datos, comunicación y entrega de la información; sobreutilización de equipos y cultura de mantenimiento reactivo; la no estandarización de procesos y una mala planificación, ya que es realizada en silos sin considerar las actividades de contratos que realizan labores en frentes cercanos. Al estudiar los eventos de mejora, se rescatan acciones que puedan ser propuestas como medidas que prevengan la ocurrencia de CNC en futuros contratos. Estas medidas se sostienen en fomentar y construir una robusta cultura de disciplina operacional. Todas las medidas propuestas provienen de eventos de mejoramiento continuo cuya efectividad es mayor al 75%, por lo cual se utilizan como hipótesis que estas evitan la ocurrencia de CNC en un 75% para cada uno de los tipos de contratos incluidos en el estudio.

### Abstract

When analyzing the non-compliance causes of the main mining construction projects managed by the VP of Codelco, it appears that these are based on problems in the reliability of data, communication and delivery of information; equipment overuse and reactive maintenance culture; the non-standardization of processes and poor planning, since it is carried out in silos without considering the activities of contracts that carry out work on nearby fronts. By studying the improvement events, actions that can be proposed as measures that prevent the occurrence of NCC in future contracts are rescued. These measures are sustained in fostering and building a robust culture of operational discipline. All the proposed measures come from continuous improvement events whose effectiveness is greater than 75%, for which reason they are used as hypotheses that prevent the occurrence of NCC by 75% for each of the types of contracts included in the study.

## 1. Introducción

Codelco debe mantener la continuidad de sus operaciones, por lo que ha debido impulsar una serie de proyectos, cuyo financiamiento ha aumentado su nivel de endeudamiento de forma considerable. Además, la constante fluctuación del precio del cobre y los altos costos de operación y de proyectos en los que se desenvuelve la corporación, hacen que su escenario actual sea bastante complejo.

A modo de hacer frente a esta realidad, es que la compañía se ha propuesto una ambiciosa meta de ahorrar 8.000 millones de dólares (Codelco, 2019). Para tales efectos, se encuentra en una etapa de transformación basada en tres pilares fundamentales: La Excelencia en Operaciones, La Excelencia en Proyectos y La Exploración de Recursos y Reservas.

La VP, quien es la encargada de gestionar y ejecutar la cartera de proyectos que permitan asegurar la continuidad de las operaciones de la empresa, cumple un rol clave al impulsar la excelencia en proyectos. Es por ello, que se encuentra gestionando su propia transformación, la transformación digital VP.

La transformación digital, busca desarrollar una serie de capacidades por medio de la adopción de la tecnología, que permitan convertir la información recopilada en los proyectos en palancas de valor. Es en este mismo contexto que se enmarca este proyecto.

El presente trabajo consiste en agregar valor para Codelco, por medio de la recopilación, análisis y digitalización de data relacionada con productividad. Esto permitirá convertir un pasivo, en información valiosa para disminuir el riesgo y aumentar la probabilidad de éxito de futuros proyectos.

El interés en esta labor se fundamenta en que no solo es importante “apagar incendios, sino que es tan o más importante el saber cómo prevenirlos”. Esta tarea aportará con herramientas que permitirán prevenir fugas de valor en futuros proyectos. Además, este pequeño grano de arena pretende ser un aporte para la empresa de todos los chilenos.

La minería es una actividad clave para la economía nacional, ya que su aporte al PIB es del 10%, genera un 8.6% del empleo nacional (directo e indirecto) y entre el 2009 y 2018 aportó aproximadamente 54.700 millones de dólares a las arcas fiscales. (Consejo Minero, 2018). La minería metálica destaca dentro de las actividades mineras, donde el cobre es protagonista.

El cobre ha sido la principal exportación de Chile durante más de un siglo (Comisión Nacional de Productividad, 2017). Su explotación a gran escala es llevada a cabo por un grupo de empresas privadas como BHP o Anglo American y una empresa estatal llamada Codelco.

La Corporación del Cobre de Chile (Codelco), líder de la industria minera mundial, lleva a cabo sus operaciones a través de ocho divisiones que son administradas por Casa Matriz. Estas divisiones son: Chuquicamata, Radomiro Tomic, Ministro Hales, Gabriela Mistral, El Salvador, Andina, Ventanas y El Teniente.

Muchas de estas divisiones explotan yacimientos centenarios que, para seguir siendo explotados, requieren cambios estructurales profundos. Tal es el caso de Chuquicamata, que luego de 105 años de explotación por el método de rajo abierto, hoy debe migrar a una explotación subterránea, que asegure la continuidad operacional y su aporte a todos los chilenos.

