



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE MINAS

**IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO DE COSTOS OPERACIONALES PARA
MINERA CENTINELA**

MEMORIA PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO CIVIL DE MINAS

JUAN ANTONIO CARVAJAL CARVAJAL

PROFESOR GUÍA

JUAN LUIS YARMUCH GUZMÁN

MIEMBROS DE LA COMISION

LINDA CASTILLO DELGADO

HANS GÖPFERT HIELBIG

SANTIAGO DE CHILE

2021

**RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR
AL TÍTULO DE:** Ingeniero Civil de Minas
POR: Juan Antonio Carvajal Carvajal
FECHA: 19/12/2021
PROFESOR GUÍA: Juan Luis Yarmuch

IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO DE COSTOS OPERACIONALES PARA MINERA CENTINELA

El desarrollo de cualquier proyecto minero conlleva la realización de una gran inversión, hecho que la mayoría de los financieros busca prorratar en el tiempo, más aún, considerando que los primeros años de operación no reflejan ingreso alguno por tratarse de etapas de desarrollo y prestripping. Sumado a ello, la ley media de los nuevos yacimientos ha ido disminuyendo con el paso de los años; lo que se traduce en menores ingresos por tonelada de mineral movido y, por consiguiente, ha llevado a las empresas mineras a evaluar diferentes modalidades que permitan postergar la inversión. Dentro de estas alternativas se encuentra la tercerización de la operación, ésta consiste en un tercero que proporciona los equipos y el personal necesario para poder llevar a cabo la explotación del yacimiento. Para la selección de este tercero, habitualmente, se realiza un proceso de licitación, es decir, un proceso reglamentado que solicita y evalúa ofertas de empresas o proveedores interesados en proporcionar el servicio.

Dado lo anterior, y tomando en consideración que ningún proyecto es igual a otro (ubicación, mineralización, profundidad, distancias de acarreo, etc.), es que surge la necesidad de contar con una herramienta que permita realizar una estimación de los gastos directos de la operación y la evolución de los costos, esto en la medida en que se avanza en la explotación del yacimiento. Lo anteriormente señalado, tiene el objetivo central de contar con un valor que permita evaluar las diferentes propuestas técnico-económicas y poder negociar en torno al valor de referencia; reparando en la existencia de propuestas que, entre ellas, tienen hasta un 50% de diferencia sólo en gastos directos (perforación, carguío y transporte).

Para el desarrollo de este trabajo se procedió a recopilar y analizar información de precios, gastos, consumos y rendimientos reportados en los últimos 16 meses de los diferentes equipos mina, propios de Minera Centinela. Equipos que se encuentran operando en el Rajo Esperanza y Rajo Tesoro. Dicha información compilada permitió calcular un costo por hora de cada equipo, así como también un costo por tonelada o metro, según correspondía. Siendo la operación de transporte la más compleja de modelar dado que su rendimiento está directamente relacionado al tiempo de ciclo, dependiendo ésta de las condiciones de la ruta y restricciones existentes.

Finalmente, la precisión de los costos estimados por el modelo fue del orden del 5% para los escenarios estudiados. Sin embargo, cabe destacar algunas deficiencias del modelo, como la reducida cantidad de equipos analizados respecto a los disponibles en el mercado y la falta de cuantificación de tiempos de espera de los medios de carga y descarga (en cola) para el cálculo del lapso de ciclo y rendimiento.

El modelo desarrollado en esta memoria fue entregado a Minera Centinela como una herramienta de apoyo a la planificación ya que, de manera rápida y trazable, entrega una estimación razonable de costos operacionales minas permitiendo, al tomador de decisiones, obtener una primera noción de los costos de un determinado proyecto.

Abstract

The development of any mining project involves the realization of a large investment, a fact that most investors seek to prorate over time, especially, considering that the first years of operation do not reflect any income, since this is when stages of development and pre-stripping take place. In addition, the average grades of the new deposits has been decreasing over the years, which translates into lower revenues per tonne of ore moved, which has led mining companies to evaluate different modalities that allow delaying the investment. Among these alternatives is the outsourcing of the operation, which is that a third party provides the necessary equipment and personnel to carry out the exploitation of the deposit. For the selection of this third party, a bidding process is usually conducted where interested companies present their proposals. by means of which proposals are requested from interested companies.

Given the above, and considering that no project is the same as another (location, mineralization, depth, haul distances), it is necessary to have a tool that allows to obtain an estimate of the direct costs of the operation and the evolution of costs to the extent that progress is made in the exploitation of the deposit, with the purpose of having a value that allows to evaluate the different technical-economic proposals and to be able to negotiate around the reference value, considering that there are proposals which have up to 50% difference among them, only in direct expenses (drilling, loading and transportation).

For the development of this work, we proceeded to gather and analyze data on prices, expenses, consumptions and returns reported in the last 16 months, of the different mining equipment, typical of Minera Centinela, which are operating in the Rajo Esperanza and Rajo Tesoro. With this information we proceeded to calculate a cost per hour per equipment, as well as a cost per ton or meter as appropriate, the transport operation being the most complex to model, since its performance is directly related to the cycle time, the which will depend on the conditions of the route and existing restrictions.

Finally, the precision of the costs estimated by the model was of the order of 5% for the scenarios studied. Nevertheless, it is worth noting some deficiencies of/in the model, such as the small quantity of equipment analyzed, with respect to those available on the market and the lack of quantification of the average waiting times for loading and downloading (queued) to calculate cycle time and performance. The model developed in this report, was delivered to Minera Centinela as a planning support tool that, quickly and traceable, provides a reasonable operational cost estimate of the mine, allowing the decision maker to obtain a first notion of the costs of a certain project.

Agradecimientos

Primero que todo agradecer a mi madre, Verónica Carvajal, su fuerza, su sacrificio, su entrega y su apoyo incondicional durante toda la carrera. Además de siempre querer lo mejor para mí, entregándome todas las herramientas y facilidades para poder sacar esto adelante sin grandes presiones.

A mi pareja, Nataly Salas, por estos 7 años de mutua entrega, donde a pesar de la distancia siempre supo estar presente con su apoyo y buenas energías, incentivándome y motivándome a no darme por vencido a pesar de las caídas.

A mi hijo, Facundo Carvajal, que desde que llegó a mi vida fue una inyección de motivación, de energía e inspiración para seguir adelante.

Además, a Juan Pablo Gracia y José Luis Asenjo amigos desde el colegio. Gracias por el apoyo, la confianza, todas las historias juntos y por siempre, a pesar de los distintos caminos que escogimos vivir cada uno, mantener el contacto y la amistad.

Amigos y compañeros de universidad, en especial a Mauricio Días y Gabriel Melnick, agradecer por todas las noches de estudio y trabajo, preparando informes y presentaciones, por los momentos dentro y fuera de la universidad, por el apoyo incondicional cada vez que fue necesario.

A todo el equipo de Minera Centinela, en especial a Claudio Herrera, por confiar en mí y darme la oportunidad de llevar a cabo este trabajo. Además, de toda la experiencia transmitida y las posibilidades de desarrollo entregadas.

Finalmente, y de suma importancia, mi profesor guía Juan Luis Yarmuch. Gracias por entregarme su confianza y creer en mí desde un principio, por prestarme el apoyo necesario y ayudarme a superar los inconvenientes que surgieron en el camino y, así, lograr con éxito este trabajo.

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
1.1 Objetivos	2
1.1.1 Objetivos Específicos	2
1.2 Alcances	2
2. Metodología	3
3. Antecedentes	5
3.1 Minera Centinela	7
4. Marco Teórico	10
4.1 Operaciones Mineras	10
4.2 ASARCO.....	13
4.3 Depreciación	14
5. Análisis y Resultados	16
5.1 Análisis de Equipos.....	17
5.1.1 Perforación.....	17
5.1.1.1. Perforadora Epiroc DMM3.....	19
5.1.1.2. Perforadora Epiroc DM45.....	21
5.1.1.3 Perforadora Epiroc Pit Viper 351	23
5.1.1.4 Perforadora Epiroc Pit Viper 271	25
5.1.1.5 Perforadora Atlas Coppco Roc L8.....	27
5.1.1.6 Perforadora Sandvik DR560	29
5.1.2 Carguío.....	30
5.1.2.1. Pala Eléctrica P&H 4100 XPC.....	32
5.1.2.2. Excavadora Hidráulica KOMATSU PC5500.....	33
5.1.2.3. Excavadora Hidráulica KOMATSU PC8000.....	34
5.1.2.4. Cargador Frontal P&H L2350.....	37
5.1.2.5. Cargador Frontal CATERPILLAR 994K	38
5.1.2.6. Cargador Frontal CATERPILLAR 994F.....	39
5.1.3. Transporte.....	41
5.1.3.1. Camión de Extracción CATERPILLAR 797F.....	42
5.1.3.2. Camión de extracción CATERPILLAR 793F	43
5.1.3.3. Camión de extracción KOMATSU 930E.....	45

5.1.4 Servicios de Apoyo.....	46
5.1.4.1. Camión Aljibe/Aguatero.....	46
5.1.4.2. Bulldozer	47
5.1.4.3. Motoniveladora.....	47
5.1.4.4. Whelldozer	48
5.1.4.5. Excavadora Secundaria	49
5.2 Análisis de Datos.....	50
5.2.1 Análisis Equipos de Carguío	53
5.2.2 Análisis Equipos de Transporte.....	55
5.2.3 Análisisde Costos Perforación.....	59
5.2.4 Análisis Equipos de Apoyo	61
5.3 Desarrollo del Modelo	62
5.3.1 Calibración	64
5.4 Resultados	65
6. Conclusión.....	69
7. Recomendaciones.....	70
8. Bibliografía.....	71
9. Anexos	72

Índice Ilustraciones

Ilustración 1. Operaciones administradas y operadas por el grupo Antofagasta Minerals.....	6
Ilustración 2. Proyectos presentes y futuros del Distrito Minero Centinela.	7
Ilustración 3. Minera Centinela y sus rajos Esperanza (1), Tesoro (2), Tesoro Central (3) y Tesoro Mirador (4).....	8
Ilustración 4. Línea de óxidos de Minera Centinela.....	8
Ilustración 5. Línea de sulfuros de Minera Centinela.....	9
Ilustración 6. Esquema Actividades de Operación Minera	10
Ilustración 7. Perforación pozos de producción rajo Óxido Encuentro.	11
Ilustración 8. Tronadura Fase 02, Banco 2168 del rajo Óxido Encuentro.	12
Ilustración 9. Operación de carguío de minera, en Minera Centinela.	12

Ilustración 10. Transporte de material en equipo Caterpillar 793.	13
Ilustración 11. Matriz de costos de carguío y transporte.	63
Ilustración 12. Velocidad máxima cargado o vacío en subida, para un camión de extracción CAT 793F.	74
Ilustración 13. Velocidad máxima cargado o vacío en subida, para un camión de extracción CAT 797.	74
Ilustración 14. Velocidad máxima cargado o vacío en subida, para un camión de extracción Komatsu 930E.	75
Ilustración 15. Ventana de inicio formulario Visual Basic.	75
Ilustración 16. Ventana de configuración, operación de carguío y transporte.	76
Ilustración 17. Ventana de configuración, operación de perforación.	76
Ilustración 18. Ventana de selección, equipos de apoyo.	77

Índice de Figuras

Figura 1. Inputs y parámetros considerados para la obtención del costo unitario [USD/metro].	18
Figura 2. Inputs y parámetros considerados para la obtención del costo unitario de producción de equipos de carguío sobre oruga [USD/tonelada].	31
Figura 3. Inputs y parámetros considerados para la obtención del costo unitario de producción de equipos de carguío sobre ruedas [USD/TONELADA].	36
Figura 4. Inputs y parámetros considerados para la obtención del costo unitario de producción [USD/tonelada].	41

Índice de Gráficos

Gráfico 1. Distribución de costos mina, abril del 2018, en base a un valor de 1,99 USD/ton (izquierda) y abril del 2019 en base a un valor de 2,07 USD/ton (derecha)	16
Gráfico 2. Distribución de gastos de perforación.	18
Gráfico 3. Distribución de gastos de equipos de carguío sobre oruga.	31
Gráfico 4. Distribución de gastos para equipos de carguío sobre ruedas.	36
Gráfico 5. Distribución de gastos de la operación de transporte.	41
Gráfico 6. Rendimiento de perforación mes de junio 2018, perforadora Pit Viper 271	51

Gráfico 7. Análisis de sensibilidad, equipos de carguío sobre oruga.	53
Gráfico 8. Análisis de sensibilidad, equipos de carguío sobre ruedas.....	54
Gráfico 9. Análisis de sensibilidad, equipos de transporte.	56
Gráfico 10. Análisis de sensibilidad de transporte por restricción de velocidad. ...	57
Gráfico 11. Análisis de sensibilidad de transporte por variación de pendiente.....	58
Gráfico 12. Análisis de sensibilidad de perforación.	60
Gráfico 13. Comparación de gastos reales v/s entregados por el modelo.	65

Índice de Tablas

Tabla 1. Ítems de gastos de Minera Centinela.	3
Tabla 2. Norma ASARCO utilizada por Minera Centinela.	14
Tabla 3. Antecedentes perforadora Epiroc DMM3.	19
Tabla 4. Distribución gastos de mantenimiento perforadora Epiroc DMM3.....	19
Tabla 5. Resumen estadístico consumo combustible perforadora Epiroc DMM3.	19
Tabla 6. Gasto por consumo de aceros según diámetro de perforación perforadora Epiroc DMM3.....	20
Tabla 7. Resumen estadístico rendimiento perforadora Epiroc DMM3.	21
Tabla 8. Antecedentes perforadora Epiroc DM45-	21
Tabla 9. Distribución gastos de mantenimiento perforadora Epiroc DM45.....	21
Tabla 10. Resumen estadístico consumo combustible perforadora Epiroc DM45.	22
Tabla 11. Gasto por consumo de aceros según diámetro de perforación, perforadora Epiroc DM45.....	22
Tabla 12. Resumen estadístico rendimiento perforadora Epiroc DM45.	23
Tabla 13. Antecedentes perforadora Pit Viper 351 Diesel.....	23
Tabla 14. Distribución gastos de mantenimiento perforadora PV 351.....	23
Tabla 15. Resumen estadístico consumo de combustible perforadora PV 351. ...	24
Tabla 16. Gasto por consumo de aceros según diámetro de perforación, perforadora PV 351.....	24
Tabla 17. Resumen estadístico rendimiento de perforación perforadora PV 351.	25
Tabla 18. Antecedentes perforadora Pit Viper 271.....	25
Tabla 19. Distribución gastos de mantenimiento perforadora PV 271.....	25
Tabla 20. Resumen estadístico consumo de combustible perforadora PV 271. ...	26
Tabla 21. Gasto por consumo de aceros según diámetro de perforación, perforadora PV 271.....	26

Tabla 22. Resumen estadístico rendimiento de perforación perforadora PV 271.	27
Tabla 23. Antecedentes perforadora Atlas Coppco Roc L8.....	27
Tabla 24. Distribución gastos de mantenimiento perforadora ROC L8.	27
Tabla 25. Resumen estadístico consumo combustible perforadora Roc L8.....	28
Tabla 26. Gasto por consumo de aceros según diámetro de perforación, perforadora Roc L8.....	28
Tabla 27. Resumen estadístico rendimiento de perforación, perforadora Roc L8.	29
Tabla 28. Antecedentes perforadora Sandvik DR560.	29
Tabla 29. Distribución gastos de mantenimiento perforadora DR560.	29
Tabla 30. Resumen estadístico consumo de combustible perforadora DR560.	29
Tabla 31. Gasto por consumo de aceros de perforación según diámetro, perforadora DR560.	30
Tabla 32. Resumen estadístico rendimiento de perforación, perforadora DR560.	30
Tabla 33. Antecedentes Pala Eléctrica P&H 4100 XPC.	32
Tabla 34. Distribución gastos de mantenimiento Pala P&H 4100 XPC.	32
Tabla 35. Resumen estadístico consumo de energía pala P&H 4100 XPC.	32
Tabla 36. Resumen estadístico rendimiento de carguío pala P&H 4100 XPC.	33
Tabla 37. Antecedentes excavadora hidráulica Komatsu PC5500.....	33
Tabla 38. Distribución gastos de mantenimiento excavadora PC5500.	33
Tabla 39. Resumen estadístico consumo de combustible excavadora PC5500. ...	34
Tabla 40. Resumen estadístico rendimiento de carguío excavadora PC5500.	34
Tabla 41. Antecedentes excavadora hidráulica Komatsu PC8000.....	34
Tabla 42. Distribución gastos de mantenimiento excavadora PC8000.	35
Tabla 43. Resumen estadístico consumo de combustible excavadora PC8000. ...	35
Tabla 44. Resumen estadístico rendimiento de carguío excavadora PC8000.	35
Tabla 45. Antecedentes cargador frontal P&H L2350.	37
Tabla 46. Distribución de gastos de mantenimiento CF P&H L2350.....	37
Tabla 47. Resumen estadístico consumo de combustible CF P&H L2350.	37
Tabla 48. Resumen estadístico rendimiento de carguío CF P&H L2350.	38
Tabla 49. Antecedentes cargador frontal Caterpillar 994K.....	38
Tabla 50. Distribución gastos de mantenimiento CF CAT 994K.....	38
Tabla 51. Resumen estadístico consumo de combustible CF CAT 994K.	39
Tabla 52. Resumen estadístico rendimiento de carguío CF CAT 994K.	39
Tabla 53. Antecedentes cargador frontal Caterpillar 994F.	39

Tabla 54. Distribución gastos de mantenimiento CF CAT 994F.....	40
Tabla 55. Resumen estadístico consumo de combustible CF CAT 994F.	40
Tabla 56. Resumen estadístico rendimiento de carguío CF CAT 994F.	40
Tabla 57. Antecedentes camión de extracción Caterpillar 797F.	42
Tabla 58. Distribución gastos de mantenimiento CAEX CAT 797F.....	42
Tabla 59. Resumen estadístico consumo de combustible CAEX CAT 797F.	43
Tabla 60. Resumen estadístico vida útil neumáticos CAEX CAT 797F.....	43
Tabla 61. Antecedentes camión de extracción CAT 793F.....	43
Tabla 62. Distribución gastos de mantenimiento CAEX CAT 793F.....	44
Tabla 63. Resumen estadístico CAEX CAT 793F.....	44
Tabla 64. Resumen estadístico vida útil neumáticos CAEX CAT 793F.....	44
Tabla 65. Antecedentes camión de extracción Komatsu 930E.	45
Tabla 66. Distribución gastos de mantenimiento CAEX KOMATSU 930E.	45
Tabla 67. Resumen estadístico consumo de combustible CAEX Komatsu 930E.	45
Tabla 68. Resumen estadístico vida útil neumático CAEX Komatsu 930E.	46
Tabla 69. Antecedentes camión guatero CAT 777G.	46
Tabla 70. Antecedentes bulldozer CAT D11T.	47
Tabla 71. Antecedentes bulldozer CAT D10T2.	47
Tabla 72. Antecedentes motoniveladora CAT 16M.	48
Tabla 73. Antecedentes motoniveladora CAT 24M.	48
Tabla 74. Antecedentes whelldozer CAT 834K.	49
Tabla 75. Antecedentes whelldozer CAT854K.	49
Tabla 76. Antecedentes excavadora CAT 374L.	49
Tabla 77. Antecedentes excavadora CAT 349D.	50
Tabla 78. Extracto registro de carga de combustible.	51
Tabla 79. Valor hora equipos de carguío.	53
Tabla 80. Valor hora equipos de transporte.	55
Tabla 81. Valor hora equipos de perforación.....	59
Tabla 82. Valor hora equipo de servicio sobre oruga.	61
Tabla 83. Valor hora equipo de servicio sobre ruedas.	61
Tabla 84. Resumen de costo y gastos de perforación según modelo.	63
Tabla 85. Resumen de la operación del rajo Óxido Encuentro.	64
Tabla 86. Propuesta económica empresa N°1.....	66

Tabla 87. Evaluación propuesta económica N°1 utilizando el modelo.	66
Tabla 88. Propuesta económica empresa N°2.	66
Tabla 89. Evaluación propuesta económica empresa N°2 utilizando el modelo. ...	67
Tabla 90. Propuesta económica empresa N°3.	67
Tabla 91. Evaluación propuesta económica empresa N°3 utilizando el modelo. ...	67
Tabla 92. Valorización del gasto de carguío, transporte y servicios mediante el modelo del proyecto rajo Mirador Fase 4.	68
Tabla 93. Detalle gastos de mantenimiento perforadora DMM3.	77
Tabla 94. Detalle gastos de mantenimiento perforadora PV351.	78
Tabla 95. Detalles de gastos de mantenimiento perforadora DR560.	79
Tabla 96. Detalle gastos de mantenimiento perforadora Roc L8.	80
Tabla 97. Detalle gastos de mantenimiento perforadora DM45.	81
Tabla 98. Detalle gastos de mantenimiento perforadora PV271.	82
Tabla 99. Detalle gastos de mantenimiento pala eléctrica P&H 4100 XPC.	83
Tabla 100. Detalle gastos de mantenimiento excavadora KOMATSU PC5500. ...	84
Tabla 101. Detalle gastos de mantenimiento excavadora KOMATSU PC8000. ...	85
Tabla 102. Detalle gastos de mantenimiento CF P&H L2350.	86
Tabla 103. Detalle gastos de mantenimiento CF CAT 994K.	87
Tabla 104. Detalle gastos de mantenimiento CF CAT 994F.	88
Tabla 105. Detalle gastos de mantenimiento CAEX CAT 797F.	89
Tabla 106. Detalle gastos de mantenimiento CAEX CAT 793F.	90
Tabla 107. Detalles gastos de mantenimiento CAEX KOMATSU 930E.	90
Tabla 108. Detalle gastos de mantenimiento camión aljibe CAT 777G.	91
Tabla 109. Detalle gastos de mantenimiento Bulldozer CAT D10T2.	92
Tabla 110. Detalle gastos de mantenimiento Bulldozer CAT D11T.	93
Tabla 111. Detalle gastos de mantenimiento Motoniveladora CAT 24M.	94
Tabla 112. Detalle gastos de mantenimiento Motoniveladora CAT 16M.	95
Tabla 113. Detalle gastos de mantenimiento Whelldozer CAT 834K.	96
Tabla 114. Detalle gastos de mantenimiento Whelldozer CAT 854K.	97
Tabla 115. Detalle gastos de mantenimiento Excavadora CAT 374L.	98
Tabla 116. Detalle gastos de mantenimiento Excavadora CAT 349D.	99

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1. Depreciación método Lineal.	14
Ecuación 2. Tasa de depreciación para método de saldos decrecientes.	14
Ecuación 3. Depreciación método saldos decrecientes.	15
Ecuación 4. Valor actualizado para método de saldos decrecientes.	15
Ecuación 5. Depreciación método de la suma de los dígitos.	15
Ecuación 6. Valor depreciado por producto producido.	15
Ecuación 7. Depreciación para el método basado en las unidades producidas.	15
Ecuación 8. Factor de ajuste.	64

1. Introducción

Minera Centinela nace el año 2014, con la idea de capturar la sinergia entre las operaciones de las minas Tesoro y Esperanza. A partir de entonces se han llevado a cabo exploraciones en la zona, encontrándose diversos yacimientos de baja ley. -El año 2016 se tramita y aprueba la Resolución de Calificación Ambiental¹ (RCA) del proyecto “Distrito Minero Centinela” (DMC), el cual considera la explotación de varios yacimientos, entre ellos se ubican: Encuentro, Esperanza Sur, Tesoro Mirador, Sherezade y Polo Sur.

