

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería
Metalúrgica

Profesora Patrocinante
Asieh Hekmat

“Análisis de flota de equipos de servicios
según indicadores de rendimiento en mina Los
Bronces”



GABRIEL SEGURA LLANOS

Informe de Memoria de Título

para optar al Título de

Ingeniero Civil de Minas

Abril 2020

RESUMEN

La producción de la mina es uno de los objetivos más importantes en un proyecto minero. Muchas investigaciones están enfocadas en las operaciones unitarias, en particular, en los equipos de carguío y transporte, los cuales tienen un efecto directo en la productividad de la. Sin embargo, estos equipos no pueden operar correctamente sin el apoyo de los equipos de servicios. Es por ello que el estudio analiza la flota de equipos de servicios necesarios en la operación de la mina Los Bronces durante el año 2020.

El estudio se realiza para 6 tipos de equipos, los equipos de servicios principales dentro de la operación de la mina. Estos equipos son el bulldozer, el wheeldozer, las motoniveladoras, las excavadoras, los cargadores frontales y los camiones aljibes. Dentro del análisis se contempla definir y determinar las tareas que realiza cada equipo y la cantidad de material que deben mover los mismos. Además, precisar el número de equipos necesarios para la operación, para lo cual, es necesario fijar términos de referencia, para el estudio se utiliza el rendimiento de cada equipo y datos de desempeños de los equipos en relación a disponibilidad y uso. En promedio, la disponibilidad de los equipos de servicios bordea el 80%, mientras que, el uso de los equipos bordea el 70%.

Para la investigación, se utilizan nuevos valores como términos de referencia en comparación a lo usado en Los Bronces, utilizando el desempeño real de los equipos durante el periodo 2019. Así también el rendimiento de los equipos fue ajustado según como se dispone en la teoría.

Según el estudio, se concluye, que la flota de equipos de servicios que dispone actualmente la mina Los Bronces, no está sobredimensionada, más aun, el estudio propone el aumento de 3 unidades de bulldozer y 2 de camiones aljibe. Finalmente se entrega recomendaciones para mejorar indicadores de rendimiento y desempeño de los equipos mencionados en el análisis. Debido a la falta de información no es posible simular la flota de equipos de servicios para validar los resultados, para lo cual se recomienda la continuidad del estudio.

ABSTRACT

Mine production is the most important objective of mining projects. In fact, many investigations have focused on unit operations and the loading and haulage equipment which have the direct effect on mine productivities. However, these equipment cannot work efficiently without the support of service equipment. The following research analyzes the fleet of service equipment at Los Bronces copper mine based on the time study of mine database during 2020.

The research includes the definition of the tasks of each equipment and the required time to do the tasks. The analysis is performed for six types of main service equipment including bulldozer, wheeldozer, motor graders, excavators, loaders and water reservoirs trucks. The main objective of the project was to evaluate the performance of auxiliary equipment at mine and calculate their optimum number. Using the available time record of each equipment, the performance is calculated. Time study of each auxiliary equipment provide availability and usage rate. Comparing these two parameter provided an evaluation about the number of equipment. Due to the lack of information to simulate the fleet of service equipment,

According to the time study of service equipment, it is concluded that for the most types of equipment at Los Bronces mine, the number of available equipment is sufficient. However, it is suggested to increase the number of bulldozer and water truck in 3 and 2 respectively. Due to the lack of information, it was not possible to perform a simulation to analyze and validate the results. Although, more study and investigation is compulsory for service equipment at mine.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, como todo en la vida doy gracias a Dios por la oportunidad de estudiar esta carrera y poner en mi vida a hermosas personas acompañándome en buenas y malas experiencias.

Siempre faltaran palabras para dar las gracias a mi familia, a ellos dedico este trabajo, a lo largo del proceso universitario surgieron dudas que sin el apoyo de ustedes hubiese hecho este camino más difícil, solo ustedes saben cada una de las experiencias de vida que nos han hecho más fuerte día a día, los amo. Agradecer a mi hermano mime y mi otra madre la Moca. Dedico también este trabajo a mis abuelas, la tía Mauda y la abuela Blanca, su amor siempre me acompañará.

Entré a la universidad más linda de Chile, para mí y todos los que hemos pasado por ella siempre será la mejor de Chile, entre a metalúrgica y me cambie a Civil de Minas, eso generó en mi un cariño tremendo por el DIMET y toda su gente, por lo que estoy agradecido de cada uno de ellos y faltarían hojas para expresar esa gratitud, por lo que mencionare a las personas que vengan a mi mente en este momento, pero si alguna queda fuera de ella y se sienta mal por ello, es porque existe un lazo de amistad y experiencias juntos y sepa que mi gratitud es enorme.

De mis amigos quiero agradecer en primer lugar a la Carlita, Claudia, Ritter, Fabi y GES. Sin ellos, lo más probable es que me haya cambiado de universidad al primer año cuando todo se veía oscuro. Al grupo Dale (Y), Monte, Cata y Natiqui, apañadores de marcha, de estudio, de bálticas y ponches, mejores amigos de universidad y de vida. Mención honrosa también para la Fer apañadora y preocupada siempre.

Agradecer también a la gente que me apoyo para la memoria, la Meme y la Maisa en primer lugar, eternamente agradecido, la Giovi, que todos los días cuando llegaba cansado me recordaba que avance. Al Seba, Pablito, Yerko, Ritter que cada vez que nos encontrábamos en Santiago me alentaban a seguir. A toda la gente de Los Bronces, en especial mi compadre Aldo lo más grande de Servicios Mina, a la Betsa y sus tallas fomes, a German por confiar en mí y su taquito inolvidable en los partidos, Valerio y la emergencia,

a don Enrique y a don Ricardo por los retos y trabajos que me daba para aprender. Al abuelito Vaganay, Andrés, Oscar, Danilo, Ale, Balboa, Yavara, Pato. También a todos los memoristas con quien pude compartir.

Finalmente, como muchos saben amo el deporte y el bienestar estudiantil, en ese sentido agradecer a CEEDIMET y CEFI, formar parte de estas organizaciones me enseñaron mucho sobre liderazgo, paciencia y respeto por quienes piensen de manera distinta, también me pudo mostrar el agradecimiento de quienes disfrutaban las metas alcanzadas por gente organizada. En el ámbito deportivo, no juego futbol para ser el mejor del mundo, juego para ser feliz, por esto agradecer a toda la familia de Civil de Minas FC, lo habíamos logrado todo deportiva y sentimentalmente, pero nos faltaba una medalla de oro, la cual nunca dudé que esta camiseta lo lograría, pero cuando pensaba que no me tocaría verlo y vivirlo llegó la “copa centenario” y la alegría, gracias a cada uno de ustedes. La gente de Tajo Abierto, me enseñaron a crearme el mejor del mundo, aunque no juegue ni con tierra, fuimos el equipo con más copas del Dimet. A las chicas de futbol femenino de los JING por bancarme, ganar una final y aun cuando perdiéramos una final por mi culpa, seguir bancándome.

Y lo mejor para el final, sin duda la mejor experiencia de universidad fue lo que viví junto al equipo de futbol femenino del DIMET, lo que yo podía enseñarles a ellas no fue nada con lo que ellas me enseñaron y demostraron, en las buenas, en las malas y remalas, siempre fuimos un solo equipo y yo me consideraba siempre dentro de él, no me daba vergüenza al decir NOSOTRAS, cada vez que hablaba del DIMET. Reímos, lloramos y celebramos mucho, espero que este equipo sea eterno y puedan hacer mucho más de lo que hemos hecho hasta ahora. Gracias a cada una de las personas que fueron y son parte esta familia. 1 2 3 DIIIIIIIMET !!!!! (UH AH)

Muchas gracias.

INDICE

1.	Introducción.....	1
1.1	Objetivos.....	2
1.1.1	Objetivo general.....	2
1.1.2	Objetivos específicos.....	2
1.2	Alcances.....	3
1.3	Metodología.....	3
2.	Antecedentes.....	6
2.1	Estado del arte.....	6
2.2	Descripción de la faena.....	7
2.3	Proceso productivo.....	10
2.4	Flota de equipos en operaciones unitarias.....	12
2.4.1	Equipos de perforación.....	12
2.4.2	Equipos de carguío.....	12
2.4.3	Equipos de transporte.....	13
2.5	Equipos de servicios.....	13
2.5.1	Bulldozer.....	14
2.5.2	Wheeldozer.....	15
2.5.3	Motoniveladora.....	15
2.5.4	Excavadora.....	16
2.5.5	Cargador Frontal.....	17
2.5.6	Aljibe.....	18
3.	Marco teórico.....	19

3.1	Modelo de tiempo Anglo American	19
3.1.1	Elemento primario.....	19
3.1.2	Elemento secundario	20
3.2	Indicadores de rendimiento	21
3.2.1	Indicadores Estratégicos.....	22
3.2.2	Indicadores Tácticos	23
3.2.3	Indicadores Operativos	24
3.3	Rendimiento teórico de equipos	25
3.3.1	Rendimiento Bulldozer.....	25
3.3.2	Rendimiento Wheeldozer.....	27
3.3.3	Rendimiento Motoniveladora	27
3.3.4	Rendimiento Excavadora.....	29
3.3.5	Rendimiento Cargador Frontal.....	33
3.3.6	Rendimiento Aljibe	34
4.	Análisis.....	36
4.1	Base de datos.....	36
4.2	Estimación de equipos según BUDGET	36
4.2.1	Bulldozer.....	37
4.2.2	Motoniveladora	40
4.2.3	Excavadora.....	42
4.2.4	Aljibe	43
4.3	Productividad Mina	44
4.4	Kpi's vs Productividad.....	45
4.4.1	Bulldozer.....	45

4.4.2	Wheeldozer.....	46
4.4.3	Motoniveladora	47
4.4.4	Excavadora.....	47
4.4.5	Cargador Frontal.....	48
4.4.6	Aljibe.....	49
4.5	Benchmarking Formulas empíricas para determinar Flota	49
4.5.1	Bulldozer.....	50
4.5.2	Wheeldozer.....	50
4.5.3	Motoniveladora	51
4.5.4	Aljibe.....	51
5.	Resultados y discusiones.....	53
5.1	Comparación de términos de referencia.....	53
5.1.1	Rendimiento.....	53
5.1.2	Disponibilidad y uso.....	54
5.2	Bulldozer.....	54
5.2.1	Términos de referencia	54
5.2.2	Número de equipos.....	55
5.3	Wheeldozer	55
5.3.1	Términos de referencia	55
5.3.2	Número de equipos.....	55
5.4	Motoniveladora	56
5.4.1	Términos de referencia	56
5.4.2	Número de equipos.....	56
5.5	Excavadora.....	57

5.5.1	Términos de referencia	57
5.5.2	Número de equipos.....	57
5.6	Cargador frontal.....	58
5.6.1	Términos de referencia	58
5.6.2	Número de equipos.....	59
5.7	Aljibe.....	59
5.7.1	Términos de referencia	59
5.7.2	Número de equipos.....	60
5.8	Flota de equipos necesarias.....	60
5.9	Discusiones	61
6.	Conclusiones y recomendaciones.....	64
6.1	Conclusiones	64
6.2	Recomendaciones.....	65
7.	Referencias.....	67
8.	Anexos	69

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Metodología general de trabajo.....	5
Figura 2: Operación en Región Metropolitana.....	8
Figura 3. Ubicación geográfica Los Bronces.....	9
Figura 4. Proceso productivo	11
Figura 5. Tareas bulldozer	15
Figura 6. Tareas motoniveladora	16
Figura 7. Tareas excavadora	17
Figura 8. Modelo de tiempo.....	20
Figura 9. Descripción de tiempos.....	21
Figura 10. Indicadores de rendimiento.....	22
Figura 11. Producción máxima bulldozer	26
Figura 12. Material a mover Polyplan.....	37
Figura 13. Metros lineales de talud según Polyplan.....	42
Figura 14. Movimiento de material por fases	44
Figura 15. Movimiento material en mina	45
Figura 16. Kpi's bulldozer vs productividad	46
Figura 17. Kpi's wheeldozer vs productividad	46
Figura 18. Kpi's motoniveladora vs productividad	47
Figura 19. Kpi's excavadora vs productividad	48
Figura 20. Kpi's cargador frontal vs productividad	48
Figura 21. Kpi's aljibe vs productividad	49
Figura 22. Disponibilidad física por equipo, bulldozer	69

Figura 23. Uso por equipo, Bulldozer	69
Figura 24. Disponibilidad física por equipo, wheeldozer	70
Figura 25. Uso por equipo, wheeldozer.....	70
Figura 26. Disponibilidad física por equipo, motoniveladora	71
Figura 27. Uso por equipo, motoniveladora	71
Figura 28. Disponibilidad física por equipo, excavadora	72
Figura 29. Uso por equipo, excavadora	72
Figura 30. Disponibilidad física por equipo, cargador frontal.....	73
Figura 31. Uso por equipo, cargador frontal.....	73
Figura 32. Disponibilidad física por equipo, aljibe	74
Figura 33. Uso por equipo, aljibe	74
Figura 34. Relación de mantención bulldozer	75
Figura 35. Relación de mantención wheeldozer	75
Figura 36. Relación de mantención motoniveladora	76
Figura 37. Relación de mantención excavadora	76
Figura 38. Relación de mantención cargador frontal.....	77
Figura 39. Relación de mantención aljibe	77
Figura 40. Geometría de caminos.....	78
Figura 41. Geometría camellón de borde.....	78
Figura 42. Densidad de materiales	79
Figura 43. Producción máxima bulldozer	80
Figura 44. Factores de corrección tractores de oruga y ruedas	80
Figura 45. Tiempo de ciclo excavadora.....	81
Figura 46. Envergadura excavadora	81

Figura 47. Factor de corrección por condiciones de trabajo.....	82
Figura 48. Ejemplo de cálculo de factor de corrección excavadora	82
Figura 49. Corrección tiempo de ciclo básico cargador frontal.....	83
Figura 50. Tiempo de desplazamiento cargador frontal cargado	83
Figura 51. Tiempo de desplazamiento cargador frontal vacío.....	84
Figura 52. Alcance regadío	84
Figura 53. Desempeño challas.....	85
Figura 54. Rendimiento aljibe.....	85
Figura 55. Caminos mina Los Bronces	86



INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Equipos de perforación	12
Tabla 2. "Flota equipos de carguío"	12
Tabla 3. "Flota equipos de transporte"	13
Tabla 4. "Flota equipos de servicios propios"	13
Tabla 5. Rendimiento teórico bulldozer	26
Tabla 6. Rendimiento teórico wheeldozer	27
Tabla 7. Velocidad de trabajo motoniveladora	28
Tabla 8: Factor de corrección motoniveladora	28
Tabla 9. Rendimiento teórico motoniveladora	29
Tabla 10. Factor de corrección excavadora en zanja	30
Tabla 11. Rendimiento teórico excavadora en zanja	30
Tabla 12. Factor de corrección excavadora en retiro de camellón	30
Tabla 13. Rendimiento teórico excavadora en retiro de camellón	31
Tabla 14. Factor de corrección excavadora en estabilización talud	32
Tabla 15. Rendimiento teórico excavadora en estabilización de talud	32
Tabla 16. Tiempo de ciclo cargador frontal	33
Tabla 17. Rendimiento teórico cargador frontal	34
Tabla 18. Rendimiento teórico camión aljibe	34
Tabla 19. Datos de desempeño de aljibe	35
Tabla 20. Requerimiento de horas de bulldozer	38
Tabla 21. Número de bulldozer según budget	39
Tabla 22. Tramos de caminos en mina Los Bronces	40

Tabla 23. Requerimiento de metros cuadrados	40
Tabla 24. Requerimiento de Horas motoniveladora	41
Tabla 25. Número de motoniveladoras según Budget	41
Tabla 26. Número de excavadoras según <i>budget</i>	42
Tabla 27. Requerimientos de horas camión aljibe	43
Tabla 28. Número de aljibes según budget.....	43
Tabla 29. Comparación términos de referencia, rendimiento.....	53
Tabla 30. Comparación términos de referencia, disponibilidad y uso	54
Tabla 31. Número de Bulldozer según estudio	55
Tabla 32. Número wheeldozer según estudio	56
Tabla 33. Numero de motoniveladoras según estudio	56
Tabla 34. Numero de excavadoras según estudio	57
Tabla 35. Numero de excavadoras con ajuste	58
Tabla 36. Número de cargadores frontales según estudio.....	59
Tabla 37. Número de aljibes según estudio	60
Tabla 38. Flota de equipos necesarios	60

NOMENCLATURA

KPI	Key performance indicator
TOR	Terms of reference
m.s.n.m.	Metros sobre nivel del mar
OEE	Overall equipment effectiveness
DF	Disponibilidad física
UDF	Uso de la disponibilidad física
d	Día
h	Hora
min	Minuto
s	Segundo
cm	Centímetro
m	Metro
km	Kilometro
l	Litros
°	Grados sexagesimales
<	Menor que

1. Introducción

La planificación es de suma importancia para la realización de un proyecto minero, esta etapa consta de distintas fases, una de ellas es el análisis de operaciones, donde la planificación productiva tiene un rol significativo para el desarrollo de la vida de un proyecto minero [1]. La planificación de un proyecto es realizada según periodos de tiempo, así podemos clasificar la planificación de largo, mediano y corto plazo.

La planificación a largo plazo se realiza en periodos de tiempo mayores a 5 años, considerando la vida del proyecto, la planificación a largo plazo de la producción de una mina determina qué bloques deben ser extraídos y en qué periodo, además, determina entre otros aspectos, la selección y cantidad de equipos que se deben utilizar para cumplir con la producción deseada. Esto cumple un rol significativo en la estimación de la tasa de retorno de un proyecto, que en consecuencia determina las utilidades que pueda generar un proyecto minero [2–4].

La planificación a corto plazo permite, entre otras cosas, el control sobre la eficiencia de los equipos mineros y el impacto que estos generan en la productividad. El poder mejorar el desempeño de los equipos genera una mayor productividad [5].

Dentro de la operación minera, se pueden clasificar los equipos como principales y secundarios, los equipos principales son aquellos cuyas productividades afectan directamente en la productividad de la mina como los equipos de perforación, carguío y transporte. En los equipos secundarios se pueden clasificar todos aquellos equipos que prestan apoyo o se requiere del trabajo de estos previamente al de un equipo principal.

En minería, los equipos secundarios o equipos de servicios generan un impacto indirecto en la productividad, costos, entre otros. Sin embargo, a pesar de ser un impacto indirecto, la optimización de estos recursos y minimización de costos generan mayor productividad en la operación minera [6].

Existen muchos estudios sobre equipos principales como lo son la selección de equipos, el cálculo de flota y tamaño óptimo de equipos, cómo afectan en la productividad

de la mina el desempeño de los mismos, entre otros [7–11]. Sin embargo, de los equipos de servicios no se disponen muchas investigaciones.

La superintendencia de estándares y servicios cuenta con una flota de equipos de servicios propios la cual es cuestionada en su dimensionamiento, se cuestiona la capacidad de hacer las tareas planificadas con una menor flota o si dichas tareas requieren de más equipos. Bajo esta misiva nace la necesidad de un estudio de dimensionamiento de flota de equipos de servicios para la mina Los Bronces de Anglo American.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo general

El objetivo general de la investigación es analizar, la flota de equipos de servicios de la mina Los Bronces que permita el cumplimiento del plan de producción. Esto se entiende como análisis de sobredimensionamiento o requerimientos de equipos para las labores rutinarias de Los Bronces al año 2020.

1.1.2 Objetivos específicos

- Determinar mediante el plan de producción, la flota de equipos de servicio necesaria para el cumplimiento de lo planificado para el año 2020.
- Realizar un análisis de los indicadores operativos KPI's asociados a las tareas que desempeñan los equipos de servicios en la operación.
- Realizar un Benchmarking y comparar la flota de Los Bronces con otras compañías de la industria nacional.
- Verificar la planificación de la flota de equipos de servicios de años anteriores mediante los KPI's y análisis del Budget.

1.2 Alcances

Existen factores que pueden afectar en la información entregada, por lo tanto, la investigación consta con los siguientes supuestos y criterios previos:

- Los factores externos a la operación como lo son factores climáticos, detención por alertas o emergencias, no serán consideradas dentro de los alcances de la investigación.
- La flota de equipos de servicio de la mina Los Bronces, en ciertos puntos no es comparable con las del resto de las industrias, en algunos criterios de diseño el reglamento interno de la mina Los Bronces, añade construcción de estructuras que no son necesarias para otras faenas según el reglamento de seguridad minera.
- El estudio se concentrará en los siguientes equipos de servicios:
 - Bulldozer
 - Wheeldozer
 - Motoniveladoras
 - Excavadoras
 - Cargador frontal
 - Aljibes
- De los equipos anteriores no se dispone total información desde la operación, por lo tanto, ciertos parámetros de análisis están sujetos a la disponibilidad de información de los mismos.
- Por falta de información este estudio no contempla evaluación económica de la flota a determinar, el estudio se concentra en ajustes operativos para el cumplimiento del plan de producción.



1.3 Metodología

La superintendencia de planificación relativa al área de operaciones de Los Bronces cuenta con términos de referencia -TOR- para la planificación de los equipos con sus respectivas tareas, estos términos de referencia son los rendimientos de cada equipo.

Se realizará un análisis de los rendimientos de los equipos de servicios según lo dispone el fabricante de manera empírica, con los ajustes correspondientes a las condiciones de la operación, se entenderá este como “rendimiento teórico”. Posteriormente, se realizará un análisis de los términos de referencia que se tienen desde planificación según *Budget*¹, se entiende que estos términos de referencia están asociados al rendimiento real de los equipos en terreno. Con el análisis de estos datos se pretende realizar un ajuste al rendimiento con la finalidad de obtener un nuevo TOR y determinar la flota necesaria de los equipos en cuestionamiento.

Además, a modo de benchmarking se tiene en conocimiento la manera de cálculo estimativo de flota de equipos de servicios en otras faenas mineras, las cuales corresponden a fórmulas empíricas determinadas por la experiencia y condiciones de estas faenas. Para el estudio, se analizarán estas maneras de cálculo y se identificarán las variables que afectan en estas fórmulas empíricas.

Como se puede observar en la Figura 1, la metodología de trabajo considera la identificación del problema sobre el cual se define el trabajo de la investigación, posteriormente, la definición de los alcances de la investigación, de modo tal que no se vean viciados los resultados, en función de un criterio considerado. Luego, el análisis de los datos disponibles en relación a los términos de referencia que se obtienen de manera empírica mediante las formas de determinación que dispone el fabricante, y los datos que se disponen desde la operación en relación a sus términos de referencia. De este modo, es posible efectuar una comparación de estos datos, para tener un conocimiento de cuanto dista la relación de los datos empíricos de lo real. Así, si los datos no tienen relación se genera un nuevo término de referencia, de lo contrario se utiliza el definido por la investigación. Finalmente, con la definición de los términos de referencia a utilizar para la definición del número de equipos, se puede obtener la solución al problema definido.

¹ Budget: Estimación de costos para la planificación económica de un periodo de tiempo.

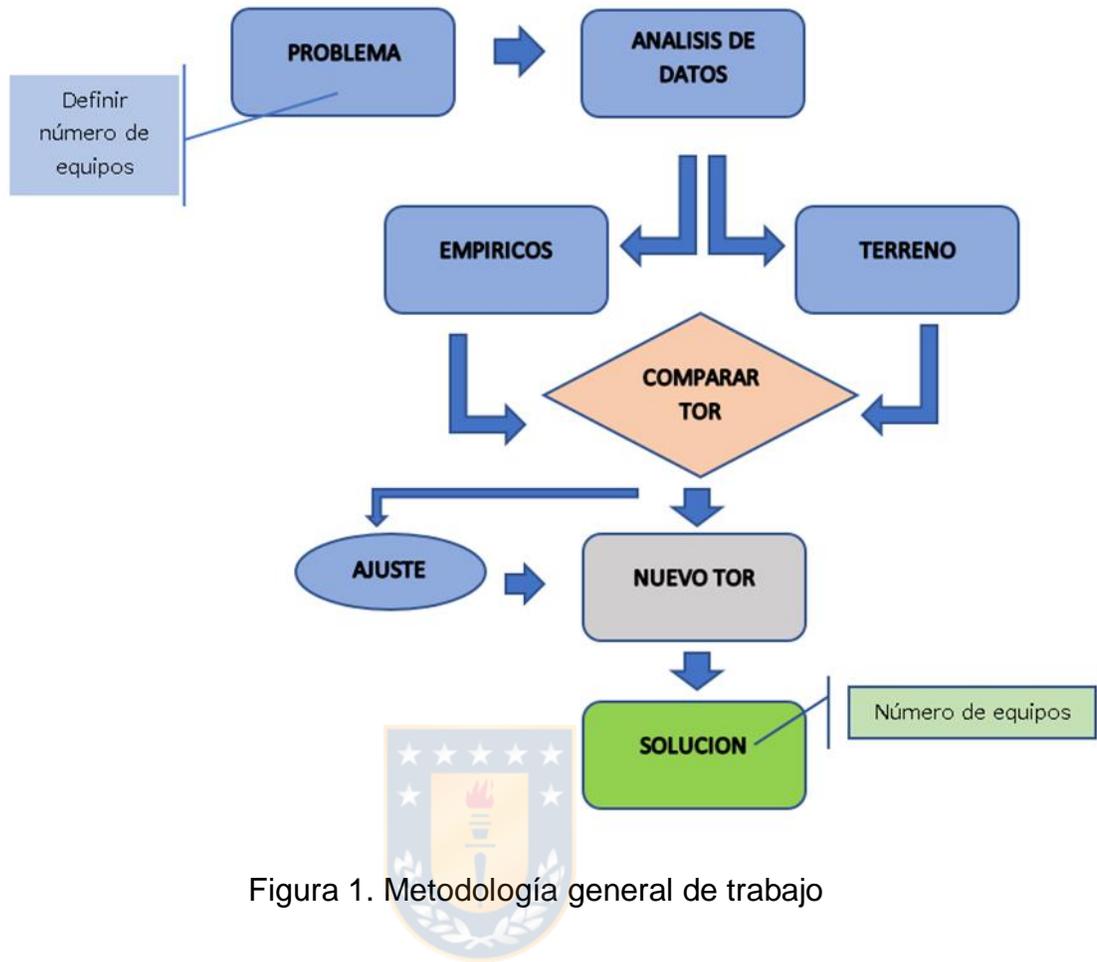


Figura 1. Metodología general de trabajo

2. Antecedentes

2.1 Estado del arte

Existen muchos estudios sobre la selección, tamaño y el número de equipos necesarios en una operación [2, 6, 7, 12]. Sin embargo, estos estudios son mayoritariamente de equipos primarios. En el caso de palas se tiene que, mediante el análisis de datos estadísticos, modelos de regresión y modelos matemáticos es posible definir parámetros para la optimización de número de palas en una mina a rajo abierto [13]. En el caso de camiones los recursos investigativos también son de fácil acceso, la realización de un modelo analítico permite dimensionar la flota de transporte, homogénea o heterogénea, de una operación minera a cielo abierto [2]. Cuando se habla de modelos analíticos, que es lo que regularmente se usa para el dimensionamiento de una flota de camiones, existen distintos modelos como la teoría de colas, que mediante simulación se puede determinar el número óptimo de camiones y a la vez puede definir una producción óptima minimizando los costos [14]. La teoría también indica de modelos como programación lineal, programación no lineal, simulación de eventos discretos, entre otros, que permiten la optimización de flotas de equipos primarios y además la optimización de transporte en tiempo real mediante software [11, 14–16].