El organismo responsable de conceptualizar, diseñar, construir y poner en marcha los proyectos que permitan dar continuidad operacional a las divisiones es la VP. Esta se hace cargo de todos los proyectos geo-minero-metalúrgicos de Codelco que requieran de una inversión mayor a diez millones de dólares (Codelco, 2018).

La VP debe desarrollar proyectos que permitan extender la vida útil de gran parte de las divisiones de Codelco. Actualmente, debe afrontar, uno de los escenarios más adversos de la historia de la industria minera, debido a las constantes fluctuaciones del precio del cobre y el aumento de los costos de producción. Una de las palancas claves que aparece para afrontar la realidad actual y donde se deben enfocar los planes de acción es la productividad.

La productividad es la relación que existe entre la cantidad de producción y la cantidad de recursos empleados para ello (Quiroz, 2016). Esta relación permite entender que tan eficiente se es en la utilización de recursos como el tiempo, mano de obra y materiales para obtener determinadas metas. Existen variadas metodologías para impulsar la productividad, entre las cuales destaca la filosofía Lean.

La metodología Lean hace referencia a una serie de herramientas o métodos que permiten, entre otras cosas, eliminar las pérdidas por demoras e ineficiencias en los procesos internos de la organización y buscar siempre la perfección y mejoras de calidad (Rojas, Henao y Valencia, 2017). La VP utiliza esta metodología para gestionar objetivos productivos, la cual se encuentra enmarcada en el MGP.

El MGP sirve para implementar el ciclo de productividad considerando la planificación y documentación de los procesos, buscando siempre el mejoramiento continuo. Además de la filosofía Lean, el MGP comprende también la metodología Full Potential, que busca palancas de mejora en los procesos con tal de alcanzar el máximo potencial de sus operaciones en base a benchmarks de la industria y capacidad optimizada.

La construcción de los proyectos es llevada a cabo por EECC, las cuales son gestionadas por la VP. Para desarrollar la construcción de los proyectos, las EECC planifican sus actividades a distintos horizontes de tiempos, donde la planificación de corto plazo es conocida como programación.

Es habitual que las labores realizadas por las EECC no se cumplan según lo programado y las razones por lo cual ello ocurre se denominan CNC. Las CNC deben ser documentadas para su análisis. Cuando éstas poseen un alto impacto en las actividades diarias o su frecuencia es muy alta, se deben llevar a cabo eventos de mejora (Codelco, 2018).

## **2. Metodología**

## 2.1. Conceptualización

Se definen los objetivos y el alcance del trabajo solicitado por la Dirección de Productividad de la VP de Codelco, para posteriormente planificar el desarrollo de este.

## 2.2. Documentación

Se busca información sobre Codelco, Productividad y Metodologías Lean, con tal de adquirir conocimientos sobre los fundamentos de estas materias y encontrar los puntos en donde convergen. Esto permite elaborar una secuencia de trabajo que es suficiente para lograr los objetivos definidos y dentro del alcance delimitado.

## 2.3. Recopilación y organización de datos

Esta etapa permite generar una base de datos robusta y representativa mediante reuniones con especialistas de productividad y construcción, tanto VP como de EECC, quienes entregan la data que permite realizar los posteriores análisis.

La información recopilada se agrupa en tres: bases de datos de CNC, Documentación de Eventos de Mejora y Reportes de Avance.

Una vez realizada la recolección de datos, estos se ordenan. Para ello se comprende cual es el contenido de cada archivo almacenado (forma y formato) y se define un marco estándar de almacenamiento. Por lo que para cada base de datos se realiza lo siguiente:

- CNC: Categorizar y subcategorizar las CNC por estándar transversal para su posterior agrupamiento en una fuente única de información.
- Eventos de mejora: Listar de forma resumida eventos y almacenar en una base de datos transversal.
- Reportes de avance: Almacenar sistemáticamente la información proveniente de los planes de avance, haciendo una comparativa entre lo planificado y lo realizado.

## 2.4. Manejo y análisis de datos

Debido a que no todos los contratos documentan el impacto de las CNC, es que se procede a elaborar un modelo matemático que permita predecir el impacto a partir de las CNC que si cuantifican su efecto sobre la programación.

Se utilizan herramientas estadísticas, tales como diagramas de Pareto y Gráficas de Jackknife, para analizar el comportamiento de las CNC. Este análisis pretende identificar las de mayor impacto y frecuencia, tanto por proyecto, por tipo de contrato, por disciplina como por contrato en particular. Para este último se asocian las CNC a cada etapa del contrato, es decir inicio (Ramp up), régimen o término (Ramp down).

