

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE METALURGIA Y MATERIALES

SANTIAGO – CHILE



*“MEJORAMIENTOS DE CICLOS OPERATIVOS EN LA CONSTRUCCIÓN
DE TÚNEL EN AMBIENTE DE RIESGO SÍSMICO MEDIANTE APLICACIÓN
DE FILOSOFÍA LEAN”*

PRESENTADO POR

DIEGO ANTONIO CORDERO CÁCERES

MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL DE MINAS

PROFESOR GUÍA

ING. VICTOR ENCINA

PROFESOR CO-GUÍA

ING. CARLOS MUÑOZ

SANTIAGO, SEPTIEMBRE 2021

AGRADECIMIENTOS

En primera lugar, quiero agradecer a las personas que hicieron posible el sueño de ser un Ingeniero, mis Padres Juan Carlos y Solange, que pese a todos los problemas que tuvimos que pasar los primeros años de universidad nunca bajaron los brazos y siguieron luchando para tener la posibilidad de convertirme en un profesional. También agradezco a mis hermanos Cristóbal y Camilo, que con sus locuras y juegos me hacían olvidar por un rato el estrés universitario y de los viajes en Bus todos los días para llegar a la USM – Campus San Joaquín. Otro pilar fundamental dentro de estos años y en realidad toda mi vida, son mis abuelos, Nano y Cotty que siempre confiaron en mis capacidades y me daban el apoyo necesario para no bajar los brazos en los tiempos de cansancio y me ayudaron en todo momento en lo que necesitara. También, sé que están muy orgullosos mi abuela Quena, y obviamente, en el lugar que este descansando, mi tata Ángel, que siempre fue muy preocupado por mí y lucho por que la familia saliera adelante.

También, debo agradecer a mi padrino Miguel, y al que se comportó como mi segundo padrino, Freddy, que siempre me llamaron para saber cómo iba, si necesitaba algo, me daban ánimo para seguir luchando por ser un profesional, y nunca me dejaron de lado.

Agradezco también, a una persona que llego después de 3 años de universidad, mi polola Flavia, que es un apoyo incondicional en todo aspecto, no solo en lo referente a mis estudios, sino que por cualquier situación complicada que he pasado siempre ha estado para mí y me ha enseñado muchas cosas, me ayudo a madurar, y a no bajar los brazos cuando las cosas no salen como uno espera y que todo llega en el momento perfecto.

Agradezco a toda mi familia en general, tíos, primos, etc, que siempre me preguntaron cómo estaba en la universidad, se preocupan por mí y por mi familia, dan un mensaje de apoyo, etc.

También agradezco a mis amigos, que los cuento con la palma de una mano, ellos saben quiénes son, por los fines de semanas que salíamos a despejarnos, pero por, sobre todo, estar en cada etapa y momento complicado que he tenido que pasar. Igualmente, agradezco a mis compañeros de universidad, al grupo “The rial minero” por apoyarnos cuando se debía, por ganar la copa minera, y porque estoy seguro que todos seremos unos grandes profesionales.

Agradezco a la universidad Federico Santa María, por abrirme las puertas para estudiar la ingeniería civil que siempre quise, obviamente, agradezco a mis profesores del departamento de Minería por ser unos grandes profesionales que quieren formar a los mejores mineros no solo en conocimiento, sino que también como personas con valores, con ganas de seguir desarrollándose, etc, en especial a don Victor Encina, por ser el profesor guía de mi memoria. Finalmente, agradezco a Don Patricio Martínez por ser un gran apoyo desde que ingrese a realizar mis prácticas mineras, siempre estuvo disponible para cualquier duda, problema, apoyo, para enseñarme, y por darme la posibilidad de realizar esta memoria de título. Agradezco también, a Don Carlos, por ser el guía de mi memoria, porque ha tenido la disponibilidad que en estos tiempos esta tan escasa, pero siempre se hizo un tiempo para poder desarrollar de excelente forma mi trabajo de título. Muchas gracias.

“Dedicado a toda mi familia, en especial a mis padres, hermanos y abuelos, por el apoyo incondicional en cada una de las etapas vividas y el amor entregado en todo momento”

RESUMEN

La profundización progresiva de las reservas minerales explotados a lo largo del mundo ha llevado consigo un sinnúmero de desafíos tecnológicos y de ingeniería que permitan alargar la vida útil de las minas manteniendo la producción de estas a un costo operativo competitivo. En particular, la mina El Teniente de Codelco, Chile, no ha sido la excepción, por lo que la empresa estatal ha decidido generar un plan maestro que permita mantener el régimen de producción de 135 ktpd por aproximadamente otros 50 años, donde dicho plan es denominado como “Proyecto Nuevo Nivel Mina”. Sin embargo, las complejidades constructivas presentadas durante la ejecución del proyecto, subyugadas principalmente por la condición de altos esfuerzos del macizo rocoso, han obligado a la corporación a reestructurar por completo el mismo, debido a que ocurrieron una gran cantidad de incidentes y accidentes ocasionados principalmente por la presencia de sismicidad inducida, fenómeno que particularmente al interior del proyecto generó estallidos de roca de gran magnitud, ocasionando daños materiales, lesiones e incluso víctimas fatales.

Entonces, la problemática que se trabajó en la memoria, se basa en que el ciclo operativo de avance se completa en un tiempo excesivo para el nivel de tecnología y equipos de fortificación utilizados. Es por esto, que se realizó un estudio de los rendimientos de las frentes con sus respectivos componentes operacionales para lo cual se utilizó la metodología *Lean Construction* que se orienta hacia la administración de la producción en construcción y su objetivo principal es reducir o eliminar las actividades que no agregan valor al proyecto y optimizar las actividades que sí lo hacen.

Por lo tanto, se realizó el análisis para tres frentes del proyecto de lo que se pudo obtener que las principales interferencias se relacionaban al cambio de turno, a la eficiencia de disparo y al Jumbo Boltec fuera de servicio. Entonces se logró mejorar los ciclos operativos disminuyendo en un 56% el tiempo de cambio de turno implementando el “manilla a manilla” en frente 3, también se mejoró en un 13% la eficiencia del disparo en frente 2 junto con una disminución en el tiempo de operación unitaria y de tiempos fuera de servicio del equipo de perforación y finalmente se deja planteada una propuesta de mejora con relación a la interferencia de Jumbo Boltec fuera de servicio para que pueda ser tratada en futuras instancias con el fin de seguir el mejoramiento continuo de las operaciones del proyecto.

ABSTRACT

The progressive deepening of the Explored Minerals Reserve through Worldwide have been the motor of new technological and engineering develop to lengthen the useful life of mines keeping the production and the operatives cost as competitive as the industry. El Teniente, it hasn't been the exception, the Chilean State mining Codelco has designed a master plan for keeping the production at 135 kptd for the next 50 years, this plan is "New Mine Level". Nevertheless, the uncovered conditions into the building process, has faced the conditions of the hard rock mass forcing the company to remodel the initial plan as result of the incident and accident triggered for the big magnitude of rock blasting causing Induced Seismicity bringing about materials and humans damage with some case of fatal results.

The case develop in this work is based in the operative cycle of fortification and blast rock result too long considering the level of technology and the quality of fortification equipments used. Due to, this work is a complete study of the performance of the operational components using "Lean Construction" methodology focused to the management of the building production and its main goal is reduce or delete the idle resource and optimize the resources getting its highest capacity.

Summarizing, the three main issues discovered in this work are work shifting, the blasting shooting and the usual out of service of Jumbo Boltec. This work shows the improvement of operating cycle reducing in 56% the working shift gotten by "manilla a manilla" way in front 3. Also, the blasting shooting was improved in a 14% of efficiency in the front 2 decreasing the operational unit of time and the out of service of the deepening equipment. Finally, was proposed the enhance of out of service of the Jumbo Boltec for a continuous improvement quality program for future projects.

GLOSARIO

Conceptos	Definición
Codelco	Por sus siglas Corporación Nacional del Cobre, es la empresa estatal chilena dedicada a la explotación minera cuprífera.
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.
PAN - NNM	Proyecto Andes Norte – Nuevo Nivel Mina
TC	Túnel Correa
TAP	Túnel Acceso Personal
OIM	Obra Interior Mina
XC	Cruzado
DET	División El Teniente, mina perteneciente a codelco
Pk	Punto kilométrico de ubicación en interior del túnel

Índice de Contenidos

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.	Contexto.....	1
1.2.	Justificación del Estudio	2
1.3.	Objetivos.....	4
1.3.1.	Objetivo General.....	4
1.3.2.	Objetivos Específicos	4
1.4.	Alcances	4
2.	Antecedentes Generales.....	5
2.1.	Codelco - División El Teniente.....	5
2.2.	Descripción del PAN – NNM.....	7
2.2.1.	Ubicación de las Obras del Proyecto	9
3.	Marco teórico.....	10
3.1.	Desarrollos Horizontales.....	10
3.1.1.	Ciclo de Avance de Túneles	10
3.2.	Equipos Principales.....	13
3.3.	Índices de Productividad.....	14
3.3.1.	Diagrama de Tiempos.....	15
3.3.2.	Indicadores Mecánicos y Operacionales	15
3.3.2.1.	Confiabilidad.....	15
3.3.2.2.	Mantenibilidad	16
3.3.2.3.	Disponibilidad Física (DF):.....	16
3.3.2.4.	Disponibilidad Mecánica (DM)	17
3.3.2.5.	Índice de Utilización Efectiva (U)	17

3.3.2.6.	Aprovechamiento (A).....	17
3.3.2.7.	Rendimiento (R).....	17
3.4.	Fortificación.....	18
3.5.	Metodología Lean	19
3.5.1.	Contexto	19
3.5.2.	Principios Lean.....	20
3.5.2.1.	Valor.....	20
3.5.2.2.	Flujo de valor o cadena de valor	20
3.5.2.3.	Flujo	21
3.5.2.4.	Pull	21
3.5.2.5.	Perseguir la Perfección.....	22
3.5.3.	Pérdidas o Desperdicios	22
3.5.4.	Mejora Continua.....	23
3.5.5.	Lean Construction	24
3.5.6.	Herramientas Lean.....	25
3.5.6.1.	VSM	25
3.5.6.2.	Informe A3	27
3.5.6.3.	Siete HEC (7 HEC, herramientas estadísticas de calidad y control estadístico del proceso.....	29
3.5.6.4.	Cinco S (5S)	31
3.5.6.5.	POD y Obeya	32
3.5.6.6.	Last Planner.....	34
4.	Metodología.....	35
4.1.	Esquema de Trabajo.....	35
4.2.	Proceso de Metodología.....	36

5.	Desarrollo	37
5.1.	Captura de Datos.....	37
5.1.1.	Categorización de Actividades	38
5.2.	Mapa de Flujo de Valor / Tiempo de Ciclo – Deseable.....	39
5.3.	Mapa de Flujo de Valor / Tiempos de Ciclo - Obtenidos	43
5.4.	Variantes de Fortificación.....	48
5.5.	Parametrización de Interferencias.....	49
5.5.1.	Frente 1	49
5.5.1.1.	Metros Perdidos por Interferencias – F1	50
5.5.2.	Frente 2	51
5.5.2.1.	Metros Perdidos por Interferencias – F2	52
5.5.3.	Frente 3	53
5.5.3.1.	Metros Perdidos por Interferencias – F3	54
5.6.	Avance Disparo / Rendimiento – Eficiencia de Disparos.....	55
5.7.	Tiempo Disponible y Tiempo Efectivo	59
5.8.	Categorización de Tiempos	60
5.9.	Cuellos de Botella	62
5.9.1.	Ciclos Operativos	62
5.9.2.	Interferencias	66
5.10.	Problemas y Causas.....	68
5.11.	Estrategia de Solución.....	70
5.12.	Cambio de Turno – Manilla a Manilla	71
5.12.1.	Análisis de Retraso de Buses	71
5.12.2.	Control semanal Tiempos de Cambio de Turno	72
5.12.3.	Análisis de Causas Posibles	73

5.12.4.	Seguimiento Cambio de Turno	74
5.12.5.	Restricciones	75
5.12.6.	Resultados Manilla a Manilla	76
5.13.	Mejora en Eficiencia de Disparo	78
5.13.1.	Análisis de causas posibles	79
5.13.2.	Resultados Eficiencia de Disparo	82
5.14.	Propuesta de Mejora.....	86
6.	Conclusiones.....	88
6.1.	Recomendaciones	89
	Bibliografía.....	90
	Anexos.....	92
	Anexos A. Diagrama de Tiempos.....	92
	Anexos B. Clasificación de Pérdidas en Lean.....	93
	Anexos C. Símbolos VSM	94
	Anexos D. Interferencias por Tipo de Fortificación en Frente 1.....	95
	Anexos E. Seguimiento Manilla a Manilla.....	96
	Anexos F. Eficiencia Inicial de Operadores	97
	Anexos G. Jumbo Boltec	98

Índice de Tablas

Tabla 2.1: Producción de cobre fino por División de Codelco en 2020.(Codelco Chile, 2021)	6
Tabla 3.1: Resumen de equipos principales PAN-NNM. Elaboración Propia.	13
Tabla 3.2: Descripción de tiempo nominal para efectos del Proyecto. Elaboración Propia.	15
Tabla 3.3: Tipos de fortificación con modificaciones adicionales por Frente. Elaboración Propia.	18
Tabla 5.1: Formato ejemplo de obtención de datos en operaciones del proyecto. Elaboración Propia.	37
Tabla 5.2: Categorización de Actividades. Elaboración Propia.	38
Tabla 5.3: Resumen de Información entregada por Mapas de Flujo de Valor con tiempos deseables. Elaboración Propia.	39
Tabla 5.4: N° de Tronaduras en periodo de levantamiento de datos para cada frente de estudio. Elaboración Propia.	43
Tabla 5.5: Tiempo de Ciclo Total (TCT) mínimo y máximo mensual en cada frente. Elaboración Propia.	43
Tabla 5.6: Mediana de los Tiempos de Ciclo en cada frente. Elaboración Propia.	44
Tabla 5.7: Tipo de fortificación y ciclo asociado en Frente 1. Elaboración Propia.	48
Tabla 5.8: Tipo de Fortificación y ciclo asociado en Frente 3. Elaboración Propia.	48
Tabla 5.9: Cumplimiento mensual de disparos en Frente 1. Elaboración Propia.	55
Tabla 5.10: Cumplimiento mensual de disparos en Frente 2. Elaboración Propia.	57
Tabla 5.11: Cumplimiento mensual de disparos en Frente 3. Elaboración Propia.	58
Tabla 5.12: Distribución de la Jornada de Trabajo. Elaboración Propia.	59
Tabla 5.13: Retraso de Buses por Recorrido. Elaboración Propia.	71
Tabla 5.14: Causales con su respectivo código. Elaboración Propia.	73
Tabla 5.15: Observaciones de las etapas del cambio de turno. Elaboración Propia.	74
Tabla 5.16: Matriz de Mejora Cambio de Turno Manilla-Manilla. Elaboración Propia.	77
Tabla 5.17: Capacitación de Operadores final. Elaboración Propia.	84

Índice de Figuras

Figura 2.1: Mapa de Chile con la ubicación de las divisiones de Codelco. (Codelco Chile, 2021).....	5
Figura 2.2: Vista isométrica Mina El Teniente. (Codelco, 2010).....	6
Figura 2.3: Planta, Reservas Andes Norte, Nivel Teniente 9, Cota 1887. (Gerencia Proyecto Andes Norte, 2018a).....	8
Figura 2.4: Áreas involucradas en obras principales PAN-NNM. (Revuelta Alfaro, 2011)..	9
Figura 2.5: Ubicación del Proyecto. Elaboración Propia.	9
Figura 3.1: Ciclo de avance de túnel en PAN-NNM. Elaboración Propia.	12
Figura 3.2: Adaptación actualizada de la Casa Toyota. (Muñoz Eyquem, 2019).	19
Figura 3.3: Mejora continua del costo de producción mediante visión Lean. (Koskela, 1992).	23
Figura 3.4: Componentes SIPOC VSM. (Muñoz Eyquem & Schifferli Rojas, 2016).	26
Figura 3.5: Proceso de Metodología Lean. (Muñoz Eyquem, 2019).	27
Figura 3.6: Distribución de las actividades de inicio de Turno. (Pardo Retamal, 2016).	28
Figura 3.7: Estructura de contenidos reunión diaria POD. (Sanhueza Saldaño, 2020).	33
Figura 3.8: Ejemplo Obeya Room. (Fuentes Garrido, 2020).	34
Figura 4.1: Metodología de Trabajo de Título. Elaboración Propia.....	35
Figura 4.2: Línea de Tiempo del proceso de metodología de Trabajo de Título. Elaboración Propia.....	36
Figura 5.1: Mapa de flujo de valor con tiempos deseables para Frente 1. Elaboración Propia.	40
Figura 5.2: Mapa de flujo de valor con tiempos deseables para Frente 2. Elaboración Propia.	41
Figura 5.3: Mapa de flujo de valor con tiempos deseables para Frente 3. Elaboración Propia.	42
Figura 5.4: Mapa de flujo de valor ciclo 193 – Frente 1. Elaboración Propia.	45
Figura 5.5: Mapa de flujo de valor ciclo 203 – Frente 2. Elaboración Propia.	46
Figura 5.6: Mapa de flujo de valor Ciclo 61 – Frente 3. Elaboración Propia.....	47
Figura 5.7: Principales interferencias del ciclo operativo en Frente 1. Elaboración Propia.	49
Figura 5.8: Metros perdidos por Interferencia en Frente 1. Elaboración Propia.	50

Figura 5.9: Principales interferencias del ciclo operativo en Frente 2. Elaboración Propia.	51
Figura 5.10: Metros perdidos por Interferencias en Frente 2. Elaboración Propia.	52
Figura 5.11: Principales Interferencias del ciclo operativo en Frente 3. Elaboración Propia.	53
Figura 5.12: Metros perdidos por Interferencias en Frente 3. Elaboración Propia.	54
Figura 5.13: Avance y Rendimiento en Frente 1. Elaboración Propia.	55
Figura 5.14: Avance y Rendimiento en Frente 2. Elaboración Propia.	56
Figura 5.15: Avance y Rendimiento en Frente 3. Elaboración Propia.	57
Figura 5.16: Distribución de Tiempo disponible. Elaboración Propia.	59
Figura 5.17: Muestreo de Trabajo en Frente 1. Elaboración Propia.....	60
Figura 5.18: Muestreo de Trabajo en Frente 2. Elaboración Propia.....	60
Figura 5.19: Muestreo de Trabajo en Frente 3. Elaboración Propia.....	61
Figura 5.20: Cuello de botella en Ciclos Operativos en Frente 1. Elaboración Propia.	62
Figura 5.21: Cuello de botella en Ciclos Operativos en Frente 2. Elaboración Propia.	63
Figura 5.22: Cuello de botella en Ciclos Operativos en Frente 3. Elaboración Propia.	63
Figura 5.23: Control de dispersión OPU- Fortificación Mecanizada en Frente 1. Elaboración Propia.....	64
Figura 5.24: Control de dispersión OPU- Fortificación Mecanizada en Frente 2. Elaboración Propia.....	64
Figura 5.25: Control de dispersión OPU- Fortificación Mecanizada en Frente 3. Elaboración Propia.....	65
Figura 5.26: Cuello de botella en Interferencias en Frente 1. Elaboración Propia.....	66
Figura 5.27: Cuello de botella en Interferencias en Frente 2. Elaboración Propia.....	66
Figura 5.28: Cuello de botella en Interferencias en Frente 3. Elaboración Propia.....	67
Figura 5.29: Control de Tiempos de Cambio de Turno. Elaboración Propia.	72
Figura 5.30: Duración asociado a Loros de empresas contratistas. Elaboración Propia.	72
Figura 5.31: Diagrama de Pareto de frecuencia de ocurrencia de interferencias en cambio de turno. Elaboración Propia.	73
Figura 5.32: Proceso de cambio de turno manilla a manilla. Elaboración propia.....	76
Figura 5.33: Tiempos de cambio de turno semanal. Elaboración Propia.	76
Figura 5.34: Eficiencia de Disparo ciclo 185-214. Elaboración Propia.	78

Figura 5.35: Litología Frente 2. Entregado por empresa.....	79
Figura 5.36: Frecuencia de utilización y Eficiencia disparo promedio por operador. Elaboración Propia.	80
Figura 5.37: Tiempo de perforación de avance y Fuera de servicio ciclo 185-214. Elaboración Propia.....	80
Figura 5.38: Vista de funcionamiento de barras de perforación de Jumbo Equipo 1. Empresa Contatista.	82
Figura 5.39: Eficiencia de disparo ciclo 215-240. Elaboración Propia.	82
Figura 5.40: Horas de actividad Perforación de Avance. Elaboración Propia.	83
Figura 5.41: Diagrama de Ishikawa para propuesta de Mejora. Elaboración Propia.	87

1. INTRODUCCIÓN

A continuación, se presenta una visión global de lo que se incorpora en este trabajo de título, se expone el contexto en que se desarrolla la problemática, la justificación del estudio, el objetivo general y objetivos específicos y finalmente el alcance de la investigación.

1.1. Contexto

El Nuevo Nivel Mina de Codelco, División El Teniente, iniciará su operación el año 2023 con la incorporación del Proyecto Andes Norte – Nuevo Nivel Mina (PAN-NNM), que corresponde a la extracción de 375 Mt de reservas, con una ley promedio de 1,02 % CuT y una capacidad productiva en régimen de 35 ktpd que será alcanzada con un ramp up de siete años. Una vez consolidada la explotación de Mina Andes Norte, la construcción de la segunda etapa se expandirá al resto de los sectores productivos del PNNM (Andes Sur y Pacíficos Norte, Central y Sur). (Revuelta Alfaro, 2011)

Con el fin de alcanzar los hitos establecidos para el inicio de producción es necesario licitar obras del manejo de mineral y ventilación del PAN-NNM, consideradas como la primera etapa de la materialización del Proyecto. Estos comprenden el desarrollo del Túnel Correa (TC), el Túnel de Acceso Personal (TAP) y el Cruzado de Inyección 15/16 (XC 15/16), los cuales son desarrollados principalmente tanto desde superficie como interior mina.

En conjunto permitirán dejar excavada dichas obras de modo que posteriormente se pueda habilitar lo siguiente: estructura de la correa principal; nuevo acceso por P4600; y servicios principales incluyendo principalmente: ventilación; suministro de energía eléctrica; sistema de comunicaciones y de control y sistema de drenaje mina. (Gerencia Proyecto Andes Norte, 2018a)

El Proyecto se ubica en el distrito minero de El Teniente, en la pre-cordillera de los Andes, Comuna de Machalí, Sexta Región del Libertador General Bernardo O'Higgins, a 150 km al Sur de la ciudad de Santiago, Capital de Chile, por la Ruta 5 Sur y a 64 km de la ciudad de Rancagua, Capital Regional, por la Carretera El Cobre Presidente Eduardo Frei Montalva, a una altitud aproximada de 2.000 metros sobre el nivel medio del mar. La distancia en línea recta al Noreste de Rancagua es de aproximadamente 35 km.

El método de explotación seleccionado para el PAN-NNM, 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 hundimiento. Previamente a la socavación del nivel de hundimiento, el 100% del área a hundir se preacondicionará mediante la técnica del fracturamiento hidráulico, de forma descendente y ascendente desde el nivel de hundimiento. (Gerencia Proyecto Andes Norte, 2018b)

1.2. Justificación del Estudio

El Proyecto Andes Norte – Nuevo Nivel Mina desde el principio fue complicado, debido a que cuando las obras del proyecto se encontraban en ejecución entre los años 2013 y 2015 ocurrieron una gran cantidad de incidentes y accidentes ocasionados principalmente por la presencia de sismicidad inducida, fenómeno que particularmente al interior del proyecto generó estallidos de roca de gran magnitud, ocasionando daños materiales, lesiones e incluso víctimas fatales. Dichos fenómenos no fueron previstos en ningún momento a lo largo de la planificación, por lo que las operaciones debieron ser suspendidas hasta generar el entendimiento necesario. Es así como se concluyó que la caracterización preliminar de los esfuerzos presentó deficiencias importantes debido a la falta de información detallada, ya que se asumió un campo prácticamente isotrópico, en contraste con el escenario anisotrópico in-situ subyugado principalmente por el efecto litostático, elemento que particularmente posee gran variabilidad en el sector debido a la topografía dominada por cuencas, quebradas y subsidencias.

Una vez comprendido el fenómeno que afectó el desarrollo de las obras, este fue abordado de la siguiente manera: se robustecieron las medidas de mitigación del riesgo sísmico y se procedió a la utilización de técnicas que permitieran disminuir la condición de esfuerzos circundante, ello mediante el preacondicionamiento de la zona a excavar utilizando dos tipos de metodologías. En primer lugar, el fracturamiento hidráulico, procedimiento ya conocido utilizado ampliamente para preacondicionar el macizo rocoso en las zonas de “caving” mediante la inyección de agua desde el nivel de hundimiento (UCL), ahora sería utilizado para preacondicionar la zona de desarrollo del cruzado de ventilación XC 22/23, el túnel acceso personal interior mina TAP OIM y la totalidad del “footprint” de producción.

De igual modo, se decidió precondicionar el Túnel Correa TC y el Túnel Acceso Personal TAP mediante el método de *Destress Blasting* que corresponde a la aplicación de cargas confinadas en la frente, previo a la tronadura de avance. Ambos métodos permiten un reacomodo de los esfuerzos y una reducción de la sismicidad producida por las labores. (Ritter Gutiérrez, 2018)

También, una de las medidas que ha entregado los mejores resultados en control del riesgo sísmico ha sido la aislación del sector post tronadura. No obstante, la integración de esta metodología en el Proyecto Andes Norte – Nuevo Nivel Mina de CODELCO, específicamente en los túneles principales, comenzó a generar una problemática asociada a la baja productividad debido a que se generaban periodos de tiempo muerto, de entre 3 y 36 horas, en los que no se pueden realizar trabajos lo que desencadenó en un aumento de los plazos constructivos de los túneles.

Por este mismo motivo, la problemática que se trabajara en este Trabajo de Título, se basa en que el ciclo operativo de fortificación y tronadura se está completando en un tiempo excesivo para el nivel de tecnología y equipos de fortificación utilizados. Es por esto, que se deberá realizar un completo estudio de los equipos que se están utilizando con sus respectivos índices de rendimiento, identificación de interferencias en el proceso, entre otros. Por lo tanto, la memoria de título establece un análisis sobre el ciclo de avance en cada frente de estudio de forma de encontrar las principales interferencias en cada operación unitaria y también entre ellas, y de esa forma buscar soluciones que aumenten la productividad del desarrollo del proyecto. Para esto, se implementará la filosofía “Lean Contruction” que en simples palabras se orienta hacia la administración de la producción en construcción y su objetivo principal es reducir o eliminar las actividades que no agregan valor al proyecto y optimizar las actividades que sí lo hacen.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

El objetivo principal de este trabajo es mejorar el tiempo del ciclo de avance de la excavación de los túneles de infraestructura del Proyecto Andes Norte – Nuevo Nivel Mina mediante Metodología Lean.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Desarrollar un mapa de proceso para diagnóstico de puntos críticos y balance de aportes de valor.
- Determinar los índices de desempeño del proceso global y de sus elementos críticos.
- Establecer y aplicar un método de validación de las propuestas de mejora del proceso.

1.4. Alcances

El mejoramiento de ciclos operativos mediante la metodología Lean será implementado por una empresa contratista de Codelco en Mina El Teniente, específicamente en el Proyecto Andes Norte – Nuevo Nivel Mina, en lo que contempla el desarrollo de los túneles principales Túnel Correa TC y Túnel de Acceso Personal TAP. Para identificar los principales factores que intervienen específicamente en los ciclos operativos, se realiza la recopilación de información necesaria y un análisis de datos. Toda la información que se utiliza en el desarrollo de la memoria, es proporcionada por la empresa contratista, la cual fue recopilada por personal especialista realizando un profundo seguimiento en terreno a las frentes de trabajo, operadores, mineros, etc, donde también, se registraron las interferencias durante el desarrollo de los turnos, con su respectiva hora de inicio, hora de término, número de ciclo, fortificación y observaciones varias. Esto se realizó desde Enero hasta Abril del presente año. Entonces, el mejoramiento de ciclos operativos se centrará en identificar las principales interferencias que hacen que los tiempos de ciclos aumenten, lo que se hará mediante la metodología Lean, para finalmente se entregue una propuesta de estándar o propuesta de mejora a la operación del proyecto la que debido a la extensión del tiempo que requiere, quedara para llevarse a cabo en futuras instancias.

2. ANTECEDENTES GENERALES

2.1. Codelco - División El Teniente

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 2.1).



Figura 2.1: Mapa de Chile con la ubicación de las divisiones de Codelco. (Codelco Chile, 2021)

En 2020, la producción de Codelco alcanzó 1.727.355 toneladas métricas de cobre fino (tmf), estadística que incluye la participación en Minera El Abra (49% de propiedad) y en Anglo American Sur S.A. (20% de propiedad), más lo producido por los propios yacimientos. Esta cifra equivale al 8% de la producción de cobre de mina a nivel mundial y a un 30% a nivel nacional. La producción de cobre sin incluir las participaciones en Minera el Abra y Anglo American Sur alcanzó 1.618.018 tmf en 2020, casi 2% más que en 2019. (Ver Tabla 2.1).

Tabla 2.1: Producción de cobre fino por División de Codelco en 2020.(Codelco Chile, 2021)

División	Producción Cobre 2020 (tmf)
Chuquicamata	400.720
Radomiro Tomic	260.653
Ministro Hales	170.606
Gabriela Mistral	102.080
Salvador	56.302
Andina	184.437
El Teniente	443.220
Total	1.618.018

La División Mina El Teniente (DET) se encuentra ubicada en la comuna de Machalí, a 54 kilómetros de Rancagua, capital de la Región del Libertador Bernardo O’Higgins, en plena Cordillera de los Andes. Se encuentra entre los 2.200 y 3.200 msnm y su acceso es por la Carretera del Cobre (23 kms) construida especialmente en la década del 60. Es la mina subterránea de cobre más grande del mundo, cuenta con más de tres mil kilómetros de galerías subterráneas, y entre sus unidades productivas destacan los yacimientos Diablo Regimiento Fase IV, Esmeralda, Dacita, Reservas Norte, Pipa Norte, Sur Andes Pipa, Pilar Norte y Teniente 4 Sur. (Ver Figura 2.2). 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. El Teniente ha tenido un crecimiento permanente y se ha convertido en un líder mundial en minería subterránea, destacando por su modernidad y el uso de tecnología de punta en sus operaciones. (Rabajille Siraqyan, 2017)

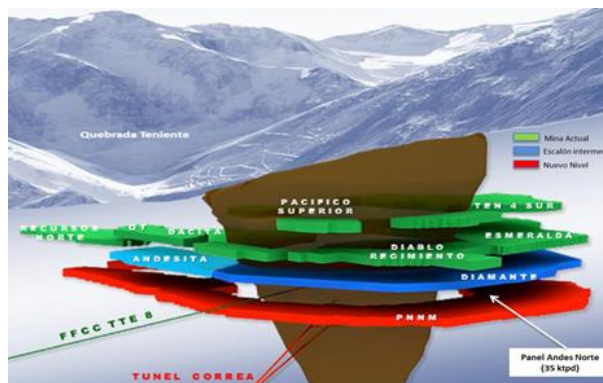


Figura 2.2: Vista isométrica Mina El Teniente. (Codelco, 2010)

2.2. Descripción del PAN – NNM

El proyecto estructural de Codelco, Nuevo Nivel Mina, a cargo de la Vicepresidencia de Proyectos, consistía en ampliar la mina El Teniente en un sector más profundo del cerro (cota 1.880, Figura 2.2), 300 metros bajo los niveles actuales (Teniente 8), buscando así asegurar la continuidad operacional de la División El Teniente. El PAN - NNM contaba con una reserva de 2.019 MT con una ley media de cobre de 0,86% y ley media de molibdeno de 0,022%, lo que se traduce en más de 17 millones de toneladas de cobre fino, aumentando la vida útil de la mina en más de 50 años. En primera instancia, se definió como un proyecto del tipo *greenfield*, el cual contemplaba la construcción de dos túneles principales de 8,9 kilómetros de largo aproximadamente: uno para el acceso y salida de los trabajadores en buses (TAP) y el otro para la correa de transporte de mineral, pista de servicios y vía alternativa para emergencias (TC), los cuales se situarían bajo la cota del río Coya, y aflorarían en el sector de Confluencia, a nivel de Caletones (1.520 msnm). El resto del *footprint* correspondía al diagrama típico de la mina El Teniente: hundimiento, producción, ventilación, acarreo, chancado y drenaje. (Solís Carriel, 2020)

No obstante, entre los años 2011 y 2015 el proyecto presentó cuatro eventos de importante envergadura, los cuales provocaron estallidos de roca en distintos puntos. Dichos eventos tuvieron graves consecuencias producto de la pérdida de infraestructura que ocasiono la pérdida de la vida de un trabajador. Esto obligó a retrasar y hasta paralizar las obras lo que impactó fuertemente el avance del proyecto. Dado lo anterior, se revisaron los supuestos utilizados en el proyecto y se concluyó que estos se encontraban subestimados, siendo el campo de esfuerzos y la anisotropía presente mucho mayor. Dichos resultados obligaron a realizar cambios en el proyecto, lo que afectó directamente el plan productivo de la división, surgiendo el Plan de Desarrollo Alternativo.

