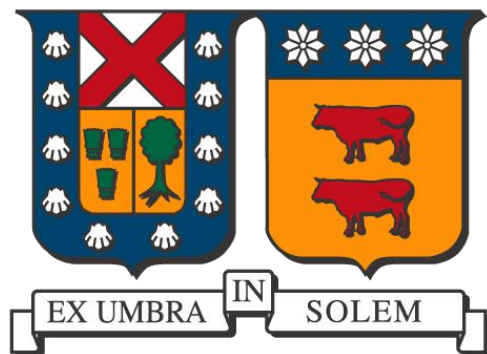


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y DE MATERIALES
SANTIAGO – CHILE



SISTEMA DE MONITOREO EN LÍNEA DE LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS
SUBTERRÁNEAS EN CODELCO CHILE DIVISIÓN EL TENIENTE

AUTOR
CAROLINA DENISSE SANHUEZA SALDAÑO

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL DE MINAS

PROFESOR GUÍA
VICTOR ENCINA MONTENEGRO

MIEMBROS DE LA COMISIÓN
MARCELO PEREZ CONTRERAS
OLIVER MIRANDA ARENAS

MAYO 2020

Agradecimientos

En esta última etapa me gustaría agradecer a todas las personas que fueron parte de ella, y que de alguna u otra forma dejaron una huella en el transcurso de este camino.

Primero que todo agradecer a mi familia por todo su apoyo, por su confianza y su preocupación durante todos estos años, agradecer en especial a mis padres, pilares fundamentales en mi crecimiento personal, quienes han estado siempre para mí y me han entregado amor incondicional, todo esto es gracias a ustedes.

A mi novio Felipe por su comprensión, compañía y paciencia. Gracias por escucharme, quererme y apoyarme siempre.

A mis amigos y compañeros que conocí desde los primeros años en Plan Común y con los que sigo hasta el día de hoy, con los que he compartido distintos momentos y vivido grandes experiencias. A la Gaby por acompañarme en esas largas noches de estudio, por las risas y estupideces durante clases, agradecer también a su familia por recibirme siempre con mucho cariño en su hogar. A la Mica, que a pesar de la distancia y de haber elegido carreras diferentes siempre has estado presente y preocupada por mí.

Al Departamento de Minas, por entregarme los conocimientos y herramientas que me permitieron realizar este trabajo y los variados estudios que vendrán a futuro. A Leslie por todo su apoyo entregado más allá de lo académico, por estar siempre para escucharme y darme consejos. De forma especial agradezco a mi profesor guía Don Víctor Encina, por apoyarme durante la realización del presente trabajo, por compartir sus conocimientos durante todos estos años de estudio, además por su cercanía y empatía.

Finalmente agradecer la Vicepresidencia de Proyectos Nuevo Nivel Mina, por darme la posibilidad de desarrollar el presente trabajo. Junto con esto, agradecer de forma particular a mi tutor Sr. Oliver Miranda por la oportunidad otorgada para desarrollar mi memoria, al Sr. Rodrigo Pozo por su buena disposición a ayudar, por guiarme y estar siempre pendiente de mi trabajo, agradecer a todos los viejos de la Casa 62 por proporcionar la información que requería para desarrollar este estudio y por los consejos y apoyo prestados, en especial a Don Guillermo Caballero por su cercanía y generosidad.

¡Muchas Gracias Todos!

*“Dedicado a mi familia en especial a mis padres
por todo el amor entregado y su constante apoyo”*

RESUMEN

Luego de 105 años de vida productiva, la mina El Teniente experimenta hoy el agotamiento de los sectores que actualmente se encuentran en explotación, lo que le exige avanzar hacia una nueva fase de profundización, con el objetivo de extender su operación y asegurar el cumplimiento de las metas de producción programadas por la Corporación. En este marco es que, en el año 2011, se aprobó la ejecución del Proyecto Nuevo Nivel Mina, cuyo objetivo es explotar las reservas de mineral ubicadas 300 metros más profundo que los niveles actuales de explotación de la mina El Teniente, otorgando continuidad operacional a la División. Tras dificultades presentadas durante la construcción del Proyecto, es que nace el Proyecto Nuevo Nivel Mina Andes Norte, el cual considera en primera instancia la explotación de solo un sector del Nuevo Nivel Mina denominado Andes Norte, acompañado de otras dos nuevas minas. Una vez consolidada la explotación de la mina Andes Norte el año 2032 comienza una segunda etapa de expansión al resto de minas para completar las reservas del proyecto original, lo que permitirá mantener los niveles de producción de la División El Teniente por los próximos 50 años.

En la construcción subterránea de las obras de excavación del Proyecto Nuevo Nivel Mina Andes Norte (PNNM-AN) se presentan constantes pérdidas operacionales y desperdicios de recursos, los cuales no alcanzan ser controlados, debido a que solo se logra obtener una visualización operacional localizada y se cuenta con poca información sobre lo que ocurre en las operaciones durante el desarrollo del turno, y cualquier desviación presentada durante el turno es detectada al final de este, sin tener la posibilidad de corregirlo en el mismo instante evitando cualquier desperdicio. En este marco es que la Vicepresidencia de Proyectos de Codelco está desarrollando un Sistema de Monitoreo en Línea (SML) de las obras de excavación de la construcción subterráneas del PNNM-AN, con el objetivo de aumentar la productividad, optimizar el uso de recursos y mejorar los niveles de seguridad.

De acuerdo con lo anterior, es que en este trabajo se han establecidos los requerimientos básicos del SML respecto a la información clave que debe capturar, procesar y desplegar en la sala de control de operaciones. Para esto, primero se identificaron los problemas y causas de las pérdidas operacionales con mayor frecuencia e impacto en el desarrollo del Proyecto, enfocado en la búsqueda de oportunidades de mejora que pudiesen ser abarcadas por el SML, tales como el mejoramiento de la planificación, comunicación y coordinación de las actividades desarrolladas durante el turno, así como también el mejoramiento del uso de los recursos disponibles y la disponibilidad de los equipos. A partir de las oportunidades de mejora identificadas se entregaron distintas soluciones a partir de la información que podría proporcionar el SML, determinado finalmente que para obtener esta información es necesario monitorear a través del SML las distintas frentes de trabajo, las personas en faena y todos los equipos involucrados en el ciclo de avance.

ABSTRACT

After 105 years of productive life, the mine “El Teniente” is currently experiencing the depletion of the sectors that are currently in operation, which requires it to move towards a new deepening phase, with the aim of extending its operation and ensuring compliance with the production goals programmed by the Corporation. Within this framework, in 2011, the execution of the Project "Nuevo Nivel Mina" was approved, whose objective is to exploit the mineral reserves located 300 meters deeper than the current levels of exploitation of the mine "El Teniente", granting operational continuity to the division. After difficulties presented during the construction of the Project, the Project "Nuevo Nivel Mina" was born, which considers in the first instance the exploitation of only a sector of the "Nuevo Nivel Mina" called the "Andes Norte", accompanied by two other new mines. Once the exploitation of the mine "Andes Norte" is consolidated, in 2032 a second stage of expansion begins to the rest of the mines to complete the reserves of the original project, which will allow the production levels of the "División El Teniente" to be maintained for the next 50 years.

In the underground construction of the excavation works of the Project "Nuevo Nivel Mina Andes Norte", there are constant operational losses and waste of resources, which cannot be controlled, since only a localized operational visualization is obtained and little information is available about what happens in operations during the development of the shift, and any deviation presented during the shift is detected at the end of this, without having the possibility of correcting it at the same time avoiding any waste. In this framework, the Vicepresidencia de Proyectos de Codelco Chile is developing a "Sistema de Monitoreo en Línea" (SML) of the excavation works of the underground construction of the project "Nuevo Nivel Mina Andes Norte", with the objective of increasing productivity, optimizing the use of resources and improve security levels.

In accordance with the above, it is that in this work the basic requirements of the SML have been established regarding the key information that must be captured, processed and displayed in the operations control room. For this, the problems and causes of operational losses with the highest frequency and impact on the development of the Project were first identified, focused on the search for improvement opportunities that could be covered by the SML, such as the improvement of planning, communication and coordination of the activities carried out during the shift, as well as improving the use of available resources and the availability of equipment. From the identified improvement opportunities, different solutions were delivered based on the information that the SML could provide, where it was finally determined that to obtain this information it is necessary to monitor through the SML the different fronts, people and work teams involved in the advance cycle.

GLOSARIO

Conceptos	Definición
CODELCO	Por sus siglas Corporación Nacional del Cobre, es la empresa estatal chilena dedicada a la explotación minera cuprífera. También puede ser nombrada como “la Corporación”.
Vicepresidencia de Proyectos (VP)	Institución perteneciente a CODELCO, cuya misión es garantizar que los proyectos de inversión que la Corporación decida emprender se analicen, desarrollen y construyan de manera que entreguen los resultados comprometidos considerando la seguridad, sustentabilidad, plazos, costos, calidad y riesgos establecidos.
DET	División El Teniente, mina perteneciente a Codelco.
PNNM	Proyecto Nuevo Nivel Mina, expansión de la mina El Teniente.
AN	Sector Andes Norte parte del Proyecto Nuevo Nivel Mina.
SML	Sistema de Monitoreo en Línea.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	1
1.1. CONTEXTO	1
1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.3. OBJETIVOS	2
1.4. ALCANCES Y LIMITACIONES	3
1.5. METODOLOGÍA DE TRABAJO	3
1.5.1. <i>Recopilación de Información</i>	4
1.5.2. <i>Análisis de Datos</i>	5
1.5.3. <i>Determinar Oportunidades de Mejoramiento</i>	5
1.5.4. <i>Entrega de Soluciones</i>	5
1.5.5. <i>Conclusiones y Recomendaciones</i>	5
CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE	6
2.1. ANTECEDENTES.....	6
2.1.1. <i>Producción de Cobre en Chile</i>	6
2.1.2. <i>Corporación Nacional del Cobre (CODELCO)</i>	7
2.1.3. <i>División El Teniente</i>	8
2.1.4. <i>Proyecto Nuevo Nivel Mina</i>	11
2.1.5. <i>Plan de Desarrollo Alternativo (PDA)</i>	12
2.1.6. <i>Nuevo Nivel Mina Andes Norte</i>	14
2.1.7. <i>Modelo de Negocio del Proyecto</i>	15
2.1.8. <i>Principales contratos PNNM – AN</i>	16
2.1.9. <i>Construcción en Minería Subterránea</i>	17
2.1.10. <i>Sistemas de Gestión y Planificación</i>	25
2.1.11. <i>Productividad</i>	26
2.1.12. <i>Tecnología e innovación Minera</i>	29
2.1.13. <i>Sistema de Monitoreo en Línea</i>	32
2.2. SITUACIÓN ACTUAL DE TRABAJO	38
2.2.1. <i>Planificación y Coordinación del Turno</i>	38
2.2.2. <i>Asignación de Recursos</i>	39
2.2.3. <i>Reunión de Programación Diaria (POD)</i>	39
2.3. ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO.....	41
2.3.1. <i>Principal Literatura Revisada</i>	41
2.3.2. <i>Indicadores Utilizados</i>	42
2.3.3. <i>Principales Problemas y Brechas encontradas</i>	42

2.3.4. Oportunidades Detectadas	46
2.4. CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO.....	47
CAPÍTULO 3: DESARROLLO	48
3.1. DIAGNÓSTICO USO DEL TIEMPO	48
3.1.1. <i>Tiempo Disponible de Trabajo</i>	50
3.1.2. <i>Tiempo Efectivo de Trabajo</i>	51
3.1.3. <i>Muestreo de Trabajo</i>	53
3.1.4. <i>Causas Tiempo de Detenciones</i>	55
3.2. PROBLEMAS Y CAUSAS	64
3.3. ESTRATEGIA DE SOLUCIÓN.....	67
3.4. OPORTUNIDADES Y SOLUCIONES.....	71
3.5. CAPTURA Y PROCESAMIENTO DE DATOS	74
3.5.1. <i>Monitoreo de Equipos</i>	74
3.5.2. <i>Monitoreo de Personas</i>	81
3.5.3. <i>Monitoreo de Frentes</i>	83
3.5.4. <i>Programación y Asignación de Actividades</i>	85
3.6. INDICADORES DE DESEMPEÑO CLAVES.....	85
3.7. TABLEROS DE CONTROL	88
CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	90
4.1. CONCLUSIONES.....	90
4.2. RECOMENDACIONES	91
BIBLIOGRAFÍA	92
ANEXOS	94
ANEXO A . ALCANCES EXCAVACIONES HORIZONTALES.....	94
ANEXO B . SISMICIDAD EN LAS OBRAS DE CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO	98
<i>B.1. Control del Riesgo Sísmico</i>	101
ANEXO C . CONTRATOS PROYECTO	104
ANEXO D . DESGLOSE JORNADA DE TRABAJO Y METAS PROPUESTAS.....	105
ANEXO E . CLASIFICACIÓN DE ACTIVIDADES DEL MUESTREO DE TRABAJO.....	106
ANEXO F . METODOLOGÍA PARA DETERMINAR LAS CAUSAS DE DETENCIONES.....	108
ANEXO G . DISTRIBUCIÓN DE TIEMPOS ASARCO	109
<i>G.1. Definición Indicadores de Gestión Operacional de los Equipos</i>	110

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2.1. PRINCIPALES MODIFICACIONES DEL PROYECTO NUEVO NIVEL MINA.....	14
TABLA 2.2. OBRAS DE PREPARACIÓN Y DESARROLLO PARA EL PNNM – AN.	17
TABLA 2.3. RESUMEN OPERACIÓN DE PERFORACIÓN DE AVANCE.....	19
TABLA 2.4. RESUMEN OPERACIÓN DE CARGUÍO Y TRONADURA.	20
TABLA 2.5. RESUMEN OPERACIÓN DE VENTILACIÓN Y CHEQUEO.	20
TABLA 2.6. RESUMEN OPERACIÓN EXTRACCIÓN DE MARINAS.....	21
TABLA 2.7. RESUMEN OPERACIÓN DE ACUÑADURA.	22
TABLA 2.8. RESUMEN OPERACIÓN DE INSPECCIÓN GEOLÓGICA, GEOMECÁNICA Y TOPOGRÁFICA.....	22
TABLA 2.9. TIPOS DE TABLEROS DE CONTROL.	36
TABLA 2.10. RESUMEN DE LOS INDICADORES UTILIZADOS POR LOS DISTINTOS AUTORES PARA DETERMINAR LOS PRINCIPALES PROBLEMAS PRESENTADOS EN LAS OPERACIONES MINERAS EN CONSTRUCCIÓN.....	42
TABLA 2.11. PORCENTAJE DE TIEMPO DISPONIBLE PARA REALIZAR LOS TRABAJOS PROGRAMADOS PARA EL TURNO.	43
TABLA 2.12. RESUMEN ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO DE PRINCIPALES PROBLEMAS DETECTADOS EN LAS OPERACIONES MINERAS EN CONSTRUCCIÓN.....	45
TABLA 2.13. RESUMEN DE LAS PRINCIPALES OPORTUNIDADES DETECTADAS EN EL ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO.	46
TABLA 3.1. DESGLOSE DEL TIEMPO UTILIZADO EN LA JORNADA DE TRABAJO CON SUS RESPECTIVAS METAS..	50
TABLA 3.2. OPORTUNIDADES DE MEJORAMIENTO CON SUS RESPECTIVAS SOLUCIONES PROPUESTAS.	73
TABLA 3.3. INDICADORES CLAVES DE DESEMPEÑOS PARA EL MONITOREO DE LOS EQUIPOS.	85
TABLA 3.4. INDICADORES CLAVES DE DESEMPEÑO PARA EL MONITOREO DE FRENTES.	86
TABLA 3.5. INDICADORES DE CLAVES DESEMPEÑOS PARA EL MONITOREO DE PERSONAS.....	87

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1. ESQUEMA DE LA METODOLOGÍA UTILIZADA EN EL TRABAJO DE TÍTULO	4
FIGURA 2.1. PRODUCCIÓN COBRE EN CHILE RESPECTO A LA PRODUCCIÓN MUNDIAL DURANTE EL 2018.....	7
FIGURA 2.2. UBICACIÓN DE LAS DIVISIONES DE CODELCO CHILE.....	7
FIGURA 2.3. PRODUCCIÓN DE COBRE FINO DE LAS DIVISIONES DE CODELCO DURANTE EL 2018.	8
FIGURA 2.4. UNIDADES PRODUCTIVAS MINA EL TENIENTE.	9
FIGURA 2.5. PERFIL DE PRODUCCIÓN DE LA DIVISIÓN EL TENIENTE, ESCENARIO SIN NUEVOS PROYECTOS. ...	10
FIGURA 2.6. ESQUEMA DE LAS ÁREAS INVOLUCRADAS DE LAS PRINCIPALES OBRAS DEL PNNM ORIGINAL....	12
FIGURA 2.7. PLAN DE DESARROLLO ALTERNATIVO DE DIVISIÓN EL TENIENTE.....	13
FIGURA 2.8. WBS NUEVO NIVEL MINA ANDES NORTE.....	15
FIGURA 2.9. FLUJOGRAMA DE CICLO DE AVANCE DE DESARROLLO.....	24
FIGURA 2.10. RELACIÓN DE PRODUCTIVIDAD CON EFECTIVIDAD Y EFICIENCIA.	26
FIGURA 2.11. MODELO DE GESTIÓN DE PRODUCTIVIDAD UTILIZADO POR EL PNNM-AN.	27
FIGURA 2.12. MODELO “FULL POTENTIAL” UTILIZANDO EN EL PNNM-AN.	28
FIGURA 2.13. EVOLUCIÓN TECNOLÓGICA Y EL AUMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD.....	29
FIGURA 2.14. AUMENTO PRODUCTIVIDAD EN LOS CICLOS DE LOS CAMIONES EN LA DET.....	30
FIGURA 2.15. AUMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD DE LOS LHD EN LA DET.....	31
FIGURA 2.16. DIAGRAMA DE LA ESTRATEGIA DE TRABAJO DEL SISTEMA DE MONITOREO EN LÍNEA PARA EL PNNM.	33
FIGURA 2.17. ESTRUCTURA DE CONTENIDOS REUNIÓN DIARIA (POD).	40
FIGURA 3.1. DISTRIBUCIÓN DE LAS ACTIVIDADES DE UN TURNO PROMEDIO.	49
FIGURA 3.2. PORCENTAJE DE TIEMPO DISPONIBLE RESPECTO AL TOTAL DE LA JORNADA DE TRABAJO.	50
FIGURA 3.3. TIEMPO EFECTIVO DE TRABAJO.	51
FIGURA 3.4. TIEMPO PROMEDIO EFECTIVO DE TRABAJO DE CUATRO MESES RESPECTO A LAS METAS PROPUESTAS.	52
FIGURA 3.5. RESULTADO DEL MUESTREO DE TRABAJO.....	54
FIGURA 3.6. DIAGRAMA DE PARETO, CAUSAS TIEMPO DE DETENCIONES.	57
FIGURA 3.7. REAGRUPACIÓN DE CAUSAS DE LAS DETENCIONES DE ACTIVIDADES.	58
FIGURA 3.8. DIAGRAMA DE PARETO, REAGRUPACIÓN DE LAS CAUSAS DE LAS DETENCIONES DE LAS ACTIVIDADES.	58
FIGURA 3.9. DIAGRAMA DE PARETO, CAUSA DE DETENCIONES POR LA GESTIÓN DE ACTIVIDADES Y RECURSOS.	59
FIGURA 3.10. DIAGRAMA DE PARETO, CAUSAS FALLAS DE EQUIPOS.	61
FIGURA 3.11. DIAGRAMA DE PARETO, DETENCIÓN DE EQUIPOS POR CAUSAS OPERACIONALES.	62
FIGURA 3.12. DIAGRAMA DE PARETO, EQUIPOS QUE IMPACTAN EN LAS DETENCIONES DE ACTIVIDADES.	63
FIGURA 3.13. PROBLEMA Y CAUSAS GENERADORAS EN LAS OPERACIONES MINERAS DEL PNNM – AN.	65
FIGURA 3.14. DIAGRAMA ESTRATEGIA DE SOLUCIÓN PARA LAS DETENCIONES DE ACTIVIDADES.	69

FIGURA 3.15. ESTRATEGIA PARA AUMENTAR EL TIEMPO EFECTIVO DE TRABAJO (TE). 70

FIGURA 3.16. PROPUESTA DE LA VISUALIZACIÓN DEL PROCESAMIENTO DE DATOS SOBRE LA UBICACIÓN DE LOS EQUIPOS. 75

FIGURA 3.17. PROPUESTA VISUALIZACIÓN DEL PROCESAMIENTO DE DATOS SOBRE EL ESTADO DE LOS EQUIPOS. 77

FIGURA 3.18. PROPUESTA VISUALIZACIÓN DEL PROCESAMIENTO DE DATOS DE LA PRODUCTIVIDAD DE LOS JUMBO. 79

FIGURA 3.19. PROPUESTA VISUALIZACIÓN DEL PROCESAMIENTO DE DATOS DE LA PRODUCTIVIDAD DE LOS EQUIPOS LHD. 80

FIGURA 3.20. VISUALIZACIÓN DEL PROCESAMIENTO DE LOS DATOS CAPTURADOS SOBRE LA DETECCIÓN DE PRESENCIA. 83

FIGURA 3.21. VISUALIZACIÓN DEL PROCESAMIENTO DE DATOS CAPTURADOS SOBRE EL MONITOREO DE LAS FRENTES..... 84

FIGURA 3.22. PROPUESTA DEL TABLERO DE CONTROL PRINCIPAL QUE DEBE POSEER EL SML. 89

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

El presente capítulo proporciona una visión global de lo que incorpora este Trabajo de Título, se presenta el contexto en el que se desarrolla el estudio, el problema que se aborda, el objetivo general y los específicos, los alcances y finalmente la metodología de trabajo llevada a cabo durante su desarrollo.

1.1. Contexto

Este Trabajo de Título se desarrolla en el contexto de la ejecución del Proyecto Nuevo Nivel Mina Andes Norte, el cual consiste en ampliar la mina El Teniente en un sector más profundo del cerro, con el objetivo de extender la extracción del mineral por otros 50 años.

Parte de las características del Proyecto Nuevo Nivel Mina Andes Norte (PNNM – AN), es la participación de múltiples actores operando en un área común; además de que las actividades se realizan en los distintos niveles y sectores de la faena, por lo que solo se logra tener una visualización operacional localizada, donde los equipos y cuadrillas que se tienen para llevar a cabo las actividades son limitados y las interacciones que se producen entre los procesos constructivos generan interferencias, además el Proyecto se desarrolla en condiciones de altos esfuerzos lo que provoca constantes eventos sísmicos. Todo lo anterior ha dificultado el control y la gestión operacional, afectando directamente a la productividad, a la optimización de los recursos y en la seguridad del Proyecto.

En este marco es que la Vicepresidencia de Proyectos de Codelco Chile está desarrollando un Sistema de Monitoreo en Línea de las obras de excavación y construcción subterráneas del Proyecto Nuevo Nivel Mina Andes Norte, cuyo objetivo es aumentar la productividad, optimizar recursos y aumentar los niveles de seguridad. Este Sistema es capaz de capturar datos en terreno y desplegar información en tiempo real mediante indicadores claves de desempeño y tableros de control, los cuales permiten detectar en línea desviaciones durante proceso operacional. El Sistema de Monitoreo en Línea (SML) trabajará con el apoyo de un Centro Integrado de Construcción (CIC), lugar donde se despliega la información proporcionada por el Sistema de Monitoreo en distintas pantallas y desde donde se realiza la gestión operacional, el CIC permite mejorar la visualización de las operaciones, facilitando la toma de decisiones.

1.2. Definición del Problema

Existen números ejemplos de monitoreo en línea de construcción de obras en superficie, en que los sistemas comunes de posicionamiento y navegación satelital, como telecomunicaciones inalámbricas, operan libremente por el aire. La situación del Proyecto Nuevo Nivel Mina Andes Norte es dramáticamente diferente, justamente porque dichos sistemas no funcionan libremente en un ambiente subterráneo y deben complementarse con redes de comunicaciones por fibra óptica y estaciones de wi-fi de corto alcance.

En efecto, no hay suficientes casos de desarrollo de SML para obras subterráneas, de donde sacar experiencias homologables, producto de lo cual el principal desafío en este trabajo es establecer los requerimientos del SML partiendo por identificar los principales aspectos que intervienen en el trabajo, con especial énfasis en la búsqueda de oportunidades de mejora en aquellas tareas o modos de trabajo que presentan pérdidas operacionales con mayor frecuencias o impacto en el desempeño general del Proyecto.

1.3. Objetivos

El propósito de este trabajo es caracterizar los requerimientos básicos del Sistema de Monitoreo en Línea respecto a la información clave que se debe capturar, procesar y desplegar en la sala de control de operaciones.

Para alcanzar este propósito, se definen los siguientes objetivos específicos:

- Determinar las principales operaciones, actores y/o recursos que deben ser monitoreados.
- Determinar los datos específicos que deben ser capturados en terreno y la información que debe proporcionar el Sistema de Monitoreo.
- Determinar el conjunto de indicadores claves de desempeño que debe entregar el Sistema de Monitoreo en Línea.
- Determinar la información que se debe desplegar en los tableros de control de operaciones.

1.4. Alcances y Limitaciones

El Sistema de Monitoreo en Línea será diseñado e implementado por la empresa contratista Mining TAG, de acuerdo con los requerimientos proporcionados por Codelco.

Este sistema será implementado en primera instancia solo para el control de las obras de construcción mineras relacionadas con las excavaciones horizontales ejecutadas por el contrato CC – 081 “Obras Mineras y Civiles Niveles Principales”.

Para identificar los principales aspectos que intervienen en el trabajo programado en las operaciones mineras del Proyecto, se realiza un análisis de datos. Todos los datos utilizados son proporcionados por Codelco, los cuales fueron recopilados por personal especialista de la empresa SALFA, realizando un seguimiento en terreno a las cuadrillas mineras durante el turno A, registrando información sobre las distintas actividades realizadas y detenciones no programadas acontecidas durante el desarrollo del turno, con su respectiva clasificación, hora de inicio, hora de término, duración y observaciones. Estas mediciones se realizan mediante observaciones aleatorias, que por razones estadísticas es necesario que se registren a lo menos 384 observaciones, ya que de esta forma se obtiene una confiabilidad de 95% y un error no mayor de +/- 5 %.

Al no existir datos del contrato “Obras Mineras y Civiles Niveles Principales” debido a que comenzó en marzo de 2019 y los primeros disparos fueron realizados en mayo de 2019, es que se utilizan datos obtenidos del anterior contrato “Obras de Enlace” de similares características, ya que las obras actuales son la continuación de las obras desarrolladas en el antiguo contrato (*Ver Anexo A*).

Por otro lado, solo se analizaron datos capturados durante el periodo de agosto a noviembre de 2018, ya que fueron los datos más confiables y los que poseen más información.

El Sistema de Monitoreo en Línea no alcanzará a ser implementado en su totalidad durante el desarrollo de este Trabajo de Título, debido a la dedicación y extensión de tiempo que requiere. Por lo tanto, la evaluación, análisis y seguimiento de los resultados obtenidos, a partir de los indicadores y recomendaciones entregadas por este Trabajo de Título para el Sistema de Monitoreo en Línea, quedará para futuras instancias.

1.5. Metodología de Trabajo

El proceso metodológico está estructurado en cinco etapas, como se puede apreciar en la *Figura 1.1*, las cuales ordenan el estudio en una secuencia lógica que ayuda a cumplir con los objetivos propuestos por este Trabajo de Título.



Figura 1.1. Esquema de la metodología utilizada en el Trabajo de Título
Fuente: Elaboración propia, 2019.

1.5.1. Recopilación de Información

La metodología utilizada en primer lugar permite contextualizar el Trabajo de Título mediante la recopilación de distintos antecedentes, relacionados con la importancia del Proyecto tanto a nivel nacional como para la Corporación, así como también antecedentes generales del Proyecto Nuevo Nivel Mina Andes Norte, como el alcance, los distintos contratos involucrados, el modelo de negocio usado por la Corporación, las dificultades presentadas durante el desarrollo, el sistema de gestión de productividad utilizado, las obras en construcción consideradas y la metodología de trabajo empleada para llevar a cabo dichas obras. Además, se considera la recopilación de información bibliográfica sobre el uso de tecnologías y sistemas inteligentes de gestión en otros proyectos, y se entregan recomendaciones sobre los indicadores claves de desempeño y tableros de control.

Luego de conocer los antecedentes principales, es necesario comprender la situación actual de trabajo, respecto al control de las operaciones mineras del Proyecto, relacionado con los problemas operacionales que surgen durante el desarrollo del turno y conocer la estrategia utilizada para realizar coordinaciones en terreno una vez identificadas las devianaciones. Por otro lado, también es necesario entender de qué forma se realiza la planificación y la asignación de recursos al inicio del turno.

También se incorpora una revisión de literatura sobre los principales problemas generados en otros proyectos de similares características en las operaciones mineras de construcción y los indicadores utilizados para detectar dichos problemas, todo esto con el objetivo de

determinar los datos necesarios a analizar en este Trabajo de Título para poder identificar los principales problemas producidos en las operaciones mineras del Proyecto Nuevo Nivel Mina Andes Norte, los cuales podrían ser abordados por el SML.

1.5.2. Análisis de Datos

En una segunda etapa se realiza un análisis de datos e información, para identificar los principales aspectos que intervienen en el trabajo, con especial énfasis en la búsqueda de oportunidades de mejora en aquellas tareas o modos de trabajo que presentan pérdidas operacionales con mayor frecuencias o impacto en el desempeño general del Proyecto.

1.5.3. Determinar Oportunidades de Mejoramiento

En esta etapa se propone una estrategia para que las soluciones a los problemas anteriormente identificados se encuentren alineados con los objetivos que busca la implementación del SML para las operaciones mineras en construcción del Proyecto Nuevo Nivel Mina Andes Norte. Ahora bien, de acuerdo con las causas generadoras y con la estrategia de solución propuesta, se establecen las oportunidades de mejoramiento que podrían ser abordadas por el SML.

1.5.4. Entrega de Soluciones

Luego de identificar las oportunidades de mejoramiento, se entregan soluciones a partir de la información que podría proporcionar del Sistema de Monitoreo en Línea, determinado las operaciones, actores y/o recursos que deben ser monitoreados y se definen los datos que deben ser capturados por el SML y la información que debe proveer el procesamiento de estos datos. Finalmente, se definen los indicadores claves de desempeño que debe poseer el SML y la información que deben facilitar los tableros de control para su exitoso funcionamiento.

1.5.5. Conclusiones y Recomendaciones

Finalmente se concluye cómo toda la información determinada anteriormente para los indicadores y tableros de control, permiten conseguir los objetivos del SML para el Proyecto. Se entregan algunas recomendaciones a futuro sobre la implementación y utilización del SML para el Proyecto.

CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE

En este capítulo se entregan algunos antecedentes para entender más profundamente el contexto en el que se desarrolla este Trabajo de Título, posteriormente se presenta el actual sistema de control operacional utilizado por el Proyecto y finalmente se realiza un análisis bibliográfico con el objetivo de determinar la información necesaria a analizar para detectar los principales problemas presentados en las operaciones mineras del Proyecto.

2.1. Antecedentes

En los siguientes antecedentes primero se proporciona información sobre la importancia de la ejecución Proyecto Nuevo Nivel Mina Andes Norte, tanto a nivel nacional como para la Corporación y La División El Teniente. Luego se entregan los alcances del Proyecto, para conocer las principales obras en construcción consideradas, las metodologías de trabajo utilizadas para llevarlas a cabo y las dificultades presentadas durante su desarrollo. Finalmente se conocen algunos antecedentes de otros proyectos, sobre el beneficio del uso de nuevas tecnologías como los sistemas inteligentes de gestión en el aumento de la productividad. Además, se entregan algunas recomendaciones encontradas en la bibliografía sobre los indicadores claves de desempeño y tableros de control.

2.1.1. Producción de Cobre en Chile

La minería es una de las actividades económicas más importantes a nivel global, centrada esencialmente en la explotación, procesamiento y comercialización de minerales. La industria minera forma parte de la identidad de Chile, siendo clave para el desarrollo del país, su importancia ha sido evidente durante su historia, pues es el primer productor de cobre en el mundo, el segundo de molibdeno, el sexto de plata y el veinteaño de oro. Además, mantiene una importante cantidad de reservas de estos mismos minerales, que permiten proyectar que este liderazgo se mantendrá por varios años (1).

El sector minero, y muy especialmente la minería del cobre, son vitales para el desarrollo económico y social de Chile. La minería contribuye significativamente al ingreso nacional, a la recaudación del gobierno, a crear oportunidades laborales y empresariales y, en definitiva, al crecimiento del país. La minería del cobre representa más del 10% del PIB, más del 54% de las exportaciones, y es el principal receptor de inversión extranjera directa (2). Durante el año 2018 la minería chilena del cobre alcanzó una producción de 5,83 millones de toneladas de cobre, lo que equivale a un 28% de la producción mundial (*Ver Figura 2.1*) y además posee un 21% de las reservas mundiales de cobre (1).

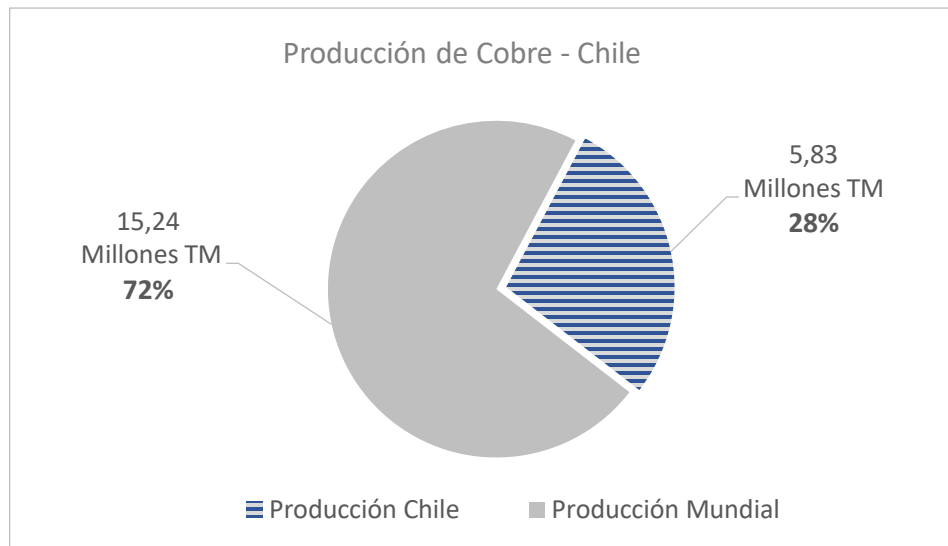


Figura 2.1. Producción cobre en Chile respecto a la producción Mundial durante el 2018.
Fuente: Consejo Minero, 2019 (1).

2.1.2. Corporación Nacional del Cobre (CODELCO)

La Corporación Nacional del Cobre de Chile, Codelco, es una empresa autónoma, propiedad de todos los chilenos y chilenas, principal productora de cobre mina del mundo, líder en reservas del mineral a nivel planetario y considerado motor del país. Codelco posee ocho divisiones, las cuales se definen como todas aquellas instalaciones y/o yacimientos donde Codelco lleva a cabo operaciones de la gran minería del cobre. Estas son Chuquicamata, Radomiro Tomic, Ministro Hales, Gabriela Mistral, Salvador, Andina, Ventanas y El Teniente, las cuales se localizan en cuatro regiones de Chile (Ver Figura 2.2).



Figura 2.2. Ubicación de las Divisiones de Codelco Chile.
Fuente: Codelco, 2019 (3).

Codelco Chile posee las mayores producciones de cobre a nivel nacional, alcanzando una producción de 1.806 miles de toneladas métricas de cobre fino durante el año 2018, incluyendo su participación en El Abra y en Anglo American Sur, esta cifra equivale al 9% de la producción de cobre de mina a nivel mundial y a un 31% a nivel nacional (4).

La mina El Teniente, durante el periodo del 2018 alcanzó una producción de 465.040 toneladas métricas de cobre fino, lo que equivale a un 27% de la producción total de Codelco (Ver Figura 2.3). En los últimos años esta División se ha destacado por ser la operación que más aporta en producción y excedentes a la Corporación (4).