Se identifican las CNC que abordan los eventos de mejora para cuantificar el valor agregado que generó el evento en términos de costo y plazo. Luego, se analiza la viabilidad de las acciones definidas en el evento de mejora para convertirse en un estándar de constructibilidad en función del valor agregado que consigue.

### 3. Resultados

A partir de la integración y análisis estadístico de 31367 datos de CNC, que corresponden a todas las CNC recopiladas en el estudio, se tiene el siguiente gráfico de Pareto.

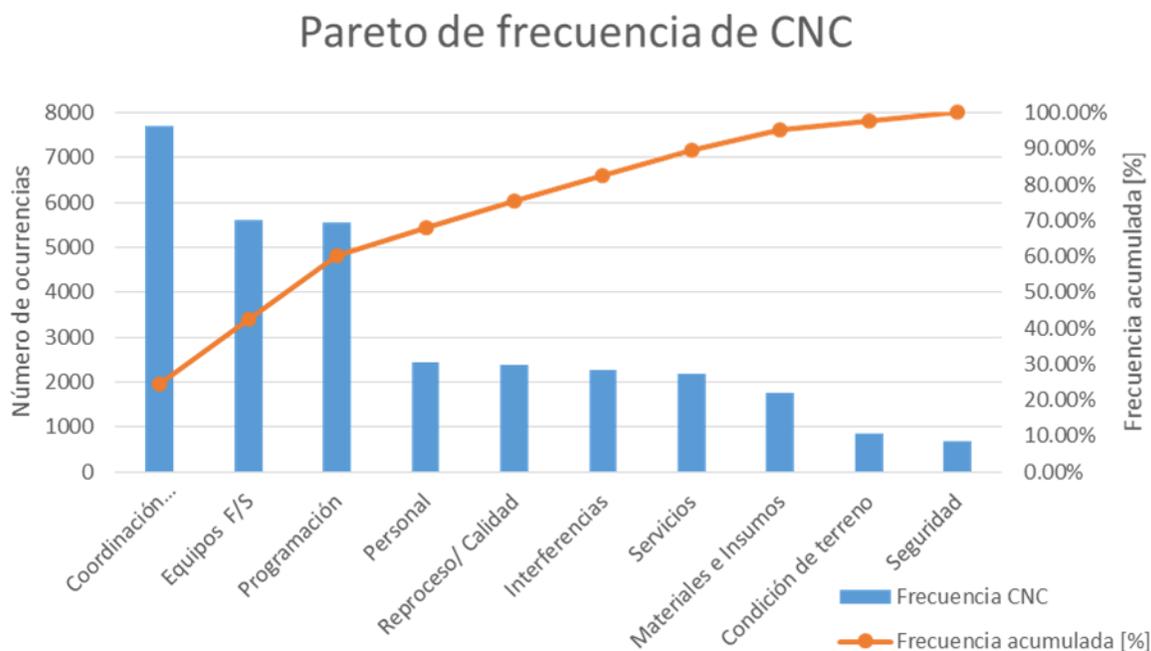


Figura 65: Pareto de frecuencia de CNC para la Vicepresidencia de Proyectos de Codelco.

Tabla 35: Subcategorías de las categorías de CNC de mayor ocurrencia.

| Coordinación Operacional     |                         | Equipo F/S    |                         | Programación                                    |                         |
|------------------------------|-------------------------|---------------|-------------------------|---|-------------------------|
| Subcategoría                 | Frecuencia relativa [%] | Subcategoría  | Frecuencia relativa [%] | Subcategoría                                    | Frecuencia relativa [%] |
| Actividad previa             | 53                      | Jumbo         | 23                      | Falla por cambio en la programación/prioridades | 44                      |
| Coordinación de marina       | 16                      | No especifica | 12                      | Falla por tiempo programado                     | 38                      |
| Equipo ubicación desconocida | 10                      | Boltec        | 12                      | Falla de programación equipos                   | 15                      |

Se recopilan 50 de eventos de mejora, de los cuales el 76% genera reportabilidad trazable de la evolución del KPI y el 24% dispone de información suficiente para el cálculo del valor ganado en plazo. Se grafican aquellos eventos de mejora que tengan una efectividad mayor a 75% y que posean documentación suficiente para realizar la trazabilidad para calcular el valor

agregado en plazo, ya que estos son candidatos para proponer medidas preventivas a futuros contratos. Las acciones extraídas de estos eventos de mejora se pueden resumir como se observa en la Figura 66.