El PAN-NNM se redefinió, finalmente, como un proyecto del tipo *brownfield*, el cual abarcará un área de 514.617 m², con una reserva estimada que alcanza las 375 MT, cuya ley media es de 1,02% CuT y 0,026% Mo. El método de extracción utilizado será *panel caving* convencional, con una capacidad productiva en régimen de 35 ktpd que será alcanzada con un *ramp-up* de 7 años, luego un período de régimen de 23 años (2030 al 2052) para finalizar con un *ramp-down* de 7 años (2053 al 2059).

Entonces, el PAN – NNM corresponde a parte de las reservas contenidas en el proyecto original “NNM Primera Bajada”, siendo ésta la primera etapa del proceso de profundización de la División El Teniente bajo el nivel de transporte ferrocarril Teniente 8. Posteriormente, corresponde desarrollar las siguientes etapas del NNM (Andes Sur, Pacífico Norte, Pacífico Central y Pacífico Sur). (Ver Figura 2.2 y 2.3).

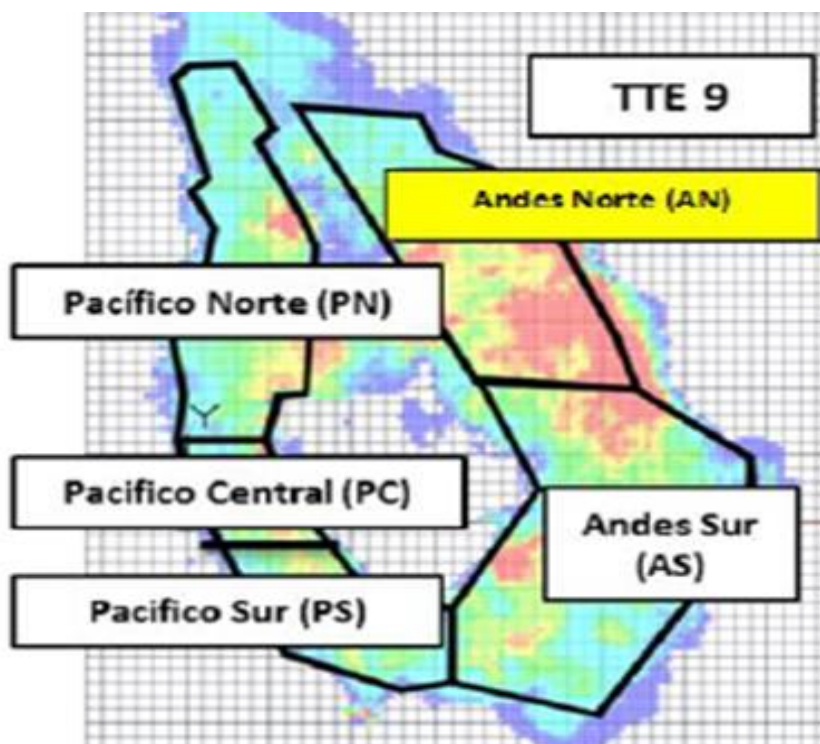


Figura 2.3: Planta, Reservas Andes Norte, Nivel Teniente 9, Cota 1887. (Gerencia Proyecto Andes Norte, 2018a)

Mina Andes Norte se emplaza totalmente dentro de los límites de la actual operación minera de la División El Teniente (Ver Figura 2.4), motivo por el cual está amparado plenamente por la propiedad de los terrenos superficiales y mineros, a través de las respectivas concesiones mineras de explotación, por lo que la materialización del proyecto no provocará cambios en la estructura de la propiedad minera actual.



Figura 2.4: Áreas involucradas en obras principales PAN-NNM. (Revuelta Alfaro, 2011)

2.2.1. Ubicación de las Obras del Proyecto

El proyecto de memoria, y particularmente el sitio de trabajo de los contratos a evaluar, se ubican en el distrito minero de El Teniente, en la pre-cordillera de los Andes, comuna de Machalí, Sexta Región del Libertador General Bernardo O'Higgins, a 150 km al Sur de la ciudad de Santiago y a 64 km de la ciudad de Rancagua, por la Carretera El Cobre Presidente Eduardo Frei Montalva, a una altitud aproximada de 2.000 m sobre el nivel medio del mar. (Ver Figura 2.5).



Figura 2.5: Ubicación del Proyecto. Elaboración Propia.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Desarrollos Horizontales

Los desarrollos horizontales en el PAN - NNM corresponden a las actividades de excavación y fortificación de toda labor subterránea que deba ser ejecutada en sentido horizontal, esto se realiza mediante la excavación convencional de túneles, lo que significa que es la excavación mediante el uso de métodos de perforación y tronadura (explosivos), la que se compone a grandes rasgos de proceso de marina, instalación de elementos principales de soporte, como vigas de acero o marcos reticulados, pernos de anclaje, método de inyección de hormigón / hormigón proyectado en terreno.

Dentro de las excavaciones horizontales principales se consideran: galerías y cruzados en el subnivel de ventilación y nivel de acarreo respectivamente, calles, zanjas y accesos principales en el nivel de producción, cabeceras, cruzados, accesos principales y conexiones en el nivel de hundimiento, accesos y galerías en el nivel de drenaje y finalmente, en el nivel de chancado se consideran los accesos principales, accesos constructivos y conexiones. Además, se consideran las excavaciones menores que sean requeridas para el funcionamiento de la mina como es el caso de los frontones de ventilación que son necesarios para la construcción de las chimeneas de ventilación, estocadas vehiculares, frontones para instalación de subestaciones eléctricas, entre otros. (Cortez Stuardo, 2020)

Los desarrollos horizontales son los que presentan la mayor cantidad de operaciones y en mayor volumen de desarrollo dentro de la mina. Son las obras de mayor extensión temporal pudiendo pertenecer a la ruta crítica del proyecto ya que el término de esta etapa condiciona el inicio de las obras civiles y el posterior montaje de equipos. (Tabilo Christoforou, 2019)

3.1.1. Ciclo de Avance de Túneles

El ciclo de avance de túneles es un conjunto de operaciones unitarias que se van ejecutando de manera secuencial hasta regresar a la actividad que dio inicio al ciclo, y de esa manera se va repitiendo el ciclo las veces que sea necesario hasta completar las labores de desarrollo horizontal.

Este proceso considera las actividades de fortificación, perforación y tronadura del método convencional. (Cortez Stuardo, 2020)

En específico, las operaciones unitarias del ciclo minero subterráneo que se llevan a cabo en el proyecto de estudio (Ver Figura 3.1) son:

- **Extracción de Marina:** Retiro y transporte del material fragmentado producto de la tronadura de la labor a piques o sistemas de transporte que envían el material fuera de la mina a botaderos definidos.
- **Acuñadura y Saneamiento:** Detectar y hacer caer de manera controlada las rocas ligeramente desprendidas. El saneamiento contempla la fase de limpieza y retiro de la fortificación deteriorada producto de la tronadura, este abarca el corte de pernos y mallas remanentes.
- **Geología y Topografía:** Se toman fotos geo-referenciadas de la frente antes de la fortificación, para obtener información de la geología del sector, así como también para un posterior análisis de sobre o sub excavación en las galerías. También, se registra la nube de puntos para medir el avance y comparar el contorno excavado con el gálibo de diseño.
- **Proyección de Shotcrete de Sello:** Por medio de un roboshot proyectar shotcrete en cajas y techo de la frente, como medida preventiva previa a la fortificación.
- **Fortificación Mecanizada:** Perforar de acuerdo a diagrama de fortificación e instalar pernos con un jumbo de fortificación. A continuación, se realiza el lechado de pernos partiendo desde el techo hacia los costados del túnel.
- **Fortificación Mecanizada en la Frente:** Perforar acuerdo a diagrama de fortificación e instalación de pernos split set con un jumbo de fortificación.
- **Acondicionamiento de Malla:** Asegurar que pernos helicoidales están lechados y fraguados antes de adosar la malla según las condiciones del macizo rocoso de la frente.
- **Perforación de Avance:** Realizar una marcación de disparo, instalar los equipos, perforar y retirar el jumbo.

- **Carguío de Explosivos y Tronadura:** Realizar el carguío de los tiros en base al diagrama de disparo con el apoyo de una grúa y jaula de carguío, tronadura y su posterior ventilación con los chequeos post tronadura.

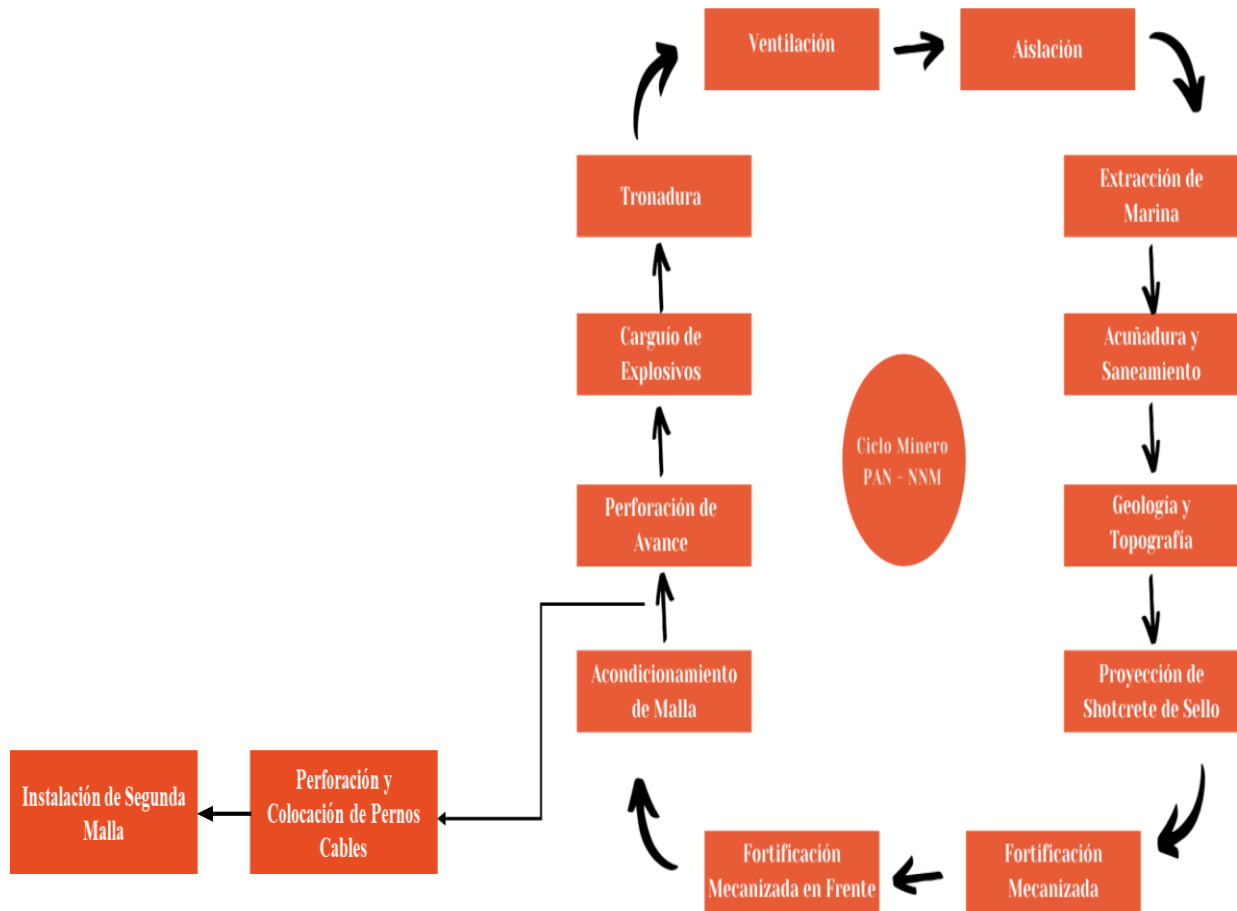


Figura 3.1: Ciclo de avance de túnel en PAN-NNM. Elaboración Propia.

Se destaca, que por motivos de fortificación en dos de las tres frentes que se analizaron en el proyecto (Frente 1 y Frente 3) se agregan al ciclo de avance de túnel (Ver Figura 3.1) las operaciones unitarias de Perforación y Colocación de Pernos Cables, Instalación de Segunda Malla y Proyección de Shotcrete adicional.

3.2. Equipos Principales

Cada operación unitaria del ciclo de avance de túneles tiene un equipo asociado, a excepción de la ventilación, aislación y tronadura. Por este motivo, se denominan equipos principales ya que si no se cuenta con estos equipos no se puede lograr el desarrollo de túneles. A continuación, en la Tabla 3.1, se presentan los equipos y sus características más relevantes.

Tabla 3.1: Resumen de equipos principales PAN-NNM. Elaboración Propia.

Equipo	Operación Unitaria asociada	Modo de Operación
LHD	Extracción de Marina	Control Remoto – Telecomandado
Acuñador	Acuñadura	Telecomandado
Roboshot	Proyección de Shotcrete	Telecomandado
Jumbo Computarizado	Perforación	Mecanizado
Jumbo Boltec	Perforación – Lechado e Instalación Pernos	Mecanizado
Jumbo Cabletec	Perforación e Instalación Pernos Cables	Mecanizado

El modo de operación telecomandado es una actividad donde el equipo es controlado totalmente por un operador, el cual se encuentra en una cabina de control, la que contiene sillones con joystick y pantallas, en donde se observa la frente o el sector de interés y el panel mecánico del equipo, en cambio, el modo de operación a control remoto, el operador se encuentra interior mina a aproximadamente 100 [m] de la frente donde opera el equipo mediante una consola que emite una señal de radio en una determinada frecuencia y que posee comandos para operación a distancia.

3.3. Índices de Productividad

Productividad y competencia son características de los ambientes donde se desempeñan corporaciones e industrias, las cuáles se ven obligadas a maximizar sus capacidades productivas y minimizar costos operativos. Las empresas esperan obtener resultados exitosos y para ello deben contar con instalaciones, equipos y máquinas que representan el capital invertido y se convierten en los activos más preciados para poder producir y, si se administran y mantienen diligentemente, los resultados serán los esperados, considerando:

- Buscar la mejor adquisición.
- Aplicar la estrategia adecuada de mantención.
- Mantención correcta y oportuna.
- Mantener un buen historial.
- Oportuna declaración de obsolescencia.
- Buena administración del personal de mantención.

Para la función mantenimiento, esto significa una constante búsqueda de nuevas y novedosas formas de incrementar la confiabilidad, disponibilidad y vida útil de plantas y equipos industriales, siempre a través de un control efectivo de costos. Los indicadores de mantenimiento y los sistemas de planificación empresarial asociados al área de efectividad permiten evaluar el comportamiento operacional de las instalaciones, sistemas, equipos, dispositivos y componentes. De esta manera, es posible implementar un plan de mantención orientado a perfeccionar la labor de mantenimiento.

Para esto existen medidores que permiten monitorear el desempeño de planes y programas y cuantificar sus beneficios. Estos son los indicadores claves de desempeño “KPI” (*Key Performance Indicators*) que cubren un amplio rango de factores que incluyen:

- Tiempo y costo de paradas planeadas y no planeadas.
- Disponibilidad y eficiencia de plantas, equipos, sistemas y componentes.
- Costos de mantenimiento y productividad.

3.3.1. Diagrama de Tiempos

Para el diagrama de tiempos se utiliza la norma ASARCO que es el marco de referencia utilizado para la definición de conceptos y distribución de los tiempos en que el equipo, máquina o instalación incurren durante la operación. Con los adecuados ajustes a la realidad operacional de la mina, pondera una serie de variables y proporciona indicadores del comportamiento y rendimiento de los equipos empleados en la extracción, beneficio e industrialización de los minerales. (Ver Tabla 3.2). (American Smelting & Refining Co)

Los conceptos más relevantes de la Tabla 3.2 se describen en Anexo A.

Tabla 3.2: Descripción de tiempo nominal para efectos del Proyecto. Elaboración Propia.

Tiempo Nominal															
Tiempo Disponible (TD)								Tiempos de Mantenición (HMT)							
Tiempo Operativo (HOP)						Reservas (HRE)			Programadas (HMTP)		No Programadas (HMTNP)				
Tiempo Efectivo (HE)	Pérdidas Operacionales (HPO)		Demoras (DEM)			Sin Operador (HREO)	Stabd by / Sin postura (HREP)	Condición Extrema (HRECE)	Mantenición Mecánica (HMTP-MM)	Mantenición Eléctrica (HMTP-ME)	Panne Eléctrica (HMTNP-FE)	Panne Mecánica (HMTNP-FM)	Panne Neumático (HMTNP-FN)	Panne Operacional (HMTNP-FO)	Siniestros (HMTNP-S)
	Pérdida de Tiempo Operacional (HPOFO)	Pérdida de Tiempo por Suministro (HPOFS)	Pérdida de Tiempo por Planificación (HPOFP)	Programadas (DEMPO)	No Programadas (DEMNPO)										

3.3.2. Indicadores Mecánicos y Operacionales

3.3.2.1. Confiabilidad

“Calidad en el tiempo”. Corresponde a la habilidad que tiene un dispositivo o equipo para mantener sus funciones en perfecto estado durante el tiempo. Se define como la probabilidad de que un equipo (o elemento) cumpla una misión específica, o realice una función requerida, bajo condiciones de uso determinadas en un cierto período de tiempo determinado. (American Smelting & Refining Co, s. f.)

El estudio de confiabilidad a un equipo o sistema, se obtiene información valiosa acerca de la condición del mismo:

- Probabilidad de fallo.
- Tiempo promedio para fallo.
- La etapa de la vida en que se encuentra el equipo.

De esta forma, se pueden obtener los índices de tiempo medio entre falla, tiempo medio para fallar y tiempo medio entre paradas.

3.3.2.2. Mantenibilidad

“Eficiencia del mantenimiento”. Se define como la probabilidad de devolver el equipo a condiciones operativas en un cierto tiempo. Utilizando procedimientos prescritos, está en función del diseño del equipo (factores tales como accesibilidad, modularidad, estandarización y facilidades de diagnóstico, facilitan enormemente el mantenimiento). Para un diseño dado, si las reparaciones se realizan con personal calificado y con herramienta, documentación y procedimientos adecuados, el tiempo de reparación depende de la naturaleza del fallo y de las mencionadas características de diseño. (American Smelting & Refining Co, s. f.). El índice que describe la mantenibilidad es tiempo medio para reparar.

3.3.2.3. Disponibilidad Física (DF):

Corresponde al porcentaje que tiene un equipo o flota de ser usado con total cumplimiento de sus prestaciones. Es una función que permite estimar en forma global el porcentaje de tiempo total en que se puede esperar que un equipo esté físicamente disponible, es decir, de acuerdo a los tiempos identificados de la gráfica anterior, correspondería a la parte o porcentaje del tiempo total de un turno o de cualquier otro período de tiempo observado en que un equipo o sistema estaría físicamente disponible en condiciones de cumplir con su función de diseño. (American Smelting & Refining Co, s. f.). Se entiende por tiempo nominal al espacio de tiempo en que se produce la medición (Espacio Muestral).

$$DF = \frac{\text{Tiempo nominal} - \text{Tiempo Mantenición}}{\text{Tiempo Nominal}} \times 100 \quad (\text{Ec 3.1})$$

3.3.2.4. Disponibilidad Mecánica (DM)

Pretende diferenciar y mostrar comparativamente, cuál sería el comportamiento del indicador referido solamente a la incidencia sobre el equipo de horas caídas por mantenciones mecánicas (planificadas y de emergencias por fallas mecánicas y eléctricas). Es decir, si no ocurren imprevistos por causas operacionales y accidentes. (American Smelting & Refining Co, s. f.)

$$DM = \frac{\text{Tiempo nominal} - (HMT P + HMT NPFE + HMT NPFM)}{\text{Tiempo Nominal}} \times 100 \text{ (Ec 3.2)}$$

3.3.2.5. Índice de Utilización Efectiva (U)

Corresponde a la parte del tiempo total disponible que tiene un equipo para ser utilizado en condiciones netas de operación. Es decir, es la fracción de tiempo en la cual el equipo es operado por cada hora en que este está en condiciones de cumplir su objetivo de diseño. Representa la incidencia que tienen las pérdidas operacionales, las reservas y las demoras, sobre el tiempo neto esperado de operación. (American Smelting & Refining Co, s. f.)

$$U = \frac{\text{Tiempo efectivo}}{\text{Tiempo disponible}} \text{ (Ec 3.3)}$$

3.3.2.6. Aprovechamiento (A)

Corresponde a la parte expresada en porcentaje, del tiempo total de horas nominales que tiene un equipo para ser aprovechado en condiciones netas de operación. (American Smelting & Refining Co, s. f.)

$$A = \frac{\text{Tiempo efectivo}}{\text{Tiempo nominal}} \text{ (Ec 3.4)}$$

3.3.2.7. Rendimiento (R)

Cociente entre los medios empleados para obtener un objetivo específico, para luego ser contrastados con la meta propuesta. (American Smelting & Refining Co, s. f.)

El rendimiento se mide según las características del equipo que se esté analizando, debido a que no todos se miden en las mismas unidades, pero representa el desempeño que puede obtener en el tiempo efectivo de operación.

3.4. Fortificación

Para el desarrollo del proyecto, es necesario que se identifiquen los tipos de fortificación que se encontraron por cada frente en el tiempo de levantamiento de mapas de flujo de valor (VSM). Adicionalmente a los tipos de fortificación, existen cartas contractuales de la empresa mandante que implica ciertas modificaciones en las metodologías de las operaciones unitarias que componen el ciclo de avance. Esto cobra mucha relevancia, debido a que se relaciona totalmente con el tiempo de ciclo operativo que se puede obtener y es justificación de ciertas variaciones que se puedan encontrar en las diferentes frentes de estudio.

A continuación, se presenta una tabla con los tipos de fortificación:

Tabla 3.3: Tipos de fortificación con modificaciones adicionales por Frente. Elaboración Propia.

Frente	Tipo de Fortificación	Modificaciones Adicionales
Frente 1	D1	2 [h] de aislación post extracción de marina + 2 [h] de aislación post acuñadura. 2 [h] de aislación post extracción de marina + 3 [h] de aislación post acuñadura + cambio a actividades con jaula. 2 [h] de aislación post extracción de marina + 3 [h] de aislación post acuñadura + cambio a actividades con jaula + distancia de seguridad de 45 [m].
Frente 2	C1	Sin modificaciones en tiempo de estudio.
Frente 3	D1	- Shotcrete sobre malla de 2 [cm] + distancia de seguridad de 12 [m] + aislación 12 [h] + Destressing. - Shotcrete sobre malla de 2 [cm] + distancia de seguridad de 30 [m] + aislación 48 [h] + Destressing + aislación post marina de 2 [h] + aislación post acuñadura de 2 [h].

El tipo de fortificación C1 es el ciclo de avance de túnel de la Figura 3.1 sin incluir las operaciones unitarias de perforación y colocación de pernos cables e instalación de segunda malla.

3.5. Metodología Lean

3.5.1. Contexto

Después de la segunda guerra mundial en Toyota desarrollaron un nuevo sistema donde manejaban poco inventario y los trabajadores aportaban en la toma de decisiones, produciendo sólo lo justo y necesario en el momento que el cliente lo solicitaba. Este sistema de producción de Toyota (*Toyota Production System*) dio lugar a la Producción Lean conocida internacionalmente gracias al libro “La Máquina que cambió el mundo” de Womack y Jones en 1996. (Pardo Retamal, 2016)

El sistema de producción de Toyota idealmente se debe implementar como una filosofía en toda la organización y contar con el compromiso de la dirección, siendo un proyecto a largo plazo. Es por esto que se representa con una casa, como se muestra en la Figura 3.2, donde debe ser implementado desde sus cimientos, manteniendo los pilares firmes, y siendo el centro de la casa las personas y los equipos auto gestionados y orientados a la mejora continua, mediante la reducción de residuos (mudas).

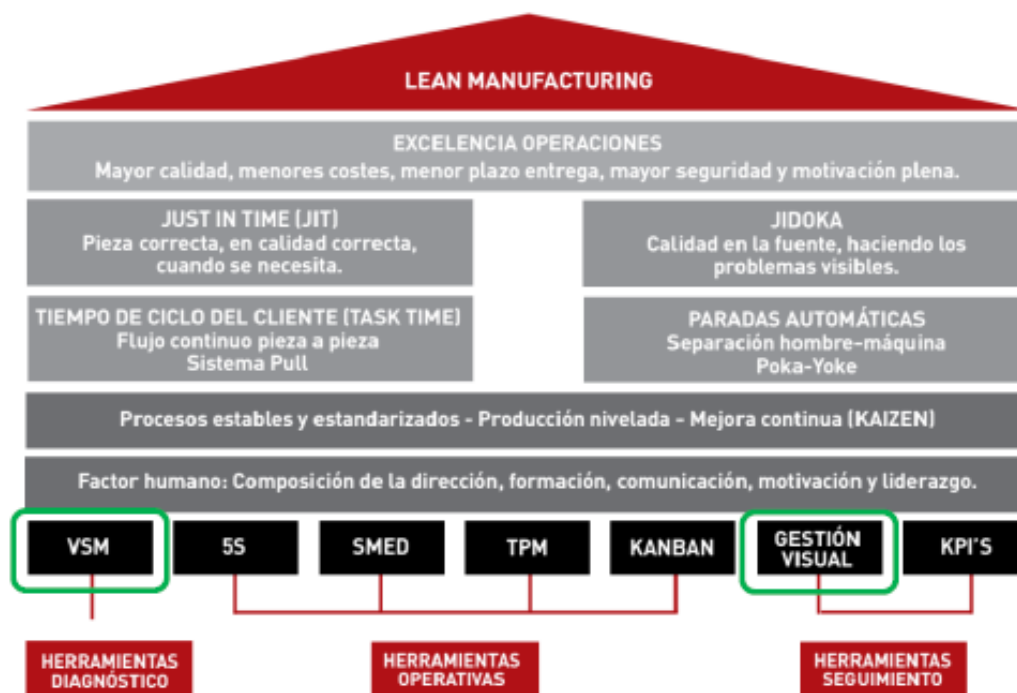


Figura 3.2: Adaptación actualizada de la Casa Toyota. (Muñoz Eyquem, 2019).

En los pilares de esta casa están las herramientas más conocidas; *Just in Time* (JIT) que se refiere a la fabricación en el momento justo con la cantidad requerida y *JIDOKA* la que no deja pasar ningún defecto en la fase de producción. Las bases de la casa consideran procesos estandarizados y nivelados, así como la mejora continua, y las características del recurso humano de la organización; como lo es el compromiso de la dirección, la formación, comunicación y liderazgo que se necesitan para lograr implementar este sistema de manera consistente en el tiempo. Y finalmente el techo de la casa son los resultados: mayor calidad, menores costos, menores plazos de entrega y mejor seguridad. De forma adicional, en la parte inferior se mencionan algunas de las herramientas que pueden ser utilizadas tanto para el diagnóstico, implementación o seguimiento a los procesos según se requiera en cada tipo de organización. (Pardo Retamal, 2016)

3.5.2. Principios Lean

Según el libro de Womack y Jones (1997), los 5 principios que propone la filosofía Lean para conseguir la excelencia son los siguientes:

3.5.2.1. Valor

El valor es el punto de partida del pensamiento lean. El valor es creado por el productor, pero definido por el cliente, porque gracias al cliente es que nace una necesidad. Por lo tanto, el valor sólo puede ser definido por el cliente final. Además, el valor para el cliente sólo es expresado en términos del producto, el cual resuelve las necesidades del cliente a un costo y momento específico. Entonces, en la filosofía lean se debe comenzar precisando de manera detallada el valor para el cliente, centrando la atención en el producto específico con sus respectivas capacidades, ofrecido en el momento adecuado y a un precio específico.

3.5.2.2. Flujo de valor o cadena de valor

La cadena de valor es el conjunto de actividades requeridas para realizar un producto específico, a través de tres tareas críticas: la resolución del problema, la gestión de información, y la transformación física.

La resolución del problema se basa en la conceptualización de la idea a través del diseño y la ingeniería de detalle. La gestión de la información es el manejo de datos que ocurre desde la necesidad hasta la entrega del producto. Y, finalmente, la transformación física se refiere al proceso de transformación que ocurre desde las materias primas hasta entregar un producto específico en las manos del cliente.

3.5.2.3. Flujo

Luego de tener la correcta definición del valor para el cliente y haber identificado la cadena de valor que elimina las pérdidas, es fundamental permitir que la creación de valor se realice fluidamente, es decir, a través de un flujo continuo. Específicamente, las cosas funcionan mejor cuando se pone el foco de atención en el producto y sus necesidades, por sobre los equipos y la organización, por lo que todas las actividades necesarias para diseñar, fabricar y proveer un producto se generan en un flujo continuo. Además, el gran desafío es alcanzar el flujo continuo cuando se dispone de pequeños niveles de producción, situación que puede demandar que se modifique el funcionamiento convencional de las empresas.

3.5.2.4. Pull

Luego de realizar los 3 primeros principios del pensamiento lean, los cambios deberían ser visibles de forma radical. La transformación de los departamentos independientes de las empresas en equipos de trabajo multidisciplinarios, y el cambio de producción a través de lotes por flujo continuo, deberían disminuir drásticamente los tiempos de resolución de problemas, de gestión de información, y de materialización física de los productos. Sin embargo, si bien estos principios acercan a las empresas a entregar al cliente lo que ellos quieren en el momento que lo quieren, todavía existen predicciones de demanda y especulaciones sobre los intereses del cliente. Entonces, el desafío está en permitir que el cliente “tire” la producción por sobre que la empresa “empuje” la producción hacia el cliente.

3.5.2.5. Perseguir la Perfección

La perfección ocurre cuando se realiza un proceso iterativo de los 4 pasos anteriormente señalados. Las empresas definen con precisión el valor para el cliente, luego identifican la cadena de valor completa del producto, permiten que la creación de valor ocurra mediante un flujo continuo y potencian a que el cliente sea quién tire la producción. Entonces, se aprecia que el proceso se puede ir ajustando continuamente, entregándole al cliente lo que desea con mayor precisión. Específicamente, al entregarle valor al cliente mediante un flujo continuo, se exponen pérdidas en la cadena de valor. Además, mientras más tire la producción el cliente, mayor serán las restricciones que obstaculizan el flujo continuo, lo que revela pérdidas para ser removidas.

Además de estos principios de tipo más operacionales o técnicos, (Pardo Retamal, 2016) hace referencia a los principios del tipo más humano y de la manera de trabajar, mencionando entre otros:

- Formar líderes de equipo que asuman el sistema y lo enseñen a otros.
- Crear una organización que aprenda mediante la reflexión constante y la mejora continua.
- Desarrollar personas involucradas que sigan la filosofía de la empresa.
- Identificar y eliminar funciones y procesos que no son necesarios.
- Obtener el compromiso total de la dirección con el modelo Lean.

3.5.3. Pérdidas o Desperdicios

Como bien se mencionó, la filosofía Lean busca mejorar los procesos eliminando todos los residuos e incrementando el valor agregado. Los residuos son entendidos como las actividades que consumen recursos y no agregan valor ante los ojos del cliente. Bajo el enfoque de pérdidas determinado por el pensamiento lean, se puede generar la siguiente clasificación (En Anexos B se describe cada uno de ellos):

- Sobreproducción-Inventario-Procesos-Traslados-Transporte-Esperas-Defectos-Subutilización del Personal.

3.5.4. Mejora Continua

Dentro de la filosofía y desde sus inicios en temas de calidad, el ciclo de la mejora continua es un pilar fundamental dentro de las organizaciones para conseguir mejores resultados, enfocándose constantemente en disminuir los desperdicios (Ver Figura 3.3). El ciclo de la mejora continua se realiza como un proceso que inicia con pequeñas innovaciones y mejoras realizadas por los empleados, las cuales van progresando y acumulando con el espíritu de buscar siempre la perfección, y logrando finalmente mejores resultados en costos, tiempos y calidad. (Pardo Retamal, 2016)

Sin embargo, lograr que los empleados piensen de esta forma implica un cambio cultural, con los inconvenientes que esto pueda significar, pero una vez que se logra ayuda a que los beneficios logrados sean persistentes en el tiempo.