La gran cantidad de yacimientos, de baja ley existentes, obliga a la compañía a evaluar diferentes opciones para su explotación. Las alternativas evaluadas fueron: 1) Explotación con equipos y personal propios, 2) Arriendo de equipos y personal propio, 3) Equipos propios y personal externo y 4) Externalización de toda la explotación. Posteriormente, se definió que el modelo más beneficioso para la compañía sería este último; evitando o postergando la inversión para etapas de minerales de sulfuro o de mejor ley y, por consiguiente, estimar que todos los proyectos futuros se abordarían de la misma manera.

De este modo, en el año 2017, el proyecto “Óxido Encuentro” fue el primero en ser licitado para su proceso de prestripping. Un año después (2018), se decide licitar nuevamente el proyecto por un periodo de 52 meses para su etapa de explotación. En tal circunstancia, cada propuesta fue revisada por un agente experto, un benchmarking en la industria y, finalmente, se llevó a cabo la comparación entre las diferentes propuestas. Asimismo, se generaron rondas de preguntas y negociaciones que dieron como resultado la adjudicación del trabajo a la empresa THIESS. Sin embargo, las grandes diferencias entre los gastos directos de perforación, carguío y transporte, propuestos por cada empresa (los cuales van desde 10 MUSD hasta más de 100 MUSD), llevan a plantearse las causas que explican estas disimilitudes. Nombrar, por ejemplo, entre estas causas: los equipos considerados en la operación, sus consumos y rendimientos, la disponibilidad operacional y la utilización efectiva.

Dado que, Esperanza Sur y Tesoro Mirador Fase 04, serán explotados bajo la misma modalidad, es que surge la necesidad de contar con una herramienta que permita estimar los costos directos de carguío y transporte, perforación según las condiciones operacionales del proyecto (equipos utilizados, distancia total a recorrer, diferencia de cota origen - destino, pendiente, velocidad máxima permitida, tipo de material (mineral – estéril)) y factores externos (precio del combustible, precio de la energía, valor del operador). De manera tal que, las estimaciones señaladas anteriormente, permitan evaluar las diferentes propuestas. Así como también, obtener los costos directos que significan la explotación de un determinado proyecto o las diferentes alternativas que puede evaluar o peritar la empresa.

¹ Resolución de Calificación Ambiental (RCA) es un documento administrativo que se obtiene una vez culminado el proceso de evaluación de un Estudio de Impacto Ambiental (EIA) o de una Declaración de Impacto Ambiental (DIA) y tiene por finalidad comunicar la aprobación o reprobación del proyecto presentado.

La investigación aquí presentada consiste en la recopilación, procesamiento y análisis de datos de las distintas operaciones de Minera Centinela. El objetivo es desarrollar un modelo que permita estimar los costos de operación, tanto para futuros proyectos mineros como para etapas posteriores de planes y ejecuciones ya existentes.

1.1 Objetivos

El objetivo principal de esta investigación consiste en desarrollar un modelo que permita estimar los costos directos de operación (perforación, carguío y transporte) para nuevos escenarios y proyectos futuros, basándose en datos históricos de Minera Centinela.

1.1.1 Objetivos Específicos

1. Identificar los factores determinantes en los costos directos de explotación.
2. Analizar e identificar la relación entre los insumos y el impacto en los costos directos.
3. Implementar, computacionalmente, un modelo de costos que aporte en las estimaciones para escenarios y proyectos futuros.
4. Evaluar diferentes alternativas de equipos para la realización de las operaciones productivas.
5. Generar una base de comparación de los costos directos, contenidas en las propuestas técnicas económicas, para la explotación de los diferentes proyectos en licitación.

1.2 Alcances

Para el desarrollo de esta herramienta se consideró información de Minera Centinela, comprendida entre enero de 2018 y abril de 2019 (16 meses continuos). Esta información abarca todos los costos involucrados en la explotación minera (operaciones, mantenimiento, campamento, tronadura, servicios y gastos generales).

Este es un modelo de evaluación estático, dado que utiliza parámetros fijos. Para su construcción se utilizaron datos operacionales, financieros y de mantenimiento.

En suma, se considera un modelo de evaluación de corto plazo, dado que durante ese tiempo al menos uno de los factores relacionados a la producción permanece constante. Es importante mencionar que el corto plazo es un periodo que puede ir desde unos días hasta varios años.

2. Metodología

Para el cumplimiento de los objetivos descritos en el punto 1.1 se requiere entender y comprender todo lo que implica una operación minera, tanto en su conjunto como en lo individual. Para ello, se genera un plan de pasantía por todas las áreas de interés:

- Operaciones.
- Mantenimiento.
- Abastecimiento.
- Recursos Humanos.
- Suministros Estratégicos (energía, agua y combustible).
- Finanzas.

Este proceso, citado anteriormente, es fundamental para la identificación de factores determinantes en el costo mina y, particularmente, en la revisión de los antecedentes financieros. En dicha revisión se identificaron 25 ítems, señalados en la Tabla 1.

TABLA 1. ÍTEMS DE GASTOS DE MINERA CENTINELA.

Materiales y repuestos.	Aceros de desgaste.
Combustibles / Lubricantes.	Agua.
Remuneración empleados.	Servicios (higiene, salud y seguridad).
Explosivos y accesorios de tronadura.	Entrenamiento, capacitación, talleres.
Servicios de mantenimiento.	Impuestos / Patentes/ Legales.
Neumáticos.	Asesorías y consultorías.
Gastos de campamento.	Servicios transversales.
Remuneraciones de supervisores.	Gastos de viajes.
Reparaciones.	Otros gastos de energía.
Indirectos de mantención.	Mano de obra mantención externa.
Energía.	Programa Competitividad y Costos.
Arriendos.	Informática y comunicaciones.
	Otros.

Importante hacer hincapié en que sólo el 20% de ellos (5) representan el 80 % de los gastos, lo que obedece la regla de Pareto. Es más, el 32% de los ítems (8) representan el 95% de los gastos; lo que deja en evidencia los aspectos más influyentes en el costo de producción final. No obstante, como se busca generar un modelo que entregue los costos directos de operación, de los 25 ítems mencionados en la tabla 1, se seleccionan los directamente adheridos a la operación, como:

- Materiales y repuestos.
- Servicio de mantenimiento.
- Reparaciones.
- Mano de obra mantención externa.
- Combustible/Lubricantes.
- Energía.
- Neumáticos.
- Aceros de desgaste.
- Remuneración de empleados.

A esos puntos se les debe sumar el concepto de depreciación, derivado de la inversión realizada por la compra de cada equipo.

Posterior a la identificación de los ítems relevantes involucrados en la operación, se procede a la recopilación y análisis detallado de la información. Como parte del estudio se contempla análisis estadísticos y análisis de sensibilidad; los que permitirán ir evaluando los impactos que tienen cada uno de los factores en el costo final. Así también, posibilitará identificar la dependencia de ellos con respecto a algunos parámetros, principalmente aquellos que apuntan al transporte como la actividad más dinámica en la operación.

Una vez definidas las dependencias de cada uno de los ítems, se prosigue a construir el modelo; el cual busca poder representar el costo de extracción en cualquier etapa de un proyecto y bajo diferentes condiciones.

Desarrollado el patrón, se considera una etapa de calibración en la cual, con el modelo, se estima el costo de una operación y luego se comparará con el valor real. En caso de existir una diferencia con cierta tendencia (siempre superior o siempre inferior) o superiores al 5% se procederá a ajustar los factores utilizados dentro del rango definido, por aproximadamente la desviación estándar obtenida en el análisis estadístico de cada ítem.

En suma, el modelo queda listo para ser utilizado de forma fácil y rápida tanto en la evaluación de presupuestos, análisis de OPEX para proyectos, evaluación de casos base y propuestas técnico-económicas; en efecto, para cuando sea requerido.

3. Antecedentes

En la siguiente sección se presenta “Antofagasta Minerals”, con las distintas faenas que opera en Chile y los futuros proyectos más importantes que posee en carpeta, tanto a nivel nacional como internacional. Finalmente, se presenta más en detalle la operación de Minera Centinela. Lugar donde tiene origen este trabajo de investigación, debido a los destacados e importantes proyectos futuros contemplados.

Antofagasta Minerals

Antofagasta Minerals es el principal grupo minero privado chileno, el cuarto productor de cobre del país y el noveno a nivel mundial. Está organizada como sociedad anónima cerrada y es filial de Antofagasta plc. El control de Antofagasta plc pertenece al grupo Luksic, que posee el 65% de su propiedad (Fuente: www.aminerals.cl/que-hacemos/inversionistas/)

Antofagasta Minerals destaca por ser pionera en el uso de agua de mar, sin desalar, para la producción de cobre y en ser los primeros en la industria en aplicar la tecnología de relaves espesados a gran escala, los que contienen entre 65 y 75% de sólido dependiendo de la composición. Reduciendo, considerablemente, el consumo de agua debido a una mayor recuperación de esta misma (+50%) en comparación a los depósitos de relaves convencionales.

Antofagasta Minerals actualmente controla las operaciones de cuatro compañías mineras, ubicadas en la Segunda y Cuarta Región, y tiene contemplado el desarrollo de varios proyectos los cuales se pueden apreciar en la ilustración1.

- **Minera Antucoya:** Ubicada en la región de Antofagasta, entre las comunas de María Elena y Mejillones. Con una inversión de US\$1.900 millones, la operación entra en producción en el año 2015 obteniendo su primer cátodo de cobre fino y en 2018 su producción alcanzó las 72.200 toneladas de cátodos de cobre. (Fuente: web.antucoya.cl/).
- **Minera Centinela:** Ubicada en la región de Antofagasta, en las cercanías de la comuna de Sierra Gorda. Creada en Julio de 2014 como integración de las mineras El Tesoro y Esperanza. En el año 2018 su producción fue de 155.500 toneladas de concentrado de cobre con una ley media de 24%, 92.500 toneladas de cátodos de cobre y 146.900 onzas de oro. (Fuente: web.mineracentinela.cl).
- **Minera Zaldívar:** Ubicada en la precordillera de la región de Antofagasta, a una altura de 3.300 metros sobre el nivel del mar. El 1 de diciembre del año 2015 comienza a ser operada por Antofagasta Minerals luego de adquirir el 50% de la propiedad a Barrick Gold Corporation. En 2018, la producción atribuible a Antofagasta Minerals, alcanzó las 47.300 toneladas de cátodos de cobre. (Fuente: web.minerazaldivar.cl).

- **Minera Los Pelambres:** Ubicada en la cordillera de la Región de Coquimbo, en la comuna de Salamanca. En 1985 Antofagasta Holdings adquiere Anaconda Chile y sus derechos sobre Los Pelambres, iniciando sus operaciones subterráneas en 1992 y su desarrollo como cielo abierto en 1997. Su producción en el año 2018 fue de 357.800 toneladas de concentrado de cobre con una ley media de 25%, 13.300 toneladas de concentrado de molibdeno y 63.200 onzas de oro (Fuente: web.pelambres.cl).



ILUSTRACIÓN 1. OPERACIONES ADMINISTRADAS Y OPERADAS POR EL GRUPO ANTOFAGASTA MINERALS.

- **Proyecto Infraestructura Complementaria Minera Los Pelambres (INCO):** con una inversión de US\$1.300 millones este proyecto en ejecución busca asegurar la capacidad productiva de Minera Los Pelambres. Para ello, contempla la construcción de una planta desalinizadora de osmosis inversa en la comuna de Los Vilos, un sistema de bombeo y conducción hasta faena. Además, del reforzamiento de la capacidad de procesamiento de mineral en la planta concentradora Chacay mediante la implementación de nuevos equipos de molienda y una nueva línea de flotación. (Fuente: www.aminerals.cl/que-hacemos/proyectos-y-exploraciones/).
- **Twin Metals Minnesota (TMM):** Es el proyecto internacional con mayor grado de avance del grupo minero Antofagasta Minerals. Posee reservas de cobre, níquel y metales del grupo del platino. Actualmente se trabaja en sus estudios de prefactibilidad. (Fuente: www.aminerals.cl/que-hacemos/proyectos-y-exploraciones/).

- **Distrito Minero Centinela (DMC):** Aprobada su RCA en el año 2016, este proyecto contempla una intensificación en las campañas de exploración y explotación de yacimientos de óxidos de baja ley (ver Ilustración 2), dentro de los cuales se encuentran los proyectos: “Óxidos Encuentro” (en explotación), “Esperanza Sur” (en licitación), “Tesoro Mirador Fase 04” (en licitación), “Paleo Canal”, “Sherezade” y “Polo Sur”, estos últimos tres en etapa de estudio. Además, una alternativa para la expansión de Minera Centinela es la construcción de un segundo concentrador a unos 7 kilómetros del concentrador actual. Sobre el cual se espera, que tenga una capacidad de procesamiento de mineral de aproximadamente 90.000 toneladas por día. (Fuente: www.aminerals.cl/que-hacemos/proyectos-y-exploraciones/)

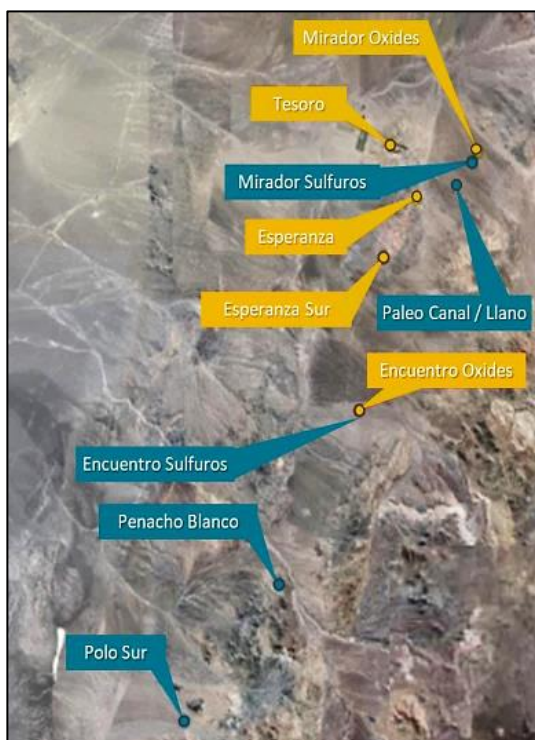


ILUSTRACIÓN 2. PROYECTOS PRESENTES Y FUTUROS DEL DISTRITO MINERO CENTINELA.

3.1 Minera Centinela

El 7 de Julio de 2014 nace Minera Centinela, con el objetivo de capturar las sinergias de las operaciones de la mina El Tesoro y mina Esperanza. Esto aprovechando las condiciones geográficas, técnicas y logísticas que hacían posible una planificación y operación integrada.

Ubicada en la región de Antofagasta, a 27 kilómetros al sureste de la localidad de Sierra Gorda, Minera Centinela Pertenece en un 70% a Antofagasta Minerals y en un 30% a Marubeni Corporation.(Fuente: web.mineracentinela.cl).

Minera Centinela, hoy en día, cuenta con 5 rajos, de los cuales 4 de ellos se muestran en la Ilustración 3. El rajo Tesoro Mirador (4) se encuentra a la espera de adjudicación para continuar con su explotación en la fase 4.



ILUSTRACIÓN 3. MINERA CENTINELA Y SUS RAJOS ESPERANZA (1), TESORO (2), TESORO CENTRAL (3) Y TESORO MIRADOR (4).

Actualmente, Minera Centinela posee una línea de óxidos y una línea de sulfuros indicadas en las Ilustraciones 4 y 5 respectivamente. La primera de ellas es alimentada por los rajos Tesoro (2), Tesoro Central (3) y óxidos Encuentro. De esta línea se obtienen como productos cátodos de cobre, mediante el proceso de extracción por solvente y electro-obtención. Destaca dentro de este proceso la planta termo solar, única en su tipo, que permite aumentar la temperatura del agua y de las soluciones de electro-obtención (SX-EW); reduciendo en un 4% el total de emisiones de la línea de óxidos y en un 55% el consumo de diesel utilizado en los calentadores que forman parte del proceso extractivo. (Fuente: web.mineracentinela.cl).

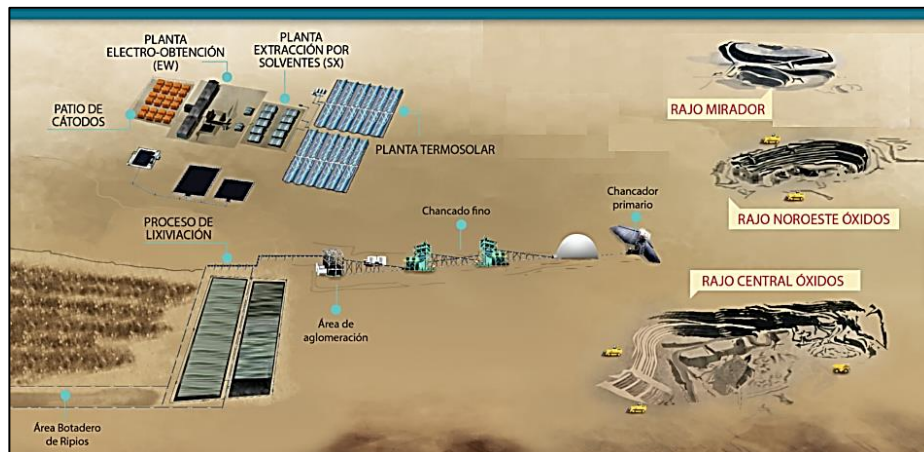


ILUSTRACIÓN 4. LÍNEA DE ÓXIDOS DE MINERA CENTINELA.

Por su parte la línea de sulfuros, alimentada por el rajo Esperanza, produce concentrado de cobre con oro como subproducto principal, mediante el proceso de molienda y flotación. Concentrado que es trasladado hasta el puerto de Minera Centinela, ubicado en las cercanías de Michilla, esto mediante concentraducto. En este proceso destacan la utilización de relaves espesados los que permiten un ahorro significativo en la utilización de agua y la planta de molibdeno construida en 2015 con una inversión de 125 millones de dólares (Fuente: web.mineracentinela.cl).



ILUSTRACIÓN 5. LÍNEA DE SULFUROS DE MINERA CENTINELA.

Minera Centinela, tiene estimado iniciar las operaciones de explotación del proyecto rajo Esperanza Sur para fines del año 2019. La inversión correspondiente alcanzaría los 2.700 Millones de dólares, dado que considera la implementación de camiones autónomos a partir del año 2022. Sin embargo, para los dos primeros años de operación está contemplada la tercerización de la operación. (Fuente: Gerencia de Asuntos Corporativos y Sustentabilidad, Antofagasta, 2016).

Por último, entre las motivaciones que surgieron para la realización de este trabajo de investigación están el conocer y entender ampliamente y en detalle, la operación minera y todos sus derivados (consumos, rendimientos, gastos, disponibilidades, utilización, costos, etc.). Desde lo anteriormente señalado, aportar a la compañía con la elaboración de un modelo de costos acorde a las condiciones de la zona, y que éste contribuya a la evaluación de futuros proyectos y elaboración de presupuestos. A ello, se suma el hecho de poder compartir este trabajo con el resto de los estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil de Minas, quienes generalmente, a la hora de realizar proyectos y trabajos, tienen dificultades para poder recopilar antecedentes de la operación misma.

4. Marco Teórico

El método de explotación es la estrategia global que permite la extracción de un cuerpo mineralizado del modo técnico y económico más eficiente. Se pueden identificar dos grandes grupos: 1) los métodos de explotación de superficie y 2) subterráneos; los que a su vez cuentan con subdivisiones dependiendo de sus características más específicas.

4.1 Operaciones Mineras

En minas a cielo abierto, el conjunto de las operaciones tiene como objetivo final poder extraer la roca in situ del yacimiento y depositarla en el lugar de destino.

Particularmente, las operaciones mineras unitarias se dividen en: perforación, tronadura, carguío y transporte, tal como se muestra en la Ilustración 6. Los equipos utilizados en cada operación unitaria varían según el método, las condiciones técnico-económicas del proyecto y requerimientos propios del dueño.

No obstante, las operaciones unitarias y, en general, el desarrollo de un proyecto minero no se podría llevar a cabo sin los servicios de apoyo, los cuales, para minas a cielo abierto, consideran equipos como: camiones aljibes, motoniveladora, wheel loader, bulldozer, excavadoras, entre otros.

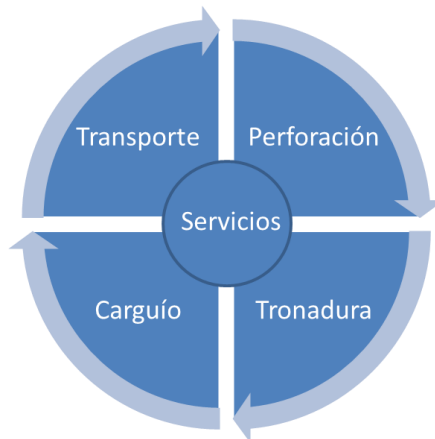


ILUSTRACIÓN 6. ESQUEMA ACTIVIDADES DE OPERACIÓN MINERA.

Los servicios de apoyo consisten principalmente en: la construcción y mantención de caminos y pretilas, mantención de botaderos y zonas de carguío, construcción de patios de perforación, construcción de zanjas, remates de caja, entre otras.

El proceso de perforación, como se muestra en la Ilustración 7, está referido a la realización de pozos de distintos diámetros, profundidades y con diferentes objetivos. Esta ejecución dependerá de su ubicación en un esquema geométrico previamente establecido de acuerdo con las características de la roca y condiciones geotécnicas, en donde posteriormente se alojarán cargas explosivas.

Minera Centinela cuenta con diversos equipos de perforación, dentro de los cuales se encuentran: Caterpillar DMM3, Caterpillar DM45, Atlas Copco Roc L8, Sandvik DR560, Epiroc Pit Viper 271 y Epiroc Pit Viper 351.

En el caso de la minería a cielo abierto se pueden identificar 4 tipos de perforaciones: 1) Producción, 2) Buffer, 3) pre-cortes y 4) recortes.



ILUSTRACIÓN 7. PERFORACIÓN POZOS DE PRODUCCIÓN RAJO ÓXIDO ENCUESTRO.

La tronadura, como se puede apreciar en la Ilustración 8, tiene por finalidad el arranque del mineral desde el macizo rocoso mediante el uso de explosivos. En Minera Centinela los explosivos más utilizados son: ANFO, Vertex² 30, 45, 50 y 70; éste último utilizado en pozos con presencia de agua.