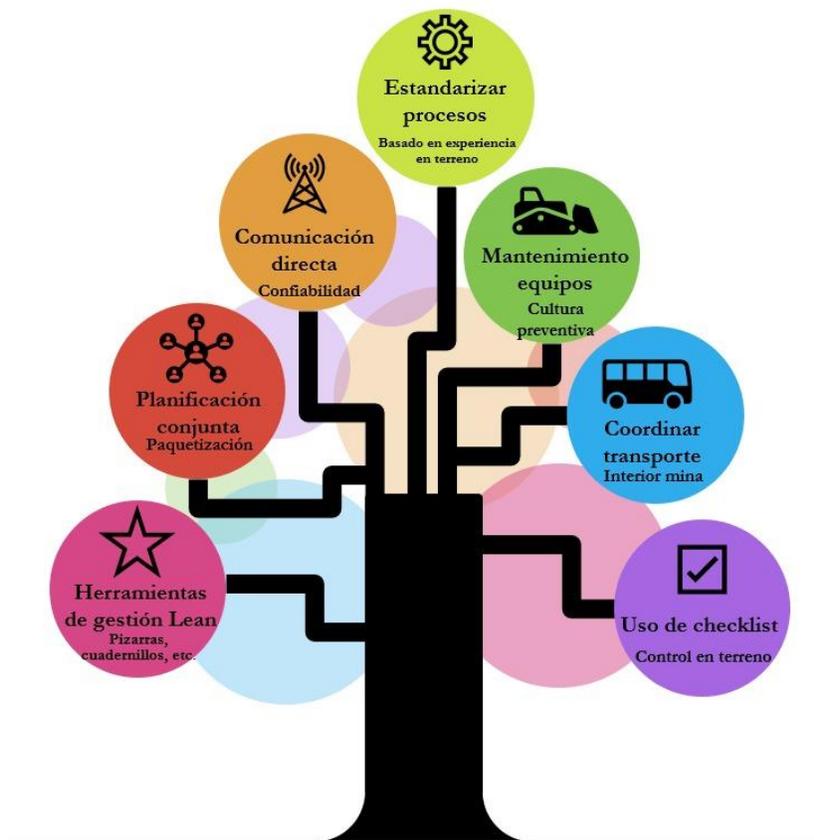


Figura 66: Resumen de acciones propuestas a partir de los eventos de mejora. Elaboración propia.

#### 4. Discusiones

Se aprecia que al analizar las CNC de forma transversal a nivel de la VP, estas se pueden agrupar en tres grupos: de alta frecuencia, superior a las 2.500 ocurrencias, de frecuencia intermedia, entre las 1.500 y 2.500 y de baja frecuencia, bajo las 1.500.

Las CNC que más ocurren, de alta frecuencia, son Coordinación Operacional, Equipos F/S y Programación agrupando el 60% de la ocurrencia acumulada, por lo tanto los esfuerzos deben estar enfocados en minimizar la ocurrencia de estas tres categorías.

Al aumentar el detalle, se desprende que para cada categoría, las CNC que más ocurren son actividad previa para Coordinación Operacional, que hace referencia a la CNC que ocurre cuando un equipo se dirige a realizar una labor programada a una frente y la actividad predecesora aún no ha terminado. Esto deja en manifiesto que existen problemas de flujo de información y comunicación al actualizar el estado de las frentes de trabajo.

Para Equipo F/S, los equipos que más veces generan problemas en la programación por estar fuera de servicio son el jumbo y el boltec. Mientras que en el 12% de las ocurrencias de estas CNC no se especifica el equipo. Para realizar un correcto análisis es crucial que se especifique el equipo involucrado durante la documentación de CNC.

Para la CNC Programación, las subcategorías críticas son la falla por cambio en la programación/prioridades y la falla por tiempo programado. Estas subcategorías agrupan sobre el 80% de la CNC Programación.

La alta existencia de la CNC falla por cambio en la programación/prioridades, se origina debido a tres motivos: ocurre como consecuencia de CNC anteriores que obligan a la EECC reasignar recursos para paliar atrasos, hay problemas en la calidad de la programación y esta subcategoría de CNC se utiliza para justificar no cumplimientos no documentados.

A partir del análisis y gestión de las lecciones aprendidas de los eventos de mejora se proponen una serie de acciones como medidas preventivas para futuros proyectos que se fundamentan en la disciplina operacional.