Recursos investigativos como los mencionados anteriormente, es lo que no se dispone con facilidad en lo que se refiere a equipos de servicio en minería. Si bien el impacto de un mal diseño en el dimensionamiento de flota de equipos primarios tiene un impacto directo a la producción, un mal diseño al dimensionar la flota de equipos de servicios o auxiliares, genera un impacto indirecto en la producción, pero de significancia para el proceso. La eficiencia de los equipos primarios, y todo el trabajo a cielo abierto por sí solo, depende completamente de la confiabilidad y las operaciones oportunas de los equipos auxiliares [18].

Dentro de los equipos auxiliares o de servicios, los equipos tipo dozers son los de mayor importancia para la operación, respecto de estos equipos se puede encontrar información respecto a la selección de un equipo o balde óptimo para un equipo en

consideración de los requerimientos operativos, incluso la metodología óptima de arranque de material en terreno [1,19,20]. Sin embargo, no se dispone de información relativa al dimensionamiento óptimo de este tipo de equipos.

El análisis en terreno del desempeño de los equipos es un factor de consideración para la optimización de los recursos, es una guía para utilizar de referencia en términos de producción. Zauner et al [21], indica que la correcta definición de las tareas rutinarias de un cargador frontal, permitiría la implementación de estrategias de optimización para el desempeño del equipo. Este estudio plantea la generación de un algoritmo que realiza un seguimiento de las tareas de este equipo, para así una posterior investigación sobre como optimizar el desempeño en terreno del equipo. El estudio se puede relacionar con otros equipos de servicios, si se dispone un correcto seguimiento de las tareas que realiza cada equipo en cuestión.

En el contexto local, en la propia empresa donde se realiza el estudio, se dispone de una investigación relativa a equipos de servicios, en esta se indica la gestión de las tareas a realizar por los equipos, sin embargo, el estudio se enfoca a la gestión de recursos humanos y no en la optimización de los equipos o dichas labores [22]. Para la investigación resulta de utilidad la gestión de indicadores de rendimiento de equipos.

La investigación se basará en línea con lo que describe Zauner et al. La determinación de las tareas de cada equipo, el desempeño de los mismos y el rendimiento en terreno serán la base para la determinación de una flota de equipos de servicios en la mina Los Bronces.

2.2 Descripción de la faena

Los Bronces es una mina de cobre y molibdeno que se explota a rajo abierto. Según relata la historia el nombre “Los Bronces” se debe, al color que presentaban los afloramientos de mineral en la superficie. Como se puede observar en la Figura 2, El área Los Bronces se localiza en la zona cordillerana de la Región Metropolitana, (Provincia de Santiago y Comuna de Lo Barnechea) y en la V Región de Valparaíso (Provincia y Comuna de Los Andes), a unos 65 km al noreste de la ciudad de Santiago.

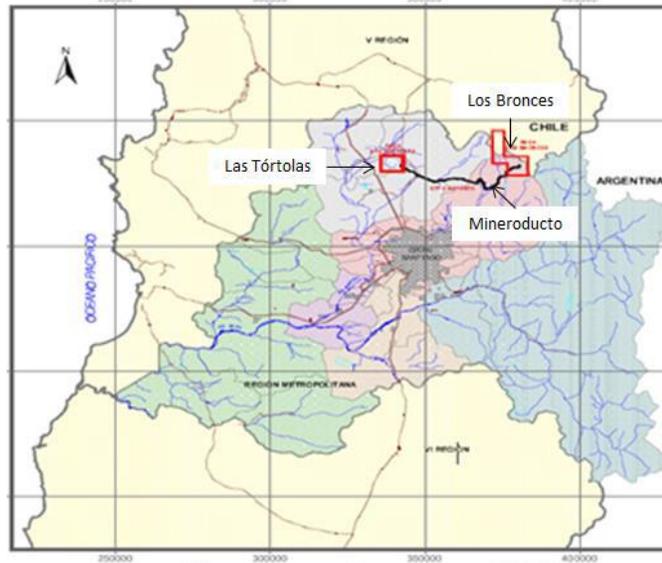


Figura 2: Operación en Región Metropolitana

Como se ve en la Figura 3, la principal ruta de acceso hacia la mina Los Bronces es el camino Santiago - Farellones (G-21) hasta aproximadamente Corral Quemado, kilómetro 17, donde comienza el camino hacia Paso Marchant y Los Bronces (G-245). La altura de la operación va desde los 2500 m.s.n.m. En el área industrial, y en el área mina entre los 3400 a 3900 m.s.n.m. Las condiciones climáticas de la operación Los Bronces se consideran extremas. La temperatura media anual es de 6°C, en invierno, la temperatura media es de 2°C, aun así, las temperaturas mínimas pueden llegar a -10°C durante el día y -25°C en la noche, las tormentas de nieve o eléctricas hacen que las condiciones climáticas sean condiciones inseguras en la operación, para lo cual existen procedimientos internos. Por otro lado, en verano las condiciones climáticas, favorecen la generación de polución en la mina, factor que también debe ser controlado.



Figura 3. Ubicación geográfica Los Bronces

Actualmente el mineral que se extrae es molido y transportado por un mineroducto de 56 kilómetros a la planta de flotación Las Tórtolas, en la que se produce cobre y molibdeno contenido en concentrados. Además, en la mina se produce cobre en cátodos.

En 2017 Los Bronces produjo 308,300 toneladas de cobre fino, entre cátodos de alta pureza y cobre contenido en concentrado, además de 2,421 toneladas de molibdeno contenido en concentrado, con una ley media de alimentación a la planta de 0.67% Cu y 0.011% Mo. Actualmente las fases dentro de la mina desde donde se extrae mineral corresponden a Infiernillo 5, Infiernillo 7A y Donoso 2.

En términos de diseño, la mina Los Bronces sigue los siguientes parámetros para el cumplimiento de los estándares de seguridad y de los requerimientos de equipos de carguío y transporte:

- Altura de Banco Operativo: 15 metros
- Altura banco en Pared Final: 30 metros
- Ángulo Cara de Banco: 90°
- Ancho mínimo de Fases: 70 metros
- Ancho promedio de Fases: 120-250 metros

- Largo promedio de Fases: 500-1,000 metros
- Ancho de Caminos: 38 metros
- Pendiente máxima rampas: 8%
- Radio mínimo de giro camiones: 50 metros
- Ángulo de reposo de material suelto: 37°
- Distancia de seguridad para infraestructura cercana al cráter ANDINA: 120 metros

2.3 Proceso productivo

Bajo el análisis de la Figura 4, la investigación tiene relación con el proceso extractivo del mineral, las áreas asociadas a los equipos de servicios de la investigación, dentro del proceso productivo son:

- Perforación
- Tronadura
- Extracción
- Carguío y transporte
- Botadero
- Stock mineral de baja ley



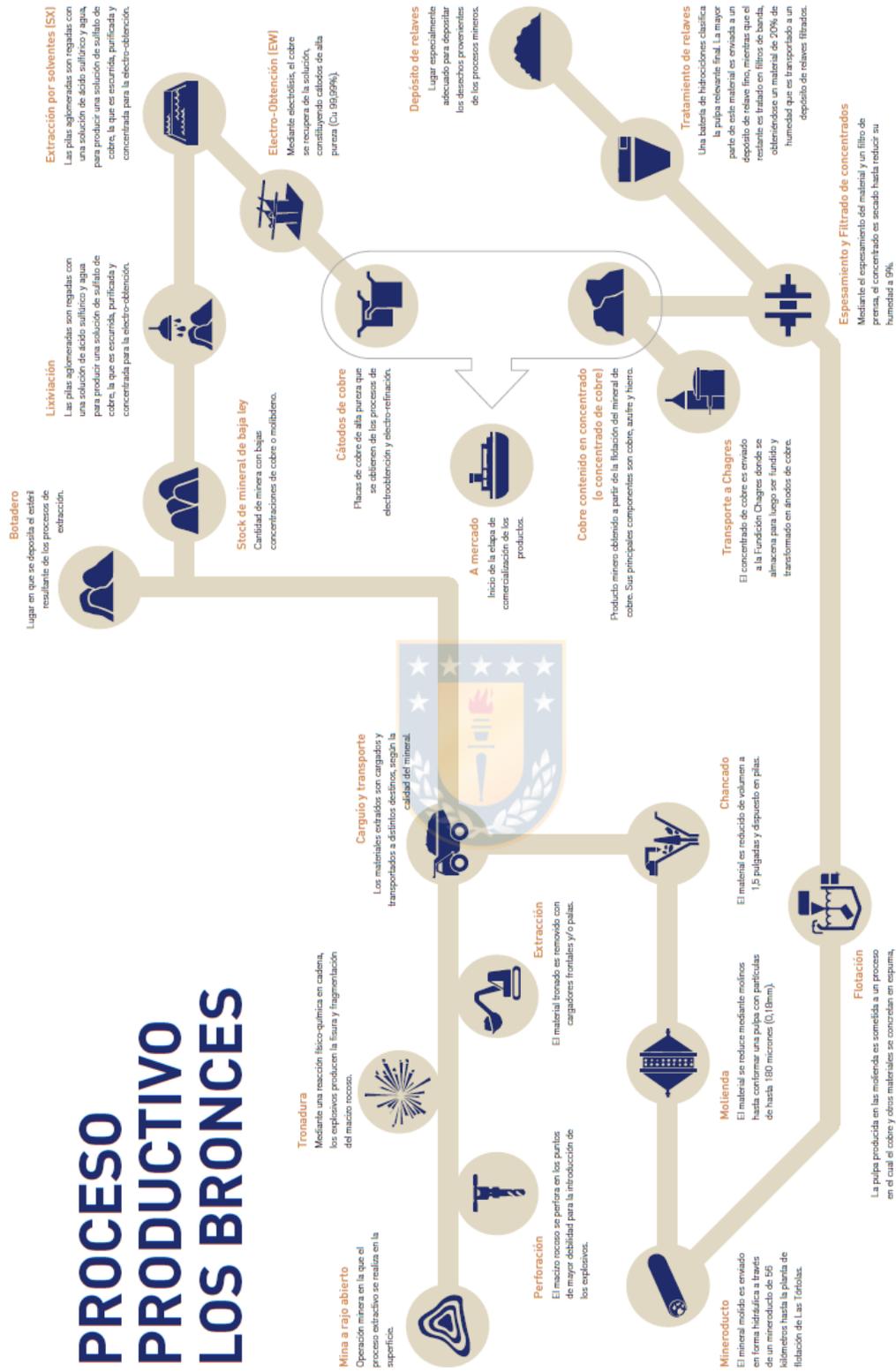


Figura 4. Proceso productivo

2.4 Flota de equipos en operaciones unitarias

En minería a cielo abierto las operaciones unitarias son las que forman parte del ciclo básico de minado, estas corresponden a la perforación para una posterior tronadura, luego una extracción que permite el carguío de camiones para el posterior transporte del material minado.

2.4.1 Equipos de perforación

Los equipos de perforación con que cuenta Anglo American en total son 9, a continuación, se detallan en la tabla 1.

Tabla 1. Equipos de perforación

Descripción	N° Equipos	Marca	Modelo	Diámetro
Perforadoras	2	Bucyrus	49H	10 5/8"
	1	Atlas Copco	271	7 7/8"
	6	Atlas Copco	351	10 5/8"

2.4.2 Equipos de carguío

Los equipos de carguío con que cuenta Anglo American en total son 11 palas, su distribución puede observarse en la tabla 2. Estos equipos mueven en su totalidad diariamente 350.000 toneladas de material.

Tabla 2. "Flota equipos de carguío"

Descripción	N° Equipos	Marca	Modelo	Capacidad
Palas Eléctricas	2	Bucyrus	495B	60 yd3
	1	Bucyrus	495BIII	60 yd3
	4	Bucyrus	495H	73 yd3
Palas Diésel	4	Komatsu	PC5500	36 yd3

2.4.3 Equipos de transporte

“Los bronces” cuenta con 69 camiones de extracción que transportan el mineral hacia chancadores o stock, el mineral lixiviable a los acopios para lixiviación y el estéril hacia botaderos. A continuación, se detallan estos en la tabla 3.

Tabla 3. "Flota equipos de transporte"

Descripción	N° Equipos	Marca	Modelo	Capacidad
Camiones Mineros	11	CAT	CAT 795F	345 t
	2	Komatsu	KOM 960E	330 t
	22	Komatsu	KOM 930E3	295 t
	34	Komatsu	KOM 930E4	295 t

2.5 Equipos de servicios

Los equipos de servicio brindan apoyo a la operación y son fundamentales en las distintas áreas de la mina. “Los bronces” cuenta con 36 equipos propios que se detallan a continuación en la tabla 4.

Tabla 4. "Flota equipos de servicios propios"

Flota	N° Equipos	Marca	Modelo
Bulldozer	2	Caterpillar	D10R
	1	Caterpillar	D10T
	6	Caterpillar	D11T
	3 (*)	Komatsu	D475-5
Wheeldozer	1	Caterpillar	854G
	1	Caterpillar	824G
	5	Caterpillar	854K
	1 (*)	Komatsu	WD900-3
Motoniveladora	2	Caterpillar	24 H
	3	Caterpillar	16 M
Cargador Frontal	1	Caterpillar	980 H
	1	Caterpillar	992 K
	1	Caterpillar	988 H

Aljibe	2	Caterpillar	773 D
	2	Komatsu	875
Excavadoras	1	Caterpillar	345-B
	1	Komatsu	PC 450
	1	Caterpillar	385-C
Rodillo	1	Caterpillar	CS-533D

(*) Equipos en proceso de ser dados de baja

2.5.1 Bulldozer

Este tipo de equipos es considerado el más importante de los equipos auxiliares. El bulldozer o tractor de oruga, es un equipo de apoyo de fuerza que permite el arranque de material y traslado mediante empuje. Al estar montado sobre oruga permite que el equipo pueda acceder a lugares de difícil acceso. La envergadura del equipo y del balde, en conjunto con su tracción permiten que este pueda arrancar el material y a su vez empujarlo [1]. Es uno de los equipos de apoyo mayormente requerido en la operación, por lo tanto, es de suma importancia tener un control sobre estos y poder optimizar su utilización

Los Bronces cuenta en total con 12 equipos propios, de los cuales actualmente 3 están proceso de ser dados de baja operacional. Estos están distribuidos en las distintas fases de la operación según las tareas asignadas. Estas tareas pueden ser:

- Caminos:
 - Construcción de rampas auxiliares
 - Construcción y Reparación de caminos
- Zonas de carga y descarga:
 - Labores de apoyo a palas, limpieza de frentes de carguío
 - Empuje de material hacia el borde en zonas de descargas

Según el estudio de los datos obtenidos desde la operación la labor más importante que realiza este tipo de equipo la constituye el apoyo a la pala de extracción, según se puede observar en la Figura 5, adicionalmente las labores en botaderos y caminos establecen el 30% y 19% respectivamente.

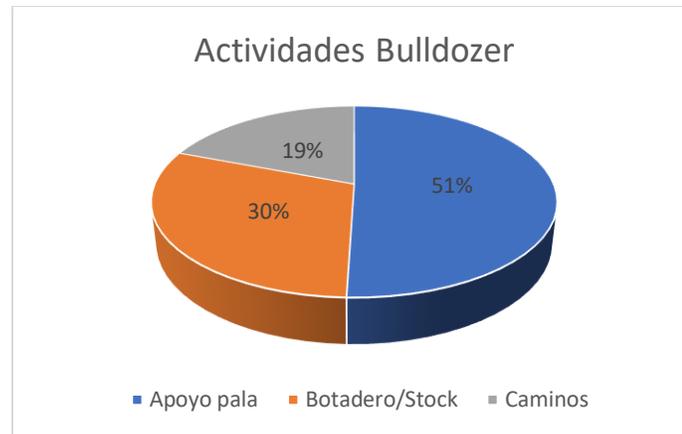


Figura 5. Tareas bulldozer

2.5.2 Wheeldozer

El Wheeldozer o tractor sobre neumáticos tiene características similares a la del tractor sobre oruga, la diferencia es que está montado sobre neumáticos, esto permite una mayor versatilidad en el traslado desde un punto a otro. Sin embargo, genera una desventaja desde el punto de vista de tracción o empuje, a diferencia del Bulldozer el Wheeldozer se ve imposibilitado de realizar labores de arranque, limitando estas solo a labores de empuje.

Las tareas donde se requiere el uso de un Wheeldozer son:

- Caminos
- Labores de limpieza
- Zonas de descarga:
 - Botadero

2.5.3 Motoniveladora

Una motoniveladora tiene la característica de prestar apoyo a tareas de caminos, el equipo se caracteriza por su cuchilla que permite el arranque de material superficial, lo que permite una nivelación del camino que se está trabajando.

El buen desempeño de la motoniveladora permite una correcta mantención de caminos, labor de suma importancia para poder mantener las velocidades de los camiones de extracción, por ende, mantener una producción según lo planificado.

Desde el gráfico de la Figura 6, se puede observar que en Los Bronces las labores de una motoniveladora están destinadas casi en su totalidad a labores relativas a caminos, ya sea en su construcción, reparación o mantención. Existen labores agregadas como lo son la construcción de plataformas de perforación, limpieza de otros sectores no asociados a caminos, entre otros.

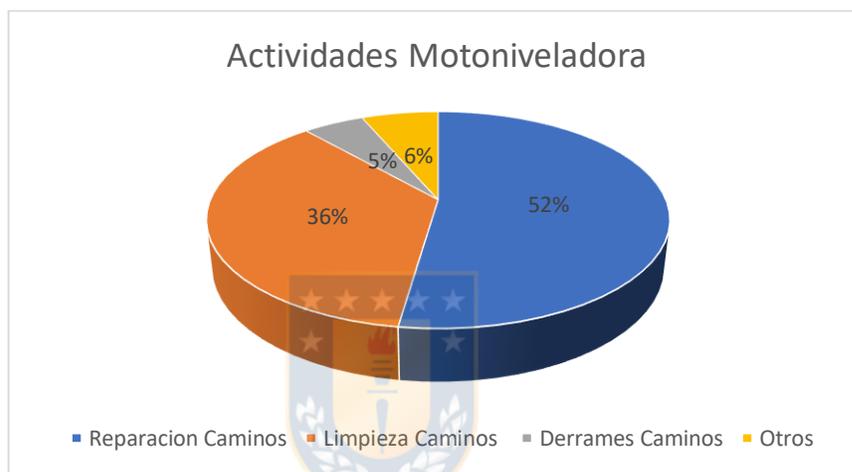


Figura 6. Tareas motoniveladora

2.5.4 Excavadora

Una excavadora tiene la virtud montarse sobre oruga o neumáticos y su balde puede acarrear material de manera frontal, con los dientes del balde hacia arriba, o puede acarrear de manera que los dientes del balde estén apuntando hacia el equipo, como reconocimiento técnico dentro de la operación, se entiende como excavadora al equipo montado sobre orugas y retroexcavadora al equipo montado sobre neumático.

Las tareas que se le asignan a la excavadora en Los Bronces:

- Labores de saneamiento de talud
- Construcción de Zanjas

- Retiro de camellones de borde

Como se observa en la figura 7 en Los Bronces 90% de las horas operativas asociadas a excavadoras, son destinados para las labores que se contemplan, el restante es por labores de proyectos durante cierto periodo de tiempo, labores de urgencia entre otros. De tal porcentaje, 37% corresponde a las labores de saneamiento de talud y retiro de camellones de borde, siendo la labor de construcción de zanjas la labor primordial de este tipo de equipos con un 49% de las horas operativas destinadas para dicha labor.

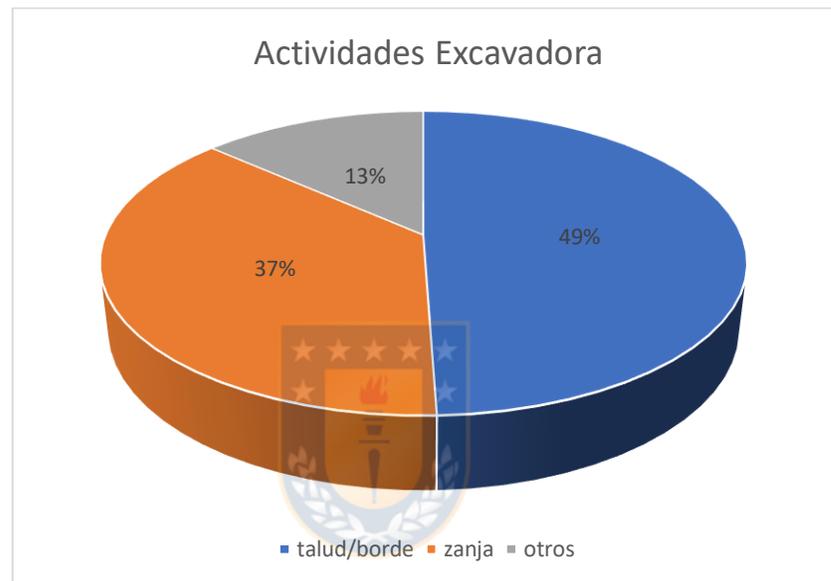


Figura 7. Tareas excavadora

2.5.5 Cargador Frontal

El cargador frontal es un equipo de carguío con una capacidad de balde que permite labores de acarreo y transporte en distancias cortas sin necesidad de contar con un equipo de transporte, o labores de acarreo en menor tiempo que lo que pueda ofrecer una excavadora. El equipo está montado sobre neumáticos por lo que ofrece una mayor versatilidad que otros equipos. Su uso en labores de la operación Los Bronces son:

- Construcción de camellones
- Construcción de plataformas de perforación
- Construcción de caminos

2.5.6 Aljibe

El camión aljibe, es un equipo similar a un camión de extracción de menor capacidad, con la diferencia que se reemplaza el uso de una tolva, por el uso de un estanque. El equipo posee sistemas de regadío ya sea para aspersores o *challa*², como para la utilización de manguera o pitón. El uso de camiones aljibe en la mina Los Bronces, radica 100% en regadío de caminos para efectuar un control en la polución generada por los equipos de transporte o por factores climáticos.



² Challas: cabezas rociadoras por donde sale el agua expedida hacia el camino a regar.

3. Marco teórico

3.1 Modelo de tiempo Anglo American

En Anglo American se definen dos elementos de tiempo. El primer elemento es el estado de tiempo, el cual se basa en el tiempo total calendario y se desglosa según el estado de los equipos. El segundo elemento corresponde a la categorización de las razones por la cual un equipo se encuentra en un estado de tiempo establecido. La importancia del modelo y de la realización de estas categorizaciones es poder determinar indicadores de rendimiento de los equipos que permitan el mejoramiento continuo de la operación.

3.1.1 Elemento primario

Como se observa en la figura 8 en la categoría de estado de tiempo o elemento primario se definen:

- Tiempo total calendario (T000): Es el total potencial de horas disponibles.
 - a. Anualizado = $24 * 365 = 8760$ horas.
 - b. Mensual = $24 * 31 = 744$ horas.
 - c. Semanal = $24 * 7 = 168$ horas.
- Tiempo controlable (T100): Es el tiempo atribuible a cualquier factor controlable por la operación.
- Tiempo no controlable (N000): Es el tiempo en que los equipos no están en condiciones de agregar valor por factores fuera del alcance de gestión de la operación-
- Tiempo físicamente disponible (T200): Tiempo en que el equipo se encuentra mecánica y operacionalmente disponible para cumplir su función de diseño.
- Tiempo no disponible (D000): Tiempo en que el equipo no se encuentra inmediatamente disponible para la producción. También comúnmente conocido como Tiempo Fuera de Servicio.