Para la realización del proceso de tronadura, se debe efectuar todo un proceso previo consistente en la aislación del área permitiendo solo el ingreso de personal y equipos autorizados de: revisión de los pozos (profundidad y existencia de agua), instalación de la prima, carguío de explosivos, tapado de pozos, amarre de la secuencia, instalación de retardos de superficie y programación de la secuencia.

² Vertex es una línea de explosivos en base a mezclas de Emulsión y Anfo. Reúne las principales propiedades de ambos componentes: alta energía, buen volumen de gases, densidad variable y en algunos casos resistente al agua (Vertex 70).

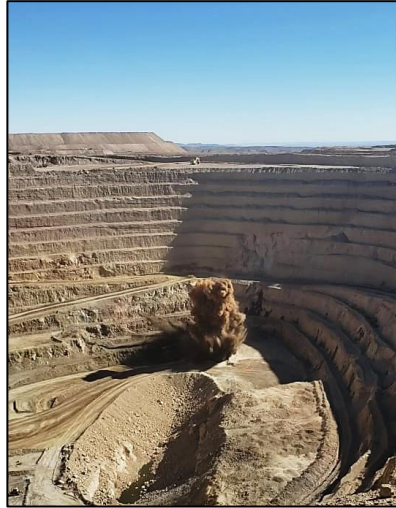


ILUSTRACIÓN 8. TRONADURA FASE 02, BANCO 2168 DEL RAJO ÓXIDO ENCUENTRO.

El carguío, como se aprecia en la Ilustración 9, consiste en la extracción del material tronado mediante un equipo de carguío (palas eléctricas, palas hidráulicas, excavadoras o cargadores frontales); depositándolo, posteriormente, sobre un equipo de transporte. Los principales equipos de carguíos utilizados en Minera Centinela son: 1) Pala eléctrica P&H 4100, 2) Excavadora hidráulica PC5500, 3) Excavadora hidráulica PC800, 4) Cargador frontal 994 K/F y 5) Cargador frontal P&H 2350.



ILUSTRACIÓN 9. OPERACIÓN DE CARGUÍO EN MINERA CENTINELA.

El transporte consiste en trasladar el material desde la frente de carguío hasta uno de los posibles destinos (chancado, stock, ROM o botadero). Esta operación se lleva a cabo en camiones de alto tonelaje, como se muestra en la Ilustración 10. Los equipos más grandes pueden llegar a acarrear hasta 450 toneladas por ciclo.

En Centinela los equipos de transporte más utilizados son: 1) CAT 793 F/D/C, 2) CAT 797F y 3) Komatsu 930E.



ILUSTRACIÓN 10. TRANSPORTE DE MATERIAL EN EQUIPO CATERPILLAR 793.

4.2 ASARCO

La norma ASARCO es el marco de referencia utilizado para la definición de conceptos y distribución de los tiempos, en que el equipo incurre durante la operación (Ver Tala 2).

- **Tiempo Nominal:** Espacio de tiempo en que se produce la medición (24 horas).
- **Disponible:** Espacio de tiempo en que el equipo se encuentra mecánicamente habilitado, para ser operado.
- **No Disponible:** Espacio de tiempo en que el equipo se encuentra fuera de servicio, ya sea por una mantención programada, algún tipo de imprevisto mecánico o eléctrico.
- **Operativo:** Espacio de tiempo en que el equipo se encuentra mecánicamente apto y con operador, para cumplir con las actividades asociadas a la operación.
- **Reserva:** Espacio de tiempo en que el equipo se encuentra mecánicamente apto para ser operado, pero no está operando; ya sea por falta de operador, postura o alguna condición especial de la operación (detención de la mina o parte de ella).
- **Utilización Efectiva:** Espacio de tiempo en que el equipo se encuentra desarrollando las actividades para las cuales fue diseñado.
- **Pérdida Operacional:** Espacio de tiempo en que el equipo no puede cumplir con su función de diseño, debido a la espera de equipo complementario.
- **Demora Programada:** Espacio de tiempo en que el equipo no cumple su función debido a actividades normadas por ley (colación y cambio de turno).
- **Demoras no programadas:** Espacio de tiempo en que el equipo no puede cumplir con sus actividades, debido a condiciones propias de la operación o ineficiencias.

TABLA 2. NORMA ASARCO UTILIZADA POR MINERA CENTINELA.

Tiempo Nominal			
Disponible			No Disponible
			Mantenimiento Programado
Operativo			Reserva
Utilización Efectiva	Pérdidas Operacionales	Demoras	
		Programadas	No Programadas

4.3 Depreciación

Hace referencia a la disminución periódica del valor, de un bien material o inmaterial, la cual puede derivarse de tres razones principales:

- Desgaste: Debido al deterioro físico producido por el uso.
- Paso del tiempo: Deterioro físico independiente del uso.
- Obsolescencia o Vejez.

A su vez, existen diferentes formas de calcular la depreciación. Las cuales se describen a continuación:

1. Método de la Línea Recta

Método ampliamente aplicado, donde la depreciación depende exclusivamente del tiempo y no del uso. En este caso el valor depreciado es constante en el tiempo hasta alcanzar el valor residual. La fórmula utilizada es:

ECUACIÓN 1. DEPRECIACIÓN MÉTODO LINEAL.

$$Depreciación = \frac{Valor\ Activo - Valor\ residual}{Vida\ Útil}$$

Cabe señalar que no necesariamente el activo tiene un valor residual o cuota de salvamento. Esto depende solamente de la consideración del dueño.

2. Método de Saldos Decrecientes

Método de depreciación acelerada. Este método requiere de un valor residual o de salvamento del activo para poder ser utilizado, de lo contrario el primer año se depreciaría el 100% del activo. La fórmula correspondiente es:

ECUACIÓN 2. TASA DE DEPRECIACIÓN PARA MÉTODO DE SALDOS DECRECIENTES.

$$Tasa\ de\ Depreciación = 1 - \left(\frac{Valor\ Residual}{Valor\ Activo}\right)^{\frac{1}{n}}$$

Donde **n** es la vida útil del activo.

Luego la depreciación del primer periodo será de:

ECUACIÓN 3. DEPRECIACIÓN MÉTODO SALDOS DECRECIENTES.

$$\text{Depreciación} = \text{Valor Activo} * \text{Tasa de Depreciación.}$$

Finalmente, el nuevo valor del activo será:

ECUACIÓN 4. VALOR ACTUALIZADO PARA MÉTODO DE SALDOS DECRECIENTES.

$$\text{Nuevo Valor} = \text{Valor Activo} - \text{Depreciación}$$

Al nuevo valor se le debe aplicar la *tasa de depreciación* para obtener el valor depreciado en el segundo periodo.

3. Método de la suma de los dígitos del año

Método de depreciación acelerada que busca determinar una mayor cuota de depreciación en los primeros años de vida útil del activo. La fórmula utilizada es:

ECUACIÓN 5. DEPRECIACIÓN MÉTODO DE LA SUMA DE LOS DÍGITOS.

$$\text{Depreciación} = \frac{\text{Vida Útil}}{\text{Suma de los dígitos}} * \text{Valor activo}$$

Donde la suma de los dígitos es la suma progresiva de los años que se determinan como vida útil (Ej.: Para una vida útil de 4 años, la suma de los dígitos será 4+3+2+1=10).

4. Método de las unidades de producción

Método muy similar al de línea recta, en cuanto a cómo se distribuye la depreciación en cada uno de los periodos, pero éste se encuentra basado en las unidades producidas durante la vida útil. Entonces se tiene que:

ECUACIÓN 6. VALOR DEPRECIADO POR PRODUCTO PRODUCIDO.

$$\text{Valor Depreciado Producto (VDP)} = \frac{\text{Valor Activo}}{\text{Unidades Producidas Durante la Vida Útil}}$$

Finalmente, el valor depreciado por periodo se obtiene como sigue:

ECUACIÓN 7. DEPRECIACIÓN PARA EL MÉTODO BASADO EN LAS UNIDADES PRODUCIDAS.

$$\text{Depreciación} = \text{Unidades Producidas en el Periodo} * \text{VDP}$$

La depreciación juega un rol importante en un modelo de costo, ya que representa la pérdida de valor y/o uso del equipo con el paso del tiempo. En el caso de equipos mineros, toma mayor relevancia por el alto valor de estos.

Finalmente, al tomar en consideración la depreciación en el costo, se asegura que al momento de realizar la evaluación económica se estime el retorno de la inversión de activos como parte del proceso, asegurando la continuidad del negocio. En este caso, el tipo de depreciación utilizada es el de método de las unidades de producción; basada en las horas de utilización, como unidades de producción definidas por el área de operaciones. Lo anterior, permite que cada hora tenga el mismo valor por concepto de desgaste del equipo.

5. Análisis y Resultados

El Distrito Minero Centinela, contempla la explotación simultánea de nuevos proyectos de gran inversión. Esto ha llevado a la compañía a evaluar diferentes fórmulas de posponer parte de esta inversión, hasta que el proyecto comience a generar ingresos.

El área de abastecimiento y contratos del área de proyectos del grupo Antofagasta Minerals, ha determinado que la fórmula más favorable en términos económicos para la compañía es tercerizar las operaciones de perforación, tronadura, carguío y transporte. Esto le permite a la empresa posponer gran parte de la inversión y pagar sólo el material movido y los metros perforados. Pero es aquí donde surge la necesidad de respuesta a las siguientes interrogantes: ¿Qué precio debería tener la tonelada movida bajo las condiciones de un determinado proyecto? ¿Cuánto influye la utilización de un equipo u otro? ¿Qué precio debería tener el metro perforado? ¿Qué impacto tiene el equipo y diámetro utilizado?

Lo anterior se justifica por las grandes diferencias que existen entre las propuestas, que alcanzan hasta un 52% en los costos directos (perforación, carguío y transporte). Por esta razón, surge la necesidad de contar con una herramienta que permita evaluar los costos unitarios según las condiciones de cada proyecto.

Primero se procede a recopilar la información de gastos y costos de Minera Centinela en sus rajos Esperanza y Tesoro, además de la información detallada de cada uno de los equipos propios que ellos emplean.

En segundo lugar, se realiza un análisis de los costos mina y su distribución, para lo cual se exponen los datos de dos periodos diferentes:

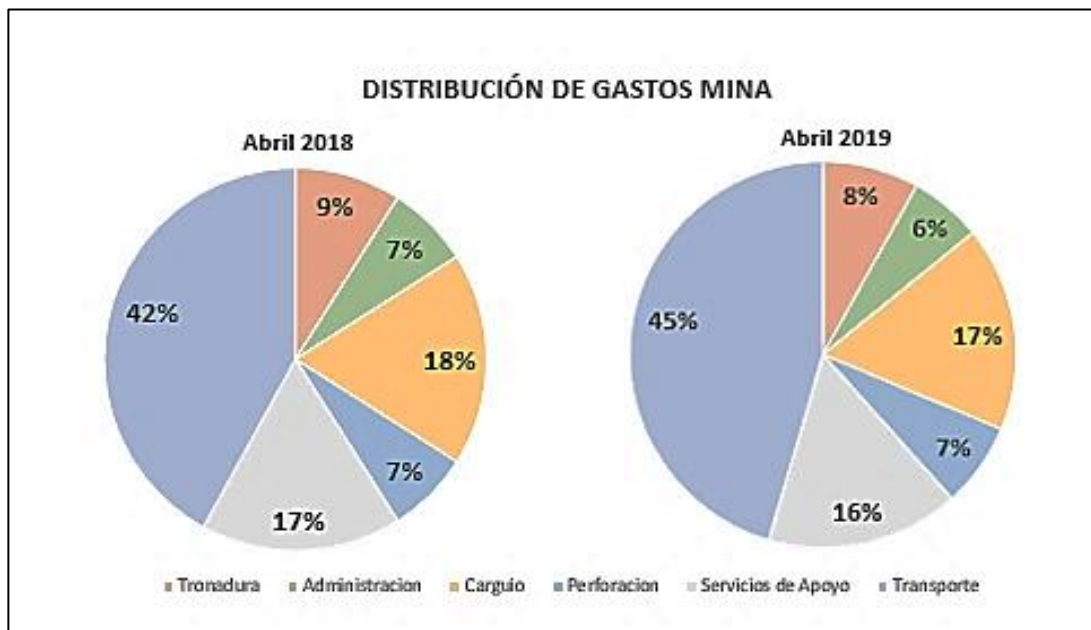


GRÁFICO 1. DISTRIBUCIÓN DE COSTOS MINA. ABRIL DEL 2018 EN BASE A UN VALOR DE 1,99 USD/TON (IZQUIERDA) Y ABRIL DEL 2019 EN BASE A UN VALOR DE 2,07 USD/TON (DERECHA).

En el gráfico 1 se puede apreciar que el costo de transporte tiene un mayor impacto en el costo mina, además presenta una mayor variación de un año a otro; esto debido a que su rendimiento está basado en el tiempo de ciclo, el cual aumenta en la medida que el rajo se profundiza y los botaderos crecen. Por lo tanto, el rendimiento disminuye; lo que provoca, que el costo por tonelada aumente.

A su vez, las operaciones de perforación y carguío se mantienen prácticamente constantes. Esto se explica principalmente por el ciclo de carguío que es el mismo, independiente del lugar en donde se encuentre operando el equipo. Empero, el rendimiento puede verse afectado por la calidad de la frente de carguío. Y, por su parte, la perforación puede ver alterado su rendimiento dependiendo de la dureza de la roca.

Finalmente, se tiene que más del 80% de los gastos minas está comprendido por los costos de operación de perforación, carguío, transporte y servicios de apoyo; por lo que se procederá a analizar en detalle cada una de estas operaciones y los equipos que en ellas participan.

Para identificar los factores determinantes, involucrados en el costo de cada operación, se realizó un análisis operativo y financiero de cada una de las actividades, los cuales se detallan en la sección 5.1.

5.1 Análisis de Equipos

En esta sección se presentan los antecedentes más relevantes de cada uno de los equipos utilizados en las operaciones de Minera Centinela, con los que posteriormente se procederá a calcular el OPEX y dar origen al modelo.

5.1.1 Perforación

Minera Centinela, en sus rajos Esperanza y Tesoro, cuenta con 6 equipos propios de perforación diferentes:

- Perforadora Epiroc DMM3
- Perforadora Epiroc Pit Viper 351 Diesel
- Perforadora Epiroc Pit Viper 271
- Perforadora Epiroc DM-45
- Perforadora Atlas Copco Roc L8
- Perforadora Sandvik DR560

En promedio la distribución de gastos de los equipos de perforación está dado según se muestra en el gráfico 2.

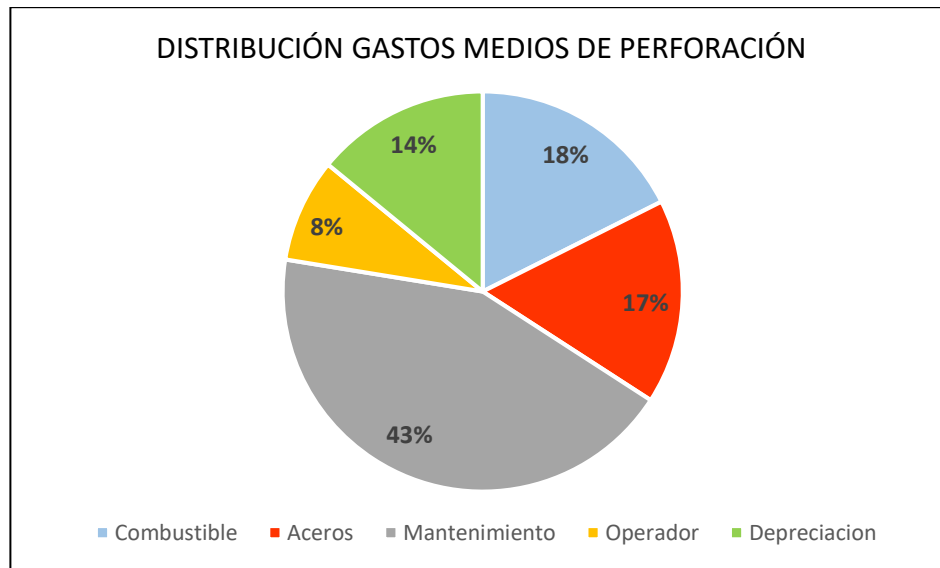


GRÁFICO 2. DISTRIBUCIÓN DE GASTOS DE PERFORACIÓN.

Del Gráfico 2 se puede apreciar que la mayor parte del gasto de perforación se concentra en mantenimiento (43%), en segundo lugar, combustible (18%) y aceros de desgaste (17%).

La depreciación es incorporada en este modelo en base a las unidades de producción. Por lo que, la depreciación dada para un periodo cualquiera será la cantidad de horas operadas durante ese periodo por el valor depreciado por cada hora utilizada.

En la figura 1 se señalan los inputs y los parámetros utilizados para obtener el cálculo del costo unitario en USD/metro.



FIGURA 1. INPUTS Y PARÁMETROS CONSIDERADOS PARA LA OBTENCIÓN DEL COSTO UNITARIO [USD/METRO].


A continuación, se revisará cada uno de los 6 equipos de perforación mencionados anteriormente, con el objetivo de entender por qué de la variación de costos por metro perforado, entre uno y otro.

5.1.1.1. Perforadora Epiroc DMM3

Perforadora utilizada en los pozos de producción y/o buffer, debido a su gran capacidad de diámetro. El hecho de perforar con un mayor diámetro permite que el diseño de la malla de perforación posea un mayor burden y espaciamiento, lo que implica perforar una menor cantidad de pozos que con un diámetro más pequeño.

En la tabla 3 se presentan algunos antecedentes relacionados con el equipo, su costo y vida útil.

TABLA 3. ANTECEDENTES PERFORADORA EPIROC DMM3.

Epiroc		
Modelo	DMM3	
Precio [USD]	2.980.000	
Método Perforación	Rotativa	
Diámetro Barreno [pul]	9 7/8" a 12 1/4"	
Profundidad Máxima [m]	59,5 – 71,6	
Vida Útil AMSA [Horas]	45.400	

En la tabla 4 se puede apreciar que el mayor gasto en mantenimiento se concentra en la compra de repuestos, seguido por la mano de obra.

TABLA 4. DISTRIBUCIÓN GASTOS DE MANTENIMIENTO PERFORADORA EPIROC DMM3.

Distribución Gastos de Mantenimiento Perforadora DMM3	
Repuestos	42,9%
MO Mantenimiento Taller Interno	29,9%
Componentes Reparados Mecánicos	17,8%
Lubricantes	6,1%
Contratos Mantención	2,8%
Ropa de trabajo y elementos de seguridad	0,4%

TABLA 5. RESUMEN ESTADÍSTICO CONSUMO COMBUSTIBLE PERFORADORA EPIROC DMM3.

Consumo Diesel DMM3	
Media [lt/hr]	121,50
Desviación estándar [lt/hr]	6,18
Mínimo [lt/hr]	110,00
Máximo [lt/hr]	128,00

La tabla 5 muestra un resumen estadístico respecto al consumo de combustible, donde la media para la perforadora Epiroc DMM3 es de 121,5 litros por hora y la desviación estándar es de 6,18 litros por hora lo que representa una desviación del 5 %. Esta variación tiene relación con el tipo de material perforado, a mayor dureza de la roca se requieren mayores revoluciones por minuto (RPM) y un mayor “pull-down” para romper la roca, lo que implica un mayor consumo de combustible. Por el contrario, generalmente en zonas superiores de una fase, donde la roca es blanda el consumo de combustible es menor, ya que se necesita una menor potencia.

Otro aspecto que impacta en el consumo de combustible es el diámetro de perforación utilizado. A mayor diámetro existe un leve aumento en el consumo de combustible y una disminución en el rendimiento. A continuación, en la tabla 6, se exponen los precios de los distintos componentes de los aceros de desgaste de perforación, su vida útil media y el costo por metro perforados según los aceros utilizados y el tipo de material perforado (mineral o estéril).

TABLA 6. GASTO POR CONSUMO DE ACEROS SEGÚN DIÁMETRO DE PERFORACIÓN PERFORADORA EPIROC DMM3.

Perforadora DMM3													
MINERAL	Insumos de Desgaste												Total
	Barras		Tricono/Bits		Amortiguador		Anillo Guía		Adaptador Superior		Adaptador Inferior		
Diámetros	Precio [USD]	Vida Útil [mts]	Precio [USD]	Vida Útil [mts]	Precio [USD]	Vida Útil [mts]	Precio [USD]	Vida Útil [mts]	Precio [USD]	Vida Útil [mts]	Precio [USD]	Vida Útil [mts]	Costo [USD/m]
9 7/8"	14.692	43.077	6.362	4.000	21.849	115.385	3.075	30.769	1.191	38.462	1.943	29.231	3,32
10 5/8"	15.216	43.077	7.932	3.769	21.849	115.385	3.075	30.769	1.191	38.462	1.943	29.231	2,84
12 1/4"	15.760	43.077	9.591	3.308	21.849	115.385	3.075	30.769	1.191	38.462	1.943	29.231	3,65
ESTÉRIL	Insumos de Desgaste												Total
	Barras		Tricono/Bits		Amortiguador		Anillo Guía		Adaptador Superior		Adaptador Inferior		
Diámetros	Precio [USD]	Vida Útil [mts]	Precio [USD]	Vida Útil [mts]	Precio [USD]	Vida Útil [mts]	Precio [USD]	Vida Útil [mts]	Precio [USD]	Vida Útil [mts]	Precio [USD]	Vida Útil [mts]	Costo [USD/m]
9 7/8"	4.692	43.077	6.362	7.000	21.849	115.385	3.075	30.769	1.191	38.462	1.943	29.231	1,64
10 5/8"	15.216	43.077	7.932	6.692	21.849	115.385	3.075	30.769	1.191	38.462	1.943	29.231	1,93
12 1/4"	15.760	43.077	9.591	5.308	21.849	115.385	3.075	30.769	1.191	38.462	1.943	29.231	2,56

La principal variación respecto al consumo de aceros de perforación está dada por el tricono o bits, el cual, a mayor diámetro posee un mayor valor, pero una menor vida útil.

Por otra parte, se puede apreciar que la perforación en material estéril tiene un costo menor que en zona mineral; lo que viene dado, principalmente, por la diferencia de densidad y dureza entre una u otra, lo que determina una menor o mayor vida útil.

TABLA 7. RESUMEN ESTADÍSTICO RENDIMIENTO PERFORADORA EPIROC DMM3.

Rendimiento DMM3	
Media [m/hr]	36,30
Desviación estándar [m/hr]	2,47
Mínimo [m/hr]	32,00
Máximo [m/hr]	41,00


Por último, en la tabla 7, se expone un resumen estadístico del rendimiento. Donde se aprecia que la desviación estándar es de 2,47 metros/hora, lo que representa un 6,8% del rendimiento medio.