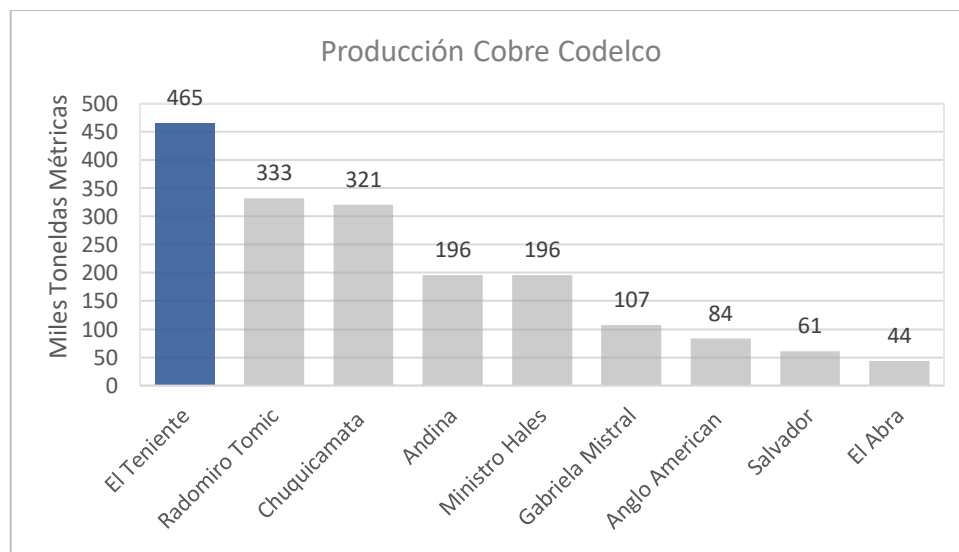


Figura 2.3. Producción de cobre fino de las Divisiones de Codelco durante el 2018.

Fuente: Cochilco, 2018 (4).

En este marco, uno de los objetivos de Codelco es proyectarse en el tiempo como uno de los mayores productores de cobre a nivel nacional y mundial, y para esto, la División El Teniente debe mantener su producción anual de cobre, por lo que surge continuamente la necesidad de incorporar nuevos sectores productivos para asegurar el cumplimiento de las metas de producción programadas.

2.1.3. División El Teniente

La mina El Teniente, comenzó a ser explotada en 1905, es la mina subterránea más grande del mundo, y ya cuenta con más de 3.000 kilómetros de galerías subterráneas. Está ubicada en el corazón de la cordillera de los Andes, en la comuna de Machalí, en la Región del Libertador Bernardo O'Higgins, a 2.100 metros sobre el nivel del mar y a 149 kilómetros de la ciudad de Santiago.

El yacimiento está conformado por un cuerpo geológico que tiene la forma de un cono o pipa de mineral (Brecha Braden), el cual no posee valor económico (*Ver Figura 2.4*). Sin embargo, alrededor de la pipa hay una importante cantidad mineral estimado en más de 18.000 millones de toneladas. La mina se subdivide en unidades productivas que se encuentran alrededor de la pipa de estéril, entre sus unidades productivas destacan los yacimientos Diablo Regimiento Fase IV, Esmeralda, Dacita, Recursos Norte, Pipa Norte, Sur Andes pipa, Pilar Norte y Teniente 4 Sur. También tiene una operación en superficie, el Rajo Sur, ubicado entre 2.730 y 3.240 metros sobre el nivel del mar, que entró en funcionamiento a fines de 2012 (3).

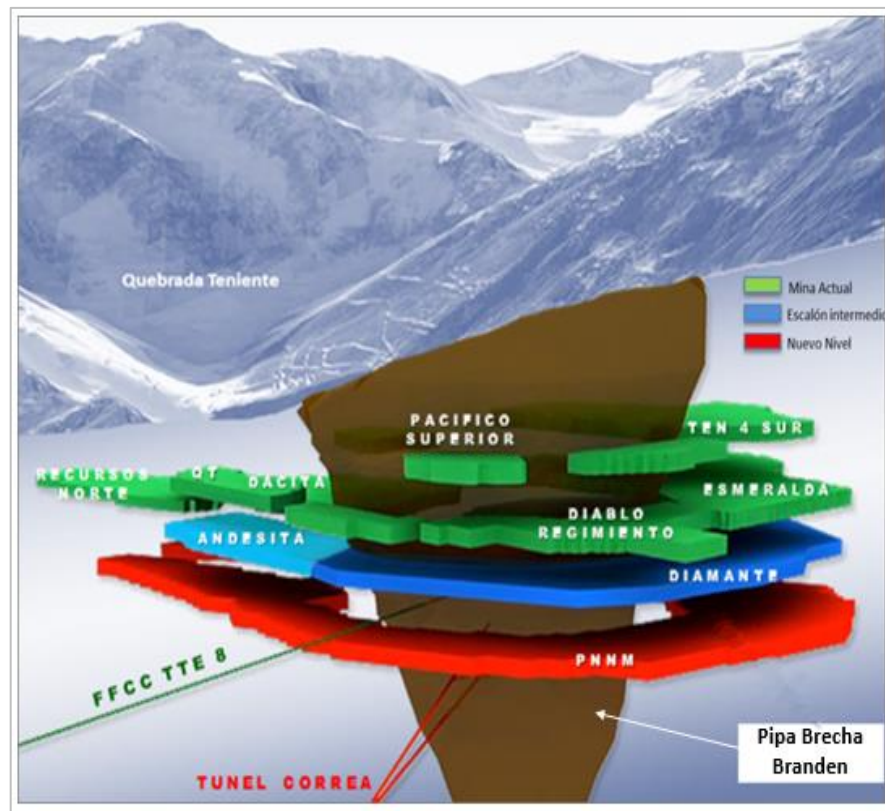


Figura 2.4. Unidades productivas mina El Teniente.
Fuente: Vicepresidencia de Proyectos, 2017 (5).

Las unidades productivas subterráneas se explotan mediante el método de “Panel Caving”, el cual consiste en efectuar un corte basal a la roca en el Nivel de Hundimiento para que empiece a hundirse. Con ello el mineral se fractura y se rompe por si solo debido a las tensiones internas y efectos de la gravedad, llegando a las zanjas del Nivel de Producción. En ellas equipos LHD, cargan el mineral, lo transportan y descargan sobre puntos de vaciado, que conectan a un Nivel de Transporte donde mediante trenes o camiones, cargan el material y lo llevan a tolvas de algún chancador o directamente a la planta de

procesamiento de minerales Colón, la cual tiene unidades de chancado primario, secundario, molienda SAG, flotación y concentradora. El concentrado va a la Fundición Caletones, en donde se filtra y seca, para luego mediante fusión y conversión obtener ánodos y cobre refinado a fuego, los cuales son trasladados al puerto de San Antonio para su transporte al cliente final.

La mina El Teniente actualmente posee una producción de 137 mil toneladas por día de mineral de cobre, y hasta ahora solo se han explotado un 20% de los recursos conocidos. Sin la realización de un proyecto de incorporación de nuevos sectores productivo, la mina El Teniente llegaría a su agotamiento inevitable en el año 2039. En términos de volúmenes de producción, esto se muestra en la siguiente figura:

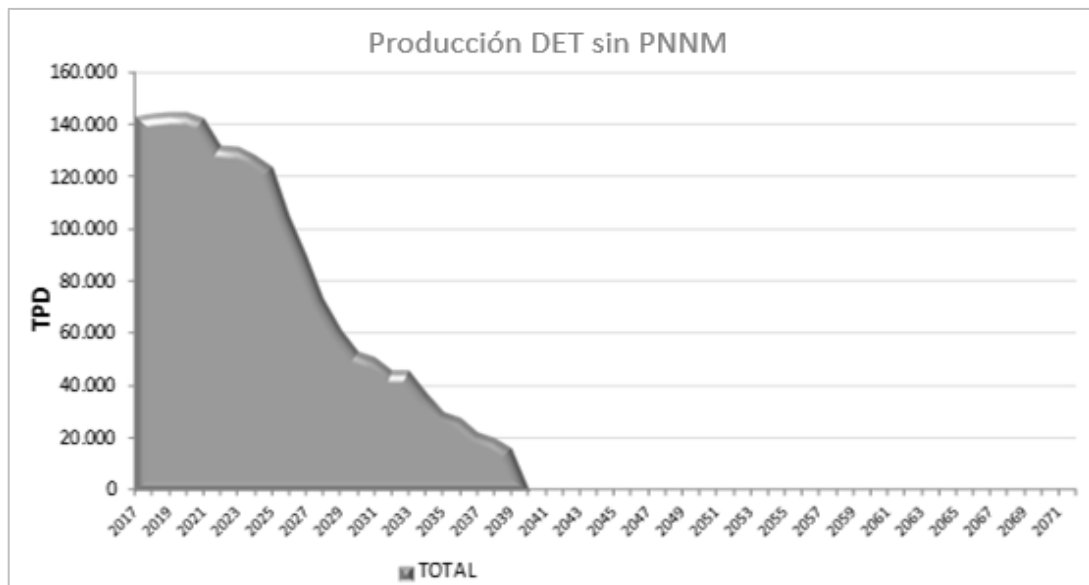


Figura 2.5. Perfil de producción de la División El Teniente, escenario sin nuevos proyectos.
Fuente: Vicepresidencia de Proyectos, 2017 (5).

En la *Figura 2.5* se observa que a partir del año 2024 se inicia el proceso de agotamiento progresivo de la producción minera y cierre de la mina El Teniente en el año 2039.

Tras más de 105 años de vida productiva la mina El Teniente presenta el agotamiento de los sectores actualmente en explotación, lo que le exige avanzar hacia una nueva fase de profundización, con el objetivo de extender su operación. Es por esto, que en Julio del 2011 se aprobó la ejecución del Proyecto Nuevo Nivel Mina, cuyo objetivo es explotar las reservas de mineral que se encuentran 300 metros más debajo de los actuales niveles de explotación, para mantener la producción de cobre y de esta forma proporcionar continuidad operacional a la División El Teniente por los próximos 50 años (5).

2.1.4. Proyecto Nuevo Nivel Mina

El Proyecto Nuevo Nivel Mina originalmente contemplaba reservas por 2.020 millones de toneladas con una ley media de 0,86% de cobre, con una tasa de producción de 137.000 toneladas por día, el cual sería explotado a través del sistema “Panel Caving”. Para el acceso a la mina se construiría una nueva carretera desde Maitenes a Confluencia para empalmar con el Túnel de Acceso Personal (TAP) (*Ver Figura 2.6*), además se consideraba una nueva infraestructura de manejo de minerales, mediante correas transportadoras, con un nuevo túnel para el transporte de mineral, Túnel Correa (TC). Cabe destacar que el Proyecto sería del tipo Greenfield¹, ya que se dispondrían de todos los servicios independientes sin originar interferencias con las actuales instalaciones de la División El Teniente.

El Proyecto consideraba el desarrollo de más de 90 Km de túneles, según lo siguiente:

- Dos túneles principales, Túnel de Acceso Personal (TAP) y Túnel Correa (TC), de aproximadamente 9 kilómetros de largo cada uno.
- Dos túneles, uno de inyección y otro de extracción de aire (Adits² de ventilación), con un largo total de aproximadamente 4 kilómetros.
- Túneles cruzados, cabeceras de inyección y extracción, todos túneles que conectan los Adits de ventilación con el Nivel de Ventilación (2 km).
- Desarrollo de los Niveles de Hundimiento, Producción, Ventilación, Transporte Intermedio, Chancado y Drenaje (66 km).

En la siguiente figura se muestra algunas de las áreas involucradas y los desarrollos contemplados para el Proyecto Nuevo Nivel Mina originalmente:

¹ Greenfield: Proyecto minero que no utiliza facilidades constructivas de otras faenas mineras.

² Adits: Túnel horizontal o semi - horizontal que conecta la superficie con la mina para efectos de acceso, ventilación y/o drenaje.



Figura 2.6. Esquema de las áreas involucradas de las principales obras del PNNM original.
Fuente: Vicepresidencia de Proyectos, 2017 (5).

2.1.5. Plan de Desarrollo Alternativo (PDA)

Durante el periodo de ejecución del Proyecto Nuevo Nivel Mina (2011 – 2015), ocurrieron cuatro Estallidos de Roca³ uno de ellos con consecuencia fatal, lo que provocó retrasos e incluso paralización de la construcción de los túneles principales, impactando fuertemente el avance del Proyecto, dificultando la disponibilidad de accesos y servicios para la construcción, alterando la secuencia constructiva y poniendo en duda la filosofía de operación de procesos clave como manejo de minerales y el ingreso del personal, entre otros. Dado esto, se inició un proceso denominado “Validación de la Constructibilidad”, que busca obtener una metodología constructiva segura y eficiente de los túneles TAP, TC, Adits y de los Niveles Principales bajo estas nuevas condiciones de peligro (alto peligro sísmico que origina el riesgo de estallidos de rocas) y en una velocidad que permita poner en marcha el Proyecto en el año 2023. En este sentido se estudiaron numerosas estrategias de cómo administrar el riesgo sísmico, de tal forma de poder reiniciar la excavación y fortificación de las obras en construcción (*Ver Anexo B*). Adicionalmente, se presentó un Plan de Desarrollo Alternativo (PDA) de División El teniente, debido a los retrasos presentados en el Proyecto Nuevo Nivel Mina. Este nuevo plan establece una producción que incluye en primera instancia la explotación a partir del año 2023 de solo un sector del Nuevo Nivel Mina denominado Andes Norte acompañados de dos nuevas minas en cotas superiores con

³ Estallido de Roca: Evento sísmico de tal magnitud que las ondas generen la ruptura y proyección instantánea del macizo rocoso.

menor riesgo geomecánico (Minas Andesita y Diamante), posteriormente considera la explotación del resto de los sectores del NNM, lo que permitan mantener los niveles de producción de la DET por los próximos 50 años (5).

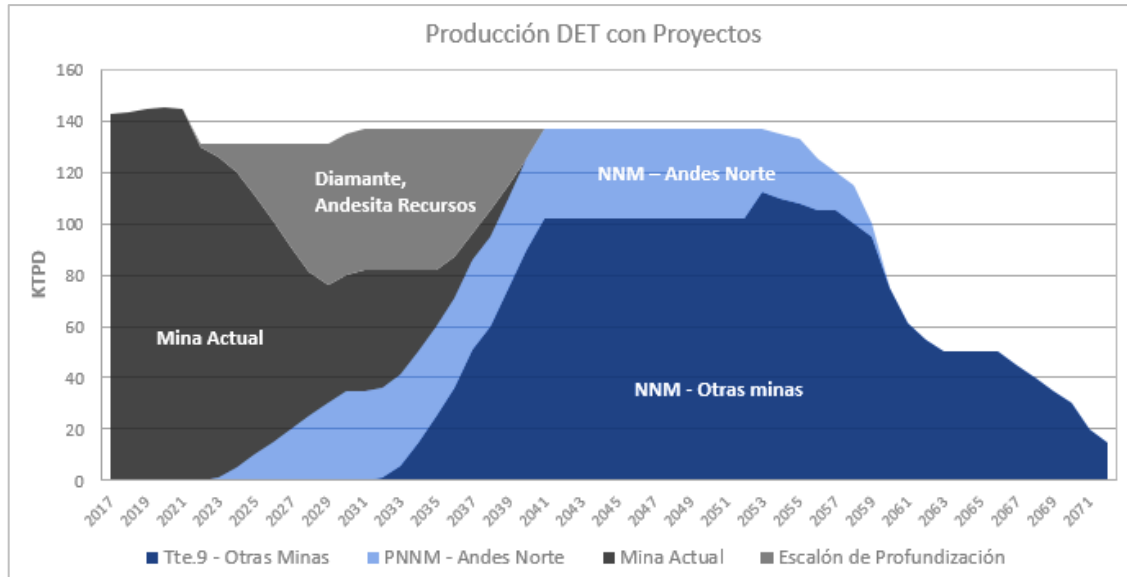


Figura 2.7. Plan de Desarrollo Alternativo de División El Teniente.
Fuente: Vicepresidencia de Proyectos, 2017 (5).

De acuerdo con lo observado en la *Figura 2.7* se proyecta una producción de 137.000 Toneladas por día y una vida útil de la mina hasta el año 2072.

El nuevo Proyecto ahora Andes Norte tuvo que replantearse desde un concepto de ejecución “Greenfield” a uno “Brownfield⁴”, así este nuevo Proyecto podrá aprovechar al máximo la infraestructura ya dispuesta por la DET. Con respecto al método de explotación este fue modificado a “Panel Caving” Convencional, con fracturamiento hidráulico total, esto ya que dicho método permite un mejor manejo de la sismicidad y el “abutment stress⁵” producido por la zona de transición del Caving.

A modo resumen en la *Tabla 2.1* se presentan las principales modificaciones que sufrió el Proyecto producto de la reformulación, que impactó desde el diseño hasta la gestión y la planificación de los objetivos estratégicos.

⁴ Brownfield: Proyecto minero que utiliza las facilidades constructivas de otras minas y puede ser considerado como una ampliación de esta.

⁵ Abutment Stress: Zona de acumulación de esfuerzos producto del reacomodo de estos. Zona Propia de los métodos de explotación por Caving.

Tabla 2.1. Principales modificaciones del Proyecto Nuevo Nivel Mina.
Fuente: Elaboración Propia, 2019.

Modificación	Nuevo Nivel Mina	Andes Norte	Ilustración
Tipo Proyecto	Greenfield	Brownfield	
Producción Régimen	137 ktpd	35 ktpd	
Método de Explotación	P. Caving con hundimiento avanzado	P. Caving con hundimiento convencional y FH total	
Altura Crown Pilla	18 m	25 m	
Posición Piques	Zanjas	calles	
Ingreso a la mina	Nueva carretera + TAP	División El Teniente	

2.1.6. Nuevo Nivel Mina Andes Norte

Como se mencionó anteriormente, atendiendo a la nueva estrategia de avance y profundización gradual, nace el Proyecto Nuevo Nivel Mina Andes Norte, el cual iniciará su operación en el año 2023 con la incorporación del sector Andes Norte, que corresponde a la extracción de 375 Millones de toneladas de reserva con una ley promedio de 1,02% de cobre y una capacidad productiva de 35 ktpd que será alcanzada en un “Ramp up” de siete años. Una vez consolidada la explotación de la Mina Andes Norte el año 2032 comienza una segunda etapa de expansión al resto de minas Andes Sur, Pacífico Norte, Pacífico Central y Pacífico Sur, en ese orden.

El método de explotación seleccionado para el Proyecto NNM-AN, es “Panel Caving” con hundimiento convencional, socavación alta y fracturamiento hidráulico total, con un “crown pilar” de 25 metros entre los Niveles de Producción y de Hundimiento. Previamente a la socavación del nivel de hundimiento, el 100% del área a hundir se preconditionará mediante la técnica del fracturamiento hidráulico, de forma descendente y ascendente desde el nivel de hundimiento. El manejo de mineral desde la mina hasta la planta comienza con el transporte en el Nivel de Producción, utilizando equipos LHD que transportan y vacían el mineral a los piques de traspaso, que conectan a nivel de transporte intermedio, donde transitan camiones que cargan y transportan mineral a las tolvas que alimentan el chancador primario. Posteriormente, el mineral chancado es conducido mediante un sistema de correas transportadoras, hasta el sistema de transporte principal, compuesto por una correa transportadora subterránea de aproximadamente 9 km de longitud que extrae el mineral a la superficie, hasta la plataforma ubicada en el sector de Confluencia, desde donde será finalmente conducido hasta la planta concentradora, a través de otras correas transportadoras de aproximadamente 3 km de longitud (6).

El alcance del proyecto considera la siguiente WBS (“Work Breakdown Structure”, Estructura de Descomposición de los Trabajos):

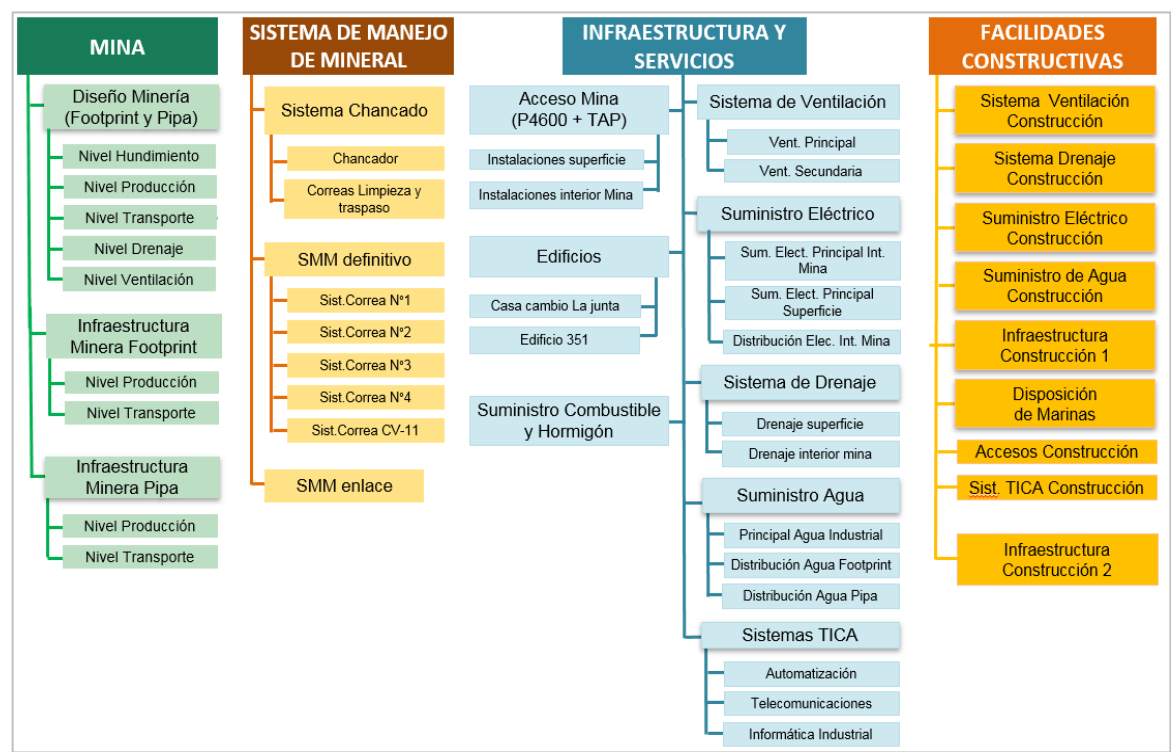


Figura 2.8. WBS Nuevo Nivel Mina Andes Norte.
Fuente: Vicepresidencia de Proyectos, 2017 (5).

2.1.7. Modelo de Negocio del Proyecto

La Vicepresidencia de Proyectos de Codelco (VP) es el ente responsable de administrar la cartera de proyectos de inversión de Codelco, siendo responsable del desarrollo de la Ingeniería Conceptual (Prefactibilidad), Ingeniería Básica (Factibilidad), Ingeniería de Detalle, Construcción y puesta en marcha, asegurando el cumplimiento del alcance, costos, plazo, calidad y seguridad establecidos para cada fase de los proyectos estructurales (7).

Por lo tanto, la VP es el encargado de administrar el PNNM-AN, para esto utiliza un modelo de negocio donde se establece que la empresa mandante en este caso la VP, en concordancia con su Plan de Ejecución, lleva a cabo a través de contratos de obras la materialización del proyecto, entregando la ejecución de las obras a una empresa contratista que se encargará de materializar las obras de acuerdo con lo establecido en un contrato adquirido entre ambas partes.

La Vicepresidencia de Proyectos debe velar por el cumplimiento de cada uno de los contratos adquiridos por el proyecto, ya sea en alcance, costos, plazo, calidad y seguridad,

de acuerdo con lo establecido en cada uno de ellos. El desempeño de la empresa contratista es crucial para el éxito del proyecto, para esto la empresa mandante debe trabajar en conjunto con las empresas contratistas, entregándole todas las facilidades posibles, información necesaria, guiando y apoyando. En el PNNM-AN la VP la empresa mandante entrega ciertos aportes a la empresa contratista, como la energía, el agua, ventilación y drenaje, además de las vías de evacuación de marinas, que permiten la correcta ejecución del alcance del contrato adquirido por ambas partes. Por otro lado, el contratista entrega los recursos a través de los cuales se materializa el proyecto, tales como equipos, mano de obra, y materiales (8).

2.1.8. Principales contratos PNNM – AN

Para la ejecución del Proyecto Nuevo Nivel Mina Andes Norte, la VP debe establecer distintos tipos de contratos que en su conjunto abarcan la totalidad del alcance físico del Proyecto (*Ver Anexo C*). Los contratos de mayor relevancia, según el tipo de obra a realizar, inversión, recursos y dotación necesaria, que actualmente se encuentran en ejecución destacan los siguientes:

- CC – 081 “Obras Mineras y Civiles Niveles Principales”
- CC – 085 “Obras Mineras Sistema de Chancado”
- CC – 086 “Obras Mineras TAP – XC 15/16, Ventilación TC – TAP y Montaje V75”
- CC – 086 “Servicio de Perforación e Hidrofracturamiento”

2.1.8.1. Contrato “Obras Mineras y Civiles Niveles Principales”

El contrato CC – 81 es uno de los más importante dentro del Proyecto, con una de las mayores inversiones de \$239.419.670.55 (CLP). En febrero de 2019 el contrato fue asignado a la empresa Züblin International GmbH Chile, quien tiene como plazos para la ejecución de dicho contrato desde febrero de 2019 hasta agosto de 2022.

El alcance del contrato “Obras Mineras y Civiles Niveles Principales”, incluyen en términos generales obras mineras asociadas a la excavación y fortificación de desarrollos en el Nivel de Hundimiento (NH), Nivel de Producción (NP), Nivel de Ventilación (NV), Nivel de Transporte (NT) y Nivel de Drenaje, además de obras civiles para la construcción del módulo de preparación minera (construcción puntos de extracción, muro de confinamiento, carpeta de rodados y sistema de traspaso mineral). Adicionalmente, considera obras menores de infraestructura, tales como: montaje cañería agua industrial, montaje puertas de ventilación y servicios para el fracturamiento hidráulico (6).

2.1.9. Construcción en Minería Subterránea

La construcción en minería subterránea es de suma importancia, ya que permite incorporar nuevos sectores productivos y de esta forma darle continuidad operacional a la extracción de mineral, para esto es necesario realizar obras de preparación minera relacionadas principalmente con la construcción de los niveles principales de la mina en el sector del Footprint⁶, esto para el caso del método “Panel Caving”. Además, en algunos proyectos de construcción minera subterránea es necesario realizar obras de desarrollo, las cuales corresponden principalmente a obras que permiten el acceso al cuerpo mineralizado y conectan con la superficie, como túneles principales, y también obras relacionadas con la construcción de Adits de ventilación, talleres, barrios cívicos y rampas.

En el Proyecto Nuevo Nivel Mina Andes Norte, se encuentran contempladas la realización tanto de obras de preparación como de desarrollos, tales como las presentadas en la siguiente tabla:

Tabla 2.2. Obras de preparación y desarrollo para el PNNM – AN.
Fuente: Elaboración Propia, 2019.

Obras de Desarrollo	Obras de Preparación
• Túnel Acceso Personal (TAP) • Túnel Transporte de Mineral (TC) • Adits de ventilación • Rampas • Barrio Cívico • Talleres	• Nivel de Producción • Nivel de Hundimiento • Nivel de Transporte • Nivel de ventilación • Nivel de Drenaje

2.1.9.1. Preparación y Desarrollos Mineros

Para llevar a cabo las obras de preparación y desarrollos mineros es necesario realizar distintos tipos de trabajo según corresponda, tales como:

- **Excavaciones Mineras:** Corresponden a las excavaciones horizontales, verticales y desquiches, y todas las actividades asociadas a la fortificación de estas, así como también roturas de chiflón de chimeneas y piques, y perforación de bateas, slot, tiros de servicios y socavación.

⁶ Footprint: Delimitación de la forma y área (vista en planta) que tendría el piso a partir del cual se construirá la mina.

- **Construcciones Civiles:** Obras de construcción de puntos de extracción, puntos de vaciado, muros de confinamiento, carpeta de rodados en calles, accesos, cruzados, barrio cívico y talleres, construcción de base para martillos, blindaje y hormigonado de pique y tronco pique, construcción buzón de carguío de mineral.
- **Obras de Infraestructura y Montaje:** Suministro y montaje de puertas de ventilación, puertas contra incendio, parrillas de puntos de vaciado, blindaje de piques, buzones de carguío, montaje mecánico de ventiladores.

2.1.9.2. Excavaciones Horizontales

Las excavaciones horizontales, corresponden a una de las actividades críticas en minería subterránea, ya que su construcción constituye altos costos de inversión, a ello se suma su importancia con respecto a la entrada en producción de la unidad de explotación respectiva. La ejecución de estas obras se lleva a cabo a partir de un conjunto de actividades, las cuales se realizan de manera sucesiva y cíclica, llamadas actividades unitarias del ciclo de avance, lográndose avances en metros lineales de las labores en construcción.

En el PNNM – AN las excavaciones subterráneas representan un 70% de todo el alcance de obras que requiere el Proyecto hasta su puesta en marcha, por lo que su cumplimiento en los plazos de construcción es importante para resguardar la promesa de valor del Proyecto. Existen dos metodologías de trabajo para llevar a cabo las excavaciones horizontales mediante el ciclo de avance, en una de ellas se utilizan los recursos disponibles en múltiples frentes⁷ y en la otra se utilizan los recursos en una única frente:

- **Frente Única:** En esta metodología el objetivo es maximizar el trabajo en la frente, donde las actividades unitarias del ciclo de avance se realizan una tras otra sin detenerse. En esta modalidad siempre quedan recursos detenidos a la espera de la liberación de la frente de la operación anterior. Lo más relevante en esta modalidad es que el ciclo de avance sea lo más corto, para tener el menor tiempo posible los recursos detenidos.

⁷ Frente: Punto de trabajo, donde se realizan las distintas actividades para obtener metros de avances en las excavaciones (frente de la excavación).

- **Multi Frente:** En esta modalidad de trabajo el objetivo es maximizar la utilización de los recursos disponibles, como los equipos, servicios y conjunto de trabajadores disponibles para el turno de trabajo, utilizándolos lo máximo posible en distintas frentes sin detenerse. Aquí la característica principal es que es posible trabajar con múltiples frentes, lo que significa poder utilizar los recursos disponibles en forma saturada logrando efectuar simultáneamente avance en distintas galerías.

Para el caso del PNNM-AN la construcción de los túneles principales y los Adits de ventilación se realizan utilizando los recursos disponibles en una única frente y para las obras realizadas en el área del “Footprint” y Pipa, como la construcción de los Niveles Principales del Proyecto, talleres y barrio cívico, se trabaja con múltiples frentes a la vez.

2.1.9.3. Ciclo de Avance

En las excavaciones horizontales para obtener metros de avance es necesario realizar distintas actividades unitarias de forma sucesiva y cíclicas. El ciclo de avance utilizado por el Proyecto en la preparación de los niveles principales está compuesto por las siguientes actividades unitarias:

Perforación de Avance

Corresponde a las perforaciones que se realizan en la frente de la excavación para luego cargarlas con explosivos. Las perforaciones son realizadas por un equipo Jumbo, de acuerdo con un diagrama de disparos y con el largo de perforaciones previamente establecidos. Para realizar esta actividad previamente los topógrafos deben marcar la frente de acuerdo con el diseño de disparo (*Ver Tabla 2.3*):

Tabla 2.3. Resumen operación de perforación de avance.
Fuente Elaboración propia, 2019.

Perforación de Avance	
Objetivo	Lograr el confinamiento para la carga explosiva.
Sub actividades	Marcar la frente, posicionar jumbo, perforación y retiro de equipo.
Personal	Topógrafo, operador jumbo, ayudante jumbiero y supervisor.
Equipos	Jumbo y bomba de drenaje.
Herramientas y Materiales	Bits y barras de perforación, agua industrial, aire comprimido y electricidad.

Carguío de Explosivos y Tronadura

El carguío de explosivos corresponde al proceso de colocación de explosivos y detonadores al interior de las perforaciones previamente realizadas. Posteriormente se realiza el tapado, para finalmente realizar el amarre según la secuencia de tiempos de iniciación y retardos definidos en el diagrama de disparos. Todo esto con el objetivo de ocasionar el desplazamiento del volumen de roca de la frente. El carguío de la frente se realiza dentro de una jaula sujeta a un equipo de levante, la que protege a los trabajadores de eventuales caídas de roca (Ver Tabla 2.4):

Tabla 2.4. Resumen operación de carguío y tronadura.
Fuente: Elaboración Propia, 2019.

Carguío de explosivos y Tronadura	
Objetivo	Desplazamiento masa rocosa de la frente.
Sub actividades	posicionamiento de equipo, carga de la frente, retiro de equipo y quema de disparos.
Personal	Cuadrilla de carguío de explosivos, operador camión de explosivos y supervisor.
Equipos	Grúa con jaula, camión de explosivos.
Herramientas y Materiales	Emulsión o ANFO con detonador electrónico.

Ventilación y Chequeo

Corresponde a la evacuación de gases producto de la tronadura, para que el personal pueda ingresar al sector y continuar con las actividades en la frente. Se debe esperar 30 minutos como mínimo para ventilar los gases, luego se debe medir los gases presentes en el ambiente con el fin de garantizar que la operación se cumplió exitosamente (Ver Tabla 2.5):

Tabla 2.5. Resumen operación de ventilación y chequeo.
Fuente Elaboración propia, 2019.

Ventilación y Chequeo	
Objetivo	Ventilar y chequear los gases producto de la tronadura.
Sub actividades	Chequeo de gases, regado de marina, chequeo de tiros y chequeo de condiciones en la frente.
Personal	Supervisor, mineros, geólogo y geomecánico.
Equipos	Equipo de medición de gases.
Herramientas y Materiales	Agua industrial, ganchos aislantes, focos halógenos.

Extracción de Roca Fragmentada

Corresponde a la extracción o retiro de la roca fragmentada (marina) producto de la tronadura mediante equipo LHD, este equipo corresponde a un cargador frontal de gran capacidad, rendimiento y maniobrabilidad, el material cargado por el equipo es llevado a un punto de acopio cercano, el cual puede ser en un desquinche, un frontón u otra galería, para luego este material ser cargado por un camión tolva hasta un pique de traspaso. La ruta de marina debe estar delimitada totalmente con cintas de confinamiento. En el PNNM se ha determinado que para frentes con alto riesgo sísmico esta operación debe ser realizada mediante LHD a control remoto o telecomandados (*Ver Tabla 2.6*):

Tabla 2.6. Resumen operación extracción de marinas.
Fuente: Elaboración propia, 2019.

Extracción de Marina	
Objetivo	Despejar lo más rápido posible la frente de avance para continuar con el ciclo. Luego se chequea los tiros quedados y los tiros quedados.
Sub actividades	Ingreso de equipo a la frente, extracción de marina, traslado a la zona de acopio y descarga del mineral a la zona de acopio.
Personal	Supervisor, operador LHD, loro vivo por cada nivel.
Equipos	Equipo LHD
Herramientas y Materiales	Cintas de confinamiento.

Acuñadura y Limpieza

Corresponde al saneamiento del cerro mediante acuñadores manuales o mecanizados, botando y retirando el material suelto presente en el techo, paredes o frente de excavación, con el fin de tener una labor segura y libre de accidentes para las próximas operaciones unitarias. El Proyecto solo considera la acuñadura mecanizada, de tal manera de no exponer al personal a situaciones de riesgo. Adicional a la acuñadura, se requiere la limpiar los restos de rocas no retirado durante la extracción de marinas en la parte baja de la frente (*Ver Tabla 2.7*):

Tabla 2.7. Resumen operación de acuñadura.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Acuñadura	
Objetivo	Remover material inestable que se encuentra en los contornos de la excavación.
Sub actividades	ingreso de equipo a la frente, acuñadura, retiro de equipo.
Personal	Supervisor, operador de acuñador, cuadrilla de saneamiento.
Equipos	Equipo acuñador.
Herramientas y Materiales	Cintas de confinamiento.