Estas acciones propuestas se pueden agrupar en cuatro principales pilares que son: Mejorar la confiabilidad y el flujo de la información, estandarizar procesos y asegurar su cumplimiento con checklist, evitar la sobreutilización de equipos y realizar planes de mantenimiento preventivo y paquetizar contratos para planificar en conjunto y así evitar interferencias.

## **5. Conclusiones**

A partir de estas herramientas se logran identificar patrones comunes entre los distintos contratos analizados, en donde las CNC críticas se repiten independiente del tipo de contrato, ya que sus raíces son la cultura constructiva imperante. Estas CNC se agrupan en las categorías Coordinación Operacional, Equipos F/S y Programación.

La ocurrencia de estas CNC se fundamentan en problemas en la confiabilidad de los datos, comunicación y entrega de la información; sobreutilización de equipos y cultura de mantenimiento reactivo; la no estandarización de procesos y una mala planificación, ya que es realizada en silos sin considerar las actividades de contratos que realizan labores en frentes cercanos.

A partir del análisis y gestión de las lecciones aprendidas de los eventos de mejora se proponen una serie de acciones como medidas preventivas para futuros proyectos las cuales se agrupan en cuatro pilares: Mejorar la confiabilidad y el flujo de la información, Estandarizar procesos y asegurar su cumplimiento mediante la utilización de checklist, evitar la sobreutilización de equipos e instaurar una cultura de mantenimiento preventivo y el paquetizar contratos para planificar en conjunto y así evitar interferencias entre diferentes contratos.

Luego al gestionar los eventos de mejora, se pueden recopilar lecciones aprendidas enfocadas en la disciplina operacional que pueden ser utilizadas como medidas preventivas. Al tomar medidas preventivas previo a que inicie el contrato permite evitar el atraso de los proyectos y apalancar plazos y no solo le generan valor a Codelco, sino también al contratista, pues evita

controversias y asegura liquidez en sus pagos al entregar los trabajos dentro del plazo estipulado.

## **Bibliografía**

- Baladrón, Cristóbal & Alarcon, Luis. (2017). Assessing the Impact of Lean Methods in Mining Development Projects. 137-144. doi:10.24928/2017/0272.
- Banawi, A., & Bilec, M. (2014). A framework to improve construction processes: Integrating Lean, Green and Six Sigma. *International Journal Of Construction Management*, 14(1), 45-55. doi: 10.1080/15623599.2013.875266
- Castillo, G., Alarcón, L. and González, V., (2015). Implementing Lean Production in Copper Mining Development Projects: Case Study. *Journal of Construction Engineering and Management*, 141(1), p.05014013.
- Chlebus, E., Helman, J., Olejarczyk, M., & Rosienkiewicz, M. (2015). A new approach on implementing TPM in a mine – A case study. *Archives Of Civil And Mechanical Engineering*, 15(4), 873-884. <https://doi.org/10.1016/j.acme.2015.07.002>
- Consejo Minero. (2018). Reporte Anual.
- Codelco. (2018). Manual de Gestión de Proyectos. (1st ed.).
- Codelco. (2018). Agenda Estratégica 2016, Productividad y Costos. (1st ed.).
- Codelco. (2019) Guías de Productividad. (1st ed.).
- Codelco. (2019). Requisitos de Productividad para Bases Técnicas. (1st ed.).
- Codelco. (2018). Steering Committee #10 Productividad C+.
- Comisión Nacional de Productividad. (2017). Productividad en la Gran Minería del Cobre. (1st ed., pp. 35-85, 401-433).
- Ibáñez Valenzuela, F. (2018). Análisis y definición de estrategias para la implementación de las herramientas del Lean Construction en Chile. Disponible en <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/168246>
- Rojas López, M., Henao Grajales, M., & Valencia Corrales, M. (2017). Lean construction – LC bajo pensamiento Lean. *Revista Ingenierías Universidad De Medellín*, 16(30), 115-128. doi: 10.22395/rium.v16n30a6.
- Seifullina, A., Er, A., Nadeem, S., Garza-Reyes, J. and Kumar, V., 2018. A Lean Implementation Framework for the Mining Industry. *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), pp.1149-1154.