5.1.1.2. Perforadora Epiroc DM45.

La perforadora Epiroc DM45 es utilizada en la realización de pozos de producción de menor diámetro relación con los diámetros utilizados comúnmente en mina a cielo abierto (10 5/8" y 12 1/4") y perforación buffer. En la tabla 8 se presentan los antecedentes más relevantes de la perforadora Epiroc DM45.

TABLA 8. ANTECEDENTES PERFORADORA EPIROC DM45.

Epiroc	
Modelo	DM45
Precio [USD]	2.550.000
Método Perforación	Rotativa
Diámetro Barreno [pul]	5 1/2" a 8 7/8"
Profundidad Máxima [m]	53,3
Vida Útil AMSA [horas]	38.600



En la tabla 9 se muestra la distribución de los gastos de mantenimiento, los que se concentran en la compra de repuestos y pago de mano de obra, representando el 78,1% del gasto.

TABLA 9. DISTRIBUCIÓN GASTOS DE MANTENIMIENTO PERFORADORA EPIROC DM45.

Distribución Gastos de Mantenimiento Perforadora DM45	
Repuestos	41,5%
MO Mantenimiento Taller Interno	36,6%
Lubricantes	7,9%
Componentes Reparados Mecánicos	6,7%
Contratos Mantención	5,3%
Ropa de trabajo y elementos de seguridad	1,0%
Otros	1,0%

En lo que al consumo de combustible se refiere, como se muestra en la tabla 10, la perforadora Epiroc DM45 presentó, durante el periodo analizado, un máximo de consumo de 138 litros por hora y un mínimo de 110 litros por hora; los que representan una variación de hasta un 12% respecto al consumo medio.

TABLA 10. RESUMEN ESTADÍSTICO CONSUMO COMBUSTIBLE PERFORADORA EPIROC DM45.

Consumo Diesel DM45	
Media [lt/hr]	125,30
Desviación estándar [lt/hr]	8,47
Mínimo [lt/hr]	110,00
Máximo [lt/hr]	138,00

TABLA 11. GASTO POR CONSUMO DE ACEROS SEGÚN DIÁMETRO DE PERFORACIÓN, PERFORADORA EPIROC DM45.

DM45													
MINERAL	Insumos de Desgaste												Total
	Barras		Tricono/Bits		Amortiguador		Anillo Guía		Adaptador Superior		Adaptador Inferior		
Diámetros	Precio [USD]	Vida Útil [mts]	Precio [USD]	Vida Útil [mts]	Precio [USD]	Vida Útil [mts]	Precio [USD]	Vida Útil [mts]	Precio [USD]	Vida Útil [mts]	Precio [USD]	Vida Útil [mts]	Costo [USD/m]
6 1/2"	7.880	61.538	2.578	6.692	6.152	115.385	2.074	38.462	1.066	30.769	1.307	32.308	0,70
6 3/4"	8.120	61.538	2.980	6.538	6.152	115.385	2.074	38.462	1.066	30.769	1.307	32.308	0,77
7 7/8"	8.438	61.538	4.160	6.077	6.152	115.385	2.074	38.462	1.066	30.769	1.307	32.308	1,00
8 7/8"	8.860	61.538	5.450	5.538	6.152	115.385	2.074	38.462	1.066	30.769	1.307	32.308	1,31
ESTÉRIL	Insumos de Desgaste												Total
	Barras		Tricono/Bits		Amortiguador		Anillo Guía		Adaptador Superior		Adaptador Inferior		
Diámetros	Precio [USD]	Vida Útil [mts]	Precio [USD]	Vida Útil [mts]	Precio [USD]	Vida Útil [mts]	Precio [USD]	Vida Útil [mts]	Precio [USD]	Vida Útil [mts]	Precio [USD]	Vida Útil [mts]	Costo [USD/m]
6 1/2"	7.880	64.615	2.578	7.154	6.152	123.077	2.074	38.462	1.066	30.769	1.307	32.308	0,66
6 3/4"	8.120	64.615	2.980	7.000	6.152	123.077	2.074	38.462	1.066	30.769	1.307	32.308	0,73
7 7/8"	8.438	64.615	4.160	6.615	6.152	123.077	2.074	38.462	1.066	30.769	1.307	32.308	0,94
8 7/8"	8.860	64.615	5.450	6.154	6.152	123.077	2.074	38.462	1.066	30.769	1.307	32.308	1,20

La tabla 11 muestra los gastos por consumo de acero de la perforadora Epiroc DM45, siendo ésta la que presenta el menor gasto por concepto de aceros de todas las perforadoras de producción analizadas.

TABLA 12. RESUMEN ESTADÍSTICO RENDIMIENTO PERFORADORA EPIROC DM45.


Rendimiento DM45	
Media [m/hr]	35,60
Desviación estándar [m/hr]	2,78
Mínimo [m/hr]	30,00
Máximo [m/hr]	40,00

En la tabla 12 se muestra un resumen del rendimiento de perforación de la perforadora DM45, el cual varía entre los 30 y los 40 metros por hora, muy similar a la perforadora DMM3.

5.1.1.3 Perforadora Epiroc Pit Viper 351

La perforadora Epiroc Pit Viper 351, descrita en la tabla 13, es la más grande de la serie Pit Viper y posee dos versiones: una diesel y otra eléctrica. En Minera Centinela se cuenta con la versión diésel de este equipo y se utiliza únicamente en la realización de pozos de producción, dado que sólo perfora grandes diámetros ($\geq 10 \frac{5}{8}$ ").

TABLA 13. ANTECEDENTES PERFORADORA PIT VIPER 351 DIESEL.

Epiroc		
Modelo	PV351	
Precio [USD]	4.480.000	
Método Perforación	Rotativa	
Diámetro Barreno [pul]	10 5/8" a 16"	
Profundidad Máxima [m]	41,1	
Vida Útil AMSA [horas]	53.000	

Como se aprecia en la tabla 14 los gastos de mantenimiento se concentran en el ítem de repuestos (48,5%) y mano de obra (22,6%). Es importante mencionar que un gasto considerable es la reparación de componentes mecánicos (19,7%), que tiene directa relación con el daño operacional del equipo. Este es un punto importante de variabilidad en el gasto de mantenimiento.

TABLA 14. DISTRIBUCIÓN GASTOS DE MANTENIMIENTO PERFORADORA PV 351.

Distribución Gastos de Mantenimiento Perforadora PV351	
Repuestos	48,5%
MO Mantenimiento Taller Interno	22,6%
Componentes Reparados Mecánicos	19,7%
Contratos Mantención	4,5%
Lubricantes	4,0%
Ropa de trabajo y elementos de seguridad	0,7%

La tabla 15 muestra la información relacionada con el consumo de combustible, de ella se obtiene que el consumo medio de este equipo es de 131,5 litros por hora el cual posee una desviación estándar del orden del 7,8 %.

TABLA 15. RESUMEN ESTADÍSTICO CONSUMO DE COMBUSTIBLE PERFORADORA PV 351.

Consumo Diesel PV351	
Media [lt/hr]	131,50
Desviación estándar [lt/hr]	10,29
Mínimo [lt/hr]	115,00
Máximo [lt/hr]	149,00

En lo que concierne al consumo de aceros, llama la atención la importante reducción de la vida útil del tricono o bits en la perforación de mineral respecto al estéril, impactando directamente en el costo unitario de producción como se muestra en la tabla 16. Esta importante variación se fundamenta en tres aspectos principalmente: 1) el efecto de peso sobre los elementos de corte, dado que el aumento de peso produce la rotura de los insertos y el desgaste de las estructuras de corte en roca dura, 2) el efecto de la velocidad de rotación sobre la vida de los cojinetes, la cual es inversamente proporcional, es decir, a mayor velocidad de rotación menor es la vida del cojinete; y 3) el efecto velocidad de rotación sobre los elementos de corte, en donde en formaciones abrasivas el desgaste de los insertos aumenta con la velocidad de rotación y en formaciones duras una alta velocidad de rotación produce rotura en los insertos por impacto. A lo anterior se suma el hecho de que en zona mineral se tiene contacto con efloraciones de agua ácida con pH entre 3,2 y 3,6, lo que aumenta la corrosión de los aceros.

TABLA 16. GASTO POR CONSUMO DE ACEROS SEGÚN DIÁMETRO DE PERFORACIÓN, PERFORADORA PV 351.

Perforadora PV351													
MINERAL	Insumos de Desgaste												Total
	Barras		Tricono/Bits		Amortiguador		Anillo Guía		Adaptador Superior		Adaptador Inferior		
Diámetros	Precio [USD]	Vida Útil [mts]	Precio [USD]	Vida Útil [mts]	Precio [USD]	Vida Útil [mts]	Precio [USD]	Vida Útil [mts]	Precio [USD]	Vida Útil [mts]	Precio [USD]	Vida Útil [mts]	Costo [USD/m]
10 5/8"	15.216	50.000	7.932	3.769	22.789	115.385	2.874	45.385	1.875	115.385	2.124	43.846	2,73
12 1/4"	15.760	50.000	9.591	3.615	22.789	115.385	2.874	45.385	1.875	115.385	2.124	43.846	3,29
ESTÉRIL	Insumos de Desgaste												Total
	Barras		Tricono/Bits		Amortiguador		Anillo Guía		Adaptador Superior		Adaptador Inferior		
Diámetros	Precio [USD]	Vida Útil [mts]	Precio [USD]	Vida Útil [mts]	Precio [USD]	Vida Útil [mts]	Precio [USD]	Vida Útil [mts]	Precio [USD]	Vida Útil [mts]	Precio [USD]	Vida Útil [mts]	Costo [USD/m]
10 5/8"	15.216	50.000	7.932	11.231	22.789	115.385	2.874	45.385	1.875	115.385	2.124	43.846	1,34
12 1/4"	15.760	50.000	9.591	10.923	22.789	115.385	2.874	45.385	1.875	115.385	2.124	43.846	1,52

Por último, la tabla 17 muestra que el rendimiento medio de este equipo bordea los 40 metros/hora. Rendimiento superior al de todos los otros equipos de producción.

TABLA 17. RESUMEN ESTADÍSTICO RENDIMIENTO DE PERFORACIÓN PERFORADORA PV 351.


Rendimiento PV351	
Media [m/hr]	39,50
Desviación estándar [m/hr]	2,28
Mínimo [m/hr]	36,00
Máximo [m/hr]	44,00

5.1.1.4 Perforadora Epiroc Pit Viper 271

La perforadora PV271 es una perforadora ideal para bancos de 16 metros con poca pasadura. En la tabla 18 se aprecian los antecedentes principales de este equipo.

TABLA 18. ANTECEDENTES PERFORADORA PIT VIPER 271.

Epiroc	
Modelo	PV 271
Precio [USD]	2.850.000
Método Perforación	Rotativa / Single Pass
Diámetro Barreno [pul]	6 3/4" a 10 5/8"
Profundidad Máxima [m]	32
Vida Útil AMSA [horas]	43.300



Como se aprecia en la tabla 19 cerca del 50% de los gastos de mantenimiento de este equipo tienen relación con la compra de repuestos bombas, cadenas, válvulas y mangueras. Repuestos que pueden tener reparación con mantenimientos periódicos, o bien por daño operacional, o bien por fallas.

TABLA 19. DISTRIBUCIÓN GASTOS DE MANTENIMIENTO PERFORADORA PV 271.

Distribución Gastos de Mantenimiento Perforadora	
Repuestos	46,4%
MO Mantenimiento Taller Interno	22,7%
Componentes Reparados Mecánicos	21,4%
Contratos Mantención	4,4%
Lubricantes	4,4%
Ropa de trabajo y elementos de seguridad	0,8%

En cuanto al gasto de diésel de este equipo, como se distingue en la tabla 20, posee un consumo medio de 105 litros por hora, uno mínimo de 95 litros por hora y un consumo máximo de 115 litros hora.

TABLA 20. RESUMEN ESTADÍSTICO CONSUMO DE COMBUSTIBLE PERFORADORA PV 271.

Consumo Diesel PV271	
Media [lt/hr]	105,00
Desviación estándar [lt/hr]	6,42
Mínimo [lt/hr]	95,00
Máximo [lt/hr]	115,00

En lo que respecta al consumo de aceros, este equipo presenta la menor variación en costo entre estéril y mineral de los equipos revisados. Sin ir más lejos, el costo de aceros por metro perforado mineral en diámetro 10 5/8" es de 2,13 USD/m, un 28,1% menor al costo de consumo de aceros del equipo que lo sigue. El detalle de los gastos de acero de la perforadora Pit Viper 271 se encuentra en la tabla 21.

TABLA 21. GASTO POR CONSUMO DE ACEROS SEGÚN DIÁMETRO DE PERFORACIÓN, PERFORADORA PV 271.

PV271													
MINERAL	Insumos de Desgaste												Total
	Barras		Tricono/Bits		Amortiguador		Anillo Guía		Adaptador Superior		Adaptador Inferior		
Diámetros	Precio [USD]	Vida Útil [mts]	Precio [USD]	Vida Útil [mts]	Precio [USD]	Vida Útil [mts]	Precio [USD]	Vida Útil [mts]	Precio [USD]	Vida Útil [mts]	Precio [USD]	Vida Útil [mts]	Costo [USD/m]
6 3/4"	14.282	60.000	4.250	6.000	24.532	146.154	2.533	39.231	1.179	61.538	1.943	32.308	1,26
7 7/8"	14.570	60.000	5.035	5.769	24.532	146.154	2.533	39.231	1.179	61.538	1.943	32.308	1,43
8 7/8"	14.780	60.000	5.950	5.615	24.532	146.154	2.533	39.231	1.179	61.538	1.943	32.308	1,62
9 7/8"	15.075	60.000	7.120	5.308	24.532	146.154	2.533	39.231	1.179	61.538	1.943	32.308	1,90
10 5/8"	15.216	60.000	7.932	5.077	24.532	146.154	2.533	39.231	1.179	61.538	1.943	32.308	2,13
ESTÉRIL	Insumos de Desgaste												Total
	Barras		Tricono/Bits		Amortiguador		Anillo Guía		Adaptador Superior		Adaptador Inferior		
Diámetros	Precio [USD]	Vida Útil [mts]	Precio [USD]	Vida Útil [mts]	Precio [USD]	Vida Útil [mts]	Precio [USD]	Vida Útil [mts]	Precio [USD]	Vida Útil [mts]	Precio [USD]	Vida Útil [mts]	Costo [USD/m]
6 3/4"	14.282	60.000	4.250	8.154	24.532	146.154	2.533	39.231	1.179	61.538	1.943	32.308	1,07
7 7/8"	14.570	60.000	5.035	8.000	24.532	146.154	2.533	39.231	1.179	61.538	1.943	32.308	1,18
8 7/8"	14.780	60.000	5.950	7.692	24.532	146.154	2.533	39.231	1.179	61.538	1.943	32.308	1,33
9 7/8"	15.075	60.000	7.120	7.462	24.532	146.154	2.533	39.231	1.179	61.538	1.943	32.308	1,52
10 5/8"	15.216	60.000	7.932	7.077	24.532	146.154	2.533	39.231	1.179	61.538	1.943	32.308	1,69

TABLA 22. RESUMEN ESTADÍSTICO RENDIMIENTO DE PERFORACIÓN PERFORADORA PV 271.

Rendimiento PV271	
Media [m/hr]	37,2
Desviación estándar [m/hr]	3,47
Mínimo [m/hr]	33,00
Máximo [m/hr]	43,00

En conclusión, lo que respecta a rendimiento de perforación, indicado en la tabla 22, la perforadora PV 271 presenta la mayor desviación estándar de los equipos de producción analizados.


Las perforadoras analizadas anteriormente son capaces de perforar pozos de forma vertical y semi vertical, encontrando sus rendimientos promedios entre los 36 y 40 metros por hora.

5.1.1.5 Perforadora Atlas Coppco Roc L8

La perforadora Roc L8 es un equipo de pequeña envergadura, principalmente utilizado en la perforación de pozos de precorte y recorte. Debido a su alto rendimiento y a la posibilidad de perforar pozos con mayor inclinación, le permite generar el ángulo de talud o ángulo cara de banco requerido. En la tabla 23 se presentan los antecedentes más relevantes de este equipo.

TABLA 23. ANTECEDENTES PERFORADORA ATLAS COPPCO ROC L8.

Atlas Copco	
Modelo	Roc L8
Precio [USD]	1.080.000
Método Perforación	Down The Hole
Diámetro Barreno [pul]	4 5/16" a 8"
Profundidad Máxima [m]	25 - 54
Vida Útil AMSA [horas]	28.200



En la tabla 24 se aprecia que los gastos de mantenimiento se concentran en la mano de obra (42,3%) y en compra de repuestos (41,5). Estos representan el 83,8% de los costos de mantenimiento.

TABLA 24. DISTRIBUCIÓN GASTOS DE MANTENIMIENTO PERFORADORA ROC L8.

Distribución Gastos de Mantenimiento Perforadora ROC L8	
MO Mantenimiento Taller Interno	42,3%
Repuestos	41,5%
Componentes Reparados Mecánicos/Eléctricos	7,1%
Contratos Mantención	5,3%
Lubricantes	3,6%
Ropa de trabajo y elementos de seguridad	0,3%

En la tabla 25 se muestra el resumen de las estadísticas del consumo de combustible de la perforadora ROC L8. En ella queda reflejado que éste es el equipo de menor consumo medio.

TABLA 25. RESUMEN ESTADÍSTICO CONSUMO COMBUSTIBLE PERFORADORA ROC L8.

Consumo Combustible ROCL8	
Media [lt/hr]	77,00
Desviación estándar [lt/hr]	6,25
Mínimo [lt/hr]	65,00
Máximo [lt/hr]	85,00

Se puede observar en la tabla contigua n° 26 que la mayor parte del gasto de aceros de perforación lo concentra el Bits. Si bien, posee un bajo costo su vida útil es reducida.

TABLA 26. GASTO POR CONSUMO DE ACEROS SEGÚN DIÁMETRO DE PERFORACIÓN, PERFORADORA ROC L8.

ROC L8											
MINERAL	Insumos de Desgaste										Total
	Barras		Tricono/Bits		Amortiguador		Martillo		Adaptador Superior		
Diámetros	Precio [USD]	Vida Útil [mts]	Precio [USD]	Vida Útil [mts]	Precio [USD]	Vida Útil [mts]	Precio [USD]	Vida Útil [mts]	Precio [USD]	Vida Útil [mts]	Costo [USD/m]
6 1/2"	2.100	13.846	710	962	7.875	34.615	4.988	8.077	454	13.846	1,77
6 3/4"	2.280	13.846	980	846	7.875	34.615	4.988	8.077	454	13.846	2,20
7 7/8"	2.510	13.846	1.140	731	7.875	34.615	4.988	8.077	454	13.846	2,62
ESTÉRIL	Insumos de Desgaste										Total
	Barras		Tricono/Bits		Amortiguador		Martillo		Adaptador Superior		
Diámetros	Precio [USD]	Vida Útil [mts]	Precio [USD]	Vida Útil [mts]	Precio [USD]	Vida Útil [mts]	Precio [USD]	Vida Útil [mts]	Precio [USD]	Vida Útil [mts]	Costo [USD/m]
6 1/2"	2.100	13.846	710	1.538	7.875	34.615	4.988	8.077	454	13.846	1,49
6 3/4"	2.280	13.846	980	1.462	7.875	34.615	4.988	8.077	454	13.846	1,71
7 7/8"	2.510	13.846	1.140	1.346	7.875	34.615	4.988	8.077	454	13.846	1,91

Finalmente, en lo que respecta a rendimiento de perforación, las perforadoras de precorte al utilizar un menor diámetro alcanzan un mayor rendimiento (en algunos casos hasta un 55% más que las perforadoras de producción); lo que favorece enormemente a la operación, considerando que el espaciado de los precorte es, generalmente, de entre 1 y 2 metros. En este caso en particular, y como se muestra en la tabla 27, el equipo Roc L8 presenta el mayor rendimiento de todos los equipos analizados.

TABLA 27. RESUMEN ESTADÍSTICO RENDIMIENTO DE PERFORACIÓN, PERFORADORA ROC L8.


Rendimiento ROCL8	
Media [m/hr]	56,40
Desviación estándar [m/hr]	3,05
Mínimo [m/hr]	51,00
Máximo [m/hr]	61,00

5.1.1.6 Perforadora Sandvik DR560

El equipo DR560, detallado en el recuadro 28, es otra alternativa de perforadora de precorte. Más costosa, con un mayor consumo de combustible y un menor rendimiento que la perforadora Roc L8. Es una buena alternativa, dado que también posee una preminente vida útil y un reducido consumo de aceros.

TABLA 28. ANTECEDENTES PERFORADORA SANDVIK DR560.

Sandvik	
Modelo	DR 560
Precio [USD]	1.300.000
Método Perforación	Down The Hole
Diámetro Barreno [pul]	4 1/2" a 8 1/2"
Profundidad Máxima [m]	54,9
Vida Útil AMSA [horas]	34.200



Los gastos de mantenimiento, como ha sido la tónica en los equipos de perforación, se concentran en la compra de repuestos (47,1%) y en la mano de obra (27,8% más un 8,6% de contratos de mantenimiento externo) observable en la tabla 29.

TABLA 29. DISTRIBUCIÓN GASTOS DE MANTENIMIENTO PERFORADORA DR560.

Distribución Gastos de Mantenimiento Perforadora DR560	
Repuestos	47,1%
MO Mantenimiento Taller Interno	27,8%
Componentes Reparados Mecánicos	11,9%
Contratos Mantención	8,6%
Lubricantes	4,3%
Ropa de trabajo y elementos de seguridad	0,3%

La perforadora DR560 presenta un consumo medio de combustible de 89 litros por hora y una desviación estándar del orden del 6,8%, evidenciado en el recuadro n°30.

TABLA 30. RESUMEN ESTADÍSTICO CONSUMO DE COMBUSTIBLE PERFORADORA DR560.

Consumo Diesel DR560	
Media [lt/hr]	88,90
Desviación estándar [lt/hr]	5,85
Mínimo [lt/hr]	80,00
Máximo [lt/hr]	101,00

En la tabla 31 se indica que este equipo presenta un costo levemente menor que la perforadora Roc L8, en lo que a consumo de aceros se refiere, explicado principalmente por la mayor duración del amortiguador y el adaptador superior.

TABLA 31. GASTO POR CONSUMO DE ACEROS DE PERFORACIÓN SEGÚN DIÁMETRO, PERFORADORA DR560.