Geología y Topografía

Etapa de inspección geológica y mensura, realizada con el fin de cuantificar el avance y reconciliar los datos geotécnicos, tales como fracturas, fallas y calidad de roca, entre otros. Dicho procedimiento se realiza por medio de la observación de personal calificado y la utilización de maquinaria afín a la mensura, sin embargo, para el caso del Proyecto este trabajo se realiza mediante fotogrametría, que permite efectuar mapeos estructurales por intermedio de cuatro fotos. La información obtenida en esta etapa es esencial para la planificación de la fortificación y posterior tronadura (Ver Tabla 2.8):

Tabla 2.8. Resumen operación de inspección geológica, geomecánica y topográfica.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Geología y Topografía	
Objetivo	Identificar estructuras en la frente, visualizar la presencia de fallas inferidas, establecer recomendaciones de fortificación y tronadura, determinar sobre excavaciones y metros avanzados post disparos.
Sub actividades	Mapeo geológico, marcaje de 4 puntos para la fotogrametría.
Personal	Supervisor, cuadrilla de topógrafos, geólogos y geomecánico.
Equipos	Equipo fotográfico.
Herramientas y Materiales	Cintas de confinamiento.

Fortificación

Corresponde al reforzamiento del macizo rocoso, mediante hormigón proyectado, pernos, malla, marcos y/o dovelas de hormigón según calidad de la roca. A continuación, cada una de las etapas de fortificación utilizadas por el Proyecto para las excavaciones de preparación:

- **Shotcrete de sello:** Proyección de hormigón sobre las paredes y techo de la labor. Su función es consolidar cajas y techo, responde a la primera protección a trabajadores y equipos, previo a la colocación de la fortificación definitiva. Se realiza mediante un camión robotizado, llamado también roboshot. Para el caso de la primera capa de “shotcrete” en paredes y techo, el espesor es de 5 cm. y adicionalmente se aplica “shotcrete” en la frente de excavación de unos 3 cm. Constituyendo una barrera solida que permite entregar mayor seguridad.
- **Perforación de pernos helicoidales:** Luego de que el tiempo de fragüe del “shotcrete” de sello se haya cumplido, se procede a la marcación del punto en donde se instalarán de forma radial pernos helicoidales. Las perforaciones se realizan con un equipo Jumbo, el que perfora en forma perpendicular a la superficie que posee la sección de la galería. Para frentes con alto riesgo sísmico la fortificación se realiza con un jumbo mecanizado capaz de perforar, colocar pernos helicoidales y enmallar las excavaciones subterráneas.
- **Lechado de pernos helicoidales:** Inmediatamente después de la perforación de pernos se procede a inyectar lechada de cemento, lo que permitiría instalar los pernos helicoidales y generar el adosamiento requerido. Estas actividades se realizan desde una jaula dispuesta en equipo de levante, en donde la inyección es ejecutada manualmente por medio de un equipo lechador, luego de ello se debe esperar al fragüe de la mezcla aplicada.
- **Colocación de malla perimetral:** Corresponde a la colocación de una malla en toda la sección de la galería, afianzada de los pernos helicoidales con planchuela y tuerca. Una vez colocada la malla se procede al apriete de las tuercas y pernos. La actividad se realiza sobre una jaula dispuesta en equipo de levante.
- **Perforación de pernos Split-set en la frente:** Corresponde a la perforación para la colocación de pernos en el frente, dicha actividad se ejecuta con el equipo Jumbo y en algunas ocasiones se realiza inmediatamente después de la perforación de pernos helicoidales, puesto presenta ventajas operacionales.
- **Colocación de malla frente y pernos Split-set:** Corresponde a la colocación de pernos Split-set en el frente además de una malla para minimizar el riesgo de colapso o desprendimiento de roca que pudiera dañar a personas o maquinaria, dicha actividad se ejecuta utilizando una grúa con jaula y se finaliza de manera manual.

- **Shotcrete sobre malla:** Proyección de hormigón en forma perpendicular a la superficie de la galería, en donde el espesor de la capa es definido en etapa de diseño, cubriendo en forma total la malla. Una vez proyectado el hormigón se deberá esperar el tiempo establecido para su fragüe. La actividad se realiza mediante la utilización de un camión robotizado, llamado también roboshot.

A modo resumen y para garantizar el entendimiento se presenta el flujograma del ciclo minero de avance utilizado por el PNNM-AN:

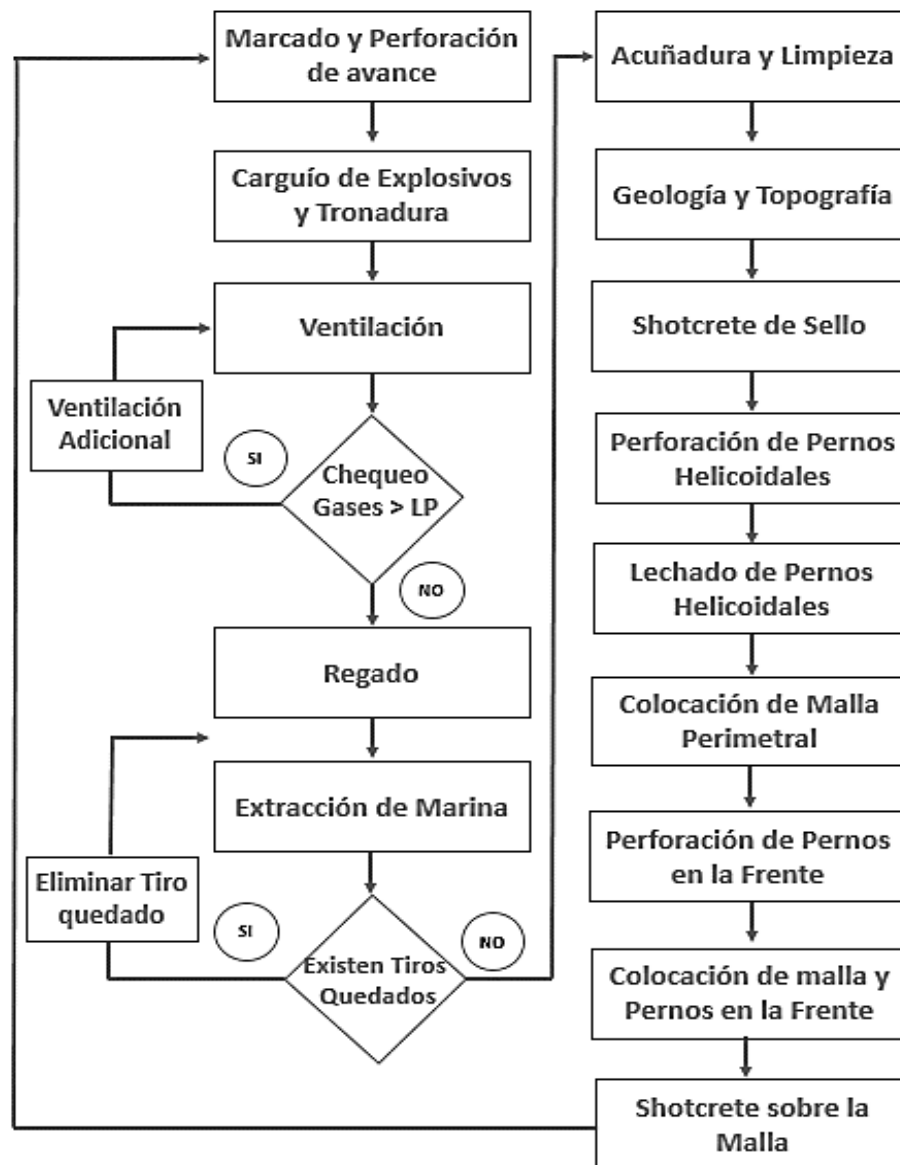


Figura 2.9. Flujograma de ciclo de avance de desarrollo.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

2.1.10. Sistemas de Gestión y Planificación

La eficiencia en el desarrollo de los procesos y el cumplimiento de las metas de una compañía dependen de los niveles de gestión y planificación de su sistema logístico y de funcionamiento interno. La planificación es un proceso diseñado para alcanzar los objetivos determinados, implica tener claros tanto los objetivos que se persiguen como las acciones necesarias para alcanzarlas.

Un sistema de planificación y gestión integrado y balanceado se puede gestionar en tres niveles principales: el estratégico, el táctico y el operacional. Cada integrante de la compañía pertenece a uno de los tres de acuerdo con la posibilidad de tomar decisiones que se le permita, a sus funciones y al rango de tiempo para el cual está proyectado su trabajo.

Estos tres niveles en conjunto buscan generar valor para la Corporación y país, están íntimamente relacionados y a pesar de que poseen límites claramente definidos, interactúan permanentemente. Lo anterior genera una fuerte dependencia y hace que cada nivel sea indispensable para la Corporación (9).

- **Nivel Estratégico:** Busca alcanzar los objetivos globales de la Corporación, por lo tanto, las decisiones que se toman en este nivel definen el curso de acción de los proyectos, lo que a su vez impacta fuertemente en los planes divisionales y corporativos. Se relaciona principalmente con los objetivos de largo plazo e impacto Corporativo y Divisional.
- **Nivel Táctico:** Corresponde a un nivel intermedio entre el Nivel Estratégico y Operativo, las decisiones que se toman en este nivel afectan directamente al Proyecto y de forma indirecta al Cliente y a la Corporación. Se relaciona principalmente con los objetivos de mediano plazo que buscan definiciones a nivel de Proyecto.
- **Nivel Operacional:** En este nivel se enfocan los esfuerzos del “día a día” en alcanzar los objetivos de cada área y a su vez dan respuesta a los objetivos de los niveles Tácticos y estratégicos. Se relaciona con la planificación de corto plazo y las operaciones unitarias, busca alcanzar los objetivos con foco en la implementación diaria de los protocolos de seguridad, análisis de productividad mediante recopilación de datos en terreno, entre otros.

2.1.11. Productividad

La productividad es un concepto que puede definirse como la cantidad de producto que se crea por unidad de recurso que se requiere para elaborar dicho producto, es decir, la productividad corresponde a la medida de la eficiencia con la cual se utiliza un recurso para producir un bien.

$$\text{Productividad} = \frac{\text{Cantidad de Producto}}{\text{Cantidad de insumos o recursos}}$$

De esta manera el principal indicador de productividad con respecto a los avances físicos de las excavaciones horizontales corresponde a metros de avance en un determinado tiempo.

Por otra parte, es importante destacar que para lograr una alta productividad se requiere una alta eficiencia y efectividad. La primera se relaciona con la capacidad para conseguir un objeto aprovechando de mejor manera posible los recursos disponibles, mientras que la segunda es la capacidad de lograr lo propuesto reflejando en el cumplimiento de programas y plazos.

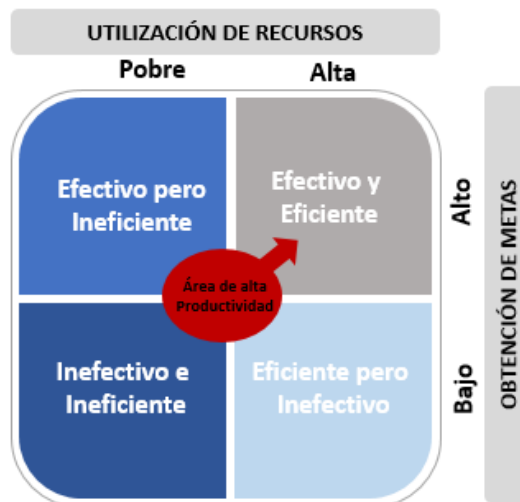


Figura 2.10. Relación de productividad con efectividad y eficiencia.
Fuente: Morales, 2016 (10).

Un contrato o proyecto puede tener una alta eficiencia sin lograr los objetivos, o viceversa, lograr los objetivos sin utilizar de forma eficiente los recursos. La productividad en la industria minera es un desafío constante y más aún en los proyectos de construcción subterránea, debido a las condiciones inherentes del método de explotación junto con la arquitectura de la mina que dificultan las labores de desarrollo y preparación.

2.1.11.1. Modelo de Gestión de Productividad del PNNM-AN

La Vicepresidencia de Proyectos de Codelco utiliza un modelo de gestión de productividad para el Proyecto Nuevo Nivel Mina Andes Norte, basado en el trabajo en conjunto de la VP con la empresa contratista, donde se realizan reuniones de colaboración y coordinación semanales. En dichas reuniones se analizan los indicadores de desempeño establecidos, mejoras a los procesos y adherencia al sistema de productividad implementado por la empresa contratista y alineado con el sistema de productividad de la VP. El modelo utilizado considera una gestión diaria, semanal y mensual, donde se utilizan diversas herramientas y estrategias para llevar un control y gestión de la productividad del Proyecto.

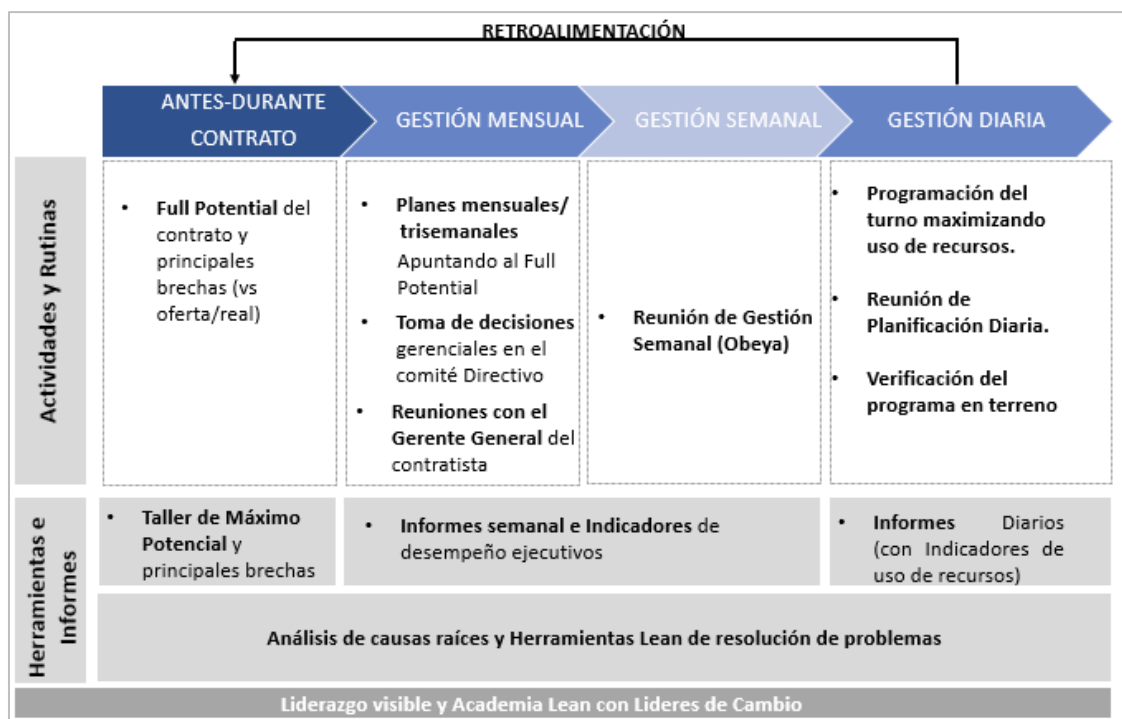


Figura 2.11. Modelo de Gestión de Productividad utilizado por el PNNM-AN.

Fuente: Vicepresidencia de Proyecto, 2018 (11).

El modelo mostrado en la *Figura 2.11* trabaja bajo la filosofía Lean, donde se considera la aplicación de metodología Full Potential durante y al comienzo del contrato.

- Lean:** La filosofía Lean busca la forma de mejorar y optimizar la productividad, tratando de eliminar o reducir todas las actividades que no añaden valor dentro de la cadena de valor y/o proceso operativo específico. En el Sistema de Gestión de Productividad, la filosofía Lean es importante porque determina la eliminación de todos los desperdicios a través de la aplicación de herramientas de mejora, como el “Full Potential”.

- **Full Potential:** El objetivo de esta metodología es la búsqueda de mejoras en los procesos de manera de alcanzar el máximo potencial de sus operaciones en base a comparaciones en la industria y capacidad optimizada. En el Sistema de Gestión de Productividad el “Full Potential” es importante porque ayuda a determinar el máximo valor a alcanzar, el cual debe ser gestionado a través de distintas acciones y herramientas de mejora para alcanzarlo.

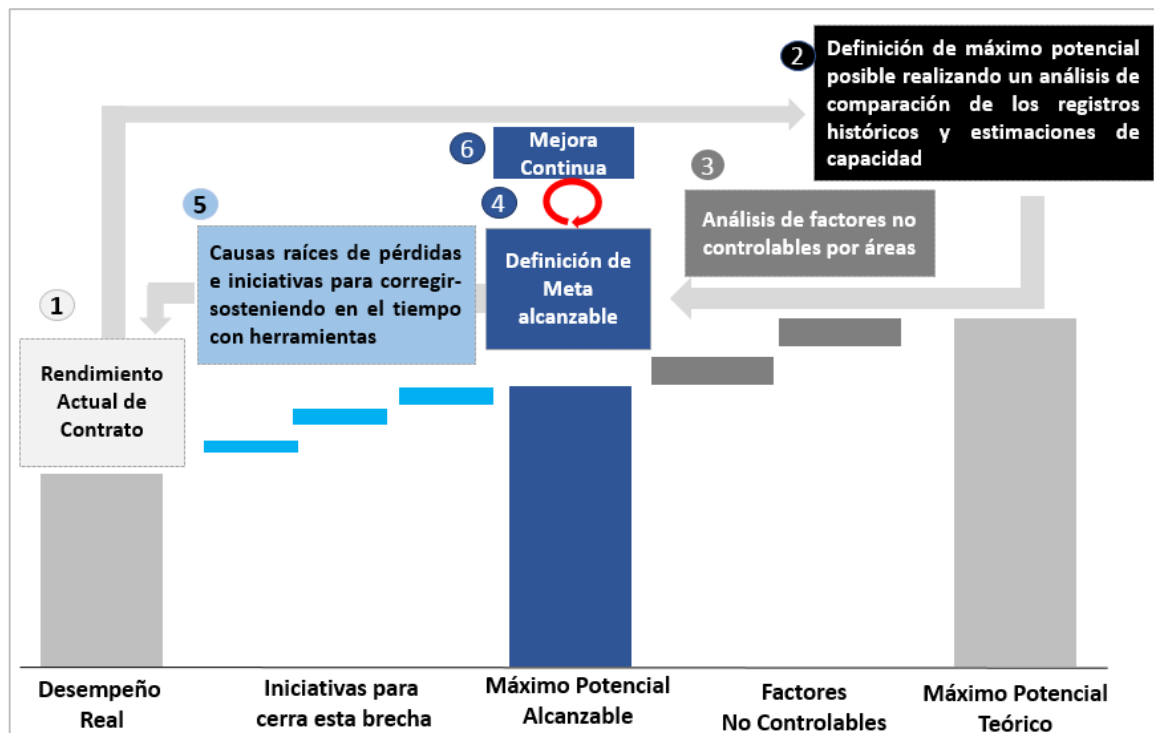


Figura 2.12. Modelo “Full Potential” utilizado en el PNNM-AN.
Fuente: Vicepresidencia de Proyectos, 2018 (11).

De acuerdo con la *Figura 2.12* la metodología “Full Potential” utilizada por la VP en el Proyecto NNM-AN para determinar el máximo potencial alcanzable se deben realizar los siguientes pasos:

- 1) Primero que todo se debe determinar el rendimiento real/actual del contrato.
- 2) Luego se debe definir el máximo potencial teórico, basado en análisis de los registros históricos obtenidos o comparaciones de resultados en proyectos similares.
- 3) Se determinan los factores no controlables y se eliminan del máximo potencial teórico, ya que no es posible trabajar en ellos.
- 4) Se define la meta alcanzable (Eliminando los factores no controlables).
- 5) Una vez identificada la meta alcanzable, se establece metas intermedias y se implementan Herramientas Lean, donde se puede trabajar con los factores controlables disminuyéndolos o eliminándolos.

2.1.12. Tecnología e innovación Minera

La gran minería chilena enfrenta retos de escala mundial que requieren del desarrollo de soluciones tecnológicas que permitan a la industria crecer de forma competitiva y sustentable. A medida que los minerales deseables se vuelven más difícil de extraer, se va haciendo más importante una mayor automatización e integración de datos para el éxito de los trabajos de la minería.

La Inteligencia Artificial (IA) y el Internet de la Cosas (IoT) son dos de las tecnologías que están revolucionando la industria minera y están impulsando una serie de cambios. Por ejemplo, el monitoreo en tiempo real de la productividad, seguridad de los trabajadores a través de dispositivos que permiten saber si están en lugares no aptos, el impacto del medio ambiente y las condiciones en las que están los equipos, reduciendo los gastos que significaría una posterior reparación. El funcionamiento de estas tecnologías permite recoger importantes volúmenes de datos y es posible integrar todos los procesos en Centros Integrales de gestión, haciendo más eficiente la productividad global (12).

2.1.12.1. Tecnología y Productividad

Históricamente, la industria minera ha mejorado su productividad vía innovaciones. La evolución de la introducción de tecnología en la industria minera ha sido realizada en forma paulatina para alcanzar mayores niveles de productividad, los últimos 50 años han estado marcados por el avance tecnológico, pasando de la mecanización en los años 60, al actual proceso de incorporación de Teleoperación y Automatización, además durante estos últimos años se han introducido nuevas tecnologías relacionadas con la producción optimizada.

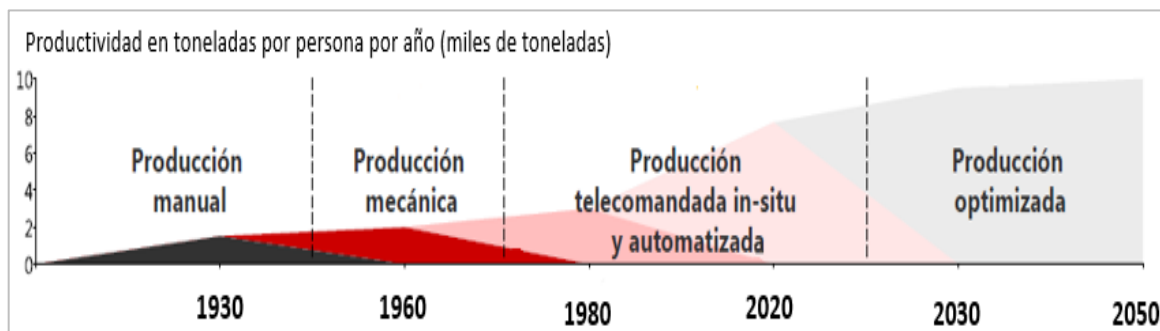


Figura 2.13. Evolución tecnológica y el aumento de la productividad.
Fuente: Mancilla, 2019 (12).

En la *Figura 2.13* es posible apreciar como la incorporación de nuevas tecnologías ha aumentado la productividad en la industria minera. Donde para los próximos años se prevé un gran crecimiento de la productividad con una producción optimizada, utilizando inteligencia artificial, internet de las cosas, con integración de datos e información en tiempo real.

La División El Teniente durante el último tiempo ha implementado distintas tecnologías en el proceso de producción de mineral, que le han permitido conocer el proceso productivo de la mina en tiempo real, mediante plataformas de gestión de información, conociendo el posicionamiento de equipos, obteniendo indicadores y signos vitales de la flota, teniendo el control de los tiempos productivos del personal, entre otras. Estas implementaciones han tenido buenos resultados en la productividad tanto de los camiones de carga como en los equipos LHD. Durante el primer año luego de implementación de las nuevas tecnologías la productividad de los ciclos de los camiones en la División El Teniente aumentó en un 58%, y un gran porcentaje de esto debido a la gestión en línea (*Ver Figura 2.14*).

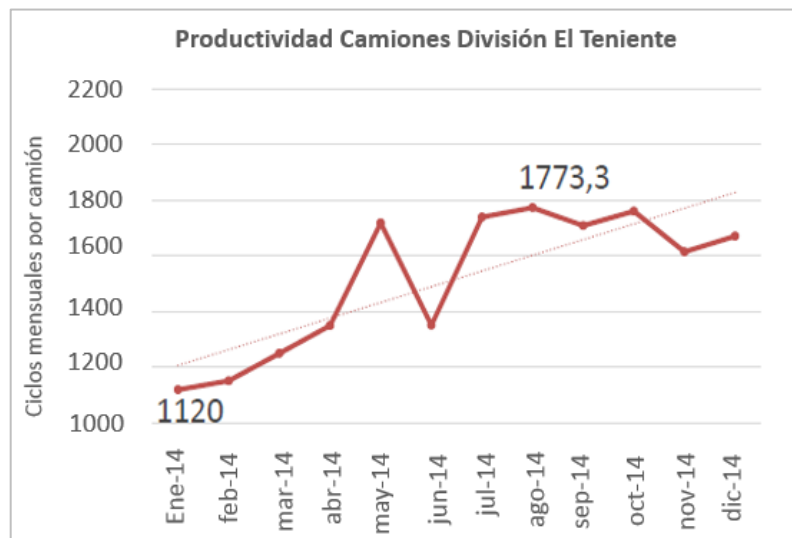


Figura 2.14. Aumento productividad en los ciclos de los camiones en la DET.
Fuentes: Oyarzun, 2019 (13).

Lo mismo ocurrió con la productividad de los equipos LHD, la cual aumentó en un 24% durante el 2018 (*Ver Figura 2.15*).

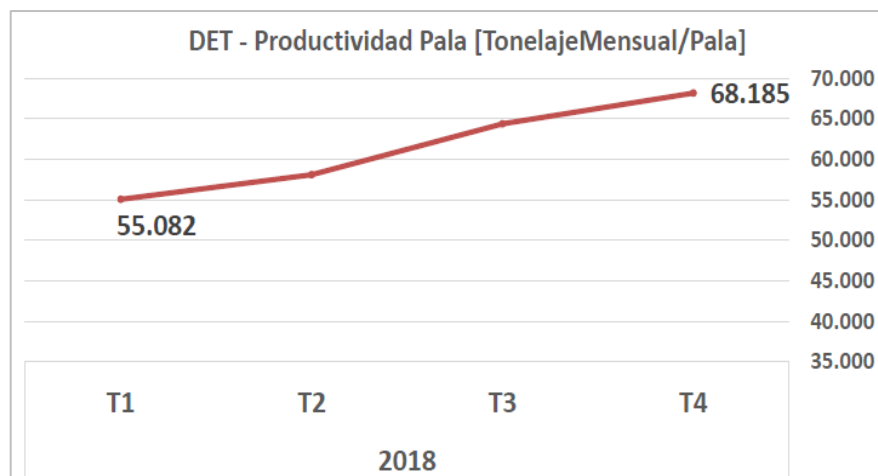


Figura 2.15. Aumento de la productividad de los LHD en la DET.
Fuente: Oyarzun, 2019 (13).

2.1.12.2. Tecnología e Innovación del Proyecto

Actualmente en la construcción del Proyecto Nuevo Nivel Mina Andes Norte se ha utilizado muy poca tecnología y sistemas de información que permitan optimizar los procesos. Durante estos últimos años se ha trabajado en la gestión de transformación digital para el Proyecto. El área de tecnología e innovación del Proyecto posee tres líneas desarrollo, teniendo en cuenta que el Proyecto trabaja en un ambiente de altos esfuerzos, con un programa de máximo potencial, donde se encuentra removiendo volúmenes históricos de obras con varios contratistas compartiendo áreas de trabajo, accesos, servicios e infraestructura.

Líneas desarrollo de tecnologías e innovación para el Proyecto:

1. **Metodologías constructivas:** En esta área de trabajo se han introducidos nuevas tecnologías que han permitido continuar con las obras de construcción del Proyecto en las condiciones de altos esfuerzos, utilizando el Fracturamiento hidráulico y las técnicas de destressing.
2. **Desarrollos:** Esta segunda línea está enfocada principalmente en la exposición del personal y equipos a situaciones de riesgo, por lo que se han introducidos nuevos equipos tele comandados y mecanizados.
3. **Gestión de Transformación Digital:** La última línea ha sido enfocada en los sistemas de control y gestión operacional, donde uno de los proyectos más importantes propuesto es el Sistema de Monitoreo en Línea, junto con el Centro Integrado de Construcción (CIC).

2.1.12.3. Sistemas inteligentes de gestión

Los sistemas inteligentes de gestión en minería han sido enfocados principalmente en operaciones de producción, teniendo un menor desarrollo en la construcción. El contar con estos centros integrados apoyados en tecnología, facilita la toma de decisiones con información en tiempo real, lo que permite la gestión de las actividades y de todo imprevisto que interrumpa el proceso productivo, tener mejores y más rápidas respuestas, control de costos, y a reducir pérdidas. Entre los desafíos de la implementación de esta infraestructura está lograr la confiabilidad de las plataformas tecnológicas, su integración, y principalmente el cambio organizacional para su utilización (8).

Los Centros Integrados en actual funcionamiento en las operaciones de Codelco, se apoyan en plataformas tecnológicas que integran la información capturada en línea, sobre la cual se realizan las coordinaciones entre las operaciones.

La diferencia entre los Centros Integrados de Operación (CIO) y el Centro Integrado de Construcción (CIC), radica fundamentalmente en que cada uno de ellos atienden operaciones diferentes. El primero las actividades ligadas a la producción, y el segundo a las actividades de construcción, no diferenciándose en las tecnologías que permiten integrar la información, para luego gestionar y tomar decisiones.

2.1.13. Sistema de Monitoreo en Línea

El Sistema de Monitoreo en Línea (SML) es el nuevo sistema de control operacional impulsado para el Proyecto Nuevo Nivel Mina Andes Norte con los objetivos de aumentar la productividad, mejorar la optimización de recursos y aumentar los niveles de seguridad. El SML se encargará de monitorear las distintas operaciones mineras del Proyecto e integrar los datos capturados en terreno y en tiempo real, este sistema permitirá obtener más información, confiable e inmediata, con la cual es posible realizar un mejor control operacional y con el apoyo de una sala de control realizar una mejor gestión operacional. El SML es capaz de capturar datos en terreno, procesar esta información y entregarla a través de distintos indicadores y tableros de control, que permiten detectar en tiempo real alguna desviación sobre el proceso operacional y actuar oportunamente. El Sistema debe trabajar con el apoyo del Centro Integrado de Construcción, lugar donde se despliega la información proporcionada por el SML en distintas pantallas y desde donde se realiza la gestión operacional, el CIC permite tener una mejor visualización de las operaciones mineras, lo que facilita la toma de decisiones a nivel operacional. En el siguiente diagrama se presenta la estrategia de trabajo del SML:

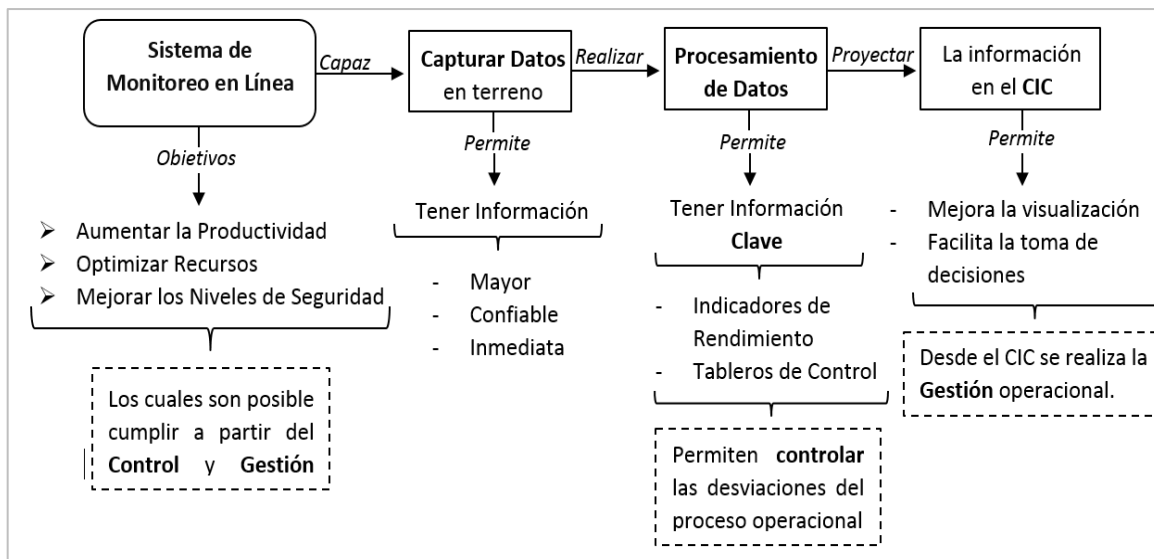


Figura 2.16. Diagrama de la estrategia de trabajo del sistema de monitoreo en línea para el PNNM.
Fuente: Elaboración propia, 2019.

La empresa contratista Mining TAG será la encargada de diseñar e implementar el Sistema de Monitoreo en Línea impulsado para el Proyecto Nuevo Nivel Mina, de acuerdo con los requerimientos proporcionados por Codelco. Esta empresa posee experiencia en el monitoreo e integración de datos en minas subterránea utilizando diversas tecnologías e innovaciones, tales como la utilización de tecnología RFID (identificación por radiofrecuencia), distintos tipos de sensores, radares, GPS, que permite detectar la presencia de un vehículo, persona o cualquier elemento que se estime necesario, tecnología con la cual también es posible tener un control de los tiempos productivos caracterizando distintas zonas de la faena, así como también tener un monitoreo de los procesos productivos contabilizando los ciclos productivos, esta información es trasladada a una red de comunicación hacia los servidores, donde es procesada y luego almacenada, donde por medio de un software la información capturada logra ser visualizada. También cuenta con la utilización de computadores a bordo de equipos que permite asignar las tareas de forma manual o automática, además realizar coordinaciones de forma directa con la sala de control o jefe de mina. Para el exitoso funcionamiento de este Sistema de Monitoreo en Línea es importante definir la información clave que este debe capturar y entregar, y definir los requerimientos necesarios que este debe poseer para la consecución de los objetivos de su implementación.

2.1.13.1. Indicadores Claves de Desempeño

Los indicadores clave de desempeño son mediciones que se utilizan para determinar el grado de cumplimiento de los objetivos previamente establecidos, pueden ser utilizados en diferentes áreas o niveles y reflejan su rendimiento en un periodo determinado. *“Lo que no se mide, no es posible conocer, no es posible controlar y por lo tanto no es posible mejorar” (Peter Ducker).*

En el PNNM-AN los indicadores claves de desempeño son utilizado por las distintas áreas como de abastecimos, calidad, seguridad, servicios, mantención, oficina técnica, relaciones laborales, productividad, cada una de estas áreas posee sus propios indicadores que le permiten medir el desempeño de sus trabajos realizados.

Como uno de los objetivos de este Trabajo de Título es determinar los indicadores claves de desempeño del Sistema de Monitoreo en Línea que permitan tener un mejor control y gestión de las operaciones mineras en construcción durante el desarrollo del turno, con el objetivo de aumentar la productividad, aumentar los niveles de seguridad y mejorar la asignación de recurso, es importante conocer cómo hacer una selección apropiada de estos indicadores. Los indicadores claves de desempeño tienen que estar fuertemente ligados con los aspectos que se quieran medir y que sean de suma importancia para la consecución de los objetivos. De acuerdo con la bibliografía encontrada a continuación se entregan algunas estrategias para establecer los adecuados indicadores claves de desempeño (14):

1. Primero que todo se debe tener claridad con los objetivos que se persiguen ya sea por la empresa, por un área o con la utilización de alguna herramienta de gestión. Una vez elegidos los indicadores se debe ver si los indicadores afectan a dichos objetivos.
2. Los indicadores deben ser comparados con alguna referencia o meta perseguida. Se debe tener cuidado con las metas establecidas para los indicadores, estas no deben ser excesivas, ya que se tratará de hacer lo posible por cumplir las metas sin importar las consecuencias, ni tampoco definir metas que estén de antemano cumplidas.
3. Se debe establecer una frecuencia de revisión periódica de los indicadores, de modo de actuar oportunamente sobre las desviaciones. Se deben ir monitoreando la meta (o valor presupuestado) del indicador con relación a su valor real.
4. Es necesario determinar quiénes van a medir los indicadores y con qué herramientas, ya que no tiene sentido diseñar una tabla de indicadores dirigida a

alguien que o bien no sabe qué está midiendo o no dispone de los medios necesarios para hacerlo.