Socías Salas, N. (2017). Propuesta de mejora para el desarrollo de ingeniería pre-inversional de un proyecto minero utilizando el enfoque lean management. Disponible en <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/145337>

Tello Morales, P. (2016). Análisis de productividad laboral en obras de construcción en proyectos subterráneos de la División El Teniente. Disponible en <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/140399>

## Anexo B: Base de datos resumida eventos de mejora

Tabla 36: Base de datos resumida eventos de mejora recopilados.

| Proyecto    | Contrato  | Nombre evento de mejora                            | RdP/Kaizen | CNC                      | Kpi                                     | Efectividad |
|-------------|-----------|--|------------|--------------------------|---|-------------|
| Andes Norte | CC82      | Falta de caudal de agua para operación             | RdP        | Servicios                | Caudal disponible [l/s]                 | 55,0        |
| Andes Norte | CC82      | Mejora de flujo de información                     | RdP        | Coordinación Operacional | Impacto CNC (#disparos/semana)          | 75,0        |
| Andes Norte | CC82      | Fallas de equipos                                  | RdP        | Equipos F/S              | Impacto CNC (#disparos/semana)          | 66,7        |
| Andes Norte | CC82      | Mejora de eficiencia de disparo                    | RdP        | Reproceso/Calidad        | Eficiencia del disparo                  | 120,0       |
| Andes Norte | CC82      | Mejora rendimiento extracción marina en P4600      | RdP        | Coordinación Operacional | Extracción de marina tele comandada [%] | 133,3       |
| Andes Norte | CC82      | Mejora rendimiento topografía y foto Adams         | RdP        | Reproceso/Calidad        | Duración del proceso [min]              | 100,0       |
| Andes Norte | CC81      | Mantenibilidad                                     | RdP        | Equipos F/S              | Frecuencia relativa porcentual [%]      | 56,5        |
| Andes Norte | CC85      | Optimización traslado de camiones con marina       | RdP        | Coordinación Operacional | Viajes/turno                            | 10,0        |
| Andes Norte | CC85      | Mejora del proceso de contratación MO Directa      | RdP        | Personal                 | # trabajadores en dotación directa/mes  | 81,8        |
| Andes Norte | CC85      | Eficiencia de Disparo (Desviaciones durante Julio) | RdP        | Reproceso/Calidad        | Eficiencia del disparo                  | 60,0        |
| Andes Norte | CC85      | RdP de marinas                                     | RdP        | Coordinación Operacional | Viajes marina                           | 23,5        |
| Andes Norte | CC85      | RdP de Fotogrametría.                              | RdP        | Reproceso/Calidad        | Calidad foto Adams [%]                  | 20,0        |
| Andes Norte | CC85      | RdP Horario de Tronadura                           | RdP        | Coordinación Operacional | Horas efectivas                         | 13,3        |
| PMCHS       | CC-013A-F | RdP tiempo efectivo                                | RdP        | Coordinación Operacional | HHEE/turno                              | 66,7        |
| PMCHS       | CC-051    | RdP Horas Efectivas                                | RdP        | Coordinación Operacional | HHEE/día                                | 51,6        |
| PMCHS       | CC-051    | RdP Cambio de turno (bajada)                       | RdP        | Coordinación Operacional | HHEE/día                                | 66,7        |
| PMCHS       | CC-051    | RdP Acreditación Equipos                           | RdP        | Personal, Programación   | días                                    | 0,0         |