DR560											
MINERAL	Insumos de Desgaste										Total
	Barras		Tricono/Bits		Amortiguador		Martillo		Adaptador Superior		
Diámetros	Precio [USD]	Vida Útil [mts]	Precio [USD]	Vida Útil [mts]	Precio [USD]	Vida Útil [mts]	Precio [USD]	Vida Útil [mts]	Precio [USD]	Vida Útil [mts]	Costo [USD/m]
6 1/2"	2.100	13.846	710	962	7.642	42.308	4.988	8.077	559	19.231	1,72
6 3/4"	2.280	13.846	980	846	7.642	42.308	4.988	8.077	559	19.231	2,15
7 7/8"	2.510	13.846	1.140	731	7.642	42.308	4.988	8.077	559	19.231	2,57
ESTÉRIL	Insumos de Desgaste										Total
	Barras		Tricono/Bits		Amortiguador		Martillo		Adaptador Superior		
Diámetros	Precio [USD]	Vida Útil [mts]	Precio [USD]	Vida Útil [mts]	Precio [USD]	Vida Útil [mts]	Precio [USD]	Vida Útil [mts]	Precio [USD]	Vida Útil [mts]	Costo [USD/m]
6 1/2"	2.100	13.846	710	1.538	7.642	42.308	4.988	8.077	559	19.231	1,44
6 3/4"	2.280	13.846	980	1.462	7.642	42.308	4.988	8.077	559	19.231	1,66
7 7/8"	2.510	13.846	1.140	1.346	7.642	42.308	4.988	8.077	559	19.231	1,86

TABLA 32. RESUMEN ESTADÍSTICO RENDIMIENTO DE PERFORACIÓN, PERFORADORA DR560.

Rendimiento DR560	
Media [m/hr]	48,30
Desviación estándar [m/hr]	6,06
Mínimo [m/hr]	40,00
Máximo [m/hr]	58,00

En última instancia, no menos relevante, el recuadro 32 indica el rendimiento de perforación del equipo DR560. Dicho rendimiento posee una desviación estándar de 6,06 metros por hora, lo que se traduce en un 12,5% de variación.

5.1.2 Carguío

La operación de carguío consiste básicamente en la extracción de mineral de la frente de carguío y la posterior deposición de éste en la tolva del camión, para que pueda ser transportado. En la realización de esta operación participan una amplia variedad de equipos como: palas hidráulicas, excavadoras hidráulicas, palas eléctricas y cargadores frontales. Generalmente las 3 primeras son utilizadas in-pit debido a su alto rendimiento, mientras que los últimos son utilizados en los stocks.

Para el análisis de estos equipos, se considerarán por un lado los equipos sobre orugas y por otro los equipos sobre ruedas. En todos ellos, los elementos de desgaste como calzas, porta calzas y baldes estarán considerados como repuestos dentro de los gastos de mantenimiento.

El gráfico 3, permite apreciar la distribución de gastos medios de equipos de carguío sobre oruga. En él destaca el gasto de mantenimiento, el cual representa el 52% del gasto total, seguido por el gasto en combustible/energía con un 23%.

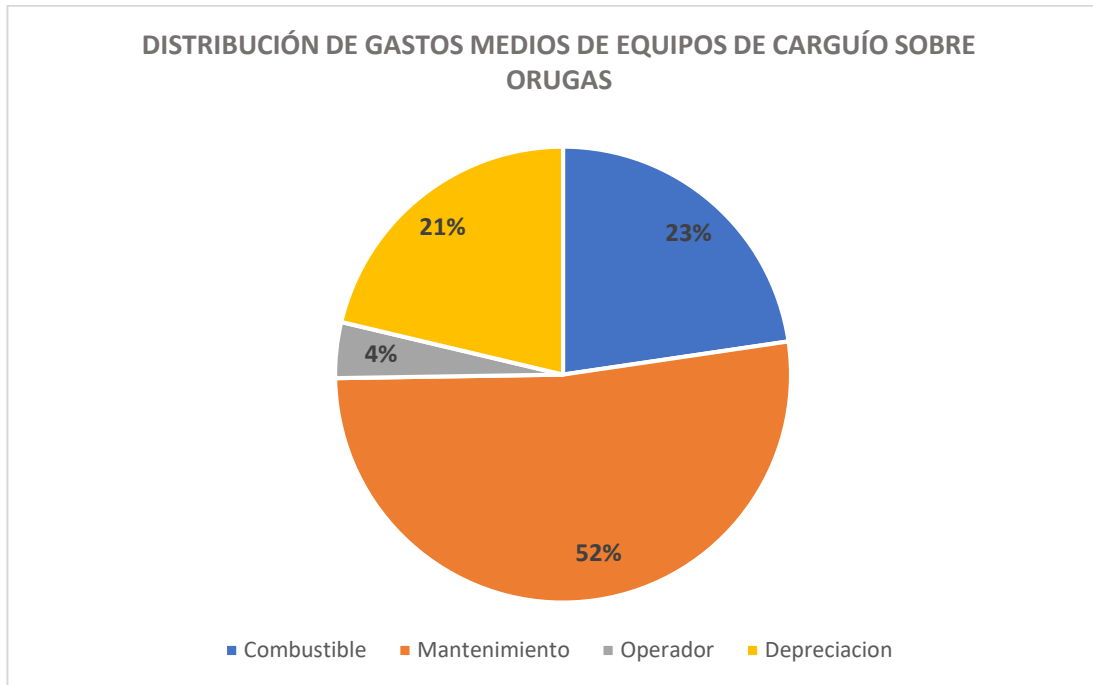


GRÁFICO 3. DISTRIBUCIÓN DE GASTOS DE EQUIPOS DE CARGUÍO SOBRE ORUGA.

En la Figura 2 se presentan los inputs considerados para el análisis y realización del modelo, así como también los parámetros y el output obtenido.

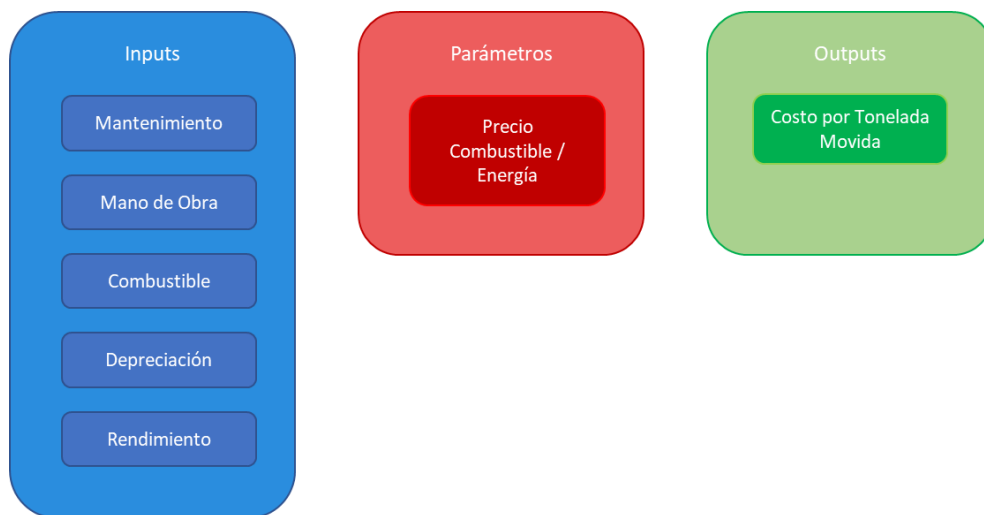



FIGURA 2. INPUTS Y PARÁMETROS CONSIDERADOS PARA LA OBTENCIÓN DEL COSTO UNITARIO DE PRODUCCIÓN DE EQUIPOS DE CARGUÍO SOBRE ORUGA [USD/TONELADA].

5.1.2.1. Pala Eléctrica P&H 4100 XPC

Equipo de carguío con gran capacidad de carga, la que puede alcanzar hasta 108 toneladas por recorrido. Debido a su gran envergadura, requiere de una amplia frente de carguío para ser realmente un equipo productivo y de bajo costo. Por otra parte, a causa de su alto rendimiento se asocia con camiones de extracción CAT 797F y Komatsu 930E; los cuales carga con 3 ó 4 baldadas. Sus principales antecedentes se exponen a continuación en la tabla n° 33.

TABLA 33. ANTECEDENTES PALA ELÉCTRICA P&H 4100 XPC.

KOMATSU		
Modelo	P&H 4100 XPC Eléctrica	
Precio [USD]	26.800.000	
Carga Útil Nominal [ton]	108,9	
Capacidad Nominal del Balde [m3]	52,8 – 61,2	
Vida Útil AMSA [horas]	87.780	

Los gastos de mantenimiento de la pala P&H 4100 XPC, como se exhiben en la tabla 34, se concentran en la compra de repuestos (35,4%) y reparaciones mecánicas (35,3%), las que podrían tener relación con el daño operacional y con el desgaste de piezas.

TABLA 34. DISTRIBUCIÓN GASTOS DE MANTENIMIENTO PALA P&H 4100 XPC.

<i>Distribución Gastos de Mantenimiento Pala P&H4100 XPC</i>	
Repuestos	35,4%
Componentes Reparados Mecánicos	35,3%
GET (Ground Engaging Tools)	12,6%
MO Mantenimiento Taller Otros Interno	7,1%
Cables de Acero	3,2%
Lubricantes	2,8%
Contratos Mantención	2,6%
Ropa de trabajo y elementos de seguridad	0,6%
Otros	0,3%

El consumo de energía de una pala eléctrica P&H 4100 XPC varía entre 1,24 y 2,43 Mw/hora como se muestra en la tabla 35.

TABLA 35. RESUMEN ESTADÍSTICO CONSUMO DE ENERGÍA PALA P&H 4100 XPC.

<i>Consumo Eléctrico P&H4100 XPC</i>	
Media [Mw/hr]	1,53
Desviación estándar [Mw/hr]	0,30
Mínimo [Mw/hr]	1,24
Máximo [Mw/hr]	2,43

Por último, el rendimiento medio, como se expone en la tabla 36, bordea las 7.500 toneladas por hora y presenta una desviación estándar del orden de las 280 toneladas.


TABLA 36. RESUMEN ESTADÍSTICO RENDIMIENTO DE CARGUÍO PALA P&H 4100 XPC.

Rendimiento P&H4100	
Media [ton/hr]	7494,30
Desviación estándar	279,59
Mínimo [ton/hr]	6972,00
Máximo [ton/hr]	8157,00

5.1.2.2. Excavadora Hidráulica KOMATSU PC5500

Uno de los equipos de carguío más utilizados dentro de las propuestas técnico-económicas, recibidas por las diferentes licitaciones, es la excavadora o pala hidráulica PC5500, ideal para cargar equipos de 130 a 300 toneladas. La variante tipo excavadora es considerada selectiva, debido a su alta maniobrabilidad y a la posibilidad de que el operador siempre pueda estar observando lo que carga y descarga. Si se aprecia la presencia de un sobre tamaño o algún inchancable (aceros de perforación, piezas del propio equipo de carguío) se puede reaccionar a tiempo y modificar el destino de la descarga. Se muestran a continuación, algunos antecedentes del equipo PC5500 backhoe.

TABLA 37. ANTECEDENTES EXCAVADORA HIDRÁULICA KOMATSU PC5500.

KOMATSU		
Modelo	PC 5500	
Precio [USD]	9.290.000	
Carga Útil Nominal [ton]	54	
Capacidad Nominal del Balde [m3]	26 - 29	
Vida Útil AMSA [horas]	57.100	

Para el caso del mantenimiento, como se muestra en la tabla 38, este se concentra en el ítem de repuestos (51,1%), seguido de componentes reparados mecánicos (19,7%) y mano de obra (18,6%).

TABLA 38. DISTRIBUCIÓN GASTOS DE MANTENIMIENTO EXCAVADORA PC5500.

Distribución Gastos de Mantenimiento Excavadora PC5500	
Repuestos	51,1%
Componentes Reparados Mecánicos	19,7%
MO Mantenimiento	18,6%
Lubricantes	8,2%
GET (Ground Engaging Tools)	2,0%
Ropa de trabajo y elementos de seguridad	0,4%

Este equipo presenta un consumo de combustible medio de 342 litros por hora, lo que le permite una autonomía de 28 horas operativa, considerando que su estanque tiene una capacidad de 10.300 litros. Como se aprecia en la tabla 39, la desviación estándar de consumo es del orden del 5%.

TABLA 39. RESUMEN ESTADÍSTICO CONSUMO DE COMBUSTIBLE EXCAVADORA PC5500.

Consumo Diesel PC5500	
Media [lt/hr]	342,30
Desviación estándar [lt/hr]	17,48
Mínimo [lt/hr]	322,00
Máximo [lt/hr]	377,00

Respecto al rendimiento medio de una excavadora PC5500, expuesto en la tabla 40, este es del orden de 3300 toneladas por hora. Lo anterior, significa que podría cargar hasta 15 equipos CAT 793 en una hora, considerando que el tiempo de carga es de entre 3,5 y 4 minutos por camión.

TABLA 40. RESUMEN ESTADÍSTICO RENDIMIENTO DE CARGUÍO EXCAVADORA PC5500.


Rendimiento PC5500	
Media [ton/hr]	3310,70
Desviación estándar [ton/hr]	122,36
Mínimo [ton/hr]	3045,00
Máximo [ton/hr]	3493,00

5.1.2.3. Excavadora Hidráulica KOMATSU PC8000

Corresponde a la excavadora hidráulica más grande fabricada por la empresa KOMATSU, según antecedentes especificados en el recuadro. Es capaz de cargar 75 toneladas por pasada, siendo ideal para operar con camiones de extracción 793F/D y 930E.

TABLA 41. ANTECEDENTES EXCAVADORA HIDRÁULICA KOMATSU PC8000.

KOMATSU	
Modelo	PC 8000
Precio [USD]	13.100.000
Carga Útil Nominal [ton]	75,6
Capacidad Nominal del Balde [m3]	42
Vida Útil AMSA [horas]	63.900



Dentro de la distribución de sus gastos de mantenimiento, expuestos anteriormente, destacan la compra de repuestos (50,2%) y reparación de componentes mecánicos (23,5%); éste último, se explica principalmente por la forma de operar de estas excavadoras dado que al trabajar en bancos de 16 metros están obligadas a extender su brazo en altura lo que genera un mayor grado de *stress* en sus componentes. Lo señalado ocurre debido a que los equipos Backhoe están fabricados para trabajar de mejor manera desde la horizontal hacia abajo excavando.

TABLA 42. DISTRIBUCIÓN GASTOS DE MANTENIMIENTO EXCAVADORA PC8000.

Distribución Gastos de Mantenimiento Pala PC8000	
Repuestos	50,2%
Componentes Reparados Mecánicos	23,5%
MO Mantenimiento Taller	18,4%
Lubricantes	7,1%
GET (Ground Engaging Tools)	0,7%
Ropa de trabajo y elementos de seguridad	0,2%
Otros	0,1%

El consumo de combustible en estos equipos, como se muestra en la tabla 43, y al igual que la excavadora PC5500, tienen una desviación estándar del orden del 5% lo que se traduce en una baja variabilidad de consumo.

TABLA 43. RESUMEN ESTADÍSTICO CONSUMO DE COMBUSTIBLE EXCAVADORA PC8000.

Consumo Diesel PC8000	
Media [lt/hr]	422,80
Desviación estándar [lt/hr]	19,82
Mínimo [lt/hr]	386,00
Máximo [lt/hr]	451,00

En cuanto al rendimiento que generan los equipos de carguío, este depende mucho de la calidad de la frente de carguío (ancho y granulometría) y nivel de saturación con equipos de transporte. En particular, la excavadora PC8000 posee un rendimiento medio de 4654 toneladas por hora lo que representa un 40% más que su par PC5500 (ver la tabla 44).

TABLA 44. RESUMEN ESTADÍSTICO RENDIMIENTO DE CARGUÍO EXCAVADORA PC8000.

Rendimiento PC8000	
Media [ton/hr]	4654,40
Desviación estándar [ton/hr]	101,36
Mínimo [ton/hr]	4516,00
Máximo [ton/hr]	4850,00

En el caso de los equipos de carguío sobre ruedas se debe considerar el costo por consumo de neumáticos, el cual representa entre un 4 y un 5 por ciento del gasto total, algo así como 28 a 30 dólares por hora, como se exhibe en el gráfico 4.

Estos equipos de carguío son ideales para operaciones con constantes cambio de postura o evacuaciones por tronadura, debido a su capacidad de desplazamiento.

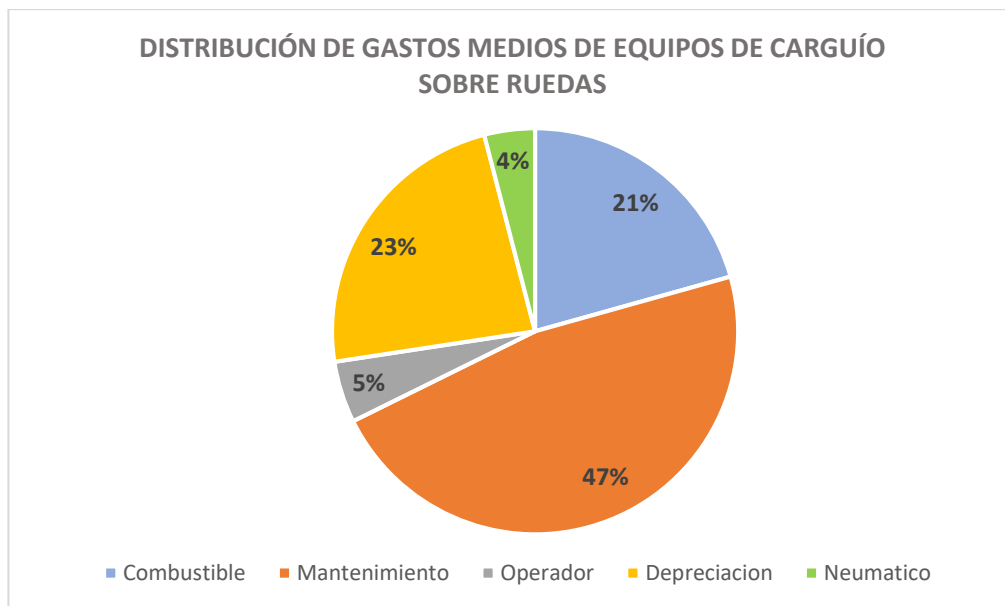


GRÁFICO 4. DISTRIBUCIÓN DE GASTOS PARA EQUIPOS DE CARGUÍO SOBRE RUEDAS.

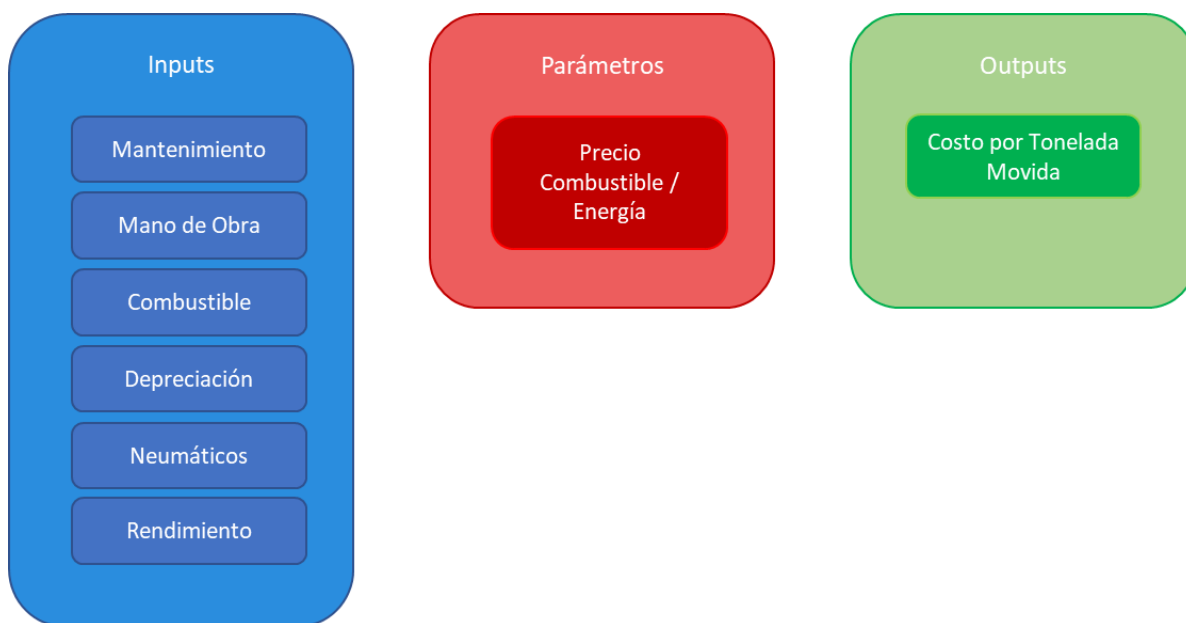


FIGURA 3. INPUTS Y PARÁMETROS CONSIDERADOS PARA LA OBTENCIÓN DEL COSTO UNITARIO DE PRODUCCIÓN DE EQUIPOS DE CARGUÍO SOBRE RUEDAS [USD/TONELADA].


Como se puede ver en la figura 3 la única variación que existe entre los equipos sobre oruga y sobre ruedas, es la inclusión de los gastos por concepto de neumáticos en los inputs.

5.1.2.4. Cargador Frontal P&H L2350

Cargador frontal sobre ruedas más potente y productivo en su clase, el cual alcanza una carga nominal de hasta 72 toneladas por pasada, como se aprecia en los antecedentes expuestos en la tabla 45; permitiéndole cargar camiones con capacidad sobre 300 toneladas sin mayor dificultad.

TABLA 45. ANTECEDENTES CARGADOR FRONTAL P&H L2350.

KOMATSU	
Modelo	P&H L2350
Precio [USD]	10.500.000
Carga Útil Nominal [ton]	72,5
Capacidad Nominal del Balde [m3]	38 - 40,5
Valor Neumático [USD]	99.800
Vida Útil Media de Neumáticos [horas]	11.850
Vida Útil AMSA [horas]	52.540



Como ha sido la tendencia en los equipos de carguío los gastos de mantenimiento se concentran en repuestos y mano de obra, como se representa en la tabla 46.

TABLA 46. DISTRIBUCIÓN DE GASTOS DE MANTENIMIENTO CF P&H L2350.

<i>Distribución Gastos de Mantenimiento Cargador Frontal P&H L2350</i>	
Repuestos	36,2%
Contratos Mantención	28,8%
Componentes Reparados Mecánicos	25,7%
MO Mantenimiento Taller Otros Interno	6,1%
Lubricantes	2,3%
Ropa de trabajo y elementos de seguridad	0,7%
GET (Ground Engaging Tools)	0,2%

El consumo de combustible promedio de este equipo es de 254 litros por hora. La tabla 47 platea este resumen estadístico.

TABLA 47. RESUMEN ESTADÍSTICO CONSUMO DE COMBUSTIBLE CF P&H L2350.

<i>Consumo Diesel L2350</i>	
Media [lt/hr]	254,00
Desviación estándar [lt/hr]	22,24
Mínimo [lt/hr]	217,00
Máximo [lt/hr]	280,00

Respecto al rendimiento, indicado anteriormente, este tiene relación con diferentes variables (granulometría, ancho de frente y nivel de saturación con equipos de carguío). En este caso, el cargador frontal L2350, puede alcanzar las 2.600 toneladas por hora, algo bueno para un cargador frontal considerando que requiere de un mayor espacio y de la realización de diversas maniobras (retroceso, avance, levante y volteo) para poder cargar un camión. El resumen de las estadísticas, en cuanto a su rendimiento, se presentan en los siguientes datos del cuadro n°48.