5. Es importante analizar las causas de fondo que provocan la desviación de los indicadores, para poder resolver el problema de fondo de la desviación.
6. Dependiendo de a quienes vayan dirigidos o quién será el responsable de tomar acciones, es que se deben filtrar el indicador que se deben entregar.
7. Se debe tener cuidado con la cantidad de indicadores que se quieran medir, ya que tener un exceso de indicadores tenderá a confundir. Se debe asegurar que los indicadores seleccionados terminen siendo relevantes, de otra forma se corre el riesgo de terminar con indicadores triviales que no generan aprendizaje.
8. Se debe considerar la relevancia de la información que se extraiga de los indicadores, ya que puede haber datos irrelevantes que pueden generar pérdidas de tiempo en su análisis y desviar la atención de aquellos indicadores y datos que puedan ser realmente de interés.
9. Otra recomendación es analizar qué pasó con ese mismo indicador el año pasado y cuál sería su proyección futura de seguir comportándose de la manera que ha venido haciéndolo. El verdadero control de gestión no solo controla, sino advierte lo que podría ocurrir. Por lo que introducir un valor predictivo al indicador es sumamente importante.

2.1.13.2. Tableros de Control

Un tablero de control es una representación visual de la información más importante y necesaria para lograr uno o más objetivos, de forma consolidada y organizada en una sola pantalla. Los tableros de control son herramientas de gestión de la información que monitoriza, analiza y muestra de manera visual los indicadores claves de desempeño, para hacer el seguimiento de un proceso específico. Un tablero de control permite medir múltiples indicadores y métricas al mismo tiempo, son fáciles de comprender, hace que los datos sean fácilmente accesibles y permite generar informes más eficientes, ya que estos se generan de forma automática. El objetivo principal de un tablero de control es diagnosticar adecuadamente una situación y agilizar la toma de decisiones, a través del seguimiento y evaluación periódica en conjunto con el uso de indicadores y métricas que permitan a las organizaciones tener un panorama real de su entorno actual.

Existen tres tipos de tableros de control, cada uno con un propósito específico. Estos pueden ser Operacional, táctico o estratégico, la *Tabla 2.9* muestra una comparación de los diferentes tipos de tableros de control (15).

Tabla 2.9. *Tipos de Tableros de Control.*
Fuente: Kerzner, 2013 (15).

	OPERATIVO	TÁCTICO	ESTRETÉGICO
Propósito	Operaciones de Monitorización	Mide el progreso	Ejecutar estrategia
Usuarios	Supervisores, especialistas	Administradores, analistas	Ejecutivos, administrativos, personal
Estratégico	Operacional	Departamental	Empresas
Información	Detallada	Detallado/ Resumen	Detallado, Resumen
Actualizaciones	Diaria	Diario/Semanal	Mensual/ Cuatrimestral
Énfasis	Monitoreo	Análisis	Administrativo

Tableros Operativos: Los tableros de control operativos enfatizan el monitoreo más que el análisis y la administración. Este tipo de tableros de control muestra datos que facilita la parte operativa de un negocio. Permite realizar el seguimiento de la situación de procesos y/o sectores de la organización, al menos de forma directa. Con esto se logra tomar a tiempo medidas correctivas en caso de ser necesarias. El tablero debe proveer la información que se necesita para entrar en acción y tomar decisiones operativas.

Tableros Tácticos: Un tablero táctico rastrea procesos y proyectos departamentales que son de interés para un segmento de la organización o un grupo limitado de personas. Sirven para comparar el desempeño de sus área o proyectos, los planes de presupuesto, los pronósticos o resultados de un periodo pasado. Este tipo de tableros ofrece una funcionalidad de exploración, que permite al usuario explorar más de los datos y obtener información diferente.

Tableros Estratégicos: El objetivo de un tablero de control estratégico es alinear la organización en torno a los objetivos estratégicos y hacer que todos los grupos avancen en la misma dirección. Permiten monitorear los resultados de una empresa o proyecto en su conjunto. Pueden incluir indicadores de todos los sectores para los directivos claves o sectorizados para un directivo.

Como uno de los objetivos de este Trabajo de Título es determinar la información que deben proporcionar los tableros de control del Sistema de Monitoreo en Línea, que permitan llevar el control y detectar desviaciones en el proceso operacional, es que a continuación se entregan algunas características importantes que deben poseer los tableros de acuerdo con la bibliografía encontrada:

1. La función principal de un tablero de control siempre debe ser orientar las acciones de un equipo de trabajo. Por tanto, debe facilitar la información necesaria para poder saber cuáles son los siguientes pasos que seguir para mejorar los resultados.
2. Los tableros de control deben ser personalizados, los cuales deben contener los indicadores que sean más relevantes para el departamento, campaña o proceso que se ocupa. Para orientarlos se debe pensar en las preguntas principales a las que se quiere responder.
3. Deben ser visual, que permita obtener la información que se busca de golpe de vista. Por ello, los datos se presentan en forma de gráficos, ya que se debe contar con indicadores rápidos, con colores llamativos, flechas hacia arriba o abajo o cifras destacadas, por ejemplo.
4. Los tableros de control deben entregar información en tiempo real, ya que aprovechar el momento clave es esencial.
5. Usar menús despegables que permitan clasificar y filtrar rápidamente los datos, para simplificar datos complejos.
6. Lo ideal es usar números redondos, y si un usuario requiere información más detallada, puede ir a la fuente o ver un tablero de control que brinde información mucho más detallada.

2.2. Situación Actual de Trabajo

El control de las operaciones mineras del Proyecto es llevado por las distintas empresas contratistas junto con la VP. La organización de la construcción debe atender la planificación y programación diaria de las obras, operando para su cumplimiento con las coordinaciones entre las actividades. El control de las operaciones mineras es llevado básicamente con la información que fluye durante el turno, entre los jefes de turno, jefes de nivel o jefes de terreno, obtenida mediante comunicación por radio, telefónica o personalmente, sobre diversos acontecimientos ocurridos durante el desarrollo del turno los cuales afectan a la programación del turno, donde es necesario realizar diversas coordinaciones para controlar las desviaciones presentadas. Adicionalmente se realiza una reunión de planificación diaria del turno (POD), donde es posible contar con más información, ya sea sobre el turno anterior, o sobre los diversos trabajos programados por los otros contratistas para el turno, donde es posible coordinar con los diferentes actores y prever alguna interferencia, restricción o acontecimiento.

Actualmente en el proyecto se encuentran ejecutando 4 de los contratos más importantes, los cuales deben compartir áreas comunes, servicios y accesos. Durante los meses de mayores desarrollos programados se espera realizar 12 disparos por día entre los distintos niveles, obteniendo unos 1.190 metros lineales de desarrollos horizontales en un mes. Al trabajar con múltiples frente y en distintos niveles, la visualización completa de las operaciones se vuelve muy difícil, por lo que solo se logra tener una visualización operacional localizada.

2.2.1. Planificación y Coordinación del Turno

La planificación y programación del turno es realizada por el jefe de turno al inicio de este, en base a un programa de obras diarias y con la información obtenida del traspaso del turno anterior sobre las condiciones del terreno. El jefe de turno programa las distintas actividades a realizar durante el turno en las distintas frentes y niveles, además debe realizar la asignación de recursos, servicios y las tareas a sus supervisores y trabajadores para ejecutar las actividades programadas. Esta planificación es apoyada por reuniones diaria realizadas al inicio del turno (POD), donde participa las distintas empresas que comparten terreno.

Al finalizar el turno el personal de oficina técnica verifica los avances y desviaciones de cada actividad, controlando la producción obtenida. Estos datos son analizados por planificación y reportados a operaciones, para la toma de acciones correctivas y actualización de los programas de obras si fuese necesario, ya sea a nivel de una actividad específica o global

del Proyecto. Por lo tanto, cualquier desviación presentada durante el turno es detectada al final de este, sin tener la posibilidad de corregirlo en el mismo instante evitando cualquier desperdicio.

Las coordinaciones en terreno se realizan a través de medios de comunicación tales como radios, teléfonos y además de coordinación de tipo verbal. Esta es apoyada por los jefes de nivel y supervisores, velando por el cumplimiento de lo programado durante el turno, pero no siempre logran controlar cualquier contingencia o interferencia ocurrida durante el turno, debido a la cantidad de frentes de trabajo, donde se obtiene poca información, tardía y poco confiable sobre diversos acontecimientos.

2.2.2. Asignación de Recursos

De acuerdo con las actividades programadas para el turno se realiza la asignación de equipos, servicios, herramientas y materiales según corresponda. Esta asignación de recursos se realiza de forma intuitiva de acuerdo con la información traspasada del turno anterior, sobre el estado, ubicación y disponibilidad de los equipos, así como también la disponibilidad de herramientas y materiales.

2.2.3. Reunión de Programación Diaria (POD)

La POD es una reunión realizada por la empresa contratista al comienzo de cada turno, dicha reunión sigue una rutina con el foco en la gestión operativa. Su objetivo principal es poder programar el trabajo del turno entrante tomando como información el resultado del turno anterior. En esta reunión participan los distintos jefes de terreno, las distintas áreas participantes en el contrato y otras empresas con las cuales se comparten áreas, accesos o servicios, donde cada uno expone las actividades programadas a realizar durante el turno y donde es posible coordinarse respecto al área de trabajo en común. En esta reunión se revisan los resultados obtenidos del turno anterior, se realiza una revisión de los compromisos adquiridos anteriormente y se realiza la programación del turno entrante, con la información proporcionada por los distintos participantes a la reunión.

La programación del turno y asignación de recursos puede ser modificada y/o complementada por el jefe de turno luego de la realización de la POD, ya que en estas instancias existe un mayor flujo de información debido a la participación de distintas áreas y empresas contratistas, por lo que es posible detectar alguna contingencia o interferencias anteriormente no visualizada o informada. Se debe tener en cuenta que anterior al inicio de la POD el jefe de turno ya ha entregado la asignación de actividades para el turno, así

que cualquier modificación luego de la reunión se realiza mediante coordinaciones durante el desarrollo del turno.

Asistentes		Objetivos	
• Jefe de Turno • Jefe de Operaciones • Encargados de electricidad, servicios, calidad y seguridad. • Encargado de Planificación • Encargado de Productividad • Administrador de contrato		Revisión diaria (turno a turno) • Revisar el trabajo realizado en el turno anterior (foco desvíos) • Asumir y monitorear soluciones y/o compromisos de mejora Revisión y validación de planificación para turno entrante • Revisar recursos turno entrante • Revisar estado de las frentes • Levantar interferencias y restricciones	
Agenda			
Sección	Temas a Tratar		Responsable
Resultados Turno Anterior	• Revisión de avance real vs plan • Revisión de estado de servicios en cada frente • Revisión de calidad y seguridad. • Revisión de productividad y causas de desvío (ciclos, equipos, disparos) • Toma de compromisos para solucionar desvíos		Administrador de contrato Jefe de Operaciones Planificación Encargados de áreas Servicios, electricidad, calidad
Revisión de Compromisos	• Revisión de compromisos anteriores • Revisión de KPI y compromisos de productividad		Moderador Productividad
Programación Turno Entrante	• Revisión de planificación para turno entrante y proyección • Identificar actividades de reemplazo (plan B) • Revisión de prioridades y alineamiento con objetivos • Identificación de interferencias y restricciones • Toma de compromisos para cumplimiento de programa		Planificación Programación y Control Jefe de Operaciones

Figura 2.17. Estructura de contenidos reunión diaria (POD).
Fuente: Vicepresidencia de Proyecto, 2018 (11).

2.3. Análisis Bibliográfico

Se realiza una revisión de la literatura sobre los principales problemas generados en otros proyectos de similares características en las operaciones mineras de construcción subterránea y los indicadores utilizados para detectar dichos problemas, todo esto con el objetivo de determinar la información necesaria a analizar en este Trabajo de Título para poder identificar los principales problemas presentados en la operaciones mineras del Proyecto Nuevo Nivel Mina Andes Norte durante el desarrollo del turno, los cuales podrían ser abordados por el Sistema de Monitoreo en Línea. El análisis bibliográfico se estructuró en tres ejes principales, que corresponden a principales problemas y brechas encontradas, oportunidades detectadas e indicadores utilizados.

2.3.1. Principal Literatura Revisada

Se recurrió a distintas fuentes bibliográficas, tanto nacionales como internacionales, como publicaciones científicas, informes y reportes. A continuación, se muestra la bibliográfica utilizada:

1. CASTILLO, G. Implementación de Metodologías Lean en Desarrollo Minero. Tesis Magíster en Ciencias de la Ingeniería. Santiago. Pontificia Universidad Católica de Chile, 2013.
2. CASTILLO, G., ALARCÓN, L., GONZÁLEZ, V. Implementing Lean Production in Copper Mining Development Projects: Case Study. Journal of Construction Engineering and Management. (2015). 141(1).
3. CORPORACIÓN DE DESARROLLO TECNOLÓGICO (CDT). Bases para el Estudio de Factores que Afectan la Productividad en la Construcción Minera. (2014). 32p.
4. Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT), en conjunto con el Consejo Minero y la Cámara Chilena de la Construcción. Buenas Prácticas en la Construcción Minera. Informe desarrollado en el marco del Estudio de Factores que Afectan la Productividad en la Construcción Minera. (2015). 57p.
5. DUNSTAN, K., LAVIN, B., & SANFORD, R. The application of lean manufacturing in a mining environment. International Mine Management 2006, October 16 - October 18, 2006, 145-157.
6. KLIPPEL, A., PETTER, C., ANTUNES Jr., J. Lean management implementation in mining industries. (2007). DYNA, 75(154), 81-89.

2.3.2. Indicadores Utilizados

Para poder medir el desempeño de un proceso, es clave definir ciertos indicadores que permitan monitorear el proceso de manera constante y homogénea en el tiempo. Esto también permite la visualización del impacto de distintas líneas de acción que se decidan seguir. A continuación, a partir de la revisión bibliográfica, se resumen los indicadores utilizados en las distintas lecturas para detectar los principales problemas y brechas de las operaciones mineras en construcción:

Tabla 2.10. Resumen de los indicadores utilizados por los distintos autores para determinar los principales problemas presentados en las operaciones mineras en construcción.

Fuente: Elaboración Propia, 2019.

Autor	Indicadores utilizados						
	Tiempo trabajable	Tiempo efectivo	Niveles de actividad	Interferencias	Progreso físico	Cumplimiento programa	Productividad
Castillo, Alarcón y González	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Cooperación de Desarrollo Tecnológico (CDT)	✓	✓	✓				
Dunstan, Lavin and Sanford	✓	✓	✓				✓
Klippel, Petter y Antunes	✓	✓	✓				✓

Los indicadores más empleados tienen que ver con la utilización del tiempo de trabajo y con las mediciones de la productividad.

2.3.3. Principales Problemas y Brechas encontradas

A partir de la revisión de distintas publicaciones, manuales y reportes, se pudieron identificar los principales problemas y brechas encontradas. Dentro de las 11 más recurrentes se encuentran:

1. Baja proporción de tiempo disponible para realizar el trabajo programado para el turno, comparado con el total de jornada. Los resultados mostrados en las publicaciones se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 2.11. Porcentaje de tiempo disponible para realizar los trabajos programados para el turno.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Publicación	Resultado
Buenas Prácticas en la Construcción Minera (2015)	49% de la jornada corresponde a tiempo disponible
Tesis G. Castillo (2013)	40% de la jornada corresponde a tiempo disponible
Klippel et al. (2007)	45% de la jornada corresponde a tiempo disponible

2. Existe una mala planificación de corto y mediano plazo. Este factor es una de las principales causas de la existencia de tiempos que no agregan valor. Además, los involucrados directamente al trabajo no participan en estos procesos de planificación. De acuerdo con el informe realizado por el Consejo Minero y la CChC los problemas de planificación son la principal causa de tiempo que no agrega valor, llegando a un 13%.
3. Poco trabajo colaborativo y en conjunto entre el mandante y su representante. Los programas son exigentes e impuestos.
4. Problemas de comunicación y traspaso de información, sobre todo en el cambio de turno.
5. Falta de definición de un sistema de medición de productividad, basado en indicadores de desempeño claves de proyectos que permitan la definición de métricas y factores de mejoramiento. Además, no existe un indicador de productividad transversal y algunos indicadores, como la cantidad de disparos, atenta contra otros indicadores de seguridad y calidad.
6. Desorden en el trabajo, lo que genera imprevistos que provocan ineficiencias.
7. Disponibilidad poco oportuna de insumos claves, lo que retrasa la producción.
8. Cargas de trabajo mal equilibradas.
9. Grandes pérdidas de tiempo en traslados necesarios hasta la frente de trabajo (entrada, colación, salida).
10. Falta de lineamientos e intereses comunes entre las partes, o sea, entre la empresa contratista y la división.
11. Existe una baja disponibilidad de equipos y el porcentaje de utilización es bastante bajo, se cuenta con una flota sobredimensionada producto de constantes fallas. También, los operadores no se sienten responsables por el equipo y no informan eventuales fallas evidentes a los próximos turnos.

Luego, a partir de estos principales puntos identificados, se puede observar que hay algunos problemas recurrentes y que son especificados por varios autores. Agrupando aquellos problemas que pertenezcan a la misma categoría, se pueden identificar ciertas áreas que presentan problemas y deben ser consideradas, como:

- **Uso del tiempo:** El tiempo de la jornada laboral se gasta en actividades que no están directamente relacionadas con el trabajo de desarrollo minero. Del total del tiempo disponible para trabajar, tan solo un 45% (promedio de la literatura) se gasta en trabajo en frente, sin considerar que dentro de ese tiempo también pueden ocurrir esperas, detenciones o ineficiencias. Es decir, solo un 45% de la jornada los trabajadores están efectivamente en la frente, y muchas veces, no es posible utilizar todo este tiempo debido a problemas operacionales. Además, la cantidad de tiempo gastada en traslados desde y hacia la postura son un problema recurrente en la bibliografía analizada.
- **Planificación:** todos los autores estudiados indican que la planificación es una de las principales causas de procesos poco productivos en este tipo de proyectos. La programación y la planificación deben ser llevados a cabo en un proceso colaborativo y en conjunto con las personas que están directamente relacionadas al trabajo. Además, se debe procurar un cambio de foco: identificar las causas raíces y no centrar la planificación en una búsqueda de responsables. Por otro lado, los planes deben ser realistas, en cuanto a plazo y a rendimientos, de tal forma de que sea posible cumplirlos. Además, la poca confiabilidad de los compromisos adquiridos repercute negativamente en la planificación, ya que se afecta la secuencia de trabajo. La planificación debe centrarse en asegurar la identificación y liberación de restricciones necesarias para el cumplimiento de los compromisos y de las actividades planificadas.
- **Logro de resultados y uso de indicadores:** gran parte de la literatura coincide con que el uso de indicadores es poco sistemático y suelen confundir la información obtenida de estos, debido a la gran cantidad de información que se recopila. Sin embargo, las lecturas coinciden en que, para poder hacer un mejoramiento, lo primero es definir un set de indicadores claves de desempeño del proyecto, de modo de contar con una herramienta sistemática y permanente que permite medir el rendimiento del proyecto. Además, se sugiere la conformación de una mesa de productividad mandante contratista en cada proyecto, que busque monitorear estos indicadores y hacer un seguimiento al proyecto. El objetivo de esta mesa de productividad es promover la colaboración y confianza, basado en objetivos

comunes y en la lógica de compartir los beneficios que se logren al desarrollar el mejoramiento.

- **Comunicación:** la comunicación es un problema recurrente en los proyectos de desarrollo minero, sobre todo durante el cambio de turno, lo que va en detrimento del flujo constante y continuo de trabajo. Tanto la CDT, como las publicaciones de Castillo et al. y Dunstan et al. coinciden al identificar la falta de comunicación como un problema grave con alto impacto negativo en un proyecto.
- **Uso, disponibilidad y coordinación de recursos:** el uso de equipos en la construcción subterránea es clave. Para llevar a cabo estas faenas, se utiliza una gama de equipos que llevan a cabo distintas labores. Sin embargo, las detenciones y los tiempos de mantención y reparación generan una gran cantidad de tiempos muertos. Esto, sumado a la falta de comunicación sobre el estado de los equipos al momento del cambio de turno y una política reactiva de reparación, afecta de mayor medida la productividad. Asimismo, se cuenta con una baja disponibilidad de equipos, un porcentaje de utilización bajo y una flota sobredimensionada producto de las constantes fallas. Por otro lado, la falta de coordinación y problemas de stock en las bodegas genera pausas en la producción.

A modo resumen se presenta la siguiente tabla de los principales problemas detectados:

Tabla 2.12. Resumen análisis bibliográfico de principales problemas detectados en las operaciones mineras en construcción.

Fuente: Elaboración Propia, 2019.

Autor	Principales Problemas					
	Uso de Tiempo	Planificación	Resultados e Indicadores	Sistema de gestión	Uso y disponibilidad de recurso	Comunicación
Castillo, Alarcón y González	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Cooperación de Desarrollo Tecnológico (CDT)	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Dunstan, Lavin and Sanford	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Klippel, Petter y Antunes	✓	✓		✓		✓

2.3.4. Oportunidades Detectadas

De las distintas experiencias, tanto nacionales como internacionales, se desprenden las siguientes oportunidades de mejoras encontradas:

1. Lograr una coordinación integrada de proyectos y consolidación de equipos de trabajo.
2. Mejorar la gestión de actividades previas al inicio del proyecto.
3. Mejorar la planificación logística y operacional.
4. Cambiar el marco regulatorio normativo y gestión del recurso humano, de modo de garantizar mayor productividad.
5. Mejorar la comunicación entre los actores, especialmente durante el cambio de turno.
6. Reducir pérdidas operacionales.
7. Mejorar el alineamiento entre las partes.
8. Conocer y utilizar la información de los procesos administrativos y operativos.
9. Dar respuesta sistemática a problemas.
10. Introducir cambios tecnológicos de bajo costo, pero que repercuten de gran medida en la tasa de avance.

Las principales oportunidades se pueden ver en la siguiente tabla:

Tabla 2.13. Resumen de las principales oportunidades detectadas en el análisis bibliográfico.
Fuente: Elaboración Propia, 2019.

Autor	Oportunidades detectadas					
	Mejorar planificación y coordinación	Mejorar la comunicación entre actores	Conocimiento y uso de información de procesos	Reducir las pérdidas operacionales/operativas	Lograr la consolidación de los equipos de trabajo	Mejorar el alineamiento entre las partes
Castillo, Alarcón y González	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Cooperación de Desarrollo Tecnológico (CDT)	✓	✓	✓	✓	✓	
Dunstan, Lavin and Sanford	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Klippel, Petter y Antunes	✓	✓	✓	✓	✓	

2.4. Conclusiones del Capítulo

A partir de la información recopilada y analizada en el capítulo N°2 es posible concluir que es necesario contar con el apoyo de sistemas inteligentes de control y gestión, como el Sistema de Monitoreo en Línea y los Centros Integrados, debido a las complejidades presentadas en estos tipos de proyectos de construcción subterránea, como la poca visualización de las operaciones, el trabajo de múltiples actores en un área común, además de las complejidades propias del PNNM - AN como el trabajo bajo altos esfuerzos, donde se encuentran removiendo grandes volúmenes de roca, trabajando en múltiples frentes y en distintos niveles. Todo lo anterior dificulta la obtención de información sobre lo que está ocurriendo en las operaciones mineras, donde la poca información que se obtiene no siempre es exacta o real, además de que llega tardíamente. En este contexto es que el SML podría ser un gran aporte, ya que es capaz de obtener una mayor cantidad de información, confiable y en tiempo real, utilizando diversas tecnologías que permiten capturar datos en terreno. Por otro lado, también es posible concluir que es de suma importancia determinar la información clave que debe capturar y entregar el SML, ya que de esto depende que este logre cumplir con los objetivos de su implementación para el Proyecto.

De acuerdo con el análisis bibliográfico realizado, es posible determinar que uno de los principales problemas en este tipo de proyectos de construcción minera subterránea tienen que ver con la ineficiente utilización del tiempo durante la jornada de trabajo lo que afecta directamente en la productividad, ya que no es posible utilizar todo el tiempo disponible de trabajo debido a problemas operacionales que generan pérdidas de tiempo y desperdicios de recursos, a causa de una mala planificación, a la comunicación, a la baja disponibilidad de equipos, al poco conocimiento y uso de información, a desorden en el trabajo, entre otras causas. Por lo que se concluye que es necesario realizar un diagnóstico del uso del tiempo de las operaciones mineras del Proyecto e indagar en las causas de las detenciones de las actividades programadas, ya que este análisis podría entregar los principales problemas que se generan en las operaciones mineras del PNNM-AN, los cuales no logran ser previstos y controlados oportunamente, y que podrían ser abordadas por el SML.

CAPÍTULO 3: DESARROLLO

En este capítulo se realiza un diagnóstico de uso del tiempo y se indaga en las causas de las detenciones de las actividades programadas para el turno que generan pérdidas de tiempo operacionales, a partir de este análisis se determinan los principales problemas que afectan las operaciones mineras del Proyecto y las causas que generan dichos problemas, luego se presenta una estrategia de cómo abordar dichos problemas, de manera que las soluciones de estos se encuentren alineados con los objetivos propuesto por el Sistema de Monitoreo en Línea para el Proyecto. Luego se detectan las oportunidades de mejoramiento que pueden ser abordadas por el SML y se determinan las operaciones, equipos, actores y/o elementos que deben ser monitoreados, de acuerdo con esto se define la información clave que debe capturar y entregar el SML. Finalmente se entregan los indicadores claves de desempeño y recomendaciones sobre los tableros de control que debe poseer el SML para su exitoso funcionamiento.

3.1. Diagnóstico Uso del Tiempo

Se realiza un diagnóstico de la utilización del tiempo en las operaciones mineras del PNNM-AN, cuantificando el tiempo promedio disponible para realizar el trabajo programado, el tiempo promedio efectivo en el que realmente se trabajó, el porcentaje de tiempo ocupado en trabajo productivo, en trabajo no productivo y en trabajo contributivo, y se identifican las causas de las detenciones operacionales que no permiten iniciar o continuar con las actividades programadas para el turno generando pérdidas de tiempo.

Para llevar a cabo este diagnóstico se analizan datos recopilados en terreno por personal especialista realizando un seguimiento a las cuadrillas mineras que realizan excavaciones horizontales durante el turno A, registrando todas las actividades realizadas durante el desarrollo del turno, con su respectiva clasificación, hora de inicio, hora de término, duración y observaciones. Los turnos en los cuales se recopilaron datos se encuentran conformados por una metodología de trabajo 7x7 con una duración de 12 horas total de jornada de trabajo, donde las actividades realizadas durante el desarrollo del turno se encuentran configuradas de la siguiente forma:



Figura 3.1. Distribución de las actividades de un turno promedio.

Fuente: GEPRO, 2018 (16).

De acuerdo con la *Figura 3.1* la jornada de trabajo considera las siguientes actividades a realizar durante el turno:

- **Traslados:** Al inicio del turno desde casa de cambio-barrio cívico y del barrio cívico-frente de trabajo, luego a la hora de colación traslados desde frente de trabajo-barrio cívico y viceversa desde el barrio cívico-frente de trabajo y al finalizar el turno desde la frente de trabajo-barrio cívico.
- **Coordinación:** Reunión jefes área y de turno, Capataces de cuadrillas, Geo mecánicos, Planificación, Calidad, Servicios. Temas reflexión seguridad, instrucciones y coordinaciones del turno.
- **Charla de seguridad:** Contempla elaboración de ART (Análisis de Riesgo del Trabajo), instrucciones, preparación de materiales e inspección de la frente.
- **Colación:** Al interior de la mina en el barrio cívico. Desde la bajada del minibús hasta la espera de otro minibús para ingresar a la frente.
- **Esperas:** Incluye principalmente esperas por minibús,
- **Tiempo Disponible de Trabajo:** Corresponde al tiempo que queda disponible para realizar los trabajos programados para el turno en la frente.

En la siguiente tabla es posible apreciar el desglose de la jornada de trabajo con sus respectivos tiempos propuestos como metas, (Ver Anexo D):

Tabla 3.1. Desglose del tiempo utilizado en la jornada de trabajo con sus respectivas metas.
 Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tiempo Total Jornada de Trabajo		
12:00 hrs		
Tiempo Otras Actividades 3:25 hrs	Tiempo Disponible de Trabajo (TDT) 8:35 hrs	
	Tiempo Detenciones (TD) 1:00 hrs	Tiempo Efectivo (TE) 7:35 hrs

De acuerdo con las metas propuestas por la empresa contratista para el contrato CC-081 del total de 12 horas de la jornada de trabajo, se consideran que se utilicen 3 horas con 25 minutos en otras actividades tales como coordinación, traslados, charlas, colación y esperas, contemplando así solo 8 horas con 35 minutos para realizar los trabajos programados para el turno en la frente, donde además se estima 1 hora de perdías de tiempo debido a problemas operacionales, por lo que solo 7 horas con 35 minutos se consideran para realizar trabajo efectivo aportando en los desarrollos.

3.1.1. Tiempo Disponible de Trabajo

De acuerdo con los datos analizados de agosto a noviembre de 2018 los cuales consideran el tiempo de duración de cada actividad dentro de la jornada de trabajo, se obtuvieron los siguientes resultados:

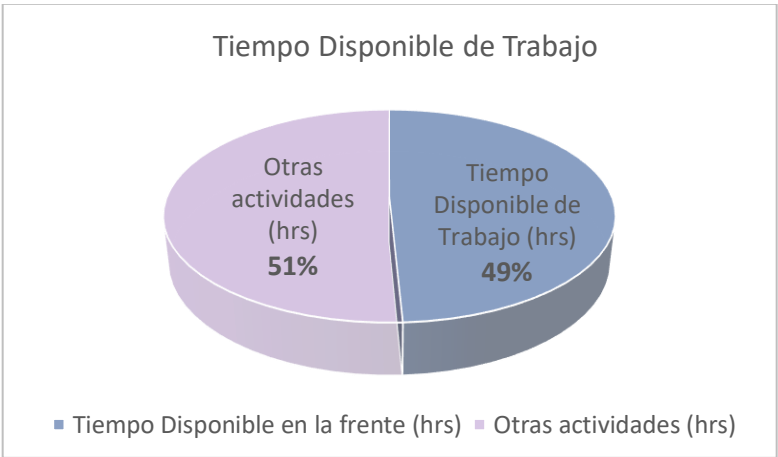


Figura 3.2. Porcentaje de tiempo disponible respecto al total de la jornada de trabajo.
 Fuente: Elaboración propio, 2019.

Los resultados de las mediciones reflejan que, de una total de 12 horas que conforman la jornada de trabajo, en promedio un 51% de ese tiempo se utiliza realizando otras actividades como en traslados, coordinación, charlas de seguridad, colación y en esperas, mientras que en promedio solo un 49% corresponde a tiempo disponible para realizar los trabajos programados para el turno, por lo tanto, en promedio solo quedan disponibles 5 horas con 53 minutos de un total de 12 horas, para realizar todo el trabajo programado para el turno. Esta baja porción de tiempo disponible de trabajo concuerda con uno de los principales problemas encontrados en el análisis bibliográfico, donde en promedio se tiene un 45% aproximadamente de tiempo disponible en Proyectos de construcción subterránea (Ver

Tabla 2.11). Por otro lado, también es posible notar que el tiempo disponible obtenido en este diagnóstico del uso del tiempo se encuentra por debajo de la meta propuesta la cual corresponde a 8 horas con 35 minutos. Por lo tanto, en base a los resultados obtenidos, comparados con las metas propuestas y con lo encontrado en el análisis bibliográfico, es que es posible concluir que se cuenta con una baja porción de tiempo para realizar las actividades programadas en el turno.

3.1.2. Tiempo Efectivo de Trabajo

El tiempo efectivo de trabajo corresponde al tiempo durante el cual se realiza trabajo que aporta al desarrollo del Proyecto sin considerar los tiempos perdidos por detenciones de las actividades programadas. Por lo tanto, no todo el tiempo disponible de trabajo es utilizado en trabajo que aportan en los desarrollos, ya que siempre ocurren problemas operacionales que no permiten continuar o iniciar con las actividades programadas, generando pérdidas de tiempo. De acuerdo con el análisis realizado se obtuvieron los siguientes resultados:

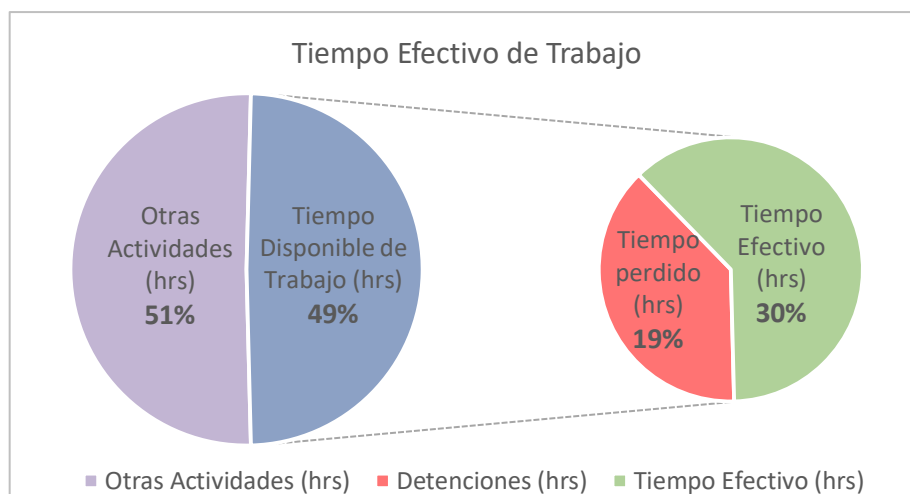


Figura 3.3. Tiempo efectivo de trabajo.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Del 49% del tiempo promedio disponible de trabajo, un 19% en promedio corresponde a tiempo de detenciones, mientras que en promedio solo un 30% del tiempo disponible para realizar el trabajo programado es utilizado en trabajo efectivo que aporta en los desarrollos.

En la siguiente figura se observan los tiempos promedios obtenidos en el diagnóstico de uso del tiempo, donde se muestra el tiempo disponible de trabajo (TDT), el tiempo de detenciones (TD) y el tiempo perdido (TP), para cada uno de los meses y el promedio entre los cuatro meses, respecto a los tiempos propuestos como metas.

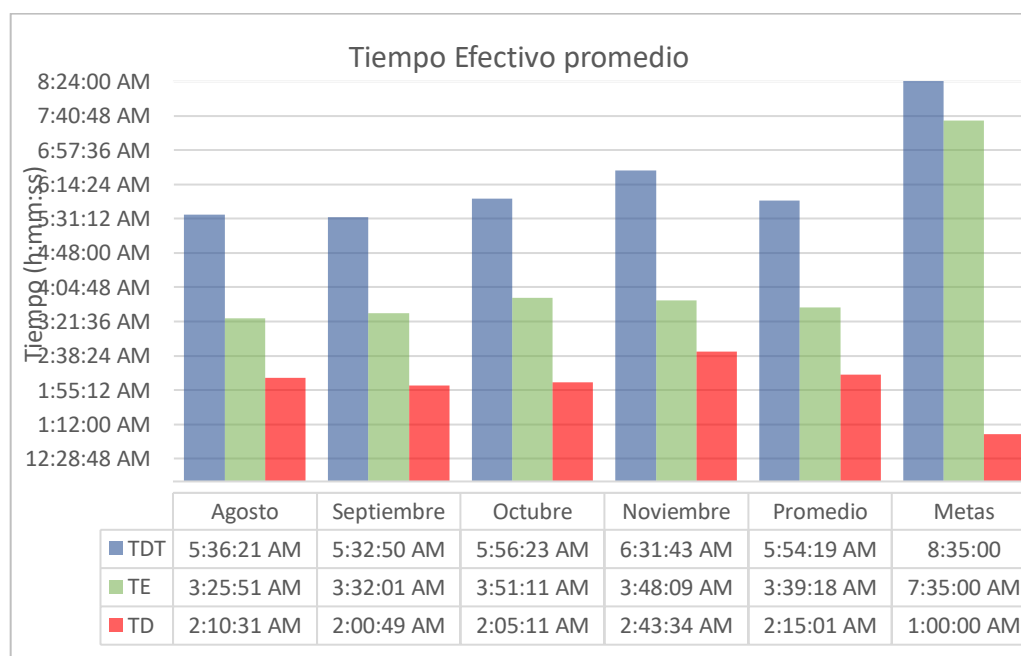


Figura 3.4. Tiempo promedio efectivo de trabajo de cuatro meses respecto a las metas propuestas.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Los resultados obtenidos reflejan que el tiempo promedio utilizado en trabajo efectivo (TE) en las operaciones mineras relacionadas con los desarrollos horizontales, se encuentra en un 44% por debajo de las metas propuestas, donde en promedio solo durante 3 hora con 39 minutos se realizan trabajos que aportan efectivamente a los desarrollos de un total de 12 horas de la jornada de trabajo y en promedio se pierden 2 hora con 15 minutos por detenciones (TD) de las actividades programadas para el turno.