|                    |         |  |        |   |                        |       |
|--------------------|---------|--|--------|---|------------------------|-------|
| <b>PMCHS</b>       | CC-051  | RdP Proceso de Lechado   | RdP    | Personal, Reproceso/Calidad, Equipo F/S           | HH impactadas          | 96,6  |
| <b>PMCHS</b>       | CC-051  | RdP A. y C. personal   | RdP    | Coordinación Operacional                          | días                   | 52,6  |
| <b>PMCHS</b>       | CC-051  | RdP Mantenimiento  | RdP    | Programación, Equipos F/S                         | Plan de mant           | 50,0  |
| <b>PMCHS</b>       | CC-010  | Kaizen Horas Efectivas Cubex                                       | Kaizen | Equipo F/S, Programación                          | HHEE/turno             | 83,3  |
| <b>PMCHS</b>       | CC-024B | RdP Cursos de capacitación   | RdP    | Personal  | Condiciones            | 100,0 |
| <b>PMCHS</b>       | CC-010  | RdP Operación HRI  | RdP    | Coordinación Operacional, Servicios, Programación | HHEE/turno             | 100,0 |
| <b>PMCHS</b>       | CC-023B | RdP Suministros de bodega  | RdP    | Coordinación Operacional, Materiales e Insumos    | Número de paños        | 100,0 |
| <b>PMCHS</b>       | CC-010  | RdP Mantenición Cubex  | RdP    | Equipo F/S, Programación                          | HHEE/turno             | 58,3  |
| <b>PMCHS</b>       | CC-010  | RdP Calidad de pavimentos  | RdP    | Reproceso/Calidad                                 | %cumplimiento          | 45,5  |
| <b>PMCHS</b>       | CC-024B | RdP Logística de bodega  | RdP    | Programación                                      | Número de CNC/día      | 40,0  |
| <b>PMCHS</b>       | CC-024B | RdP Herramientas   | RdP    | Coordinación Operacional, Programación            | HHEE/día               | 20,0  |
| <b>PMCHS</b>       | CC-024B | RdP Sostenimiento HHEE   | RdP    | Coordinación Operacional, Programación            | N° CNC                 | 50,0  |
| <b>PMCHS</b>       | CC-010  | RdP Juntas frías muros de conf.                                    | RdP    | Programación, Servicios,                          | Número de CNC/día      | 70,8  |
| <b>PMCHS</b>       | CC-023B | Kaizen Incremento Cumplimiento del Programa trisemanal             | Kaizen | Programación                                      | Adherencia al 3WK      | 180,0 |
| <b>Andes Norte</b> | CC81    | RdP Aumento de HHEE CC81 Zublin                                    | RdP    | Coordinación Operacional                          | HHEE/turno             | 85,8  |
| <b>Andes Norte</b> | CC118   | RdP Optimización traslado de Camiones con marina                   | RdP    | Coordinación Operacional                          | Número de viajes/turno | 75,0  |
| <b>Andes Norte</b> | CC118   | RdP Movimiento de marinas desarrollo Acc. Rampa Chancado Gradilcic | RdP    | Coordinación Operacional                          | Tiempo de ciclo [h]    | 42,9  |

|                    |      |   |        |                          |  |       |
|--------------------|------|---|--------|--------------------------|--|-------|
| <b>Talabre</b>     | CC01 | Disminución de tiempo de permanencia de los camiones en el botadero | Kaizen | Coordinación Operacional | Tiempo de permanencia camiones en botadero | 100,0 |
| <b>Talabre</b>     | CC01 | Utilización de camiones proyecto Talabre                            | Kaizen | Programación             | Utilización de equipos [h/turno]           | 100,0 |
| <b>Talabre</b>     | CC01 | Extensión Sur   | Kaizen | Materiales e Insumos     | Avance diario [metros lineales]            | 35,3  |
| <b>Andes Norte</b> | CC82 | RdP Aumento de tiempo disponible en la frente                       | RdP    | Coordinación Operacional | Horas disponibles/turno                    | 68,4  |
| <b>Talabre</b>     | CC01 | Mejoras de tiempos casa de cambio                                   | RdP    | Coordinación Operacional | Horas disponibles/turno                    | -     |
| <b>Talabre</b>     | CC01 | Mejoras mantención generadores                                      | RdP    | Equipos F/S              | Horas disponibles/turno                    | -     |
| <b>Talabre</b>     | CC01 | Movilizar a terreno turnos diferidos                                | RdP    | Coordinación Operacional | Horas disponibles/turno                    | -     |
| <b>Talabre</b>     | CC01 | Plan de incentivos  | RdP    | Personal                 | Horas disponibles/turno                    | -     |
| <b>Talabre</b>     | CC01 | Cambio de señalética  | RdP    | Coordinación Operacional | Horas disponibles/turno                    | -     |
| <b>Talabre</b>     | CC01 | Optimización de recursos durante el almuerzo                        | RdP    | Coordinación Operacional | Horas disponibles/turno                    | -     |
| <b>Talabre</b>     | CC01 | Baja cantidad de termo fusiones                                     | RdP    | Programación             | Horas disponibles/turno                    | -     |
| <b>Talabre</b>     | CC01 | Desperdicios en la transportación                                   | RdP    | Coordinación Operacional | Horas disponibles/turno                    | -     |
| <b>Talabre</b>     | CC01 | Escases de suministros  | RdP    | Materiales e Insumos     | Horas disponibles/turno                    | -     |
| <b>Talabre</b>     | CC01 | Mejora mantención de equipos de apoyo                               | RdP    | Equipos F/S              | Horas disponibles/turno                    | -     |
| <b>Talabre</b>     | CC01 | Mejorar rendimiento de lámina HDPE                                  | RdP    | Materiales e Insumos     | Horas disponibles/turno                    | -     |
| <b>Talabre</b>     | CC13 | Mejora de tiempos disponibles en la frente                          | RdP    | Coordinación Operacional | Horas disponibles/turno                    | -     |