TABLA 48. RESUMEN ESTADÍSTICO RENDIMIENTO DE CARGUÍO CF P&H L2350.


Rendimiento L2350	
Media [ton/hr]	2490,6
Desviación estándar [ton/hr]	66,9
Mínimo [ton/hr]	2390,0
Máximo [ton/hr]	2616,0

5.1.2.5. Cargador Frontal CATERPILLAR 994K

Los cargadores frontales Caterpillar 994 (en sus diferentes versiones K, L, F) son bastante comunes en las faenas mineras, especialmente las versiones high Lyft o de levantamiento alto que permiten al balde alcanzar alturas de hasta 6,7 metros, posicionándolo en el medio de la tolva de un camión de extracción 793 (ver antecedentes tabla n°49).

TABLA 49. ANTECEDENTES CARGADOR FRONTAL CATERPILLAR 994K

CATERPILLAR	
Modelo	994K
Precio [USD]	5.730.000
Carga Útil Nominal [ton]	38,1
Capacidad Nominal del Balde [m3]	19 - 24,5
Valor Neumático [USD]	69.450
Vida Útil Media Neumático [horas]	9.980
Vida Útil AMSA [Horas]	36.580



Lo detallado en el recuadro n°50 permite apreciar la distribución de los gastos de mantenimiento. Llama la atención los ítems de ropa de trabajo, elementos de desgaste (GET), mano de obra mantenimiento y otros, puesto que en su conjunto no superan el 1%.

TABLA 50. DISTRIBUCIÓN GASTOS DE MANTENIMIENTO CF CAT 994K.

Distribución Gastos de Mantenimiento Cargador Frontal 994K	
Repuestos	38,70%
Componentes Reparados Mecánicos	36,10%
Contratos Mantención	19,90%
Lubricantes	4,70%
Ropa de trabajo y elementos de seguridad	0,30%
GET (Ground Engaging Tools)	0,10%
Otros	0,10%
MO Mantenimiento	0,02%

El cargador frontal 994K presenta una desviación estandar del orden del 4%, lo que implica una baja variabilidad en el consumo de combustible, como se puede reconocer en la tabla 51.

TABLA 51. RESUMEN ESTADÍSTICO CONSUMO DE COMBUSTIBLE CF CAT 994K.

Consumo Diesel 994K	
Media [lt/hr]	207,80
Desviación estándar [lt/hr]	8,60
Mínimo [lt/hr]	192.00
Máximo [lt/hr]	220.00

Finalmente, cabe mencionar que el cargador frontal 994K posee un rendimiento medio de 1829 toneladas por hora, registrando un máximo de 1977 y un mínimo de 163. Rendimiento indicado en el recuadro adjunto.


TABLA 52. RESUMEN ESTADÍSTICO RENDIMIENTO DE CARGUÍO CF CAT 994K.

Rendimiento 994K	
Media [ton/hr]	1829,00
Desviación estándar [ton/hr]	91,64
Mínimo [ton/hr]	1631,00
Máximo [ton/hr]	1977,00

5.1.2.6. Cargador Frontal CATERPILLAR 994F

EL cargador frontal 994F, mostrado y descrito en la tabla 53, es de similares características que el antes mencionado 994K. La diferencia radica en que el cargador frontal 994 F posee una capacidad de balde menor, lo que implica una disminución en su rendimiento, el que ronda las 1.670 toneladas por hora como se muestra posteriormente en la tabla 56.

TABLA 53. ANTECEDENTES CARGADOR FRONTAL CATERPILLAR 994F.

CATERPILLAR		
Modelo	994F	
Precio [USD]	4.950.000	
Carga Útil Nominal [ton]	32	
Capacidad Nominal del Balde [m3]	17,8 – 20,5	
Valor Neumático [USD]	69.450	
Vida Útil Media Neumático [horas]	10.380	
Vida Útil AMSA [horas]	32.020	

Los gastos de mantenimiento del cargador 994F, tienen una distribución muy similar al del cargador 994K (ver tabla n°54).

TABLA 54. DISTRIBUCIÓN GASTOS DE MANTENIMIENTO CF CAT 994F.

<i>Distribución Gastos de Mantenimiento Cargador Frontal 994F</i>	
Componentes Reparados Mecánicos	38,3%
Repuestos	29,1%
Contrato Mantención	24,6%
Lubricantes	5,3%
MO Mantenimiento	1,7%
Ropa de trabajo y elementos de seguridad	0,9%
GET (Ground Engaging Tools)	0,1%

Sobre el consumo de combustible para este equipo, el siguiente resumen estadístico de la tabla 55 lo expone claramente.

TABLA 55. RESUMEN ESTADÍSTICO CONSUMO DE COMBUSTIBLE CF CAT 994F.

<i>Consumo Diesel 994F</i>	
Media [lt/hr]	191,60
Desviación estándar [lt/hr]	12,72
Mínimo [lt/hr]	171,00
Máximo [lt/hr]	209,00

Debido a la menor carga útil nominal, este equipo presenta un menor rendimiento promedio de 1677 toneladas por hora, lo que representa un 8,3% menos que el cargador frontal 994K. Lo anteriormente señalado, se puede apreciar en la tabla n°56.

TABLA 56. RESUMEN ESTADÍSTICO RENDIMIENTO DE CARGUÍO CF CAT 994F.

<i>Rendimiento 994F</i>	
Media [ton/hr]	1677,50
Desviación estándar [ton/hr]	131,10
Mínimo [ton/hr]	1514,00
Máximo [ton/hr]	1876,00

5.1.3. Transporte

La operación de transporte, especificado en el gráfico 5, concentra sus gastos en tres aspectos: Mantenimiento (35%), Combustible (28%) y depreciación (22%). El hecho de que el combustible represente un 30% del gasto de transporte, implica que el costo de la tonelada movida se vea fácilmente afectado ante las fuertes variaciones del precio del diésel y ante la variación de la distancia recorrida por ciclo.

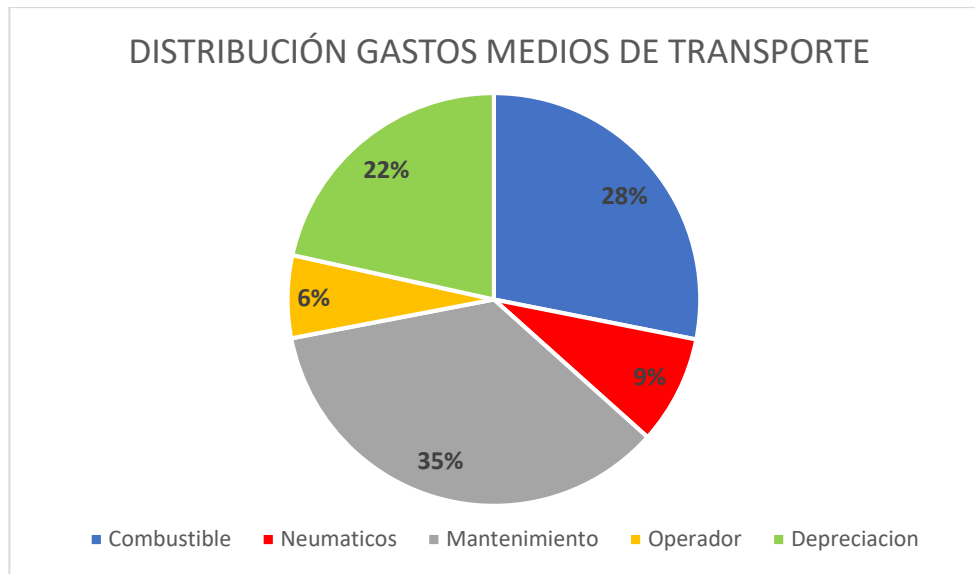


GRÁFICO 5. DISTRIBUCIÓN DE GASTOS DE LA OPERACIÓN DE TRANSPORTE.

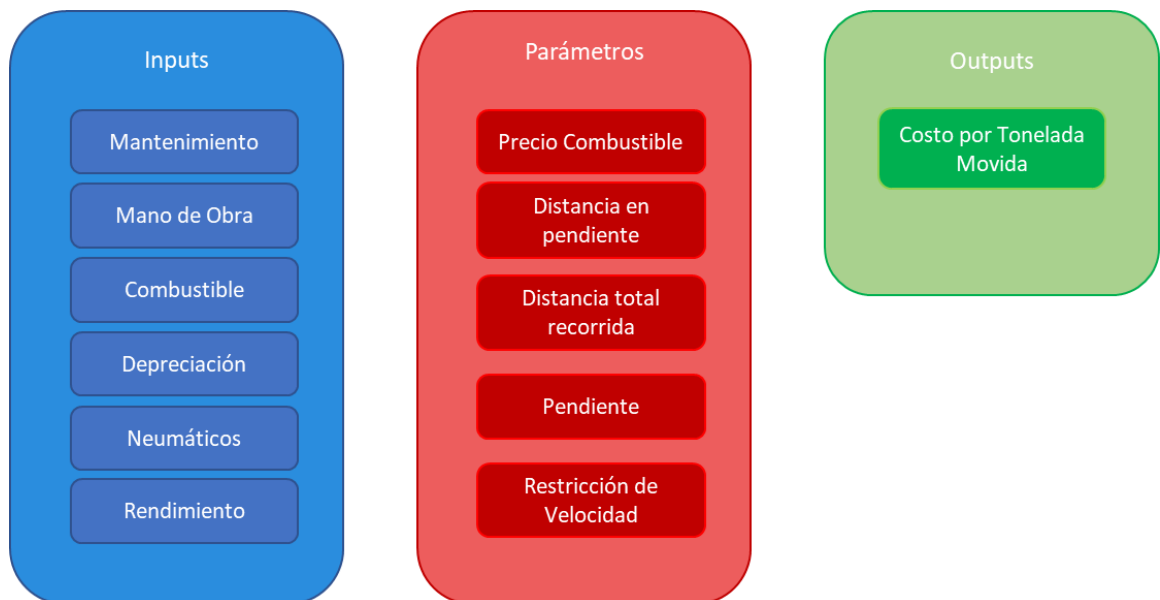


FIGURA 4. INPUTS Y PARÁMETROS CONSIDERADOS PARA LA OBTENCIÓN DEL COSTO UNITARIO DE PRODUCCIÓN [USD/TONELADA].

En la figura 4 se presentan los inputs y variables que son considerados para obtener el costo por tonelada movida en la operación y transporte, así como también los parámetros que influyen en uno y otro de estos inputs.


A continuación, se presentarán y analizarán tres equipos utilizados en Minera Centinela para el transporte de material.

5.1.3.1. Camión de Extracción CATERPILLAR 797F

Es el equipo de transporte de mineral con la mayor capacidad nominal utilizado en Minera Centinela con 363 toneladas, como se expone en la Tabla 57. Este equipo está generalmente asociado a la utilización de equipos de carguío de gran capacidad, como las palas eléctricas P&H 4100 o excavadora hidráulica PC8000.

TABLA 57. ANTECEDENTES CAMIÓN DE EXTRACCIÓN CATERPILLAR 797F.

CATERPILLAR	
Modelo	797F
Precio [USD] (Sin Neumáticos)	5.000.000
Carga Útil Nominal [ton]	363
Capacidad Colmada [m3]	240 - 267
Velocidad Máxima Cargado [km/hr]	67,6
Valor Neumático [USD]	39.800
Vida Útil AMSA [horas]	44.400



En cuanto a los gastos de mantenimiento, estos se concentran en los ítems de reparación mecánica (47,9%) y repuestos (31%) como se muestra en la tabla 58. Es importante mencionar que la flota de carguío, al ser la más grande de todos los equipos y al estar en constante desplazamiento, están más propensos a sufrir interacciones o accidentes que lleven al daño del equipo y, en consecuencia, a una posterior reparación.

TABLA 58. DISTRIBUCIÓN GASTOS DE MANTENIMIENTO CAEX CAT 797F.

<i>Distribución Gastos de Mantención Camión Extracción 797F</i>	
Componentes Reparados Mecánicos	47,9%
Repuestos	31,0%
MO Mantenimiento Taller Otros Interno	11,9%
Lubricantes	6,2%
Contratos	2,4%
Ropa de trabajo y elementos de seguridad	0,4%
Otros	0,2%

El equipo CAT 797F posee el mayor consumo de combustible de los 3 equipos analizados, principalmente por ser el de mayor capacidad. Por esta razón, requiere de un mayor esfuerzo lo que se traduce en un alto consumo (ver tabla 59).

TABLA 59. RESUMEN ESTADÍSTICO CONSUMO DE COMBUSTIBLE CAEX CAT 797F.

Consumo Diesel 797F	
Media [lt/hr]	245,60
Desviación estándar [lt/hr]	9,50
Mínimo [lt/hr]	230,00
Máximo [lt/hr]	261,00

La vida útil de los neumáticos tiene directa relación con el TKPH (tonelada kilómetro hora) el cual es una característica esencial de la capacidad de trabajo de las llantas. Para una misma dimensión y escultura, pueden existir varios tipos de goma, cada uno asociado a un TKPH diferente. Los valores de TKPH figuran entre las características de los neumáticos. Estos dependen de la capacidad de carga de cada dimensión, del número de kilómetros a cada hora permitidos por tipo de neumático y de una temperatura ambiente normalizada. En este caso, la vida útil media de un neumático para el equipo 797F es de 4.330 horas. En las estadísticas se consideran dos tipos de neumáticos: 59/80R63 Michelin y 59/80R63 Bridgestone.

TABLA 60. RESUMEN ESTADÍSTICO VIDA ÚTIL NEUMÁTICOS CAEX CAT 797F.


Neumático 797F	
Media [hrs]	4329,70
Desviación estándar [hrs]	323,14
Mínimo [hrs]	3643,00
Máximo [hrs]	4867,00

5.1.3.2. Camión de extracción CATERPILLAR 793F

El camión de extracción CAT 793F es otro de los equipos analizados. En su momento uno de los más utilizados por la industria minera, pero poco a poco ha ido siendo relegado por diseños de mayor capacidad como el CAT 797F, Komatsu 930E y 980E; esto con el único objetivo de reducir los costos de operación y mover más con menos. Antecedentes del equipo presentados a continuación:

TABLA 61. ANTECEDENTES CAMIÓN DE EXTRACCIÓN CAT 793F.

CATERPILLAR	
Modelo	793F
Precio [USD] (Sin Neumáticos)	3.840.000
Carga Útil Nominal [ton]	226,8
Capacidad Colmada [m3]	159 - 190
Velocidad Máxima Cargado [km/hr]	60
Valor Neumático [USD]	27.970
Vida Útil AMSA [horas]	36.000



Dentro de los aspectos de mantenimiento mostrados en la Tabla 62, destacan el gasto en componentes reparados mecánicos (30,4%), contratos de mantenimiento externo (Finning) y repuestos.

TABLA 62. DISTRIBUCIÓN GASTOS DE MANTENIMIENTO CAEX CAT 793F.

<i>Distribución Gastos de Mantención Camión Extracción 793F</i>	
Componentes Reparados Mecánicos	30,4%
Contratos	25,4%
Repuestos	20,5%
Otros	13,4%
Lubricantes	10,1%
MO Mantenimiento Taller Otros Interno	0,1%
Ropa de trabajo y elementos de seguridad	0,01%

Referente al consumo de combustible, evidenciado en el cuadro resumen este equipo posee una desviación estándar no menor del 12,5 %, lo que podría tener su explicación en las condiciones de la ruta, pasando de recorrer una mayor distancia en plano y una menor distancia en pendiente a una mayor distancia en pendiente y una menor distancia en plano.

TABLA 63. RESUMEN ESTADÍSTICO CAEX CAT 793F.

<i>Consumo Diesel 793F</i>	
Media [lt/r]	138,20
Desviación estándar [lt/r]	17,30
Mínimo [lt/r]	107,00
Máximo [lt/r]	169,00

La vida útil de los neumáticos utilizados por el CAEX 793F alcanza en promedio las 5.887 horas (ver tabla 64), lo que representa un 22,3% más que su competidor más cercano. Sin embargo, parte de ello se justifica por su menor capacidad de carga. Los neumáticos utilizados para este equipo son, dependiendo del fabricante de neumático y tipo de llanta, un 46/90R57 o 50/80R57 tanto Michelin como Bridgestone.

TABLA 64. RESUMEN ESTADÍSTICO VIDA ÚTIL NEUMÁTICOS CAEX CAT 793F.

<i>Neumático 793F</i>	
Media [hrs]	5886,60
Desviación estándar [hrs]	805,72
Mínimo [hrs]	4387,00
Máximo [hrs]	6838,00


5.1.3.3. Camión de extracción KOMATSU 930E

En Minera Centinela los equipos se encuentran potenciados, dado que desde un principio se tenía pensado llevarlos a una faena sobre los 4.000 msnm (metros sobre el nivel del mar). Esto les permite tener una mayor potencia y aceleración en desmedro de un leve aumento en el consumo de combustible.

En la tabla 65, se muestran algunos antecedentes relevantes del Komatsu 930E.

TABLA 65. ANTECEDENTES CAMIÓN DE EXTRACCIÓN KOMATSU 930E.

KOMATSU	
Modelo	930E
Precio [USD] (Sin Neumáticos)	4.900.000
Carga Útil Nominal [ton]	290
Capacidad Colmada [m3]	171 - 211
Velocidad Máxima Cargado [km/hr]	64,5
Valor Neumático [USD]	36.070
Vida Útil AMSA [horas]	46.500



Como se indica a continuación, en la tabla 66, el principal gasto está dado por contrato de mantenimiento (40,7%). Dicho consumo está asociado a la realización de las mantenencias por parte de la misma empresa fabricante y sus técnicos especialistas, entregándole una mayor confiabilidad a los equipos.

TABLA 66. DISTRIBUCIÓN GASTOS DE MANTENIMIENTO CAEX KOMATSU 930E.

<i>Distribución Gastos de Mantenimiento Camión Extracción 930E</i>	
Contratos Mantenimiento	40,7%
Componentes Reparados Mecánicos	33,9%
Repuestos	19,6%
Lubricantes	5,7%
MO Mantenimiento Taller Otros Interno	0,1%

Respecto al consumo diésel (tabla n°67), este equipo bordea los 200 litros por hora y posee una desviación estándar aproximada del 10%.

TABLA 67. RESUMEN ESTADÍSTICO CONSUMO DE COMBUSTIBLE CAEX KOMATSU 930E.

<i>Consumo Diesel 930E</i>	
Media [lt/hr]	199,70
Desviación estándar [lt/hr]	19,67
Mínimo [lt/hr]	158,00
Máximo [lt/hr]	227,00

Por último, lo señalado en el resumen estadístico posterior concierne a la vida útil media de los neumáticos junto con otras estadísticas.

TABLA 68. RESUMEN ESTADÍSTICO VIDA ÚTIL NEUMÁTICO CAEX KOMATSU 930E.

Neumatico930E	
Media [hrs]	4812,60
Desviación estándar [hrs]	172,53
Mínimo [hrs]	4462,00
Máximo [hrs]	5040,00

5.1.4 Servicios de Apoyo

Los servicios de apoyo son todos aquellos que permiten el correcto desarrollo de una mina, desde la mantención de caminos, pretilas y logro de línea de programa, hasta mantención de botaderos y stocks, entre otros.

El cálculo de la flota de apoyo está determinado principalmente por: los equipos de carguío activos que se espera tener según plan, la distancia total de los caminos recorridos, la cantidad de rutas activas y la cantidad de botaderos utilizados. Como estos servicios no son productivos, en el sentido de que no extraen ni transportan material, el costo unitario asociado a ellos se calcula básicamente en función de aquello que se espera trasladar en un determinado intervalo de tiempo.

5.1.4.1. Camión Aljibe/Aguatero


Los camiones aljibes o aguateros son parte esencial de una operación a cielo abierto. Son camiones de extracción a los cuales se les monta un estanque en reemplazo de una tolva. El equipo más comúnmente utilizado es el Caterpillar 777G al cual se le adapta un estanque de 80 m³.

El cálculo de la flota de camiones aljibes tiene directa relación con la distancia total de caminos, el ancho de estos, la tasa de evaporación y la cantidad de rutas activas en simultáneo.

Por otro lado, el gasto operacional relacionado al uso de un camión aljibe, sin considerar el consumo diésel, bordea los 133 dólares por hora. Lo anterior se aprecia en la tabla n°69.

TABLA 69. ANTECEDENTES CAMIÓN GUATERO CAT 777G.

CATERPILLAR	
Modelo	777G
Precio [USD]	1.950.000
Capacidad Nominal Estanque [m3]	70
Velocidad Máxima [km/hr]	67,1
Vida Útil AMSA [horas]	47.300
Valor Neumático [USD]	55.600
Vida Útil Media Neumático [horas]	7.605
Costo Operación s/combustible [USD/hora]	133



5.1.4.2. Bulldozer

Los equipos denominados Bulldozer cumplen un rol fundamental en la mantención de botaderos, logro de cotas de piso y generación de patios de perforación. El cálculo de su flota está relacionado con la cantidad de equipos de carguío activos (sin contar cargadores frontales), número de botaderos activos y condiciones especiales como la presencia de nieve. A continuación, se exponen los dos equipos comúnmente utilizados en la industria minera. Siendo su principal diferencia el largo de la hoja y la capacidad de empuje.

En las tablas 70 y 71 se especifican algunos antecedentes relevantes de los equipos bulldozer. El costo de operación en ellas expuesto considera el gasto de mantenimiento, consumo de lubricantes, mano de obra, depreciación y aceros de desgaste (hoja o cuchilla y desgarrador).

TABLA 70. ANTECEDENTES BULLDOZER CAT D11T.



CATERPILLAR		
Modelo	D11T	
Precio [USD]	2.550.000	
Largo de la Hoja [mm]	8.579	
Velocidad Máxima [km/hr]	11,8	
Vida Útil AMSA [horas]	54.500	
Gasto de operación s/combustible [USD/hora]	186	

TABLA 71. ANTECEDENTES BULLDOZER CAT D10T2.

CATERPILLAR		
Modelo	D10T2	
Precio [USD]	1.340.000	
Largo de la Hoja [mm]	7.750	
Velocidad Máxima [km/hr]	12,7	
Vida Útil AMSA [horas]	37.700	
Gasto de operación s/combustible [USD/hora]	132	

5.1.4.3. Motoniveladora

Esta maquinaria resulta esencial para el mantenimiento de caminos, algo muy importante para preservar la vida útil de los neumáticos de los equipos de transporte. Su gran maniobrabilidad y velocidad de desplazamiento hacen que sea la máquina más indicada para esta tarea, considerando que la caída de material desde la tolva de los camiones es un hecho muy común dentro de una operación minera. El cálculo de su flota está asociada principalmente a la cantidad de kilómetros de camino existentes y la cantidad de rutas utilizadas en simultáneo.