3.1.3. Muestreo de Trabajo

La técnica del muestreo del trabajo es un método de medición del nivel de actividad de un proyecto u operación, el objetivo general es la determinación estadística de la forma en que el tiempo de trabajo está siendo utilizado por el personal y los equipos. A partir de este es posible determinar el porcentaje de tiempo que la mano de obra y equipos ocupan en ciertas categorías predeterminadas de actividades. Como se mencionó anteriormente los datos utilizados para este diagnóstico del uso del tiempo fueron capturados por personal especialista realizando un seguimiento en terreno a las cuadrillas mineras, registrando todas las actividades realizadas durante la jornada, donde cada una de las actividades se clasificaron en las siguientes categorías:

- **Trabajo Productivo (TP):** Es aquel trabajo que aporta en forma directa en la construcción o producción del proyecto, las actividades propias del ciclo de avance, como por ejemplo la acuñadura, perforación de avance, carga de explosivos en la frente, etc.
- **Trabajo Contributivo (TC):** Corresponde al trabajo que debe realizarse para que pueda ser ejecutado el trabajo productivo, como por ejemplo posicionamiento de equipos en la frente de trabajo, el drenaje, marcar la frente para realizar las perforaciones, fraguado del cemento proyectado, etc.
- **Trabajo No Contributivo (TNC):** Es aquel trabajo en que el tiempo invertido por el trabajador, operador o cuadrilla, que no aporta en lo absoluto al trabajo productivo por ejemplo las detenciones no programadas, descansos, conversación, interferencias.

Para más detalle de la clasificación de las distintas actividades realizadas durante la jornada de trabajo, de acuerdo con a las categorías del muestreo de trabajo definidas se recomienda ver el Anexo E.

De acuerdo con los datos analizados se obtuvieron los siguientes resultados para el muestreo de trabajo:

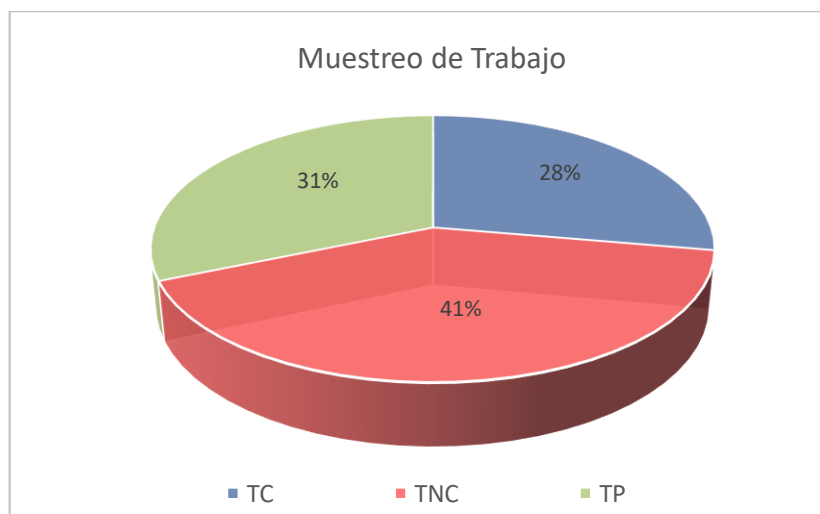


Figura 3.5. Resultado del Muestreo de Trabajo.
Fuente: Elaboración propia, 2019.

Los resultados reflejan que, del total de las actividades registradas durante el periodo de agosto a noviembre de 2018, solo 31% de estas actividades aportan directamente en los desarrollos realizando un trabajo productivo (TP) y un 28% de las actividades realizadas contribuyen a las actividades del ciclo de avance realizando trabajo contributivo (TC), mientras que las actividades que no aportan en el trabajo productivo alcanzan un 41% (TNC). Cabe mencionar que no es posible realizar una comparación directa entre los resultados de este estudio y los muestreos de trabajo (niveles de actividad) registrados en la literatura, debido a que existe una gran variabilidad en la clasificación de ciertas

actividades en las categorías de trabajo productivo, contributivo y no contributivo dentro de la literatura. Pero es posible apreciar que más de un tercio de las actividades realizadas no aportan en lo absoluto a obtener metros de avances en las excavaciones horizontales, por lo que es importante indagar en las causas que producen que se realicen estas actividades que no aportan.

3.1.4. Causas Tiempo de Detenciones

El tiempo de detenciones corresponde al tiempo perdido al no poder iniciar o continuar con las actividades programadas para el turno, debido a problemas operacionales. Este tiempo pudiese ser utilizado en trabajo productivo o contributivo dependiendo de las actividades impactadas, por lo que es importante indagar en las causas de las detenciones operacionales que generan pérdidas de tiempo durante la jornada de trabajo. El objetivo de esta herramienta es identificar las fuentes más frecuentes de interrupciones o detención de las actividades, y la incidencia de cada una de ellas en términos de recursos desperdiciados.

Para realizar este análisis se utilizaron los datos capturados por el personal especialista en terreno, donde se registraron todas las actividades realizadas durante la jornada de trabajo y además las detenciones de las actividades, registrando los tiempos de duración y clasificándolas en las siguientes causas de detenciones:

- **Abastecimiento Nivel:** La cuadrilla minera debe ir en búsqueda de materiales, por lo que no se puede continuar o iniciar con las actividades programadas para el turno, ya que se debe esperar la llegada de materiales, como mallas, pernos, planchuelas, cemento, Split set, explosivos, etc.
- **Cliente:** Detenciones de las actividades que se encontraban realizando a causas de visitas de personal de la VP en terreno.
- **Coordinación:** Ineficiente coordinación de las distintas actividades y asignación de recursos durante el desarrollo del turno (coordinación entre jefe de turno, jefe de terreno, jefe de nivel y con las cuadrillas mineras), provocando detenciones de las actividades programadas.

- **Coordinación de Equipos:** Mala coordinación de los equipos necesarios para realizar las actividades programadas durante el desarrollo del turno, generando detenciones de las actividades programadas por falta de equipo.
- **Disponibilidad de Equipos:** Sin equipo para realizar trabajo programado para el turno. El equipo no se encuentra disponible, se encuentra fuera de servicio, en el taller mecánico o en tránsito.
- **Electricidad:** Se deben principalmente a detenciones de los trabajos programados por falta de energía, esperas por reparaciones e instalaciones eléctricas, falta de eléctrico, entre otras.
- **Falla de Equipo:** Detenciones en las actividades programadas por falla del equipo, por diferentes motivos.
- **Comunicación:** Mala comunicación durante el desarrollo del turno necesaria para realizar las distintas coordinaciones, o durante el cambio de turno donde es necesario conocer las condiciones de la frente de trabajo y de los equipos para realizar la planificación, provocando detenciones de las actividades programadas.
- **Herramientas:** No se puede continuar o iniciar con las actividades programadas para el turno, ya que se debe esperar la llegada de herramientas, como falta de taladro, tensadora, llave de impacto, entre otras.
- **Mano de Obra (MO):** No se puede iniciar con las actividades programadas para el turno por falta de mano de obra, ya sea de mineros, operador de equipo, u otro personal indispensable.
- **Operación Equipo:** No se puede continuar con la actividad que el equipo estaba realizando, ya que este se detiene por motivos operacionales como falta de combustible, lechadora tapada, neumáticos pinchados, etc.
- **Planificación:** Mala planificación, debido a la poca información con la que se cuenta para realizar la programación de las distintas actividades y asignación de recursos para el turno entrante, provocando detenciones de las actividades programadas.
- **Retrabajo:** Las actividades programadas para el turno deben esperar hasta realizar un retrabajo, ya que el trabajo realizado no cumple con las condiciones esperadas.

- **Servicios:** Falta de servicios como agua, ventilación, drenaje, electricidad, para realizar trabajos en la frente.
- **Sismicidad:** Evacuaciones preventivas debido a eventos sísmicos, por lo que se deben detener las actividades realizadas en la frente.
- **Seguridad y Salud Ocupacional y Medio Ambiente (SSOMA):** Detenciones de trabajos debido a intervenciones de prevencioncitas de riesgos.
- **Sub Contrato:** Detenciones de actividades debido a inspecciones en terreno de empresas subcontratistas.

Para realizar este análisis se utilizó una metodología donde se considera la frecuencia de ocurrencia y la cantidad de tiempo perdido por cada una de las causas de detenciones (Ver Anexo F), obteniendo los siguientes resultados:

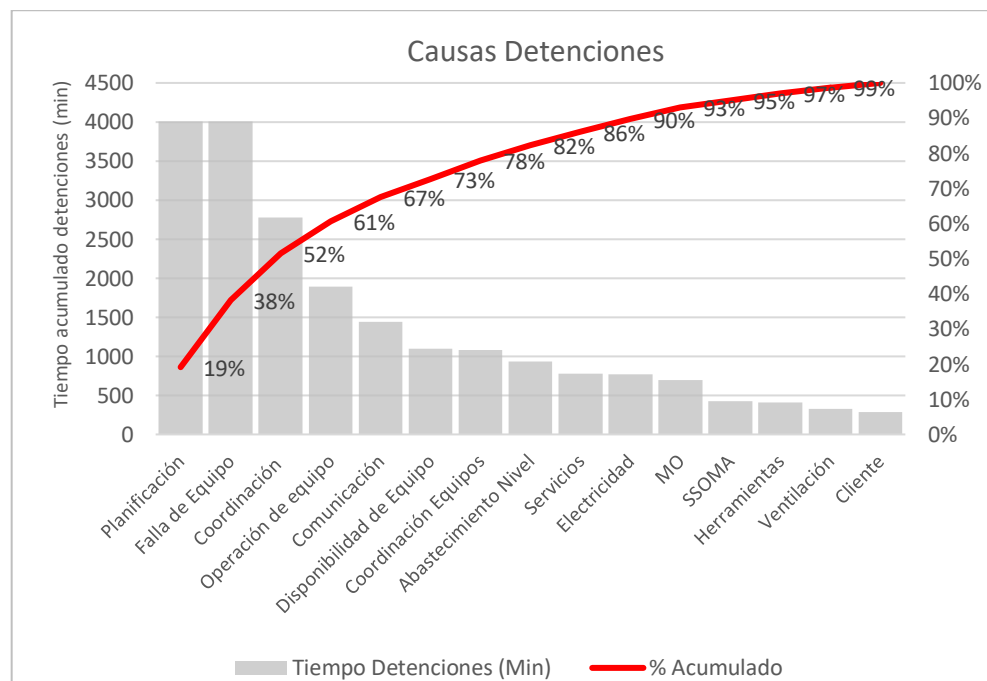


Figura 3.6. Diagrama de Pareto, causas tiempo de detenciones.

Fuente: Elaboración propio, 2019.

Los resultados reflejan que el tiempo perdido durante la jornada de trabajo se debe mayormente a causa de la planificación, coordinación y comunicación, de las distintas actividades y recursos. Por otra parte, esta pérdida de tiempo también se ve afectada por la falta de equipos para realizar las actividades programadas a causa de la falla del equipo,

detención del equipo durante la operación o por la disponibilidad y coordinación de los equipos. Lo anterior concuerda con algunos de los principales problemas encontrados en el análisis bibliográfico (Ver *Tabla 2.12*). Las causas de detenciones operacionales que mayor impacto tuvieron sobre la pérdida de tiempo se reagruparon de los siguientes dos grupos:

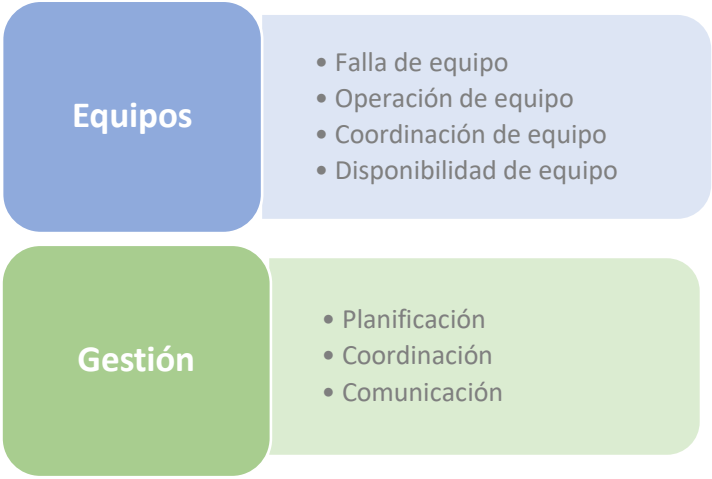


Figura 3.7. Reagrupación de causas de las detenciones de actividades.
Fuente: Elaboración propia, 2019.

Luego de esta reagrupación se obtienen los siguientes resultados, de acuerdo con el tiempo perdido acumulado durante el periodo de agosto a noviembre de 2018:

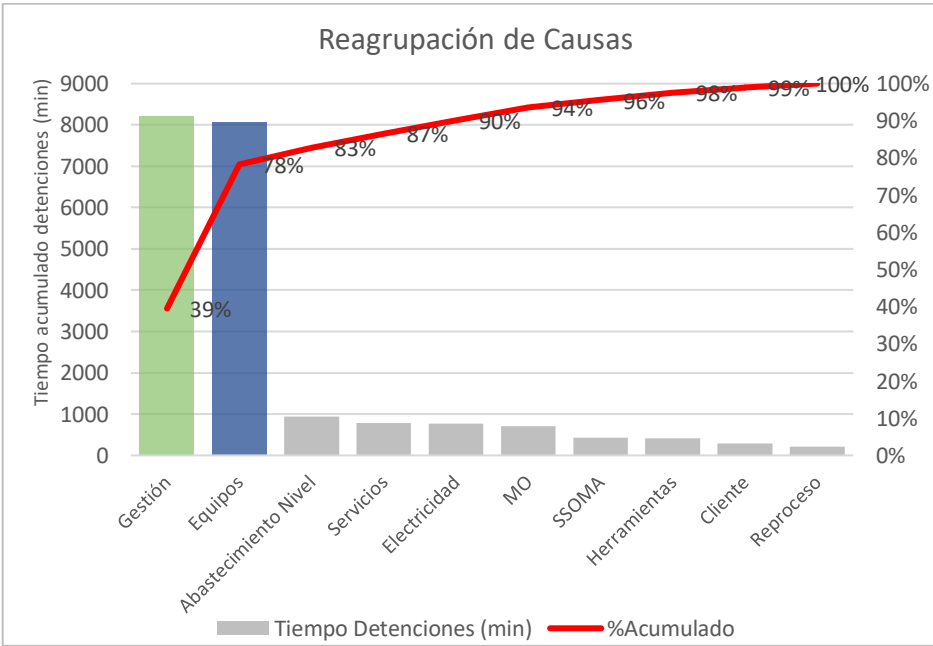


Figura 3.8. Diagrama de Pareto, reagrupación de las causas de las detenciones de las actividades.
Fuente: Elaboración propia, 2019.

Estos resultados muestran que, las falencias en la gestión de actividades y recursos, y la falta de equipos representan las causas de las detenciones de las actividades que mayor impacto tuvieron sobre las pérdidas de tiempo, con un 78% del tiempo total perdido registrado durante el periodo de agosto a noviembre de 2018.

➤ **Gestión de Actividades y Recursos**

Las detenciones de las actividades a causa de la planificación, coordinación y comunicación fueron clasificadas en subcategorías de con acuerdo las observaciones registradas. Luego del análisis se obtuvieron las siguientes causas que más impactaron en el tiempo perdido por falencias en la gestión de actividades y recursos:

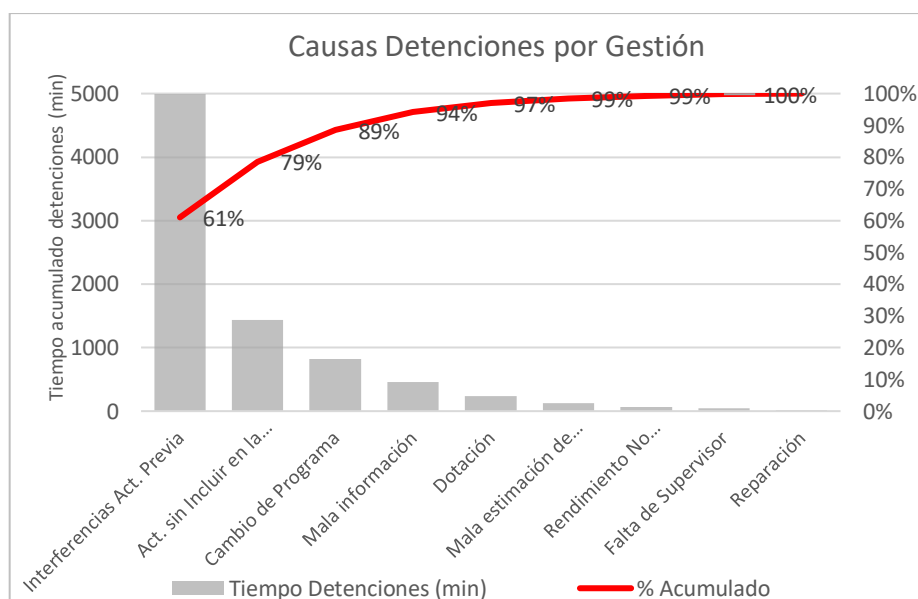


Figura 3.9. Diagrama de Pareto, causa de detenciones por la gestión de actividades y recursos.
Fuente: Elaboración propia, 2019.

De acuerdo con los resultados obtenidos, es posible concluir que las detenciones de las actividades programadas para el turno a causa de falencias en la planificación, comunicación y coordinación se deben principalmente a:

- **Interferencias de actividades previas:** Las Detenciones de las actividades programadas a causa de las interferencias se deben a que las cuadrillas mineras o equipos no pueden entrar a la frente a realizar el trabajo programado, ya que deben esperar el término de la actividad previa que se encuentra realizándose en la frente. Estas pueden ser provocadas por una mala planificación al sobrestimar el tiempo necesario para realizar una actividad, provocado un retraso en la programación y generando interferencias entre la secuencia de actividades programadas. De igual

forma la coordinación durante el desarrollo del turno generan interferencias, ya que al presentarse algún problema operacional durante el desarrollo de una actividad se deben ir reprogramando las otras actividades posteriores realizando cambios de programa, con el objetivo de no tener recursos paralizados a la espera de la frente, lo cual no siempre es posible debido a la poca y tardía información con la que se cuenta. Cualquier detención de las actividades del ciclo de avance van generando un retraso en el programa del día y a su vez interferencias entre las cuadrillas.

- **Actividad sin incluir en la programación:** No se considera una actividad necesaria a realizar para continuar con el ciclo de avance, por lo que la actividad programada para el turno se detiene a la espera de realizar la actividad sin incluir en la programación, los equipos y cuadrilla deben esperar la liberación de la frente. Las actividades sin incluir en la programación pueden ser producto de la comunicación durante el cambio de turno al no informar sobre una actividad necesaria a realizar en el próximo turno, como el retiro de materiales de la frente para poder iniciar con las actividades programas o al entregar información errónea sobre la actividad que se debe realizar para el siguiente turno. También pueden producirse durante el desarrollo del turno donde puede surgir contingencias como, drenaje en la frente por exceso de agua, retiro de cables de la frente o se pide de la ayuda de las cuadrillas o equipos para realizar otra actividad, por lo que es necesario coordinar lo más pronto posible la realización de esta nueva actividad para poder continuar con la programación del turno.
- **Cambio de Programa:** Las actividades programadas se detienen a la espera de un cambio del programa, que se realiza mediante coordinaciones. El programa generado al inicio del turno siempre puede ser modificado durante el desarrollo del turno, ya que siempre surgen contingencias no previstas donde se debe reprogramar las actividades para poder abordar las actividades sin incluir en el programa, el programa también puede ser modificado debido a la poca disponibilidad de equipos, cuadrillas y/o servicios que se presentan durante el turno, por lo que se reprograma y se priorizando ciertas frentes de trabajo, o se reprograma el trabajo de los equipos o cuadrillas que se encuentran a la espera de la liberación de la frente para no tenerlos paralizados.
- **Mala Información:** Se entrega una mala información durante el cambio de turno sobre el estado y ubicación de equipos, condiciones de la frente de trabajo o sobre el punto de trabajo donde deben ir las cuadrillas o equipos a realizar las actividades programadas. Las actividades programadas para el turno pueden ser detenidas a la espera que se encuentre el equipo, ya que se entregó una mala información sobre

la ubicación de este, también pueden ser detenidas a la espera que llegue la cuadrilla o equipo, ya que se les entregó una mala información sobre el punto de trabajo al que debían dirigirse. Esta mala información se produce principalmente por la mala comunicación o flujo de información que existe en las operaciones mineras.

➤ **Uso y Disponibilidad de Equipos**

Las detenciones de las actividades programadas también se ven afectadas por el uso y disponibilidad de los equipos, ya que todas las actividades del ciclo de avance es necesario utilizar distintos equipos. La falta de equipos para realizar las actividades programadas se debe causa de:

- **Falla de Equipos:** El equipo utilizado presenta alguna falla, por lo que no puede continuar con la actividad que se encontraba realizando. Dependiendo la gravedad de la falla presentada el equipo es llevado al taller mecánico o reparado en la misma frente de trabajo. De acuerdo con la frecuencia de ocurrencia y con el tiempo promedio de detención, las detenciones por falla del equipo se deben a las siguientes causas:

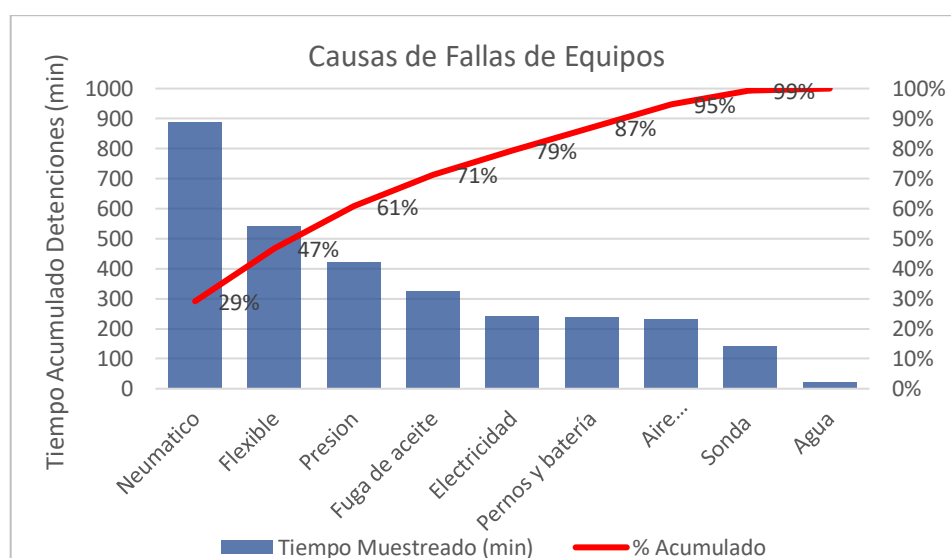


Figura 3.10. Diagrama de Pareto, causas fallas de equipos.
Fuente: Elaboración propia, 2019.

De acuerdo con el gráfico de la *Figura 3.10*, las causas que mayor impacto tuvieron en el tiempo de las detenciones por la falla de equipo destacan las siguientes:

- **Neumático:** Equipo pincha neumático, por lo que se debe esperar el cambio de neumático para continuar con la actividad que se encontraba realizando.

- Flexible: Equipo rompe una pieza importante, por lo que se debe esperar el cambio de la pieza para continuar con la actividad.
 - Presión: Se debe principalmente por la falta de presión de aire comprimido para proyectar shotcrete, en la lechadora o en el roboshot.
 - Fuga de aceite: Equipo presenta fuga de aceite hidráulico.
 - Electricidad: El equipo presenta problemas eléctricos, por lo que debe esperar la llegada de un eléctrico o llevarlo al taller mecánico.
- **Operación de Equipo**: El equipo no puede continuar realizando las actividades, ya que surgen problemas operacionales en el equipo. De acuerdo con la frecuencia de ocurrencia y con el tiempo promedio de detención, las detenciones por operación del equipo se deben a las siguientes causas:

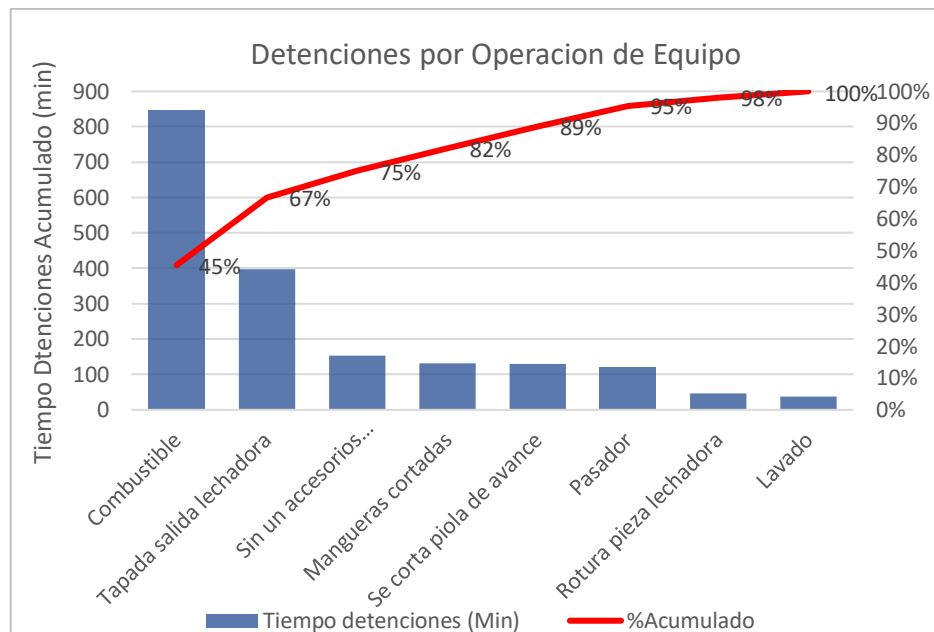


Figura 3.11. Diagrama de Pareto, detención de equipos por causas operacionales.
Fuente: Elaboración propia, 2019.

De acuerdo con el gráfico de la *Figura 3.11*, las causas que mayor impacto tuvieron en el tiempo de las detenciones por la operación del equipo destacan las siguientes:

- Combustible: Equipo mientras se encontraba operando queda sin combustible, debe ir a cagar combustible.
- Tapada Lechadora: Manguera de la lechadora se encuentra obstruida por lo que no puede proyectar el cemento.

- Sin accesorios: Equipo se encuentra sin pieza importante para iniciar la actividad programada, por lo que se debe ir a buscar la pieza e instalarla.
- Mangueras cortadas: Se cortan mangueras grúa o jumbo, por lo que se deben cambiar por otras.
- **Disponibilidad de Equipos**: No hay disponibilidad del equipo necesario para realizar la actividad programada, ya que el equipo se puede encontrar fuera de servicio, en tránsito u operando en otra frente de trabajo. La actividad programada se encuentra detenida a la espera de la liberación de un equipo o debe esperar hasta el próximo turno.
- **Coordinación de Equipos**: Sin equipo para realizar actividad programada para el turno, por lo que se debe coordinar lo más rápido posible algún equipo disponible para tener el menor tiempo detenida la frente de trabajo, el tiempo utilizado en coordinación se considera desde que se coordina un nuevo equipo hasta la llegada de este a la frente. Esta coordinación se ve dificultada por la falta de información sobre el estado y ubicación de todos los equipos con los que se cuenta en todo momento durante el desarrollo del turno.

De acuerdo con la frecuencia de ocurrencia y el tiempo promedio por cada detención, los equipos que mayor impacto generaron en las detenciones de las actividades programadas por causa de la falla, disponibilidad, operación y coordinación de equipos corresponden a los siguientes:

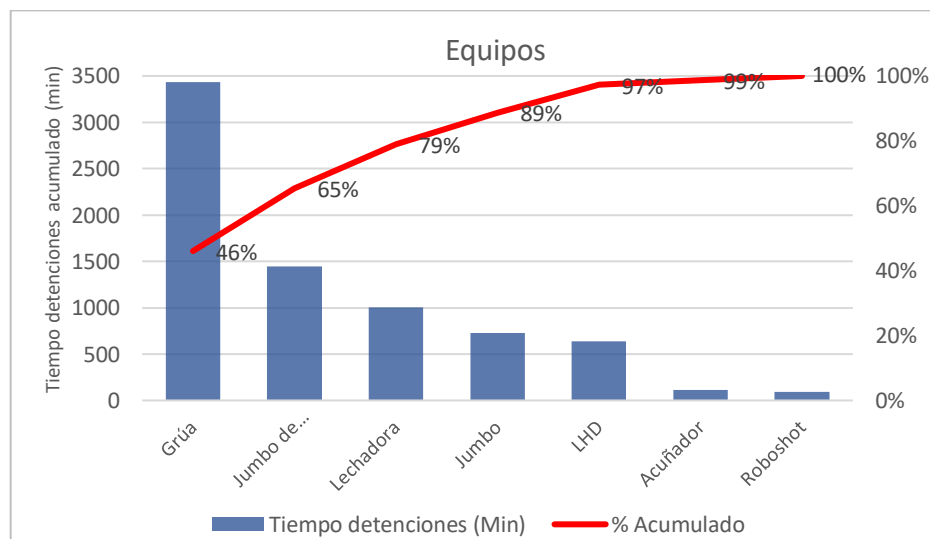


Figura 3.12. Diagrama de Pareto, equipos que impactan en las detenciones de actividades.
Fuente: Elaboración propia, 2019.

Es posible apreciar que todos los equipos utilizados en el ciclo de avance se ven involucrados en las detenciones de actividades, donde los que presentan mayor impacto en las detenciones de actividades es la grúa, el jumbo de fortificación y la lechadora.

Todo lo anterior concuerda con lo encontrado en el análisis bibliográfico, sobre la baja disponibilidad de equipos con los que se cuenta y con una flota sobredimensionada producto de las constantes fallas. Por otro lado, la falta de coordinación y problemas de stock en las bodegas genera pausas en la producción.

3.2. Problemas y Causas

De acuerdo con el diagnóstico del uso del tiempo realizado anteriormente, para las operaciones mineras relacionadas con las excavaciones horizontales ejecutadas por cuadrillas mineras en el Proyecto Nuevo Nivel Mina Andes Norte, primero que todo es posible notar que el tiempo disponible que se tiene para hacer todas las actividades programadas para el turno es acotado, ya que antes de llegar al punto de trabajo, se deben realizar otras actividades, como coordinaciones de inicio de turno, charlas de seguridad, traslados, colación, esperas del minibús, entre otras. Una vez que la cuadrilla minera se encuentra en la frente de trabajo, no todo el tiempo que tiene disponible para ejecutar las actividades programadas para el turno lo utiliza efectivamente, ya que siempre surgen problemas operacionales que no le permite iniciar o continuar con las actividades programadas, lo que genera pérdidas de tiempo al tener que esperar solucionar dichos problemas para poder realizar el trabajo programado. Estas detenciones van ocasionando un retraso en el programa del turno, lo que a su vez va generando interferencias entre actividades, originado desperdicios de recursos al tener paralizadas las cuadrillas o equipos a la espera de la liberación de la frente de trabajo, y también van provocando que las frentes queden sin actividad a la espera de la llegada del equipo o cuadrilla que se encuentran terminando trabajos en otra frente, debido a los retrasos producidos.

A partir de lo anterior es posible determinar que uno de los principales problemas que se generan en las operaciones mineras del Proyecto y que afectan en el desarrollo de los trabajos programados para el turno, tiene que ver con las detenciones de las actividades programadas, ya que estas causan pérdidas de tiempo, impactando en la productividad diaria de los desarrollos obtenidos, y también provocan desperdicios de recursos al tenerlos paralizados hasta la liberación de la frente de trabajo.

Ahora para determinar y ordenar las causas generadoras del problema anteriormente identificado, se utiliza la metodología de los “5 por qué”, donde de acuerdo con la información analizada en el diagnóstico del uso del tiempo y en base a los resultados

obtenidos donde se identificaron las causas potenciales y se seleccionaron las más críticas, se realiza los “5 por qué” a las causas que más inciden en la desviación.

En la siguiente figura se determinaron las causas generadoras de las detenciones de las actividades, de acuerdo con la metodología propuesta:

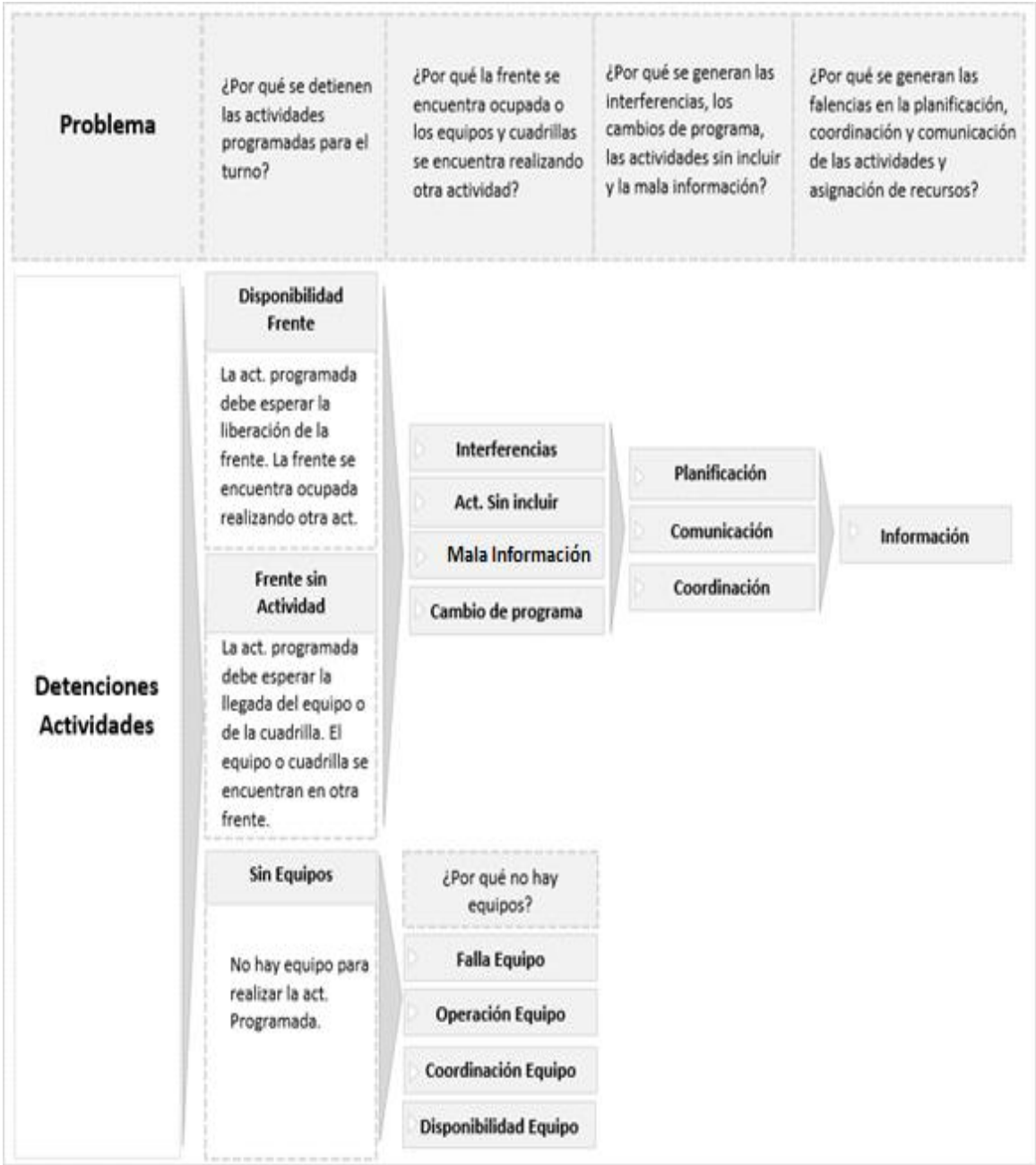


Figura 3.13. Problema y causas generadoras en las operaciones mineras del PNNM – AN.
Fuente: Elaboración propia, 2019.