## Anexo C: Memoria de cálculo estimación de efectos al tomar medidas preventivas.

Tabla 37: Frecuencia e Impacto de CNC real antes del evento de mejora para contratos mineros.

| CNC                             | Frecuencia total | Impacto total [horas] | Tiempos [días] | Tiempos [mes] | Frecuencia/mes | Promedio horas/mes |
|---------------------------------|------------------|-----------------------|----------------|---------------|----------------|--------------------|
| <b>Reproceso/Calidad</b>        | 2.150            | 3.337                 | 516            | 17            | 125            | 194                |
| <b>Coordinación Operacional</b> | 7.188            | 7.718                 | 653            | 22            | 330            | 355                |
| <b>Equipo F/S</b>               | 5.382            | 7.905                 | 637            | 21            | 253            | 372                |
| <b>Personal</b>                 | 2.216            | 2.462                 | 514            | 17            | 129            | 144                |

Tabla 38: Frecuencia e Impacto estimada al tomar medidas preventivas para contratos mineros.

| CNC                             | Promedio metros/mes | Frecuencia/mes | Promedio metros/mes | Promedio Impacto/mes |
|---------------------------------|---------------------|----------------|---------------------|----------------------|
| <b>Reproceso/Calidad</b>        | 28                  | 31             | 7                   | 49                   |
| <b>Coordinación Operacional</b> | 51                  | 83             | 13                  | 89                   |
| <b>Equipo F/S</b>               | 53                  | 63             | 13                  | 93                   |
| <b>Personal</b>                 | 21                  | 32             | 5                   | 36                   |

Tabla 39: Indicadores totales para el conjunto de CNC.

| Frecuencia/mes | Promedio horas/mes | Promedio metros/mes | Frecuencia/mes | Promedio metros/mes | Promedio Impacto/mes |
|----------------|--------------------|---------------------|----------------|---------------------|----------------------|
| 838            | 11                 | 152                 | 210            | 38                  | 266                  |

Tabla 40: Tabla de equivalencia de impacto horas a metros.

| Impacto Minería |        |
|-----------------|--------|
| Horas           | Metros |
| 38.793          | 5.541  |

Lo Tabla 40 indica que 0.14 metros de avance se logran en una hora de trabajo en contratos mineros. Este dato se utiliza para realizar la equivalencia de horas a metros de impacto en la Tabla 37.

Tabla 41: Frecuencia e Impacto de CNC real antes del evento de mejora para contratos de infraestructura.

| CNC                  | Frecuencia total | Impacto total [HH] | Tiempos [días] | Tiempos [mes] | Frecuencia/mes | Promedio HH/mes |
|----------------------|------------------|--------------------|----------------|---------------|----------------|-----------------|
| Programación         | 791              | 83.889             | 178            | 6             | 133            | 14.139          |
| Materiales e insumos | 324              | 36.186             | 139            | 5             | 70             | 7.810           |
| Personal             | 125              | 13.886             | 71             | 2             | 53             | 5.867           |
| Reproceso/Calidad    | 136              | 14.861             | 72             | 2             | 57             | 6.192           |

Tabla 42: Frecuencia e Impacto estimada al tomar medidas preventivas para contratos de infraestructura.

| CNC                  | Frecuencia/mes | Promedio Impacto/mes |
|----------------------|----------------|----------------------|
| Programación         | 33             | 4                    |
| Materiales e insumos | 17             | 2                    |
| Personal             | 13             | 1                    |
| Reproceso/Calidad    | 14             | 2                    |

Tabla 43: Indicadores totales para el conjunto de CNC.

| Frecuencia/mes | Promedio Impacto/mes | Frecuencia/mes | Promedio Impacto/mes |
|----------------|----------------------|----------------|----------------------|
| 313            | 34.008               | 78             | 8.502                |

Tabla 44: Frecuencia e Impacto de CNC real antes del evento de mejora para contratos de movimiento de tierra.

| CNC          | Frecuencia total | Impacto total [m <sup>3</sup> ] | Tiempos [días] | Tiempos [mes] | Frecuencia/mes | Promedio Impacto/mes |
|--------------|------------------|---------------------------------|----------------|---------------|----------------|----------------------|
| Programación | 200              | 260.000                         | 35             | 1             | 171            | 222.857              |

Tabla 45: Frecuencia e Impacto estimada al tomar medidas preventivas para contratos de movimiento de tierra.

| CNC          | Frecuencia/mes | Promedio Impacto/mes |
|--------------|----------------|----------------------|
| Programación | 42             | 56.000               |