En las tablas 72 y 73 se presentan los antecedentes más importantes de las dos motoniveladoras más comunes en las faenas mineras: 16M y 24M, las cuales tienen una diferencia de valor de adquisición considerable.

TABLA 72. ANTECEDENTES MOTONIVELADORA CAT 16M.

CATERPILLAR	
Modelo	16M
Precio [USD]	994.000
Largo de la Hoja [mm]	4.900
Velocidad Máxima [km/hr]	51,7
Vida Útil AMSA [horas]	36.500
Valor Neumático [USD]	3.110
Vida Útil Media Neumático [horas]	8.490
Costos de operación s/combustible [USD/h]	142





TABLA 73. ANTECEDENTES MOTONIVELADORA CAT 24M.

CATERPILLAR	
Modelo	24M
Precio [USD]	2.420.000
Largo de la Hoja [mm]	7.300
Velocidad Máxima [km/hr]	43,4
Vida Útil AMSA [horas]	42.800
Valor Neumático [USD]	5.400
Vida Útil Media Neumático [horas]	8.844
Costos de operación s/combustible [USD/h]	179



El costo de operación considera: el gasto de mantención, consumo de piezas de desgaste (hoja y desgarradores), consumo de lubricantes, consumo de neumáticos, operador y depreciación.

5.1.4.4. Wheeldozer

Los Wheeldozer cumplen una función mixta, entre la que realizan los bulldozers y las motoniveladoras, combinando su capacidad de desplazamiento con su capacidad de contención de la hoja frontal. Lo anterior le permite realizar tanto la mantención de caminos como de botaderos o pisos en las frentes de carguío. El cálculo de su flota se basa en: la cantidad de equipos de carguío (sin considerar cargador frontal), el número de caminos activos, la cantidad de botaderos activos y los kilómetros totales a recorrer. Cabe señalar que, si se cuenta con las motoniveladoras y bulldozers necesarios, no es necesario realizar el cálculo de wheeldozer dado que las necesidades se encontrarían cubiertas; sin embargo, siempre es recomendable contar con al menos uno.

En las tablas 74 y 75 se presentan los principales antecedentes de los Wheeldozers 834K y 854K, donde se pueden apreciar sus principales diferencias.

TABLA 74. ANTECEDENTES WHELLDOZER CAT 834K.

CATERPILLAR	
Modelo	834K
Precio [USD]	1.190.000
Capacidad de la Hoja [m3]	7,9 - 22,2
Longitud de la Hoja [mm]	9.927
Velocidad Máxima [km/hr]	38,4
Vida Útil AMSA [horas]	52.800
Valor Neumático [USD]	7.035
Vida Útil Media Neumático [horas]	7972
Costo Operación s/combustible [USD/h]	85





TABLA 75. ANTECEDENTES WHELLDOZER CAT854K.

CATERPILLAR	
Modelo	854K
Precio [USD]	2.380.000
Capacidad de la Hoja [m3]	25 - 45
Longitud de la Hoja [mm]	13.405
Velocidad Máxima [km/hr]	25,1
Vida Útil AMSA [horas]	61.100
Valor Neumático [USD]	17.360
Vida Útil Media Neumático [horas]	8193
Costo Operación s/combustible [USD/h]	129



5.1.4.5. Excavadora Secundaria

Las excavadoras “chicas” o secundarias se utilizan principalmente en tareas de desarrollo como logro de líneas de programa, construcción de pretilas y construcción de zanjas, que son fundamentales para el desarrollo de una faena.

En la selección de estos equipos existe una amplia gama de marcas y modelos, por lo que no se presenta en la industria una preferencia definida. En las siguientes tablas, 76 y 77, se presentan algunos aspectos principales de este tipo de equipos utilizados en Centinela.

TABLA 76. ANTECEDENTES EXCAVADORA CAT 374L.

CATERPILLAR	
Modelo	374L
Precio [USD]	960.000
Capacidad Nominal del Balde [m3]	4,6
Vida Útil AMSA [horas]	44.300
Costos Operación s/combustible [USD/hora]	85





TABLA 77. ANTECEDENTES EXCAVADORA CAT 349D.

CATERPILLAR		
Modelo	349D	
Precio [USD]	600.000	
Capacidad Nominal del Balde [m3]	3,1	
Vida Útil AMSA [horas]	39.600	
Costos Operación s/combustible [USD/hora]	64	

Es importante señalar que en la sección anexos se encuentra el detalle de todos los gastos de mantenimiento de los equipos expuestos en este trabajo. La existencia de valores negativos en estos detalles guarda relación con una mala imputación en el centro de costos el cual es corregido en un determinado momento arrojando dicho valor.

5.2 Análisis de Datos

Para la realización de este trabajo se efectuó un análisis de todos los inputs considerados. Con relación a los datos de rendimiento, tanto de perforación como de carguío, se extrajeron los antecedentes del sistema de despacho Jigsaw, desde el 1 de enero del 2018 hasta el 30 de abril del 2019. Obteniéndose un total de 485 datos por cada equipo en operación, considerándose:

- 5 palas P&H 4100 XPC.
- 2 excavadoras PC8000.
- 3 excavadoras PC5500.
- 2 cargadores Frontales P&H L2350.
- 4 cargadores Frontales CAT 994K.
- 3 cargadores Frontales CAT 994F.
- 4 perforadoras Epiroc DMM3.
- 2 perforadoras Epiroc DM45.
- 4 perforadoras Pit Viper 271.
- 4 perforadoras Pit Viper 351.
- 2 perforadores Roc L8.
- 3 perforadoras Sandvik DR560.

Para la identificación de datos atípicos primero se procede a calcular las estadísticas básicas de los rendimientos de cada uno de los equipos por separados, teniéndose con ello una primera impresión en base a los mínimos y máximos.

Los valores outliers encontrados fueron una cantidad reducida (13) y principalmente en la operación de perforación, debido a que el sistema de despacho permite que el operador indique en qué estatus se encuentra (Operativo, reserva, fuera de servicio, espera de atención, carga de combustible, entre otros), filtrándose automáticamente el tiempo de utilización efectiva. En el gráfico 6 se puede apreciar un caso atípico, el cual, dado la secuencia de datos mostrados, se podría presumir que se trata de un equipo que comienza a perforar a inicio de turno y queda fuera de servicio.

A su vez, los espacios en blanco que aparecen en la gráfica corresponden a días en que el equipo no se encuentra operativo. Esto puede ser a causa de mantenimiento, equipo en reserva o alguna eventualidad.

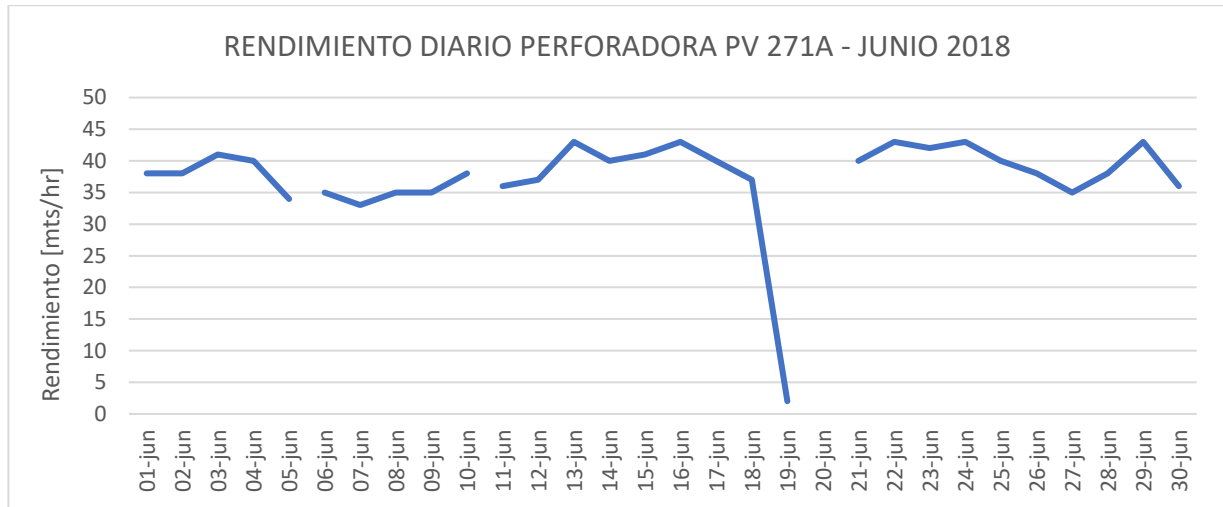


GRÁFICO 6. RENDIMIENTO DE PERFORACIÓN MES DE JUNIO 2018, PERFORADORA PV 271

En el caso del combustible se consideró el reporte mensual, entregado por el área de abastecimiento, en cada uno de los 16 meses. El extracto del detalle de las cargas de combustibles realizadas en un periodo de tiempo queda clarificado a través de lo señalado en el recuadro n°78.

Para poder realizar el análisis de consumo de combustible primero se debe realizar el cruce entre el “*Vehicle Number*” o número de identificación asignado al chip o nano pass, que registra la carga con el equipo en el que está instalado. Así se descartan consumos de luminarias, generadores, motobombas, vehículos menores, vehículos de transporte de personal y otros equipos no ligados a la operación misma (camiones pluma, Man Lift, etc.). Una vez limpiada la base de datos de carga de combustible, se procede a agrupar los consumos mensualmente por flota de equipos utilizados (camiones, excavadoras, equipos de apoyo y perforadoras).

TABLA 78. EXTRACTO REGISTRO DE CARGA DE COMBUSTIBLE.

Date	Time	Fleet	Vehicle Number	Quantity	Department	Card Number
01-08-2018	0:56:50	Esperanza	C308	1744,9	1002MI4050	6E277A60
01-08-2018	1:30:44	Tesoro	996B-1	3229,6	1002MI4050	0188A570
01-08-2018	1:39:16	Tesoro	DZ17	320,3	1002MI4050	9844B180
01-08-2018	1:54:17	Tesoro	PC5500	1656,1	1002MI4050	16F59A5A
01-08-2018	2:49:40	Esperanza	PA6008	1668,3	1002MI4050	A0588A60
01-08-2018	2:51:16	Esperanza	PA6008	173,3	1002MI4050	A0588A60

En función de las horas operativas por mes que registró cada una de las flotas se calcula el consumo de combustible en litros por hora. En este cálculo mensual se puede visualizar la existencia de una pequeña desviación en el gasto, producto de cargas de combustible realizadas en el último turno del mes y cuyas horas operativas son ingresadas en el mes siguiente; por lo que durante ese mes se podría ver reflejado un mayor consumo de combustible. Sin embargo, debido a este aumento que generan principalmente los equipos de carguío y transporte, el impacto de esta desviación no debiese ser mayor al 3,3 % que corresponde a un día de operación.

En lo que atañe a la vida útil de los neumáticos, para equipos de transporte, se considera el informe mensual respecto a los que fueron cambiados durante el mes y el tiempo de uso que tuvieron. Se considera una flota de 19 CAEX CAT 793F, 21 CAEX KOMATSU 930E y 35 CAEX 797F, los que implican el uso de 114, 126 y 210 neumáticos respectivamente. En el proceso de análisis de la información se detectaron 6 datos outliers; sin embargo, se conservan ya que en este caso siempre existe el riesgo de reventar un neumático o tener un incidente que lo inhabilite. Como se mencionó en el apartado 5.1, en el caso de los neumáticos, es importante tener en cuenta el cálculo del tonelaje por kilómetro hora (TKPH) para el cual están programados los neumáticos, dado que determina la capacidad de carga a transportar a una velocidad específica y distancia de traslado. Si el TKPH es sobrepasado, la temperatura aumenta demasiado y la llanta sufre separaciones internas entre el caucho y los cables de acero (radial) o entre las lonas de nylon y el caucho (bias); reduciendo considerablemente su vida útil. Dado lo anterior es que algunas compañías optan por limitar las velocidades máximas de los equipos, evitando que los operadores sobrepasen la velocidad para el TKPH calculado, así aseguran una cierta durabilidad.

Para el costo de mantenimiento se considera la base de gastos mensuales del área, donde se entrega el tipo de equipo y los gastos relacionados a él; además de las horas operativas del equipo durante el año 2018 y los cuatro primeros meses del 2019. Estas consideraciones traen consigo un error asociado dado que se obvia las horas operativas que puede haber tenido el equipo durante los últimos meses del año 2017 y que llevaron a la ejecución de un mantenimiento, reparación o cambio de componentes.

Relacionado con la operación de los equipos los turnos excepcionales más utilizados para operadores, tanto por Minera Centinela como por empresas contratistas que en ella trabajan, son: 7x7, 10x10 y 14x14. Todos los turnos de 12 horas cada uno y en todos los casos se requiere de 4 operadores para poder darle continuidad operacional al proceso. Por lo tanto, para el cálculo del precio relacionado a la mano de obra, basta dividir el costo empresa por operador por 180 horas y, luego, por el tonelaje movido cada hora.

El costo por concepto de depreciación no resiste un numeroso análisis dado que, dependiendo del método de depreciación escogido, es cómo se podrá obtener el valor por hora. En este caso se utiliza el método de las unidades de producción, donde estas se definen como el tiempo de operación. Así, el costo estará dado por el valor del equipo dividido por la vida útil definida en horas.

Es importante mencionar que para el desarrollo de este modelo se considera siempre la utilización de equipos nuevos, simplificando de alguna manera lo que respecta a la renovación de equipos y/o Overhaul.

A continuación, desde la sección 5.2.1 a 5.2.3, se presenta un resumen de los costos asociados a cada equipo y un análisis de sensibilidad en función de los parámetros antes mencionados.

5.2.1 Análisis Equipos de Carguío

En cuanto a los equipos de carguío existe una gran variedad de alternativas en el mercado, los cuales pueden variar desde sus características técnicas hasta precios o costos de operación (ver tabla 79).

TABLA 79. VALOR HORA EQUIPOS DE CARGUÍO.

Carguío	P&H4100DC	PC5500	PC8000	994K	994F	L2350
Total [USD/Hr]	1.204	781	1.029	644	618	831

Sin embargo, el costo de operación por hora no lo es todo dado que el costo final del producto dependerá del rendimiento que tenga cada uno de los equipos. Por ejemplo, la pala eléctrica P&H4100 es por lejos la que presenta el costo hora más alto (1.204 USD/h), pese a ello y como se vio en el punto 5.1.2.1 este equipo posee un rendimiento medio de 7.494 ton/h, lo que se traduce en un costo de producción de 0,16 USD/ton. Por otra parte, el cargador frontal 994F tiene un costo de operación de 618 USD/h, prácticamente el 50% del valor de la pala eléctrica, sin embargo, su rendimiento medio de producción es de 1.677 ton/h; lo que finalmente entrega un costo de producción de 0.36 USD/ton, es decir, un 125% más 10 que la pala P&H4100.

En el gráfico 7 se muestra un análisis de sensibilidad, en función de los inputs involucrados en el OPEX para el costo horario de los equipos de carguío sobre orugas. En él se puede apreciar que la variación en el gasto de mantenimiento es el que tiene un mayor impacto en el costo total. Un aumento del $\pm 10\%$ en el gasto de mantenimiento, implica una variación del $\pm 5,5\%$ en el costo de operación.

Seguido del gasto de mantenimiento, vienen el factor depreciación y combustible. Ante una variación del $\pm 10\%$ tienen un impacto sobre el costo de operación de $\pm 2,2\%$ y $\pm 1,9\%$, respectivamente.

Finalmente, cabe señalar que la variación del gasto de operación tiene un impacto marginal en el costo total como se visualiza en la línea amarilla del gráfico 7.

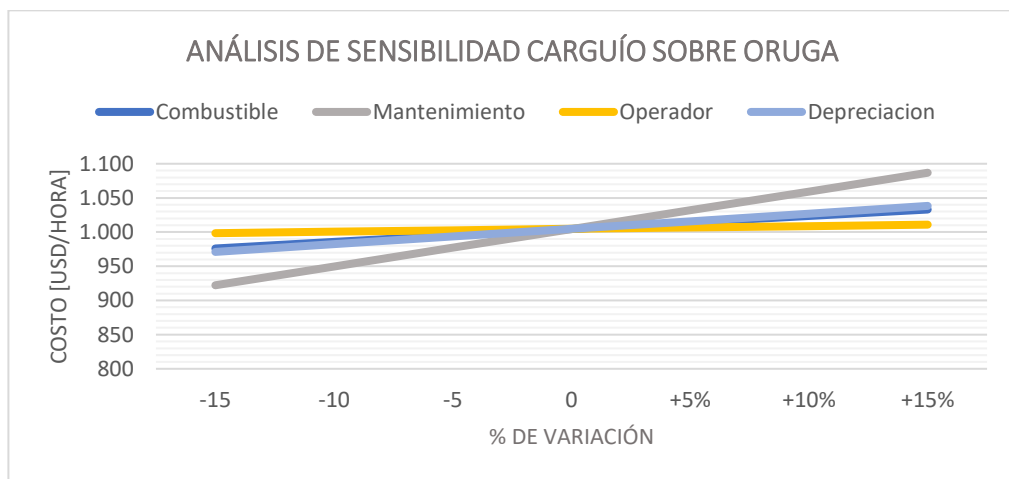


GRÁFICO 7. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD EQUIPOS DE CARGUÍO SOBRE ORUGA.

En cuanto a los equipos de carguío sobre ruedas estos presentan la misma tendencia que los equipos sobre orugas. Sin embargo, se agrega el factor neumático, el cual, ante una variación, tiene un impacto menor en el costo operacional que la variación por gasto de operación (ver gráfico 8).

Además, en este caso, existe una clara diferencia del impacto que genera la depreciación y el consumo de combustible en el costo total de operación. Siendo estas de $\pm 2,4$ y $\pm 1,6$, respectivamente, ante una variación individual del $\pm 10\%$.

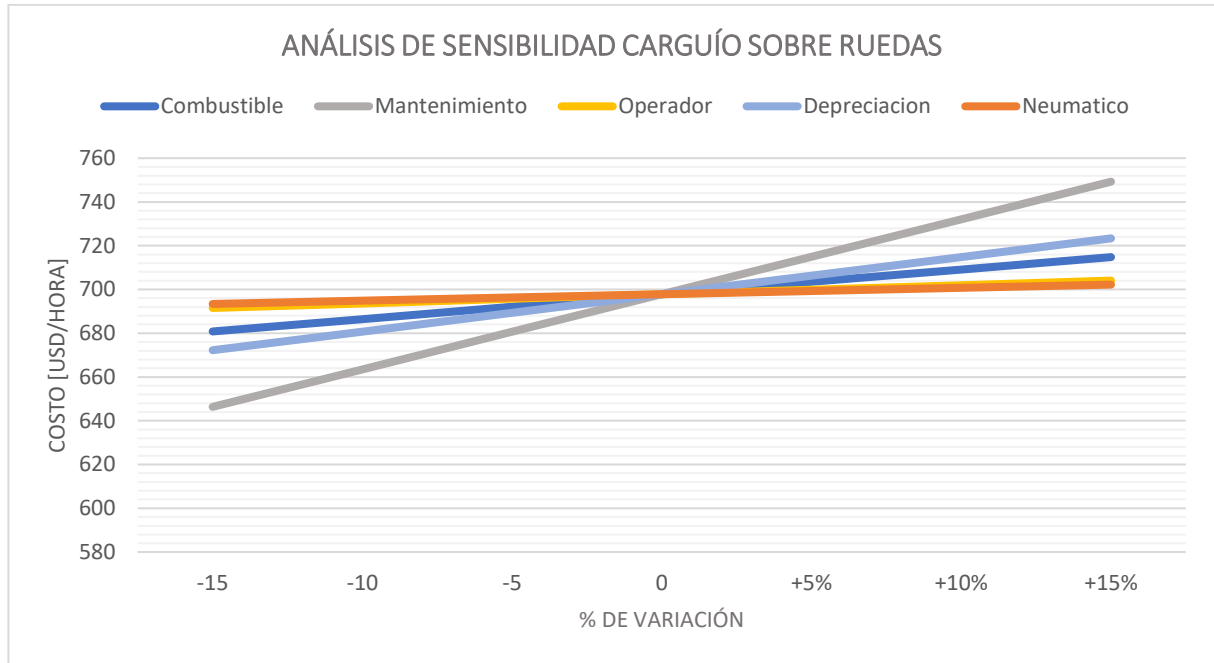


GRÁFICO 8. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD EQUIPOS DE CARGUÍO SOBRE RUEDAS.

Por último, el impacto más significativo en el costo unitario de producción (USD/ton) está dado por el rendimiento del equipo. Ante una variación de +10% en el rendimiento, el costo de producción varía en -9,1%, mientras que ante una variación de -10% el costo de producción se modifica en +11,1%.

A continuación, se exponen las fórmulas consideradas para el cálculo del OPEX de los equipos de carguío.

Costo Depreciación [USD/Hora]:

$$C_{Dep} = \frac{\text{Valor Equipo [USD]}}{\text{Vida Útil Asignada [hrs]}}$$

Costo Neumáticos [USD/Hora]:

$$C_{G_N} = \frac{\text{Valor Neumático Equipo}_i \text{ [USD]} * \text{Cantidad Neumáticos Equipo}_i}{\text{Vida Útil Neumático [hrs]}}$$

Costo Combustible [USD/Hora]:

$$C_{G_c} = \frac{\text{Consumo combustible Equipo}_i \text{ [lts]} * \text{Precio combustible [USD/lt]}}{\text{Tiempo Operativo [hrs]}}$$

Costo Energía [USD/Hora]:

$$CG_E = \frac{\text{Consumo Energía Equipo}_i \text{ [Mw]} * \text{Precio Energía [USD/Mw]}}{\text{Tiempo Operativo [hrs]}}$$

Costo Mantenimiento [USD/Hora]:

$$CG_M = \frac{\text{Gastos de Mantenimiento Equipo}_i \text{ [USD]}}{\text{Horas Operativas Involucradas [hrs]}^*}$$

Costo Mano de Obra [USD/Hora]:

$$CV_{HH} = \frac{\text{Costo Operador Carguío [USD]} * 4}{360 \text{ [hrs]}}$$

Costo producción [USD/ton]:

$$CC_T = \frac{(C_{Dep} + CG_N + CG_c + CG_E + CG_M + CV_{HH}) \left[\frac{USD}{hr} \right]}{\text{Rendimiento Equipo}_i \left[\frac{ton}{hr} \right]}$$

5.2.2 Análisis Equipos de Transporte

En el caso de los equipos de transporte y al igual que los equipos de carguío, el equipo más grande, CAT 797F, tiene el mayor costo por hora. Mientras que el equipo más chico, CAT 93F, tiene el menor costo por hora (ver tabla 80). No obstante, ante un mismo tiempo de ciclo, el factor rendimiento ligado a la capacidad de la tolva hace que el costo de producción del camión CAT 797F sea más bajo que el CAT 793F.

TABLA 80. VALOR HORA EQUIPOS DE TRANSPORTE.