En definitiva, el *Lean Management* es un sistema integrado de gestión, que busca alcanzar la máxima eficiencia con el menor costo y el mínimo de desperdicios, adoptando finalmente una filosofía de gestión basada en la mejora continua. Para lograr esto se actúa sobre la variabilidad (pérdidas) y la inflexibilidad, consiguiendo mejoras en los costos, tiempos y calidad. (Pardo Retamal, 2016)

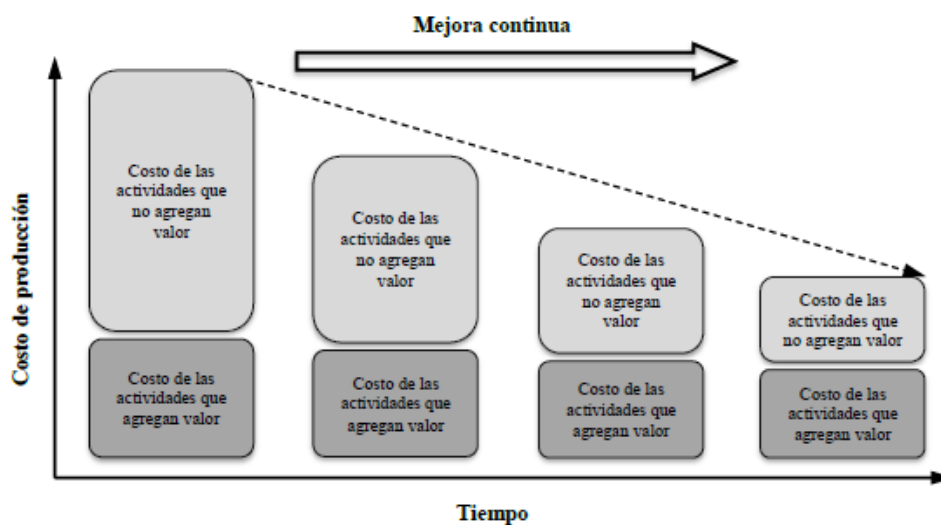


Figura 3.3: Mejora continua del costo de producción mediante visión Lean. (Koskela, 1992).

3.5.5. Lean Construction

Lean Construction abarca la aplicación de los principios y herramientas de la filosofía Lean en el proceso completo de los proyectos, considerando; diseño, ingeniería, ejecución, ventas y hasta la administración y mantenimiento del edificio. Bajo esta filosofía, la construcción se transforma en un trabajo que busca la excelencia y la maximización del rendimiento para el cliente en todas las fases del proyecto. (Pardo Retamal, 2016)

Debido a que todas las actividades consumen tiempo y dinero se debe poner el foco en la reducción o eliminación de las actividades de flujo, es decir, aquellas que no agregan valor, como las esperas, transportes e inspecciones y a su vez hacer más eficiente los procesos de conversión para lograr una eficiencia global.

A continuación, se mencionan algunos principios para el diseño y mejora (Koskela, 1992) de los procesos de flujo que han tenido resultados de mejora considerable en la eficiencia:

- Reducir la proporción de actividades que no agregan valor.
- Aumentar el valor de salida a través de la consideración sistemática de las necesidades del cliente.
- Reducir la variabilidad.
- Reducir tiempos de ciclos.
- Simplificar al minimizar el número de pasos o partes.
- Aumentar la flexibilidad de salida.
- Aumentar la transparencia del proceso.
- Enfoque de control en el proceso completo.
- Construir la mejora continua en el proceso.
- Mejora el flujo de equilibrio con la mejora de la conversión.
- Usar "benchmarking"

De esta forma, se produce un mejoramiento continuo del proceso productivo tal como se muestra en la Figura 3.3. En ésta se detalla la importancia de producir continuamente una reducción las actividades que no agregan valor y un mejoramiento de la eficiencia de las actividades que sí lo hacen.

La identificación de las actividades que no agregan valor, es una de los puntos de partida en la implementación de *Lean Construction*, ya que asume que al eliminarlas aumenta la productividad. Para lograr esto se utilizan distintas técnicas como; (i) muestreo del trabajo, (ii) encuestas de detenciones y (iii) cartas de balance de las cuadrillas. (Pardo Retamal, 2016)

En todo trabajo de construcción, las observaciones se categorizan en tiempos según:

- **Trabajo Productivo (TP):** es el tiempo dedicado a la construcción en sí, por ejemplo, pegar ladrillos.
- **Trabajo Contributorio (TC):** es el tiempo utilizado en actividades de apoyo a la construcción, como las mediciones.
- **Trabajo No Contributorio o No Productivo (TNC o TNP):** aquí se considera el tiempo ocupado en labores que no agregan ningún valor, y por lo tanto se considera como pérdida pura. Por ejemplo, las esperas por transportes o los tiempos utilizados en rehacer un trabajo.

3.5.6. Herramientas Lean

De la filosofía Lean se desprenden variadas herramientas a utilizar que ayudan a ordenar procesos e identificar pérdidas, a continuación, se describen las más relevantes para el desarrollo de este trabajo.

3.5.6.1. VSM

El VSM o Mapa de flujo de valor es una herramienta que se basa en ver y entender un proceso e identificar sus desperdicios. Con este tipo de herramientas se pueden detectar para desarrollar una ventaja competitiva y evitar fallos en el proceso, además de crear un lenguaje estandarizado dentro de la empresa para una mejor efectividad de los procesos y del personal.

Por ello se podrá focalizar los esfuerzos en los procesos en los cuales se produzcan más fallos o simplemente aporten más valor a la producción. (Muñoz Eyquem & Schifferli Rojas, 2016)

Los beneficios de la aplicación del VSM son:

- Ayudar a visualizar más de un simple proceso.
- Vincular el flujo de información y el de materiales en un solo mapa utilizando un único lenguaje.
- Obtener un sistema estructurado para implementar mejoras.

Entonces, desde el comienzo del proceso se empieza a realizar esta metodología, viendo quién es el proveedor del proceso pudiendo ser interno o externo a la empresa, y a que proceso llegan las entradas que conlleva consigo, este proceso de transformación provocará que esas entradas se modifiquen en unas salidas que serán el *Output*, que pasarán a un cliente pudiendo ser otro proceso o el cliente final. Una vez realizado el mapeo completo del proceso con todos los proveedores, entradas, salidas y clientes, vemos donde se producen los procesos más críticos para el aplicar el VSM. (Ver Figura 3.4).

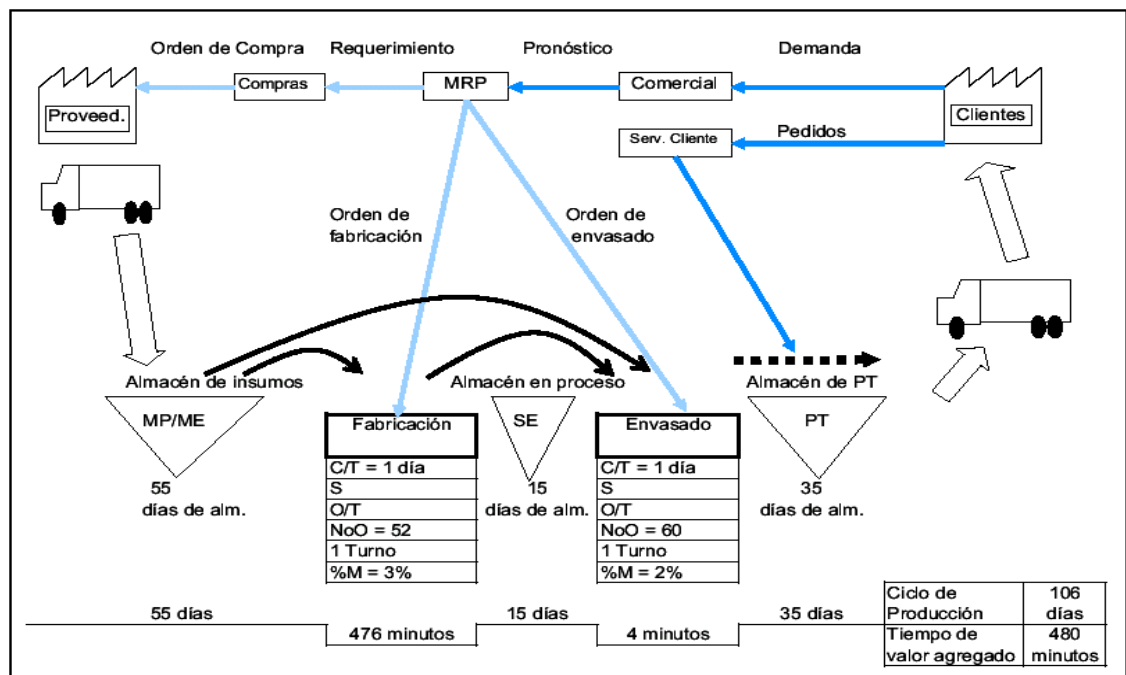


Figura 3.4: Componentes SIPOC VSM. (Muñoz Eyquem & Schifferli Rojas, 2016).

Se deben identificar los cuellos de botella en los procesos de producción y sobre todo efectuar un análisis profundo en cómo se aumenta la eficiencia en esta operación. Se tiene que identificar el cuello de botella en cada una de las actividades de un proceso. Esto se puede realizar para todas las partes de un macroproceso como también para los procesos que lo componen como se presenta en la Figura 3.5. (Muñoz Eyquem, 2019)



Figura 3.5: Proceso de Metodología Lean. (Muñoz Eyquem, 2019).

El VSM dispone de un sistema formal de símbolos que permite representar en un papel todos los procesos encontrados en un sistema productivo. Estos símbolos se presentan en Anexo C.

3.5.6.2. Informe A3

Es una herramienta que ayuda a la resolución de problemas y la toma de decisiones, y sigue un orden según el ciclo de mejora continua de Deming. Utilizar esta herramienta permite un mejor foco en el proceso y los resultados, como también ayuda a dar una mejor visualización de las problemáticas al ser breve y resumido.

Es un informe que sirve para transmitir información que puede condicionar las actuaciones de sus destinatarios (para tomar decisiones, llevar a cabo acciones, etc). Normalmente habrá que tener las cosas muy claras para poder ser tan preciso como para contarlo todo en un formato A3. Luego, por una parte, previene ambigüedades y por otra reduce el esfuerzo de los demás para entenderlo.

El Informe A3 es sin embargo mucho más que un informe, ya que obliga a seguir una disciplina concreta que lleva a abordar los problemas de una forma muy ordenada y eficaz. (Muñoz Eyquem, 2019). El formato se divide en varios cuadros que deben rellenarse en un orden concreto trabajando sobre cada uno de ellos, como se puede observar en la Figura 3.10.

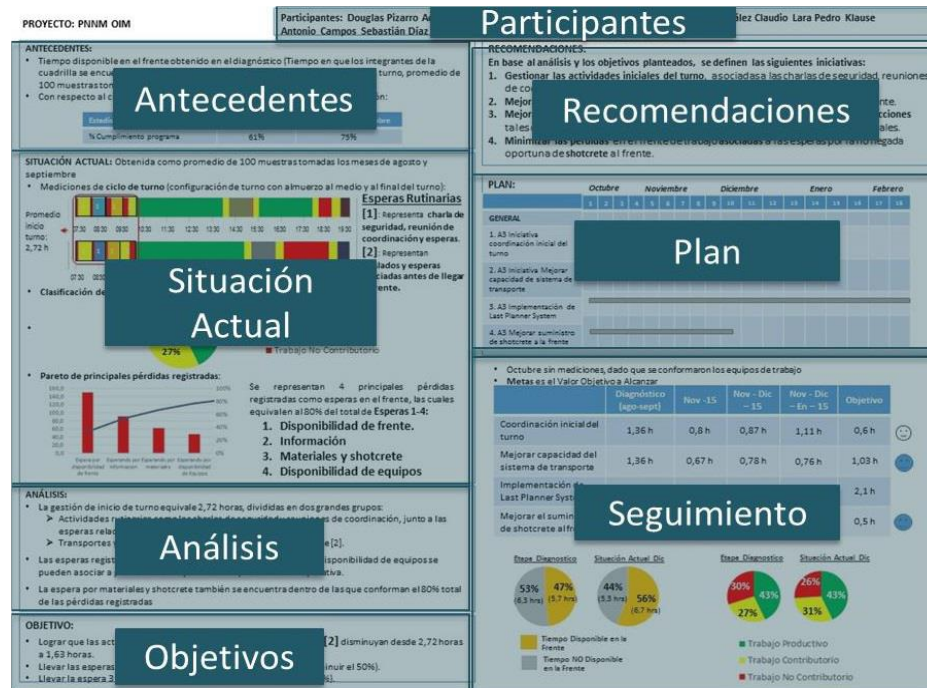


Figura 3.6: Distribución de las actividades de inicio de Turno. (Pardo Retamal, 2016).

El proceso de la metodología A3, se define como:

- Definición del problema.
- Situación actual.
- Análisis de las causas.
- Situación objetivo.
- Plan de acción.
- Seguimiento.
- Resultados.

Las herramientas bases para el buen manejo de la metodología A3 son: Análisis causal, diagrama de Ishikawa, herramientas estadísticas, VSM, definición de metas, manejo de KPI y generación de compromisos y seguimiento.

3.5.6.3. Siete HEC (7 HEC, herramientas estadísticas de calidad y control estadístico del proceso)

1) Causa y Efecto:

- Muestra la relación entre una característica de calidad (efecto) y sus factores (causas).
- Las causas los agrupa en distintas categorías que se basan en la 4M (Maquina, Mano de obra, Materiales, Método).
- Es simple y clara.
- Estimula la participación del grupo permitiendo mejor aprovechamiento del conocimiento.
- Elimina la causa o causas que originan el problema.

2) Hojas de Registro:

- Facilita la recolección de datos.
- Organiza los datos de manera que puedan usarse con facilidad más adelante.
- Es un formulario de empresa donde aparecen los ítems que se van a registrar de manera que se recojan de manera fácil y clara.
- Proporciona datos fáciles de comprender, son obtenidos mediante procesos simples y eficientes.
- Estas hojas reflejan las tendencias y patrones derivados de los datos.

3) Gráficos de Control:

- Entrega el medio para evaluar la estabilidad de un proceso de fabricación o servicio o proceso administrativo.
- Son gráficos donde se representan mediciones estadísticas, para una serie de muestras.
- Muestra cuales son los resultados que requieren explicación.
- Son útiles para vigilar la variación en el tiempo.
- Permite distinguir entre causas aleatorias (desconocidas) y específicas (asignables) de variación de los procesos.

4) Histogramas:

- Revela la posible estructura estadística de un grupo de datos para poder interpretarlos.
- Gráfico o Diagrama que muestra el número de veces que se repite el resultado, cuando se realizan mediciones sucesivas.
- Su construcción ayuda a: tendencia central, dispersión, frecuencia para comprenderlos mejor.
- Muestra grandes cantidades de datos dando una visión clara y sencilla de su distribución.
- Es un medio eficaz para transmitir a otras personas información del proceso.

5) Diagrama de Pareto:

- Pone en manifiesto los problemas más importantes sobre la cuales se debe concentrar el esfuerzo de mejorar y determinar el orden de resolverlos.
- Gráfico de barras verticales.
- Se elabora recogiendo distintos tipos de datos (perdidas, defectos, reclamos).
- Ayuda a concentrarse en las causas que tendrán mayor impacto sobre los defectos en los procesos de fabricación.
- Proporciona una visión simple y rápida del problema.
- Ayuda a evitar que empeore algunas causas al tratar de solucionar otras.

6) Diagrama de Dispersión:

- Averiguar la existencia de relación entre 2 características o variables.
- Permite estudiar la relación entre 2 factores, 2 variables o 2 causas.
- Es útil para estudiar e identificar las posibles relaciones entre los cambios observados en 2 conjuntos diferentes.
- Proporciona un medio visual para probar la fuerza de una posible relación.

3.5.6.4. Cinco S (5S)

El significado de 5s corresponde a las iniciales de 5 palabras japonesas que significan eliminar lo innecesario, ordenar; limpiar e inspeccionar; estandarizar; crear hábito. El objetivo es evitar que se generen las siguientes debilidades tales como:

1. Presencia de elementos rotos: topes, indicadores, etc.
2. Falta de instrucciones y señaléticas comprensibles por todos.
3. Carencia de hábito en el uso de elementos de seguridad: gafas, botas, auriculares, guantes, etc.
4. Averías cuya frecuencia es superior a la proyectada.
5. Desinterés de los empleados por su área de trabajo.
6. Movimientos innecesarios de personas y materiales.
7. Inadecuada distribución de espacio en la zona de los almacenes.
8. Falta de aseo de la planta: máquinas, instalaciones, herramientas, etc.
9. Desorden: pasillos ocupados con herramientas sueltas, cartones, etc.

Las 5s, son una herramienta que como al no requerir de conocimientos específicos y su implementación es ajustable a las características de la faena en las que se aplica, la convierten en una metodología que será comprensibles por todos los actores involucrados, además de favorecer la participación de todo el personal de una determinada faena lo que contribuye a una mayor adhesión en su aplicación. (Muñoz Eyquem & Schifferli Rojas, 2016).

- **Eliminar:** El Objetivo es clasificar y eliminar del área de trabajo todos los elementos innecesarios o inútiles logrando evitar los siguientes elementos: incremento de manipulaciones y transporte, accidentes personales, pérdidas de tiempo en buscar cosas, coste de exceso de inventario, falta de espacio.
- **Ordenar:** El objetivo es organizar los elementos clasificados como necesarios, de manera que se puedan encontrar con facilidad, definir su lugar de ubicación identificándolo para facilitar su búsqueda y el retorno o su posición inicial.

- **Limpieza e Inspección:** El objetivo es inspeccionar el entorno para identificar los defectos y eliminarlos, es decir, anticiparse para prevenir defectos.
- **Estandarizar:** Estandarizar supone seguir un método para ejecutar un determinado procedimiento de manera que la organización y el orden sean factores fundamentales.
- **Disciplina:** El objetivo es convertir en hábito la utilización de los métodos estandarizados y aceptar la aplicación normalizada, está ligado al desarrollo de una cultura de autodisciplina, este objetivo lo convierte en la fase más fácil y difícil a la vez: La más fácil porque consiste en aplicar regularmente las normas establecidas y mantener el estado de las cosas, y la más difícil porque su aplicación depende del grado de asunción del espíritu de las 5S a lo largo del proyecto de implantación.

3.5.6.5. POD y Obeya

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 (Ver Figura 3.7). 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. (Sanhueza Saldaño, 2020)

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 3.7: Estructura de contenidos reunión diaria POD. (Sanhueza Saldaño, 2020).

La *Obeya Room* que su traducción es sala de Guerra, y es una herramienta de control visual que sirve para ver gráficamente la situación de un proyecto, a través de paneles, gráficos y esquemas que hacen visibles las desviaciones de los diferentes KPI. La idea es que esta información sea constantemente actualizada para tener los datos vigentes y facilitar a la supervisión la toma de decisiones para el cumplimiento de los estándares. (Pardo Retamal, 2016)

La herramienta *Obeya Room* ataca en conjunto a todos los desperdicios al mejorar la comunicación y coordinación de los equipos en el proyecto, de forma particular apunta a minimizar los desperdicios de talento, optimizando los tiempos empleados en las reuniones, informando y resolviendo problemas de forma más efectiva. Para que cumpla su objetivo y dé los resultados esperados, es fundamental ser rigurosos en la información que se tiene que mostrar y en el accionar ante desviaciones, así como en los procesos de mejora, todo esto se resume en una cultura hacia la mejora continua. (Ver Figura 3.8). A continuación, se presentan los principales puntos que se ven potenciados o beneficiados por esta metodología en comparación a una reunión tradicional, dónde se ha intentado ordenarlos como un efecto cascada, es decir, como cada uno es impactado positivamente por los aspectos que lo anteceden. (Fuentes Garrido, 2020). Potencia la gestión visual - Mejora en la comunicación - Mayor colaboración - Rapidez en la resolución de problemas.



Figura 3.8: Ejemplo Obeya Room. (Fuentes Garrido, 2020).

3.5.6.6. Last Planner

Es un sistema de control de la producción que busca incrementar la confiabilidad de la planificación y mejorar el desempeño de los proyectos de construcción mediante el control efectivo de la incertidumbre. Algunos de los indicadores que utiliza son el PPC (Porcentaje del Programa Cumplido) y las CNC (Causas de No Cumplimiento del programa), donde ésta última permite identificar las causas donde es necesario concentrar los esfuerzos de mejora. (Pardo Retamal, 2016)

Last Planner System tiene dos grandes características fundamentales que lo distinguen de otros modelos de planificación:

- En primer lugar, la planificación es un proceso colaborativo y se lleva a cabo mediante una negociación entre todos los agentes que intervienen en el proceso.
- Otra característica fundamental es que se lleva a cabo de manera inversa en el marco de la *Pull Session*, donde se comienza por una visión general de la obra terminada y se va planteando qué se necesita para llegar al punto de finalización.

La “metodología *Last Planner System*” está basada en la implantación de la mejora continua y fomenta la comunicación entre todos los agentes que intervienen en un proyecto. De este modo entre los beneficios que aporta su implantación podemos destacar: Compromiso, Coordinación, Indicadores y Transparencia.

4. METODOLOGÍA

La metodología de trabajo comprende los siguientes pasos:

4.1. Esquema de Trabajo

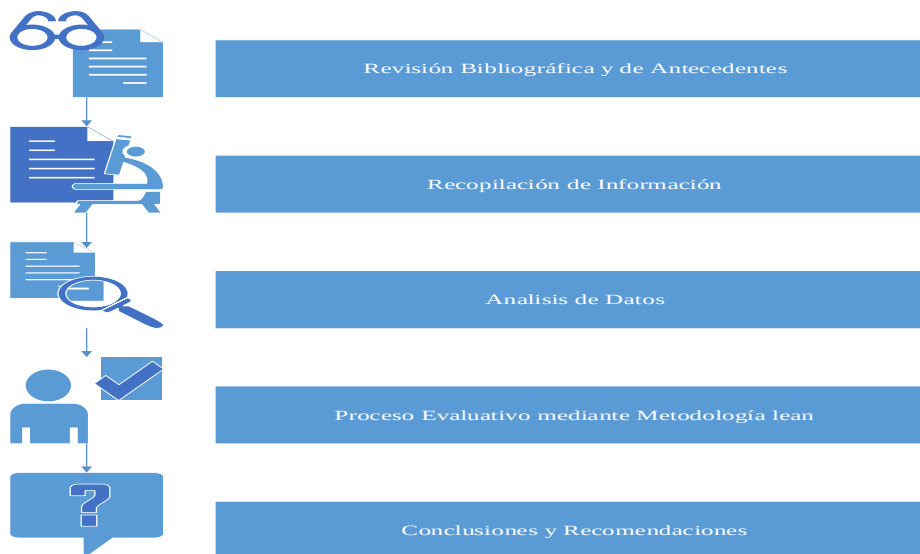


Figura 4.1: Metodología de Trabajo de Título. Elaboración Propia.

1) Revisión Bibliográfica y de Antecedentes:

- Se estudian y analizan las condiciones generales en que se desarrolla el Proyecto Nuevo Nivel Mina – Andes Norte, en específico lo relacionado al Túnel Correa y Túnel Acceso Personal.
- Investigación sobre la metodología Lean en minería.

2) Recopilación de Información:

- Rendimientos en desarrollos horizontales (tiempos de ciclo) de las frentes de trabajo, las cuales, para el desarrollo de esta memoria, serán denominadas: Frente 1, Frente 2 y Frente 3.
- Identificar los equipos y tecnología utilizada en el ciclo de fortificación y tronadura.
- Identificar interferencias, fallas en equipos, condiciones geomecánicas, eventos sísmicos, etc, en el desarrollo del proyecto.
- Reuniones con Ingenieros del Proyecto, de forma de validar y verificar la información.

3) Análisis de datos:

- Análisis de las bases de datos del proyecto, en relación a los desarrollos horizontales con sus respectivas operaciones unitarias y ciclo minero.
- Análisis estadístico a la información de tiempos, rendimientos y productividades del proyecto.
- Identificar las principales vulnerabilidades operativas del ciclo minero.

4) Aplicación de Metodología Lean:

- Control de tiempos de ciclo.
- VSM (Mapa de Flujo de Valor).
- RDP (Resolución de Problemas).
- A3 (Resolución de Problemas PDCA (Planificar-Hacer-Verificar-Actuar)).
- Síntesis de resultados.

5) Verificar logro de mejoras en el rendimiento del ciclo de fortificación y tronadura:

- Evaluación de indicadores de desempeño (KPI).
- Calificación de logro.

6) Propuesta de Estándares o Propuesta de Mejora.

- Se valida con Ingeniero de Proyecto.

4.2. Proceso de Metodología

La información a utilizar para el desarrollo de esta investigación seguirá el siguiente proceso:

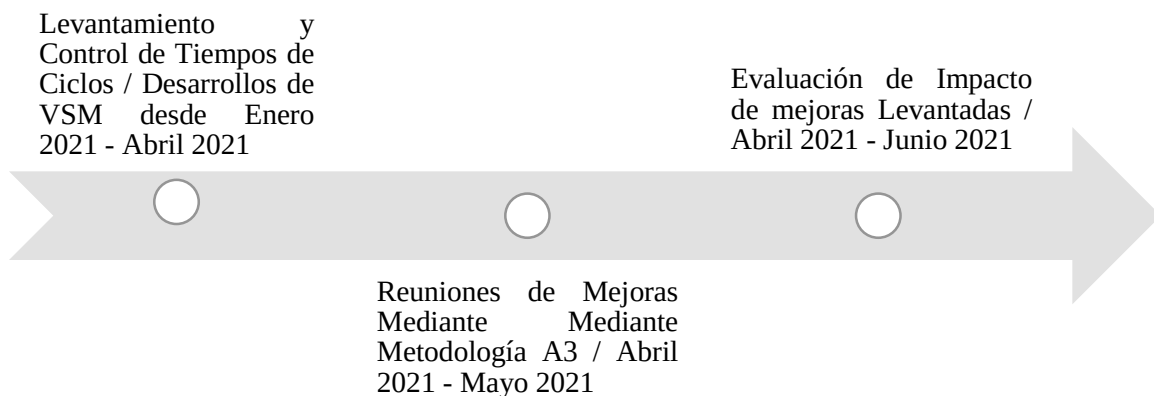


Figura 4.2: Línea de Tiempo del proceso de metodología de Trabajo de Título. Elaboración Propia.

5. DESARROLLO

El trabajo se realizó para tres frentes del proyecto, las que se denominan Frente 1, Frente 2 y Frente 3. El levantamiento de datos se realizó en el período de tiempo Enero – Abril, donde posteriormente se realizaron reuniones de mejora para finalmente evaluar las mejoras levantadas.

5.1. Captura de Datos

Los datos se obtuvieron a partir de un Sistema de Información de la empresa en un archivo de Informe Diario que contiene todos los datos que se relacionan a la operación minera como por ejemplo tipos de equipos utilizados, frentes de trabajo, interferencias, tronaduras por día, planificación, entre otras. Para el registro de datos de las distintas actividades de los desarrollos horizontales se incluyen todas las tareas desde el ingreso a la frente de trabajo hasta la finalización de la misma, la que se actualiza diariamente en colaboración de los operadores, Jefes de Turno y el departamento de productividad. Por esto, se realiza una tabla que incluye los parámetros a considerar junto con la descripción asociada. Ver Tabla 5.1.

Tabla 5.1: Formato ejemplo de obtención de datos en operaciones del proyecto. Elaboración Propia.

Dato	Descripción
Fecha	dd-mm-aa
Turno	Lista despegable: Día – Noche
Equipo	Depende de operación unitaria
Ciclo	Nº relativo al Disparo
Túnel	Lista despegable: Frente 1 – Frente 2 – Frente 3
Categoría	Lista despegable: Actividad o Interferencia
Tipo de Categoría	Lista despegable: Clasificación se presenta en Tabla 5.2
Hora de Inicio	Horas
Hora de Término	Horas
Duración	Horas
Observaciones	Descripción
Tipo de Fortificación	Clasificación en Tabla 3.3
Tipo de Trabajo	T.Productivo – T.Contributorio – T.No Productivo
Avance Real	Metros de Avance

5.1.1. Categorización de Actividades

La clasificación de actividades o interferencias dentro de la operación minera, que determina si agrega valor o no al trabajo se presenta a continuación:

Tabla 5.2: Categorización de Actividades. Elaboración Propia.

Categoría	Actividad o Interferencia
Actividad (Agrega Valor)	1. Acondicionamiento de Malla. 2. Acuñadura y Limpieza. 3. Carguío y Tronadura. 4. Colocación Segunda Malla. 5. Colocación y Lechado de Pernos Cables. 6. Extracción de Marina. 7. Fortificación de Malla en Frente. 8. Fortificación Mecanizada. 9. Geología y Topografía. 10. Proyección de Shotcrete. 11. Perforación de Avance.
Actividad (Trabajo Contributorio)	1. Soplado de Tiros. 2. Ventilación. 3. Perforación sondaje en frente. 4. Topografía/Perfiles.
Interferencia (No Agrega Valor)	1. Cambio de Turno. 2. Contingencia de Seguridad. 3. Feriado. 4. Visitas Codelco. 5. Equipos Fuera de Servicio. 6. Chequeo de Frente. 7. Detención por VP. 8. Espera explosivos. 9. Colación. 10. Espera de equipos. 11. Charlas. 12. Contingencia Climática.

5.2. Mapa de Flujo de Valor / Tiempo de Ciclo – Deseable

Se realizó un mapa de flujo de valor para cada una de las tres frentes de estudio para determinar el tiempo deseable para cada operación unitaria del ciclo de avance de túneles de la Figura 3.1. También, se presenta un gráfico circular que muestra la categorización de trabajo (tiempo productivo, tiempo contributorio, tiempo no productivo) ideal para el ciclo operativo junto con el cuello de botella de la operación total.

A continuación, se presentan los resultados que se obtuvieron para cada frente de estudio con su respectivo mapa de flujo de valor asociado.

Tabla 5.3: Resumen de Información entregada por Mapas de Flujo de Valor con tiempos deseables. Elaboración Propia.

Frente	Tiempo de Ciclo deseable [h]	Trabajo Productivo	Trabajo Contributorio	Trabajo No Productivo
Frente 1	44	93 %	7 %	0 %
Frente 2	30	92 %	8 %	0 %
Frente 3	48	94 %	6 %	0 %

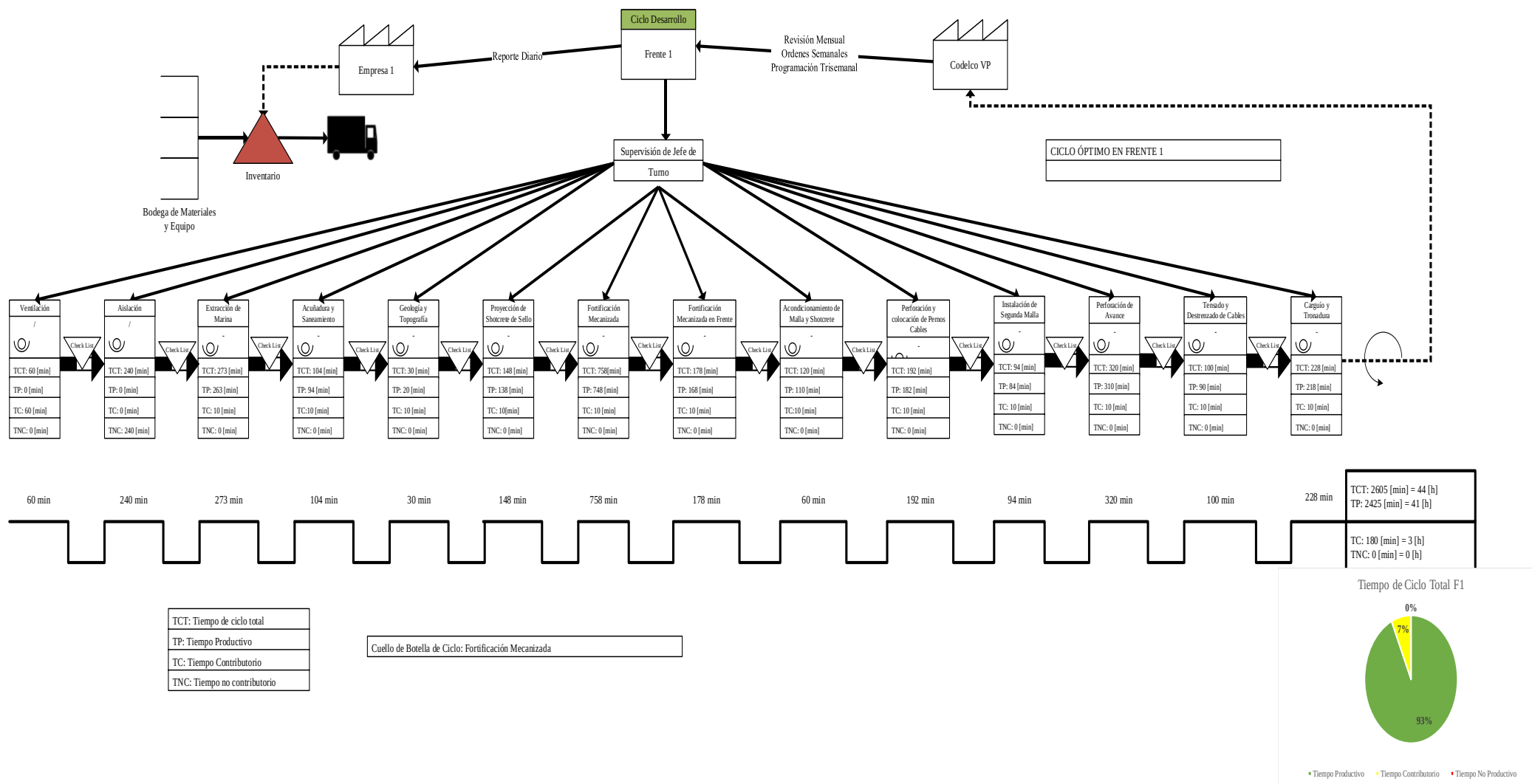


Figura 5.1: Mapa de flujo de valor con tiempos deseables para Frente 1. Elaboración Propia.