- Tiempo operativo (T300): Tiempo en que el equipo se encuentra física y mecánicamente disponible para realizar su función de diseño y está siendo utilizado para alguna tarea, ya sea directa o indirectamente relacionada con la producción.
- Tiempo perdido (L000): Tiempo en que el equipo se encuentra física y mecánicamente disponible para realizar su función de diseño, pero no está siendo utilizado.

Tiempo total calendario (T000)										
Tiempo controlable (T100)							Tiempo no controlable (N000)			
Tiempo físicamente disponible (T200)					Tiempo no disponible (D000)					
Tiempo operativo (T300)		Tiempo perdido (L000)			Detención operacional programada (D400)	Detención operacional no programada (D300)	Mantenión programada (D200)	Mantenión no programada (D100)	Eventos no controlables (N200)	No programado para producir (N100)
Operación efectiva/ primaria (P200)	Operación no productiva/ secundaria (P100)	Demora (L300)	Reserva (L200)	Consecuencia (L100)						

Figura 8. Modelo de tiempo

3.1.2 Elemento secundario

La definición de elemento secundario o categoría de tiempo, corresponde a la máxima segmentación de un estado de tiempo, y es la compilación de todas las razones de una misma naturaleza. A partir de estas categorías se generan las bases de cálculo para los indicadores de desempeño. En la figura 9 se puede observar a qué corresponde cada categorización.

	Categorías	Nombre	Descripción
Tiempo disponible	Operación efectiva/ primaria	P200	Tiempo en el cual los equipos están operativos y siendo utilizados para producción.
	Operación no productiva/ secundaria	P100	Tiempo en el cual los equipos están operativos y realizando actividades no productivas o secundarias.
	Demora	L300	Tiempo que implica un retraso en la producción.
	Reserva	L200	Tiempo asignado a equipos de repuesto. Inmediatamente disponibles para producción.
	Consecuencia	L100	Tiempo de detención del equipo producto de eventos externos a él.
Tiempo no disponible	Detención operacional programada	D400	Tiempo de detención programada causada por operaciones, que implica que los equipos queden inoperables.
	Detención operacional no programada	D300	Tiempo de detención no programada causada o requerida por operaciones, que implica que los equipos queden inoperables.
	Mantenimiento programada	D200	Tiempo producto de trabajos de mantenimiento incluidos en el plan de mantenimiento semanal confirmado.
	Mantenimiento no programada	D100	Tiempo producto de trabajos de mantenimiento no incluidos en el plan de mantenimiento semanal confirmado.
Tiempo no controlable	Evento no controlable	N200	Tiempo atribuible a factores externos y fuera del control de la operación que afecta a toda la operación.
	No programado para producir	N100	Tiempo en el cual el equipo no esta programado dentro del plan de producción.

Figura 9. Descripción de tiempos



3.2 Indicadores de rendimiento

A partir de las categorías de tiempo mencionadas anteriormente se desprenden los inputs para determinar los indicadores de desempeño de todos los equipos presentes en la faena.

La figura 10 muestra la naturaleza y la visión de los indicadores de desempeño de los equipos que permiten el control de,

- Estrategia del activo: Definición del propósito y el objetivo del activo en la operación. El control de la estrategia es mediante la revisión de indicadores estratégicos.
- Planificación del activo: Programación de tareas del equipo una vez se cuenta con él. El control de la planificación es mediante la revisión de indicadores tácticos.
- Eficiencia del activo: Maximización de productividad una vez que el equipo está operando. El control de la eficiencia es mediante la revisión de indicadores operativos.



Figura 10. Indicadores de rendimiento

3.2.1 Indicadores estratégicos

Los indicadores estratégicos son aquellos que facilitan la definición de metas y objetivos del activo físico, y permiten visualizar de manera estratégica las oportunidades de maximizar el potencial del activo físico.

Una gestión eficaz de estos indicadores entrega a la planificación metas claras, aumentando la agilidad y precisión del proceso siguiente, que es la planificación del equipo. Los que corresponden a:

- **Tiempo Controlable:** Indica el porcentaje del tiempo total calendario del cual dispone la operación. Una operación con bajo tiempo de eventos no controlables, representa una eficaz definición de estrategia sobre el activo.
- **Utilización General:** Indica el porcentaje del tiempo total calendario en que el equipo opera de forma efectiva (tiempo operativo).
- **Efectividad general de los equipos:** Indica el porcentaje de la eficiencia productiva de un equipo o proceso, involucrando indicadores de utilización, rendimiento y calidad. Es decir, cuán efectivamente se utilizan los equipos.

Este último indicador es usado regularmente en la industria, está en línea con lo que la teoría indica para la gestión de recursos, sin embargo, la efectividad general de los equipos -OEE- en equipos mineros no se puede medir de la misma manera que en la industria de manufactura. La diferencia radica en la medición de calidad, esto porque en la manufactura podemos identificar productos defectuosos, en el movimiento de material, la calidad está definida por el volumen que se mueve y el que es posible mover. [23]

3.2.2 Indicadores tácticos

Son aquellos que están dirigidos a hacer control y seguimiento a la planificación del activo físico. La gestión eficaz de estos indicadores permite visualizar oportunidades de agregar valor al proceso siguiente, es decir, la operación del equipo. Entre los que se encuentran:

- Disponibilidad Física: Indica el porcentaje de tiempo controlable en que el equipo se encuentra en condiciones inmediatas para realizar su función de diseño. Su gestión es responsabilidad del área de mantenimiento y de operaciones.

$$\text{Disponibilidad Física} = \frac{\text{Tiempo físicamente disponible}}{\text{Tiempo controlable}} = \frac{T_{200}}{T_{100}} \% \quad (1)$$

- Disponibilidad Mecánica/Eléctrica: Indica el porcentaje del tiempo controlable en que el equipo está en condiciones mecánicas y/o eléctricas para estar operativo. Este indicador cuantifica el impacto de la gestión del área de mantenimiento sobre la disponibilidad física del equipo.
- Disponibilidad Operacional: Indica el porcentaje del tiempo mecánica y/o eléctricamente disponible, el equipo está físicamente disponible. Cuantifica el impacto de la gestión del área de operaciones sobre la disponibilidad física del equipo.
- Relación de Mantenimiento: Indica el porcentaje del tiempo de mantenimiento programada sobre el total de tiempo empleado para actividades de mantenimiento. Mientras mayor

sea su valor indica que las labores de mantención programada se realizan como se dispone, por lo tanto, se dispone físicamente del equipo como se estima o planifica.

- **Uso de Disponibilidad Física:** Indica el porcentaje del tiempo físicamente disponible en que el equipo se encuentra operativo. Esta es una medida clave para cuantificar las oportunidades de gestión sobre los activos, puesto que únicamente se ve afectada por la inutilización de los activos mientras estos se encuentran disponibles para hacerlo.

$$\text{Uso de disponibilidad física} = \frac{\text{Tiempo operativo}}{\text{Tiempo físicamente disponible}} = \frac{T_{300}}{T_{200}} \% \quad (2)$$

3.2.3 Indicadores operativos

Corresponden a aquellos indicadores que están dirigidos a monitorear la eficiencia del activo físico y representan la cantidad y calidad del tiempo en que el equipo ejecutó las labores para las cuales está programado. Los indicadores definidos en esta categoría son:

- **Eficiencia:** Indica el porcentaje del tiempo operativo en que el equipo opera de forma efectiva. Es una medida muy significativa para determinar el requerimiento neto de equipos en una tarea en particular; reflejando efectivamente las necesidades para cada tipo de operación.
- **Rendimiento Efectivo:** Indica el rendimiento medido en unidades de producción sobre el tiempo de operación efectiva.
- **Rendimiento Operativo:** Indica el rendimiento medido en unidades de producción sobre el tiempo en que el equipo se encuentra operativo.
- **Tiempo Medio entre Fallas:** Indica el promedio del tiempo operativo que transcurre entre una detención no programada de mantención y la siguiente. Este corresponde a un indicador de confiabilidad del equipo.
- **Tiempo Medio para Reparar Fallas:** Indica el promedio del tiempo de detención no programada de mantención empleado para corregir eventos que provocan la falla.

- Tiempo Medio entre Detenciones: Indica el promedio del tiempo operativo que transcurre entre una detención que implique inoperatividad o fuera de servicio y la siguiente.
- Tiempo Medio para Reparar Detenciones: Indica el promedio del tiempo de detención que implique inoperatividad o fuera de servicio empleado para corregir eventos que provocan la detención.

3.3 Rendimiento teórico de equipos

Se entiende como rendimiento teórico al rendimiento que debiese operar el equipo bajo condiciones específicas establecidas previo a la operación. El rendimiento real difiere de lo teórico, según cómo se opere el equipo en las condiciones previstas. Dado que la mayoría de los equipos de servicios que cuenta la operación Los Bronces son del fabricante Caterpillar, para la determinación del rendimiento teórico, la investigación se basará en el Caterpillar Performance Handbook [24].

3.3.1 Rendimiento Bulldozer

El rendimiento de un bulldozer es difícil de predecir, las condiciones del entorno de trabajo son factores críticos que influyen en el desempeño del equipo, los cuales son difícil de cuantificar, aun así, el fabricante entrega mediante el manual la forma de determinar el rendimiento del equipo empíricamente, la cual se describe a continuación.

$$\text{Rendimiento} = \text{Producción Máxima} * \text{Factor de Corrección} \quad (3)$$

La producción máxima está dada gráficamente por el fabricante y se presenta en la figura 11. La estimación se basa en el planteamiento que el equipo empuja el material a lo largo de 60 metros. Así según indica la figura 11 el rendimiento teórico o producción máxima, es de 1100 m³/h. Los factores de corrección se aplican según las condiciones previstas, estos son según fabricante, factor por tipo de operador, tipo de material, explanación de ranuras, explanación de lado a lado, visibilidad, tipo de hoja y pendientes. Para el caso de bulldozer la investigación contempla el uso de un factor de corrección por la densidad, dado

que para este equipo el manual contempla la producción en base a una densidad de 1370 kg/m³, para el estudio se contempla una densidad de 1720 kg/m³ dado que el material que empuja es una mezcla de roca y tierra, estos se disponen en la Figura 42 en el anexo D. Los factores se presentan en la Tabla 5, para el cálculo se tiene como supuesto que todos los operadores de los equipos son buenos, se estima que al tratarse de labores de mayor dificultad como la que ejerce este tipo de equipo, la eficiencia del trabajo es de 40 min/h. Así basándose en la ecuación 3, se tiene que el rendimiento asociado a este equipo es de 486 m³/h.

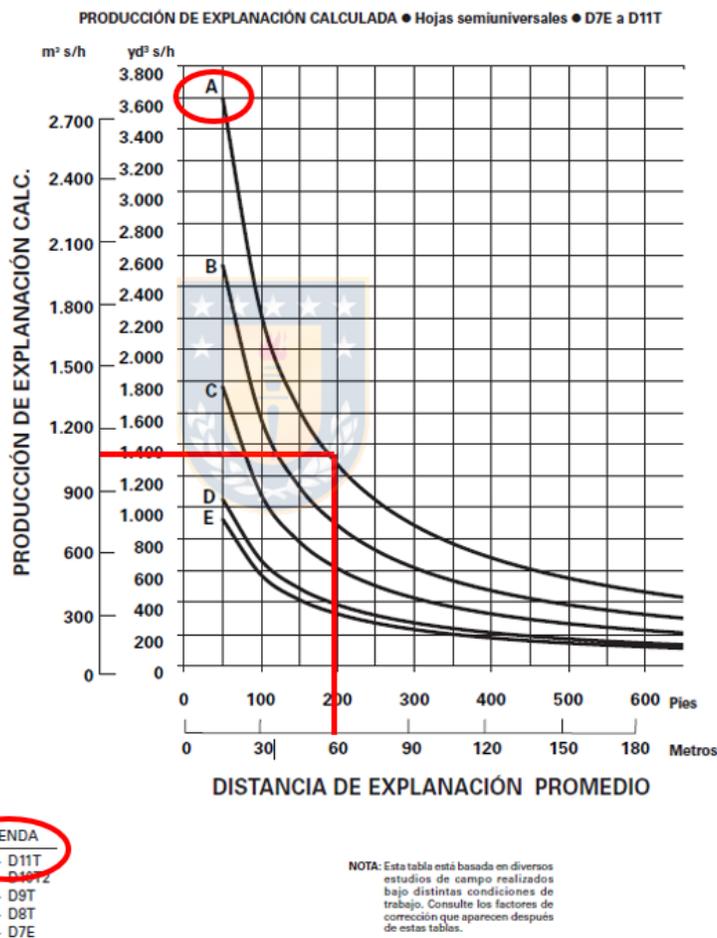


Figura 11. Producción máxima bulldozer

Tabla 5. Rendimiento teórico bulldozer

Rend. Teórico 60 metros (Producción máxima)	1100	m ³ /h
Operador bueno	0,75	

Roca desgarrada suelta	0,70	
Eficiencia 40 min/h	0,67	
Densidad	1,26	
Factor de corrección	0,44	
Rendimiento estimad	486	m³/h

3.3.2 Rendimiento Wheeldozer

La metodología de cálculo teórico del wheeldozer es similar a la del Bulldozer, pero existe un factor de corrección según el método de tracción del equipo, al ser este equipo sobre neumáticos y no sobre oruga.

Tabla 6. Rendimiento teórico wheeldozer

Rend. Teórico 60 metros (Producción máxima)	1100	m³/h
Operador bueno	0,60	
Roca desgarrada suelta	0,70	
Eficiencia 40 min/h	0,67	
Densidad	1,26	
Factor de corrección	0,35	
Rendimiento estimado	390	m³/h

3.3.3 Rendimiento Motoniveladora

Según el manual de rendimiento de Caterpillar la producción de una motoniveladora puede realizarse de distintas formas, una de ellas es por el área de barrido por unidad de tiempo, esto es, metros cuadrados por hora.

Para esto el rendimiento del equipo seguirá la siguiente ecuación:

$$A = S * (L_e - L_o) * 1000 * E \quad (4)$$

Donde,

A: indica el área barrida por unidad de tiempo [m²/h]

S: indica la velocidad de trabajo del equipo [km/h]

L_e: indica la longitud efectiva de la hoja [m]

L_o : indica el ancho de la superposición [m]

E: indica la eficiencia del trabajo [%]

La longitud efectiva de la hoja de una CAT 16M con un ángulo de vertedero de 30°, es de 4,22 m. Mientras que para una CAT 24H, con el mismo ángulo, es de 6,33 m.

El ancho de la superposición está indicado por catálogo para todos los modelos con un total de 0,6 m, este ancho indica la necesidad de mantener los neumáticos fuera de las hileras en la pasada de retorno.

El catálogo de rendimiento de Caterpillar indica que para construcción y mantención de pistas las velocidades de trabajo varían entre 5-16 km/h. Para labores de limpieza la velocidad puede ser mayor.

La velocidad del equipo es según la tarea que efectúa, bajo este análisis las velocidades que se emplean en terreno son las siguientes.

Tabla 7. Velocidad de trabajo motoniveladora

Trabajo pesado con la hoja	Velocidad	unidad
Nivelación de acabado	2	km/h
Trabajo pesado con la hoja	4.5	km/h
Reparación de cuneta	2.5	km/h
Desgarramiento	2.5	km/h
Mantenimiento camino	10	km/h
Movimiento nieve	14	km/h
Limpieza de nieve	22	km/h

La eficiencia la medirá el factor de corrección asociado a las condiciones de la operación, el cual se expresa de la siguiente manera.

Tabla 8: Factor de corrección motoniveladora

Factor de corrección	Valor
Operador bueno	0.75
Mantención de camino	0.80
Eficiencia 50 min/h	0.83
Pendiente de trabajo favorable	1.00
Factor de corrección	0.50

Tabla 9. Rendimiento teórico motoniveladora

Tarea a realizar	Equipo	Velocidad	Longitud de hoja	Ancho de superposición	Factor de corrección	Rendimiento
Reparación	16M	<5	4.22	0.6	0.5	2,715
Reparación	24H	<5	6.33	0.6	0.5	4,280
Limpieza	16M	15	4.22	0.6	0.5	13,575
Limpieza	24H	15	6.33	0.6	0.5	21,402
Derrames	16M	20	4.22	0.6	0.5	14,480
Derrames	24H	20	6.33	0.6	0.5	28,530

3.3.4 Rendimiento Excavadora

Dependiendo de la tarea a la que es asignada la excavadora el rendimiento del equipo se puede obtener también según la capacidad del balde de la excavadora y el tiempo de ciclo. Así lo indica la ecuación 5.

$$Rendimiento\ excavadora = \frac{60}{Cap.\ de\ balde\ x\ tiempo\ de\ ciclo\ por\ pase} * Factor\ corrección\ (5)$$

En relación al rendimiento de excavadora se debe diferenciar según el trabajo a realizar, dado que varían factores de corrección según la labor. Además, tanto para la metodología de cálculo en Los Bronces como para el estudio, el término de referencia asociado a este tipo de equipo es en función de metros lineales por día, por lo tanto, se dispone de datos de rendimiento en m³/h, los cuales, en función del ancho de balde y el volumen a mover diariamente, se obtiene datos de metros lineales por día.

3.3.4.1 Construcción de zanja

Para esta labor se presentan los factores de corrección en la Tabla 10, respecto a las demás labores el factor de corrección se ve afectado en la eficiencia de trabajo, al tener el operador mayores requerimientos de detalles, se entiende esta como una labor de mayor dificultad, por lo tanto, para el cálculo, la eficiencia de trabajo se supone como 40 min/h. El factor de corrección determinado afectará al tiempo de ciclo que se tiene de la excavadora,

el cual está asociado al tiempo de carga, giro con carga, tiempo de descarga y tiempo de giro descargado.

Tabla 10. Factor de corrección excavadora en zanja

Cálculo Factor de corrección rendimiento	Valor
Operador bueno	0.75
Material suelto con fragmentación regular	0.80
Eficiencia 40 min/h	0.67
Excavación entre mediana y difícil	0.70
Factor de corrección	0.28

Luego de la ecuación 5 se puede obtener el rendimiento en términos de m³/h, luego en conocimiento del tiempo de ciclo, capacidad y ancho del balde y material a mover diariamente se obtiene el término de referencia en términos de metros/día. Según se observa en la Tabla 11, el término de referencia a utilizar para el rendimiento de excavadora en construcción de zanja es de 75 metros/día.

Tabla 11. Rendimiento teórico excavadora en zanja

capacidad de balde	[m ³]	2
Factor de llenado balde	[%]	90%
capacidad de balde real	[m ³]	1.80
tiempo ciclo por pase de una baldada	[min]	2.37
rendimiento de excavadora	[m ³ /h]	46
tiempo ciclo por metro lineal de avance	[min]	12.0
Metros lineales de avance	[m/d]	75.1

3.3.4.2 Retiro de Camellón de Borde

En esta labor el factor de corrección se ve modificado por la eficiencia de trabajo. Se supone una eficiencia de 50 min/h, la cual es mayor, dado que los requerimientos para esta labor son de menor detalle en comparación con la de construcción de zanja. Además, de la caracterización del tipo de material.

Tabla 12. Factor de corrección excavadora en retiro de camellón

Cálculo Factor de corrección rendimiento	Valor
Operador bueno	0.75

Material suelto con fragmentación regular	0.85
Eficiencia 50 min/h	0.83
Factor de corrección	0.53

La Figura 41 dispuesta en el anexo C muestra la geometría de un camellón de borde, siguiendo esa geometría en la Tabla 13 se puede observar que el material a mover de camellón por metro lineal de avance es de 7.8 m³. Para esta labor se requiere construir una plataforma con el material removido para una posterior carga del mismo, por otro equipo. El tiempo de ciclo total de esta labor estará en función del tiempo de retiro del camellón más la construcción de dicha plataforma. Según la capacidad de balde y el tiempo de ciclo se puede determinar el rendimiento de la excavadora, bajo la misma metodología de la labor anteriormente descrita. De esta manera, el término de referencia de rendimiento de una excavadora en retiro de camellón de borde, es de 65 m/día.

Tabla 13. Rendimiento teórico excavadora en retiro de camellón

Calculo de Tiempo de Ciclo por retirar todo el camellón del borde de banco		
altura de camellón	[m]	2.6
ancho corona camellón	[m]	1
ancho base camellón	[m]	5
metros cúbicos de camellón a retirar por metro lineal	[m ³]	7.8
capacidad de balde	[m ³]	2
Factor de llenado balde	[%]	50%
rendimiento exc. en formación de plataforma base	[m ³ /pase]	1.00
número de pases para recoger camellón por metro de avance		8
tiempo ciclo por pase	[min]	1.26
tiempo de construcción de plataforma en retiro de camellón	[min]	10.1
Tiempo de ciclo por metro de avance recoger camellón	[min]	3.8
Tiempo de excavadora para retiro de camellón por metro lineal	[min]	13.9
rendimiento de excavadora retiro de camellón	[m/d]	64.9

3.3.4.3 Estabilización de Talud

El factor de corrección para esta labor se determina de la misma manera que en las labores anteriores, se ve modificado por el trabajo a realizar el cual se especifica como roca a estabilizar en talud.

Tabla 14. Factor de corrección excavadora en estabilización talud

Cálculo Factor de corrección rendimiento	
Valor	
Operador bueno	0.75
Roca en talud a estabilizar	0.70
Eficiencia 50 min/h	0.83
Factor de corrección	0.44

Como se observa en la Figura 46 presente en el anexo F, la altura máxima de corte de la excavadora es de 14 metros, la altura de talud es de 15 metros, por lo tanto para avanzar un metro se deben mover 14 m³ de material. Al igual que en la labor anterior se debe construir una plataforma, por lo tanto, el tiempo de ciclo total es en función de las labores de estabilizado junto con la construcción de dicha plataforma. Luego teniendo en consideración el tiempo de ciclo total y la capacidad y ancho de balde, se puede determinar el rendimiento del equipo bajo la misma metodología aplicada en las tareas anteriormente descritas. Así, el rendimiento de una excavadora en la labor de estabilización de talud es de 65 m/día.

Tabla 15. Rendimiento teórico excavadora en estabilización de talud

Calculo de Tiempo de Ciclo por construcción de plataforma base por metro de avance estabilizando talud		
metros cúbicos de estabilización con excavadora por pase	[m ³]	14
número de pases para construir base por m/avance estabilizado		3
tiempo ciclo por pase en construcción de plataforma base	[s]	91.8
tiempo en construir plataforma base excavadora	[min]	4.6
Tiempo de ciclo por metro de avance estabilizado de talud	[min]	9.2
tiempo de excavadora por metro de avance en estabilizado	[min/m de avance]	13.8
Rendimiento excavadora en estabilización de talud	[m/d]	65.4

3.3.5 Rendimiento Cargador Frontal

El rendimiento de un cargador frontal está asociado a la distancia media de traslado de material, la capacidad de balde y su tiempo de ciclo en realizar la labor a la cual será destinado el equipo.

El tiempo de ciclo básico de un cargador se determina, según lo que se especifica el fabricante, con ajustes de un tiempo de ciclo dado para el modelo, estos factores de ajuste se pueden observar en la Figura 49 presente en el anexo F. Luego este tiempo de ciclo básico se ve modificado según la distancia de acarreo de material y el tiempo de viaje en esta distancia, el cual se observa en las figuras 51 y 52 del mismo anexo. En la Tabla 16, se puede observar que para el estudio el tiempo de ciclo total es de 1.08 min, el cual sujeto a factores de corrección de eficiencia de trabajo de 50 min/h, y un factor de llenado de 90% indica que los ciclos por hora que puede hacer un cargador frontal son 46.

Tabla 16. Tiempo de ciclo cargador frontal

Rendimiento cargador frontal		
Tiempo de ciclo Básico	0.55	min
Manipulador de materiales	-0.05	
Material 3/4"-6"	0	
Descargado por camión	+0.02	
Operación constante	+0.04	
Tiempo de ciclo Básico	0.56	min
Distancia media	50	m
Tiempo de viaje vacío	0.22	min
Tiempo de viaje cargado	0.30	min
Tiempo de ciclo total	1.08	min
Eficiencia	83%	
Factor de llenado	90%	
Ciclos por hora	46	

Finalmente, al tener los ciclos que puede hacer un equipo, el rendimiento de cada equipo dependerá de la capacidad del balde de los mismos, tal como se dispone en la

Tabla 17.

Tabla 17. Rendimiento teórico cargador frontal

Modelo	Ciclos/h	Capacidad (m ³ /ciclo)	Rendimiento	Unidad
992K	46	12.3	513	m ³ /h
988H	46	6.9	288	m ³ /h
980H	46	4.5	188	m ³ /h

3.3.6 Rendimiento Aljibe

El rendimiento de un camión aljibe está asociado al caudal de salida de sus bombas, a la apertura de sus *challas* y a la velocidad de desplazamiento del camión, así, es posible determinar una relación en l/ m².

$$Rendimiento\ Aljibe = \frac{Caudal * 60}{velocidad * 1000 * Ancho\ regadio} \quad (6)$$

El fabricante dispone de un factor importante que es el caudal de salida de agua según la abertura de las *challas*, esta abertura es la que define el área de cobertura de regadío, y el caudal a través de estas define el espesor de la capa de agua en dicha área cubierta. Esta información se dispone en la Figura 54 del anexo G. La cobertura del regadío se puede observar en la Figura 52 del mismo anexo.