De acuerdo con lo presentado en el diagrama de la *Figura 3.13*, las actividades programadas para el turno en ocasiones se detienen postergando su inicio, debido a que la frente de trabajo se encuentra ocupada por otra cuadrilla o equipo, los cuales aún no han terminado la actividad programada para esa frente, como también pueden detenerse a la espera de la llegada de la cuadrilla o del equipo necesario, los cuales se hallan terminando un trabajo en otra frente. Ahora la frente de trabajo puede encontrarse ocupada o sin actividad, debido a diversos problemas que fueron generando retrasos en la programación, como las interferencias entre la actividad programada y la actividad previa, o a causa de la mala información entregada sobre las condiciones de la frente de trabajo, sobre el estado y ubicación de los equipos o sobre los puntos de trabajo que deben dirigirse las cuadrillas, o debido a las actividades sin incluir en la programación y necesaria a realizar para continuar con el ciclo de avance o a causa de los cambios de programas generados durante el desarrollo del turno.

Las interferencias, los cambios de programa, la mala información y las actividades sin incluir, se producen principalmente por errores cometidos en la planificación realizada antes del inicio del turno, o debido a las tardías coordinaciones de actividades realizadas durante el desarrollo del turno, o a causa de una mala comunicación dentro de las operaciones. Finalmente es posible determinar que las falencias en la planificación sobre las programación de las actividades a realizar para el turno y la asignación de recursos, son producto de la falta de información, ya que no se cuenta con toda la información necesaria sobre las condiciones de las frentes o sobre la disponibilidad y ubicación de los equipos, por otro lado, la coordinación de las actividades y recursos, se ve afectada por la poca y tardía información con la que se cuenta durante el desarrollo del turno sobre los distintos acontecimiento y problemas operacionales que surgen, lo que no permite actuar oportunamente sobre las desviaciones presentadas, y los problemas provocados por una mala comunicación son producto de que la información que se entrega es poco confiable y existe poco flujo de la información durante el cambio de turno. Por lo tanto, todo lo anterior se traduce a que gran parte de las detenciones de las actividades se deben principalmente por:

- Poca información
- Tardía información
- Confiabilidad de la información
- Flujo de información

- Accesibilidad de la información

Por lo tanto, es posible concluir que las detenciones de las actividades programadas para el turno se deben principalmente a problemas generados por la poca, tardía y a veces equivocada información que se logra obtener sobre las operaciones mineras del Proyecto, así como también debido al poco flujo de información que existe durante el desarrollo y cambio del turno, donde además se tiene poca accesibilidad a la información.

Por otro lado, las detenciones de las actividades también se ven afectadas por la falta de equipos para realizar los trabajos programados, ya que se cuenta con recursos limitados para ejecutar las distintas actividades y además los equipos que se encuentran disponibles para el turno presentan constantes fallas o detenciones operacionales que no le permiten continuar, por lo que la actividad debe esperar hasta que se solucionen los problemas presentados en el equipo, esperar por nuevas coordinaciones de equipo o hasta el siguiente turno cuando se cuente con la disponibilidad de algún equipo.

3.3. Estrategia de Solución

Para que las soluciones de los problemas anteriormente identificados se encuentren alineados con los objetivos que busca la implementación del Sistema de Monitoreo en Línea para las operaciones mineras en construcción del Proyecto Nuevo Nivel Mina Andes Norte, es necesario crear una estrategia de solución. Para esto primero se recuerda que la implementación del SML en el Proyecto tiene como objetivos aumentar la productividad, optimizar recursos y aumentar los niveles de seguridad, a partir del control y la gestión operacional.

Primero para aumentar la productividad es necesario trabajar en base al modelo de gestión de productividad utilizado por el Proyecto, enfocado en la gestión diaria de cada turno a nivel operacional (*Ver Figura 2.11*), eliminando desperdicios durante el desarrollo del turno, lo que también ayudaría a conseguir el “Full Potential”.

Como una de las mediciones de productividad que posee el Proyecto tiene que ver con los metros lineales obtenidos por semana o por mes, para aumentar la productividad es necesario obtener más metros de avance en cada uno de los turnos o poder avanzar lo máximo posible en el ciclo de avance en cada turno. Al contar con un mayor tiempo para realizar el trabajo programado para el turno, permite trabajar durante más tiempo logrando mayores metros de avance. A partir del diagnóstico del uso del tiempo es posible notar que tanto las actividades realizadas antes de llegar al punto de trabajo como las detenciones de las actividades, afectan al tiempo que queda disponible para realizar los trabajos

programados. Ahora bien, disminuir el tiempo utilizado en otras actividades tales como traslados, colación, coordinaciones, entre otras, no es posible, ya que son actividades necesarias por realizar para comenzar con los trabajos y no es posible mejorar sus tiempos a través del SML, por lo tanto, otra alternativa para mejorar el tiempo efectivo de trabajo es disminuir el tiempo utilizado en detenciones para poder utilizar ese tiempo en trabajos que aporten en el ciclo de avance, mejorando la productividad y ayudando a cumplir con los programas semanales y mensuales de metros de avance. Por otra parte, de acuerdo con los antecedentes presentados, para lograr una alta productividad se debe aprovechar de mejor manera los recursos disponibles, logrando mayores metros de avance reflejado en el cumplimiento de programas y plazos (*Ver Figura 2.10*).

Ahora bien, como el principal problema que se genera en las operaciones mineras de Proyecto tiene que ver con las detenciones de las actividades, ya que afectan el desarrollo de los trabajos programados para el turno, generando pérdidas de tiempo, afectando a la productividad diaria de los desarrollos obtenidos y también generan desperdicios de recursos al tenerlos paralizados a la espera de la liberación de la frente. Para conseguir algunos de los objetivos propuestos por el SML solucionando los problemas anteriormente identificados, se proponen disminuir la cantidad de detenciones registradas en cada uno de los turnos o bien disminuir el tiempo perdido cada vez que se presente alguna detención, y para esto es necesario trabajar en cada una de las causas generadoras de estas detenciones y definir la información que se requiere para mejorarlas. Si bien, el SML por si solo permite mejorar los problemas causados por la poca, equivocada y tardía información, al capturar datos en terrenos y entregar esta información en tiempo real, donde además el trabajo en conjunto con el CIC le permite asegurar un mejor flujo y accesibilidad a la información, es fundamental definir la información clave que debe proporcionar el Sistema para mejorar las distintas causas generadoras de las detenciones. Con la información que proporcionará el SML se busca en primer lugar reducir la cantidad de problemas operacionales que generan las detenciones, al anticiparse a la ocurrencia de estos, pero como no siempre es posible evitar que surjan estos problemas, lo que sí es posible hacer es controlar y gestionar los problemas una vez identificados, tratando de reducir al máximo posible el tiempo perdido en estas detenciones. En la *Figura 3.14* se presenta un diagrama de la estrategia de solución a realizar para conseguir algunos de los objetivos propuestos y solucionar los problemas detectados.

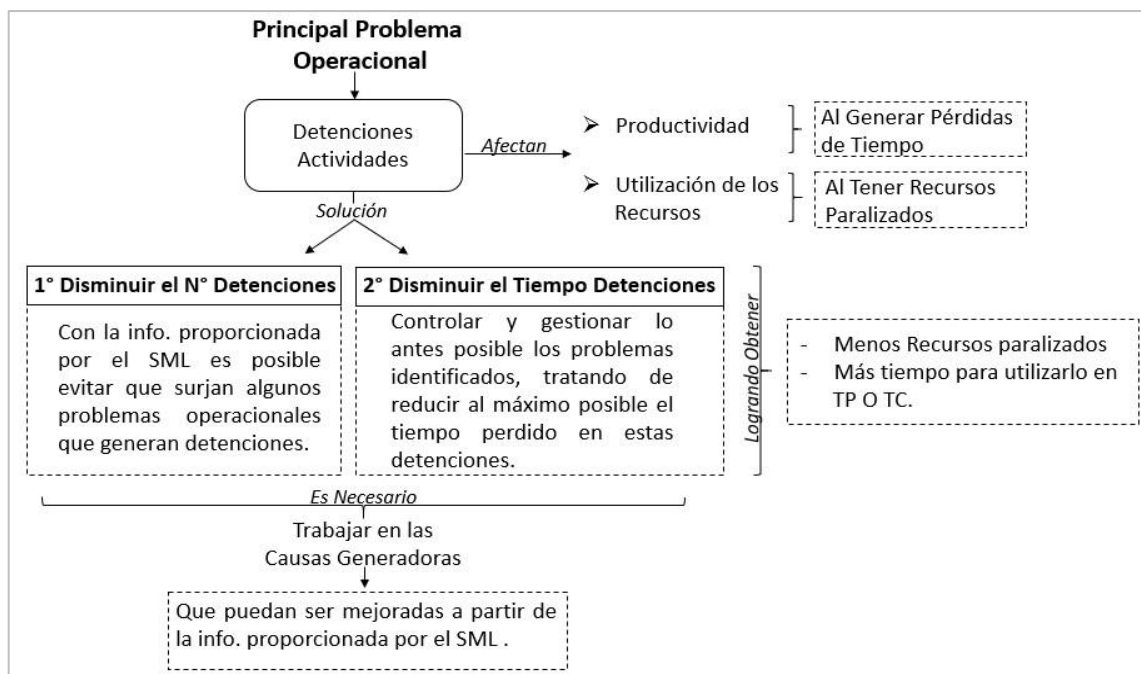


Figura 3.14. Diagrama estrategia de solución para las detenciones de actividades.
Fuente: Elaboración Propia, 2019.

Por otro lado, de acuerdo con los antecedentes presentados sobre la metodología de trabajo utilizada en múltiples frentes, donde se busca optimizar la utilización de los recursos disponibles, usándolos lo máximo posible en distintas frentes sin detenerse, ya que los recursos con los que se cuentan son limitados y es importante ocuparlos lo más eficientemente. Como se mencionó anteriormente las detenciones de las actividades también afectan al uso de los recursos disponibles, al tener equipos y cuadrillas paralizados a la espera de la disponibilidad de la frente de trabajo asignada, generando desperdicios de recursos. Al disminuir la cantidad de detenciones de acuerdo con la estrategia anteriormente presentada, también disminuirán los recursos paralizados al provocar menores interferencias, pero no siempre es posible acabar con los problemas que generan las detenciones, lo que sí es posible es controlar el uso de los recursos disponibles y gestionarlos de la mejor forma, a través del SML. Por lo tanto, la estrategia consiste en poder contar con la información necesaria para no tener recursos paralizados y poder utilizarlos en otras frentes o en otras actividades mientras se espera la liberación de la frente, maximizando el uso de los recursos disponibles durante el turno.

De acuerdo con la estrategia propuesta y con los resultados obtenidos en el diagnóstico del uso del tiempo, del 49% del tiempo total de la jornada de trabajo que corresponde a tiempo disponible para realizar los trabajos programados para el turno, se espera lograr disminuir de un 19% a un 8% el tiempo perdido, logrando alcanzar las metas propuestas de 1 hora estimada en tiempo perdido por detenciones de las actividades programadas para el turno

y de esta forma mejorar el tiempo efectivo de trabajo de un 30% a un 41%. En la *Figura 3.15* se presenta la estrategia propuesta para mejorar el tiempo efectivo (TE) de trabajo cumpliendo con las metas propuestas.

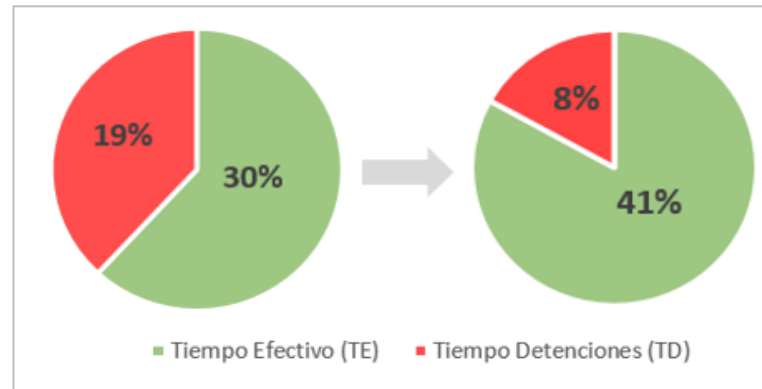


Figura 3.15. Estrategia para aumentar el tiempo efectivo de trabajo (TE).
Fuente: Elaboración Propia, 2019.

Al mejorar la utilización del tiempo, aumentando el tiempo efectivo de trabajo, también se mejorará el muestreo de trabajo, ya que el tiempo perdido por detenciones se encuentran dentro de la categoría de trabajo no contributivo (TNC), al utilizar este tiempo en actividades que aportan en el ciclo de avance, el tiempo perdido en TNC se transforma en trabajo contributivo (TC) o trabajo productivo (TP), dependiendo de la actividad impactada. Por ejemplo, la perforación de avance se mantiene detenida, ya que la cuadrilla se encuentra en la búsqueda del jumbo, el cual se encuentra perdido por una mala información entregada durante el cambio de turno, si se conociese la ubicación del equipo en todo momento, el tiempo utilizado buscando el equipo que corresponde a TNC, podría ser utilizado en la perforación de avance que corresponde a TP.

Por otra parte, otro de los objetivos que también busca la implementación del SML para el Proyecto, es mejorar la seguridad en las operaciones. Como se comentó anteriormente en los antecedentes el PNNM - AN se desarrolla en un ambiente de altos esfuerzos, donde se generan constantes eventos sísmicos, los cuales son monitoreados a través de geófonos y se ha establecido una metodología de alerta sísmica que indica el nivel de riesgo sísmico en tiempo real (*Ver Anexo B*). Si bien el riesgo sísmico se encuentra adecuadamente controlado, para mejorar los niveles de seguridad en las operaciones mineras del Proyecto a través del SML, se propone unificar la información obtenida por los geófonos en un solo centro integrado, donde junto con la información proporcionada por el SML de las operaciones mineras, sea posible tomar las mejores decisiones para resguardar la seguridad de los trabajadores, logrando que la información llegue lo más rápido posible ante posibles evacuaciones de algún sector de la faena.

3.4. Oportunidades y Soluciones

De acuerdo con los problemas anteriormente identificados y con la estrategia de solución presentada, la cual busca disminuir el número de detenciones que surgen durante el turno o disminuir el tiempo perdido en detenciones, a partir del mejoramiento de las causas generadoras de dichas detenciones (*Ver Figura 3.14*), es que se decide analizar dichas causas para poder determinar posibles oportunidades de mejoramiento que podrían ser abordadas por el SML. Ahora bien, al indagar en las causas generadoras de las detenciones de las actividades programadas para el turno, de acuerdo con el análisis realizado en la *Figura 3.13*, primero es posible determinar que a causa de la poca información que se logra obtener sobre lo que ocurre en las operaciones del Proyecto, se generan falencias en la planificación, en la coordinación y en la comunicación, los que a su vez provocan problemas operacionales como interferencias, cambios de programa, actividades sin incluir y mala información, provocando retrasos en la programación y detenciones de las actividades, lo cual afecta el desarrollo de los trabajos programados para el turno, generando pérdidas de tiempo, perjudicado a la productividad diaria de los desarrollos obtenidos y también causan desperdicios de los recursos disponibles al tener equipos y cuadrillas de trabajo paralizados a la espera de la liberación de la frente. A partir de lo anterior es que se determinan las siguientes oportunidades de mejoramiento que podrían ser abordadas por el SML, de acuerdo con la información que podría proporcionar el Sistema, corresponden a:

- Planificación
- Comunicación
- Coordinación
- Uso de los Recursos

Ahora bien, para mejorar la planificación es necesario contar con la mayor información posible y confiable, sobre los distintos sucesos ocurridos durante el turno anterior, como algún inconveniente que debe ser solucionado en el siguiente turno, información sobre las condiciones en las que quedaron de las distintas frentes, y sobre la disponibilidad de los equipos y cuadrillas de trabajo para el turno entrante, con el objetivo de poder realizar lo más eficientemente la programación de las actividades del turno entrante, con su respectiva asignación de recursos. Al Lograr obtener una mejor programación de las actividades y asignación de recursos, es posible disminuir la cantidad de inconvenientes presentados durante el turno, como alguna actividad necesaria realizar, la cual no fue considerada en la programación o como el contar con un equipo el cual no se encuentra disponible.

Por otro lado, es de suma importancia contar con una buena comunicación entre los distintos actores que participan en el proceso operacional, para que ninguna información importante se pierda o llegue tardíamente y además es importante poder contar con una información correcta y confiable. La comunicación es un problema recurrente durante el desarrollo del turno y sobre todo durante el cambio de turno, lo que va afectando en el flujo constante y continuo de trabajo. Para mejorar la comunicación es necesario mantener un flujo constante de la información, además de contar con un sistema único encargado de proporcionar toda la información operacional capturada en terreno, la cual debe ser entregada inmediatamente a los distintos actores encargados, ya sea para corregir y gestionar los problemas operacionales presentados o para informar sobre los puntos de trabajos que se deben dirigir y las actividades que deben realizar tanto las cuadrillas como los equipos.

Para poder realizar una eficiente coordinación en terreno, ante posibles problemas operacionales presentados que afectan a la programación del turno, es necesario poder contar con la mayor e inmediata información posible, ya sea sobre alguna desviación presentada, sobre la disponibilidad y ubicación de cuadrillas y equipos durante el desarrollo del turno y sobre las actividades que se encuentran realizando en cada una de las frentes. Esta información permitirá actuar lo antes posible ante algún problema presentado y tomar las mejores decisiones, con el objetivo controlar y gestionar lo antes posible los problemas identificados, tratando de reducir al máximo posible el tiempo perdido en estas detenciones.

Para mejorar la utilización de los recursos disponibles, es necesario contar con la información inmediata sobre la paralización de alguna cuadrilla o equipo, los cuales se encuentren sin realizar alguna actividad, ya sea porque la frente asignada se encuentra ocupada o debido a que luego de un cambio de programa quedaron sin una actividad asignada. Con esta información es posible realizar rápidas coordinaciones, utilizando los recursos paralizados en otras frentes o en otras actividades, maximizando el uso de los equipos y cuadrillas disponibles.

Por otra parte, de acuerdo con el análisis de la *Figura 3.13* también es posible notar que la falta de equipos afecta a las detenciones de las actividades, al no contar con equipos suficientes para realizar los trabajos programados. Si bien las detenciones de las actividades se ven afectadas por la falta de equipos ya sea por falla, por detenciones operacionales o por la disponibilidad, no es posible mejorar esta causa, ya que los equipos con los que se cuentan para realizar los trabajos programados son limitados. Pero si es posible mejorar la disponibilidad de los equipos al prever alguna posible falla o detención, al contar con una mayor información sobre el estado operacional de cada uno de los equipos en todo momento.

En la siguiente tabla se presentan un resumen de las oportunidades identificadas, junto con los objetivos que se buscan con su mejoramiento y con sus respectivas soluciones propuestas:

Tabla 3.2. Oportunidades de mejoramiento con sus respectivas soluciones propuestas.
Fuente: Elaboración propia, 2019.

Oportunidades	Objetivos	Solución
Mejorar la Planificación	Tener una mejor programación de actividades.	Contar con una mayor información y confiable antes del inicio del turno sobre: 1. Equipos y Cuadrillas disponibles para el turno entrante. 2. Ultima Act. Realizada en cada una de las frentes, durante el turno anterior. 3. Algún inconveniente presentado en el turno anterior pero que deba ser resuelto en el turno entrante (condiciones de la frente).
	Realizar una mejor asignación de los recursos.	
	Realizar lo menores cambios al programa.	
Mejorar la Comunicación	Ninguna información importante se pierda o llegue tardíamente.	1. Mantener un flujo de la información constante durante el desarrollo del turno o durante el cambio de turno. 2. Contar con un sistema único que proporcione la información operacional. 3. Sistema unico de asignación de actividades
	Contar con la información correcta.	
Mejorar la Coordinación	Solucionar lo antes posible los problemas operacionales presentados.	Contar con mayor información e Inmediata sobre: 1. La disponibilidad y ubicación de cuadrillas y equipos, durante el desarrollo del turno. 2. Algún inconveniente o desviación presentada. 3. La act. que se encuentra relizandose en cada una de las frentes. 4. Alguna frente paralizada sin actividad.
	Perder el menor tiempo posible en las detenciones de las actividades.	
Mejorar el uso de los Recursos Disponibles	Tener el menor tiempo posible equipos o cuadrillas sin actividad, al utilizar los recursos paralizados en otras frentes o en otros trabajos mientras se libera la frente asignada.	Contar con la información inmediata sobre: 1. Algún equipo paralizado. 2. Alguna cuadrilla paralizada.
Mejorar la Disponibilidad de los Equipos	Anticiparse ante una posible falla o detención de algún equipo.	Contar con la información en todo momento sobre: 1. Estado operacionales de cada uno de los equipos.

3.5. Captura y Procesamiento de Datos

A partir de las oportunidades de mejoramiento identificadas y de acuerdo con la información requerida por las soluciones entregadas, se determina que es necesario monitorear a través del SML las distintas frentes de trabajo, las cuadrillas mineras y todos los equipos involucrados en el ciclo de avance. El monitoreo consiste en la captura de datos, en el procesamiento, transmisión y almacenamiento de estos datos, para entregar la información requerida, donde por medio de un software la información capturada logra ser visualizada. Por otro lado, además se determina que es necesario contar con un sistema de asignación y programación de actividades, para mejorar la comunicación en las operaciones.

3.5.1. Monitoreo de Equipos

- **Ubicación**

Primero que todo es importante capturar la ubicación exacta e instantánea en terreno de cada uno de los equipos, entregando en un plano en tiempo real la ubicación o desplazamiento de cada uno de los equipos que se encuentran en las operaciones, logrando visualizar en la calle, rampa, frontón o frente en la que se encuentran. Es posible capturar la ubicación de los equipos en tiempo real mediante la utilización de tecnología RFID, donde tags ubicados en los equipos emiten una señal que es capturada por antenas ubicadas en distintos sectores de la faena, esta señal es procesada en un modelo lógico (gabinetes) que finalmente proporciona la ubicación de distintos equipos. Esta información debe ser transmitida hacia la red de comunicaciones en la que está conectado el servidor del sistema. El procesamiento de los datos capturados debe proporcionar una visualización completa en línea de la ubicación de todos los equipos, en cada uno de los planos por nivel en que se encuentran y por cada tipo de equipo. Esta información permitirá principalmente eliminar las pérdidas de tiempo generadas por la búsqueda de equipos, así como también ayudará en la planificación y coordinación para realizar la asignación de los recursos.

En la *Figura 3.16* es posible observar la propuesta de la visualización del procesamiento de datos capturados sobre la ubicación de los equipos:

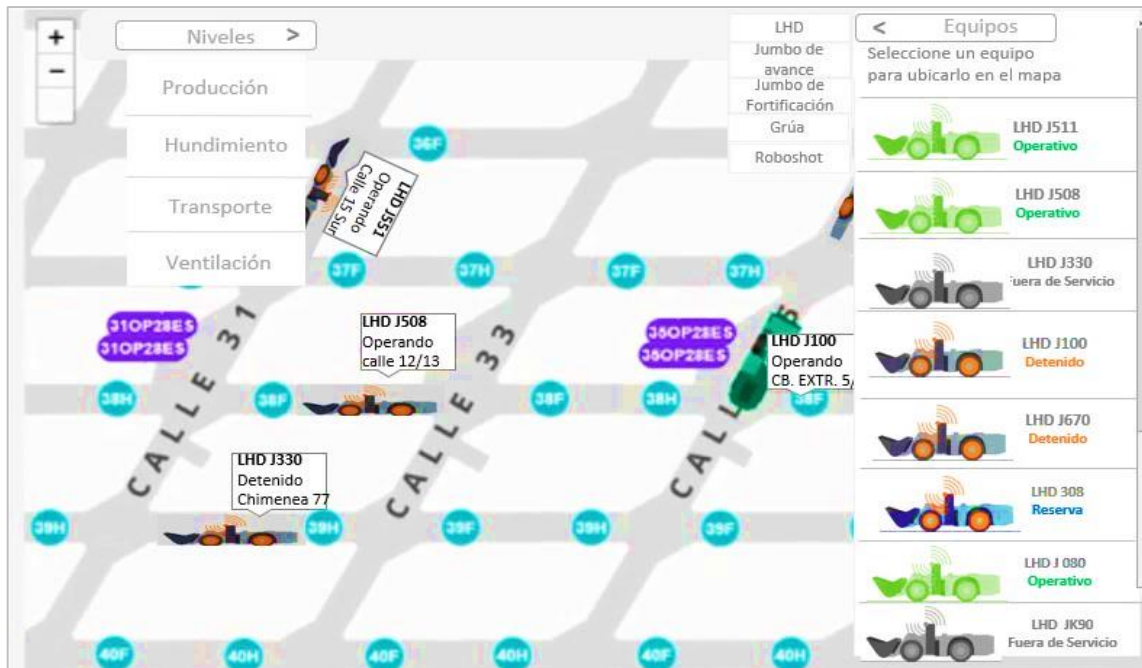


Figura 3.16. Propuesta de la visualización del procesamiento de datos sobre la ubicación de los equipos.
Fuente: Elaboración propia, (2020).

- **Estado**

También es importante conocer el estado de cada uno de los equipos en todo momento, por lo que es necesario capturar la hora de inicio y la hora de termino cada vez que el equipo cambie de estado. De acuerdo con la Norma ASARCO (Ver Anexo G) se requiere registrar los estados de los equipos de acuerdo con las siguientes categorías:

- Equipo Fuera de Servicio: El equipo no se encuentra disponible para realizar trabajos, ya que se encuentra en mantención o reparación.
- Equipo Disponible: Cuando el equipo no se encuentra Fuera de Servicio, por lo tanto, se encuentra disponible para ser operado.
 - Equipo en Reserva: Si no se registra un operador abordo del equipo este se encuentra en estado de reserva (Equipo disponible, pero sin operador).
 - Equipo Operativo: Cuando el equipo se encuentra disponible y con operador.
 - Equipo Efectivo: El Equipo se encuentra realizando el trabajo que fue programado para el turno.
 - Equipo Detenido: El equipo se encuentra con su operador, pero no se encuentra realizando la actividad que se le asignó. En este caso se debe registrar además si se encuentra en una detención programado, en una detención no programada o detenido por otra causa al no poder realizar la actividad.

El estado de cada equipo puede ser registrado por cada operador mediante la interacción con un computador a bordo, el cual le permita registrar en una pantalla táctil, en un menú desplegable una de las opciones de estados ya definidas anteriormente. Para el caso en que el equipo no registre estar fuera de servicio en el taller, automáticamente queda en estado disponible, si el equipo no registra ningún estado al no contar con un operador, automáticamente el equipo debe quedar en estado de reserva (equipo disponible, pero sin operador). En tal caso que el equipo se encuentre detenido sin poder realizar la actividad asignada es necesario que el operador ingrese alguna de las siguientes opciones:

- * Detención Programada (DP): Cambios de frentes y cambios de turnos.
- * Detención No Programada (DNP): Principalmente cargas de petróleo, acomodos o limpiezas.
- * Paralización Operacional (PO): Tiempo de Pérdidas Operacionales, en donde el equipo se encuentra detenido con operador, pero no es posible realizar la actividad programada.

Si el equipo registra una paralización operacional, se requiere mantener una comunicación directa entre el operador y el CIC para poder informar la causa de la detención del equipo y recibir las indicaciones necesarias para poder cambiar el estado de equipo detenido a equipo efectivo.

El procesamiento de los datos registrados debe proporcionar la información sobre el estado de cada uno de los equipos que se encuentran en faena en tiempo real, con la hora de inicio y término del último estado, el nombre del operador y además la ubicación del equipo. Esta información debe poder ser filtrada de acuerdo con los distintos niveles en que se encuentran los equipos o de acuerdo con los distintos tipos de flotas.

Con la información proporcionada por el procesamiento de los datos, es posible realizar mejores y más rápidas coordinación al saber con los equipos se cuentan disponibles para realizar otros trabajos no programados inicialmente o para no tener equipos paralizados y poder ocuparlos en otras actividades, mejorando también el uso de los equipos disponibles. Esta información también permitirá poder planificar mejor la asignación de recurso, al tener la información antes del inicio del turno, sobre los equipos que se encuentran fuera de servicio y con los cuales no se podrá contar para la programación del turno entrante. En la *Figura 3.17* es posible preciar una propuesta de la visualización del procesamiento de los datos capturados para conocer el estado de los equipos:

Estado de Equipos		Niveles >	Flota Equipos >		
22 Todos		7 Efectivo	5 Detenido	4 En Reserva	5 Fuera de Servicio
Jumbo 301	OPERATIVO Hora inicio: 10:40 am Hora termino: Por definir Operador: Manuel Gonzalez Frente: XC 1 A5 Actividad: Perforación	Jumbo 302	DETENIDO Hora inicio: 8:00 am Hora termino: Por definir Operador: Luis Jiménez Frente: CB, EXT, 22/23 Causa: Frente ocupada	Jumbo 303	DETENIDO Hora inicio: 8:00 am Hora termino: Por definir Operador: Luis Jiménez Frente: CB, EXT, 22/23 Causa: Frente ocupada
Jumbo 305	EN RESERVA Hora inicio: 10:20 am Hora de termino: Por definir Operador: Sin Operador Frente: Chimenea 77	Jumbo 306	OPERATIVO Hora inicio: 11:00 Hora termino: Por definir Operador: Jorge Rojas Frente: XC 12/13 Actividad: Perforación	Jumbo 307	EN RESERVA Hora inicio: 10:20 am Hora de termino: Por definir Operador: Sin Operador Frente: Chimenea 77
Jumbo 309	OPERATIVO Hora inicio: 10:40 am Hora termino: Por definir Operador: María Pérez Frente: XC 2 12 / 13 Actividad: Perforación	Jumbo 310	DETENIDO Hora inicio: 8:00 am Hora termino: Por definir Operador: Luis Jiménez Frente: CB, EXT, 22/23 Causa: Carga combustible	Jumbo 311	FUERA DE SERVICIO Hora llegada: 10:20 am Hora salida: por definir Tipo reparación: Falla eléctrica
Jumbo 314	FUERA DE SERVICIO Causa: Fuga de aceite Desde 1/04/19 11:44 Operador: No disponible Última Ubicación: CALLE 12	Jumbo 315	EN RESERVA Desde Frente: XC 1 A5 Hasta Frente: XC 2 A5 Hora inicio: 10:20 Hora de llegada: 10:30 Operador: Sin Operador	Jumbo 316	DETENIDO Fecha: 1/05/2019 Hora llegada al taller: 9:45 Causa: Frente Ocupada
Jumbo 301	EN RESERVA Desde Frente: XC 1 A5	Jumbo 319	OPERATIVO Fecha status: 1/04/19	Jumbo 319	FUERA DE SERVICIO Causa: Fuga de aceite
				Jumbo 317	OPERATIVO Fecha status: 1/04/19 Desde: 10:40 Hasta: 12:40 Operador: Manuel Gonzalez Frente: XC 1 A5 Actividad: Perforación
				Jumbo 318	DETENIDO Fecha: 1/05/2019

Figura 3.17. Propuesta visualización del procesamiento de datos sobre el estado de los equipos.
Fuente: Elaboración Propia, (2020).

• Signos Vitales

Para mejorar la disponibilidad de los equipos, es necesario realizar un mantenimiento predictivo al anticiparse a las fallas o detenciones operacionales que pudiesen presentar los equipos. De acuerdo con las causas de las fallas y detenciones operacionales que impactaron más en la pérdida de tiempo (Ver Figura 3.10 y Figura 3.11), y de acuerdo con los sensores existentes en el mercado, es que se decide capturar los siguientes signos vitales de los equipos:

- Nivel de Combustible
- Nivel de Aceite
- Nivel de Agua
- Temperatura del Motor
- Alerta de Falla eléctrica

Estos signos vitales deben mostrar los niveles medidos en que se encuentran los equipos en tiempo real y los niveles aceptables en que se deben encontrar, si el equipo se encuentra bajo los niveles aceptables se necesita generar una alerta para mejorar esta situación antes de causar una detención en el equipo. También, se requiere mantener una comunicación directa entre el operador y la sala de control para realizar gestiones rápidas ante una posible

detención del equipo. Esta información permite mejorar la disponibilidad de los equipos, al generar menores detenciones de los equipos por falla o detenciones operacionales.

- **Productividad**

Para detectar y controlar algún inconveniente o desviación presentada en el trabajo programado para cada uno de los equipos durante el desarrollo del turno, también es necesario monitorear el trabajo producido por los principales equipos involucrados en el ciclo de avance, estableciendo ciertas metas de producción de trabajo que puedan realizar durante un turno.

- Jumbo de avance: Primero para medir el trabajo realizado por los equipos jumbo de avance, se establece que la medida más representativa son los metros barrenados durante el turno, ya que el número de perforaciones que puede realizar un jumbo durante un turno de trabajo varía dependiendo del diagrama de disparo realizado para cada una de las frentes, donde se establece el número de perforaciones a realizar y el largo de estas. Por lo tanto, se debe capturar el número de perforación realizadas y de acuerdo con el diagrama de disparo donde se establece el largo de los tiros, el procesamiento de los datos debe proporcionar los metros barrenados por el equipo en tiempo real en comparación a las metas propuestas para el turno. El número de perforaciones realizadas por un jumbo en tiempo real puede ser capturada a través de un horómetro de percusión u otro tipo de sensor, el cual sea capaz de registrar cada vez que el brazo del jumbo termine de perforar y comience a realizar otra perforación. Por otra parte, es importante que se genere algún tipo de alerta, cuando la producción del equipo se encuentre en un rango determinado por debajo de las metas establecidas para cada cierto tiempo del desarrollo del turno, esta información permitirá detectar alguna desviación en el trabajo asignado para el equipo e indagar en las causas de la baja productividad del equipo durante el turno, y tomar decisiones para mejorar su productividad en el tiempo que queda del turno. Para establecer las metas se determinan cuánto tiempo demora un jumbo en perforar 1 metro y luego de acuerdo con el tiempo efectivo de trabajo estimado para el equipo se establece los metros que es capaz de barrenar durante el turno completo. En la *Figura 3.18* es posible apreciar una visualización del procesamiento de los datos capturados para conocer los metros barrenados por cada jumbo en tiempo real.

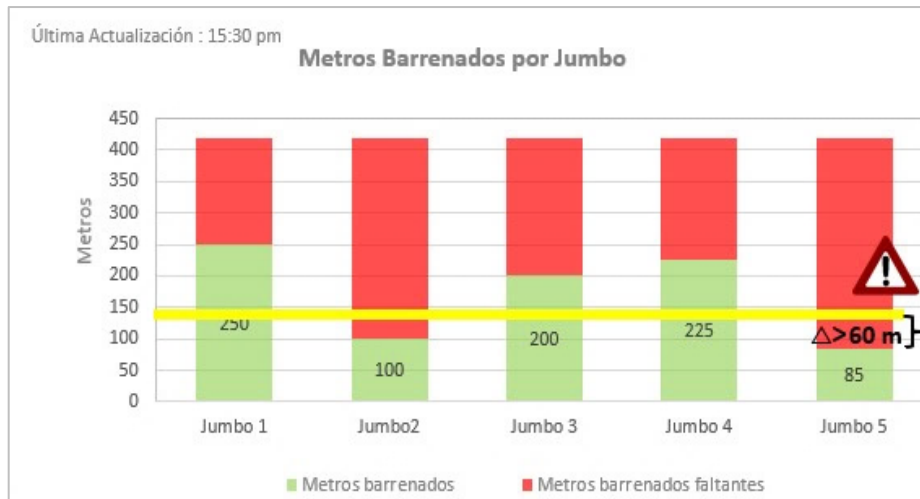


Figura 3.18. Propuesta visualización del procesamiento de datos de la productividad de los Jumbo.
Fuente: Elaboración Propia, (2019).