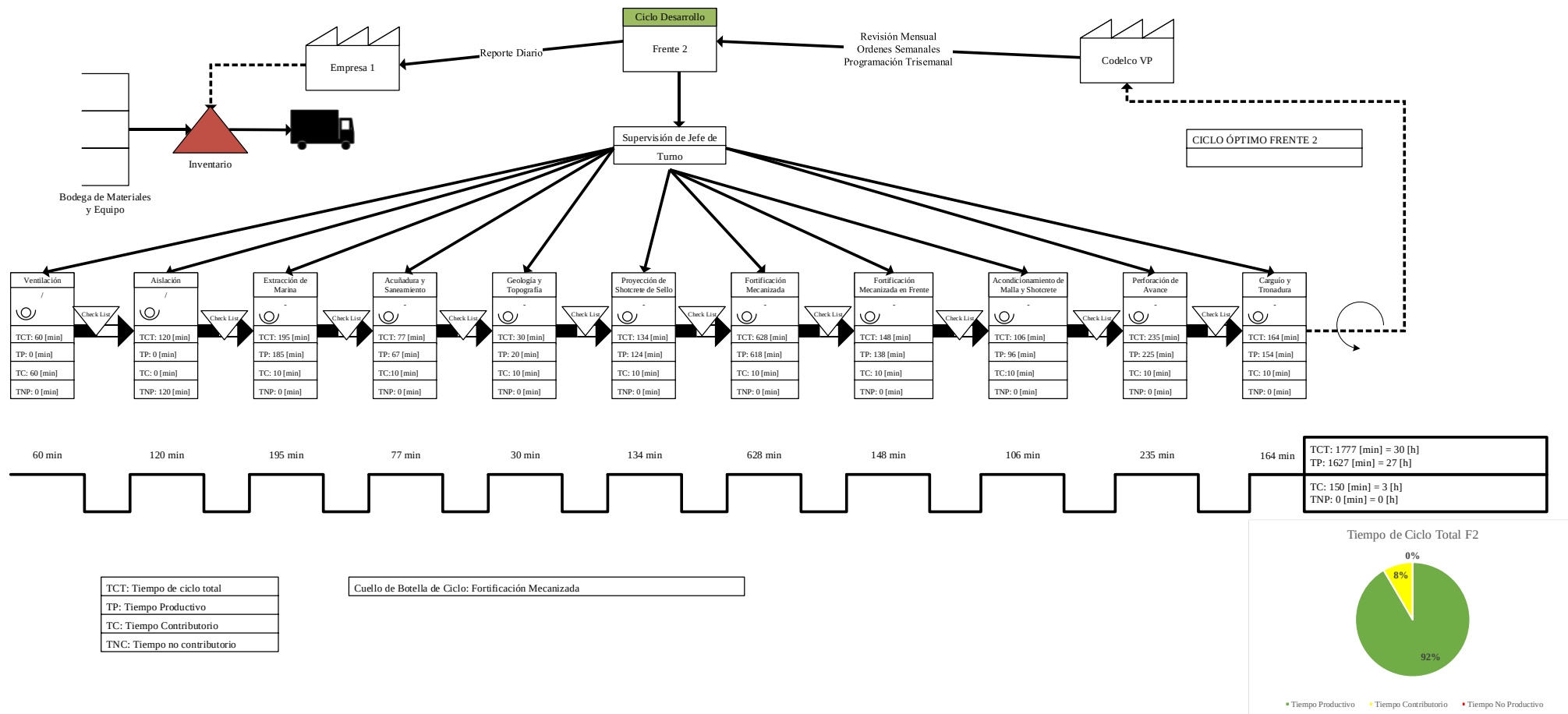


Figura 5.2: Mapa de flujo de valor con tiempos deseables para Frente 2. Elaboración Propia.

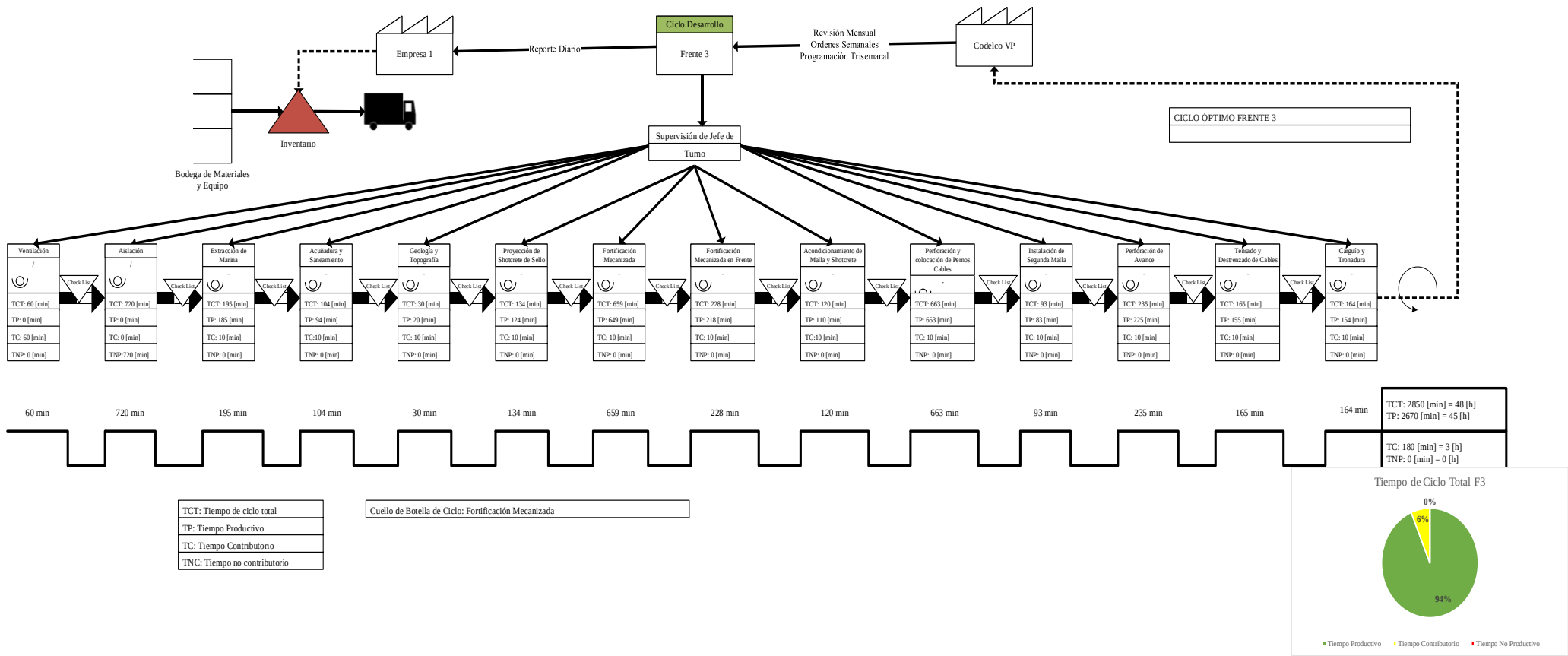


Figura 5.3: Mapa de flujo de valor con tiempos deseables para Frente 3. Elaboración Propia.

5.3. Mapa de Flujo de Valor / Tiempos de Ciclo - Obtenidos

En base al levantamiento de datos que se generó del proyecto, se puede determinar que la cantidad de Tronaduras en cada frente de estudio son:

Tabla 5.4: N° de Tronaduras en periodo de levantamiento de datos para cada frente de estudio. Elaboración Propia.

Frente de Trabajo	Ciclo Inicial – Ciclo Final	N° de Tronaduras
Frente 1	192 – 213	22
Frente 2	202 – 251	50
Frente 3	60 – 72	13

Como en la Frente 2 se ejecuta el tipo de fortificación C1, que contempla una menor cantidad de operaciones unitarias, fue la frente con mayor cantidad de tronaduras en el período de análisis. Para las frentes restantes, uno de los motivos de la menor cantidad de tronaduras se debe a que se ejecuta el tipo de fortificación D1, donde se adicionan operaciones unitarias, por lo que el tiempo de ciclo de avance aumenta.

Para cada ciclo de avance definido en la Tabla 5.4, se realizó un mapa de flujo de valor, el cual muestra cada operación unitaria, el tiempo de ciclo total distribuido entre tiempo productivo, tiempo contributorio y tiempo no productivo junto con un gráfico correspondiente. También, se muestran las interferencias que se produjeron a partir de un diagrama de pareto de lo que se obtuvo, los cuellos de botella del ciclo, de interferencia, y del tiempo productivo. Se destaca que debido a la gran cantidad de mapas de flujo de valor que se generaron, no se pueden incluir todos en el informe de memoria de título.

A continuación, se presenta una tabla resumen mensual de los tiempos de ciclo:

Tabla 5.5: Tiempo de Ciclo Total (TCT) mínimo y máximo mensual en cada frente. Elaboración Propia.

Mes	Mín – Max F1 [h]	Mín – Max F2 [h]	Mín – Max F3 [h]
Enero	81 – 138	45 – 98	110 – 248
Febrero	82 – 170	42 – 123	100 – 226
Marzo	72 - 370	37 – 57	132
Abril	76 - 243	40 – 124	265 - 928

Los resultados de la Tabla 5.5, muestran que los tiempos de ciclo de avance para cada frente están muy por encima del valor deseado. La frente con mayores dificultades es la Frente 3, donde incluso en el mes de Marzo hubo solo una tronadura. La frente con mejor rendimiento es la Frente 2, pero también se compensa debido a que se ejecuta el tipo de fortificación C1, con una menor cantidad de operaciones unitarias en comparación a las otras dos frentes. Es por esto, que se debe indagar más profundamente para que se pueda determinar las causas principales del bajo rendimiento.

Para determinar un valor de comparación, se utilizó la mediana por sobre la media, debido a que, al existir valores muy elevados, la media no entrega un valor realista, por lo que se tiene:

Tabla 5.6: Mediana de los Tiempos de Ciclo en cada frente. Elaboración Propia.

Mes	Mediana F1 [h]	Mediana F2 [h]	Mediana F3 [h]
Enero	114	53	123
Febrero	105	54	120
Marzo	86	44	132
Abril	140	48	597

De la Tabla 5.6 se determina que en el mes de Marzo y Abril para la Frente 3 hubo un problema grave debido a que la cantidad de tronaduras entre los dos meses es de 3 disparos. En la frente 2 se observa un comportamiento menos variable en comparación a las otras frentes, pero de igual manera la mediana está por sobre el valor deseable que es de 30 [h].

A continuación, se presenta un mapa de flujo de valor para cada frente de estudio para evidenciar el trabajo que se realizó y la forma en que se presentaban los resultados obtenidos por cada ciclo operativo de avance en el proyecto. A partir de los mapas de flujo de valor, se realiza el posterior análisis de las causas principales del bajo rendimiento, ya que en cada uno de ellos se entrega toda la información operacional de cada tronadura.

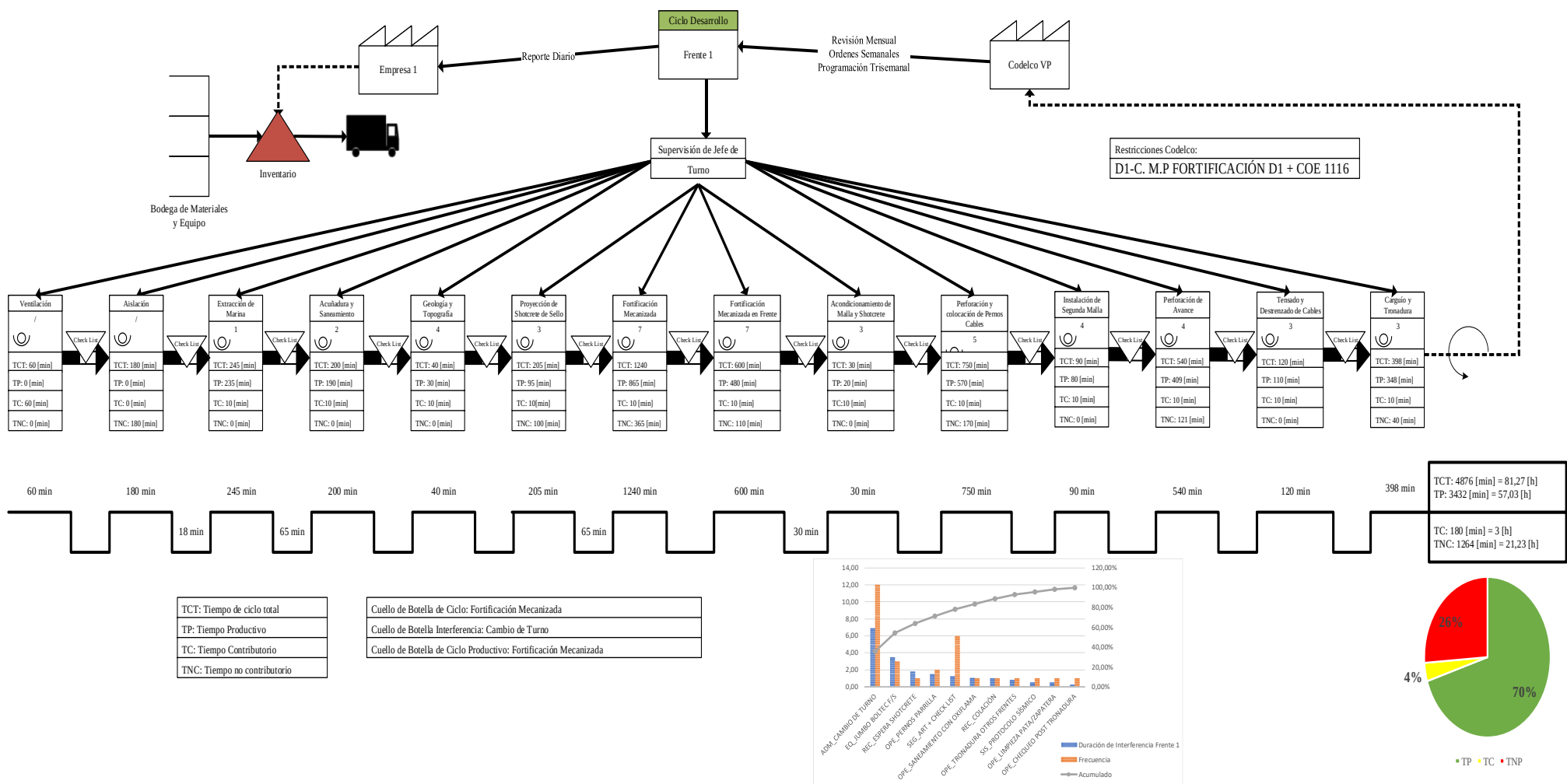


Figura 5.4: Mapa de flujo de valor ciclo 193 – Frente 1. Elaboración Propia.

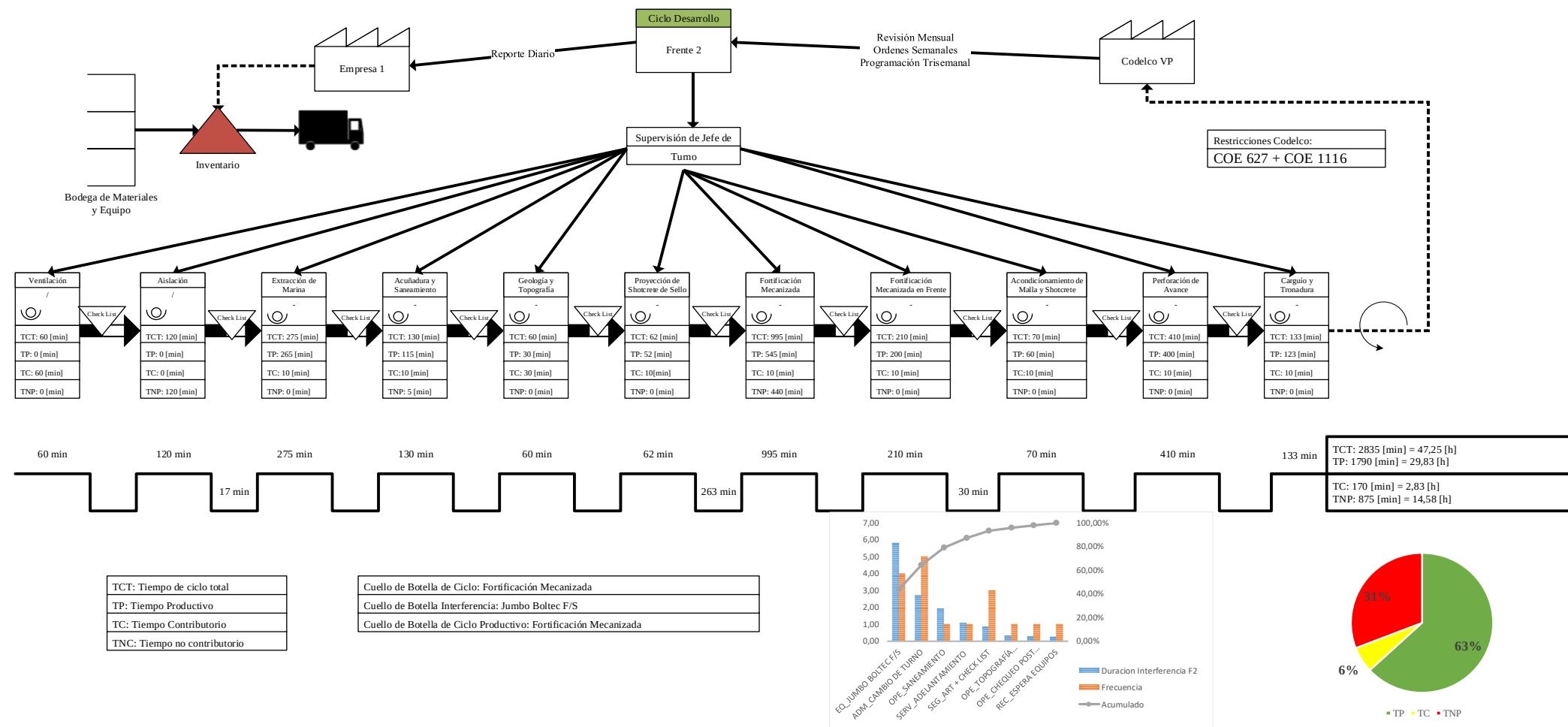


Figura 5.5: Mapa de flujo de valor ciclo 203 – Frente 2. Elaboración Propia.

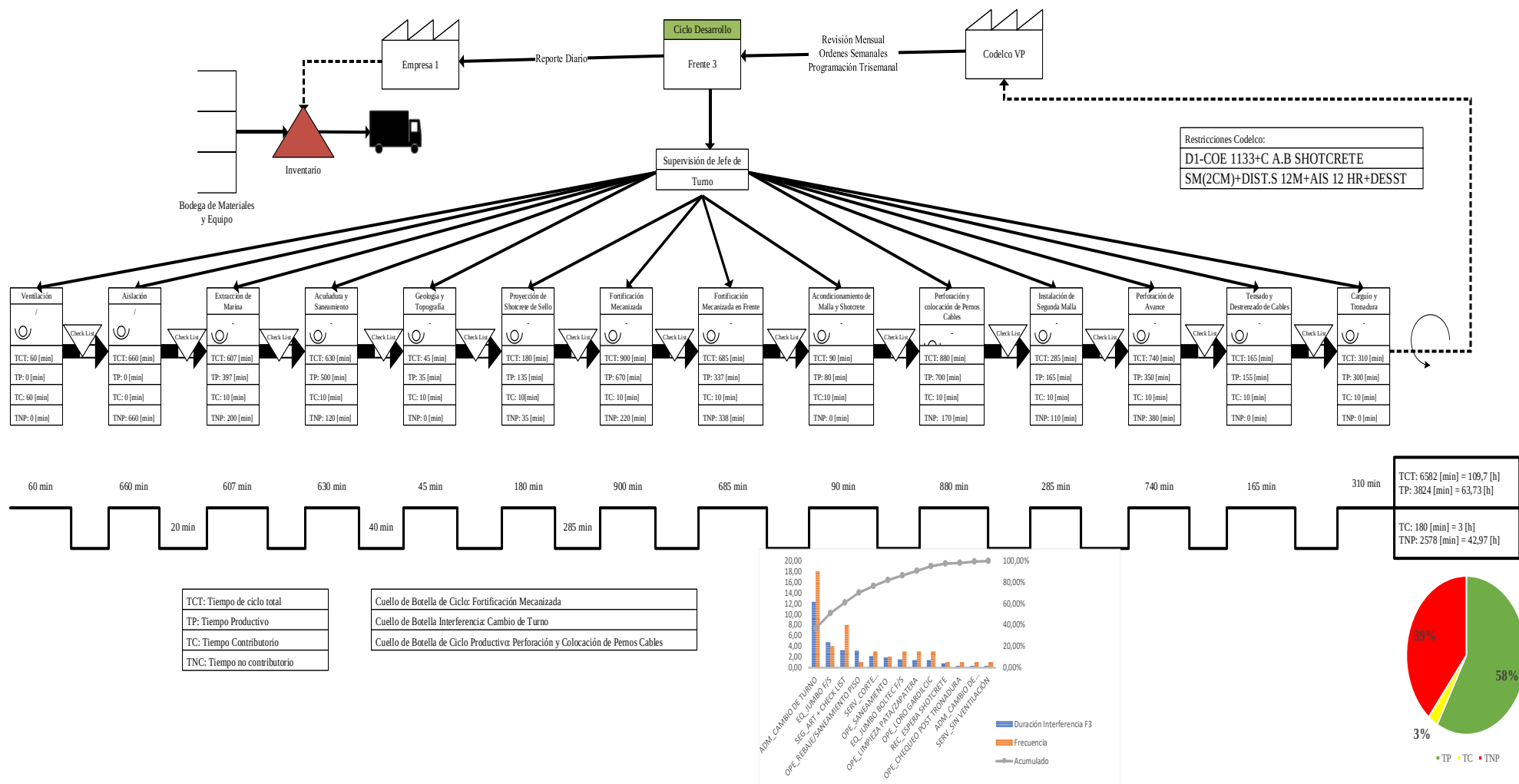


Figura 5.6: Mapa de flujo de valor Ciclo 61 – Frente 3. Elaboración Propia.

5.4. Variantes de Fortificación

Las variantes de la fortificación se deben a que en ciertos casos existen modificaciones con cartas contractuales al realizar una evaluación geomecánica de la frente lo que se decide entre la empresa mandante en conjunto con la empresa contratista de forma de determinar la mejor opción de fortificación. A continuación, se presentan los tipos de fortificación de la Tabla 3.3 relacionado a cada ciclo operativo de avance del túnel:

1) Frente 1.

Tabla 5.7: Tipo de fortificación y ciclo asociado en Frente 1. Elaboración Propia.

Tipo de Fortificación	Modificación	Ciclo Operativo Asociado
D1	No aplica	192 – 204
D1	2 [h] de aislación post extracción de marina + 2 [h] de aislación post acuñadura	205 – 210
D1	2 [h] de aislación post extracción de marina + 3 [h] de aislación post acuñadura + cambio de actividades con jaula	211 – 212
D1	2 [h] de aislación post extracción de marina + 3 [h] de aislación post acuñadura + cambio de actividades con jaula + distancia de seguridad de 45 [m]	213

2) Frente 2 sin modificaciones en periodo de levantamiento de datos.

3) Frente 3.

Tabla 5.8: Tipo de fortificación y ciclo asociado en Frente 3. Elaboración Propia.

Tipo de Fortificación	Modificación	Ciclo Operativo Asociado
D1	Shotcrete sobre malla de 2 [cm] + distancia de seguridad de 12 [m] + aislación 12 [h] + Destressing	60 – 70
D1	Shotcrete sobre malla de 2 [cm] + distancia de seguridad de 30 [m] + Destressing + aislación post marina 2 [h] + aislación pos acuñadura 2 [h]	71 – 72

5.5. Parametrización de Interferencias

A partir de los mapas de flujo de valor, donde se incorporó un diagrama de pareto de las interferencias por cada ciclo de avance, se realizó la parametrización del 80% de las principales interferencias para cada frente de estudio.

5.5.1. Frente 1

Para la frente 1 se encontró que el 80% de las principales interferencias en los ciclos operativos es:

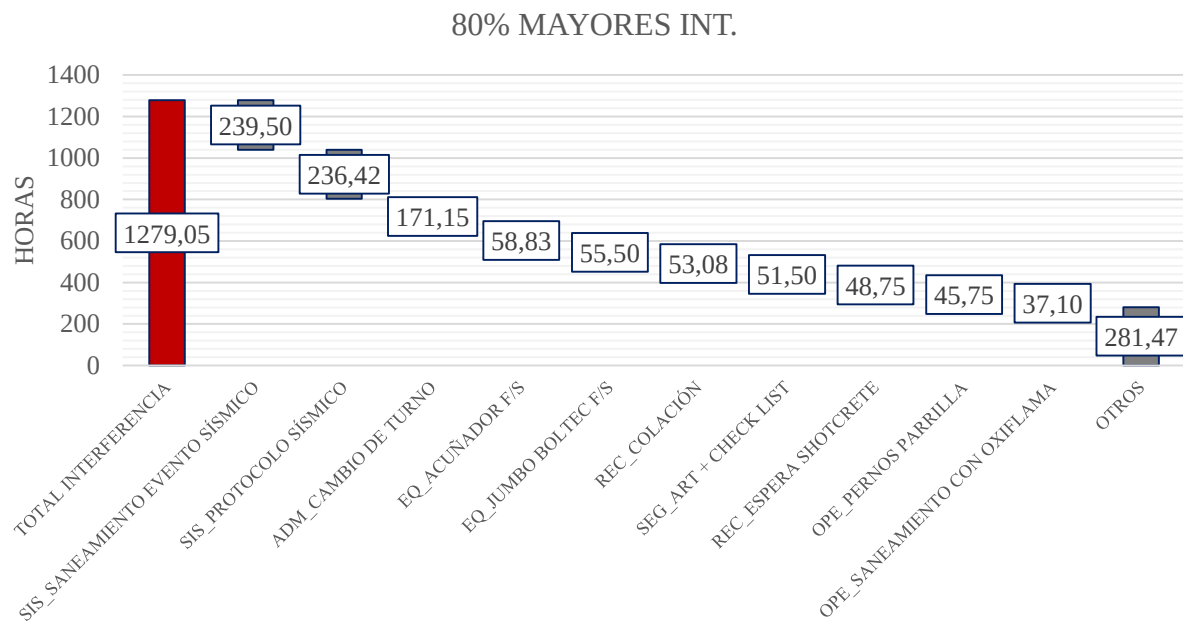


Figura 5.7: Principales interferencias del ciclo operativo en Frente 1. Elaboración Propia.

Al analizar la Figura 5.7, se tiene que las 2 principales interferencias se relacionan totalmente, debido a que si se está en presencia de protocolos sísmicos deberá existir el saneamiento del material rocoso que se obtiene por el “goteo” o por los estallidos de roca en las galerías. Posteriormente, sigue la interferencia de cambio de turno lo que se debe a posible retraso de buses, interferencias asociadas, tronaduras, entre otras. También, se encontraron las interferencias de equipos principales fuera de servicio, como lo son el Acuñaador y el Jumbo Boltec. Esto no debería pasar en gran cantidad debido a que son equipos que tienen funciones vitales dentro de lo que son los ciclos operativos de avance en el túnel. Para un mayor detalle en Anexos D se presenta la parametrización de interferencias por tipo de fortificación.

5.5.1.1. Metros Perdidos por Interferencias – F1

Se debe considerar que los retrasos por interferencias en los ciclos operativos generan una deficiencia en los avances de los desarrollos horizontales, por lo que se debe disponer cuantos metros se están perdiendo en avance por las interferencias encontradas. Por lo tanto, se presentan los resultados obtenidos.

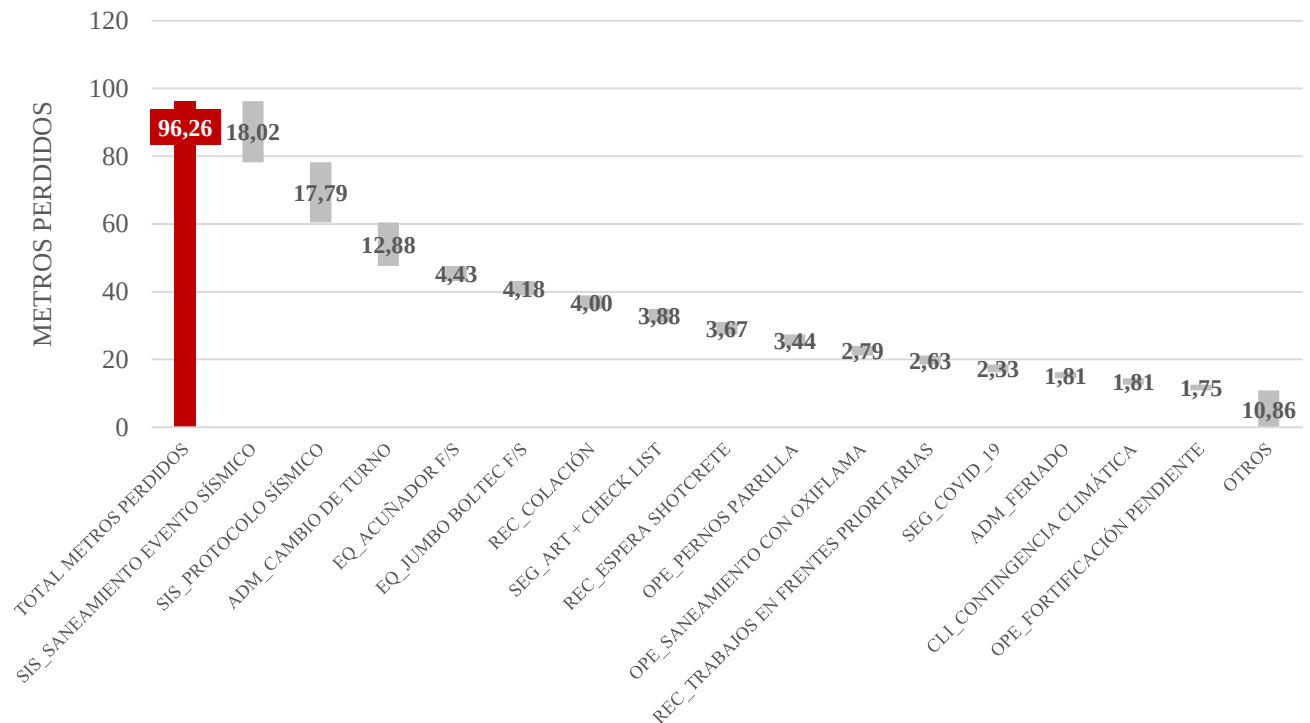


Figura 5.8: Metros perdidos por Interferencia en Frente 1. Elaboración Propia.

Como la Figura 5.7 se relaciona con la Figura 5.8, se tiene que los metros perdidos se deben principalmente al evento sísmico donde aproximadamente son 36 [m], un valor muy elevado, pero como es una condición del macizo rocoso no existe alguna solución a ese problema. Posteriormente, sigue el cambio de turno y los equipos de acuñadura y fortificación con aproximadamente 22 [m], lo que significa 7 tronaduras. Esto es un problema, debido a que genera una baja productividad del proyecto y un aumento en los plazos, lo que será un punto a considerar en el momento de buscar soluciones a los problemas.

5.5.2. Frente 2

Para la frente 2 se encontró que el 80% de las principales interferencias en los ciclos operativos dentro del tiempo de estudio es:

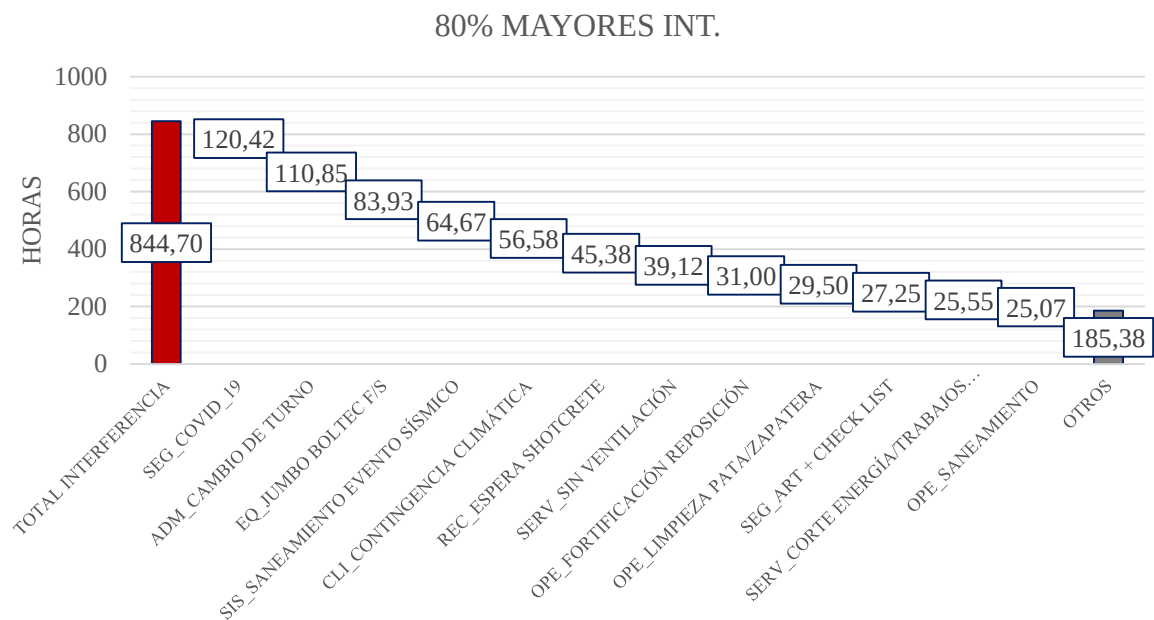


Figura 5.9: Principales interferencias del ciclo operativo en Frente 2. Elaboración Propia.