Tabla 18. Rendimiento teórico camión aljibe

	Rendimiento aljibe	Unidad
Abertura challa	3/8	"
Cobertura (Ancho)	18	m
Caudal de salida de agua	5693	l/ min
Velocidad de regado	25	Km/h
Rendimiento	0.76	l/ m ²

Como se menciona en los antecedentes en Los Bronces se disponen de cuatro aljibes de dos marcas y modelos distintos, los cuales varían en la capacidad del estanque de agua. Sin embargo, ambos modelos disponen del mismo caudal de salida y apertura de las *challas*, por lo tanto, el rendimiento en regadío es el mismo para ambos, no así la distancia máxima de regadío, esta varía según la capacidad del estanque y la velocidad de regadío. Estos datos se pueden observar en la Figura 53 del anexo G y se resumen según se puede observar en la Tabla 19.

Tabla 19. Datos de desempeño de aljibe

Capacidad	Rendimiento	Dist. Máxima	Metros cuadrados	Capa de agua cm
75000	0.76	5.5	98806	0.76
48000	0.76	3.5	63236	0.76

De esta manera se puede indicar que un camión de 75 m³ puede regar 100000 m² a una velocidad de 25 km/h, mientras que a la misma velocidad un camión de 48 m³ puede cubrir 65000 m² aproximadamente.



4. Análisis

4.1 Base de datos

Los datos se obtienen desde el área de gestión mina, quienes reciben los datos desde el área de despacho. En la plataforma de despacho los operadores deben registrar el estado operativo del equipo en tiempo real, estos datos son consolidados y se entregan al área de gestión en función de las 12 horas que corresponde a cada turno, en ellos se dispone de la cantidad de horas en que cada equipo está en cierto estado de tiempo. El área de gestión dispone de la plataforma Power BI, para gestionar los datos recibidos y compararlos con lo planificado. Estos datos se exportan como datos de Excel los cuales deben ser filtrados por día, turno, tipo de equipo, número del equipo, y cada uno de los estados de tiempo descritos en el modelo de tiempo. Los datos usados en la investigación corresponden a los datos del año 2019, estos generan una base de datos con 912093 datos, los cuales son filtrados bajo los criterios mencionados anteriormente.

En adición se dispone de los datos de comparación del Budget al año 2020, mediante el cual se puede comparar los datos reales obtenidos desde las plataformas mencionadas anteriormente, con los datos planificados.

4.2 Estimación de equipos según BUDGET

La superintendencia de planificación mina realiza una estimación de equipos necesarios para alcanzar la producción que está dada por planificación para el año que sigue. Para la realización de esta estimación, el equipo de planificación dispone de las tareas que debe realizar la superintendencia de servicios y estándares. Al ser esta una planificación de corto, se basa en lo que el software Polyplan dispone para la producción, así en base a esto y al rendimiento de los equipos usados como referencia en la planificación, se puede determinar una flota de equipos necesarios.

La metodología utilizada es determinar la totalidad de las horas operativas destinadas para la realización de las actividades, en base a lo que entrega Polyplan y a los rendimientos

asociados para cada equipo (m^3/h , m^2/h , m/d), luego en base al desempeño del equipo en términos de uso y disponibilidad se puede determinar las horas disponibles de un equipo en el periodo de tiempo estipulado por la estimación, así al dividir estas se obtiene el número necesario de equipos, se entiende que cualquier número decimal aumenta en una unidad a la flota. La estimación de equipos es calculada mes a mes, para el estudio se muestra la totalidad de los meses para bulldozer, sin embargo, para el resto de los equipos se entregan algunos meses, se entiende que para los meses no mencionados la metodología es la misma.

4.2.1 Bulldozer

Polyplan entrega los datos de cantidad de material a mover en relación a la producción, nuevos proyectos, rampas, entre otras, como se dispone en la figura 12. En base a esto y al rendimiento establecido para el equipo, se determinan las horas necesarias para la realización de actividades rutinarias de bulldozer presente en fases, lo cual correspondería al apoyo de palas de extracción, caminos y botaderos, tal como se dispone en la Tabla 20.

Sum of Ton	Period2	Period										
	01-01-2020	01-02-2020	01-03-2020	01-04-2020	01-05-2020	01-06-2020	01-07-2020	01-08-2020	01-09-2020	01-10-2020	01-11-2020	01-12-2020
Material 2	ene 20	feb 20	mar 20	abr 20	may 20	jun 20	jul 20	ago 20	sept 20	oct 20	nov 20	dic 20
Est	1,222,616	2,444,329	2,856,675	2,564,345	1,928,554	2,687,219	2,190,435	2,704,388	2,760,080	2,182,610	1,967,194	3,733,018
Lix	2,424,800	2,542,899	2,351,434	2,207,069	1,460,147	2,718,588	2,136,728	2,299,673	1,568,765	2,196,942	2,092,691	1,502,183
Min	4,081,415	4,243,529	4,371,842	4,266,807	3,909,886	4,276,767	4,099,872	4,415,662	3,901,918	4,827,087	3,901,179	4,469,656
Grand Total	7,728,831	9,230,757	9,579,951	9,038,221	7,298,587	9,682,575	8,427,035	9,419,722	8,230,764	9,206,639	7,961,064	9,704,858

Figura 12. Material a mover Polyplan

Posteriormente en base a las horas requeridas por actividad y al desempeño, en términos de uso y disponibilidad, estimado para el año, se calculan los equipos necesarios dividiendo las horas necesarias sobre las horas que puede operar el equipo en base al desempeño se obtiene el número de equipos. En la Tabla 21 Tabla 1 se puede observar que según la estimación por Budget los equipos necesarios para la realización de actividades durante el periodo del año 2020 son de 11 equipos.

Tabla 20. Requerimiento de horas de bulldozer

	2020											
Bulldozer Botadero / stock	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
Stock Donoso	267	250	267	259	267	259	267	267	259	267	259	267
Was Donoso												
Lix	535	500	535	518	535	518	535	535	518	535	518	535
Was Prisma	267	250	267	259	267	259	267	267	259	267	259	267
Stock 3600	535	500	535	518	535	518	535	535	518	535	518	535
Caminos	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Suma Botadero / stock	2,604	2,501	2,604	2,553	2,604	2,553	2,604	2,604	2,553	2,604	2,553	2,604
Bulldozer en fases	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
InF07	535	500	535	518	535	518	535	535	518	535	518	535
InF05	1,337	1,251	1,337	1,294	1,337	1,294	1,337	1,337	1,294	1,337	1,294	1,337
Dn02	802	750	802	776	802	776	802	802	776	802	776	802
Suma en fase	2,674	2,501	2,674	2,588	2,674	2,588	2,674	2,674	2,588	2,674	2,588	2,674
Bulldozer Proyectos	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
Morrena	535	500	535	518	267	259	267	267	259	267	518	535
Suma proyectos	535	500	535	518	267	259	267	267	259	267	518	535

4.2.2 Motoniveladora

Como se observa en la Tabla 23, para la determinación de equipos necesarios, se considera en primer lugar los metros cuadrados requeridos a perfilar según la distancia y el ancho de los caminos. En la Tabla 22 se pueden observar los tramos de los caminos donde se realizarán las tareas. El tramo 1 corresponde al acceso a la fase Infiernillo 5 (I5) y su conexión con el camino hacia los chancadores (CH). El tramo 2 corresponde al camino que lleva hacia botadero prisma y al material lixiviable. El tramo 3 corresponde al acceso a la fase Infiernillo 7 (I7) y su conexión con el camino hacia chancadores. Y tramo 4 es el acceso a fase Donoso 2 (D2) y su conexión hacia los chancadores. Esta información se puede complementar con la Figura 55, presente en el anexo H.

Tabla 22. Tramos de caminos en mina Los Bronces

I5 - 3600- Nodo	Tramo 1
Nodo - Prisma-Lix	Tramo 2
I7-Nodo 2-CH	Tramo 3
D2-Stock Don-CH	Tramo 4

Tabla 23. Requerimiento de metros cuadrados

m² requeridos	ene-20	feb-20	mar-20	abr-20	nov-20	dic-20
Tramos Reparación (m²)						
Tramo 1	71,436	71,436	371,436	371,436	371,436	371,436
Tramo 2	655,906	655,906	655,906	655,906	655,906	655,906
Tramo 3	735,962	735,962	735,962	735,962	735,962	735,962
Tramo 4	721,903	721,903	721,903	721,903	721,903	721,903
Tramos limpieza (m²)						
Tramo 1	1,485,742	1,485,742	1,485,742	1,857,178	1,485,742	1,485,742
Tramo 2	2,623,623	2,623,623	2,623,623	3,279,528	2,623,623	2,623,623
Tramo 3	2,943,849	2,943,849	2,943,849	3,679,811	2,943,849	2,943,849
Tramo 4	2,887,612	2,887,612	2,887,612	3,609,515	2,887,612	2,887,612
Derrames	2,485,206	2,485,206	2,485,206	2,485,206	2,485,206	2,485,206
Patios (m²)						
I5	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000
I7	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000
D2	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000
(m²) totales	12,726,032	12,726,032	12,726,032	15,211,239	12,726,032	12,726,032

4.2.3 Excavadora

Polyplan entrega los datos de tronadura, y lo relativo al contorno de un polígono que será tronado, en base a esto se disponen de los metros lineales de talud que deben trabajar durante el periodo solicitado al software como se ve en la Figura 13.

Metros lineales de pared (mt)	ene-20	feb-20	mar-20	abr-20	may-20	jun-20	jul-20	ago-20	sept-20	oct-20	nov-20	dic-20
Fases												
I5	304	213	720	657	895	525	862	571	660	753	860	865
I7	-	198	130	-	-	90	271	353	123	319	-	108
D2	84	-	-	-	128	-	-	266	307	-	239	-
Proyectos												
Curva3a												
Curva3b												
Curva4												
Morrena	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211
zanjas												
Zanja I5	304	213	720	657	895	525	862	571	660	753	860	865
Zanja I7	-	198	130	-	-	90	271	353	123	319	-	108
Zanja D2	84	-	-	-	128	-	-	266	307	-	239	-

Figura 13. Metros lineales de talud según Polyplan

En base al rendimiento de la excavadora, se pueden obtener las horas requeridas para la realización de las actividades. Y en base a la misma metodología, considerando el desempeño de los equipos, se obtiene el número de equipos necesarios. Así lo dispone la Tabla 26.

Tabla 26. Número de excavadoras según *budget*

Horas de Excavadora Pared	ene-20	feb-20	mar-20	abr-20	dic-20
I5	182.27	127.98	432.14	394.12	518.95
I7	0.0	238.2	155.9	0.0	129.3
D2	50.6	0.0	0.0	0.0	0.0
Proyectos					
Morrena	160	160.8	161.6	162.4	168.8
zanjas					
Zanja I5	140	98	332	303	399
Zanja I7	-	92	60	-	50
Zanja D2	88.92	50.00	50.00	50.00	50.00
Total Horas Exc efectivas	622.00	766.97	1,192.02	909.69	1,315.97
Horas día	24	24	24	24	24
Días mes	31	29	31	30	31

Uso	90%	90%	90%	90%	90%
disponibilidad	70%	70%	70%	70%	70%
Unidades por mes	2	2	3	3	3

4.2.4 Aljibe

Al igual que en la determinación de número de motoniveladoras se determina el requerimiento de metros cuadrados a cubrir por el regadío, en función de la distancia de los recorridos y el ancho de los caminos. Posteriormente se determinan el requerimiento de horas según el rendimiento del aljibe, así lo dispone la Tabla 27. Finalmente, con los datos de disponibilidad y uso estimados se puede determinar el número de aljibes necesarios para la operación, como se muestra en la Tabla 28.

Tabla 27. Requerimientos de horas camión aljibe

m² requeridos	ene-20	feb-20	mar-20	abr-20	dic-20
Tramos Regadío (m²)					
Tramo 1	29,714,844	29,714,844	29,714,844	26,000,488	29,714,844
Tramo 2	52,472,454	52,472,454	52,472,454	45,913,397	52,472,454
Tramo 3	58,876,976	58,876,976	58,876,976	51,517,354	58,876,976
Tramo 4	57,752,242	57,752,242	57,752,242	50,533,212	57,752,242
m² totales	198,816,515	198,816,515	198,816,515	173,964,451	198,816,515
Requerimiento (h)	ene-20	feb-20	mar-20	abr-20	dic-20
Tramos Regadío (h)					
Tramo 1	508	508	508	444	508
Tramo 2	897	897	897	784	897
Tramo 3	1,006	1,006	1,006	880	1,006
Tramo 4	987	987	987	863	987
Horas Totales	3,397	3,397	3,397	2,972	3,397

Tabla 28. Número de aljibes según budget

Total Horas aljibe	3,397	3,397	3,397	2,972	3,397
Horas día	24	24	24	24	24
Días mes	31	29	31	30	31

Uso	81%	81%	81%	81%	81%
disponibilidad	82%	82%	82%	82%	82%
Unidades por mes	7	8	7	7	7

4.3 Productividad Mina

La productividad de una operación minera puede ser evaluada desde distintos parámetros o áreas de trabajo. Para el estudio se medirá la productividad de la mina en términos de movimiento de material.

En el gráfico de la Figura 14 se dispone el movimiento de material, por fase de la mina, la fase que aporta mayor material a la producción es infiernillo 5 (IS5) seguida por infiernillo 7A (I7A). Esto es por diseño minero. En la fase Donoso 2 (DO2) no se aprecia movimiento en septiembre y octubre, esto por contingencia operacional en el sector, por seguridad la fase estuvo cerrada dichos meses hasta tener las condiciones operacionales con la seguridad estipulada. Por esto también se puede notar un incremento en dichos meses de movimiento de material en stock (STC) para dicho periodo de tiempo.

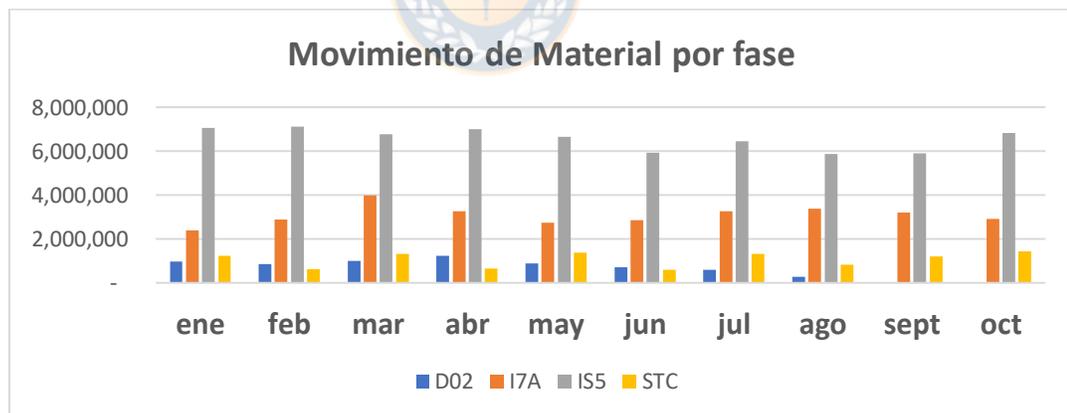


Figura 14. Movimiento de material por fases

En el gráfico de la Figura 15, se puede observar el movimiento total de material en la mina, el cual servirá de referencia para el análisis del desempeño de los equipos durante el periodo de tiempo dado.

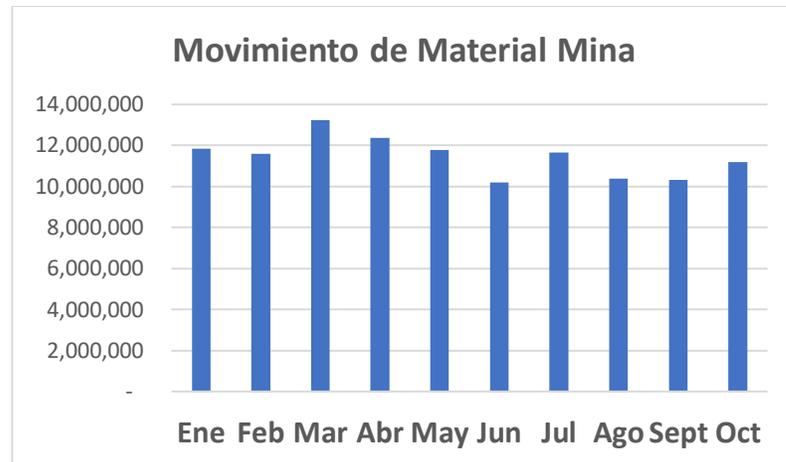


Figura 15. Movimiento material en mina

4.4 Kpi's vs Productividad

Para la investigación los kpi's a analizar son la disponibilidad (DF) y el uso (UDF) promedio de los equipos, a continuación, se relacionan estos indicadores con la producción de la mina en términos de movimiento de material, el objetivo de esto es ver cómo afecta a la producción el desempeño de los equipos de servicios durante el periodo de tiempo analizado.

4.4.1 Bulldozer

Para el caso de Bulldozer no se relacionan el desempeño del equipo con la productividad en sus respectivos meses, se debería esperar que los meses con mayor productividad se tenga una mayor disponibilidad y un mayor uso, sin embargo, esto no se observa en el gráfico de la Figura 16.

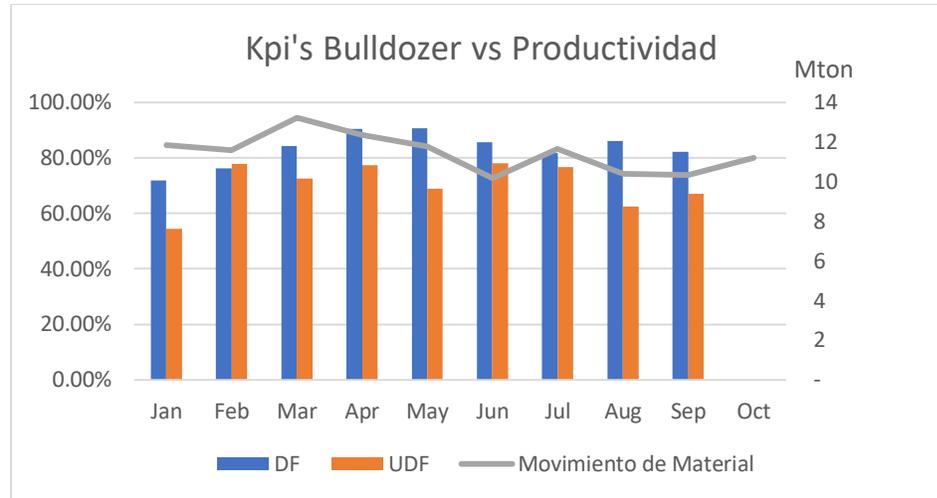


Figura 16. Kpi's bulldozer vs productividad

4.4.2 Wheeldozer

Del gráfico de la Figura 17, se observa que para este tipo de equipos los datos si están de acuerdo a lo esperado, la disponibilidad y uso de los equipos están en función del movimiento de material salvo en el mes de marzo. Aun así, se cuestiona la gestión operativa posterior a junio, esto porque la disponibilidad tienda al alza mientras que el uso tiende a la baja.

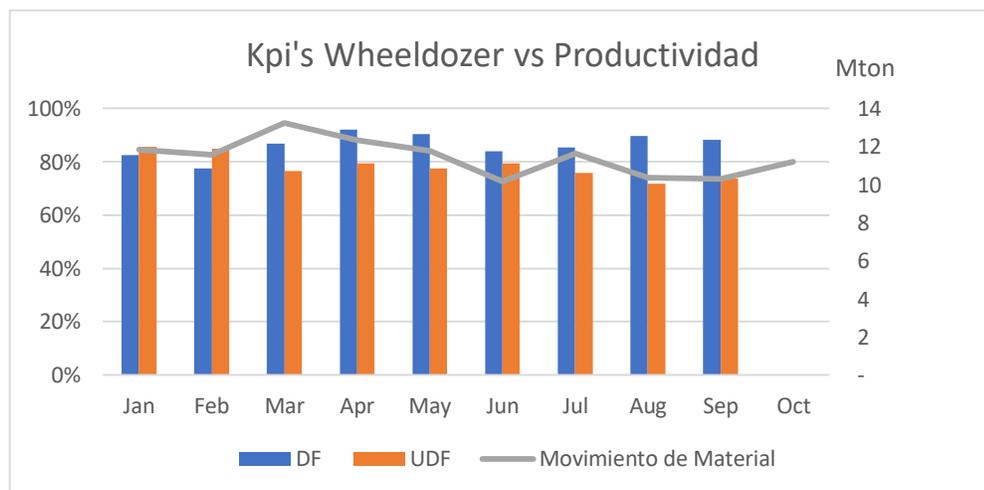


Figura 17. Kpi's wheeldozer vs productividad

4.4.3 Motoniveladora

Según se puede observar en el gráfico de la Figura 18, para el periodo de tiempo con mayor movimiento de material hubo una menor disponibilidad de los equipos, y para cuando la productividad tiende a la baja la disponibilidad del equipo es mayor. Si bien esto no coincide con lo planificado, los datos igual tienen una correlación positiva en lo relativo al uso de los equipos. Salvo en el mes de marzo, el uso de los equipos está alineado con la productividad.

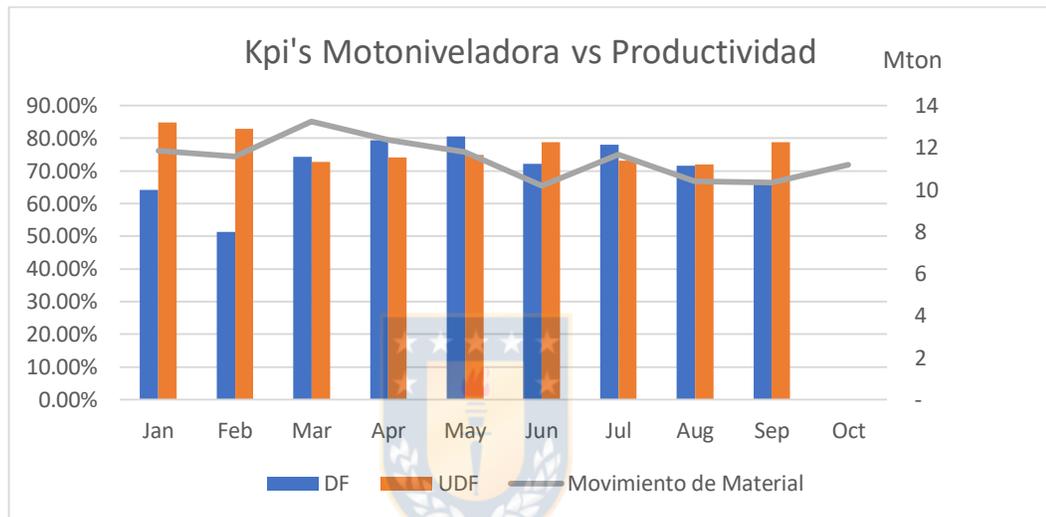


Figura 18. Kpi's motoniveladora vs productividad

4.4.4 Excavadora

De la Figura 19 se observa que el rendimiento de la excavadora es muy bajo comparado con los demás equipos de servicios, si bien se puede deducir que su bajo uso está ligado a su baja disponibilidad, los meses en que el equipo presenta una disponibilidad de acuerdo a los parámetros aceptables, el uso del equipo también fue bajo. Si bien ambos indicadores tienen valores distantes a el de los demás equipos, se puede inferir del grafico que el uso del equipo se relaciona con la curva de productividad, cuando se movió más material al interior de la mina el uso varía de acuerdo a estos movimientos, esto no quiere decir que el desempeño este conforme a lo esperado.

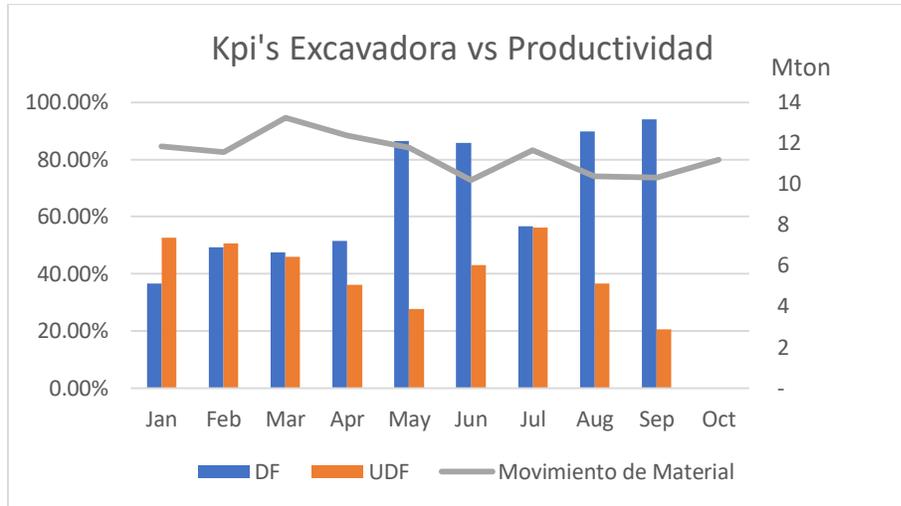


Figura 19. Kpi's excavadora vs productividad

4.4.5 Cargador Frontal

Para este tipo de equipo los datos se comportan de acuerdo a lo esperado según varia la curva de productividad, ambos indicadores están dentro del promedio de los equipos de servicios. La flota de cargadores frontales es de 3 equipos por lo tanto la indisponibilidad de un equipo genera un impacto mayor al promedio de disponibilidad, en comparación al resto de los equipos, aun así, con este factor en contra el desempeño del equipo está dentro de lo esperado. Así lo dispone la Figura 20.