- LHD: Para medir la productividad del trabajo realizado por el equipo LHD durante el turno de trabajo, se determina que es necesario capturar el número de baldadas realizadas por el equipo y luego del procesamiento de los datos se debe proporcionar los metros cúbicos baldeados por el equipo en tiempo real en comparación a las metas propuestas para el turno. Para capturar los metros cúbicos baldeados por el equipo LHD durante el turno de trabajo, se propone utilizar la misma tecnología de RFID presentada para el monitoreo de la ubicación de los equipos, pero para este caso se debe capturar cada vez que el equipo ingrese y se retire de la frente de trabajo registrando una baldada, y de acuerdo con la capacidad de la pala del equipo entregada por el fabricante, el procesamiento de los datos debe proporcionar los metros cúbicos baldeados por cada equipo en tiempo real respecto a las metas propuesta. Para establecer las metas primero se debe determinar cuánto tiempo demora aproximadamente un LHD en ingresar a la frente desde la zona de acopio, cargar el material fragmentado, luego trasladarlo y descargarlo en la zona de acopio de acuerdo con las distintas rutas de marinas establecidas, y luego con el tiempo efectivo de trabajo estimado se determinan las baldeadas que es capaz de acarrear el equipo durante el turno completo. Al igual que el equipo Jumbo es importante generar un tipo de alerta cuando los metros cúbicos cargado por el equipo se encuentren bajo cierto rango de las metas propuestas para determinadas fracciones del turno, esta información permitirá detectar alguna desviación en el trabajo asignado para el equipo e indagar en las causas de la baja productividad del equipo durante el turno, y tomar decisiones para mejorar su productividad en el tiempo que queda del turno. En la *Figura 3.19* es posible apreciar una

visualización del procesamiento de los datos capturados para conocer los metros cúbicos baldeados por los equipos LHD en tiempo real.

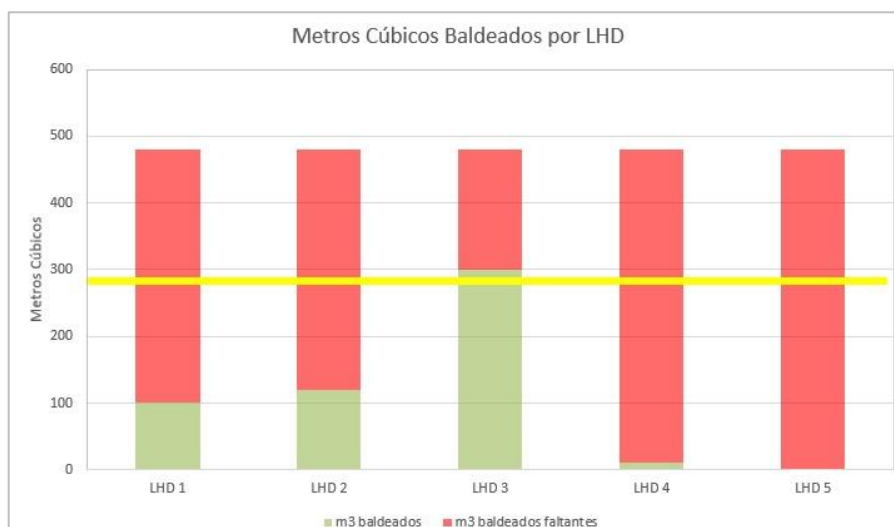


Figura 3.19. Propuesta visualización del procesamiento de datos de la productividad de los equipos LHD.
Fuente: Elaboración propia, (2019).

- Jumbo de Fortificación: Al igual que el jumbo de avance se debe capturar el número de perforaciones realizadas en tiempo real por el Jumbo y de acuerdo con el largo de la perforación de pernos realizadas el procesamiento de esta información debe proporcionar los metros barrenados en relación con las metas propuestas para el equipo durante el turno completo, además se debe generar un tipo de alerta ante alguna desviación registrada respecto de la producción real y la programada, para poder indagar en las causas y tomar las mejores decisiones para mejorar la productividad del equipo para lo que queda del turno.
- Acuñador: La cantidad de material suelto que debe botar y retirar el equipo acuñador durante el turno es variable, por lo que no es posible establecer alguna meta del material removido en un tiempo determinado, por lo tanto, no es posible medir la productividad del trabajo realizado por el equipo en tiempo real durante el turno, solo sería posible conocer la hora de inicio y termino de las actividades realizadas en cada una de las frentes (lo cual es propuesto para el monitoreo de las frentes más adelante).
- Roboshot: A partir del SML no es posible capturar la información en tiempo real sobre los metros cuadrados de shotcrete proyectados por el equipo o los metros cuadrados cubiertos de superficie de shotcrete, por lo tanto, no es posible medir la productividad del trabajo realizado por el equipo durante el turno.

3.5.2. Monitoreo de Personas

- **Dotación**

Para realizar una mejor planificación de las actividades programadas para el turno con su respectiva asignación de los equipos y cuadrillas, se propone conocer con anterioridad al inicio del turno la dotación entrante. Por lo tanto, para contar con esta información es necesario capturar la entrada de cada trabajador a la casa de cambio. Actualmente el Proyecto posee un control de acceso del personal que entra y sale de la mina mediante la utilización de dispositivos tags que porta cada trabajador, es por esto, que se propone capturar la entrada de los trabajadores a la casa de cambio mediante los mismo dispositivos tags que ya posee cada trabajador, pero se debe disponer de un nuevo portal o antena en la casa de cambio capaz de capturar la presencia de cada trabajador. El procesamiento de estos datos capturados debe proporcionar inmediatamente al jefe de turno cada trabajador entrante al turno con su respectiva especialización de trabajo. Esta información le permitirá al jefe de turno conformar las distintas cuadrillas de trabajo y asignarle las distintas actividades a realizar durante el turno, con anterioridad a la llegada de los trabajadores al barrio cívico.

- **Seguimiento de Cuadrillas**

Una vez conformadas las cuadrillas de trabajo y luego del inicio del turno, es importante hacer un seguimiento al trabajo realizado por las distintas cuadrillas durante el turno, ya que esta información permitirá conocer los tiempos efectivos de trabajo, los tiempos perdidos en detenciones y los tiempos utilizados en otras actividades antes de llegar a la frente de trabajo. Por lo tanto, para realizar este seguimiento, cada cuadrilla debe registrar la hora de inicio y termino de cada actividad del ciclo de avance realizada en cada una de las frentes, indicando además la frente, el nivel y la actividad realizada, además deben capturar la hora de inicio cuando la cuadrilla deba ir al barrio cívico a colación y la hora de termino al llegar a la frente de trabajo luego de la colación. También se debe ingresar la hora de inicio y termino cada vez que se presente una detención del trabajo programado, informando además la causa de la detención y la actividad impactada por esta detención. El operador de equipo con mayor categoría que conforme una cuadrilla debe ser el encargado de la capturar los datos anteriormente mencionados, mediante los computadores a bordo, el cual le permita registrar en una pantalla táctil, en un menú desplegable una de las opciones anteriormente mencionadas. Para el caso en que alguna actividad de ciclo de avance que no considere la utilización de un equipo, debe haber un jefe de cuadrilla encargado de capturar la información, mediante un Tablet. El procesamiento de la información capturada debe proporcionar en primer lugar el tiempo

perdido en detenciones de actividades en tiempo real, lo que permitirá ir controlado este tiempo para no superar las metas propuesta del tiempo estimado. Por otro lado, el almacenamiento y procesamiento de esta información servirá para generar informes sobre el diagnóstico del uso del tiempo y también para evaluar el trabajo realizado por el SML, ya que, de acuerdo con la estrategia de trabajo presentada anteriormente, se busca disminuir el tiempo perdido en detenciones.

- **Estado**

La información capturada durante el seguimiento de las cuadrillas también permitirá conocer el estado en tiempo real de las distintas cuadrillas, donde luego del procesamiento de datos se debe informar si se encuentran realizando una actividad, en colación o detenidas. Durante el desarrollo del turno, las cuadrillas pueden encontrarse paralizadas sin realizar trabajo, ya sea debido a la falta de equipo, a la espera de la liberación de la frente o debido a modificaciones que se realizaron en la programación quedando sin la asignación de un trabajo, por lo que, es importante poder detectar lo antes posible una paralización de la cuadrilla. La información sobre el estado de las cuadrillas permitirá mejorar el uso de los recursos disponibles, al lograr tener el menor tiempo alguna cuadrilla de trabajo paralizada, mediante coordinaciones realizadas durante el desarrollo del turno. Por otro lado, es importante aclarar que el estado de la cuadrilla es independiente del estado que registre el equipo utilizado por dicha cuadrilla para realizar una determinada actividad, ya que si falla algún equipo la cuadrilla de trabajo no debe quedar paralizada sin realizar ninguna actividad, se le debe asignar una nueva actividad.

- **Detección de presencia**

Actualmente el Proyecto posee un control de acceso del personal que entra y sale de la mina mediante la utilización de dispositivos tags. Ahora bien, no es posible conocer la ubicación exacta o el desplazamiento de cada una de las cuadrillas en tiempo real, ya que no es posible agrupar la información de la ubicación de los trabajadores que conforman una cuadrilla, esta información solo sería posible obtenerla al ponerse en contacto desde la sala de control con la cuadrilla entregándole la ubicación exacta. Lo que sí es posible, es conocer mediante la utilización de los mismos tags ya dispuestos, el registro en tiempo real de tránsito de personal por portales distribuidos en la mina. Por lo tanto, se debe capturar la presencia de cada trabajador una vez que ingrese por los portales ubicados en las distintas zonas de la faena, ya sea en el casino, en las frentes de trabajo, en el barrio cívico o en tránsito por las instalaciones de la faena, el procesamiento de estos datos debe proporcionar el porcentaje del personal que se encuentra en las distintas zonas cada un

determinado rango de tiempo. La visualización de la detección de presencia permite ir controlando las distintas zonas en donde se encuentra mayormente los trabajadores durante el desarrollo del turno. En la *Figura 3.20* se presenta una propuesta de la visualización del procesamiento de los datos capturados para la detección de presencia.

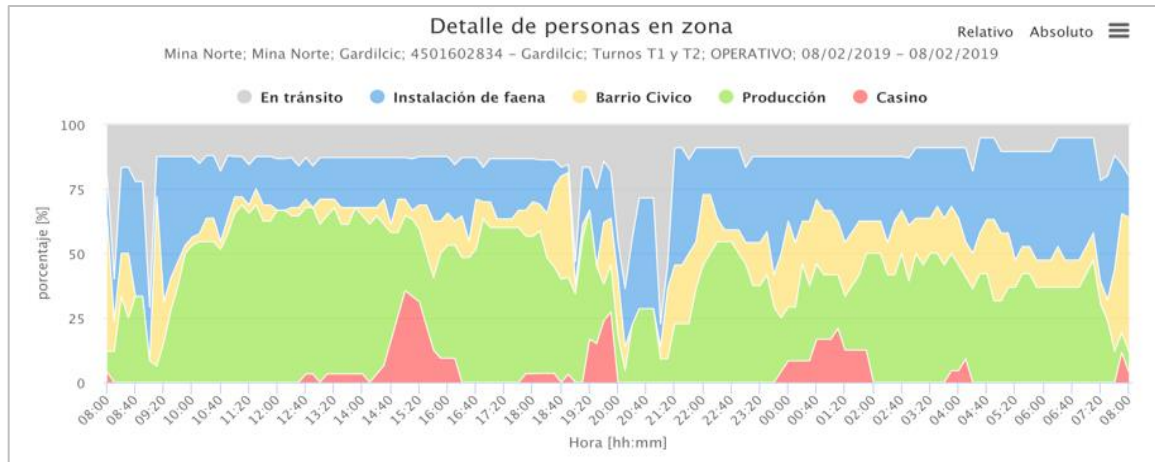


Figura 3.20. Visualización del procesamiento de los datos capturados sobre la detección de presencia.
Fuente: Oyarzun, 2019 (13).

Con la información almacenada por la detención de presencia es posible realizar un análisis entre un turno y otro, respecto al tránsito de personas durante el desarrollo del turno.

3.5.3. Monitoreo de Frentes

- **Actividades**

A partir de los datos capturados en el seguimiento de las cuadrillas, es posible conocer el trabajo realizado en cada una de las frentes durante el turno. Como cada cuadrilla debe registrar la hora de inicio y termino de cada actividad del ciclo de avance realizada en la frente, indicando además la frente, el nivel y la actividad realizada, el procesamiento de estos datos para el monitoreo de las frentes debe proporcionar la información de cada una de las actividades realizadas en tiempo real en cada una de las frentes en relación con la programación de las actividades presentada al inicio del turno. Esta información permitirá detectar algún retraso en la programación realizada al inicio del turno, además ayudará a realizar mejores coordinaciones al conocer las frentes que se encuentran sin actividad y la última actividad realizada en cada frente. Por otro lado, al conocer la última actividad realizada en cada una de las frentes durante el turno anterior, también es posible realizar una mejor programación de las actividades para el turno siguiente.

Además, al finalizar cada una de las actividades en las frentes de trabajo, las cuadrillas además deben realizara una lista de verificaciones de las condiciones de la frente antes de retirarse, registrando las siguientes opciones:

- Actividad Terminada: Sí / No
- Con Servicios Disponibles: Sí / No ¿Cuál?
 - Drenaje
 - Ventilación
 - Electricidad
 - Agua
- Actividad extra necesaria para realizar: Sí / No ¿Cuál?
 - Equipo en la frente (sin operador)
 - Retiro de Materiales
 - Remover cables

Con la anterior información permite visualizar si se debe realizar alguna actividad no programada para continuar con el ciclo de avance, la cual debe ser programada desde la sala de control al generarse un tipo de alerta.

En la *Figura 3.21* se presenta una propuesta de la visualización de los datos capturados para el monitoreo de las actividades realizadas en la frente.

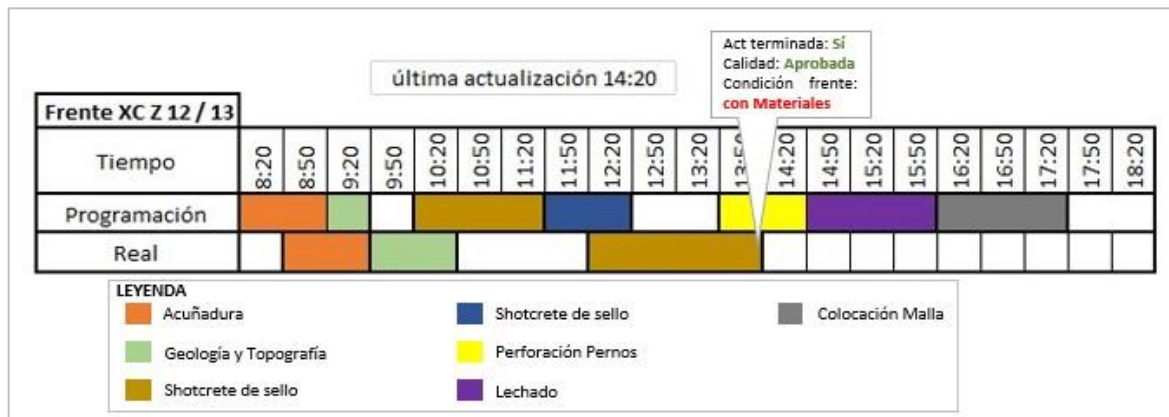


Figura 3.21. Visualización del procesamiento de datos capturados sobre el monitoreo de las frentes.
Fuente: Elaboración propia, (2019).

3.5.4. Programación y Asignación de Actividades

Para mejorar la comunicación, es necesario mantener un flujo constante de la información, para evitar que alguna información se pierda o llegue tardíamente. El sistema debe contar con un módulo en el cual se puedan asignar y modificar tareas a cada cuadrilla o equipo de trabajo a través de su plataforma web, esta información debe llegar de forma automática a cada equipo/cuadrilla con el sistema conectado a la red. Por lo tanto, se propone contar con un sistema de único de asignación y programación de actividades, donde las cuadrillas deben ir chequeando en terreno mediante un dispositivo Tablet o computador a bordo del equipo, la actualización de las actividades que deben ir realizando y las frentes de trabajo asignadas, de acuerdo con la programación enviada desde el CIC. Además de la asignación de tareas, este medio sirve también para mantener una comunicación directa vía mensajería entre las cuadrillas y la sala de control.

3.6. Indicadores de Desempeño Claves

De acuerdo con la captura y procesamiento de datos determinados anteriormente, se definieron los siguientes indicadores claves de desempeño que debe proporcionar el SML a partir del monitoreo de equipos, personas y frentes, los cuales permiten controlar desviaciones en el proceso operacional y de esta forma mejorar el desempeño del turno, además son de suma importancia para la consecución de los objetivos de la implementación del SML para el Proyecto. En la *Tabla 3.3* se presentan los indicadores claves de desempeño que debe proporcionar el monitoreo de los equipos.

Tabla 3.3. Indicadores claves de desempeños para el monitoreo de los equipos.
Fuente: Elaboración propia, 2019.

Monitoreo	Captura de Datos			Procesamiento de Datos	Indicadores claves de Desempeño	Unidad de medida	
Equipo	Capturar el Estado de cada uno de los equipos que se encuentran en faena.			Visualización del estado en tiempo real de la flota completa por cada tipo de equipo.	Disponibilidad	%	porcentaje real / programado
					Utilización	%	porcentaje real / programado
	Capturar los signos vitales de los equipos.			Mostrar los niveles en que se encuentran los signos vitales respecto a los aceptables.	Niveles agua, combustible, aceite y batería	T°/Litros	niveles real / aceptables
	Monitoreo Productividad	Jumbo avance y fortificación	N° perforaciones realizadas	Mostrar los metros barrenados respecto a los faltantes para completar la meta.	Cumplimiento	%	metros real / programado
					metros barrenados	m	
		LHD	N° de baldeadas	Mostrar los metros cúbicos cargados respecto a los faltantes para completar la meta.	Cumplimiento	%	m3 real/ programados
					m3 cargados	m3	

Con los indicadores proporcionados por el monitoreo de los equipos, es posible ir controlando el trabajo realizado por los distintos equipos disponibles en tiempo real para cumplir con las metas propuestas. Los indicadores de disponibilidad y utilización de los equipos permiten ir controlando primero los equipos con los cuales se cuentan disponibles en tiempo real para realizar los distintos trabajos e ir controlando los equipos que se encuentran paralizados en tiempo real sin realizar las actividades asignadas. También es posible ir controlando los signos vitales de los equipos, asegurándose que se encuentren dentro de los niveles aceptables.

Por otro lado, en la *Tabla 3.4* se presentan los indicadores proporcionados por el monitoreo de las distintas frentes de trabajo:

Tabla 3.4. Indicadores claves de desempeño para el monitoreo de frentes.
Fuente: Elaboración propia, 2019.

Monitoreo	Captura de Datos	Procesamiento de Datos	Indicadores claves de Desempeño	Unidad de medida	
Frentes	Capturar hora inicio y termino de cada una de las act. Realizadas en la frente.	Mostrar el tiempo utilizado en cada una de las act. realizadas en una frente respecto a lo programado.	Cumplimiento Hora.	%	Cumplimiento de la hora de inicio y termino programado para cada act. / Hora real realizada la act.
			Cumplimiento Act.	%	Cumplimiento act. Programadas para el turno / Act. realizadas
			Utilización de tiempo	%	Cumplimiento del tiempo estimado para cada act. / tiempo real utilizado
			Adherencia al programa	%	Adherencia de los ejecutado respecto al programa.
			Tiempo del ciclo	horas	tiempo meta/ real
			Disparos	N°	real / meta

Los indicadores proporcionados por el monitoreo de las frentes permiten controlar básicamente, si las actividades programadas para una determinada frente se van cumpliendo de acuerdo con la programación y si estas se realizan en el horario y el tiempo programado. Además, es posible controlar algunas de las metas propuestas para el turno, como la cantidad de disparos realizados en tiempo real o el tiempo utilizado en el ciclo de avance.

Finalmente, en la *Tabla 3.5* se presentan los indicadores determinados para el monitoreo de personas:

Tabla 3.5. Indicadores de claves desempeños para el monitoreo de personas.
Fuente: Elaboración propia, 2019.

Monitoreo	Captura de Datos	Procesamiento de Datos	Indicadores claves de Desempeño	Unidad de medida	
Personas	Capturar el Ingreso de cada trabajador a la cada de cambio.	Proporcionar la dotación entrante al turno.	N° de Operadores	N°	Cant. de trabajadores con su respectiva especialidad / cant. Esperada.
			N° de Mineros	N°	
	Capturar la hora de inicio y termino de cada una de las act. Realizadas, incluso las detenciones y colación.	Ir conociendo en línea el tiempo perdido en detenciones.	Tiempo efectivo	horas / turno	Tiempo real / metas propuestas.
			Tiempo detenciones		
			Tiempo disponible		
	Capturar la presencia de trabajadores en distintas zonas de la faena.	Distribución de los trabajadores en distintas zonas	Tránsito del personal	%	% trabajadores cada una rango de tiempo

Con los indicadores proporcionados por el monitoreo de persona, primero es posible ir controlado la dotación entrante a cada turno, además es posible ir controlado el tiempo perdido por detenciones operacionales. También es posible ir controlando las distintas zonas en las que se encuentran los trabajadores durante el desarrollo del turno.

3.7. Tableros de Control

La información capturada, procesada y almacenada por el SML, logra ser visualizada en tiempo real a través de distintos tableros de control operativos proyectados en el CIC, los cuales permiten tomar mejores y más rápidas decisiones, al alertar sobre desviaciones operacionales presentadas durante el monitoreo de los equipos, de las personas y de las frentes. A continuación, se entregan algunas recomendaciones y propuestas sobre los tableros de control que debe poseer el SML y la información que deben proporcionar para detectar algún problema operacional que este generando un retraso en la programación y detenciones de las actividades programadas.

De acuerdo con los antecedentes presentados sobre los tableros de control, es importante que la información que estos son capaces de proporcionar sea precisa y que el encargado de controlar y tomar las decisiones se enfoque en la información importante, es por esto, que se recomienda tener un único tablero principal que permita controlar las desviaciones presentadas durante el desarrollo del turno y junto con otros indicadores proporcionados ir indagando en las causas de la desviación e ir desplegando nuevos tableros con la información necesaria.

Por lo tanto, en el tablero de control principal que se debe visualizar y monitorear constantemente desde la sala de control tiene relación con el monitoreo de las frentes de trabajo, ya que este será el principal indicador capaz de alertar la detención de alguna actividad programada para el turno, la cual es generada por algún problema operacional.

El tablero principal por un lado debe mostrar las distintas frentes de trabajo por cada uno de los niveles, donde se ha programado la realización de alguna actividad para el turno, proporcionando el porcentaje de las actividades realizadas en tiempo real en comparación con el porcentaje de las actividades programadas para el turno, para cada cierto intervalo de tiempo. Un retraso en el cumplimiento de las actividades programada para el turno permite alertar sobre un problema operacional que este generando la detención de alguna de las actividades programada para el turno, lo que a su vez va generando retrasos en la programación. Además, este tablero debe proporcionar información sobre la paralización de alguna cuadrilla o equipo, ya que esta información también permite alertar sobre algún problema operacional que está generando estas paralizaciones. Por otro lado, también es importante que se generen alertas de seguridad, ante algún evento sísmico de tal magnitud que se deba evacuar algún sector.

Además de acuerdo con la estrategia de solución presentada anteriormente, donde se plantea que para conseguir algunos de los objetivos propuestos por el SML para el Proyecto es necesario disminuir el tiempo perdido en detenciones operacionales y ocupar ese tiempo

en trabajos que aporten en el ciclo de avance, es por esto, que se propone además monitorear en este tablero de control principal el tiempo perdido, para ir controlado el tiempo y no sobrepasar las metas propuestas para este.

En la *Figura 3.22* se presenta un esquema de la propuesta del tablero principal que debe proporcionar el SML:

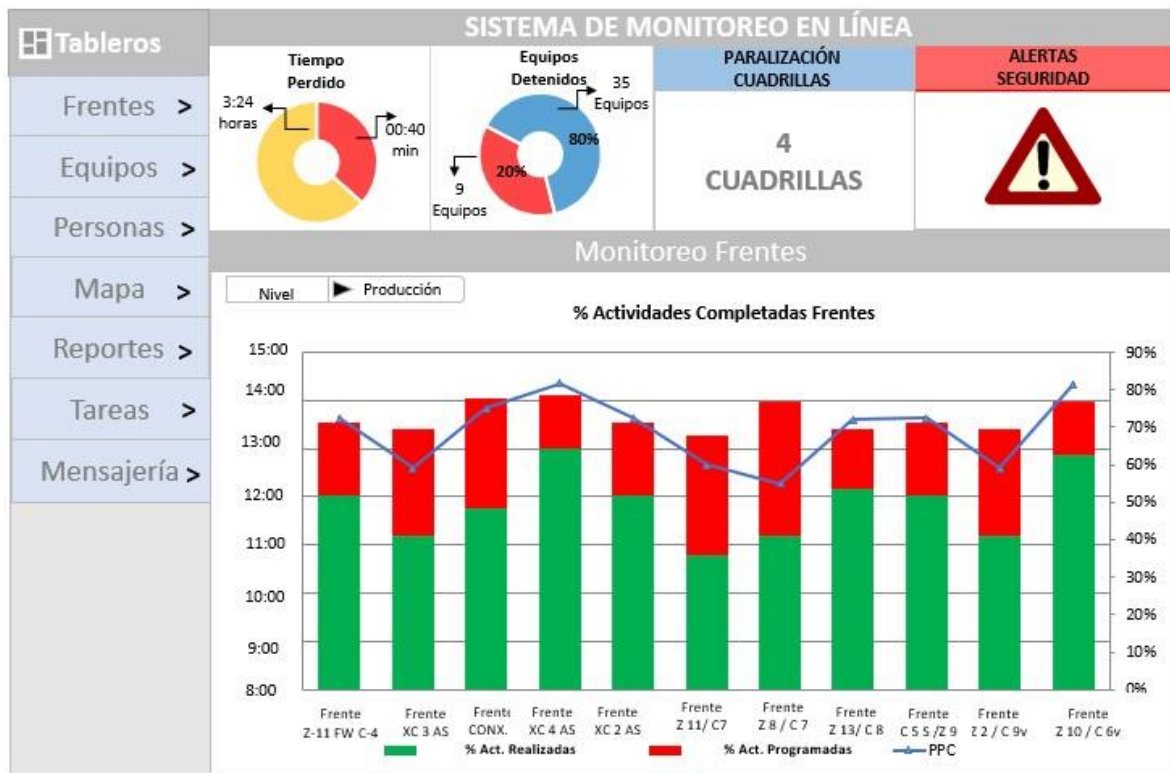


Figura 3.22. Propuesta del Tablero de Control principal que debe poseer el SML.
Fuente: Elaboración Propia, 2020.

Una vez identificada alguna desviación presentada a partir del tablero de control principal anteriormente propuesto, es necesario ir indagando en los distintos tableros proporcionados por el monitoreo de las frente, equipo y personas, para identificar el problema y poder realizar las gestiones necesarias.

CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este último capítulo primero se proporcionan algunas conclusiones obtenidas partir del desarrollo de este Trabajo de Título y se entregan algunas recomendaciones sobre la utilización de la información almacenada por el SML y sobre la extensión del SML para el resto del Proyecto.

4.1. Conclusiones

Debido a la competitividad de la industria minera y las complejidades presentadas en las obras de construcción subterráneas, a causa de las condiciones generadas por el método de explotación y la arquitectura presentada, es que se requieren del uso de nuevas tecnologías como el Sistema de Monitoreo en Línea, que le permitan mejorar su desempeño, alcanzando las metas propuestas, aprovechando los recursos disponibles, cumpliendo con los programas y plazos establecidos.

El Sistema de monitoreo en línea corresponde a una transformación digital, que permitirá mejorar la coordinación y la planificación de los turnos, tener un uso más eficiente de los recursos y disminuir las interferencias, a partir de la información proporcionada por el monitoreo de los equipos, frentes y personas. Se espera que la incorporación de este nuevo Sistema en el Proyecto permita aumentar la productividad de los trabajos de la preparación minera entre un 10 a un 20% gracias a este Sistema. Además, el Proyecto podrá mejorar comunicación entre el personal y aumentar la eficiencia.

El Sistema de Monitoreo en Línea, por si solo permite mejorar los problemas causados por la poca, equivocada y tardía información, al ser capaz de capturar datos en terrenos y entregar esta información en tiempo real, donde además el trabajo en conjunto con el CIC le permite asegurar un mejor flujo y accesibilidad a la información, pero es fundamental definir la información clave que debe captura, procesar, proporcionar y almacenar el SML, ya que de esta información depende el éxito de la implementación del SML para el Proyecto y conseguir los objetivos propuestos por este.

En este Trabajo de Título, se ha propuesto una estrategia de solución a los problemas identificados en las operaciones del Proyecto y que además permite conseguir los objetivos de la implementación del SML para el Proyecto, como el aumento de la productividad, la optimización de los recursos y aumentar los niveles de seguridad, a partir del mejoramiento de la planificación y coordinación de actividades, y del mejoramiento del uso y la disponibilidad de los recursos. Donde finalmente se ha concluido que, para obtener la información necesaria, que permita cumplir con los objetivos de la implementación del SML en el Proyecto, solucionar los principales problemas operacionales identificados y poder

abordar las oportunidades de mejoramiento identificadas, es necesario monitorear todos los equipos involucrados en el ciclo de avance, las personas que se encuentran en faena y las frentes trabajo.

4.2. Recomendaciones

Si bien el SML está dirigido para controlar las desviaciones operacionales presentadas durante el desarrollo de cada uno de los turnos, la información almacenada por SML también puede ser utilizada tanto a nivel táctico como estratégico. La información almacenada por el SML al finalizar el turno puede ser utilizada por la oficina técnica para revisar los avances obtenidos y desviaciones de cada actividad, controlando la producción obtenida.

Para futuros estudios se recomienda que con la información almacenada por el Sistema de Monitoreo en Línea y con los datos históricos obtenidos, se realizase un análisis predictivo de los datos, entregando tendencias y proyecciones. Lo que permitirá prever algún problema operacional presentado durante el turno o alguna necesidad futura.

Por otro lado, se recomienda ir extendiendo la implementación del SML en forma paulatina al resto de los contratos ejecutados por el Proyecto, los cuales tengan que compartir áreas, servicios, infraestructura y accesos ya que, al contar con más información sobre las distintas programaciones realizadas por los distintos contratos, es posible prever alguna interferencia generadas entre los distintos contratos.

Bibliografía

1. **CONSEJO MINERO.** Cifras actualizadas de la minería. [En línea] <<https://consejominero.cl/chile-pais-minero/cifras-actualizadas-de-la-mineria/>>.
2. **COMISIÓN NACIONAL DE PRODUCTIVIDAD.** *Productividad de la gran minería del cobre.* Santiago : Universitaria S.A., 2017. pág. 19.
3. **CODELCO.** Codelco Operaciones. [En línea] <https://www.codelco.com/prontus_codelco/site/edic/base/port/operaciones.html>.
4. **COCHILCO.** Producción Minera. [En línea] <<https://www.cochilco.cl/Paginas/Estadisticas/Bases%20de%20Datos/Producci%C3%B3n-Minera.aspx>>.
5. **VICEPRESIDENCIA DE PROYECTOS CODELCO.** *Plan de Desarrollo Alternativo de División El Teniente.* Rancagua : s.n., 2017.
6. **GERENCIA DE PROYECTOS ANDES NORTE.** *Contrato CC - 081 "Obras Mineras y Civiles Niveles Principales".* Rancagua : s.n., 2017. pág. 13, Base Técnicas.
7. **CODELCO.** Vicepresidencias. [En línea] 2019. [Citado el: 13 de Septiembre de 2019.] <https://www.codelco.com/vicepresidencias/prontus_codelco/2016-02-23/193700.html>.
8. **POZO, Rodrigo., DÍAZ, Gastón., MEDINA, Oscar.** *Centro Integrado de Construcción en Obras de Minería Subterránea, Proyecto Nuevo Nivel Mina Andes Nortes.* Santiago : s.n., 2016. pág. 3.
9. **PINO, Gabriel.** *Modelo de Toma de Decisiones Basado en Riesgo de Minería Subterránea Aplicado al Sistema de Manejo de Materiales de Proyecto Nuevo Nivel Mina .* Departamento de Ingeniería de Minas , Universidad de Santiago de Chile. Santiago : s.n., 2017. Tesis para optar al Título de Ingeniero Civil en Minas .
10. **MORALES T, Adolfo.** *Análisis de productividad laboral en obras de construcción en proyectos subterráneos de la División El Teniente.* Departamento de ingeniería de minas, Universidad de Chile. Santiago : s.n., 2016. Tesis.
11. **VICEPRESIENDECIA DE PROYECTOS CODELCO.** *Requerimientos de Productividad para Contratos Cuyo Encargo Comprenda Construcción y/o Montaje.* Codelco. 2018.
12. **MANSILLA C, Catalina.** *Cómo la Inteligencia Artificial e IoT están Revolucionando a la Industria Minera. La Tercera.* 31 de Enero de 2019.

13. *2nd CONFERENCIA MiningTech South America*. **OYARZÚN, Cristian., GÚZMAN, Rafael.** s.l. : Codelco, 2019. Uses IT in terms of drawing control and management.
14. **Kovacevic, Antonio.** ¡Cuidado con los KPI! *Clase ejecutiva El Mercurio y UC*. 5 de mayo de 2018.
15. **KEZNER, Harold.** *Project Management Metrics, KPIs, and Dashboards*. Third Edition . 2013.
16. **GEPRO .** *Diagnóstico de Productividad en base a mediciones en terreno*. Solicitado por SALFA MONTAJES. 2018.
17. **POZO, Rodrigo.** La INNOVACIÓN como elemento diferenciador en proyectos de construcción minera. *Modelo de innovación GOP*. Rancagua : s.n., marzo de 2019.
18. **Contreras, Jorge.** Presentación inducción geomecánica . *Gerencia de Operaciones*. 2019.
19. **VICEPRESIDENCIA DE PROYECTO CODELCO.** *Plan de Ejecución del Proyecto (PEP)*. 2017. pág. 7.
20. **VARAS, Fredy y Pozo, Rodrigo.** Planificación de la Construcción en Minería Profunda. Rancagua : s.n., 2018.
21. **POZO, Rodrigo.** *Análisis del impacto de actividad sísmica en programa de excavaciones de minería subterránea en ambientes de altos esfuerzos*. Proyecto Nuevo Nivel Mina, Pontificia Universidad Católica. Santiago : s.n., 2016. Tesis de Magister en Administración de construcción.
22. **Cortés, Matias Andrés Rubilar.** *ESTUDIO DE PRODUCTIVIDAD DEL CICLO DE DESARROLLO HORIZONTAL, PROYECTO NUEVO NIVEL MINA, EL TENIENTE*. Santiago : s.n., 2017.
23. **ZÜBLIN.** *Oferta Técnica CC-081 "Obras Mineras y Civiles Niveles Principales"*. Rancagua : s.n., 2019.
24. **LAGOS, Eduardo.** *Gestión Operativa del sistema de Despacho Estudio Técnico y Económico*. Departamento de Ingeniería de Minas , Universidad de Chile . Santiago : s.n., 2007. Tesis.