Al analizar la Figura 5.9, se tiene que la principal interferencia es relacionada al Covid 19, debido a que en el tiempo de levantamiento de datos de cierta forma aún no se tenía controlada la pandemia, porque por ejemplo aún no existía mucha gente con sus respectivas vacunas, por lo que no existe alguna solución a esa interferencia. Posteriormente, lo sigue al igual que en la frente 1 nuevamente el cambio de turno, con 110 [h] de interferencia, por lo que se encuentra un patrón de que dentro de las principales interferencias del proyecto se encuentra el cambio de turno. También, nuevamente se encuentra el equipo Jumbo Boltec fuera de servicio, el cual es un equipo principal de la operación debido a que se encarga de la fortificación del túnel. Otra interferencia de gran magnitud es el evento sísmico debido a las condiciones del macizo rocoso, pero no existe alguna solución a ese problema. Contingencia climática también es una interferencia que no tiene una solución ya que depende de la ubicación de las obras.

5.5.2.1. Metros Perdidos por Interferencias – F2

Se debe considerar que los retrasos por interferencias en los ciclos operativos generan una deficiencia en los avances de los desarrollos horizontales, por lo que se debe disponer cuantos metros se están perdiendo en avance por las interferencias encontradas. Por lo tanto, se presentan los resultados obtenidos.

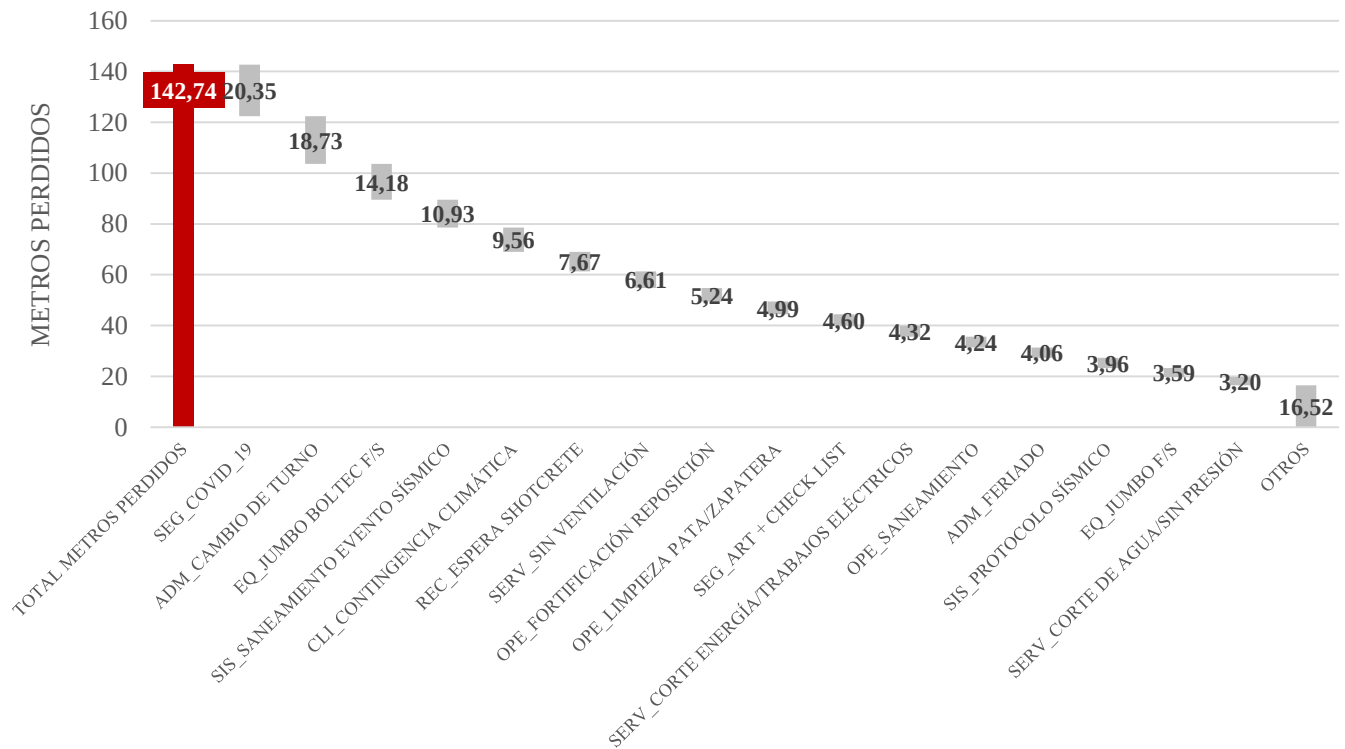


Figura 5.10: Metros perdidos por Interferencias en Frente 2. Elaboración Propia.

De la Figura 5.10 se presenta que existe una directa relación entre el tiempo de interferencia y el de metros perdidos, porque el cambio de turno y el Jumbo Boltec son de las interferencias con mayor cantidad de tiempo dentro de los ciclos operativos de la frente 2. En el caso de que no existieran ese tipo de interferencia, el desarrollo horizontal de la galería podría haber sido 32,9 [m] más de lo que avanzó en el tiempo de investigación. También, se puede observar que el saneamiento por evento sísmico es un problema que se presenta de todas formas en las frentes de estudio y que se relaciona con la baja productividad que se puede tener en el proyecto.

5.5.3. Frente 3

Para la frente 3 se encontró que el 80% de las principales interferencias en los ciclos operativos dentro del tiempo de estudio es:

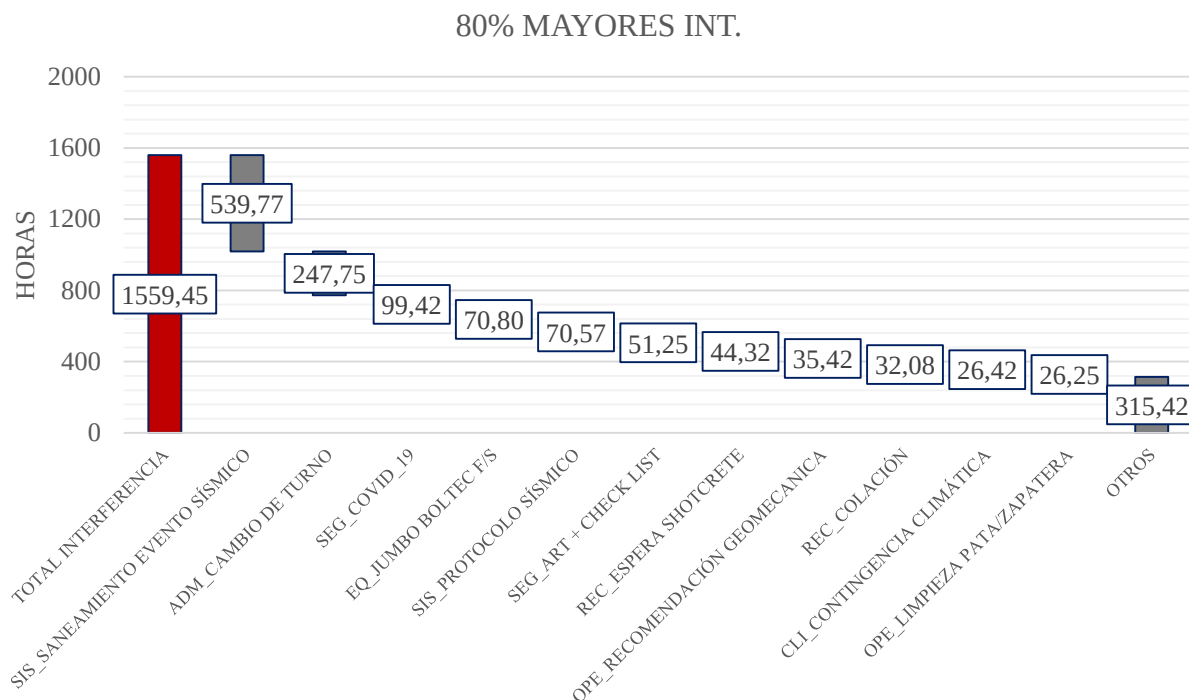


Figura 5.11: Principales Interferencias del ciclo operativo en Frente 3. Elaboración Propia.

La frente 3 fue la que más afectada se ve por la interferencia del saneamiento por evento sísmico, incluso se encontró que es la frente con menor cantidad de tronaduras por lo tanto con menor cantidad de avance lo que significa que tiene la menor productividad. También, al igual que las otras frentes de estudio, sigue el mismo patrón de que dentro de las principales interferencias está el cambio de turno y el Jumbo Boltec fuera de servicio. Una interferencia que también se repitió en las 3 frentes es la de espera de shotcrete, lo que conlleva a que el Roboshot este en espera y no en trabajo productivo.

5.5.3.1. Metros Perdidos por Interferencias – F3

De igual forma que en las frentes anteriores, se debe presentar los metros perdidos de avance por interferencias encontradas en los ciclos operativos en la frente 3, de lo que se obtuvo:

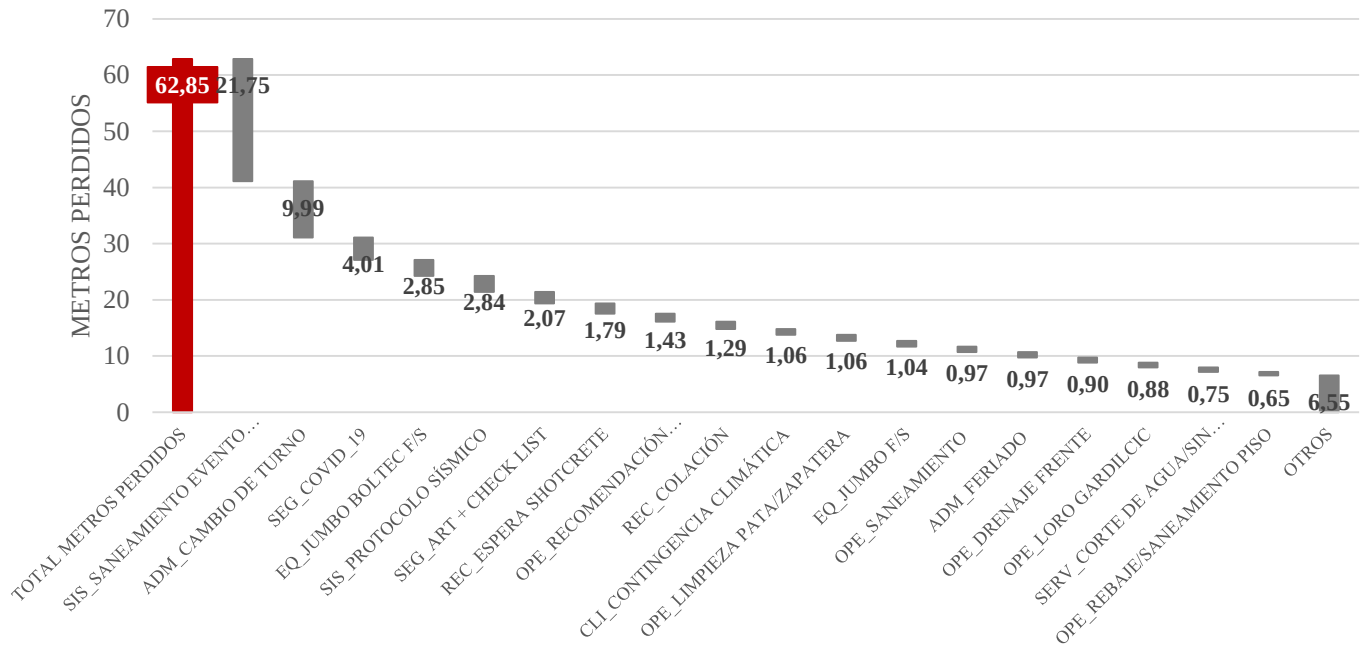


Figura 5.12: Metros perdidos por Interferencias en Frente 3. Elaboración Propia.

A partir de los análisis de cada frente se puede demostrar que el generar desarrollos horizontales en una zona con complejidades constructivas genera una disminución importante en la productividad del proyecto. Esto fue un patrón en las tres frentes de estudio, debido a que la principal interferencia se debe a saneamiento o protocolo por eventos sísmicos, y esto es un trabajo que no agrega valor, pero no se puede eliminar debido a que son condiciones geomecánicas del macizo y se debe tratar de lidiar de la mejor forma con ese tipo de actividad.

También, en el caso de que no existiera la interferencia por cambio de turno y el Jumbo Boltec fuera de servicio el avance de esta frente podría ser 12,8 [m] más de lo que realmente avanzó en el periodo de evaluación, lo que significa 4 tronaduras adicionales.

5.6. Avance Disparo / Rendimiento – Eficiencia de Disparos

Un parámetro importante en los desarrollos de túneles es el Avance parcial y Eficiencia de las tronaduras que se realizan, porque esto ayuda a llevar un control y una comparación con la programación mensual para el cumplimiento de los plazos del proyecto. A continuación, se presentan los resultados por cada frente de estudio en el proyecto.

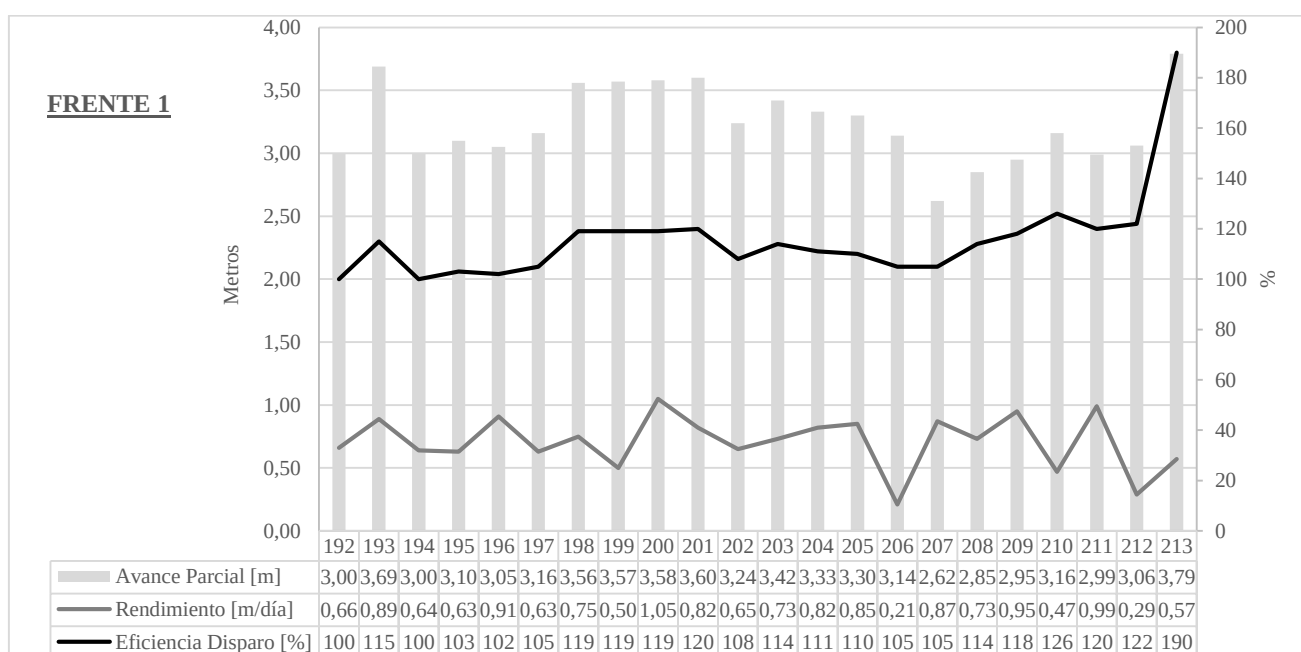


Figura 5.13: Avance y Rendimiento en Frente 1. Elaboración Propia.

De la Figura 5.13, se puede determinar que la mediana del avance parcial por disparo es de 3,2 [m] y la mediana del rendimiento es de 0,7 [m/día].

También, mediante el avance se puede realizar una comparación de la programación real y lo que realmente se avanzó en cada disparo dentro del mes, de lo que se tiene:

Tabla 5.9: Cumplimiento mensual de disparos en Frente 1. Elaboración Propia.

Mes	Ciclo Inicial – Ciclo Final	Metros Programados	Metros Reales	Cumplimiento Mensual	Mediana Eficiencia de Disparo
Enero	192 - 198	30,0 [m]	22,6 [m]	75,2 %	103%
Febrero	199 - 204	27,0 [m]	20,7 [m]	76,8 %	117%
Marzo	205 - 209	33,0 [m]	14,8 [m]	45,1 %	110%
Abril	210 - 213	17,5 [m]	13 [m]	74,3 %	124%

Al analizar la Tabla 5.9 se verifica que en ningún mes de levantamiento de datos del proyecto se cumplió con la meta mensual de avance en el desarrollo horizontal de la Frente 1. El avance total desde enero hasta abril fue de 71,2 [m]. El mes de peor rendimiento fue marzo con solo un 45% del cumplimiento mensual, donde se debe destacar que al existir interferencias de tan largo tiempo como las que se plantearon anteriormente, se complica demasiado el poder llegar al 100% del cumplimiento. Con relación a la eficiencia de disparo, se tienen valores en todos los meses superior al 100%, por lo tanto, es un excelente valor relacionado al avance de la frente por tronadura.

Para la Frente 2 se obtuvo:

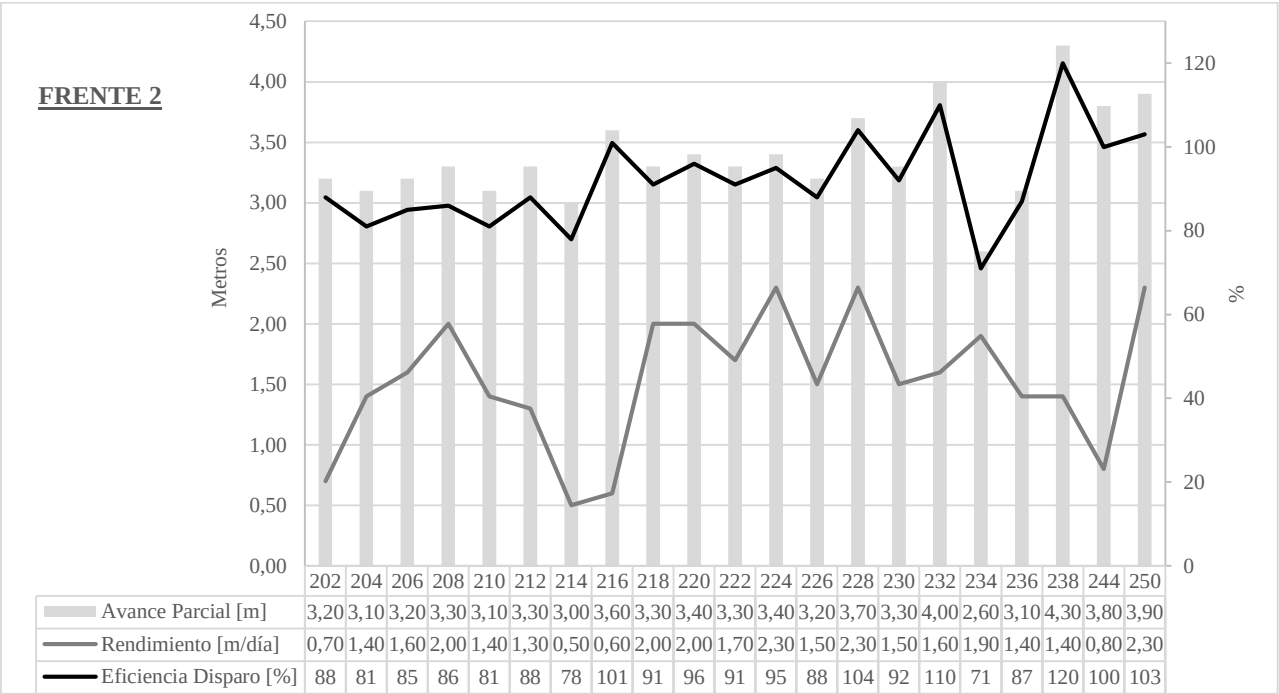


Figura 5.14: Avance y Rendimiento en Frente 2. *Elaboración Propia.*

Entonces, para la Frente 2, a partir de la Figura 5.14, se puede determinar que la mediana del avance por disparo es de 3,5 [m] y la mediana del rendimiento es de 1,6 [m/día].

También, mediante el avance por disparo se puede realizar una comparación de la programación real y lo que realmente se avanzó en cada tronadura dentro del mes, de lo que se tiene:

Tabla 5.10: Cumplimiento mensual de disparos en Frente 2. Elaboración Propia.

Mes	Ciclo Inicial – Ciclo Final	Metros Programados	Metros Reales	Cumplimiento Mensual	Mediana Eficiencia de Disparo
Enero	202 - 213	68,4 [m]	38,2 [m]	55,84 %	86%
Febrero	214 - 223	54,0 [m]	34,2 [m]	63,41 %	95%
Marzo	224 - 239	61,2 [m]	56,1 [m]	91,68 %	98%
Abril	240 - 251	54,0 [m]	45,6 [m]	84,43 %	98%

Al analizar la Tabla 5.10 se verifica que en ningún mes al igual que en la frente 1 de levantamiento de datos del proyecto se cumplió con la meta mensual de avance en el desarrollo horizontal de la Frente 2. El avance total desde enero hasta abril fue de 174,3[m]. El mes de peor rendimiento fue Enero con solo un 55% del cumplimiento mensual, donde se debe destacar que al existir interferencias de tan largo tiempo como las que se plantearon anteriormente, se complica demasiado el poder llegar al 100% del cumplimiento. Con relación a la mediana de eficiencia de disparo, se destaca que entre los ciclos 202 hasta el 215 se observa una falencia en la eficiencia del disparo, lo que se relaciona con la eficiencia en los meses Enero y Febrero, lo que se debe levantar o tener en consideración para la evaluación de una posible mejora. Esta es la frente con mayor avance en metros horizontales de las 3 que se estudiaron. En marzo para la frente 1 y frente 3 fue el peor rendimiento por protocolos sísmicos, es por esto que la frente 2 en el mes de Marzo fue la con mayor avance en metros reales debido a que se centraron las operaciones en esta frente. Finalmente, para la Frente 3 se obtuvo:

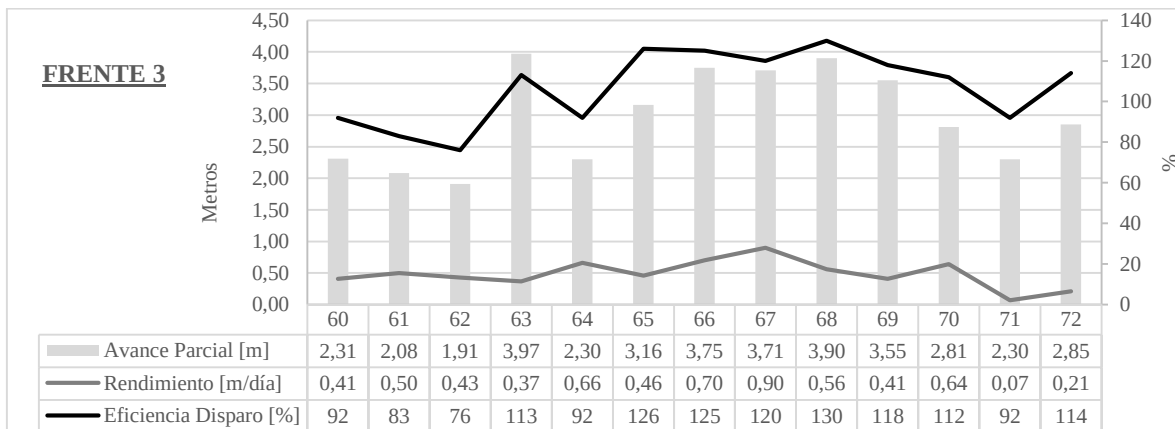


Figura 5.15: Avance y Rendimiento en Frente 3. Elaboración Propia.

Para la Frente 3, a partir de la Figura 5.15, se puede determinar que la mediana de avance por disparo es de 2,9 [m] y la mediana del rendimiento por ciclo de 0,5 [m/día].

De igual forma, mediante el avance por disparo se puede realizar una comparación de la programación real y lo que realmente se avanzó en cada tronadura dentro del mes, de lo que se tiene:

Tabla 5.11: Cumplimiento mensual de disparos en Frente 3. Elaboración Propia.

Mes	Ciclo Inicial – Ciclo Final	Metros Programados	Metros Reales	Cumplimiento Mensual	Mediana Eficiencia de disparo
Enero	60 - 64	18 [m]	12,6 [m]	69,8 %	92%
Febrero	65 - 69	30 [m]	18,1 [m]	60,2 %	125%
Marzo	70	25 [m]	2,8 [m]	11,2 %	112%
Abril	71 - 72	15 [m]	5,2 [m]	34,3 %	103%

Finalmente, al analizar la Tabla 5.11 se verifica que en ningún mes al igual que en la frente 1 y frente 2 de levantamiento de datos del proyecto se cumplió con la meta mensual de avance en el desarrollo horizontal de la Frente 3. El avance total desde Enero hasta Abril fue de 38,6 [m].

El mes de peor rendimiento fue marzo con solo un 11% del cumplimiento mensual, donde se debe destacar que al existir interferencias de protocolo o saneamiento sísmico de tan largo tiempo como las que se plantearon anteriormente, se complica demasiado el poder llegar al 100% del cumplimiento, complementando que se define como una frente crítica. Con relación a la mediana de la eficiencia de disparo, se tienen valores en el mes de enero cercano al 100% y en los 3 meses posteriores superiores al 100%, por lo tanto, es un buen valor relacionado al avance de la frente por tronadura. Esta es la frente con menor avance en metros horizontales de las 3 que se estudiaron. Una de las razones se debe a que fue la frente con menor cantidad de ciclos completados en el tiempo de levantamiento de datos.

5.7. Tiempo Disponible y Tiempo Efectivo

De acuerdo con los datos analizados dentro de la investigación, los cuales consideran el tiempo de inicio y término de cada actividad junto con la duración de cada tarea, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 5.12: Distribución de la Jornada de Trabajo. Elaboración Propia.

Frente	Tiempo Total Jornada de Trabajo	Tiempo disponible	Tiempo Otras Actividades	Tiempo Efectivo
Frente 1	12 [hrs]	10,82 [hrs]	1,18 [hrs]	7,60 [hrs]
Frente 2	12 [hrs]	10,90 [hrs]	1,10 [hrs]	8,70 [hrs]
Frente 3	12 [hrs]	10,29 [hrs]	1,71 [hrs]	6,90 [hrs]

De acuerdo con la empresa contratista que se evaluó, se considera una jornada de trabajo de 12 [hrs], donde se estima en promedio 1,33 [hrs] en otras actividades como charlas, coordinación, esperas, etc, contemplando así en promedio 10,67 [hrs] para realizar los trabajos programados para el turno en la frente. Pero, al analizar el tiempo efectivo de trabajo, se tiene en promedio un tiempo de 7,74 [hrs], que no significa que todo ese tiempo es productivo o agrega valor a la operación de las frentes de trabajo.

Por lo tanto, se puede determinar lo siguiente:

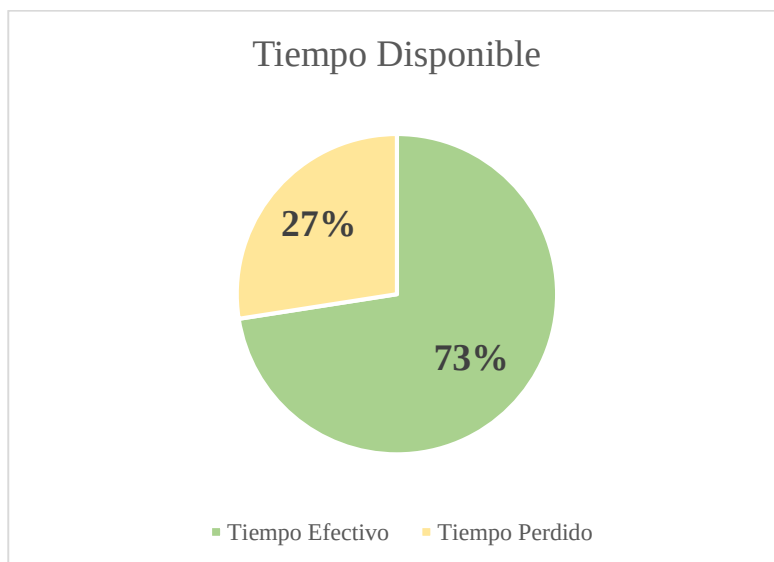


Figura 5.16: Distribución de Tiempo disponible. Elaboración Propia.

5.8. Categorización de Tiempos

La técnica del muestreo del trabajo es un método de medición del nivel de actividad de un proyecto u operación, donde 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 esto 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 el turno para posteriormente realizar mapas de flujo de valor (VSM) con la información.

Los resultados que se obtuvieron para la Frente 1 de estudio son:

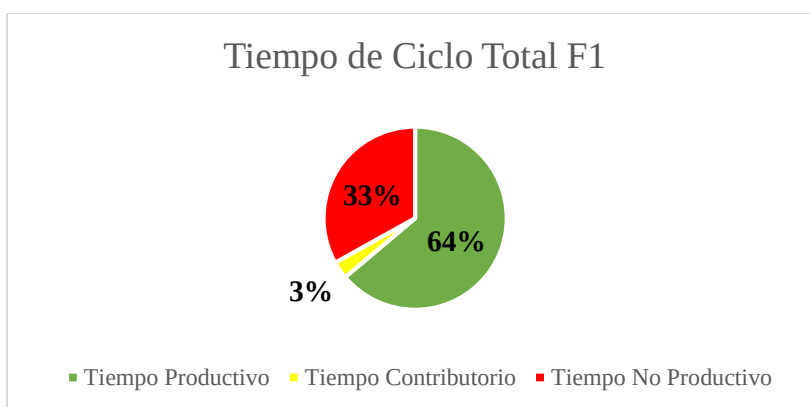


Figura 5.17: Muestreo de Trabajo en Frente 1. Elaboración Propia.

De igual manera, para la Frente 2 se obtuvo:

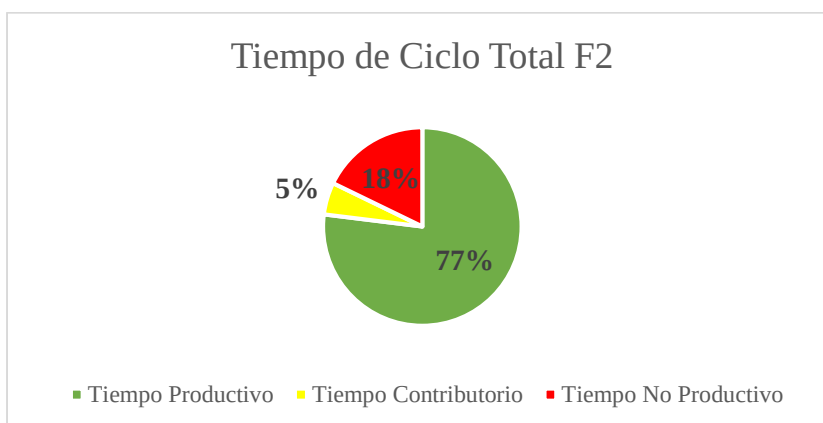


Figura 5.18: Muestreo de Trabajo en Frente 2. Elaboración Propia.

Finalmente, para la Frente 3 se obtuvo:

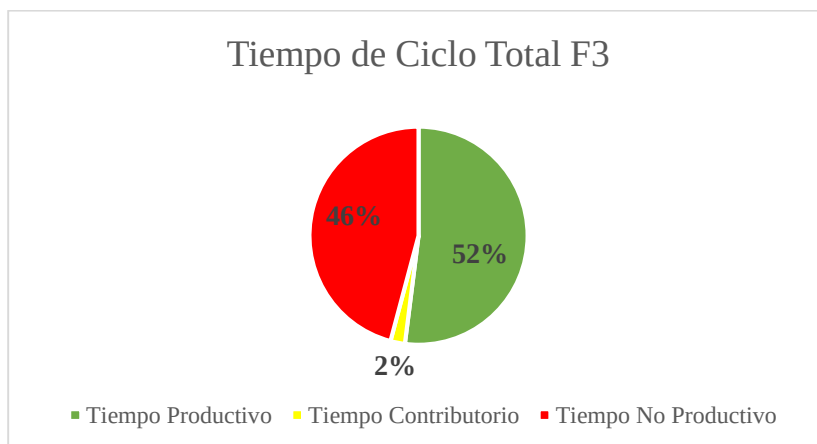


Figura 5.19: Muestreo de Trabajo en Frente 3. Elaboración Propia.