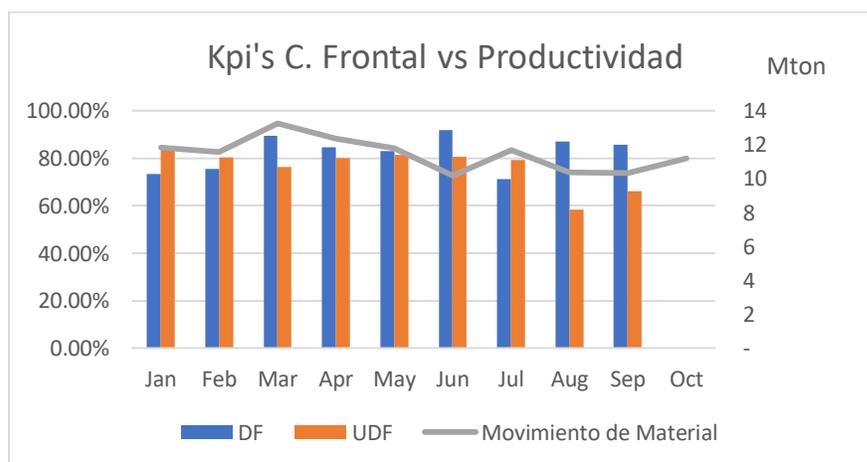


Figura 20. Kpi's cargador frontal vs productividad

4.4.6 Aljibe

De la Figura 21, se observa que los datos de disponibilidad del equipo se relacionan con la productividad de la mina, no así el uso de estos equipos. Sin embargo, a pesar de que los datos de desempeño del equipo distan de lo esperado, este es uno de los equipos más importantes, tanto como el bulldozer. En época estival, la importancia de tener disponibles estos equipos es vital para la operación, es esto se puede cuestionar también la disponibilidad, se puede apreciar que la disponibilidad de los equipos fue mayor durante periodo invernal que en época estival, siendo que durante el invierno el regadío es considerablemente menor en la operación.

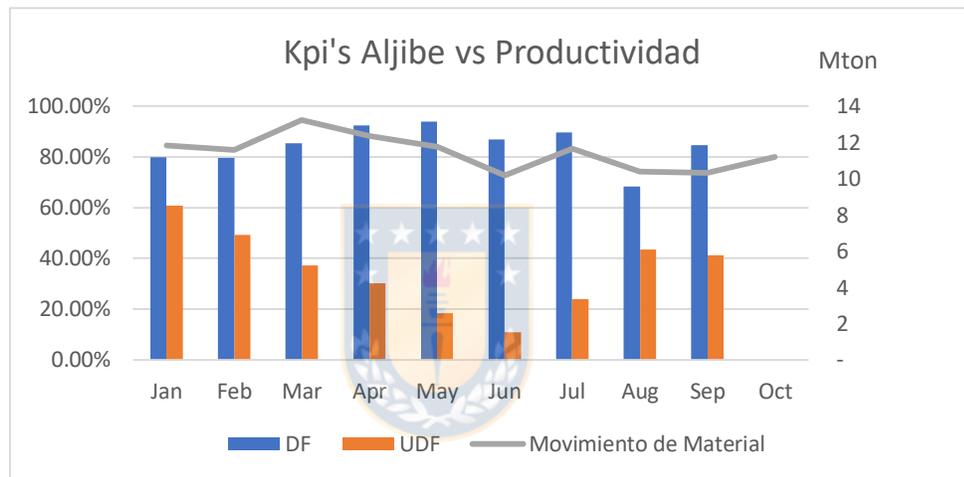


Figura 21. Kpi's aljibe vs productividad

4.5 Benchmarking formulas empíricas para determinar flota

Se presentan formulas empíricas de 3 faenas mineras, con las cuales se puede determinar a priori el número estimativo de equipos, si bien estas fórmulas no son las que se emplean para planificación o evaluaciones económicas de proyectos, su importancia radica en que sirven como referencia previa para un análisis, para ver si ciertos costos tienen sentido u otros aspectos de análisis inmediato o de corto plazo.

Para el estudio se analizan las fórmulas que se disponen y se pretende realizar una aplicada a Los Bronces, según la disposición de las tareas a realizar por cada equipo. Todas las faenas son minas ubicadas en Chile, las faenas no comparten las mismas labores a

realizar por parte de los equipos de servicios. No se dispone de un desglose de cada una de las fórmulas por lo tanto también están sujetas al análisis, además no se disponen para la totalidad de los equipos sujetos al análisis de esta investigación.

4.5.1 Bulldozer

En el caso de la mina A y B, el número de bulldozer, se relaciona con las palas y los botaderos, se adicionan factores para su corrección, lo anterior tiene sentido en el apoyo de zonas de carguío y de vaciado. En la mina C, el número de bulldozer adiciona una nueva labor a las anteriores, que es el número de perforadoras, esto puede tener relación con que una de las labores del equipo es preparar las plataformas de perforación en la mina.

$$N^{\circ} \text{ Bulldozer mina A} = \frac{\frac{N^{\circ} \text{ Palas}}{2} + N^{\circ} \text{ Botaderos Activos} + 1}{0,85} \quad (7)$$

$$N^{\circ} \text{ Bulldozer mina B} = \frac{\frac{N^{\circ} \text{ Palas}}{2} + N^{\circ} \text{ Botaderos Activos} + 1}{0,85} \quad (8)$$

$$N^{\circ} \text{ Bulldozer mina C} = \frac{N^{\circ} \text{ Palas}}{2} + N^{\circ} \text{ Botaderos Activos} + \frac{N^{\circ} \text{ perforadoras}}{3} \quad (9)$$

Para el análisis de la fórmula de bulldozer, en el caso de aplicación a Los Bronces, se asocia al porcentaje de las tareas que debe realizar el equipo en base a lo dispuesto en el gráfico de la Figura 5 Se adiciona un equipo como constante el cual está asociado a las labores que realiza un bulldozer en caminos.

$$N^{\circ} \text{ Bulldozer} = \left[\frac{(N^{\circ} \text{ Palas})}{2} + \left(\frac{(N^{\circ} \text{ Botaderos} + \text{Stcock})}{3} + 1 \right) \right] * \text{Uso} \quad (10)$$

4.5.2 Wheeldozer

Para el caso del número de wheeldozer en mina A, se relaciona, además de palas y camiones, el número de cargadores frontales (C.F.), esto podría tener relación con procedimientos de carguío en determinadas zonas de la mina el cual se efectuó con un cargador frontal, por lo tanto, para esto no es necesario el apoyo de un bulldozer, sino que el de un wheeldozer. En el caso del número de wheeldozer en mina B, surge una nueva actividad asociada que es el número de rampas, se desconoce si esto está asociado a la

construcción de rampas o a algún procedimiento relativo a rampas. En el caso de la mina C los factores de la ecuación ya se vieron en las minas anteriores.

$$N^{\circ} \text{ Wheeldozer mina A} = N^{\circ} \text{ Palas} * 0,25 + N^{\circ} \text{ C.F.} * 0,1 + N^{\circ} \text{ camiones} * 0,03 \quad (11)$$

$$N^{\circ} \text{ Wheeldozer mina B} = \frac{\frac{N^{\circ} \text{ Palas}}{2} + \frac{N^{\circ} \text{ Rampas}}{2}}{0,85} \quad (12)$$

$$N^{\circ} \text{ Wheeldozer mina C} = \left(N^{\circ} \text{ palas} + N^{\circ} \text{ rampas} + \frac{N^{\circ} \text{ C.frontales}}{2} \right) * 0,5 \quad (13)$$

4.5.3 Motoniveladora

En relación al número de motoniveladoras en mina A, la ecuación se relaciona con la producción diaria, lo cual tiene sentido en cuanto al material circulante por la pista, no se dispone de información respecto al divisor 120, ni del divisor 12 en el caso de la mina B.

$$N^{\circ} \text{ Motoniveladoras mina A} = \frac{\frac{ktpd}{120}}{0,85} \quad (14)$$

$$N^{\circ} \text{ Motoniveladoras mina B} = \frac{\left(\frac{N^{\circ} \text{ de camiones}}{12} + 1 \right)}{0,85} \quad (15)$$

$$N^{\circ} \text{ Motoniveladoras mina C} = \frac{ktpd}{90} \quad (16)$$

Aplicando las formulas a Los Bronces, en lo relativo a motoniveladora se asocia primeramente a la cantidad de peso circulante en las pistas, para así determinar cada cuántos camiones se requeriría una motoniveladora para mantención de la pista.

$$k = \frac{\text{Prod.diaria (ton)} + N^{\circ} \text{ Camiones} * \text{Peso prom.camiones (ton)}}{\text{Metros lineales de pista}} \quad (17)$$

$$N^{\circ} \text{ de motoniveladoras} = \left[\frac{N^{\circ} \text{ de camiones}}{k} \right] * \text{Uso} \quad (18)$$

4.5.4 Aljibe

Para el caso de la determinación de número de camiones aljibe, la relación que se observa de las ecuaciones 19-21, es que se considera el peso circulante en las pistas y en el caso de la mina A la distancia que debe cubrir el regadío, los factores numéricos que la componen se desconocen.

$$N^{\circ} \text{ Aljibe mina A} = 0,0025 * Ktpd * Distancia \quad (19)$$

$$N^{\circ} \text{ Aljibe mina B} = \frac{ktpd}{0,85} \quad (20)$$

$$N^{\circ} \text{ Aljibe mina C} = \frac{ktpd}{399} \quad (21)$$

Para la determinación de números de camiones aljibes se puede disponer de un dato de rendimiento a priori en base a lo dispuesto por el fabricante que es la distancia máxima de regadío. Esto se asocia a los kilómetros totales de pista.

$$Distancia \text{ M}{\acute{a}}xima \text{ de regado} = \frac{Capacidad (l) * Velocidad \left(\frac{km}{h}\right)}{60 * Flujo \text{ de salida} \left(\frac{l}{min}\right)} \quad (22)$$

$$N^{\circ} \text{ Aljibes} = \frac{Kilometros \text{ de pista}}{Dist.m}{\acute{a}}xima \text{ de regado}} * Uso \quad (23)$$



5. Resultados y discusiones

En base a la metodología de cálculo de equipos que se dispone en Los Bronces por Budget, se realiza el cálculo de número de equipos con nuevos términos de referencias. Posteriormente, en el capítulo de discusiones se presentan los datos de desempeño por equipo durante el periodo 2019 contrastados con la relación de mantención.

5.1 Comparación de términos de referencia

Como se ha mencionado anteriormente los términos de referencia utilizados para estimar el número de equipos son el rendimiento de los equipos y el desempeño de estos en términos de disponibilidad y uso de los mismos.

5.1.1 Rendimiento

Los términos de referencia en cuanto al rendimiento de cada equipo se disponen en la Tabla 29. El rendimiento teórico es lo calculado por el estudio según especifica el fabricante, corregido por las condiciones de la operación. El rendimiento Los Bronces, indica el rendimiento con el cual se está calculando los equipos por Budget actualmente.

Tabla 29. Comparación términos de referencia, rendimiento

	Labor	Rendimiento teórico	Rendimiento Los Bronces
Bulldozer	Mov. Tierra	486 m ³ /h	397 m ³ /h
Wheeldozer	Mov. Tierra	390 m ³ /h	--
Motoniveladora	Reparación	3500 m ² /h	1750 m ² /h
	Limpieza	17500 m ² /h	12000 m ² /h
	Derrame	21500 m ² /h	18000 m ² /h
Excavadora	Talud/borde	65 m/d	40 m/d
	Zanja	75 m/d	52 m/d
C. Frontal	Mov. Tierra	400 m ³ /h	--
Aljibe	Regadío	0.76 l/m ²	0.6 l/m ²

5.1.2 Disponibilidad y uso

Se comparan los datos de desempeño de los equipos, por un lado, la disponibilidad real del equipo al año 2019 en comparación con la disponibilidad utilizada para la estimación por Budget en Los Bronces. Por otro lado, el uso real de los equipos al año 2019 en comparación con el uso de equipos que se utiliza utilizarán los datos promedios reales al año 2019.

Tabla 30. Comparación términos de referencia, disponibilidad y uso

	Disponibilidad		Uso	
	Real	Budget	Real	Budget
Bulldozer	85%	81%	75%	89%
Wheeldozer	87%	-	76%	-
Motoniveladora	72%	82%	74%	81%
Excavadora	70%	90%	40%	70%
C. Frontal	85%	-	75%	-
Aljibe	80%	82%	60%	81%



5.2 Bulldozer

5.2.1 Términos de referencia

Tal como se puede apreciar en la Tabla 29 el rendimiento aplicado en el estudio, difiere del rendimiento estimado para el cálculo de equipos en Los Bronces según Budget, esta diferencia se debe a la corrección aplicada por el estudio a la densidad del material, como se mencionó anteriormente el Caterpillar Performance Handbook, trabaja bajo el supuesto de una densidad de material establecida. [24]

En adición, como se puede observar en la Tabla 30 la disponibilidad y uso, utilizados en Los Bronces como referencia en el Budget, distan de los datos de disponibilidad y uso real en el año 2019.

La diferencia en estos términos de referencia genera en el estudio un aumento en el número de equipos.

5.2.2 Número de equipos

Siguiendo la metodología mencionada en el análisis, se dividen las horas necesarias sobre las horas que puede operar efectivamente el equipo en base al desempeño real 2019.

Tabla 31. Número de Bulldozer según estudio

Disponibilidad	85%					
Uso promedio 2019	75%					
	Ene	Feb	Mar	Abr	Nov	Dic
Horas requeridas	4,197.6	5,292.7	5,720.6	5,406.1	4,644.2	6,491.5
Bulldozer Requeridos	9	11	12	11	10	12

En base a lo anterior el número determinado por el estudio indica que el número necesario para realizar las labores rutinarias de Los Bronces es de 12 bulldozer al año 2020.

5.3 Wheeldozer



5.3.1 Términos de referencia

El rendimiento estimado por el estudio para el wheeldozer es 390 m³/h el cual no tiene una base comparativa desde la planificación en Los bronces, por lo tanto, este es usado como TOR para la determinación de la cantidad de equipos. Así también el caso de los datos de disponibilidad y uso, los cuales se presentan en la Tabla 30.

5.3.2 Número de equipos

Si bien bajo la nueva estimación en el mes de junio se requerirían 8 equipos, se puede inferir que las labores se pueden realizar con 7 equipos si se mejora el uso del equipo.

Como se puede apreciar en la Tabla 32, El número de equipos se obtiene del material necesario a mover diariamente, y al rendimiento diario de un equipo. Así, según el estudio, el número de equipos necesarios para la operación es de 6 wheeldozer.

Tabla 32. Número wheeldozer según estudio

disp.	87%					
uso	76%					
	2020					
	Ene	Feb	Mar	Abr	Nov	Dic
m³ a mover	701,426	959,082	1,001,559	917,580	780,747	1,006,770
m³/d	22,627	33,072	32,308	30,586	26,025	32,476
Rendimiento día	6,189	6,189	6,189	6,189	6,189	6,189
N° equipos	4	6	6	5	5	6

5.4 Motoniveladora

5.4.1 Términos de referencia

Como se puede observar en la Tabla 29, el rendimiento utilizado en la investigación es mayor al rendimiento utilizado por la estimación según Budget, esto genera un menor requerimiento de horas efectivas de trabajo. Al contrario, como se puede observar en la Tabla 30, los datos de desempeños utilizados para el estudio son menores a los utilizados por la estimación por Budget, esto afecta negativamente al cálculo de número de equipos necesarios.

5.4.2 Número de equipos

Como se puede observar en la Tabla 33 el número de horas requeridas es menor a lo dispuesto en Tabla 24 para la estimación por Budget. Al utilizar el rendimiento teórico estimado por la investigación y los indicadores reales de disponibilidad y uso al año 2019, se obtiene el número necesarios de 5 equipos, el cual corresponde a la flota actual de motoniveladoras disponibles en Los Bronces.

Tabla 33. Numero de motoniveladoras según estudio

	ene-20	feb-20	mar-20	abr-20	nov-20	dic-20

Horas requeridas	1,479	1,479	1,479	1,621	1,479	1,479
Horas día	24	24	24	24	24	24
Días mes	31	29	31	30	30	31
Uso	74%	74%	74%	74%	74%	74%
disponibilidad	72%	72%	72%	72%	72%	72%
Unidades por mes	4	4	4	5	4	4

5.5 Excavadora

5.5.1 Términos de referencia

El rendimiento indicado por el estudio indica que una excavadora puede avanzar 65 y 75 metros lineales por día, en labores de talud y zanja respectivamente. Como se observa en la Tabla 29, estos términos de referencia son mayores que los utilizados por Los Bronces en el Budget. En cuanto a los datos de desempeño que se muestran en la Tabla 30, para este tipo de equipo es la mayor diferencia de valores entre lo real y lo considerado para la estimación por Budget, alcanzando el registro promedio más bajo de uso de disponibilidad física de todos los equipos de servicios analizados por la investigación.

5.5.2 Número de equipos

El rendimiento como TOR afecta de manera positiva al cálculo generando menos horas requeridas para la ejecución de las labores, sin embargo, la disponibilidad y uso de 2019 como termino de referencia afectan negativamente a la determinación del número de excavadoras necesarias, al disminuir las horas con las que se cuenta el equipo para operar efectivamente. Como resultado se refleja que se necesitan 5 excavadoras para la realización de las actividades programadas. Así lo dispone la Tabla 34.

Tabla 34. Numero de excavadoras según estudio

	ene 20	feb 20	mar 20	abr 20	nov 20	dic 20
Total Horas Exc.	477.50	494.59	797.55	665.13	975.30	889.19

Horas día	24	24	24	24	24	24
Días mes	31	29	31	30	30	31
Uso	40%	40%	40%	40%	40%	40%
disponibilidad	70%	70%	70%	70%	70%	70%
Unidades por mes	3	3	4	4	5	5

A continuación, en la Tabla 35 se muestra el número de excavadoras que resulta utilizando como termino de referencia una disponibilidad física de 80% y un uso de la disponibilidad física de 70%, los cuales son el promedio de todos los equipos de servicios al año 2019.

Tabla 35. Numero de excavadoras con ajuste

	ene 20	feb 20	mar 20	abr 20	nov 20	dic 20
Total Horas Exc.	477.50	494.59	797.55	665.13	975.30	889.19
Horas día	24	24	24	24	24	24
Días mes	31	29	31	30	30	31
Uso	70%	70%	70%	70%	70%	70%
Disponibilidad	80%	80%	80%	80%	80%	80%
Unidades por mes	2	2	2	2	3	3

Los resultados indican que se necesitarían 3 excavadoras los cuales estarían en relación con la flota de excavadoras disponibles actualmente en la operación.

5.6 Cargador frontal

5.6.1 Términos de referencia

Al igual que en el caso del wheeldozer el cargador frontal no tiene una referencia comparativa para el cálculo de número de equipos, el rendimiento teórico indica que el equipo puede mover en promedio, 330 m³/h. Los datos de Disponibilidad y uso son los reales al año 2019 para este equipo, se disponen en la Tabla 30

5.6.2 Número de equipos

El estudio realiza el cálculo solo para la tarea de construcción de camellones. De esta manera al saber el volumen de camellones a construir y en consideración del rendimiento del equipo mencionado anteriormente, se indica que el número de cargadores necesarios para la ejecución de esta labor es 1, según lo dispone la Tabla 36. Sin embargo, es necesario adicionar un equipo para la realización de otras labores por lo que para la investigación el número apropiado de cargadores frontales resulta de 2 unidades.

Tabla 36. Número de cargadores frontales según estudio

	ene-20	feb-20	mar-20	abr-20	may-20	nov-20	dic-20
m³ camellón	47300	47300	47300	47300	47300	47300	47300
Horas día	24	24	24	24	24	24	24
Días mes	31	29	31	30	31	30	31
Uso	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%
Disponibilidad	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%
N° equipos	1	1	1	1	1	1	1

5.7 Aljibe

5.7.1 Términos de referencia

Según se observa en la Tabla 29, el rendimiento utilizado por el estudio es un 30% mayor al utilizado por la estimación según Budget, esto afecta positivamente al tener menos requerimiento de horas para realizar las labores de regadío. En términos de desempeño como se dispone en la Tabla 30, la disponibilidad física utilizada por el estudio y por la estimación por Budget es similar, no así en el caso del uso de la disponibilidad física, donde la referencia del uso real del año 2019 es considerablemente menor a la utilizada por Budget para la estimación. Finalmente, la investigación utiliza un rendimiento de 0.76 l/m², aplicados a una velocidad de 25 km/h.

5.7.2 Número de equipos

El número de equipos se obtiene en base a las horas requeridas para el regadío de los caminos de la mina Los Bronces, según el rendimiento aplicado en el estudio, sobre las horas disponibles para operar efectivamente el equipo según los datos de desempeño. Así, como se observa en la Tabla 37, el número de aljibes necesarios para la operación según el estudio es de 6 equipos.

Tabla 37. Número de aljibes según estudio

	ene-20	feb-20	mar-20	abr-20	nov-20	dic-20
Total Horas Aljibe	1,893	1,893	1,893	1,657	1,893	1,893
Horas día	24	24	24	24	24	24
Días mes	31	29	31	30	30	31
Uso	60%	81%	81%	81%	81%	81%
disponibilidad	80%	82%	82%	82%	82%	82%
Unidades por mes	6	5	4	4	4	4

5.8 Flota de equipos necesarias

Finalmente, al realizar el cálculo para los equipos de servicios analizados en la investigación, se obtiene que la flota de equipos de servicios necesarias para la operación según lo dispone la Tabla 38.

Tabla 38. Flota de equipos necesarios

Flota	Los Bronces	Budget	Estudio
Bulldozer	9	11	12
Wheeldozer	8	-	6
Motoniveladora	5	6	5
Excavadora	3	4	5 (*)
C. Frontal	3	-	2
Aljibe	4	8	6

(*): Numero de excavadoras con ajuste es 3

5.9 Discusiones

De los bulldozer se puede inferir que si bien tanto para el estudio como para la determinación de equipos utilizada en Los Bronces según Budget, el número de equipos es similar, es cuestionable la capacidad de realizar labores con menos equipos, esto producto del uso de la disponibilidad física de los mismos equipos el cual es un indicador a mejorar, el indicador de disponibilidad está de acuerdo a parámetros admisibles dentro de la gestión minera.

La disponibilidad física en el año 2019 alcanzo un promedio del 85% para los bulldozer, las variaciones dentro de la disponibilidad por equipo dispuestas en la Figura 22 del anexo A, se pueden asociar con la relación de mantención, dispuesta en la Figura 34 del anexo B. En ella se puede observar que las horas destinadas a mantención programada, fueron casi las mismas que las de mantención no programada, por lo tanto, el indicador de disponibilidad puede ser mejorado, disminuyendo la cantidad de horas de mantención no programada.

El uso de la disponibilidad física de los bulldozer alcanzo un promedio de 75%, este indicador debe ser mejorado en el corto plazo. Las causas de este desempeño se pueden relacionar con el rol del operador, la imputación de las horas operativas del equipo, la realización de los relevos correspondientes a las horas de colación que tenga el operador, entre otros.

En relación a los wheeldozer los resultados se pueden relacionar con la estrategia operacional de dar de baja un equipo para el año 2020 teniendo 7 equipos dispuestos para la operación.

En relación a la disponibilidad real de los equipos al año 2019, se puede observar que los valores indican un buen desempeño y una buena gestión de mantención mecánica del equipo. Si bien nuevamente se da el caso que la relación de mantención indica que las horas destinadas a tareas de mantención programada son las mismas que las mantenciones no programadas, se puede inferir del grafico en la Figura 35 del anexo B, que los meses con mejor disponibilidad de los equipos fueron aquellos meses donde las tareas de mantención fueron mayoritariamente, mantenciones programadas.

El promedio del uso de la disponibilidad física de este equipo es un valor que también puede ser mejorado. Según se puede observar en la Figura 25 en el anexo A, el uso del equipo WDC03 afecta negativamente al promedio del uso de los equipos, este es el equipo que por estrategia operacional pretende ser dado de baja para el año 2020, por lo tanto, el promedio de uso de los equipos se podría incrementar para el periodo de la estimación en el cual se desarrolla esta investigación.

Para el caso de las motoniveladoras una vez más se cuestiona la disponibilidad y el uso de los equipos, como se puede observar en el gráfico de la Figura 36 del anexo B, de la relación de mantención, en los meses con valores bajos, son los meses con menor disponibilidad física, en este tipo de equipos se da el caso de que en promedio las horas de mantención no programada son mayores que las horas de mantención programada, por lo tanto, la disponibilidad física es un factor que se puede mejorar, cumpliendo con lo planificado. En cuanto al uso del equipo, también es un indicador que se debe mejorar, se cuestiona la tendencia a la baja de este indicador en los últimos meses del año 2019.