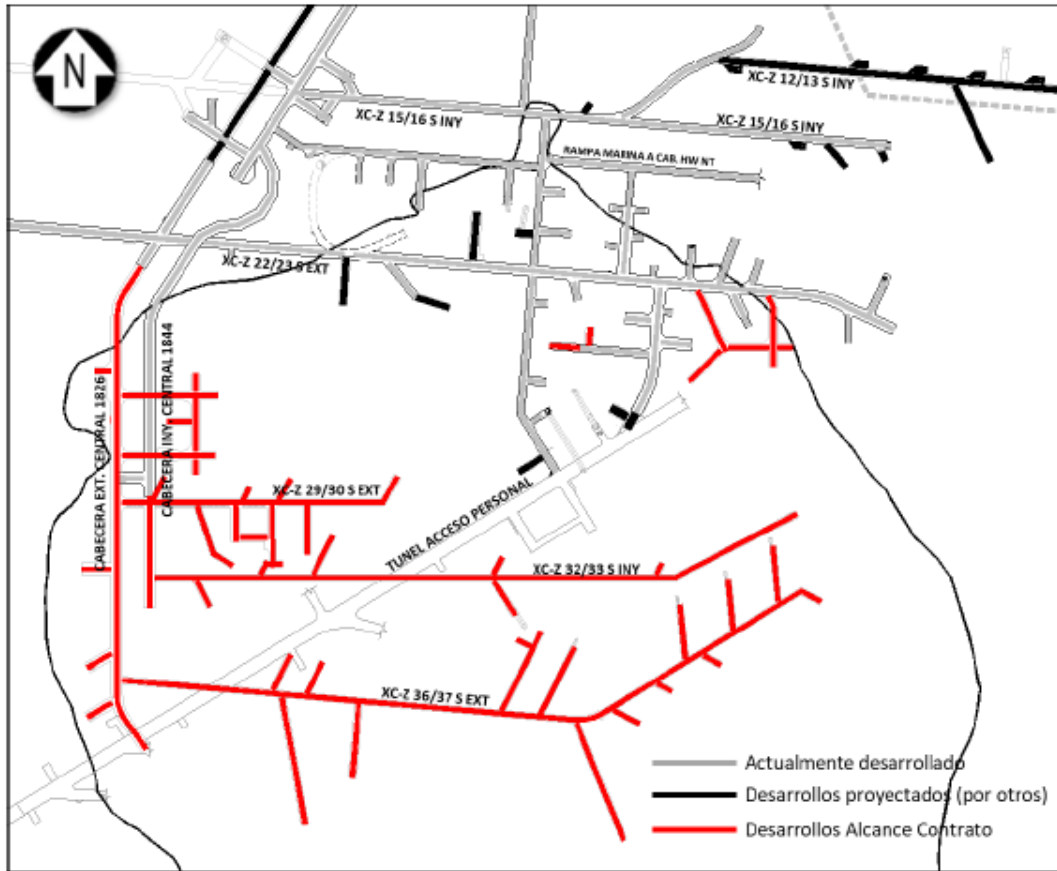


Figura A.5. Alcance de los desarrollos Horizontales en el sector de la Pipa en el Nivel de Ventilación.
Fuente: Gerencia de Proyectos Andes Norte, 2017 (6).

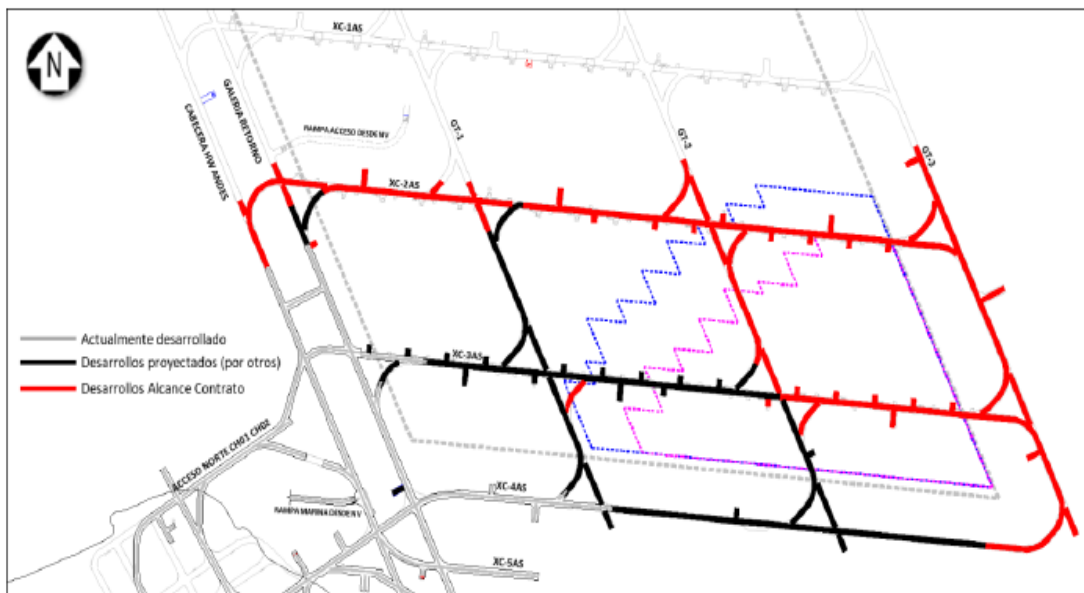


Figura A.6. Alcance de los desarrollos Horizontales en el sector del Footprint en el Nivel de Transporte.
Fuente: Gerencia de Proyectos Andes Norte, 2017 (6).

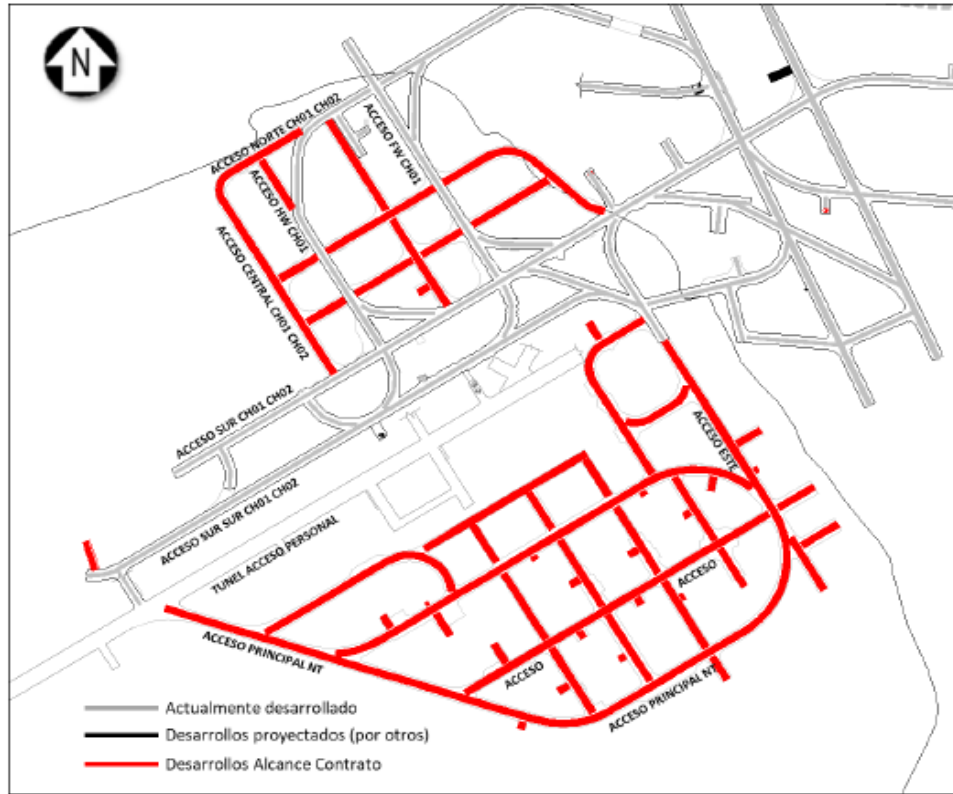


Figura A.7. Alcance de los desarrollos Horizontales en el sector de la Pipa en el Nivel de Transporte.
Fuente: Gerencia de Proyectos Andes Norte, 2017 (6).

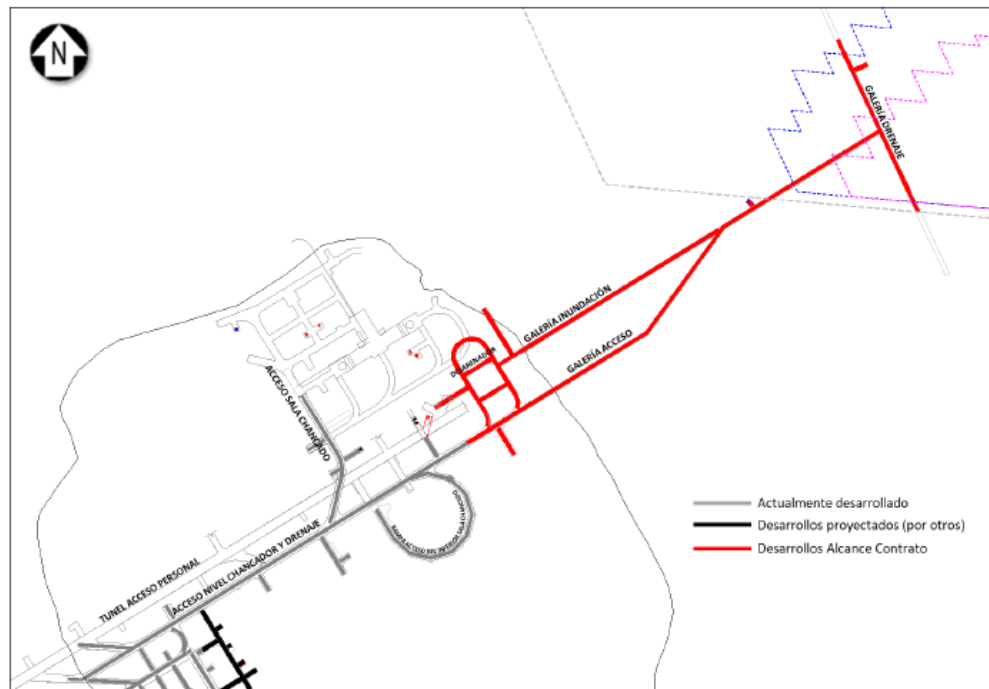


Figura A.8. Alcances de los desarrollos Horizontales en el Nivel de Drenaje.
Fuente: Gerencia de Proyectos Andes Norte, 2017 (6).

Anexo B . Sismicidad en las Obras de Construcción del Proyecto

Un evento sísmico corresponde a la ruptura súbita del macizo rocoso que libera energía en forma de ondas sísmicas producto del reacomodo de esfuerzos, que resultan de la actividad minera como el desarrollo de galerías en general, el método de explotación y la extracción minera. En la *Figura B.1* se muestra cómo la actividad minera puede generar eventos sísmicos al liberar energía.

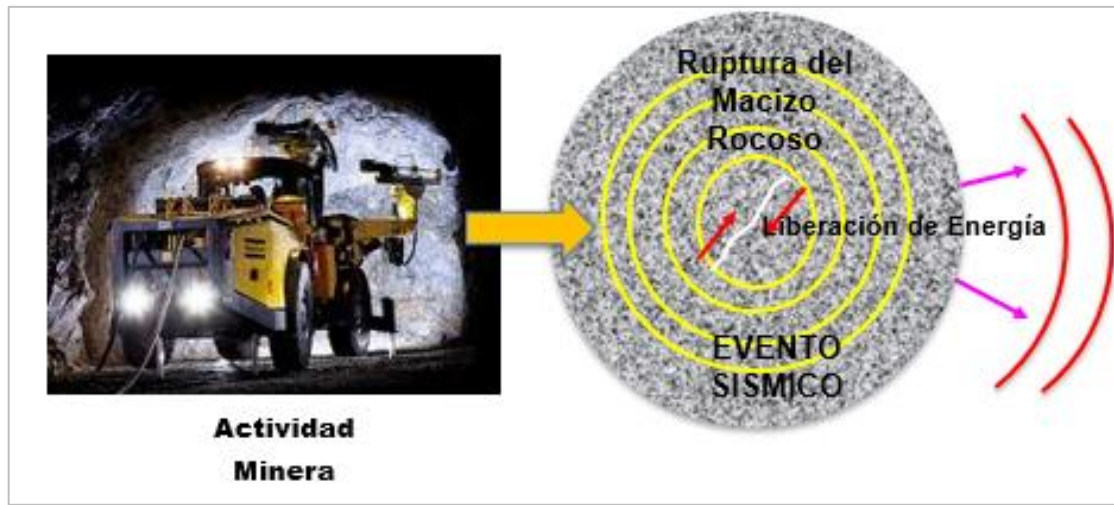


Figura B.1. Proceso de generación de sismicidad.
Fuente: Contreras, 2019 (18).

La sismicidad es parte de la minería profunda de la Mina El Teniente, asociada al método de explotación por hundimiento, específicamente a la propagación del “Caving” durante la etapa de explotación. Sin embargo, durante el Proyecto se ha presentado sismicidad en las excavaciones de las galerías de acceso y en las obras de los Niveles Principales, fenómeno inédito en esta mina. Se debe recordar que el Proyecto se localiza a gran profundidad, por lo que el esfuerzo litostático cobra gran relevancia, cabe destacar además que las obras se emplazan en roca primaria, la cual posee una alta dureza y grado de fragilidad, todas condiciones que favorecen la inducción de la sismicidad.

Un estallido de roca es la respuesta local de un evento sísmico, por lo que se deduce que para que esto ocurra se debe generar un evento sísmico de tal magnitud que las ondas generen la ruptura y proyección instantánea del macizo rocoso, sobrepasando las características de disipación de la energía del sistema de fortificación. Además, acorde a la definición, este fenómeno, debe causar daños a la fortificación, maquinaria, personal o bien causar la detención de la producción o del ciclo de desarrollo según corresponda, pudiéndose categorizar el grado de perjuicio generado por el evento (18).

Durante el desarrollo del Proyecto ocurrieron cuatro estallidos de roca, uno de ellos con consecuencia fatal, lo cual retrasó e incluso paralizó la construcción del Proyecto, por lo que se debió realizar una validación de la constructibilidad. En este sentido se estudiaron numerosas estrategias de cómo administrar el riesgo sísmico, de tal forma de poder reiniciar la excavación y fortificación de las obras en construcción. La estrategia de validación de la constructibilidad del Proyecto se basa en los siguientes pilares:

- **Fracturamiento hidráulico:** Esta técnica consiste en efectuar perforaciones de sondajes desde un nivel superior e inyectar agua a presión generando fracturas en la roca que permitan mejorar la energía acumulada en el macizo rocoso circundante. Se ha probado que en general la aplicación de esta técnica es positiva y se consigue mejorar en un orden de cincuenta por ciento la condición de los esfuerzos en el macizo, y con ello disminuir la frecuencia y energía de los eventos sísmicos que pueden afectar una galería en desarrollo, por lo que la nueva metodología de avance establece preparar todo el sector del “Footprint” con Fracturamiento hidráulico de forma ascendente sobre el nivel de hundimiento y de forma descendente bajo el nivel de producción para proteger la infraestructura del sector productivo. Además, se realiza fracturamiento hidráulico en los túneles TC, TAP Y Adits de ventilación. En la *Figura B.2* se observan los distintos sectores establecidos para desarrollar fracturamiento hidráulico en el Proyecto.

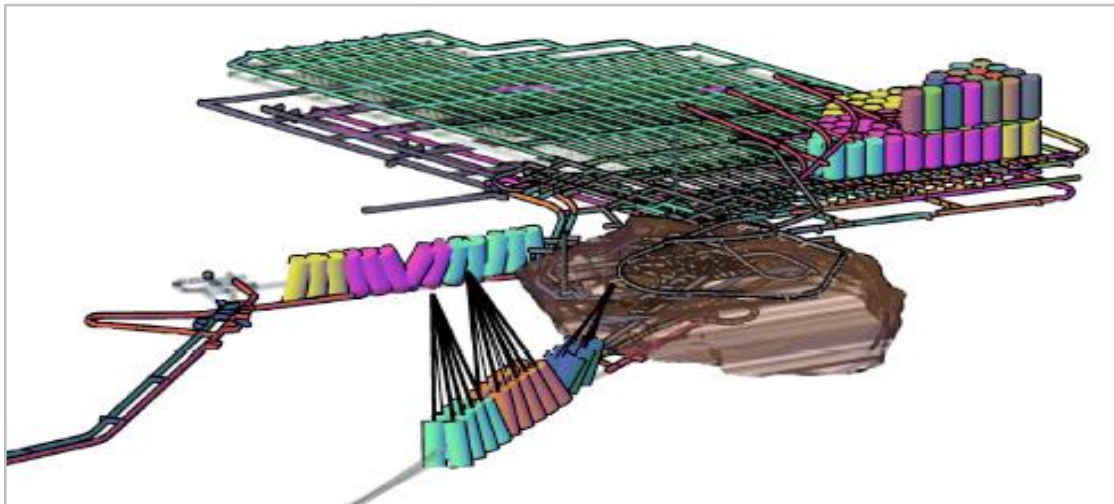


Figura B.2. Sectores de Hidrofracturamiento del PNNM-AN.

Fuente: Vicepresidencia de Proyectos, 2017 (19).

- **Destress Blasting:** Esta técnica consiste en una modificación del entorno de la frente de avance por medio de perforaciones que van por delante del disparo de avance, y cuyas perforaciones son cargadas con explosivos para ser detonadas instantáneamente antes que salga la tronadura de la primera perforación del diagrama de disparo. No existe aún un concepto teórico probado con esta técnica, la mayoría de los lugares donde se utiliza se mantiene un registro de resultados empíricos. Sin perjuicio de lo expuesto, en las excavaciones del Proyecto donde se ha aplicado la técnica se ha observado una mejor respuesta sísmica post tronadura (20).
- **Robustecimiento de la Fortificación:** Este robustecimiento de fortificación consiste en el mejoramiento de la calidad de los elementos de fortificación y la utilización de nuevos elementos. En el Proyecto se mejoró la calidad de los aceros de pernos y conjunto planchuela tuerca. Además, se aumentó el diámetro de los pernos de 22 mm a 25 mm y se aumentó el espesor a 10 mm de las planchuelas. También se cambió la malla de fortificación a una romboidal de 4mm de calibre y con una mayor capacidad de disipación de energía.
- **Mecanización y Telecomando de las actividades del ciclo de avance:** Con el fin de disminuir al mínimo el riesgo de accidentes y evitar la exposición del personal hacia el entorno intrínsecamente sísmico, se ha optado por la realización de la mayor cantidad de actividades mediante la utilización de maquinaria especializada, aplicando a ello el Telecomando o control remoto como mecanismo de operación de equipos.
- **Sistema de Monitoreo Sísmico:** Consiste en incorporar más estaciones de monitoreo sísmico (geófonos) otorgando mayor cobertura a frentes con mayor riesgo sísmico. Se han establecido protocolos de riesgo sísmico para evacuación y reingreso en caso de condiciones adversas. Además de establecer una nueva metodología de alerta sísmica tipo semáforos, que indican el nivel de riesgo sísmico en tiempo real.
- **Ingreso a la Frente Post Tronadura:** Reestructuración de los protocolos de pre y post tronadura, estableciendo el criterio de aislación, el cual corresponde básicamente a la prohibición de acceso al frente de trabajo hasta la estabilización de la actividad sísmica circundante; cuyo estado de desequilibrio es producido por la tronadura respectiva. Se definen tiempos de reingresos mínimos contabilizados a partir de efectuada dicha operación; este lapso se define mediante análisis estadísticos del

comportamiento de los eventos sísmicos acontecidos en las proximidades del frente con posterioridad a la tronadura. Los tiempos de aislaciones post tronaduras, fluctúan entre las 1 y 48 hora según corresponda. Como regla general se tiene que para las obras de los Niveles Principales en el sector del “Footprint” dicho periodo varía entre 1 a 3 horas, esto según el polígono de sismicidad en que se encuentre la frente a tronar. Para el caso de los desarrollos de túneles de acceso personal, túnel correa y Adits de ventilación, la aislación considerada fluctúa entre 12, 24 o 36 horas según señale el área geomecánica del Proyecto.

- **Restricciones Geomecánicas:** El área geomecánica del proyecto luego de estudiar y simular la alteración de los esfuerzos, generó algunas restricciones respecto a la realización de actividades simultáneas en frentes próximas entre sí, con el objetivo de evitar la sinergia de esfuerzos inducidos que puedan generar sismicidad y/o estallidos de roca:
 - No se podrán realizar tronaduras simultáneas en un halo de 50 metros en todas las direcciones respecto a la posición del frente.
 - No se podrán realizar estocadas hasta que el frente de la galería inicial esté distanciado a lo menos 15 metros del punto de inicio de la futura intersección.

B.1. Control del Riesgo Sísmico

La sismicidad, en el PNNM - AN se registra a través de una red de geófonos, herramientas que conforman parte del sistema de monitoreo sísmico de la DET. Dicho sistema permite estimar el punto de inicio de la ruptura, denominado foco, junto con los parámetros geofísicos característicos, como magnitud local y energía liberada.

El principio de funcionamiento del equipo consiste en detectar la ruptura del macizo rocoso, que, producto de este evento produce ondas elásticas de forma radial que viajan a través de él, ondas que son detectadas por las diferentes estaciones sísmicas, para luego transferir esta información en el sistema central de monitoreo sísmico, teniendo la posibilidad de visualizar los resultados de manera global a través del sitio web del sistema sísmico El Teniente (21). En la *Figura B.3* se presenta un esquema de registro de eventos sísmicos, a partir de los sensores sísmicos instalados en distintos sectores.



Figura B.3. Sensor Sismico y esquema de registro de eventos de la DET.
Fuente: Pozo, 2016 (21).

El control de las excavaciones en el PNNM - AN, se realiza a través del monitoreo de las áreas divididas en los llamados polígonos de control del riesgo sísmico. La *Figura* , muestra la distribución en planta de los diferentes polígonos que cubren las obras del Proyecto. Cada polígono se define tanto por la litología que lo compone, como por su comportamiento geomecánico esperado.

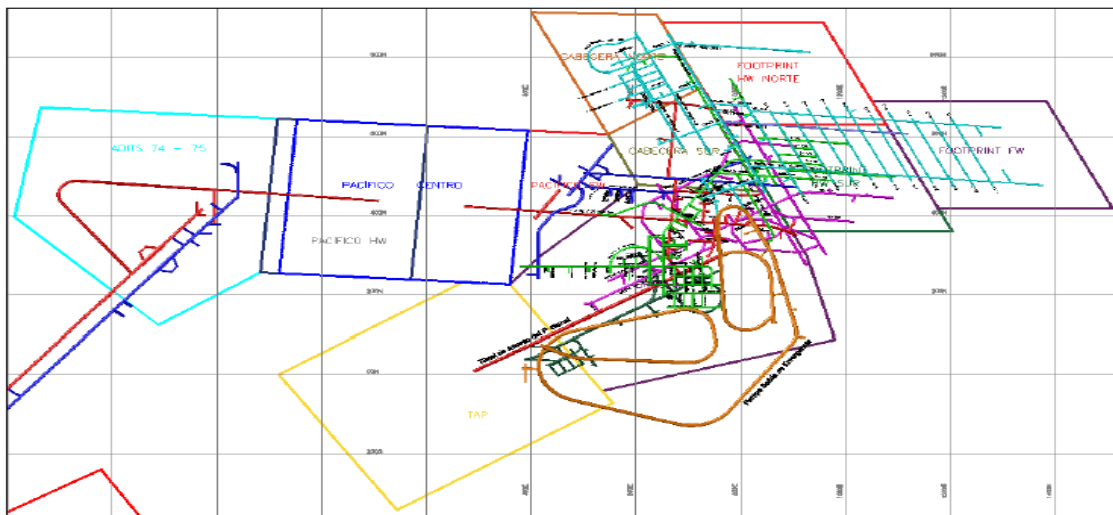


Figura B.4. Polígono de sismicidad definidos para el PNNM-AN.
Fuente: Rubilar, 2017 (22).

En relación con el tipo de escenario sísmico, se establece un sistema de semaforización que regula las operaciones en un determinado polígono de control. Este varía en función de la frecuencia e intensidad de la actividad sísmica circundante e indica el nivel de riesgo en

función de la actividad sísmica presentada, información que es entregada en tiempo real. En la *Figura B.5* se muestran las distintas restricciones tomadas de acuerdo con los distintos escenarios sísmicos representados en la semaforización.

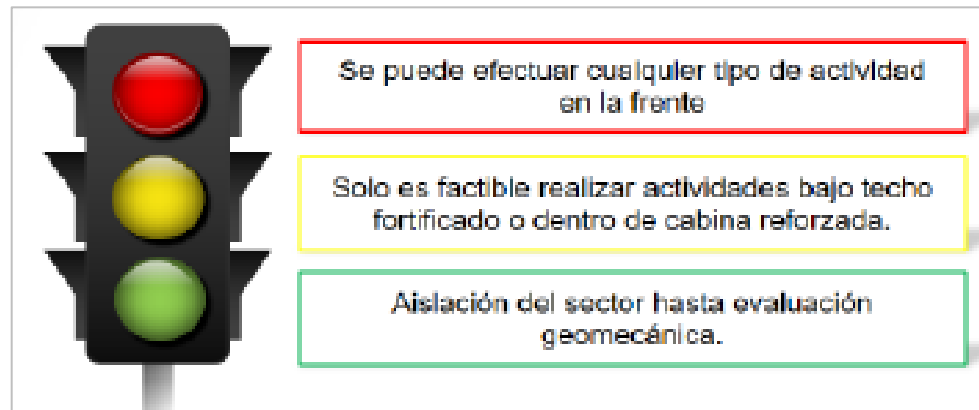


Figura B.5. Sistema de semaforización por sismicidad en excavaciones.

Fuente: Rubilar, 2017 (22).

Anexo C . Contratos Proyecto

El Proyecto Nuevo Nivel Mina Andes Norte es ejecutado a través de diversos contratos de obras, los cuales abarcan la totalidad del alcance físico, en la siguiente figura se muestra la totalidad de contratos por realizar en el Proyecto.

Andes Norte-Nuevo Nivel Mina / Corredor de Ingeniería MAPA DE CONTRATOS DE OBRAS				Rev. L / 15-05-2018		
OBRAS INTERIOR MINA		SIST. DE MANEJO DE MINERAL			INFRAESTRUCTURA GENERAL Y SERVICIOS	
OBRAS MINERAS E INFRAESTRUCTURA MINERA	CC-081	EPC-103	CC-085	CC-084	CC-087	Habilitación Acceso P4600 y TAP
	Obras Mineras y Civiles Niveles Principales	Telecomando Martillos, Buzones y CCV	Obras Mineras Sistema de Chancado	Obras Mineras Túnel Correa por PK0		
	CC-093	CC-104	CC-090	CC-087	EPC-102	Habilitación Casa de Cambio La Junta
	Construcción y Montaje Infraestructura Mina	Automatización LHD	Construcción y Montaje Planta de Chancado Primario	Saneamiento y Movimiento de Tierra Complementario SMMId		
	BOT-114	EPC-105	CC-088	CC-086	CC-117	Construcción Casa de Cambio La Junta 2
SISTEMAS TICA INTERIOR MINA		Automatización Camiones	Construcción y Montaje SEE Confluencia	Construcción y Montaje Correos Transporte Mineral y Habilitación Túnel TC		
SEM	BOT-115	EPC-106		CC-086	CC-086	Obras Mineras TAP - XC 15/16, Ventilación TC-TAP y Montaje V75
	Construcción y Operación Instalación para Suministro de Hormigones	Sistemas Apoyo a Operación Mantenimiento y Seguridad		Construcción Puente Correa CV-02		
	CS-250	EPC-113			EPC-100	Sistema de Comunicaciones Fijas Tramo Edificio 186 Colón bajo - SITE Sur Edificio 351
TRANSVERSAL	Servicios de Perforación e Hidrofracturamiento	Sist. de Comunic. Fijas Tramo Sala de Datos y Comunic. (SDYC) NP - Sala de Equipos Interior Mina			CC-101	Ampliación y Habilitación Edificio 351
	CC-091	EPC-107	Sistema de Radiocomunicaciones			
CC-098	Construcción y Montaje SEE TTS y red de Distribución Interior Mina					
TRANSVERSAL			CC-108			Obras Miscelaneas y Terminaciones Superficie

Figura C.1. Mapa de contratos de obras para el Proyecto Nuevo Nivel Mina Andes Norte.
Fuente: Vicepresidencia de Proyectos, 2017 (5).

Anexo E . Clasificación de actividades del Muestreo de Trabajo

Las actividades realizadas durante la jornada de trabajo son clasificadas en distintas categorías, como en trabajo productivo (TP) que son todas las actividades que aportan directamente en el ciclo de avance, trabajo contributivo (TC) son todas las actividades que aportan para que puedan ejecutarse las actividades del ciclo de avance y trabajo no contributivo (TNC) que son todas las actividades que no aporta en ningún sentido al trabajo productivo.

Tabla E.1. Clasificación de las actividades realizadas durante la jornada de trabajo.
Fuente: Elaboración propia (2019)

Desglose de la jornada	Muestreo de Trabajo		
Charlas	TC		
Colación	TNC		
Coordinación	TC		
Esperas no Programadas	TNC		
Traslados	TC		
Tiempo disponible de Trabajo	TP	TC	TNC

Durante el tiempo disponible de trabajo se realizan distintas actividades, como las del ciclo de avance u otro tipo de actividades que aportan para obtener metros de avance, además durante este tiempo disponible ocurren contingencias e imprevistos que no permiten iniciar o continuar con las actividades programadas para el turno generando esperas. A continuación, se muestra una tabla de las distintas actividades realizadas, clasificadas en las categorías TP, TC o TNC:

Tabla E.2. Clasificación de las actividades realizadas durante el tiempo disponible de trabajo.
Fuente: Elaboración propia (2019)

Actividad	Trabajo Productivo	Trabajo Contributivo	Trabajo No Contributivo
Perforación de avance	Perforación de avance	Marcar la Frente	Esperas
		Posicionamiento de Equipo	
		Retiro de Equipo	

Actividad	Trabajo Productivo	Trabajo Contributivo	Trabajo No Contributivo
Carguío de explosivos y tronadura	Colocación de explosivos	Posicionamiento equipo	Esperas
	Inyección		
	Colocación y amarre de mecha	Retiro de Equipo	
	quema de disparos		
Ventilación y Chequeo		Chequeo de Gases	Espera por ventilación
Extracción Roca Fragmentada	Recoger material	Posicionamiento LHD	Esperas
	Cargar Material	Posicionamiento camión	
		Traslado marina frente-botadero	
Acuñadura y Limpieza	Acuñadura	Posicionamiento acuñador	Esperas
	Limpieza	Retiro acuñador	
		ingreso LHD	
Geología y Topografía	fotogrametría	Marcaje de puntos	Esperas
		Mapeo geológico	
Shotcrete	Proyección de shotcrete	Posicionamiento de Equipo	Esperas
		Tiempo de fraguado	
		Limpieza de Equipo	
		Carguío de shotcrete	
Perforación de Pernos	Perforación	Marcar puntos	Esperas
		Posicionamiento Jumbo	
		Retiro de equipo	
Lechado de Pernos	Inyección de cemento	Tiempo de fraguado	Esperas
		Instalación de jaula	
		Retiro de Equipo	
Colocación Malla	Instalación de Malla	Posicionamiento Grúa	Esperas
	Instalación de Pernos	Retiro de Equipo	

Anexo F . Metodología para determinar las causas de detenciones

Para poder realizar el análisis de las causas de tiempo perdido por detenciones de las actividades programadas para el turno, se utilizaron los datos capturados en terreno por personal especialista, los cuales realizaron un seguimiento a las cuadrillas mineras registrando cada una de las detenciones de las actividades presentadas durante el desarrollo del turno, registrando además la duración del tiempo perdido y clasificando las causas de las detenciones en distintas categorías. La metodología utilizada para analizar los datos capturados consiste en considerar la frecuencia de ocurrencia y el tiempo promedio de tiempo perdido por cada causa, obteniendo así el tiempo acumulado por cada causa durante un determinado periodo de tiempo:

$$\text{Frecuencia de Ocurrencia} \times \text{Tiempo Promedio (min)} = \text{Tiempo Acumulado (min)}$$

Esta metodología permite considerar las causas que han generado mayor impacto en la pérdida del tiempo por problemas operacionales. En la siguiente tabla se muestran las causas que generaron pérdida de tiempo en las operaciones mineras del Proyecto durante los meses de agosto a noviembre de 2018:

Tabla F.1. Causas de Detención utilizando metodología propuesta.

Fuente: Elaboración propia (2019)

Causa de detención	Frecuencia de ocurrencia	Tiempo promedio perdido (min)	Tiempo Acumulado (min)
Falla de Equipo	61	65	4003
Planificación	81	49	4003
Coordinación	60	48	2854
Operación de equipo	47	40	1858
Comunicación	29	50	1439
Disponibilidad de Equipos	19	58	1096
Coordinación de Equipo	21	48	1006
Abastecimiento Materiales	31	31	968
Servicios	32	24	781
Electricidad	22	35	768
Mano de Obra	9	78	699
SSOMA	22	20	428
Herramientas	13	31	406
Ventilación	7	47	329
Cliente	22	13	287
Reproceso	10	22	217
Subcontrato	2	35	70
Sismicidad	3	23	68

Anexo G . Distribución de Tiempos Asarco

La Norma Asarco (American Smelting & Refining Co.) es el marco de referencia utilizado para la definición de conceptos y distribución de tiempos en que el equipo, maquina o instalaciones incurren durante la operación, se utiliza para las operaciones en sí y en los sistemas de despacho de datos. Se clasifica y describe en detalle cada uno de los estados en que se encuentran los equipos en operación durante un periodo determinado de tiempo. La distribución y la descripción de estos se muestra a continuación:

Tabla G.1. Escala de tiempos según Norma Asarco.
Fuente: Lagos Eduard, (2007) (24).

NOMINAL				
DISPONIBLE				MECÁNICA
OPERATIVO			RESERVA	
EFFECTIVO	DP	DNP	PO	

- **Nominal:** Tiempo durante el cual el equipo se encuentra físicamente en faena.
- **Fuera de Servicio:** Espacio de tiempo en que los equipos se encuentra fuera de servicio o no disponible, ya sea, por una mantención programada o imprevistos de tipo mecánico o eléctrico.
- **Disponible:** Tiempo en que el equipo está habilitado y en buenas condiciones electromecánicas para operar.
- **Reserva:** Es aquel tiempo en donde el equipo estando en condiciones mecánicas de operación no es utilizado en labores productivas, ya sea por falta de operador o superávit de equipo en ese momento.
- **Operativo:** Corresponde al tiempo que el equipo se encuentra operando en faena (con operador).
- **Efectivo:** Tiempo que el equipo se encuentra realizando labores puras de producción. Realiza tarea para la que fue adquirido.
- **DP:** Tiempo de detención Programada, Cambios y Medios Turnos
- **DNP:** Tiempo de Detención No Programada, principalmente petróleo y acomodos o limpiezas.
- **PO:** Tiempo de Pérdidas Operacionales, en donde el equipo se encuentra detenido con operador, pero no es posible realizar la actividad programada.

G.1. Definición Indicadores de Gestión Operacional de los Equipos

% Disponibilidad: Es el porcentaje de horas nominales en que el equipo estuvo en condiciones mecánicas y/o eléctricas de ser operado.

$$\% Disponibilidad = \frac{Horas Nominales - Horas reparación y mantención}{Horas Nominales} * 100$$

% Utilización (Base Nominal): Es el porcentaje de horas nominales en que el equipo, se encuentra realizando trabajo efectivo.

$$\% Utilización = \frac{Horas Efectivas}{Horas Nominales} * 100$$

% Utilización Efectiva (Base Disponible): Es el porcentaje de horas disponibles en que el equipo se encuentra realizando trabajo efectivo.

$$\% Utilización (Base disponible) = \frac{Horas Efectivas}{Horas Disponibles} * 100$$

% Utilización Operativa: Es el porcentaje de horas disponibles en que el equipo se encuentra operativo.

$$\% Utilización Operativa = \frac{Horas Operativas}{Horas Disponibles} * 100$$

% Factor de Utilización: Es el porcentaje de horas operativas en que el equipo se encuentra efectivo.

$$\% Factor de Utilización = \frac{Horas Efectivas}{Horas Operativas}$$