Al analizar los gráficos correspondientes al muestreo de trabajo se puede determinar en primera instancia que, considerando la cantidad de ciclos completados, el total de horas en actividad e interferencia, el tiempo efectivo de trabajo, es que la Frente 2 es la que tiene el mejor rendimiento en comparación a las otras frentes en estudio. La Frente 1 tiene un mejor rendimiento que la Frente 3 pero está bajo la Frente 2 comparando los tiempos productivos, cantidad de tronaduras, horas de interferencia, etc. También, la Frente 3 es la frente más complicada, lo que se denomina frente crítica debido a que el tiempo no productivo representa aproximadamente el 46% del tiempo efectivo, lo que es un pésimo resultado, pero se explica con las interferencias relacionadas al protocolo y saneamiento por evento sísmico lo que se escapa de las operaciones del proyecto y son condiciones del macizo rocoso.

Finalmente, si se comparan los resultados que se obtuvieron con lo que se presentan en la Tabla 5.3 que se relacionan con los tiempos deseables de cada frente, se puede determinar que ninguna de las tres frentes que se estudiaron se igualan a ese tiempo. La de mejor rendimiento como se dijo anteriormente, es la frente 2 con un 77% de trabajo que agrega valor, pero esta un 15% bajo lo que debería ser, y la de peor rendimiento es la frente 3 que está bajo en un 42% en trabajo productivo y supera en un 46% el trabajo no productivo. La Frente 1 si bien tiene un porcentaje superior de trabajo productivo, está bajo un 29% del deseable para la Frente.

5.9. Cuellos de Botella

El significado de cuello de botella en una empresa hace referencia a aquella actividad o fase de la producción que suele ser más lenta o costosa y, por tanto, genera tiempos de parada y retrasos en el resto de la línea de producción. Suele ser un problema muy corriente en los procesos de producción en línea y su mayor riesgo para las empresas es que genera un aumento de los costes productivos por la consecuente bajada de la productividad. Esto también implica que algunas de las fases de producción y los recursos implicados en cada una de esas fases trabajen por debajo de su capacidad, lo que directamente provoca una ineficiencia de la cadena productiva y una acumulación de existencias de productos inacabados. Para evitar esta situación de riesgo en la productividad del proyecto, lo más importante es saber cómo identificar el cuello de botella en una empresa, por qué se genera, qué pérdidas causa y qué soluciones y alternativas posibles para que todas las fases productivas trabajen a pleno rendimiento.

Por lo que para efectos del proyecto se identificaron los cuellos de botella del ciclo y de interferencia para cada frente de estudio, para tener en consideración las actividades más críticas del proyecto.

5.9.1. Ciclos Operativos

Como se realizaron Mapas de flujo de valor (VSM) para cada frente de estudio, se pudo determinar la frecuencia de los cuellos de botellas de los ciclos operativos. Por lo tanto, para la frente 1 se obtuvo:

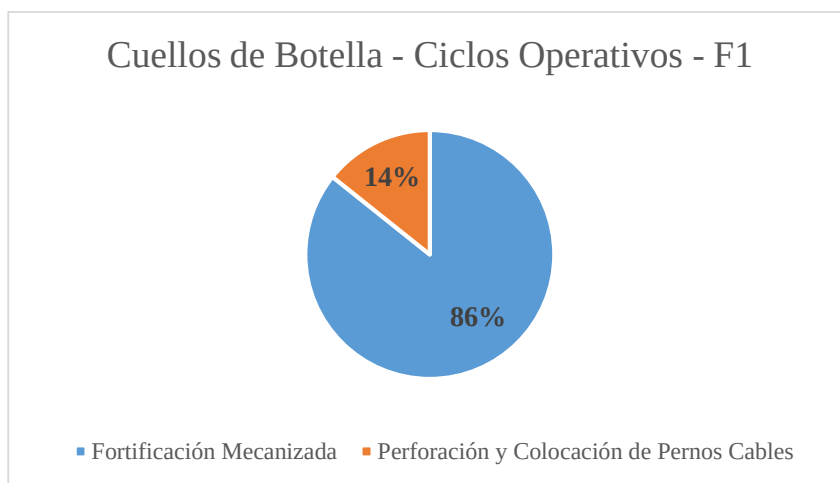


Figura 5.20: Cuello de botella en Ciclos Operativos en Frente 1. Elaboración Propia.

Para la frente 2 los resultados obtenidos son:

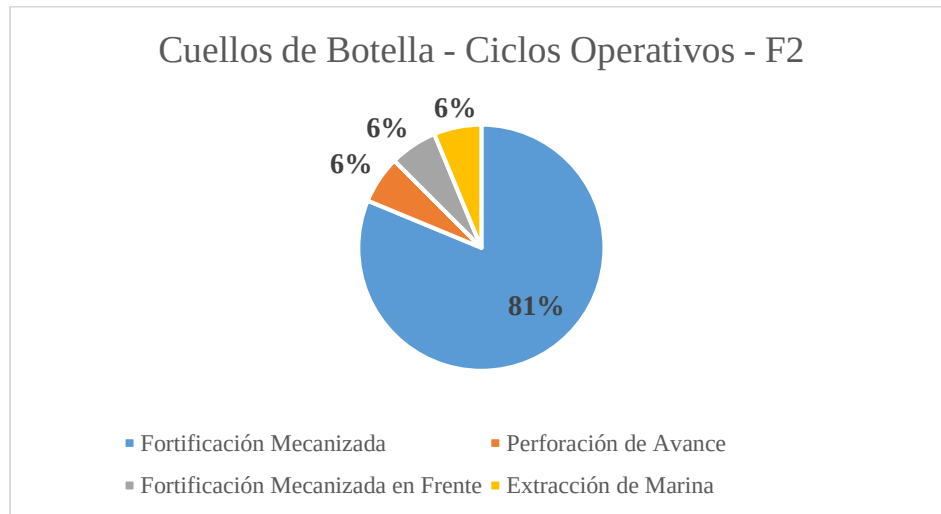


Figura 5.21: Cuello de botella en Ciclos Operativos en Frente 2. *Elaboración Propia.*

Y finalmente, para la frente 3 los resultados obtenidos son:

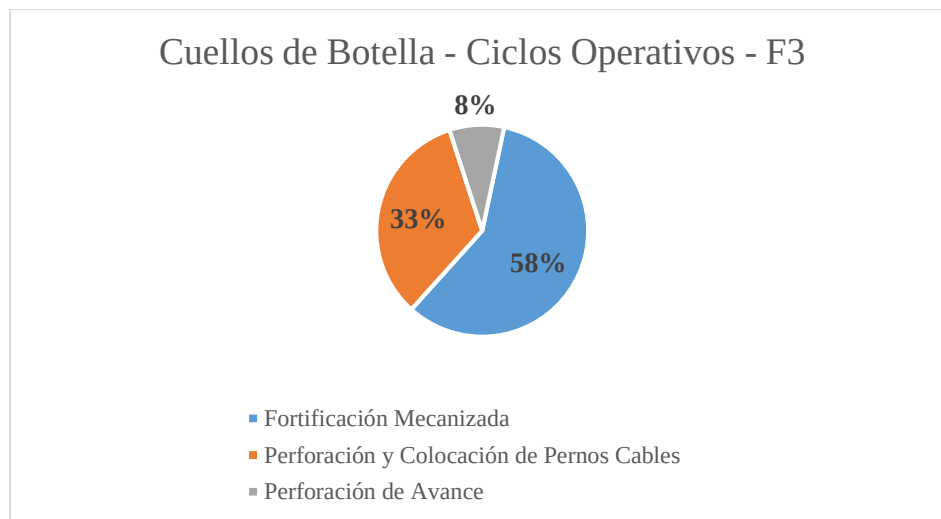


Figura 5.22: Cuello de botella en Ciclos Operativos en Frente 3. *Elaboración Propia.*

Con respecto a los gráficos que se obtuvieron de los cuellos de botella a los ciclos operativos, se puede concluir que la operación unitaria principal de los desarrollos horizontales en las 3 frentes de estudio es la Fortificación Mecanizada. También, en Frente 1 y Frente 3 se repite la operación unitaria de perforación y colocación de pernos cables, que se destaca es parte de la Fortificación de la frente. Otro factor a recalcar es la Perforación de Avance en la Frente 2 y Frente 3.

Por lo tanto, a continuación, se presenta un análisis de dispersión de las operaciones de fortificación mecanizada para que se pueda verificar su comportamiento.

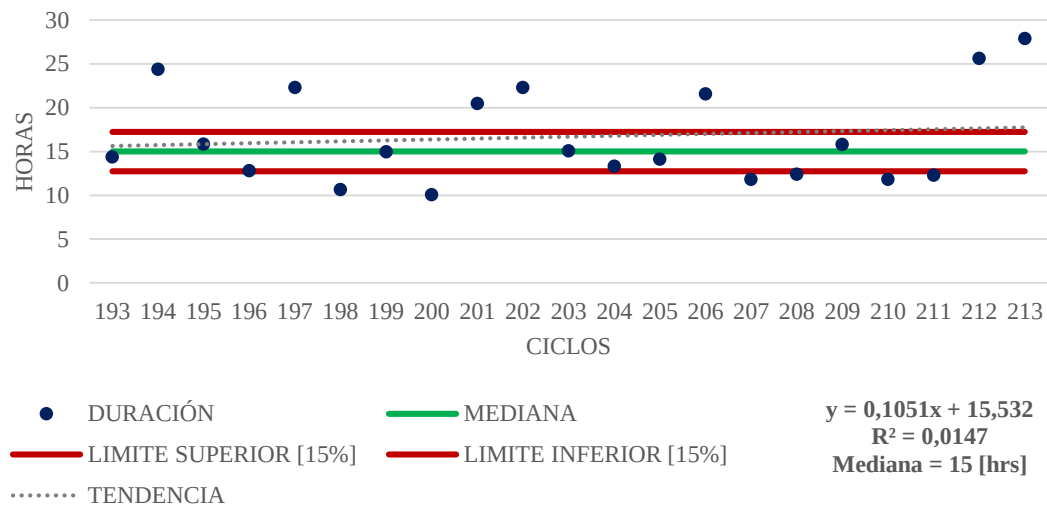


Figura 5.23: Control de dispersión OPU- Fortificación Mecanizada en Frente 1. Elaboración Propia.

Para la Frente 2 se obtuvo:

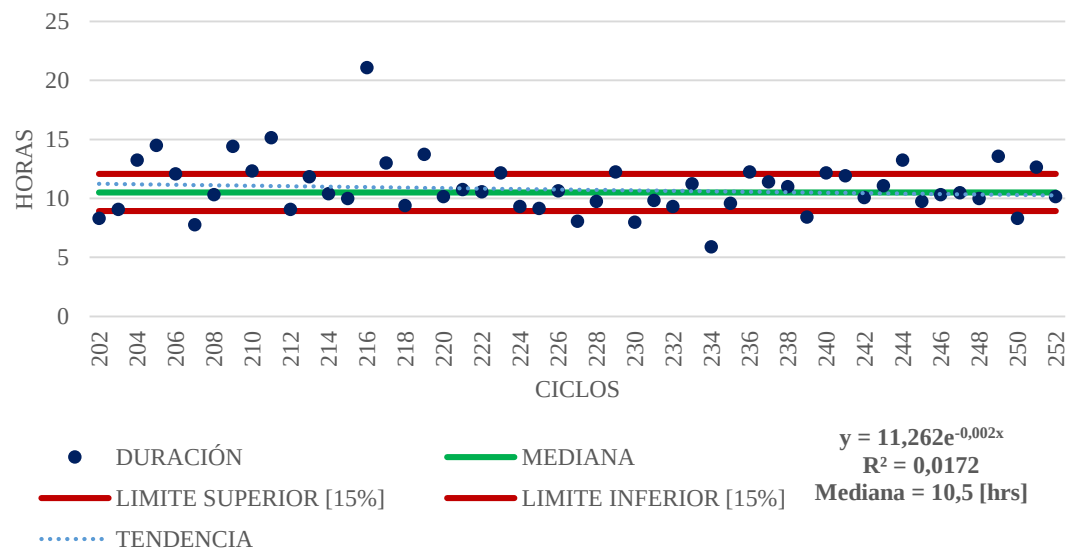


Figura 5.24: Control de dispersión OPU- Fortificación Mecanizada en Frente 2. Elaboración Propia.

Y finalmente, para la Frente 3 se obtuvo:

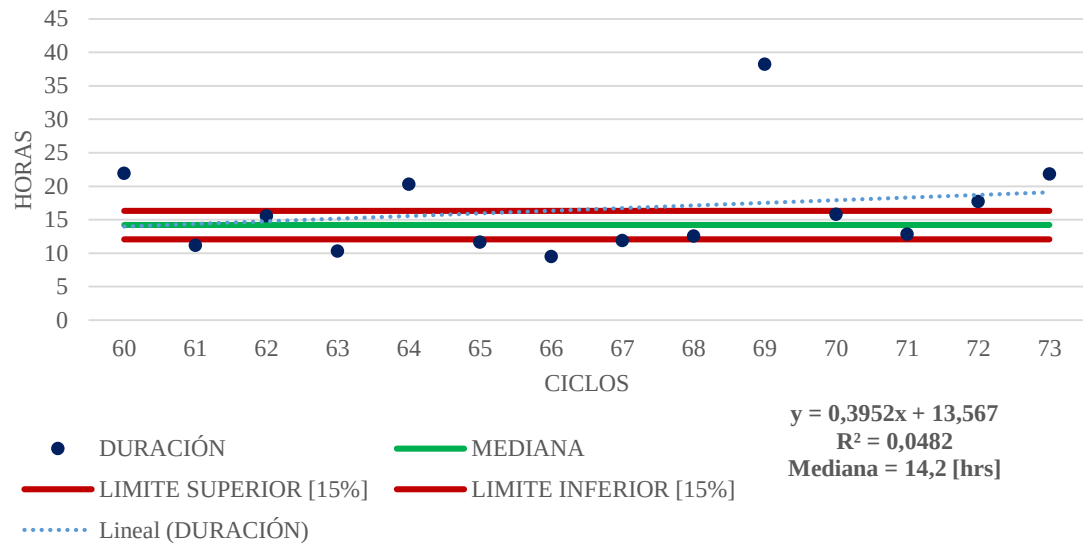


Figura 5.25: Control de dispersión OPU- Fortificación Mecanizada en Frente 3. Elaboración Propia.

Al analizar los gráficos que se obtuvieron del control de dispersión de la OPU- Fortificación Mecanizada se puede determinar que, si bien existe probablemente una tendencia al valor de la mediana en Frente 2, existen valores con mucha dispersión y que aumentan demasiado por motivo de interferencias en los ciclos y dependen también de los operadores del equipo. Esto es un problema que se debería tener en consideración ya que si es el cuello de botella de los ciclos operativos se debe a que es la operación que más tiempo se demora en completar, lo que se debe principalmente a la interferencia de Jumbo Boltec F/S.

5.9.2. Interferencias

De igual forma, como se realizaron Mapas de Flujo de Valor (VSM) para cada frente de estudio, se pudo determinar la frecuencia de los cuellos de botellas de las interferencias en los ciclos operativos. Por lo tanto, para la frente 1 se obtuvo:

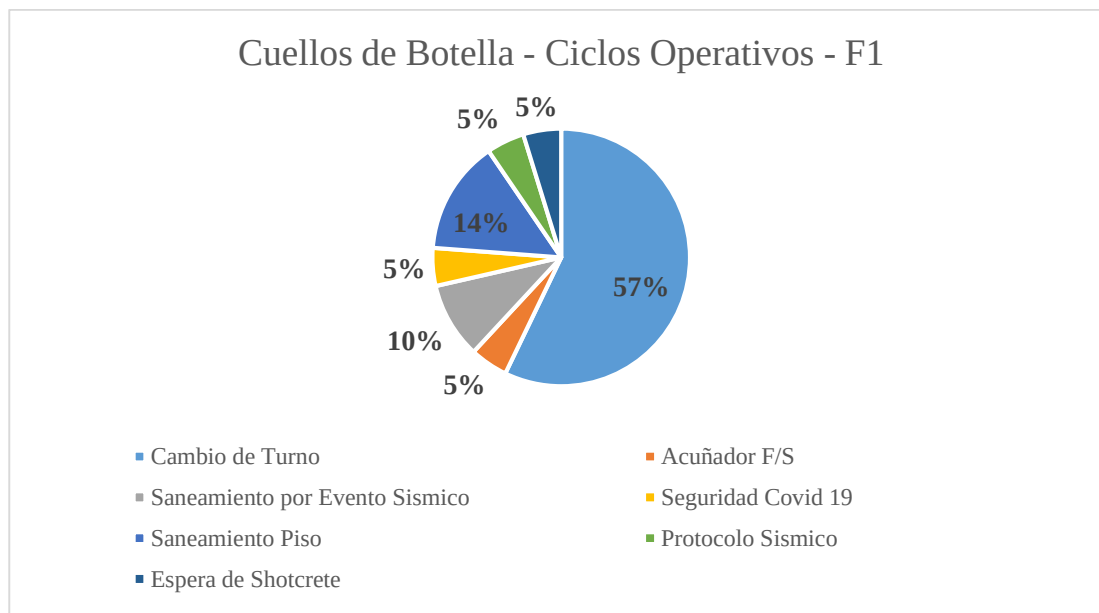


Figura 5.26: Cuello de botella en Interferencias en Frente 1. Elaboración Propia.

Para la frente 2, se obtuvo:

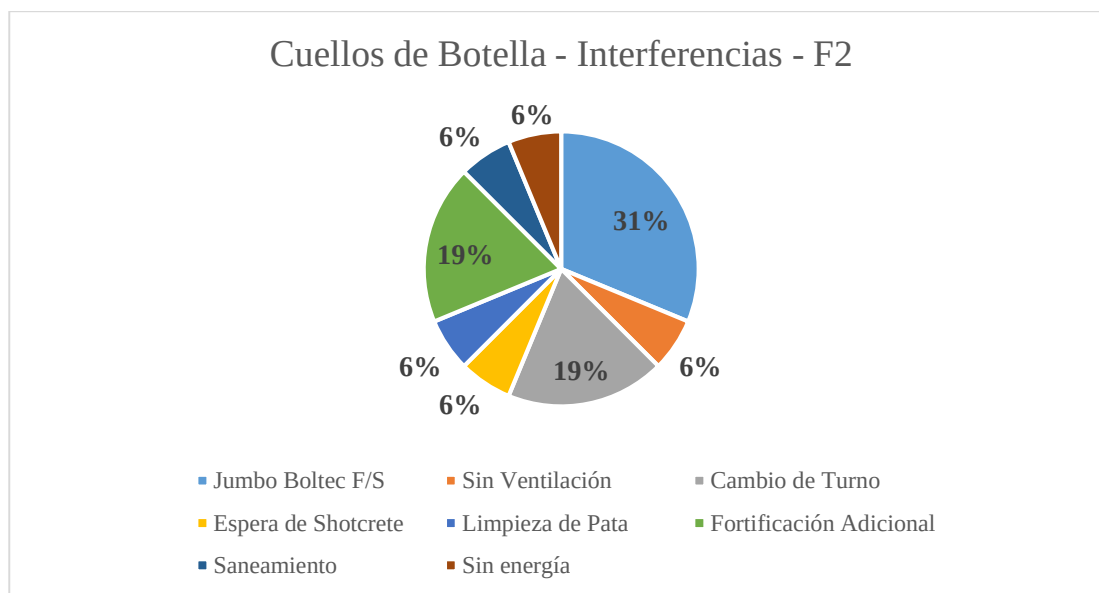


Figura 5.27: Cuello de botella en Interferencias en Frente 2. Elaboración Propia.

Y finalmente, para la frente 3, se obtuvo:

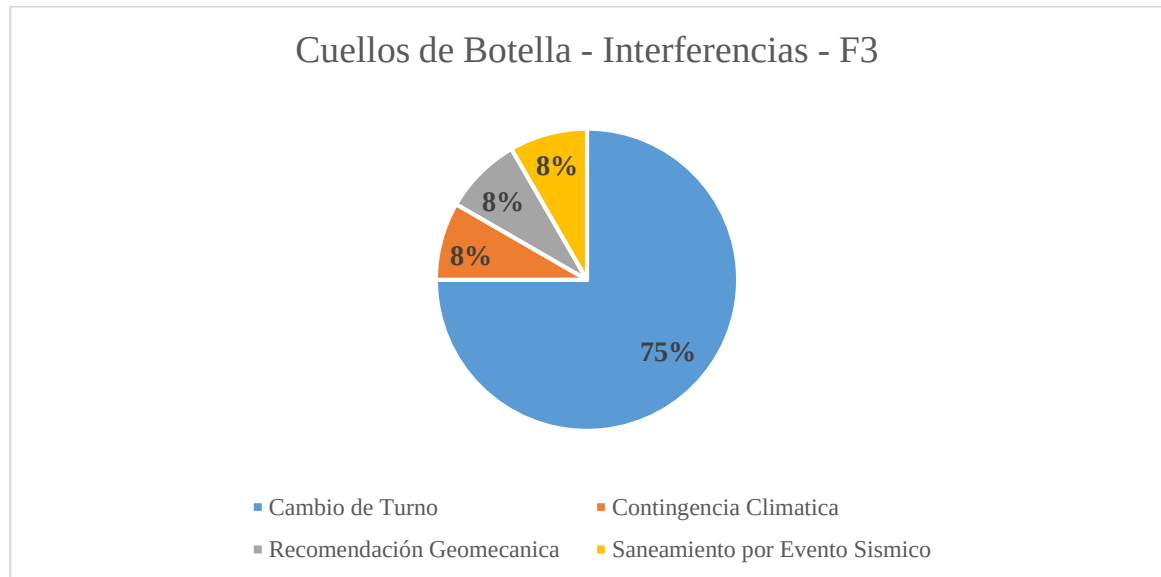


Figura 5.28: Cuello de botella en Interferencias en Frente 3. Elaboración Propia.

Al analizar los gráficos obtenidos sobre los cuellos de botella de las interferencias, se tiene que el principal cuello de botella es el Cambio de turno para la frente 1 y frente 3, y para la frente 2 es el Jumbo Boltec F/S. Se debe destacar, que, al realizar la comparación con la parametrización de interferencias, no se debe asegurar que el cuello de botella perteneciente a los ciclos operativos será la peor interferencia en cuanto a duración, un ejemplo de esto es en la frente 3 donde en la Figura 5.11 la interferencia de saneamiento por evento sísmico es superior en magnitud a la de cambio de turno, pero esta última en frecuencia de cuello de botella tuvo un valor mayor. Pero ambos casos, sirven para que se pueda analizar de diferentes formas que interferencias son las que más están afectando al ciclo operativo, debido a que en medida que existan mayores interferencias peores son los rendimientos de los ciclos.

5.10. Problemas y Causas

De acuerdo con el diagnóstico del uso del tiempo realizado anteriormente junto con el análisis de interferencias y cuellos de botella de los ciclos operativos, para las operaciones mineras relacionadas con las excavaciones horizontales ejecutadas por cuadrillas mineras en el PAN - NNM, primero que todo es posible notar que existen frentes con mejores rendimientos que otras tanto en cantidad de ciclos completados, avance mensual, cantidad de horas en actividad, muestreo de trabajo productivo, etc. 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 y equipos principales se encuentran 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 se genera por interferencias entre actividades o dentro de las operaciones unitarias, 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, se relacionan con las detenciones de las actividades programadas por la aparición de grandes interferencias como por ejemplo por la complejidad constructiva de la sismicidad, 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.

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, dentro de las que se encuentran principalmente el cambio de turno, saneamiento por evento sísmico, Jumbo Boltec F/S, seguridad Covid 19, etc, y en relación con el ciclo operativo los cuellos de botella principales fueron la Fortificación mecanizada y la perforación y colocación de pernos cables que se relaciona totalmente con la interferencia de Jumbo Boltec F/S y también, la perforación de avance que se relaciona con el funcionamiento del Jumbo mecanizado.

Las interferencias con relación al saneamiento por evento sísmico o seguridad Covid 19 que están dentro de las principales pérdidas de tiempo, si bien se pueden controlar de cierta forma con aislación post ciertas operaciones unitarias y con test antígenos a trabajadores, respectivamente, se producen por motivos que se escapan de la operación en sí, debido a que la sismicidad se da por las condiciones en el macizo rocoso y por la distribución de esfuerzos en la zona principalmente por el esfuerzo litostático lo que genera estallidos de roca que van en contra de la seguridad de los trabajadores, y el Covid 19 se debe a la pandemia que se está dando en todo el mundo.

Del mismo análisis, se puede determinar que en la Frente 2 desde el Ciclo 202 al 215 se encuentra una baja eficiencia de disparo lo que se relaciona con el rendimiento y el avance mensual que puede tener la frente.

Es por esto, que los principales problemas que se abordarán serán las interferencias del cambio de turno de los trabajadores del proyecto y la perforación de avance que se relaciona también con la baja Eficiencia del disparo en Frente 2. También, como propuesta de mejora se tomará en consideración el Jumbo Boltec F/S que se relaciona con la fortificación mecanizada la que es el cuello de botella principal de los ciclos operativos de avance y que según los análisis que se realizaron si se logra disminuir se podría aumentar en gran cantidad los avances en la Frente.

5.11. Estrategia de Solución

Entonces, para que se puedan tratar los principales problemas del ciclo operativo se implementara las herramientas de la Metodología Lean de resolución de problemas RDP con el Informe A3 que facilita enormemente el aprendizaje organizativo y cataliza la implantación de acciones de mejora, también facilita la solución del problema.

Por lo tanto, el RDP se levanta en reunión de trabajo multidisciplinario de la empresa, con el propósito de que se mejore el tiempo disponible en postura, dada la incorporación de la “manilla a manilla” en Frente 3. Se analizan los principales factores influyentes en la disminución de tiempo disponible en postura.

Posteriormente se realizan mediciones de productividad con respecto al análisis del retraso de buses y control de tiempos de cambio de turno en la frente, también análisis de interferencias en traslados donde se realizan reuniones RDP semanales de forma de que se puedan verificar los avances en las medidas utilizadas con las herramientas Lean implementadas. Para la falencia que se relaciona con la operación unitaria de perforación de avance también se utilizan las herramientas RDP en conjunto con el departamento de maquinaria de la empresa debido a que se detecta una baja eficiencia en los ciclos de avance efectivo, los cuales se evidenciaron en reunión de trabajo multidisciplinario, por lo tanto, se levanta la necesidad de buscar las posibles causas o causa raíz de esta desviación.

Se realizan mediciones de productividad con respecto a la eficiencia de disparos y tiempo de perforación de avance, fueras de servicio, etc, con reuniones semanales RDP de forma de verificar la efectividad de las medidas implementadas en el proyecto.

Finalmente, como propuesta de mejora, después de todos los análisis que se realizaron se detecta una falencia e interferencia principal dentro de los ciclos operativos de las frentes que se evaluaron, la que fue el Jumbo Boltec F/S, lo que relaciona con la operación unitaria fortificación mecanizada que según los resultados del proyecto es el cuello de botella de los ciclos de avance de túnel. Por lo tanto, resulta fundamental tratar de reducir al máximo o eliminar esa interferencia para que se puedan aumentar los tiempos productivos y disminuir los tiempos que no agregan valor al trabajo.

5.12. Cambio de Turno – Manilla a Manilla

Se analizan los principales factores que influyen en la disminución de tiempo disponible en postura y aumentan los tiempos de ciclo, donde algunos de los factores que se analizaron son:

- Retraso de buses por parte de la empresa mandante.
- Disponibilidad de minibuses y camionetas para poder ejecutar correctamente el manilla-manilla.
- Control de tiempos para los trabajadores, visto desde el ámbito legal.
- Interferencias asociadas a los traslados desde Sector P4600-Frente 3 (Loros, esperas, etc.)

5.12.1. Análisis de Retraso de Buses

En primera reunión RDP se levanta que por recorrido de trabajadores se obtuvo que:

Tabla 5.13: Retraso de Buses por Recorrido. Elaboración Propia.

Recorrido	% De Retraso Según Frecuencia	Suma de Tiempos de Retraso[min]
BUS ALAMEDA	25%	7
BUS BAQUEDANO 1	100%	69
BUS BAQUEDANO 2	83%	150
BUS MACHALI	0%	0
BUS NORTE	50%	74
BUS PROMET 1	67%	125
BUS PROMET 2	0%	0
BUS SCHNEIDER	67%	22

Si bien los buses no son influyentes en el “manilla a manilla”, ya que dependen del recurso minibús o camioneta, en caso de que algún trabajador de P4600 sea destinado de forma imprevista para Frente 3, ya sea por licencia o protocolo Covid 19, es importante que los buses lleguen a la hora para que el trabajador pueda ingresar rápidamente.

5.12.2. Control semanal Tiempos de Cambio de Turno

A partir de la toma de datos que se realizó, se tiene:

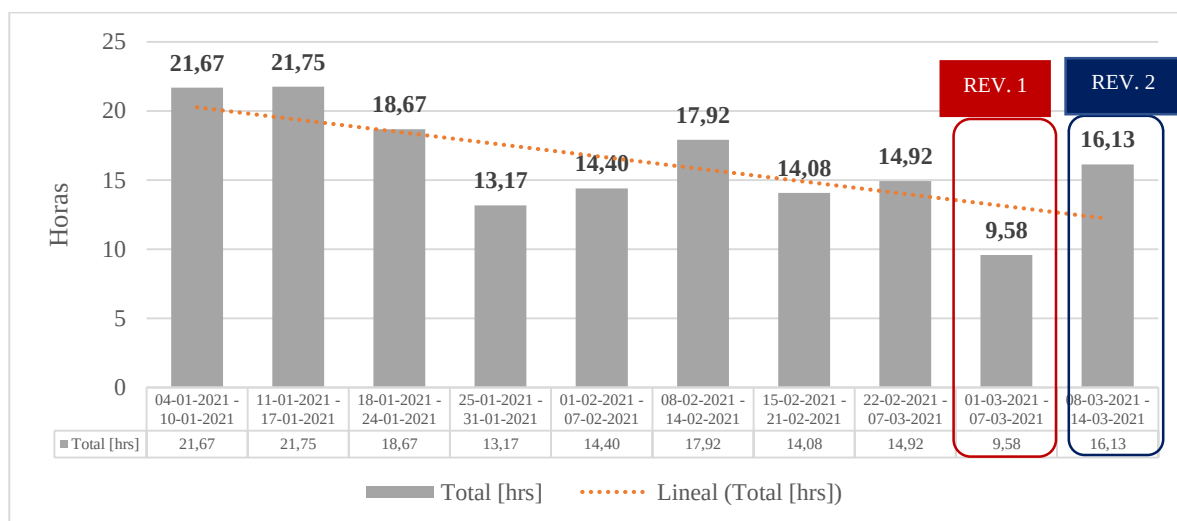


Figura 5.29: Control de Tiempos de Cambio de Turno. Elaboración Propia.

Se genera un control semanal de todo el detalle de tiempos asociados a cambio de turno, en la primera semana de análisis (REV.1), se utilizó camioneta como apoyo para manilla-manilla, en la segunda revisión debido al fuera de servicio de la camioneta, los tiempos aumentaron (REV.2), de todas formas, se requiere compromisos para la fecha de llegada del segundo minibús, que es clave en la ejecución del “manilla a manilla”.

Con respecto al análisis de interferencias se tiene que:

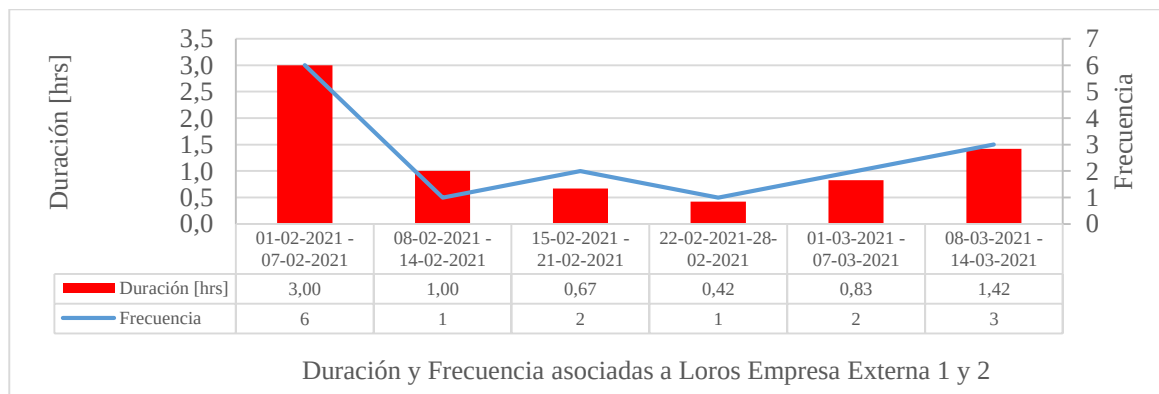


Figura 5.30: Duración asociado a Loros de empresas contratistas. Elaboración Propia.