En cuanto al análisis de las excavadoras, se puede inferir que este tipo de equipo es el que posee peor registro de disponibilidad y uso. La disponibilidad de estos equipos bajo el análisis de la relación de mantención en la Figura 37 del anexo B, se puede observar que en el mes con mayor relación de mantención coincide con el mes con mayor disponibilidad del equipo, por lo tanto, este indicador es mejorable bajo la gestión mecánica del equipo. En cuanto a la gestión operacional del equipo, el bajo valor de uso promedio se puede relacionar, como se observa en la Figura 29 del anexo A, a que durante 3 meses se operó 2 de los 3 equipos disponibles, por contingencias operacionales, desde el mes de julio a septiembre se presenta una baja en el uso de los equipos disponibles alcanzando un alza para el mes de octubre, sin embargo, el equipo RET02, durante esta alza promedio, otorgaba bajos valores de uso, esto también se debe a contingencias mecánicas del equipo.

A pesar de lo anterior, como se observa en la Tabla 35 si se usa datos promedio de desempeño de equipos el número de excavadoras necesarias para el año 2020 serían 3 los mismos con que cuenta actualmente la operación.

Para el análisis de los cargadores frontales la estimación carece de información respecto a la cuantificación de las tareas que realiza el equipo, por lo tanto, una buena

referencia para el análisis de número de equipos, son los datos de disponibilidad y uso de los equipos los cuales tienen un buen desempeño durante el periodo 2019, es por esto que se puede inferir tanto de la investigación como de los datos de rendimiento de la flota disponible, que los 3 equipos disponibles de cargadores frontales están en completa relación con lo condicionado para la operación.

En relación a los camiones aljibes, el número de equipos se condiciona con respecto a datos de disponibilidad y uso real, esto porque, si se observa la Figura 33 en el anexo A, se observa una considerable baja en el uso en el periodo de invierno, por lo que, existe una menor necesidad de este tipo de equipos. Sin embargo, independiente de su uso a lo largo del año, es importante la disponibilidad de este equipo por razones de seguridad, medio ambientales, y operacionales. Esto último se confirma al observar la Figura 32 en el mismo anexo, donde se aprecia que la disponibilidad de los equipos fue similar a lo largo del año.



6. Conclusiones y recomendaciones

6.1 Conclusiones

En el estudio de los equipos de servicios, tal como lo disponen *Zauner et al* [21], un rol importante para la optimización de recursos es la correcta definición de las tareas que realiza el equipo teniendo un seguimiento de estos, de modo tal que se puedan establecer variables, restricciones y otros factores que afecten en la generación de un modelo de optimización para estos equipos. El conocimiento oportuno de estas labores, genera un impacto en términos de costos operacionales, si se cumple la planificación de las labores identificadas anteriormente.

El estudio realizado es en base a las tareas que realiza cada equipo y que están cuantificadas, en el caso de wheeldozer y cargadores frontales, las tareas están definidas, pero no cuantificadas en material que está moviendo cada equipo por actividad dada. Esto es un problema para el dimensionamiento de equipos. Por lo tanto, de esos equipos el análisis no es comparativo, aun así, se define según el mismo criterio aplicado para los demás equipos.

En base a esto se puede concluir que:

- El número de bulldozer que se dispone para el año 2020 en Los Bronces son 9, esto es deficiente en base a estimaciones tanto por Budget, como la realizada por la investigación, las cuales indican 11 y 12 respectivamente, por lo tanto, como consecuencia inmediata, se requiere el apoyo de wheeldozer para labores que no pudiesen cumplir estos equipos en su totalidad.
- El número de wheeldozer que se dispone para el año 2020 en Los Bronces son 8, coincide con la estimación realizada por la investigación, pudiendo esta ser menor mejorando datos de disponibilidad y uso, sin embargo, por la consecuencia de tener menos equipos bulldozer, si se mejora los datos de desempeño de este tipo de equipo, se pueden cubrir los requerimientos de bulldozer sin necesidad de ampliar la flota de estos equipos.

- El número de motoniveladoras que se dispone para el año 2020 en Los Bronces son 5, este coincide con el número resultante de la investigación.
- El número de excavadoras disponibles para el año 2020 en Los Bronces son 3, la investigación indica que el número necesario son 6, este valor escapa de la realidad por el error asociado a la baja disponibilidad y uso, como referencia de estimación.
- El número de cargadores frontales disponibles para el año 2020 en Los Bronces son 3. La investigación indica que con 2 cargadores se pueden realizar las labores, sin embargo, la estimación fue realizada solo en base a la construcción de camellones, por lo tanto, para la realización de labores de apoyo en movimiento de material, se concluye que el número disponible para el año 2020 para este tipo de equipos es apropiado.
- El número de aljibes disponibles para el año 2020 son 4, en este tipo de equipos se puede concluir que el número es deficiente, mientras el Budget indica 8 equipos necesarios la investigación indica que con 6 equipos es posible cubrir los requerimientos de regadío.
- La gestión operativa de los equipos debe ser mejorada, no en la forma en que se programan las actividades, sino la forma en que se realizan estas. Indicadores principales como disponibilidad y uso deben ser mejorados en todos los equipos de servicios.
- Finalmente se concluye que el objetivo de análisis de los equipos bajo la perspectiva de rendimiento se cumple, sin embargo, el análisis de esta investigación es una base para realizar modelos de optimización a futuro.

6.2 Recomendaciones

La investigación permite indicar las siguientes recomendaciones:

- Generar nuevas investigaciones de equipos de servicios en minería, en distintas faenas para ampliar la base de datos sobre las tareas que realizan estos equipos dependiendo de la operación, de modo tal de poder generar modelos que permitan la optimización de recursos en la operación minera.

- Realizar simulaciones en base a la definición de las tareas, cantidad de material a mover y las distancias que componen el desarrollo de las actividades de los equipos de servicios.
- Se recomienda la continuidad de esta investigación en la generación de simulaciones para comparar flota de equipos en base a iteraciones de cierto modelo. Así, finalmente poder disponer de un modelo analítico que permita determinar la flota de equipos en Los Bronces.
- Se recomienda un estudio de la operación y flota de equipos de camiones aljibe, por la importancia en lo relativo a la disminución de consumo de agua, sin afectar los requerimientos de caminos mineros.
- Se recomienda capacitar a los jefes de turno y operadores de equipo en vista de mejorar los indicadores de desempeño de este tipo de equipos.
- Se recomienda, un despachador solo para equipos de servicios, y que con este se puedan imputar todas las labores que está realizando el equipo en tiempo real. No solo decir si está operativo o no, si no que indicar e imputar qué labor está realizando el equipo y dónde la realiza. La generación de esa base de datos, permitirá optimizar los recursos.
- Se recomienda un análisis de detalle de la estimación por Budget de la flota de equipos de servicios, complementando información con lo dispuesto en esta u otras investigaciones.
- Finalmente, se recomienda generar un plan de evaluación de equipos, en cuanto al rendimiento en terreno de un equipo. De esta manera poder corregir constantemente los términos de referencia que se disponen para la estimación de equipos.

7. Referencias

- [1] A. R. Dunn y P. J. Hoddinott, *Surface mining*. 1992.
- [2] D. E. Rodríguez-Salinas, “Modelo analítico para el dimensionamiento de flota de transporte en Minería a cielo abierto: análisis de prioridades de atención según rendimiento”, Pontificia Universidad Católica de Chile, facultad de ingeniería, 2013. Trabajo de título para optar al grado de ingeniero civil mecánico.
- [3] A. Paithankar y S. Chatterjee, “Open pit mine production schedule optimization using a hybrid of maximum-flow and genetic algorithms”
- [4] S. Chatterjee, M. R. Sethi, y M. W. A. Asad, “Production phase and ultimate pit limit design under commodity price uncertainty”
- [5] B. Samatamba, L. Zhang, y B. Besa, “Evaluating and Optimizing the Effectiveness of Mining Equipment; the case of Chibuluma South Underground Mine”
- [6] T. N. Michalakopoulos y D. Ignjatovic, “The methodology of the selection of auxiliary mechanisation for the open pit mines of lignite”
- [7] E. Bozorgebrahimi, R. A. Hall, y G. H. Blackwell, “Professional paper Sizing equipment for open pit mining – a review of critical parameters”
- [8] A. Bozorgebrahimi, R. A. Hall, y M. A. Morin, “Equipment size effects on open pit mining performance”, *Int. J. Surf. Mining, Reclam. Environ.*, vol. 19,
- [9] C. N. Burt y L. Caccetta, “Equipment selection for surface mining: A review”, *Interfaces (Providence)*., vol. 44, n° 2
- [10] A. Lashgari, A. R. Yazdani, y A. R. Sayadi, “Methods for Equipments Selection in Surface Mining ; review”, *1st Int. Appl. Geol. Congr.*, 2010.
- [11] A. Moradi Afrapoli y H. Askari-Nasab, “Mining fleet management systems: a review of models and algorithms”, *Int. J. Mining, Reclam. Environ*, 2019.
- [12] Gonzalez Riquelme, Hector, Selección y asignación óptima de equipos de carguío para el cumplimiento de un plan de producción en minería a cielo abierto. Universidad de Chile, facultad de ingeniería, 2017. Trabajo de título para optar al grado de ingeniero civil de minas.
- [13] P. Zykov, E. Zvarych, A. Karasev, y D. Weber, “Enhancement of open-pit mining efficiency by means of quality improvement of open-pit excavators design and operating in specified conditions”, 2019.
- [14] M. Gusman, Y. Asri, y I. Prengki, “Optimization of Digging and Loading Equipment and Hauling for Overburden Production with Quality Capacity Methods and Queuing Methods in East Pit, August 2017 Period Pt. Artamulia Tata Pratama, Site Tanjung Belit, Bungo, Jambi”, 2019.
- [15] B. Ozdemir y M. Kumral, “Simulation-based optimization of truck-shovel material

handling systems in multi-pit surface mines”.

- [16] C. N. Burt y L. Caccetta, *Single location equipment selection*, vol. 150. Springer International Publishing, 2018.
- [17] C. H. Ta, A. Ingolfsson, y J. Doucette, “A linear model for surface mining haul truck allocation incorporating shovel idle probabilities”, 20.13.
- [18] D. Ignjatović, Z. Knezicek, y T. Knezicek, “Impact of the auxiliary equipment on the lignite cast mine efficiency”, 2002.
- [19] I. Jankovic, S. Djenadic, D. Ignjatovic, P. Jovancic, T. Subaranovic, y I. Ristic, “Multi-criteria approach for selecting optimal dozer type in open-cast coal mining”, 2019.
- [20] S. H. Kim *et al.*, “Development of bulldozer sensor system for estimating the position of blade cutting edge”, 2019.
- [21] M. Zauner, F. Altenberger, H. Knapp, y M. Kozek, “Phase independent finding and classification of wheel-loader work-cycles”, 2019.
- [22] Henriquez Pacheco, Paula. "Propuesta de la generacion de un modelo de operaciones e indicadores de desempeño para unidad de servicios & estandares mina, operación los bronce, Anglo American". Universidad de Chile, facultad de ingeniería, 2017. Trabajo de título para optar al grado de ingeniero civil de minas.
- [23] S. Elevli y B. Elevli, “Performance measurement of mining equipments by utilizing OEE”, 2010.
- [24] Caterpillar_Inc., “Manual de Rendimiento Caterpillar”, *Caterp. Inc., Peoria, Illinois, EE.UU.*, vol. 1, p. 1394, 2009.

8. Anexos

A. Disponibilidad y uso por equipo

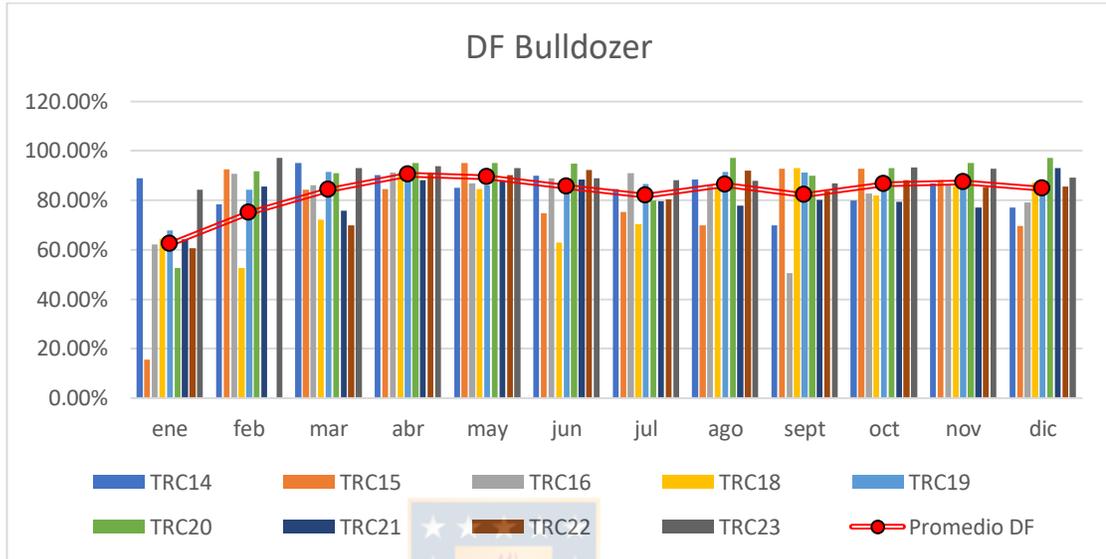


Figura 22. Disponibilidad física por equipo, bulldozer

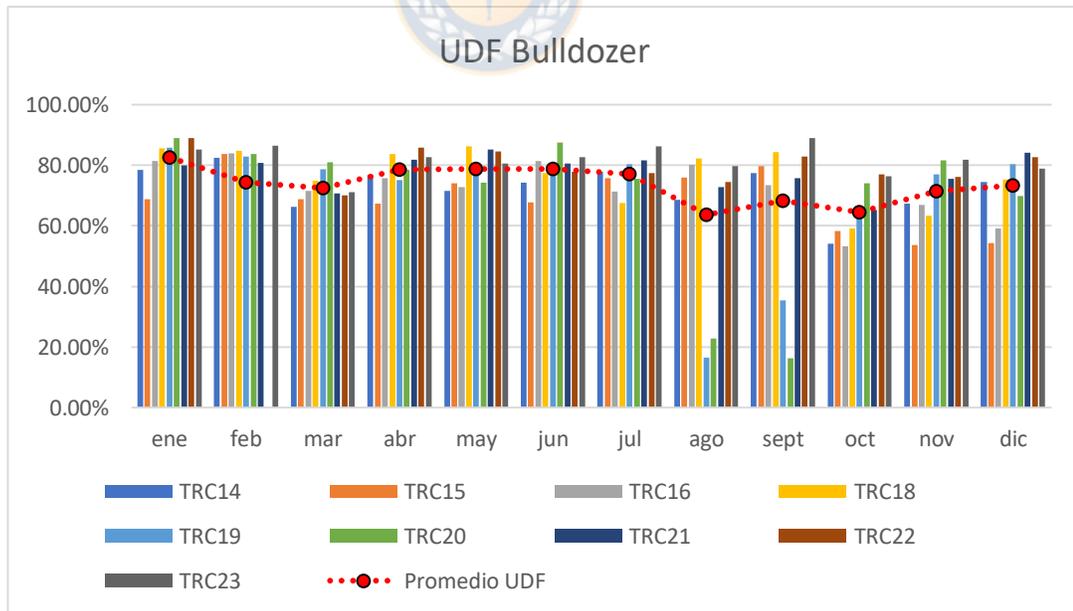


Figura 23. Uso por equipo, Bulldozer

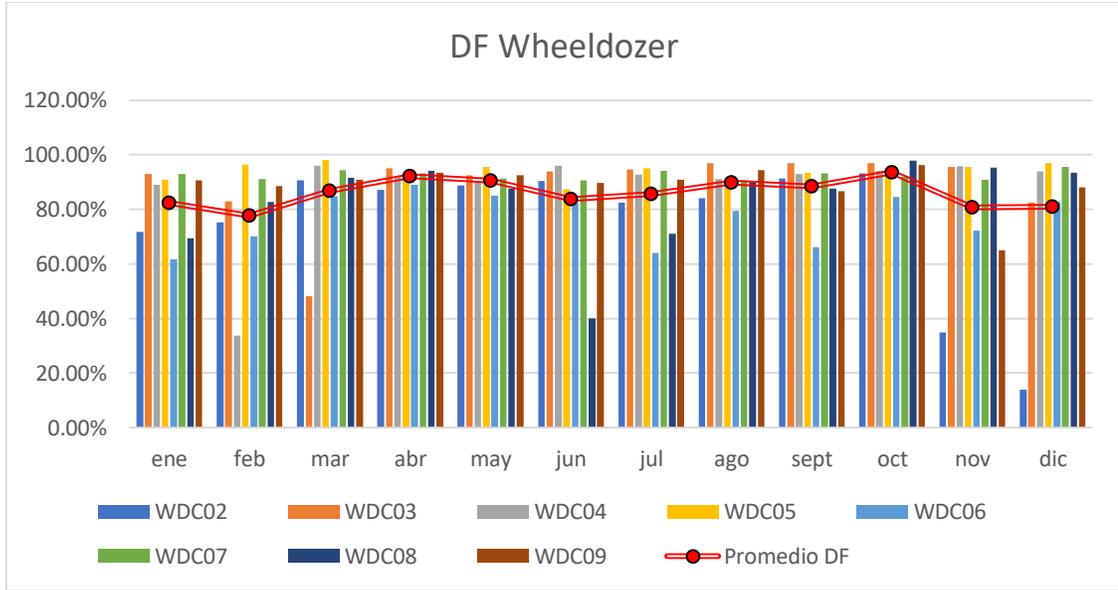


Figura 24. Disponibilidad física por equipo, wheeldozer

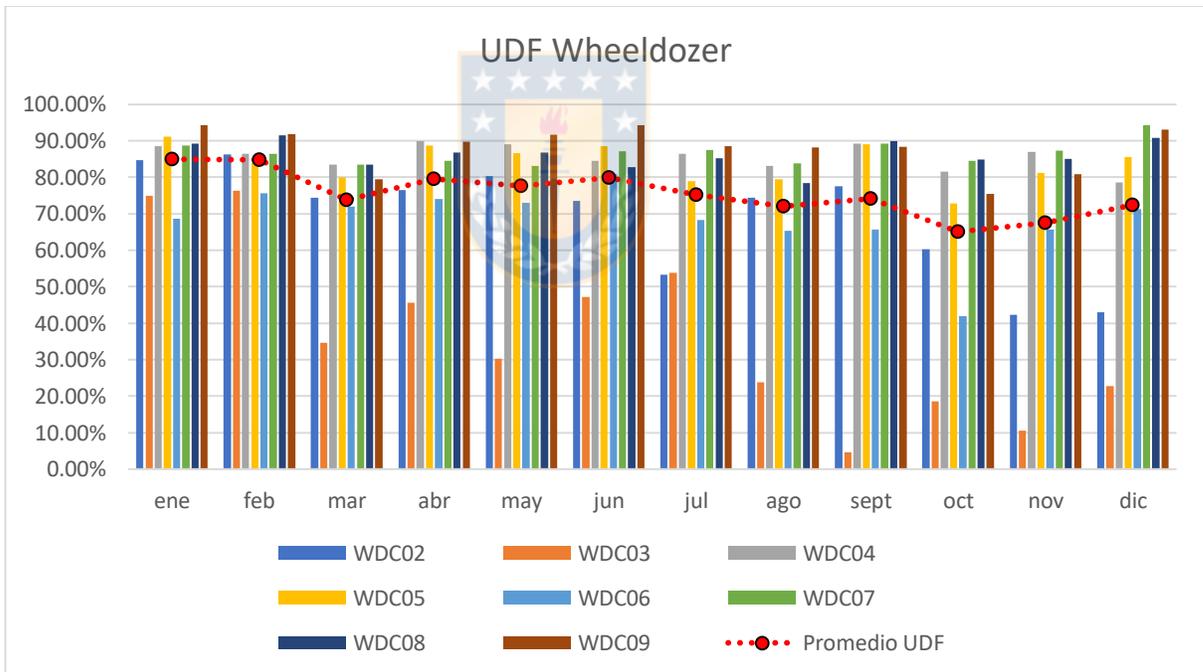


Figura 25. Uso por equipo, wheeldozer

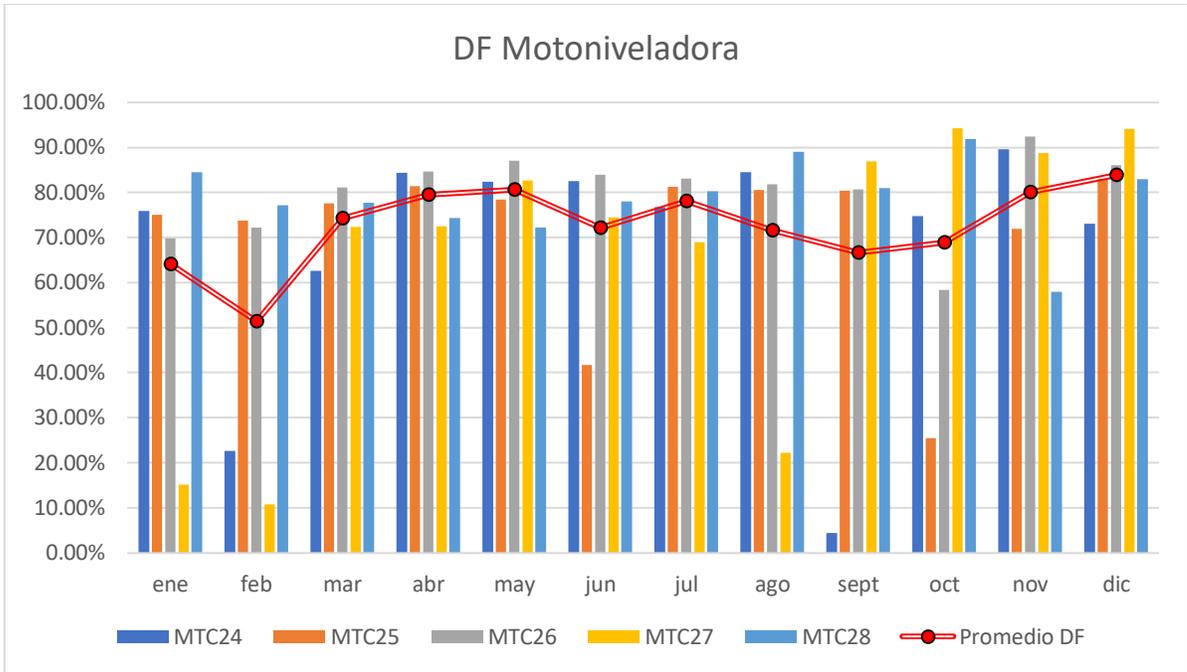


Figura 26. Disponibilidad física por equipo, motoniveladora

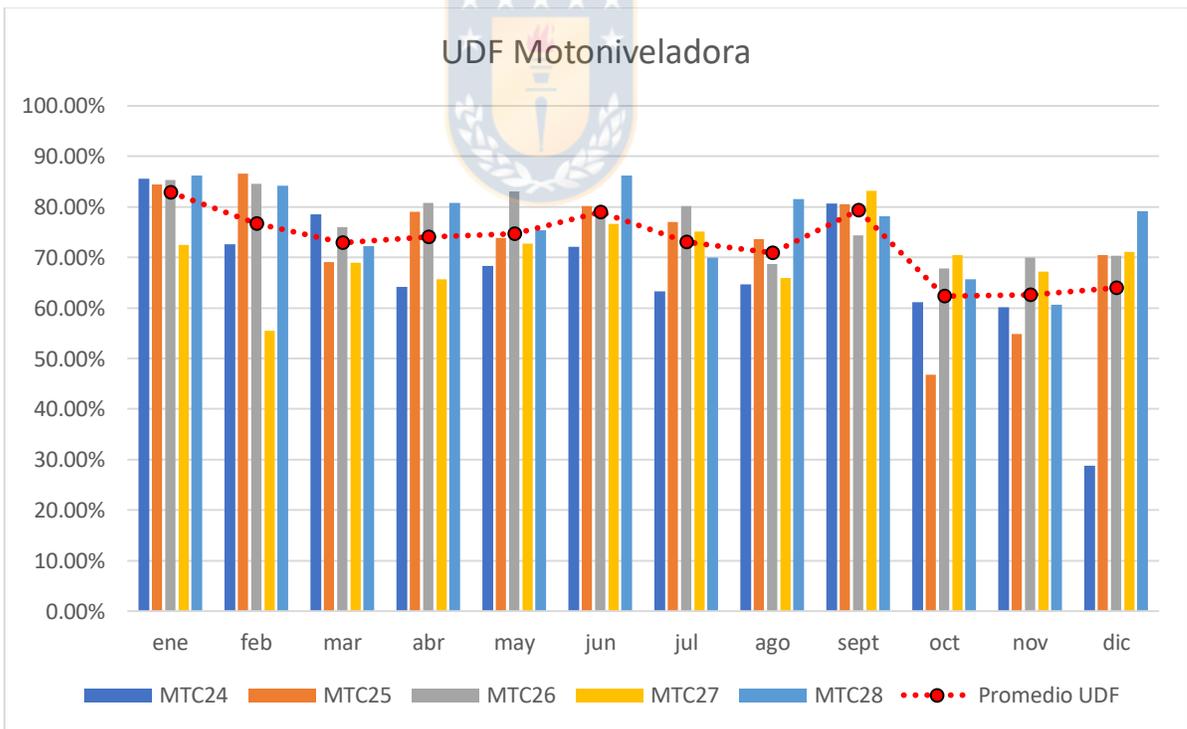


Figura 27. Uso por equipo, motoniveladora

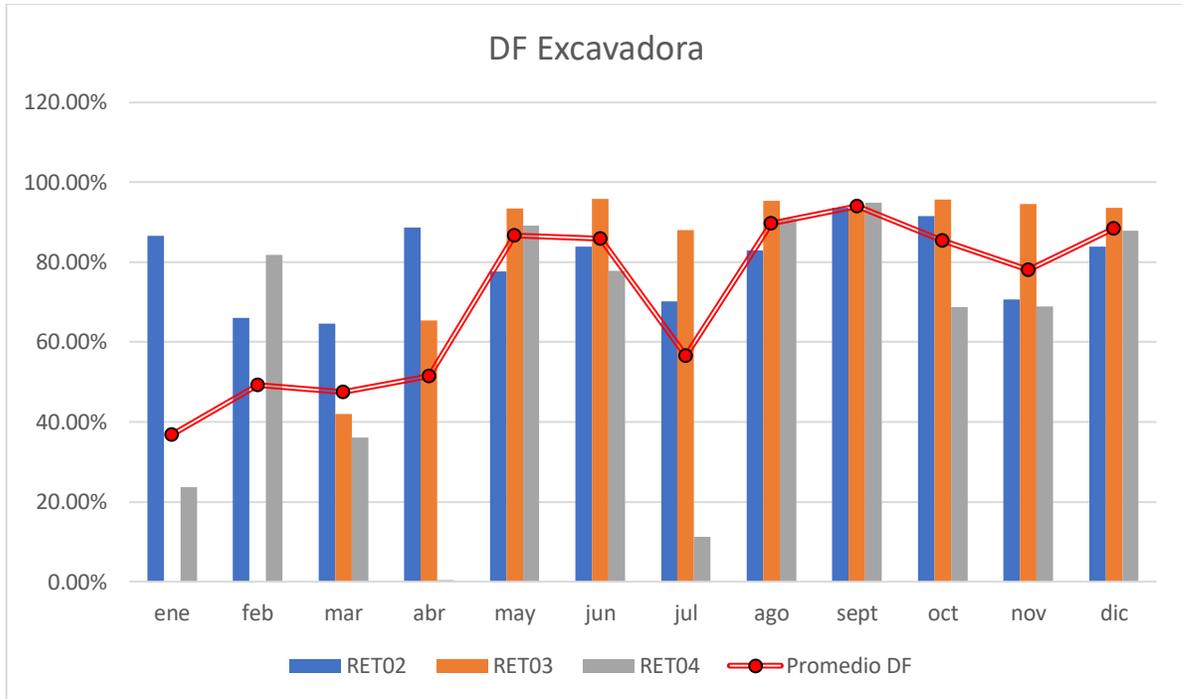


Figura 28. Disponibilidad física por equipo, excavadora

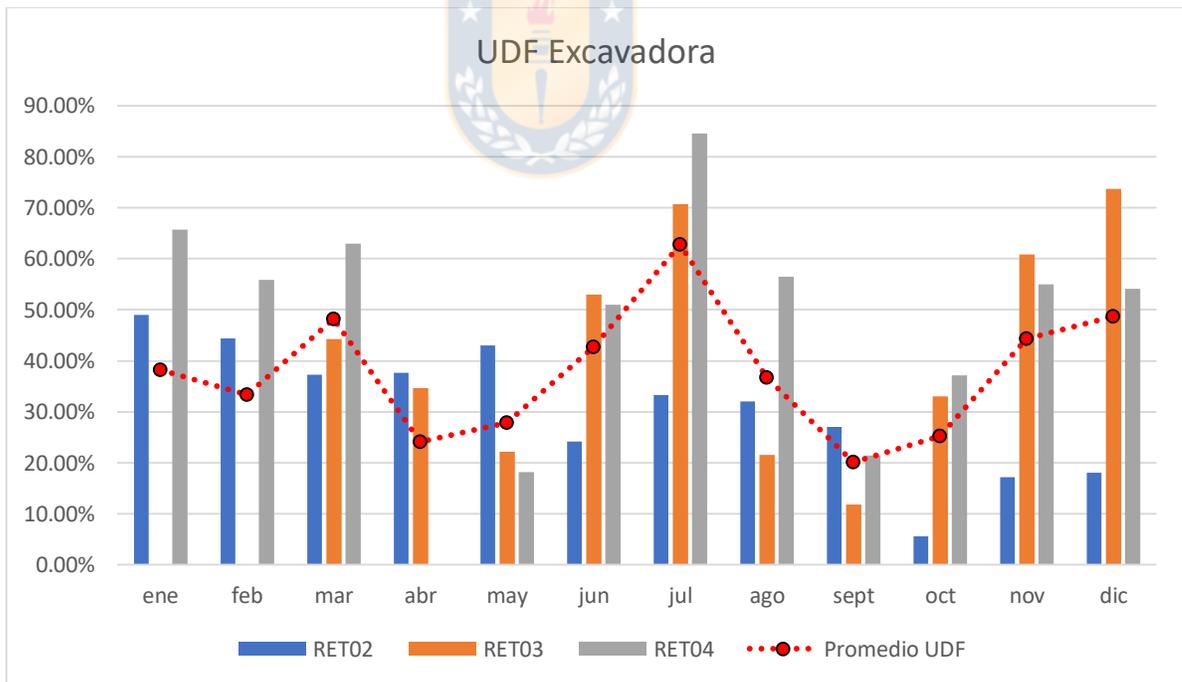


Figura 29. Uso por equipo, excavadora

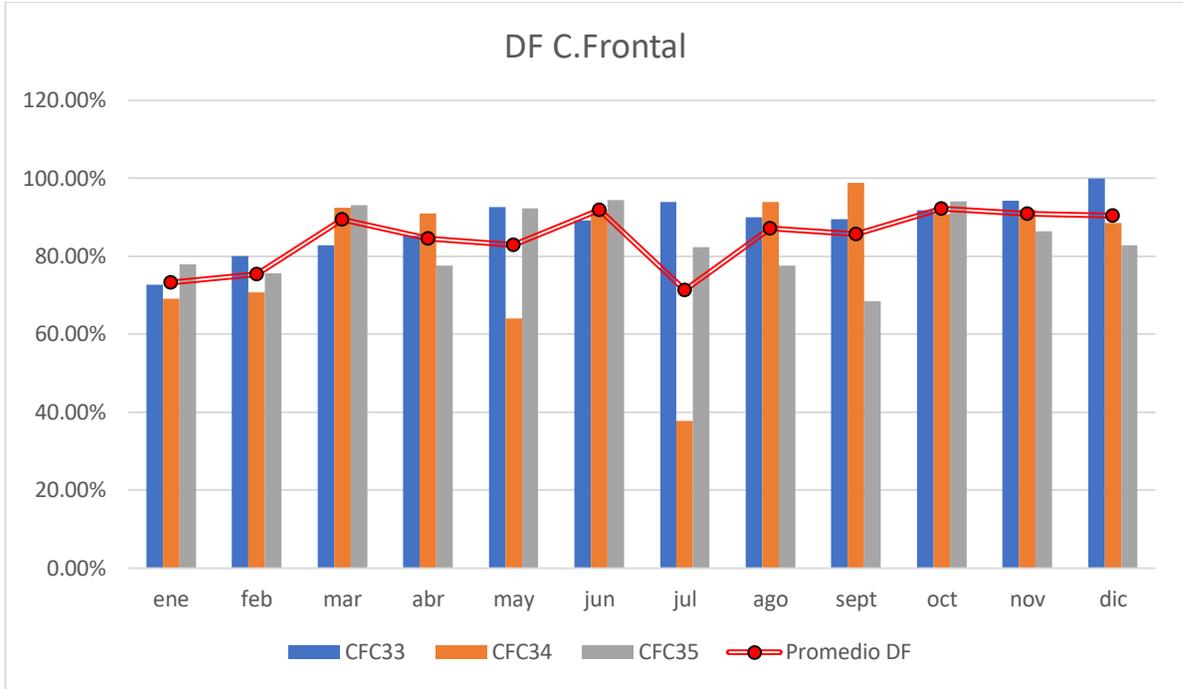


Figura 30. Disponibilidad física por equipo, cargador frontal

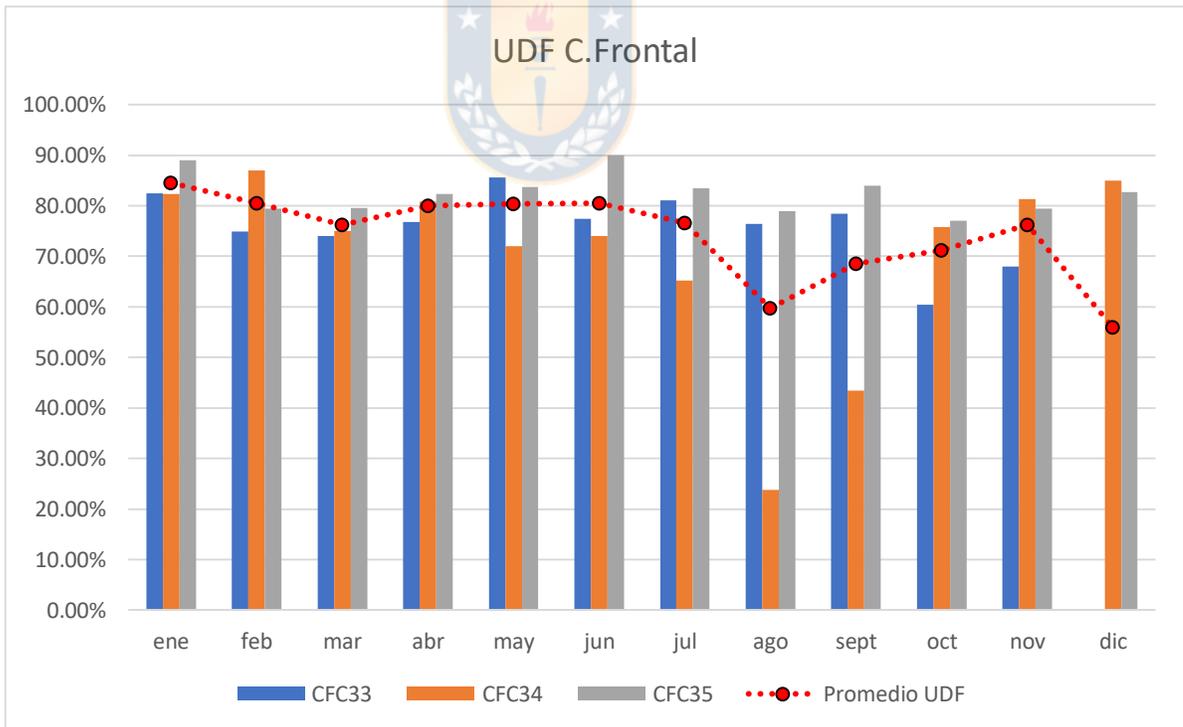


Figura 31. Uso por equipo, cargador frontal

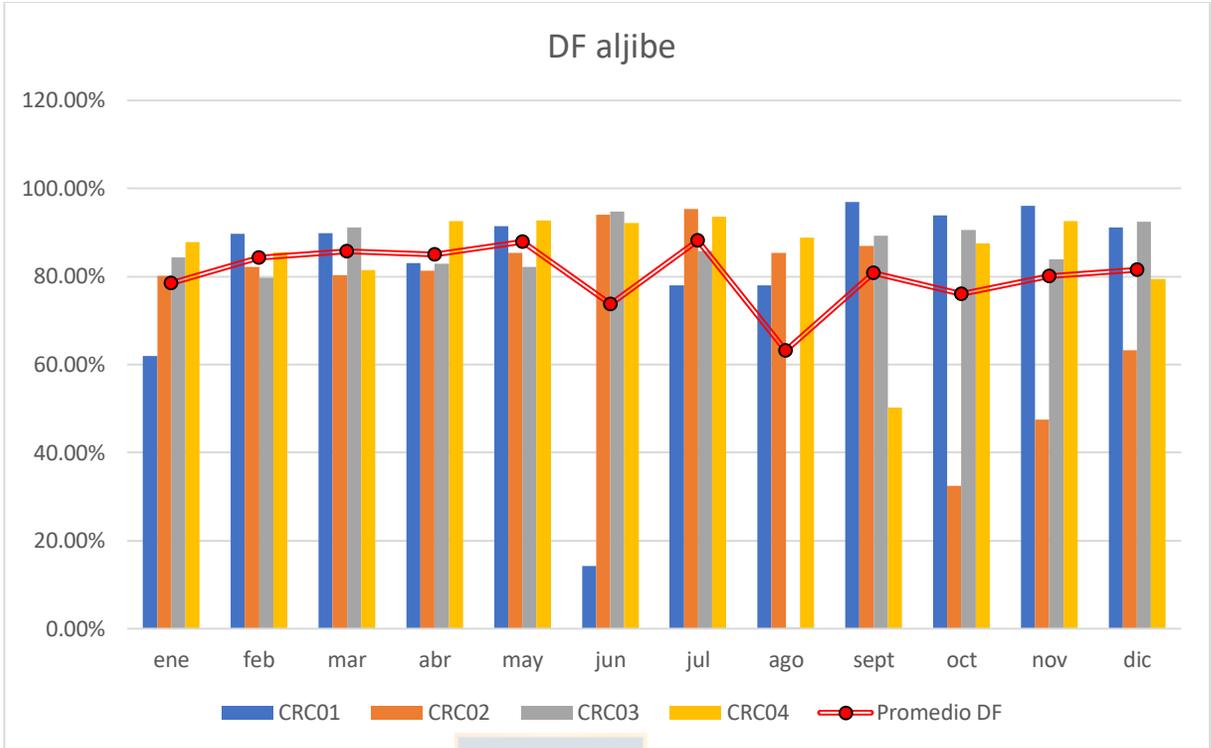


Figura 32. Disponibilidad física por equipo, aljibe

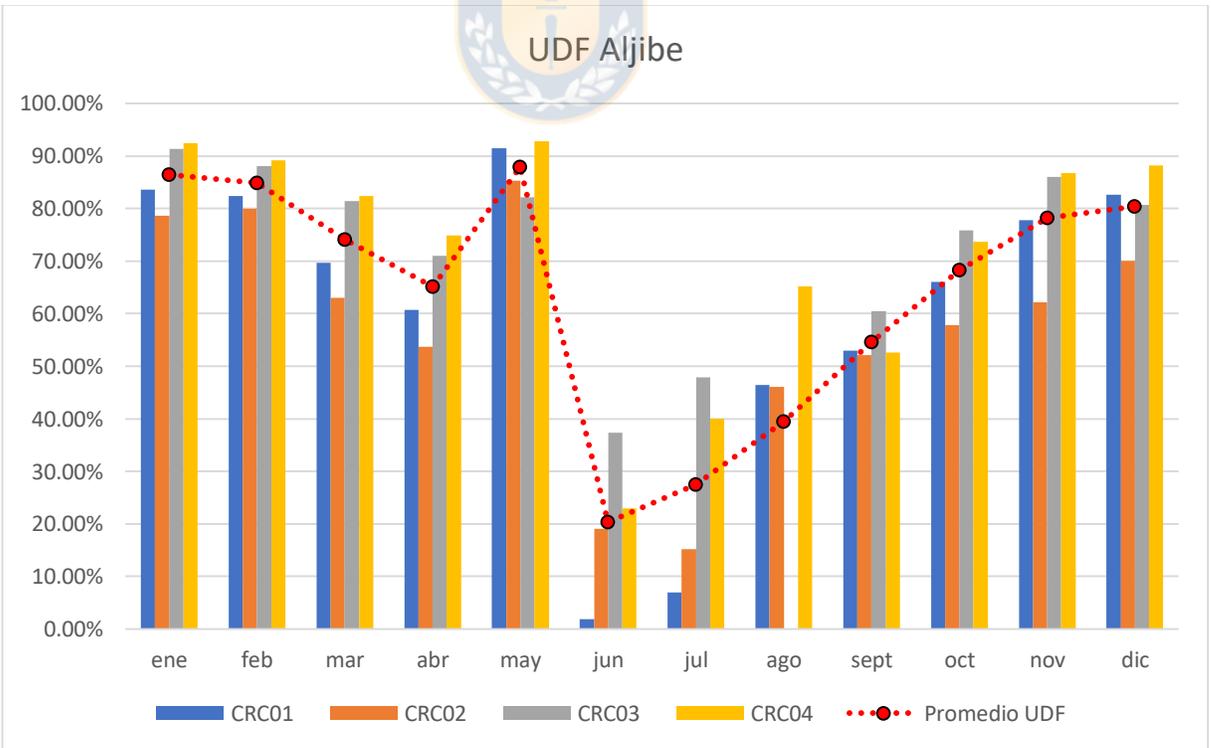


Figura 33. Uso por equipo, aljibe

B. Disponibilidad física vs relación de mantención

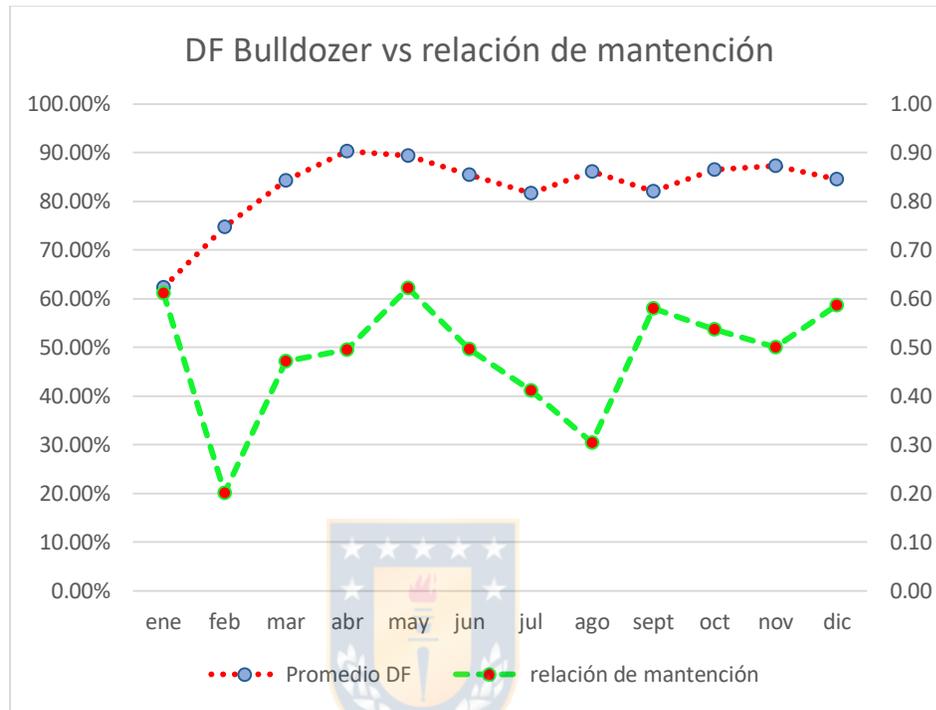


Figura 34. Relación de mantención bulldozer

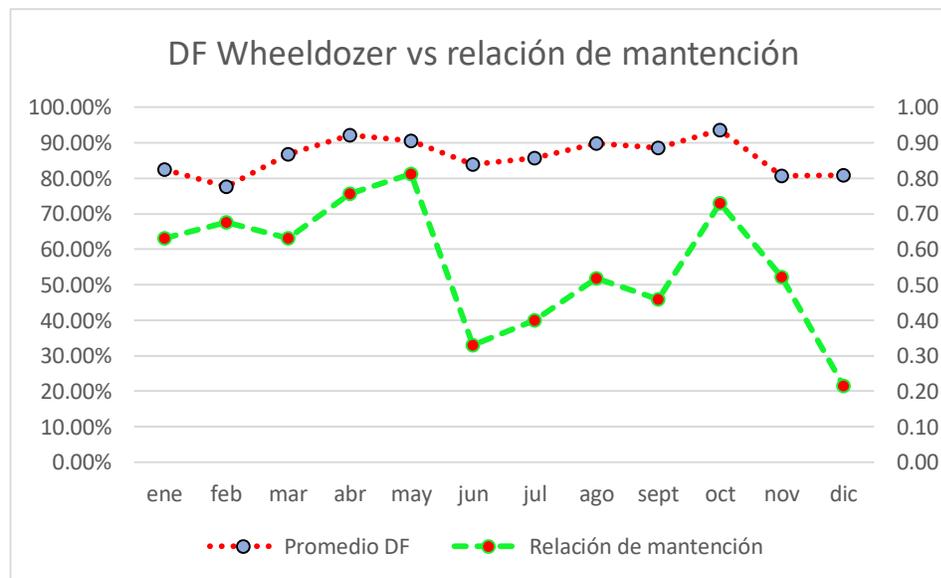


Figura 35. Relación de mantención wheeldozer

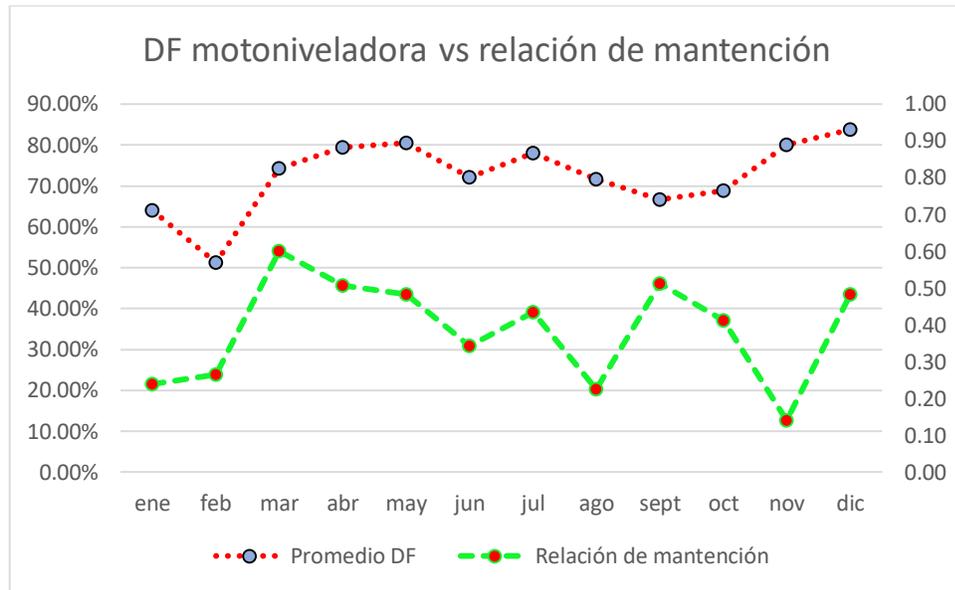


Figura 36. Relación de mantención motoniveladora

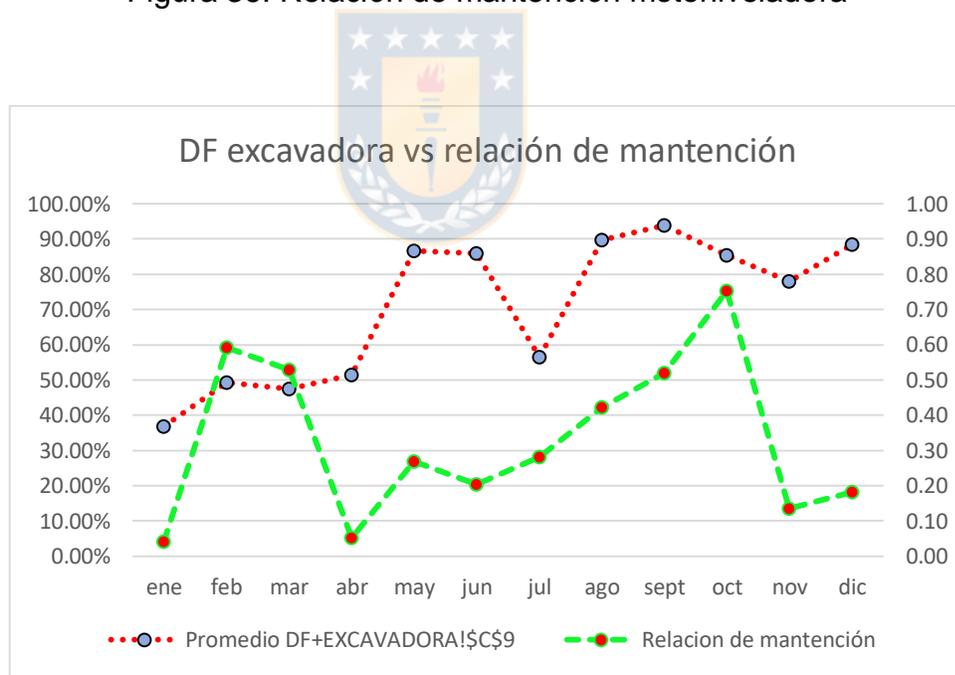


Figura 37. Relación de mantención excavadora

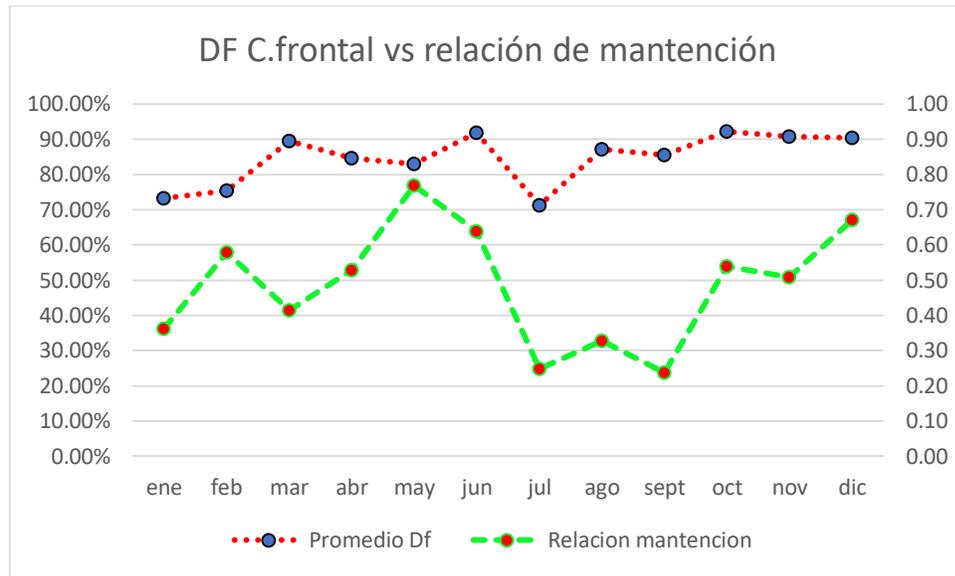


Figura 38. Relación de mantención cargador frontal

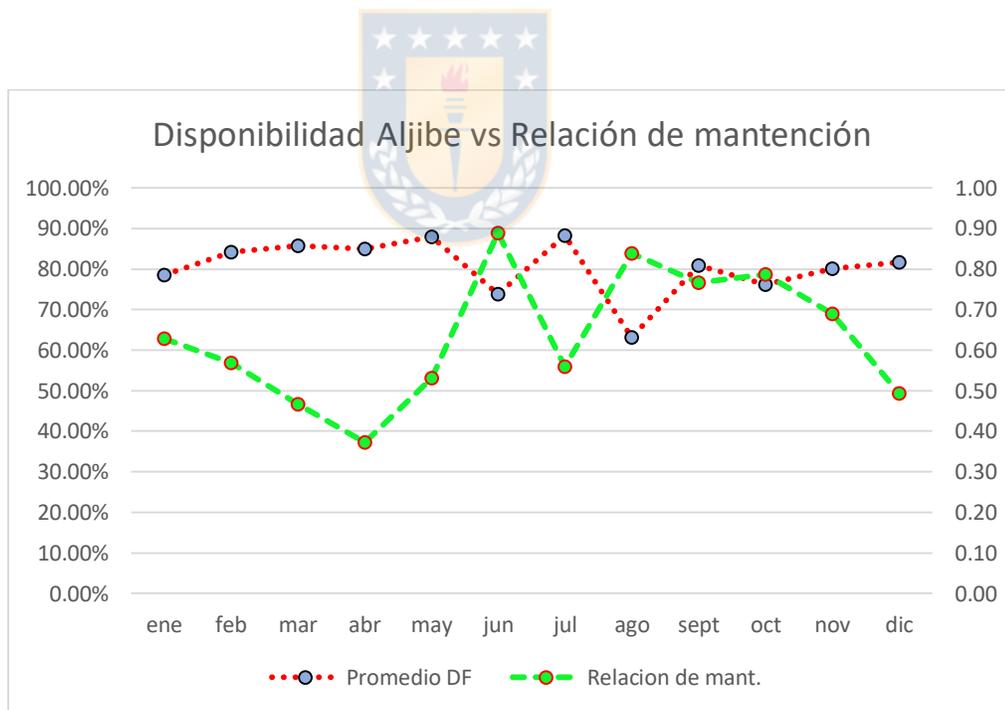


Figura 39. Relación de mantención aljibe

C. Geometría de caminos



Figura 40. Geometría de caminos

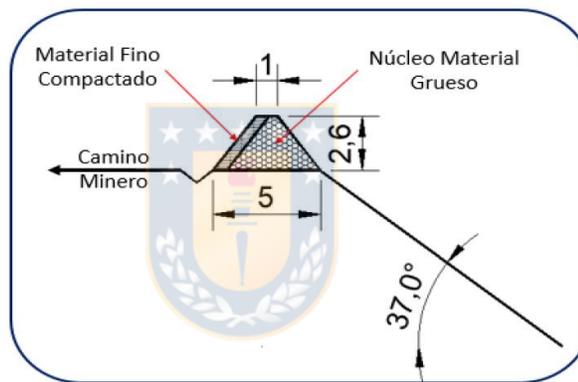


Figura 41. Geometría camellón de borde

D. Rendimiento Bulldozer y factores de corrección

WEIGHT* OF MATERIALS	LOOSE		BANK		LOAD FACTORS
	kg/m ³	lb/yd ³	kg/m ³	lb/yd ³	
Basalt	1960	3300	2970	5000	.67
Bauxite, Kaolin	1420	2400	1900	3200	.75
Caliche	1250	2100	2260	3800	.55
Carnotite, uranium ore	1630	2750	2200	3700	.74
Cinders	560	950	860	1450	.66
Clay — Natural bed	1660	2800	2020	3400	.82
Dry	1480	2500	1840	3100	.81
Wet	1660	2800	2080	3500	.80
Clay & gravel — Dry	1420	2400	1660	2800	.85
Wet	1540	2600	1840	3100	.85
Coal — Anthracite, Raw	1190	2000	1600	2700	.74
Washed	1100	1850			.74
Ash, Bituminous Coal	530-650	900-1100	590-890	1000-1500	.93
Bituminous, Raw	950	1600	1280	2150	.74
Washed	830	1400			.74
Decomposed rock —					
75% Rock, 25% Earth	1660	3300	2790	4700	.70
50% Rock, 50% Earth	1720	2900	2280	3850	.75
25% Rock, 75% Earth	1570	2650	1960	3300	.80
Earth — Dry packed	1510	2550	1900	3200	.80
Wet excavated	1600	2700	2020	3400	.79
Loam	1250	2100	1540	2600	.81
Granite — Broken	1660	2800	2730	4600	.61
Gravel — Pitrun	1930	3250	2170	3650	.89
Dry	1510	2550	1690	2850	.89
Dry 6-50 mm (1/4"-2")	1690	2850	1900	3200	.89
Wet 6-50 mm (1/4"-2")	2020	3400	2260	3800	.89

Figura 42. Densidad de materiales

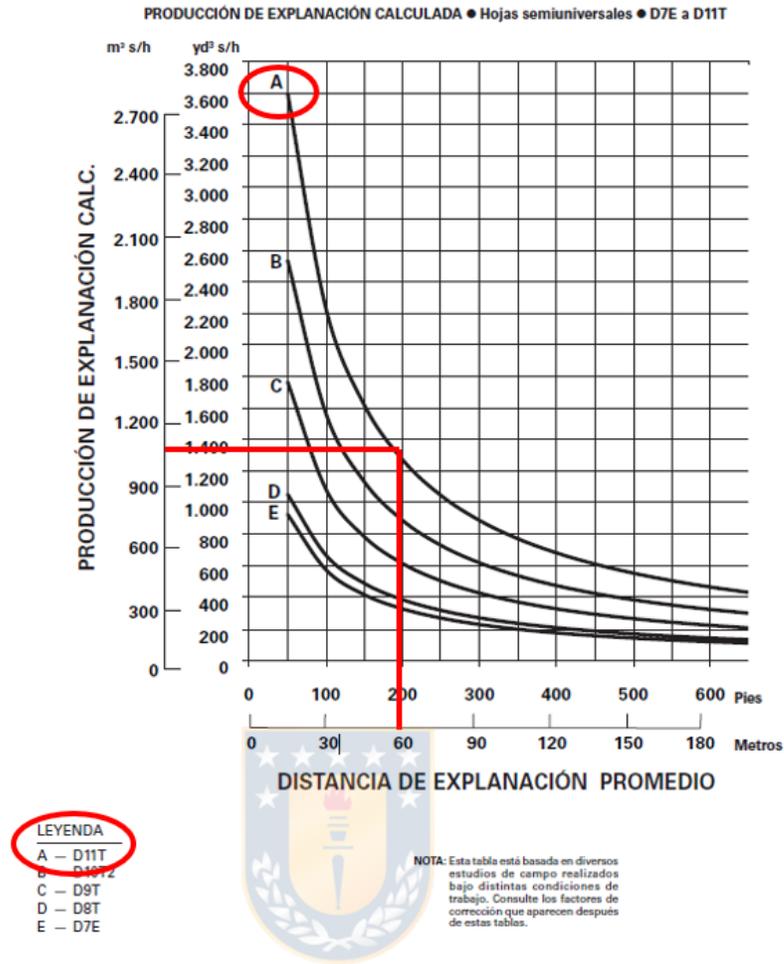


Figura 43. Producción máxima bulldozer

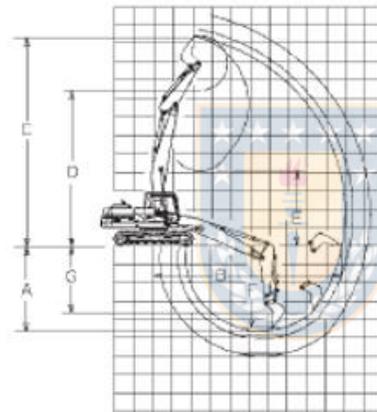
CONDICIÓN DE TRABAJO	TRACTOR DE ORUGA	TRACTOR DE RUEDAS
OPERADOR		
Excelente	1.00	1.00
Bueno	0.75	0.60
Deficiente	0.60	0.50
MATERIAL		
Arena húmeda	0.85	0.75
Arena seca	0.80	0.70
Arena suelta	0.90	0.85
Rocas desgarradas	0.6-0.80	
Terreno lodoso	0.80	0.80
Tierra firme (limo o arcilla)	0.85	0.80
Tierra suelta (limo o arcilla)	0.90	0.85
Tierra suelta seca (limo o arcilla)	0.95	0.95
EFICIENCIA DEL TRABAJO		
50 min/hora	0.83	0.83
40 min/hora	0.67	0.67

Figura 44. Factores de corrección tractores de oruga y ruedas

E. Rendimiento Excavadora

TABLA PARA CALCULAR TIEMPOS DE CICLO													
Tiempo de ciclo	TAMAÑO DE MAQUINA										Tiempo de ciclo		
	307	311B	312B	310B L 317B L	318B L	320C	322B	325B	330B	340D Serie II		345B L	375
10 SEG.													0,17 min.
15													0,25 min.
20 SEG.													0,33 min.
25													0,42 min.
30 SEG.													0,50 min.
35													0,58 min.
40 SEG.													0,67 min.
45													0,75 min.
50 SEG.													0,83 min.
55													0,92 min.
60 SEG.													1,0 min.

Figura 45. Tiempo de ciclo excavadora



- CLAVE:**
- A Profundidad máxima de excavación
 - B Alcance máximo al nivel del suelo
 - C Altura máxima de corsa
 - D Altura máxima de carga
 - E Altura mínima de carga
 - F Profundidad máxima de excavación con fondo plano de 2,44 m (8'0")
 - G Excavación vertical máxima

Modelo	345B L						375 L					
	m	piec	m	piec	m	piec	m	piec	m	piec	m	piec
Pluma	7,20	23'7"	7,20	23'7"	7,20	23'7"	8,80	28'10"	8,80	28'10"	8,80	28'10"
Brazo	2,90	9'6"	3,40	11'2"	4,00	13'1"	2,92	9'7"	3,40	11'2"	4,10	13'5"
Radio de plegado del cucharón	1,90	6'3"	1,90	6'3"	1,90	6'3"	2,23	7'4"	2,23	7'4"	2,23	7'4"
A	5,20	17'1"	5,55	18'3"	6,30	20'8"	6,52	21'6"	6,98	22'11"	7,69	25'3"
B	11,80	38'9"	12,25	40'2"	12,90	42'4"	13,85	46'5"	14,30	46'11"	15,00	48'3"
C	13,55	44'6"	13,95	46'9"	14,50	47'7"	15,79	61'10"	16,13	64'11"	16,72	64'10"