De la Figura 5.30 se puede verificar que debido a las diferentes interferencias asociadas al traslado P4600-Frente 3, es que el cambio de turno se ha visto afectado principalmente por las esperas de “Loros”, las cuales han tenido duraciones hasta más de 1 [hrs] en algunas ocasiones, impactando directamente los tiempos disponibles en postura.

5.12.3. Análisis de Causas Posibles

Las causas posibles de los retrasos son:

Tabla 5.14: Causales con su respectivo código. Elaboración Propia.

Código	Causal	Frecuencia
1	Salida tardía desde p4600	17
2	Horas Legales	5
3	Llegada tardía Furgón-Buses Tandem	10
4	Loro Empresa Ext 1 y 2	7
5	Salida temprana por falta de recursos	5
6	Aislación	4
7	Salida anticipada sin causal	9
8	Demasiado tiempo en traslado	1
9	Protocolo covid (antígeno)	1
10	Minibús F/S	1

Entonces los resultados que se obtuvieron son:

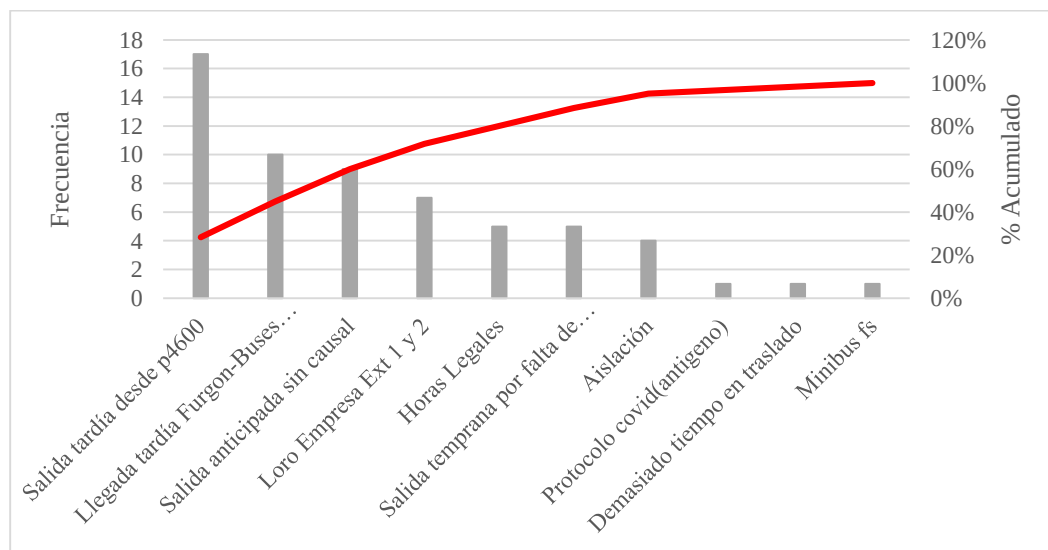


Figura 5.31: Diagrama de Pareto de frecuencia de ocurrencia de interferencias en cambio de turno. Elaboración Propia.

Se puede concluir que, en base a los análisis de causales por cambio de turno, los factores principales son la salida tardía desde P4600 y llegada tardía furgón de buses tándem. El formato de seguimiento “manilla a manilla” se presenta en Anexo E.

5.12.4. Seguimiento Cambio de Turno

El factor humano también es influyente en el cambio de turno, por ende, se estableció un flujo de procesos, donde se está llevando un histórico de análisis de turno a turno, para ver que turnos tienen mayores desviaciones en algunas etapas del proceso de cambio de turno, ya sea sala de cambio, hora de inicio traslado P4600-Frente 3. Esto se ha llevado con el objetivo de que se puedan tomar acciones e instrucciones a aquellos turnos que tienen desviaciones más elevadas en las etapas del proceso. El proceso se ha ido comparando contra un estándar inicial que se fijó preliminarmente. También es importante que se estandarice la hora de llegada de minibús para todos los turnos.

Para el análisis de turnos se tienen las siguientes observaciones de flujo por etapa:

Tabla 5.15: Observaciones de las etapas del cambio de turno. Elaboración Propia.

Etapas	Descripción
Inicio Trayecto Minibús	1. Estandarizar horario de salida para todos los turnos.
Sala de Cambio	1. Cumplir horario de llegada para no generar retrasos. 2. No sobrepasar 15 [min] en sala de cambio. 3. Ingresar inmediatamente al minibús.
Ingreso con Interferencia	1. Loro empresas externas. 2. Movimiento interior de buses.
Ingreso sin Interferencia	1. Se generan tiempos bastante cercano al estándar de 30 [min].
Disponibilidad en Postura	1. Mejorar el horario de ingreso para mejorar disponibilidad en postura.
Traslado a Sala de Cambio	1. Mejorar ingreso para que trabajadores salgan a la hora estándar.
Sala de cambio (Salida)	1. Mejorar ingreso para que trabajadores salgan a la hora estándar. 2. Revisar tiempo en sala de cambio, debido a más actividades.
Salida P4600 - Rgua	1. Los horarios de salida se encuentran desplazados. 2. Con ambos minibuses respetar horario estándar.

5.12.5. Restricciones

Las restricciones que se levantaron según las mediciones que se realizaron y las condiciones operacionales son:

- Restricciones – Modalidad Esperada:
 - Condiciones de camino no favorables.
 - Restricciones de sanitización de furgón.
 - Limpieza de Minibús.
- Restricciones – Modalidad actual:
 - Salida temprana de turno normal, por movimientos de minibús para manilla a manilla.
 - Ingreso tardío de turno normal, por movimientos de minibús para manilla a manilla.
 - Se requiere minibús adicional para realizar manilla-manilla en trayecto sala de cambio - Frente 3, para no afectar movimientos de turno normal.
 - Entonces, para manilla a manilla se requiere de 2 minibús manilla a manilla y 1 minibús de turno normal.

Con relación a la restricción de seguridad, dada las condiciones actuales (Frentes altamente sísmicas), es que no se debería dejar al personal de la frente sin una movilización para salir en caso de emergencia. Por lo cual el “manilla manilla” no debe considerar la camioneta de servicio como un apoyo a este movimiento. El “manilla manilla” debe ser independiente.

5.12.6. Resultados Manilla a Manilla

Las etapas del proceso son:

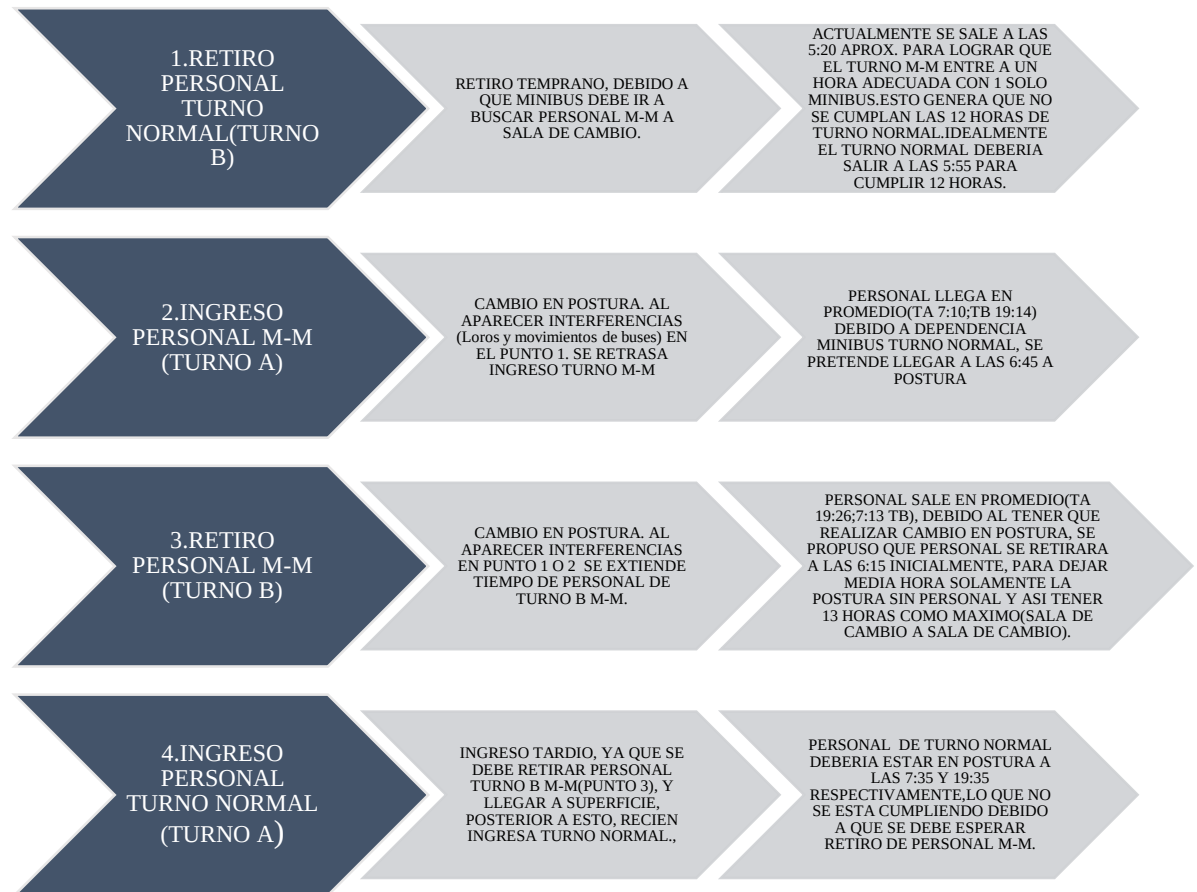


Figura 5.32: Proceso de cambio de turno manilla a manilla. Elaboración propia.

Los resultados que se obtuvieron son:

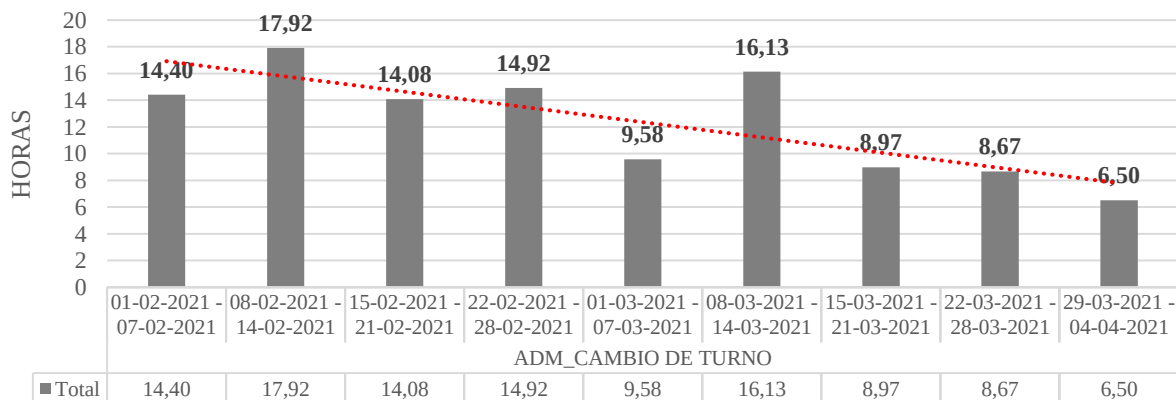


Figura 5.33: Tiempos de cambio de turno semanal. Elaboración Propia.

Finalmente, según los distintos análisis que se realizaron se requiere generar diferentes compromisos por parte de la supervisión y también el apoyo de la empresa mandante en algunas causas, que han afectado el cambio de turno, por lo que se tiene:

Tabla 5.16: Matriz de Mejora Cambio de Turno Manilla-Manilla. Elaboración Propia.

Nº	IMPACTO ESPERADO	ACCIÓN / COMPROMISO	KPI A SEGUIR	INICIO	S1	S2	S3	S4	S5
1	ALTO	Habilitación de personal de HGT TOUR, se requiere los 4 turnos habilitados con el manilla a manilla	T. Cambio de turno (Promedio día)	2,14	1,37	2,30	1,28	1,24	0,93
2	ALTO	Utilización de la camioneta de servicio para subsanar el déficit del segundo minibús y falta de operadores acreditados	T. Cambio de turno (Promedio día)	2,14	1,37	2,30	1,28	1,24	0,93
3	ALTO - MEDIO	Solicitud de cotización de techo para personal (buses pk4600 / F3), de tal manera que trabajadores pueden esperar protegidos ya sea en invierno o verano (busca establecer horarios sala de cambio, según restricciones Covid)	T. Cambio de turno (Promedio día)	2,14	1,37	2,30	1,28	1,24	0,93
4	ALTO-MEDIO	Control desglose de tiempos de cambio de turno propuestos vs real para ver el comparativo	T. Cambio de turno (Promedio día)	2,14	1,37	2,30	1,28	1,24	0,93
5	ALTO-MEDIO	Evaluar próximo RDP los tiempos metas según las mediciones a realizar durante la semana, a su vez revisar las condiciones en cuanto a restricciones covid 19	T. Cambio de turno (Promedio día)	2,14	1,37	2,30	1,28	1,24	0,93
6	ALTO-MEDIO	Cambia cartas de Loro , para poder tener un acceso más expedito y menos interrumpido por esta causa, así cumplir con 30 min de traslado al ingreso y salida.	T. Cambio de turno (Promedio día)	2,14	1,37	2,30	1,28	1,24	0,93

Por lo tanto, en base a la matriz de mejora de la Tabla 5.16, se puede concluir que se logró reducir en un 56% el tiempo de cambio de turno al implementar el cambio manilla a manilla en Frente 3. Esto aumenta el tiempo disponible en postura.

5.13. Mejora en Eficiencia de Disparo

En base a la Figura 5.34, se detecta una baja eficiencia en los ciclos de avance efectivo en la Frente 2, los cuales se evidenciaron en reunión de trabajo multidisciplinaria, donde se levanta la necesidad de buscar las posibles causas o causa raíz de esta desviación. Se genera un RDP donde se revisarán las posibles causas a la desviación generada, iniciando con:

- Cambio de equipo Jumbo.
- Condiciones de la roca (roturas inducidas por esfuerzo).
- Interrupción en la operación continua, dado los F/S.
- Largos tiros de Destressing.

Entonces, para la evaluación de la eficiencia de disparo se tiene a continuación los siguientes datos:

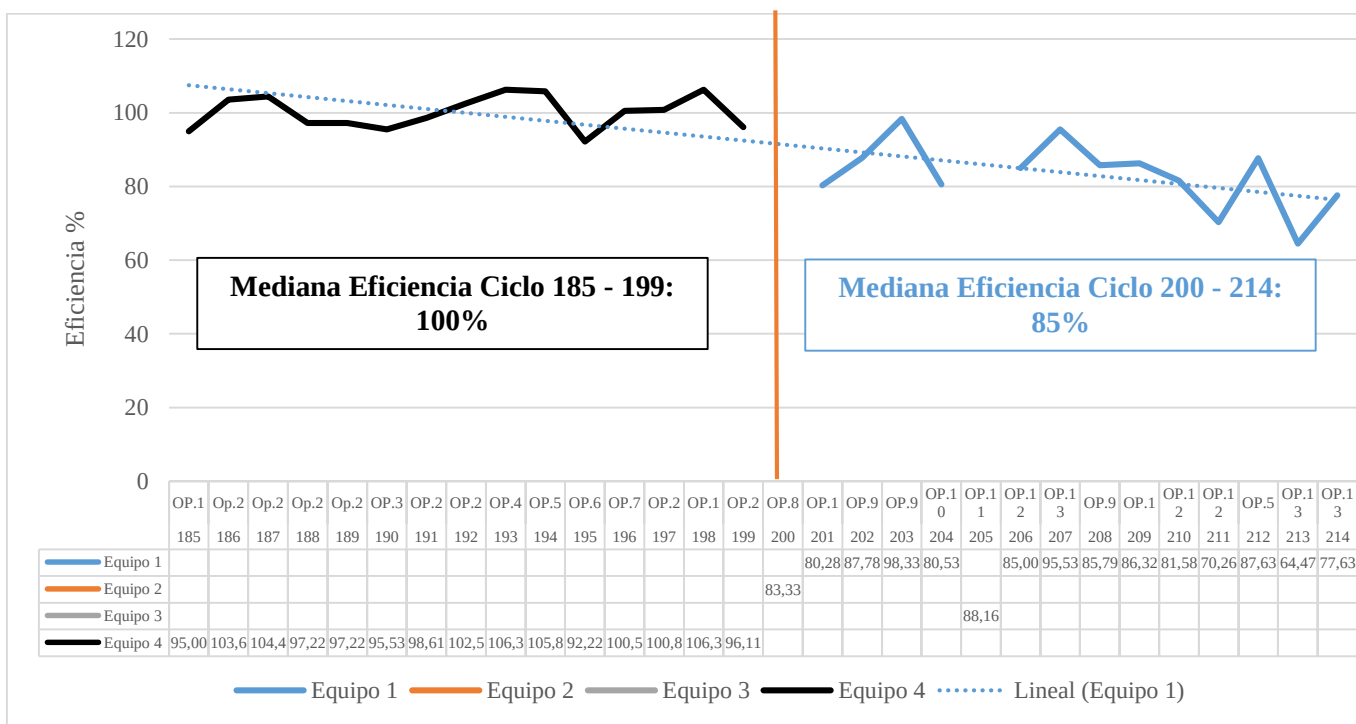


Figura 5.34: Eficiencia de Disparo ciclo 185-214. Elaboración Propia.

Al momento de que se levanta el requerimiento de RDP, se puede evidenciar un cambio en la eficiencia que va desde una mediana de 100% a un 85%, generando una diferencia de 15%.

A su vez, se puede notar una disminución en la eficiencia desde el ciclo 200 donde se generó cambio de Jumbo del Equipo 4 al Equipo 1. Es en el periodo desde el ciclo 200 al 214, donde se comienza a observar un aumento en la variabilidad del proceso, mostrando un comportamiento errático en cuanto a resultados de eficiencia del disparo.

5.13.1. Análisis de causas posibles

En primera instancia, se realizó una revisión de la litología de la Frente 2, de lo que se obtuvo:

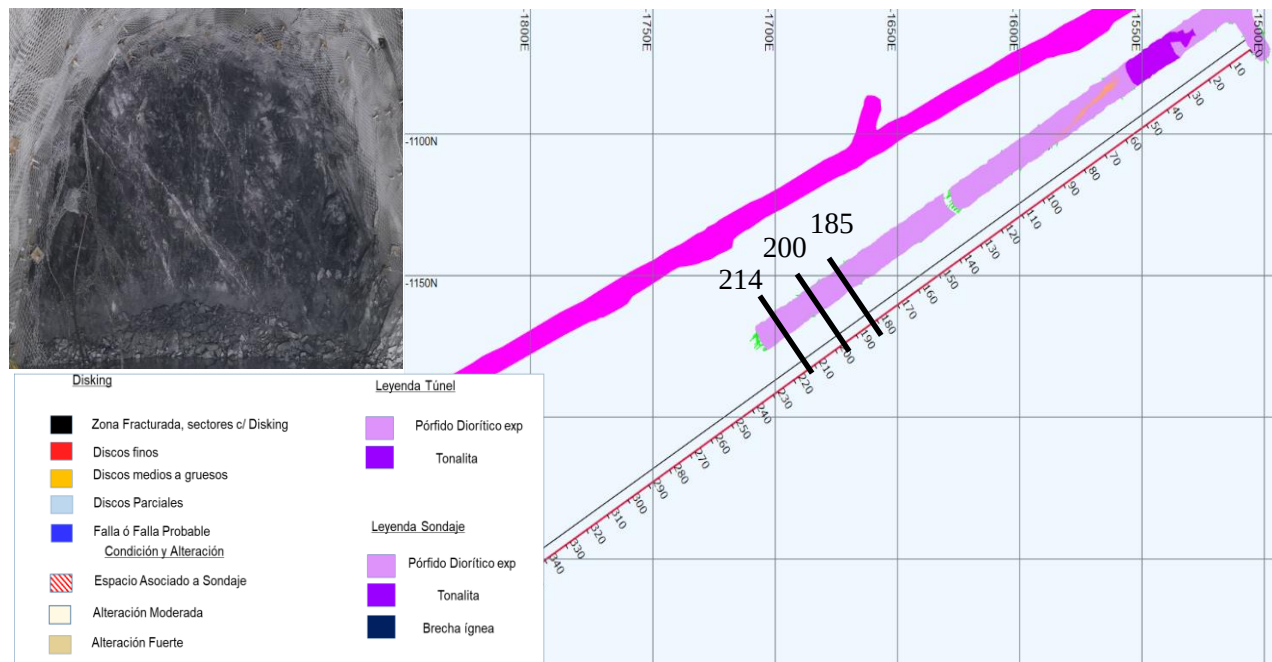


Figura 5.35: Litología Frente 2. Entregado por empresa.

En base a la Figura 5.35, se observa que no hay cambio en la litología del túnel (Pórfido diorítico exp), donde se mantiene el tipo de roca durante los disparos que se analizaron, permitiendo descartar la baja eficiencia por litología diferente.

Entonces, al seguir con el análisis de las causas posibles sobre la baja eficiencia de disparo, también se puede revisar la eficiencia por operador junto con su frecuencia de utilización del Jumbo en la operación unitaria de perforación de avance, de lo que se tiene:

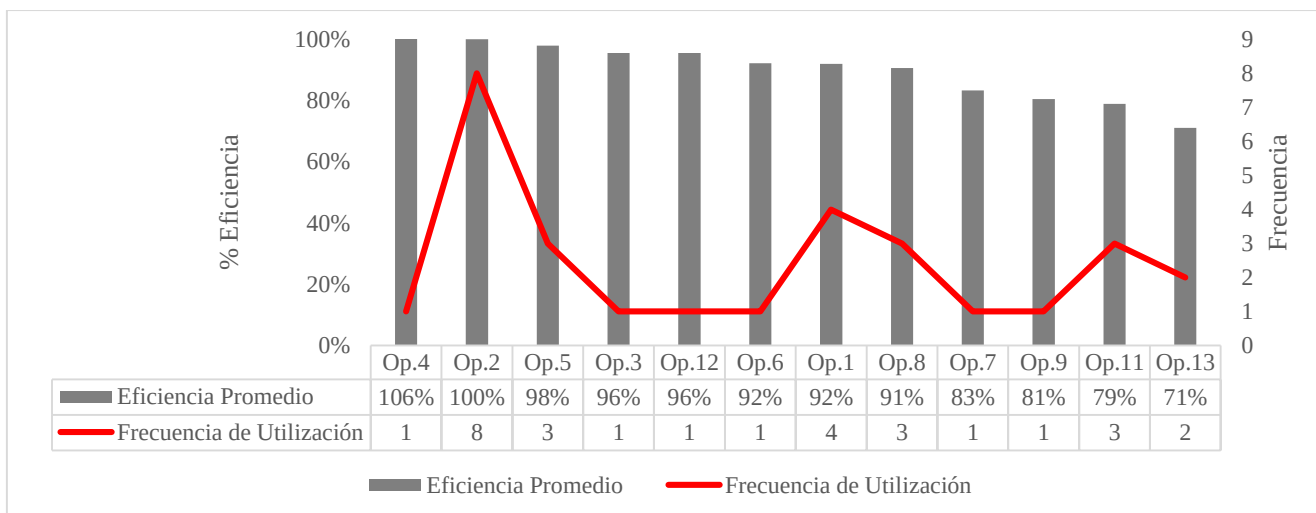


Figura 5.36: Frecuencia de utilización y Eficiencia disparo promedio por operador. Elaboración Propia.

En base a la Figura 5.36, se observa que existen operadores con mejores rendimientos que otros, pero para tener en consideración son el Op.7, Op.9, Op.11 y el Op.13 que son los que tienen una eficiencia promedio de disparo inferior a un 85%, lo que es un valor aproximadamente 15% bajo el estándar de 100%.

Con respecto al tiempo de perforación de avance y tiempo de fuera de servicio de equipo se tiene:

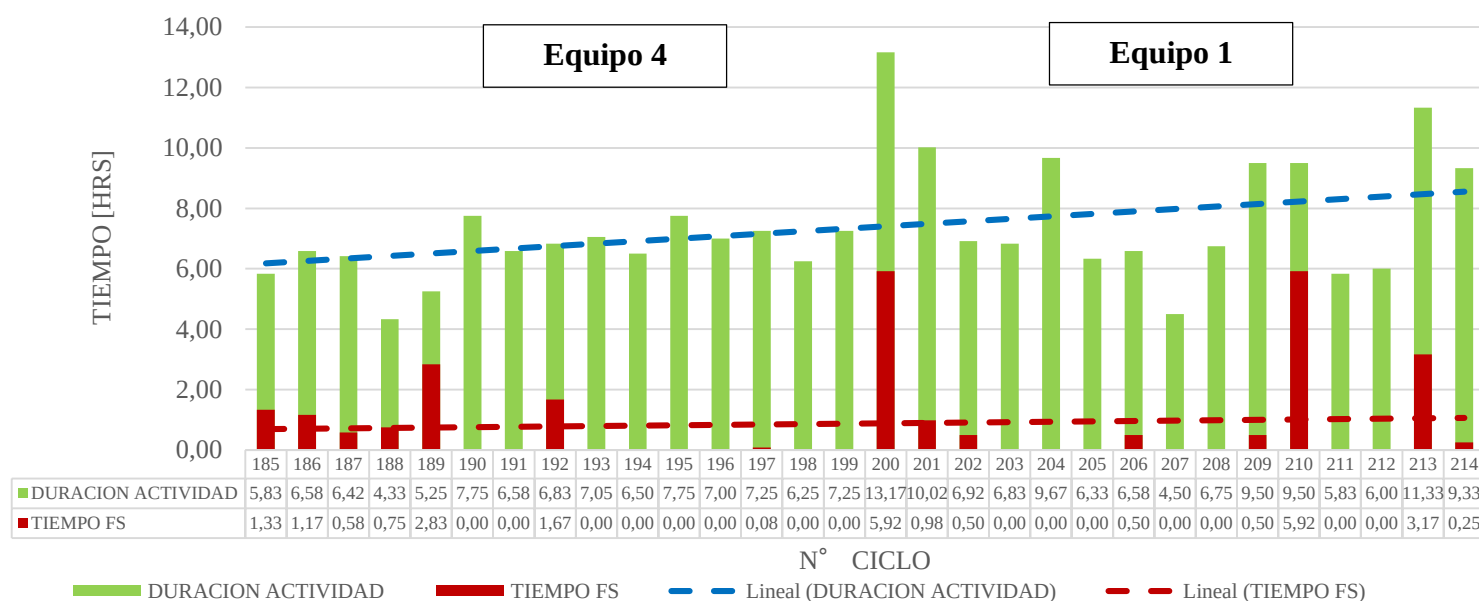


Figura 5.37: Tiempo de perforación de avance y Fuera de servicio ciclo 185-214. Elaboración Propia.

Respecto a la Figura 5.37 se observa que desde el ciclo 185 al ciclo 200 se obtiene un total de 8,4 [hrs] fuera de servicio en el Jumbo Equipo 4, y desde el ciclo 200 al 214 con el Jumbo Equipo 1 prácticamente se duplicaron las horas de fuera de servicio, dando como total 17,7 [hrs]. Los principales Fuera de Servicio son:

- **Ciclo 200:** Jumbo Equipo 2, queda fuera de servicio por sensor de temperatura de compresor.
- **Ciclo 210:** Jumbo Equipo 1, tuvo problemas en modulo eléctrico, lo que provoca caída de servicios eléctrico.
- **Ciclo 213:** Jumbo Equipo 1 el acero se queda pegado en una perforación, provocando quiebre de culatín y despunte de barra.

En conjunto con Departamento de Maquinaria se resuelve que el aumento de Fuera de Servicio del Equipo 1 se debe a fallas en sistema TRS (acople automático de barra), debido a perforaciones de mayor longitud, porque para perforar tiros de mayor longitud, se agrega una “tercera barra”, de forma manual, ya que esto no es posible mecanizarlo porque el equipo NO está diseñado para tal acción. Entonces, al forzar equipo, para realizar perforaciones fuera de sus rangos óptimos de funcionamiento, implica que para realizar perforaciones de 9 [m] agreguen una barra MF de 1,5 [m] (a continuación de la barra de 4.3 [m]). Esto obliga al operador a empujar con la viga separada del cerro, donde la distancia esta fuera de norma, ósea, del centralizador fijo, que es la punta de la viga. Al cerro, hay una distancia de 1,5 [m] que provoca el efecto de pandeo, deteriorando los centralizadores fijos, centralizadores móviles y sistema de mordazas, ya que estos componentes absorben toda la tensión y genera acciones de esfuerzos axiales, lo que conlleva a sobrepasar la carga crítica y llevándolos al límite de la curva elástica. Esto se puede observar en la Figura 5.38.

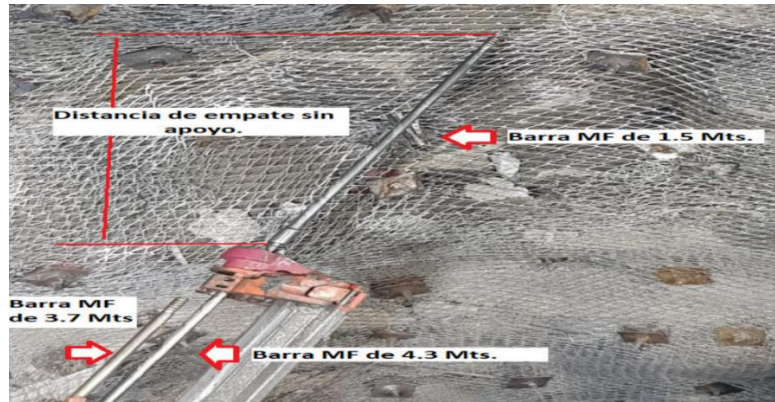


Figura 5.38: Vista de funcionamiento de barras de perforación de Jumbo Equipo 1. Empresa Contatista.

5.13.2. Resultados Eficiencia de Disparo

En vista de los análisis que se realizaron se evidencia una clara disminución en la eficiencia a consecuencia del cambio de Jumbo del Equipo 4 al Equipo 1. Entonces dentro de las mejores se encuentra:

- Se agrega un tercer centralizador en la mordaza del equipo, para evitar pandeo en las barras adicionales.
- Mejora continua de la práctica de los operadores.
- Se introducen nuevos parámetros para el sistema de navegación, para una mayor precisión al momento de perforar los tiros.
- Operador competente capacita operadores para que tengan un mejor desempeño en jumbo Equipo 1.

La eficiencia de disparo del ciclo de avance 215 al 240 se tiene:

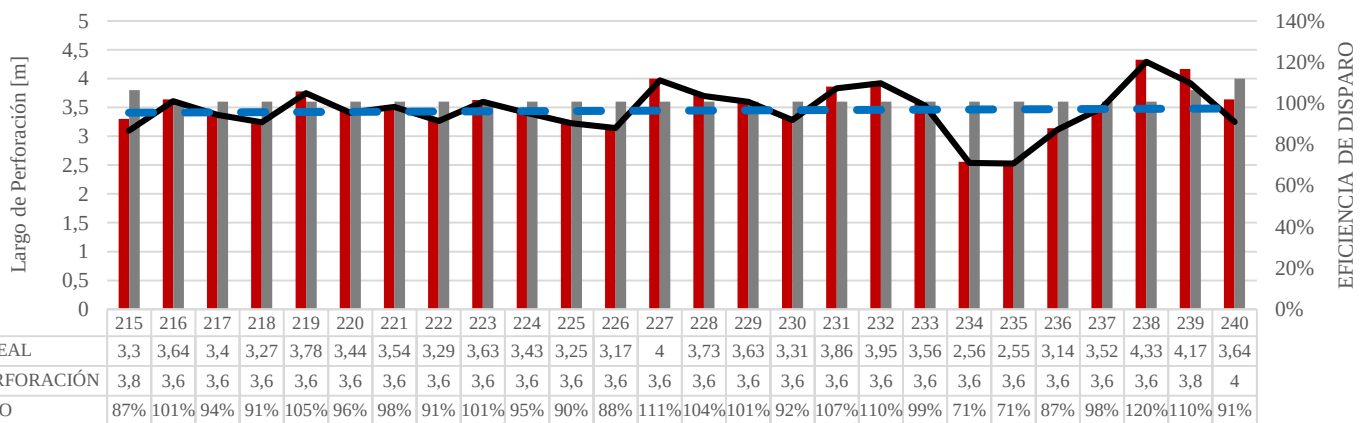


Figura 5.39: Eficiencia de disparo ciclo 215-240. Elaboración Propia.

En base a la Figura 5.39 junto con las mejoras realizadas y más experiencia de los operadores, se logra ver un aumento en la eficiencia del disparo con una mediana de un 98%, mejora de un 13 %, entre el ciclo 215 y 240.