D	9,80	32'2"	10,20	33'8"	10,70	36'1"	11,34	37'2"	11,68	38'4"	12,27	40'3"
E	4,75	16'7"	4,35	14'3"	3,75	12'4"	9,29	30'8"	8,86	28'1"	8,23	27'0"
F	5,00	18'6"	5,45	17'11"	6,10	20'0"	6,37	20'11"	6,85	22'8"	7,57	24'10"
G	4,90	18'1"	5,20	17'1"	5,70	18'8"	4,85	16'11"	5,37	17'7"	5,81	18'1"

Figura 46. Envergadura excavadora

TIEMPO DE CICLO VS. LAS CONDICIONES DE LA OBRA	
—	Fácil de excavar (tierra suelta, arena, limpieza de zanjas, etc.). Excava a una profundidad menor del 40% de la capacidad máxima de la máquina. El ángulo de giro es menor de 30°. Descarga en la pila o en camión en el área de excavación. No hay obstáculos. Operador con buena habilidad.
—	No tan fácil de excavar (tierra compactada, arcilla seca y dura, tierra con menos de 25% de roca). Excava a una profundidad de hasta el 50% de la capacidad máxima de la máquina. El ángulo de giro es de hasta 60°. Pila de descarga grande. Pocos obstáculos.
—	Excavación entre mediana y difícil (suelo duro compactado hasta con 50% de roca). Excava a una profundidad de hasta el 70% de la capacidad máxima de la máquina. El ángulo de giro es de hasta 90°. Los camiones de acarreo se cargan cerca de la excavadora.
—	Difícil de excavar (roca de voladura o suelo duro con hasta 75% de roca). Excava a una profundidad de hasta el 90% de la capacidad máxima de la máquina. El ángulo de giro es de hasta 120°. Zanjas reforzadas. Área de descarga pequeña. Hay que trabajar con cuidado por el personal en la zanja que tiende tubos.
—	La excavación más difícil (arenisca, piedra caliza, caliche, pizarra bituminosa, suelo congelado). Excava a una profundidad de más del 90% de la capacidad máxima de la máquina. El ángulo de giro es mayor de 120°. Carga de cucharón en alcantarillas. Descarga en un área pequeña y alejada de la máquina lo que requiere el alcance máximo de ésta. Hay gente y obstáculos en el área de trabajo.

Figura 47. Factor de corrección por condiciones de trabajo

Cálculo Factor de corrección rendimiento

Operador bueno	0.75
Material suelto con fragmentación regular	0.80
Eficiencia 40 min/hrs	0.67
Excavación entre mediana y difícil	0.70
Factor de corrección	0.28

Figura 48. Ejemplo de cálculo de factor de corrección excavadora

F. Velocidades Cargador Frontal

	<i>Minutos sumados (+) o restados (-) del ciclo básico</i>
<i>Máquina</i>	
— Manipulador de materiales	-0,05
<i>Materiales</i>	
— Combinados	+0,02
— Hasta 3 mm (1/8")	+0,02
— 3 mm (1/8") a 20 mm (3/4")	-0,02
— 20 mm (3/4") a 150 mm (6")	0,00
— 150 mm (6") y más	+0,03 y más
— De banco o desprendido	+0,04 y más
<i>Pila</i>	
— Apilado de transportador u hoja topadora 3 m (10') y más	0,00
— Apilado de transportador u hoja topadora 3 m (10') o menos	+0,01
— Descargado por el camión	+0,02
<i>Varios</i>	
— Propiedad común de camiones y cargadores	Hasta 0,04
— Camiones de propietarios independientes	Hasta +0,04
— Operación constante	Hasta 0,04
— Operación inconsistente	Hasta +0,04
— Objetivo pequeño	Hasta +0,04
— Objetivo frágil	Hasta +0,05

Figura 49. Corrección tiempo de ciclo básico cargador frontal

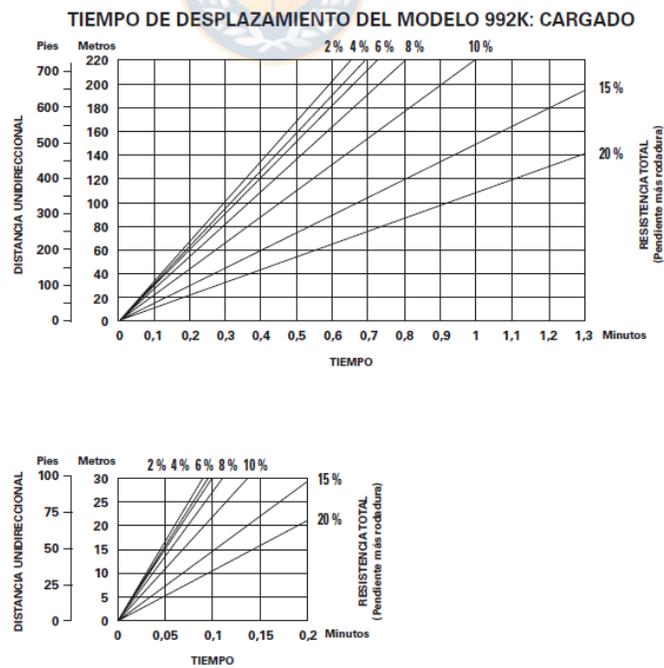


Figura 50. Tiempo de desplazamiento cargador frontal cargado

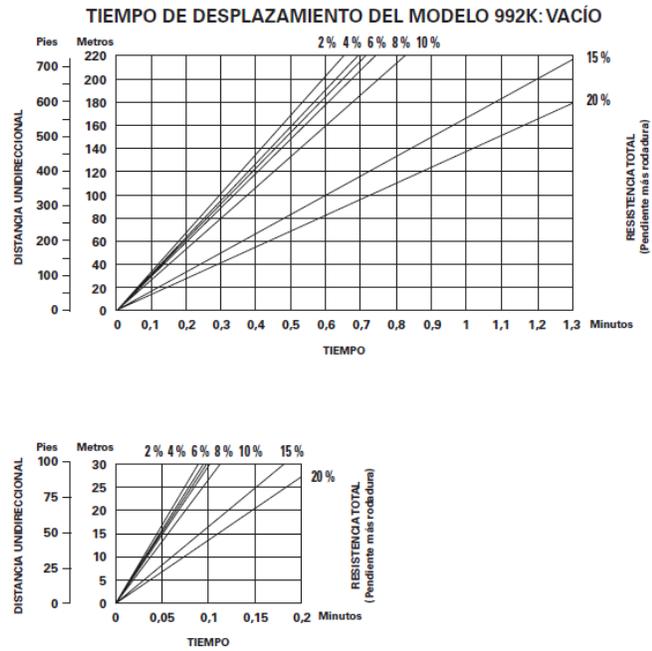


Figura 51. Tiempo de desplazamiento cargador frontal vacío

G. Rendimiento Aljibe

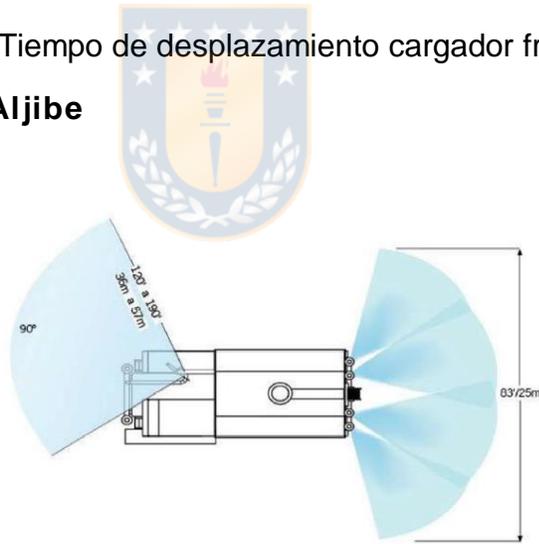


Figura 52. Alcance regadío

Cantidad de cabezas rociadoras y medida de la abertura	gpm/litros	Velocidad de avance (mph/km/h)	Distancia máxima (millas/km)
2 cabezas rociadoras a 1/4"	954/3611	10/16	3,5/5,6
2 cabezas rociadoras a 1/4"	954/3611	15/24	5,2/ 8,3
2 cabezas rociadoras a 3/8"	1243/4705	10/16	2,7/4,3
2 cabezas rociadoras a 3/8"	1243/4705	15/24	4,0/6,4
4 cabezas rociadoras a 1/4"	1504/5693	10/16	2,2/3,5
4 cabezas rociadoras a 1/4"	1504/5693	15/24	3,3/5,3
4 cabezas rociadoras a 3/8"	1572/5950	10/16	2,1/3,3
4 cabezas rociadoras a 3/8"	1572/5950	15/24	3,2/5,1

Figura 53. Desempeño challas

ABERTURA DE 3/8" Y ABANICO PLENO (TANQUE DE 2000 gal/75708 l)

SISTEMA IMPERIAL	VELOCIDAD		2 CABEZAS ROCIADORAS (FLUJO A 954 gpm/3611 l/min)				4 CABEZAS ROCIADORAS (FLUJO A 1504 gpm/5693 l/min)			
	MPH	FPM	DISTANCIA DE ROCIADO	COBERTURA TOTAL	DISPERSIÓN	CAPA DE AGUA	DISTANCIA MÁXIMA	COBERTURA TOTAL	DISPERSIÓN	CAPA DE AGUA
			(PIES)	(PIES CUADRADOS)	(GAL/PIES CUADRADOS)	(PULG/PIES CUADRADOS)	(PIES)	(PIES CUADRADOS)	(GAL/PIES CUADRADOS)	(PULG/PIES CUADRADOS)
	2	176	2832	220885	0,091	0,145	2239	145547	0,137	0,220
	5	440	7080	552212	0,036	0,058	5598	363868	0,055	0,088
	10	880	14159	1104425	0,018	0,029	11196	727735	0,027	0,044
	15	1320	21239	1656637	0,012	0,019	16794	1091603	0,018	0,029
SISTEMA MÉTRICO	KM/H	M/MIN	(METROS)	(METROS CUADRADOS)	(L/METROS CUADRADOS)	(MILIMETROS)	(METROS)	(METROS CUADRADOS)	(L/METROS CUADRADOS)	(MILIMETROS)
	3	53	853	20468	3,699	3,68	674	13487	5,613	5,59
	8	134	2156	51749	1,463	1,47	1705	34100	2,220	2,23
	16	268	4312	103497	0,731	0,74	3410	68201	1,110	1,11
	24	402	6469	155246	0,488	0,48	5115	102301	0,740	0,74

Figura 54. Rendimiento aljibe

H. Caminos mina Los Bronces

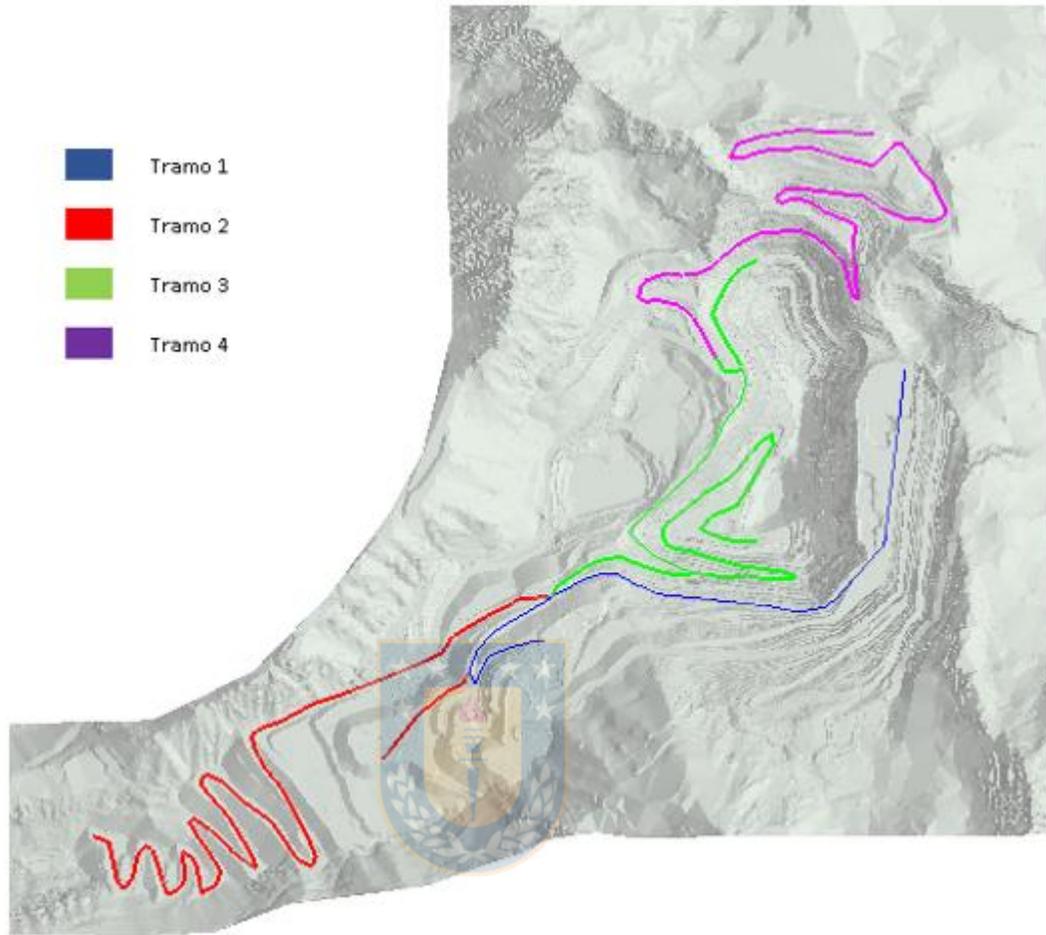


Figura 55. Caminos mina Los Bronces