Otra consideración importante, es que también en base a las mejoras realizadas se pudo analizar la actividad de perforación de avance, de lo que se tiene:

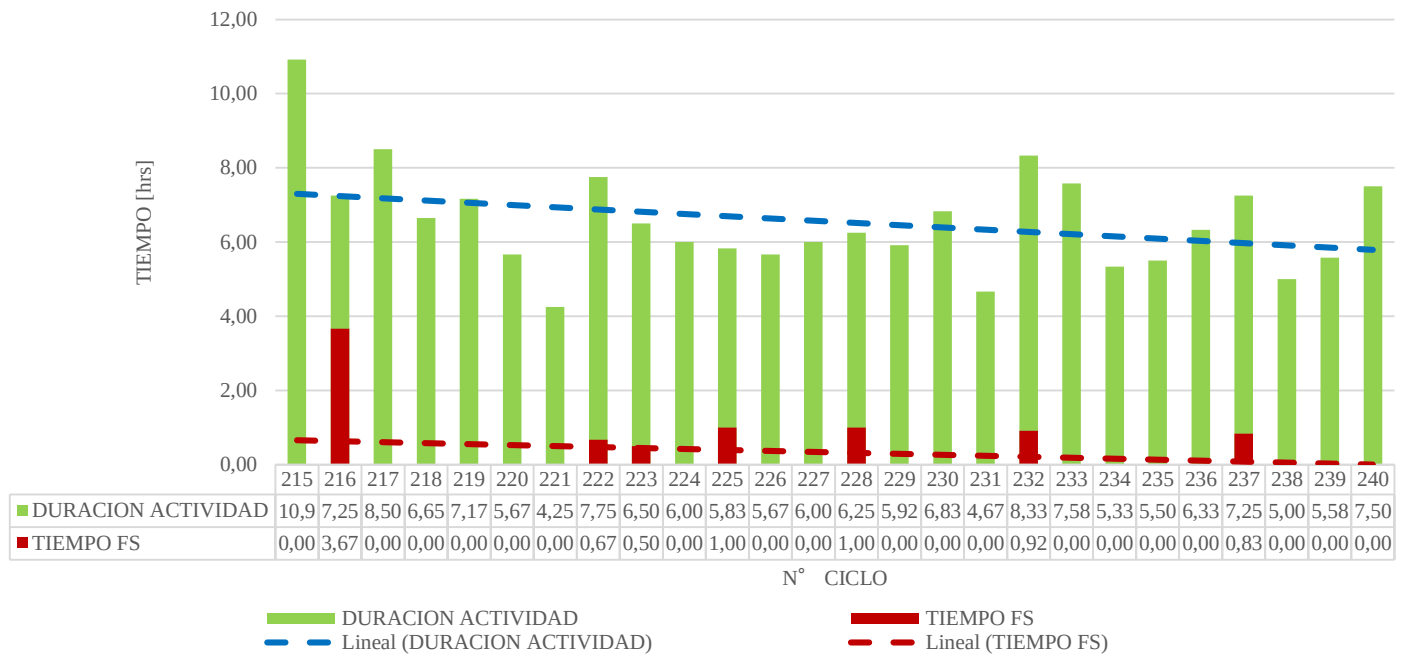


Figura 5.40: Horas de actividad Perforación de Avance. Elaboración Propia.

Se refleja en la Figura 5.40 una disminución en las horas de actividad de perforación de avance en aproximadamente un 20% y una disminución en aproximadamente 56% lo que es fuera de servicio del equipo lo que repercute en los tiempos de ciclo de la frente debido a que corresponde a una operación unitaria del ciclo de avance.

Con respecto a la mejora continua en la capacitación de operadores se tiene:

Tabla 5.17: Capacitación de Operadores final. Elaboración Propia.

Operadores Frente 2 y Frente 3							
Información de Operador				Navegación			
Nombre	Grupo	Equipo	Frente	N° Equipo	Estado	Observaciones	Eficiencia Promedio
Operador 1	3	Jumbo	2	Equipo 1	Instruido	Domina operación de equipo, conoce proceso de navegación y domina sistema RHS (tiros largos)	100%
Operador 5	2	Jumbo	3	Equipo 1	Instruido	Domina operación de equipo, conoce proceso de navegación y domina sistema RHS (tiros largos)	100%
Operador 11	2	Jumbo	2	Equipo 1	Instruido	Operador posee experiencia en operación y navegación de sistema Tcad (sandvik), fue instruido en sistema TRS, demuestra habilidad en la operación del equipo.	85%
Operador 6	3	Jumbo	3	Equipo 1	Instruido	Conoce y muestra experiencia en operación de equipo sandvik. Fue instruido en operación, falta practica con sistema TRS, aun no alcanza su nivel óptimo en la operación del equipo.(avance lento)	93%
Operador 13	1	Jumbo	2	Equipo 1	Instruido	Operador posee experiencia en operación y navegación de sistema TCAD (Sandvik), fue instruido en sistema TRS, le falta practica en la operación del equipo, ya que es operador nuevo.	100%
Operador 14	3	Jumbo	2	Equipo 1	Instruido	Operador conoce y domina equipos, tiene habilidad para perforación de frente y perforación con sistema TRS	98%
Operador 15	4	Jumbo	2	Equipo 1	Instruido	Domina operación de equipo, conoce proceso de navegación y domina sistema RHS (tiros largos)	97%

La Tabla 5.17 se puede comparar con Anexos F debido a que se demuestra que inicialmente los operadores del Jumbo no contaban con la instrucción necesaria para la operación del equipo. Se puede observar un aumento en la eficiencia de los operadores después de la aplicación de la RDP como solución al problema.

Entonces, con respecto a la RDP que se realizó en base a la baja eficiencia de disparo se puede concluir que:

- Las medidas adoptadas en la RDP, generaron una mejora en la eficiencia del disparo, pasando de una mediana de la eficiencia de 85% a un 98% (una mejora de un 13%), donde se analizaron diversas causas posibles. La causa principal se asociada a la rotación de equipo que se generó entre la frente 2 y frente 3, con el propósito de dar fuerza a la frente 3, también, en conjunto con ello la falta de experiencia de los operadores en el equipo 1 provocaron una baja eficiencia en los disparos de la frente 2. Esto se da, ya que, al tener equipos nuevos en el mercado, existen pocos operadores con experiencia en estos equipos, por lo tanto, como lección se puede sacar que se debe hacer de entrada una evaluación con el instructor de estos equipos, donde se revise el estatus de cada uno de los operadores y se genere un plan de capacitación inmediato, en el cual se pueda ir haciendo seguimiento semana a semana del avance de estos operadores.
- Las mejoras aplicadas en el equipo 1 permitieron una mejor ejecución de las actividades debido a que disminuyó el tiempo de duración de actividad y en conjunto con esto permitió un mejor aprendizaje de los operadores.
- Una mantención preventiva cada vez que se usa el equipo provoco que bajaran los fuera de servicios, pasando en primera instancia de 17,7 [hrs] a 7,7 [hrs], en periodo analizado de 15 ciclos. Esto se mantiene a la fecha.
- Como Alerta, el Jumbo estaba siendo utilizado para la perforación de pernos cables (Equipo no se debiera utilizar en esta actividad debido a que existe el Jumbo Cabletec) lo que genera un mayor desgaste en los centralizadores, se fuerzan las piolas y mordazas, en su mayoría todo lo relacionado con el sistema TRS.

5.14. Propuesta de Mejora

Dentro del desarrollo de la investigación se trabajaron las falencias relacionadas con la interferencia de cambio de turno lo que se aplicó en la frente 3, y también, la baja eficiencia de disparo en la frente 2, lo que trajo consigo otra mejora que se relaciona con el tiempo de actividad en la perforación de avance que disminuyo al igual que el F/S del equipo. Pero también, un problema importante que se detecto fue el Equipo Jumbo Boltec F/S en la parametrización de interferencias, lo que se relaciona también con los cuellos de botella de los ciclos operativos que fue la fortificación mecanizada que la realiza el equipo Jumbo Boltec, es por este motivo que la propuesta de mejora se relacionara con este problema.

Entonces, se propone realizar un RDP al igual que los problemas que se trabajaron en la memoria, debido a que esa metodología permite tener en consideración los antecedentes del problema, la situación actual, los análisis que se deben realizar, objetivos, recomendaciones, plan de mejora y el seguimiento del problema, donde se puede tener como caso de estudio la frente 1.

La fortificación mecanizada en frente 1 se realiza a partir de un equipo relativamente nuevo en minería subterránea, que se denomina Jumbo Boltec, el que permite perforar, lechar pernos e instalar malla, donde en primera instancia, se puede determinar que no existen operadores con vasta experiencia que puedan obtener el rendimiento óptimo del equipo. (Ver Anexo G).

En base a los gráficos de dispersión que se mostraron anteriormente, se puede verificar que existe mucha dispersión en las tres frentes en los tiempos de operación unitaria de la Fortificación mecanizada, lo que se debe a las interferencias de Boltec F/S, que posteriormente a que se realice la RDP esos tiempos deberían disminuir.

Lo que se puede asegurar en primera instancia, es que se debe tener un operador experto o con suficiente experiencia de parte de la empresa proveedora de los equipos que pueda capacitar a cada uno de los operadores del equipo y también, realizar un seguimiento a cada uno de ellos para saber si realmente tienen una evolución positiva en el mando del equipo.

Entonces, para que pueda quedar más claro el problema que se debe abordar, a continuación, se presenta el siguiente diagrama:

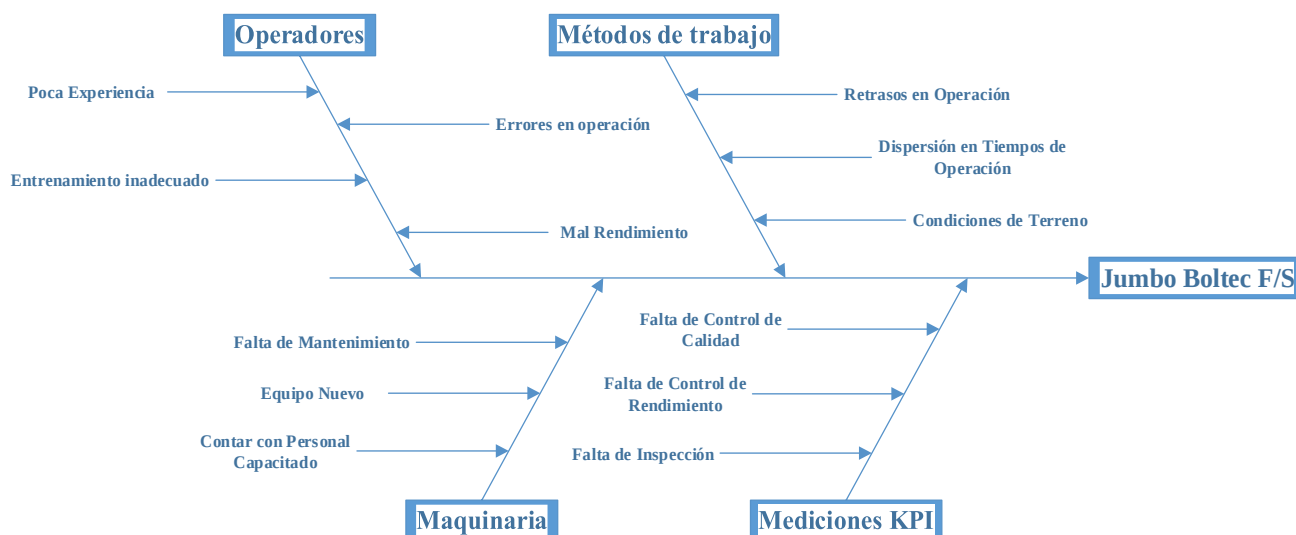


Figura 5.41: Diagrama de Ishikawa para propuesta de Mejora. Elaboración Propia.

El diagrama de Ishikawa que es una representación gráfica que permite visualizar las causas que explican el problema de la interferencia del Jumbo Boltec F/S, se debe convertir en una herramienta de la gestión de la calidad para el departamento de productividad y maquinaria del proyecto, para que al momento de que se deban tomar decisiones en la elaboración del RDP se definan índices de desempeño para la correcta evaluación y seguimiento de cada una de las causas que generan el problema a evaluar.

Si bien existen causas que son prácticamente imposibles de cambiar como lo es las condiciones del terreno o que es un equipo relativamente nuevo, todas las demás causas tienen solución como por ejemplo capacitando a los operadores, aumentando el control de mantenimiento de los equipos, y también, aumentando el control que se debe tener al Jumbo Boltec como al operador a cargo. Entonces, de esa forma, si se toma el debido tiempo para resolver cada uno de los problemas, el equipo y la operación unitaria de fortificación cecanizada, debiesen aumentar el rendimiento positivamente, de forma de optimizar los tiempos que si agregan valor al trabajo y disminuyendo al máximo el trabajo que no es productivo. Si esto ocurre, se podrá tener una mayor cantidad de ciclos operativos, lo que significa un mayor avance y en conclusión una mayor productividad del proyecto que es el problema principal que se verifico en la investigación.

6. CONCLUSIONES

Para el desarrollo del proyecto en primera instancia se debía saber el estado actual de las operaciones relacionadas a los ciclos de avance de túneles para cada una de las frentes en estudio, para lo cual por cada tronadura que se realizó en el período de levantamiento de datos se realizó un mapa de flujo de valor del proceso, el que entregaba la información de tiempos de ciclo, interferencias, cuellos de botella y categorización de trabajo, por lo que se logró determinar los puntos críticos y los balance de aporte de valor.

En base a la información que entregan los mapas de flujo de valor, se logró determinar índices de desempeño del proceso global y de sus componentes más relevantes, lo que se realiza para poder comparar posteriormente con los resultados obtenidos en la evaluación de las mejoras.

También, para la evaluación y validación de mejoras se utilizaron herramientas de la Metodología Lean como lo es el método de resolución de problemas y los Informes A3, los que permiten tener la situación actual, la propuesta y análisis de las mejoras y finalmente los resultados que permiten saber la magnitud y la operación mejorada.

Finalmente, como se lograron los objetivos específicos, se puede concluir que a partir del cambio “manilla a manilla” se pudo reducir en un 56% la interferencia del cambio de turno en frente 3. También, para la frente 2, se produjo una mejora en la eficiencia del disparo, pasando de una mediana de eficiencia de 85% a un 98% (mejora del 13%), donde adicionalmente, se produjo una baja en los tiempos de fuera de servicio y una baja en los tiempos de la operación unitaria de perforación de avance. Por último, la propuesta de mejora se validó por Ingeniero del Proyecto, la cual se relaciona a la interferencia del Boltec F/S, la que si se aplica correctamente puede generar un aumento del rendimiento positivamente, optimizando los tiempos productivos y disminuyendo el trabajo no productivo. Si esto ocurre, se podrá tener una mayor cantidad de tronaduras, lo que significa un mayor avance y en conclusión una mayor productividad del proyecto que es el principal problema que se verifico en la investigación.

.

6.1. Recomendaciones

Como lo plantea la metodología Lean, se recomienda seguir con los análisis de los ciclos operativos de avance del proyecto, sobre todo con las interferencias de forma de conseguir un mejoramiento continuo de los rendimientos del proyecto, principalmente con la propuesta de mejora que se dejó planteada debido a que se relaciona con la operación unitaria principal del ciclo que es la fortificación mecanizada.

También se recomienda, que la información de análisis KPI de equipos no se vea comprometida por falta de reportes del departamento de maquinarias, ya que los resultados pueden estar equívocos y no representan la realidad de la operación.

Otra consideración importante, es que se recomienda incluir en los análisis de las frentes la cantidad de trabajadores que se relacionan a cada operación unitaria, debido a que pueden ser un punto crítico dentro de los ciclos operativos.

También, si se desea un mayor detalle de las falencias de los ciclos, se puede incluir un análisis más profundo, como, por ejemplo, que se estudien las interferencias por cada operación unitaria y no por el ciclo completo, lo que se puede hacer y lo permite la metodología Lean, y de esa forma se puede realizar un muestreo de trabajo por cada operación. Para hacer ese trabajo es recomendable revisar la operación unitaria que presente la mayor desviación negativa y ahí programar y planificar las actividades de medición, ya que estas dependiendo de la operación puedan requerir varias horas de estar siguiendo la frente, lo que conlleva que se deben dejar otros trabajos de lado lo que impacta a las horas hombre destinadas a los trabajos de productividad. Para realizar este tipo de trabajo sería recomendable utilizar un sistema de digitalización que funcione en modo *stand alone* donde los informes se generan de forma automática y no se pierde tiempo en realizar esa tarea, lo que evita la moda del retrabajo.

Finalmente, como la utilización de la Metodología Lean funciona, se recomienda utilizar en los otros departamentos de la empresa, como, por ejemplo, Obras Civiles.

BIBLIOGRAFÍA

- 1) American Smelting & Refining Co. (s. f.). *Norma Asarco*.
- 2) Codelco Chile. (2021). *Operaciones Codelco*.
https://www.codelco.com/prontus_codelco/site/edic/base/port/operaciones.html
- 3) Codelco, V. C. de P. (2010, abril). *Proyecto Nuevo Nivel Mina—División El Teniente*.
- 4) Cortez Stuardo, J. A. (2020). *Planificación Integrada de Mediano/Largo Plazo para Obras Interior Mina en Proyecto Andes Norte—Nuevo Nivel Mina* [Memoria]. Universidad de Chile.
- 5) Fuentes Garrido, L. F. (2020). *Diseño de Estándares de Implementación de Obeya Rooms para la Gestión de Proyectos en etapa inversional de Construcción* [Memoria]. Universidad de Chile.
- 6) Gerencia Proyecto Andes Norte, N. N. M. (2018a). *Bases Técnicas CC-084—Obras Mineras Túnel Correa por PK0*. Vicepresidencia de Proyecto.
- 7) Gerencia Proyecto Andes Norte, N. N. M. (2018b). *Bases Técnicas CC-086—Obras Mineras TAP-TC-XC 15/16, Ventilación TC-TAP y Montaje V75*. Vicepresidencia de Proyecto.
- 8) Koskela, L. (1992). *Application of the new Production Philosophy to construction*. CIFE.
- 9) Muñoz Eyquem, C. (2019). *Manual de Implementación VSM*.
- 10) Muñoz Eyquem, C., & Schifferli Rojas, A. (2016). *Factibilidad de Implementación de la Filosofía Lean en la Industria Minera* [Memoria]. Universidad De La Serena.
- 11) Pardo Retamal, M. I. (2016). *Mejores Prácticas Lean en un Proyecto de Minería Subterránea caso aplicado Proyecto Nuevo Nivel Mina* [Memoria]. Universidad Técnica Federico Santa María.
- 12) Rabajille Siraqyan, A. N. (2017). *Preparación Minera con Equipos Autónomos y Semiautónomos* [Memoria]. Universidad de Chile.

- 13) Revuelta Alfaro, J. (2011, noviembre). *Proyecto Nuevo Nivel Mina* [Presentación].
- 14) Ritter Gutiérrez, C. E. (2018). *Efecto de la Constructibilidad en Minería Subterránea Bajo Condición de Altos Esfuerzos—Proyecto Andes Norte* [Tesis]. Universidad de Concepción.
- 15) Sanhueza Saldaño, C. D. (2020). *Sistema de Monitoreo en Línea de la Construcción de Obras Subterráneas en Codelco Chile División El Teniente* [Memoria]. Universidad Técnica Federico Santa María.
- 16) Solís Carriel, Y. K. (2020). *Estudio del Impacto en la Productividad del Desarrollo de Túneles Bajo Riesgo Sísmico Utilizando Equipos Operados a Distancia* [Tesis]. Universidad de Concepción.
- 17) Tabilo Christoforou, F. I. (2019). *Análisis del Riesgo por Retraso de Frentes Críticas en el Proyecto Nuevo Nivel Mina—Andes Norte* [Tesis]. Universidad de Chile.

ANEXOS

Anexos A. Diagrama de Tiempos

A continuación, se describen los parámetros más relevantes que se encuentran en el diagrama de tiempos.

- **Tiempo Nominal (TN):** Espacio de tiempo en que se produce la medición (espacio muestral). Este dependerá del tiempo de continuidad de faena productiva.
 - **Tiempo Disponible (TD):** Espacio de tiempo en que el equipo se encuentra mecánicamente habilitado para cumplir con su función de diseño.
 - **Tiempo Operativo (HOP):** Espacio de tiempo en que el equipo se encuentra mecánicamente apto, con operador y cumpliendo con las actividades asociadas a la operación.
 - **Tiempo Efectivo (HE):** Espacio de tiempo en que el equipo se encuentra desarrollando las actividades específicas de diseño para las cuales ha sido adquirido por la organización.
 - **Tiempo de Reserva (HRE):** Espacio de tiempo en que el equipo se encuentra mecánicamente apto para cumplir su función de diseño no teniendo operador que lo utilice o que, bajo una condición específica del avance de la operación o condición climática, no pueda ser operado.
 - **Tiempo de Mantenición (HMT):** Espacio de tiempo en que el equipo se encuentra fuera de servicio o no disponible, ya sea, por una mantención programada o imprevistos de tipo Mecánico o Eléctrico.
 - **Tiempos de Mantenición No Programados (HMTNP):** Espacio de tiempo en que el equipo se encuentra en mantención debido a una falla no programada del equipo (mantención reactiva).
 - **Tiempos de Mantenición Programadas (HMTP):** Espacio de tiempo en que el equipo se encuentra en mantención siguiendo un programa establecido.

Anexos B. Clasificación de Pérdidas en Lean

La clasificación de desperdicios en Lean es:

- **Sobreproducción:** producción excesiva de piezas, información o productos terminados que aumentan los niveles de inventarios, gastos financieros, espacio, maquinaria y mano de obra.
- **Inventario:** se refieren a mantener en posesión materiales y productos que son innecesarios. Es decir, en inventario se encuentran los productos que no están terminados, pero están siendo procesados para lograr el producto final y aquellos que han sido terminados pero que todavía no son entregados.
- **Procesos:** son todas aquellas que incluyen un reproceso innecesario para la producción. Específicamente, se encuentran las actividades adicionales a la producción que no agregan valor, y las actividades de inspección que no son estrictamente necesarias.
- **Traslados:** Las pérdidas por traslados se refieren a cualquier movimiento físico de los trabajadores que deben realizar en su lugar de trabajo. Específicamente, la mayor pérdida se da en los traslados innecesarios que realiza el personal para cambiar de actividad que desempeña o frente de trabajo.
- **Transporte:** hace referencia al transporte innecesario de materiales y bienes. Es decir, se considera pérdida por transporte cualquier movimiento de material que no agrega valor al producto.
- **Esperas:** tiempo que los trabajadores despilfarran al no poder realizar actividades que agregan valor. Entonces, se entiende por pérdidas a las esperas de los trabajadores por la utilización de una máquina, a falta de materiales, etc.
- **Defectos:** Este tipo de pérdidas se refiere a los defectos en los productos, la corrección de éstos y el re trabajo.
- **Subutilización del Personal:** Este tipo de pérdida no está relacionada directamente a la producción física del producto, sino que hace referencia a la incorrecta utilización del personal. Es decir, se considera pérdida cuando no se utiliza la total capacidad del personal, sino que se subestima el aporte que éste puede generar.

Anexos C. Símbolos VSM

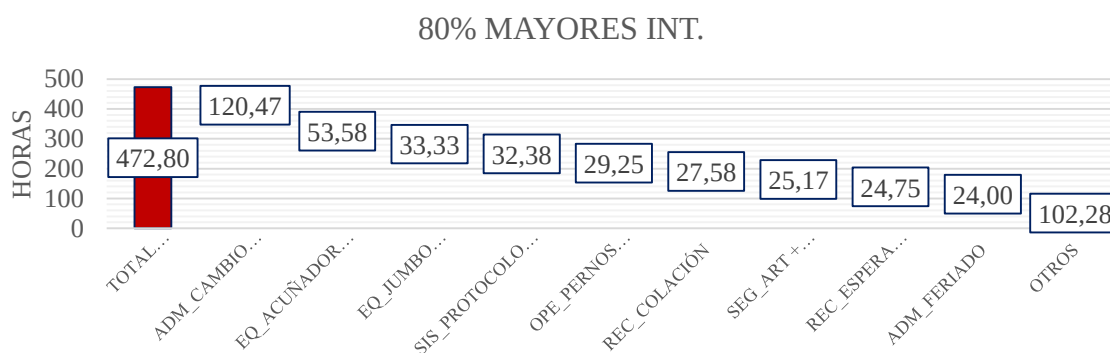
Para que se pueda llevar a cabo un correcto desarrollo de los mapas de flujo de valor (VSM) es necesario conocer la simbología asociada, por lo que se tiene:

Símbolo	Nombre	Significado
	Agente externo	Representa un proveedor o cliente
	Actividad	Representa una actividad procesando unidades
	Flujo empujado	Representa unidades siendo empujadas por la producción de una actividad
	Supermercado	Representa supermecardo Kanban
	Inventario	Representa el inventario
	Control de producción	Representa la entidad en control de la producción
	Información manual	Representa el flujo de información por medios manuales
	Línea de tiempo	Muestra en sus valles el tiempo de actividad que agregan valor y en los momentos en los que no
	Casilla de datos	Contiene los indicadores correspondientes a la actividad
	Transporte	Representa el transporte de material de un lugar externo, al sitio de obra
	Kanban de retiro	Representa el flujo de tarjetas Kanban de retiro
	Evento Kaizen	Representa un evento Kaizen y las mejoras a implementar
	Operario	Representa un trabajador ejecutando una actividad

Anexos C.1: Simbología asociada a Mapas de Flujo de Valor.

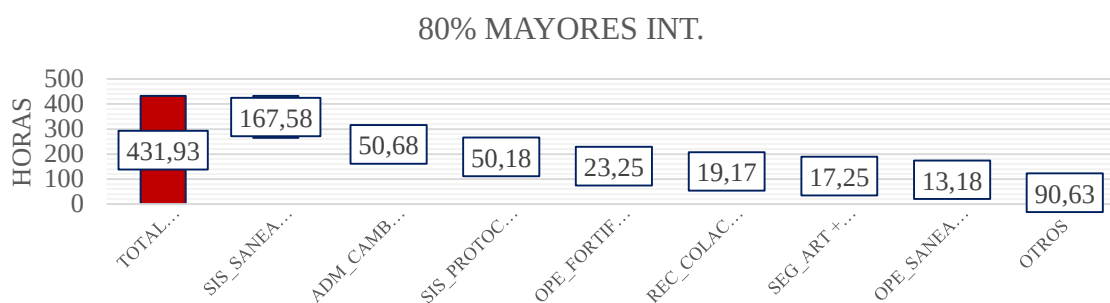
Anexos D. Interferencias por Tipo de Fortificación en Frente 1

Para la fortificación D1 en Frente 1 se tiene:



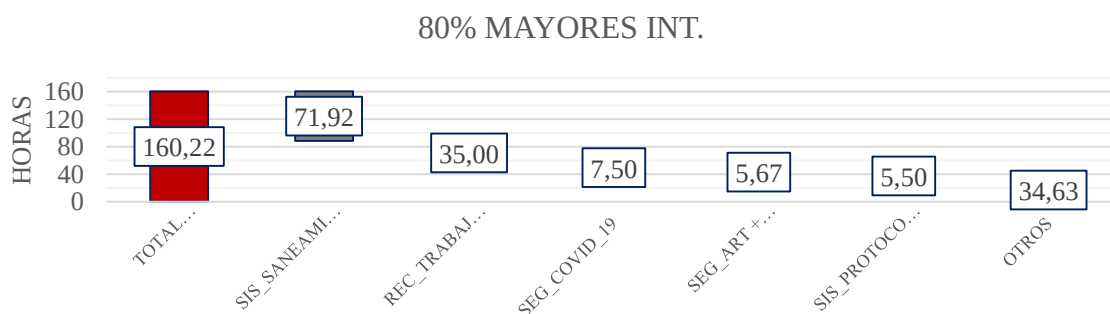
Anexos D.1: Interferencias en Frente 1 – Tipo de Fortificación 1. Elaboración Propia.

Para la fortificación D1 con 2 [h] de aislación post extracción de marina + 2 [h] de aislación post acuñadura:



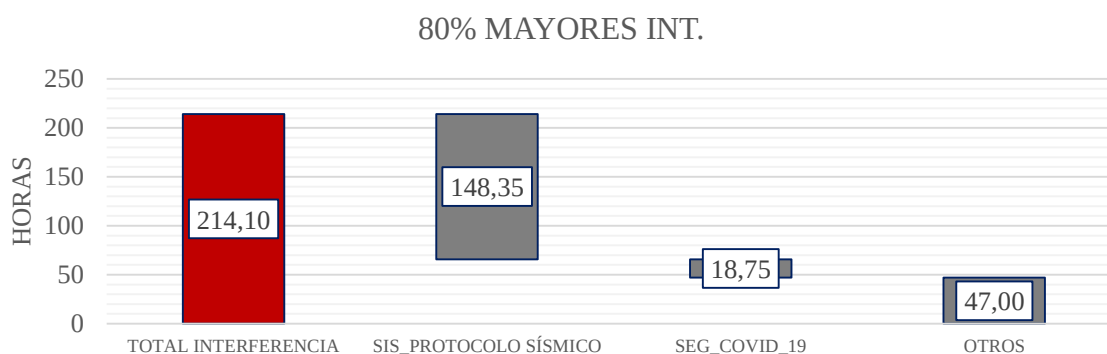
Anexos D.2: Interferencias en Frente 1 – Tipo de Fortificación 2. Elaboración Propia.

Para la fortificación D1 con 2 [h] de aislación post extracción de marina + 3 [h] de aislación post acuñadura + cambio de actividades con jaula:



Anexos D.3: Interferencias en Frente 1 – Tipo de Fortificación 3. Elaboración Propia.

Y finalmente para D1 con 2 [h] de aislación post extracción de marina + 3 [h] de aislación post acuñadura + cambio de actividades con jaula + distancia de seguridad de 45 [m]:



Anexos D.4: Interferencias en Frente 1 – Tipo de Fortificación 4. Elaboración Propia.

Anexos E. Seguimiento Manilla a Manilla

El formato para realizar el seguimiento manilla a manilla es:

FECHA			
MANILLA-MANILLA OIM	TURNO		
PROCESO	H.INICIO	H.FINAL	DURACIÓN
LLEGADA FURGON A SALA DE CAMBIO			
SALA DE CAMBIO INGRESO			
TRASLADO A POSTURA FRENTE 3			
TIEMPO EN POSTURA			
SALIDA DE POSTURA			
SALA DE CAMBIO SALIDA			
SALIDA			
OBSERVACIONES			

Anexos E.1: Formato Seguimiento de Manilla a Manilla. Elaboración Propia.

Anexos F. Eficiencia Inicial de Operadores

Los operadores inicialmente su estado en la operación del Jumbo es:

Operadores Frente 2 y Frente 3							
Información de Operador				Navegación			
Nombre	Grupo	Equipo	Frente	N° Equipo	Estado	Observaciones	Eficiencia Promedio
Operador 1	3	Jumbo	2	Equipo 1	Instruido	Se instruye en perforación de frente y sistema TRS, además de navegación con sistema TCAD, aún le falta practica en la operación del equipo, ya que no posee experiencia previa, aun no alcanza nivel óptimo.	64%
Operador 5	2	Jumbo	3	Equipo 1	Sin instrucción	Sin instrucción en operación de equipo	-
Operador 11	2	Jumbo	2	Equipo 1	Instruido	Operador posee experiencia en operación y navegación de sistema TCAD (Sandvik), fue instruido en sistema TRS, demuestra habilidad en la operación del equipo.	85%
Operador 13	1	Jumbo	2	Equipo 1	Instruido	Operador posee experiencia en operación y navegación de sistema TCAD (Sandvik), fue instruido en sistema TRS, le falta practica en la operación del equipo, ya que es operador nuevo.	86%
Operador 14	3	Jumbo	2	Equipo 1	Instruido	Operador conoce y domina equipos, tiene habilidad para perforación de frente y perforación con sistema TRS	-
Operador 10	4	Jumbo	2	Equipo 1	Instruido	Operador conoce la operación del equipo, le falta practica con sistema de navegación TCAD, conoce sistema TRS.	82%

Anexos F.1: Estado de operadores inicialmente para mejora de eficiencia de disparo. Elaboración Propia.

Anexos G. Jumbo Boltec

Boltec E es una bulonadora totalmente mecanizada adecuada para la instalación de una amplia gama de tipos de bulones de 2,4 a 6 metros de longitud. Desarrollada para túneles de tamaño mediano y grande, puede instalar bulones en alturas de techo de hasta 13 metros.

La unidad de bulonado optimizada, gracias a una menor longitud de deslizadera, ofrece la posibilidad de reducir los tamaños de tracción manteniendo las mismas longitudes de bulón anteriores. Las perforadoras están optimizadas para perforación para bulonado gracias a las opciones de COP RR11 y COP RR14. Boltec E tiene una arquitectura de servicio abierta fácil de mantener. El vehículo portador con tracción a las cuatro ruedas es el mismo que en las máquinas Simba M/E y Boomer M/E.

La seguridad y la calidad de la instalación del bulón es nuestra prioridad. Las características estándar y opcionales de Boltec E garantizan la seguridad y la comodidad del operador, así como un trabajo bien hecho.



***Anexos G.1:** Jumbo Boltec – Equipo de Fortificación.*