Transporte	CAT 793F	CAT 797F	KOMATSU 930E
Total [USD/hr]	417	525	455

El gráfico 9 muestra el análisis de sensibilidad de los equipos de transporte en general, ante diferentes porcentajes de variación de los factores constituyentes de costo. Frente a variaciones del $\pm 10\%$ en cualquier de los factores individuales, esto puede generar variaciones del costo total en $\pm 0,7$ como es en el caso de la operación hasta $\pm 3,9\%$ en el mantenimiento.

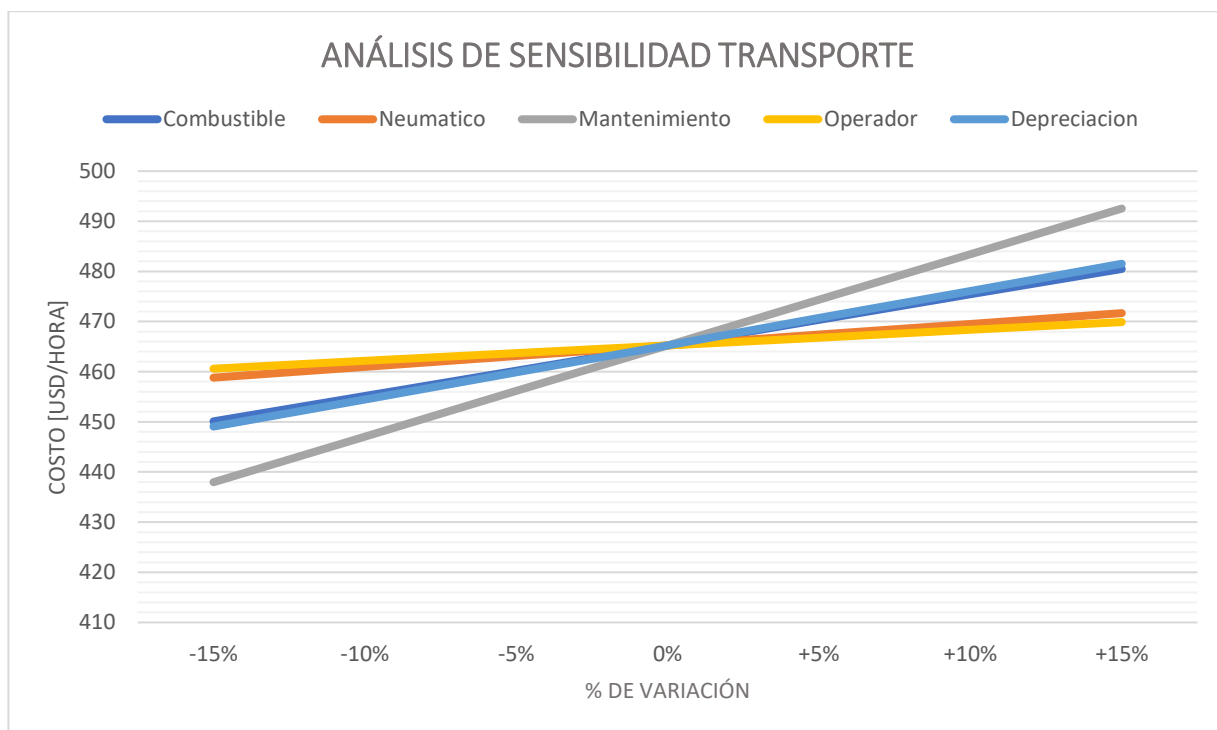


GRÁFICO 9. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD EQUIPOS DE TRANSPORTE.

En el caso del transporte, es importante analizar el impacto de la velocidad de desplazamiento dado que será finalmente lo que determinará el tiempo de ciclo y con ello el rendimiento del equipo.

En el Gráfico 10 se muestra un análisis de sensibilidad para restricciones de velocidad en plano, considerando que la zona de pendientes estará limitada según el porcentaje de declives y la carga; dichas consideraciones se exponen en las Ilustraciones 12, 13 y 14, ubicadas en la sección anexos y tienen relación con las curvas de rimpull de cada equipo.

Considerando que 1.000 metros son recorridos en pendiente y 3.000 en horizontal, la gráfica 10 nos muestra que al final del recorrido existe una diferencia considerable y que puede alcanzar hasta un 30 % del costo de producción. Por ejemplo, si la velocidad en la horizontal está limitada a 60 km/hora, al cabo de un recorrido de 4.000 metros el costo de producción será de 0,625 USD/ton, mientras que en el caso de una limitación de 30 km/hora, el costo de producción será de 0,807 USD/ton. Si se considera un camión con factor de carga igual a 300 toneladas, lo anterior se traduce en que el viaje tendrá un costo de 187,5 USD y 242,1 USD.

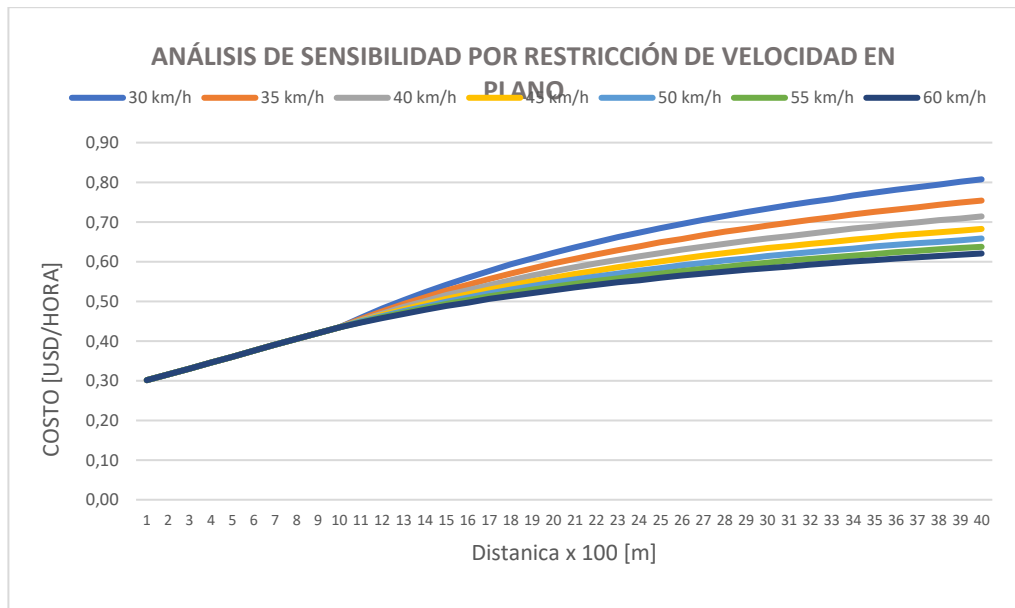


GRÁFICO 10. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE TRANSPORTE POR RESTRICCIÓN DE VELOCIDAD.

Otro factor importante en la operación de transporte es el grado de pendiente de las rampas, dado que como se mencionó anteriormente, estas definen la velocidad máxima de los equipos en subida para el rendimiento óptimo. Sin embargo, al realizar el análisis de sensibilidad del factor pendiente, ocurre un fenómeno interesante el cual se puede apreciar en el gráfico 11 y se explica a continuación:

Si se tiene un recorrido total de 4.000 metros, de los cuales se considera una pendiente del 10 % se recorrerán 1.000 metros en pendiente y 3.000 metros en plano. Ahora bien, para los mismos 4.000 metros recorridos, si consideramos una pendiente del 8%, se recorrerán 1.250 metros en pendiente y 2.750 metros en plano. Finalmente, sobre la misma cantidad de metros recorridos, si se considera una pendiente del 12%, se recorrerán 833 metros en pendiente y 3.167 metros en plano. Por lo tanto, a menor pendiente se recorre una mayor distancia en subida a una velocidad limitada mayor que la para pendientes superiores. Sin embargo, a pendientes mayores se recorre una menor distancia en subida a menor velocidad, pero una mayor distancia en plano lo que permite recorrer un tramo extenso a más velocidad recuperando el “tiempo perdido” por la lentitud de la conducción.

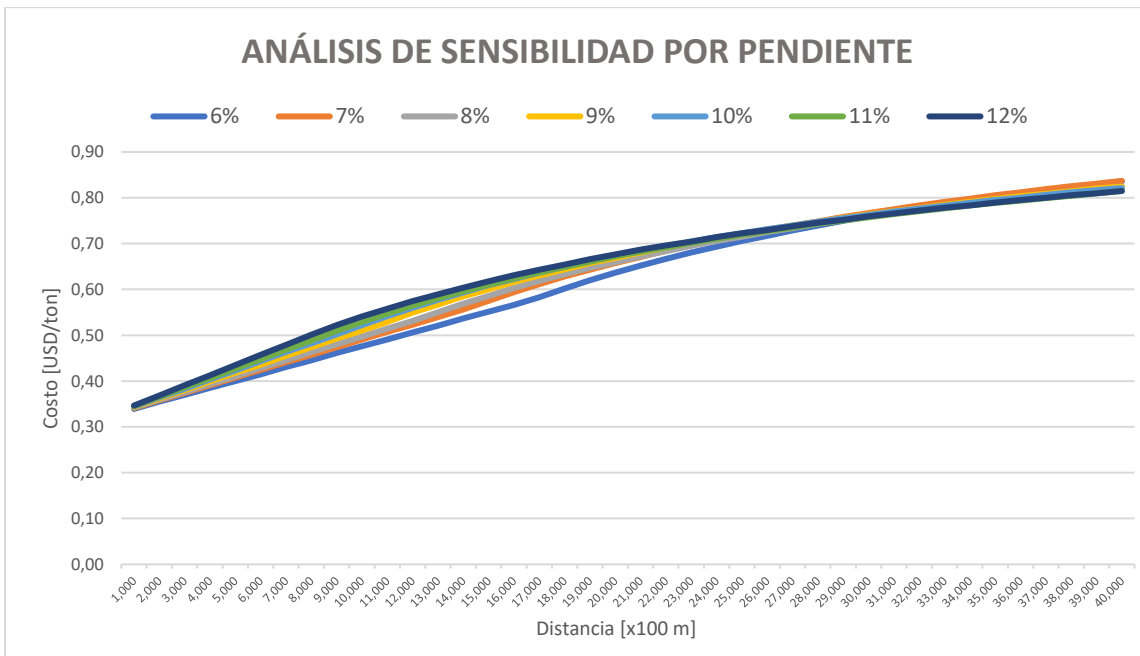


GRÁFICO 11. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE TRANSPORTE POR VARIACIÓN DE PENDIENTE.

A continuación, se presentan las fórmulas utilizadas para el cálculo del OPEX de transporte:

Costo Neumáticos [USD/Hora]:

$$TG_N = \frac{\text{Valor Neumático Equipo}_i \text{ [USD]} * \text{Cantidad Neumáticos Equipo}_i}{\text{Vida Útil Neumático Equipo}_i \text{ [hrs]}}$$

Costo Depreciación [USD/Hora]:

$$T_{Dep} = \frac{\text{Valor Equipo}_i \text{ [USD]}}{\text{Vida Útil Equipo}_i \text{ [hrs]}}$$

Costo Mantenimiento [USD/Hora]:

$$TG_M = \frac{\text{Gastos de Mantenimiento por flota}_i \text{ [USD]}}{\text{Horas Operativas Involucradas por flota}_i \text{ [hrs]*}}$$

Costo Mano de Obra [USD/Hora]:

$$TV_{HH} = \frac{\text{Costo Operador CAEX [USD]} * 4}{360 \text{ [hrs]}}$$

Costo Combustible [USD/Hora]:

$$TG_c = \frac{\text{Consumo combustible Equipo}_i \text{ [lt]} * \text{Precio combustible [USD/lt]}}{\text{Tiempo Operativo [hrs]}}$$

Tiempo de Ciclo [Horas]:

$$TC = \frac{D_p[m]}{Vm_{CS}[\frac{m}{hr}]} + \frac{D_H[m]}{Vm_{CH}[\frac{m}{hr}]} + \frac{D_H[m]}{Vm_{VH}[\frac{m}{hr}]} + \frac{D_p[m]}{Vm_{VB}[\frac{m}{hr}]} + T_{carga}[hr] + T_{Descarga}[hr] + T_{Acul}[hr] + T_{pos.}[hr]$$

D_p = Distancia recorrida en pendiente.

D_H = Distancia recorrida en plano (< 5% pendiente).

Vm_{CS} = Velocidad media cargado en subida.

Vm_{CH} = Velocidad Media cargado en plano.

Vm_{VH} = Velocidad media vacío en plano.

Vm_{VB} = Velocidad media vacío en bajada.

T_{carga} = Tiempo de carga del camión.

$T_{descarga}$ = Tiempo de descarga del camión.

T_{pos} = Tiempo se posicionamiento del camión para cargar.

T_{acul} = Tiempo de aculatamiento para la descarga.

Rendimiento [ton/Hora]:

$$Rendimiento = \frac{Factor\ de\ Carga\ Equipo_i[ton]}{Tiempo\ Ciclo[hr]}$$

Costo producción [USD/ton]:

$$C_T = \frac{(TG_M + TG_N + TG_C + TV_{HH} + TDep) \left[\frac{USD}{hr} \right]}{Rendimiento \left[\frac{ton}{hr} \right]}$$

5.2.3 Análisis de Costos Perforación

Los equipos de perforación no siguen la misma lógica presentes en carguío y transporte, dado que no necesariamente un equipo más grande involucra un mayor gasto (ver tabla 81).

TABLA 81. VALOR HORA EQUIPOS DE PERFORACIÓN.

Perforación	DM45	PV 351	ROC L8	DR560	DM-M3	PV 271
Total [USD/hr]	355	493	422	430	452	399

En este caso y como se muestra en el gráfico 12 el factor que genera el mayor impacto en el costo total, ante una variación individual, es el gasto de mantenimiento; seguido del gasto por consumo de aceros, combustible y depreciación. La variación de cualquiera de estos tres ítems genera un impacto muy similar en el costo total del equipo, con una variación inferior al 0,3 %. Al final, aquel que genera un menor impacto en el costo total es la mano de obra.

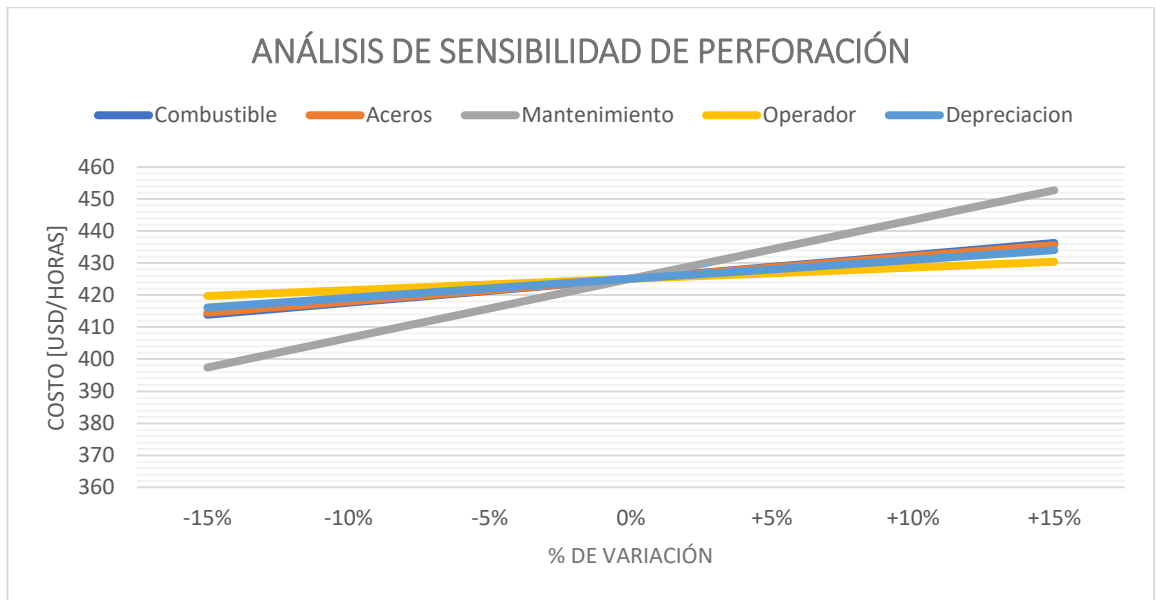


GRÁFICO 12. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD PERFORACIÓN.

Perforación:

Costo Mantenimiento [USD/Hora]:

$$PG_M = \frac{\text{Gastos de Mantenimiento Flota}_i \text{ [USD]}}{\text{Horas Operativas Involucradas [hrs]}^*}$$

Costo Combustible [USD/Hora]:

$$PG_c = \frac{\text{Consumo combustible Equipo}_i \text{ [lts]} * \text{Precio combustible} \left[\frac{\text{USD}}{\text{lt}} \right]}{\text{Tiempo Operativo Equipo}_i \text{ [hrs]}}$$

Costo Depreciación [USD/Hora]:

$$PDep = \frac{\text{Valor Equipo}_i \text{ [USD]}}{\text{Vida Útil Equipo}_i \text{ [hrs]}}$$

Costo Mano de Obra [USD/Hora]:

$$PV_{HH} = \frac{\text{Costo Operador Perforación [USD]} * 4}{360 \text{ [hrs]}}$$

Costo Sarta de perforación [USD/metro]:

$$PG_A = \frac{P.Barra \text{ [USD]}}{VUB \text{ [mts]}} + \frac{P.Tricono \text{ [USD]}}{VUT \text{ [mts]}} + \frac{P.Martillo \text{ [USD]}}{VUM \text{ [mts]}} + \frac{P.Amortiguador \text{ [USD]}}{VUA \text{ [mts]}} + \frac{P.Adaptador \text{ [USD]}}{VUAd \text{ [mts]}}$$

$VUB = \text{Vida Útil barra.}$

$VUT = \text{Vida Útil Tricono.}$

$VUM = \text{Vida Útil Martillo.}$

$VUA = \text{Vida Útil Amortiguador.}$

$VUAd = \text{Vida Útil Adaptador.}$

Costo producción [USD/metro]:

$$PC_T = \left[\frac{(PG_M + PG_C + PV_{HH} + PDep) \left[\frac{USD}{hr} \right]}{\text{Rendimiento} \left[\frac{mts}{hr} \right]} + PG_A \left[\frac{USD}{mts} \right] \right] * FD$$

FD = Factor de Dureza

5.2.4 Análisis Equipos de Apoyo

En lo que respecta a los equipos de apoyo, no se realiza un análisis de sensibilidad dado que no se considera relevante. Más aún cuando no son equipos productivos directamente sino de apoyo a la operación, por lo que el costo unitario relacionado a este servicio se calcula finalmente dividiendo el gasto del equipo por el movimiento hora realizado en la mina.

En las tablas 82 y 83 se presentan los valores horas para equipos sobre oruga y sobre rueda, respectivamente.

TABLA 82. VALOR HORA EQUIPO DE SERVICIO SOBRE ORUGA.

	Bulldozer		Excavadoras	
	CAT D11T	CAT D10T2	CAT 374L	CAT 349D
Costos [USD/hr]	253	188	128	108

TABLA 83. VALOR HORA EQUIPO DE SERVICIO SOBRE RUEDAS.

	Whelldozer		Motoniveladoras		Aljibe
	CAT 834K	CAT 854K	CAT 16M	CAT 24M	CAT 777G
Costo [USD/hr]	122	169	165	204	181

Es importante tener en cuenta que cada uno de los equipos de apoyo se establecen en base a un parámetro determinante, sumado a su disponibilidad y utilización.

La cantidad de Bulldozers se determina según la cantidad de frentes de carguío y lugares de vaciado.

Las motoniveladoras y camiones aljibes se determinan en base a la cantidad de kilómetros de pista recorridos en el circuito y rutas existentes.

Las excavadoras pequeñas se calculan sobre la producción estimada, lo que a su vez determinará el grado de avance de la mina y, por lo tanto, la cantidad de zanjas y remates de cajas posibles.

El whelldozer se puede considerar un híbrido, entre motoniveladora y bulldozers, por lo que podría estar relacionado con ambos parámetros antes mencionados.

Finalmente, al igual que en los casos anteriores, se presentan las ecuaciones utilizadas para el cálculo del costo de producción:

Costo Mantenimiento [USD/Hora]:

$$EAG_M = \frac{\text{Gastos de Mantenimiento Equipo}_i [\text{USD}]}{\text{Horas Operativas Involucradas} [\text{hrs}]^*}$$

Costo Combustible [USD/Hora]:

$$EAG_c = \frac{\text{Consumo combustible Equipo}_i [\text{lts}] * \text{Precio combustible} \left[\frac{\text{USD}}{\text{lt}} \right]}{\text{Cantidad de Tiempo Utilizado} [\text{hrs}]}$$

Costo Depreciación [USD/Hora]:

$$EADep = \frac{\text{Valor Equipo}_i [\text{USD}]}{\text{Vida Útil Equipo}_i [\text{hrs}]}$$

Costo Mano de Obra [USD/Hora]:

$$EAV_{HH} = \frac{\text{Costo Operador Equipo}_i [\text{USD}] * 4}{360 [\text{hrs}]}$$

Costo Neumáticos [USD/Hora]:

$$EAG_N = \frac{\text{Valor Neumático Equipo}_i [\text{USD}] * \text{Número Neumáticos Equipo}_i}{\text{Vida Útil Neumático Equipo}_i [\text{hrs}]}$$

Costo Producción por Equipo de Apoyo [USD/ton]:

$$EA_{Ti} = \frac{(EAG_{Mi} + EAG_{Ci} + EAV_{HHi} + EADep_i + EAG_{Ni}) \left[\frac{\text{USD}}{\text{hr}} \right] * HO_i [\text{hr}]}{\text{Movimiento Total} [\text{ton}]}$$

$HO_i = \text{Horas operativas equipo } i.$

5.3 Desarrollo del Modelo

Una vez realizado el análisis y limpieza de la información, se procede a desarrollar la solución, la cual se lleva a cabo en Visual Basic, con el objetivo de que sea un resultado sencillo de utilizar. Internamente, el modelo trabaja en base al cálculo paso a paso descrito en la sección 5.2. Sumado a variables de sensibilidad activadas con la selección o ingreso de los parámetros.

Cabe señalar que, para el cálculo del modelo, se considera el costo efectivo hora, es decir, no se considera disponibilidad ni utilización; dado que el total de los inputs utilizados están en base a las horas operativas del equipo.

En el caso de la perforación, mediante el programa Visual Basic se genera un formulario donde el usuario podrá seleccionar, dentro de la base de datos disponible: el equipo a utilizar, el diámetro requerido, si considera o no combustible, el valor del combustible al realizar la evaluación, el tipo de perforación (producción, buffer o pre-corte/recorte), el tipo de material (mineral o estéril), la cantidad de metros a perforar en cada uno de ellos y el grado de dureza de la roca (blanda, media o dura). Una vez ingresada la información requerida, se entregará en una hoja de formato Excel el resultado del costo unitario (USD/metro) y el gasto total, según los metros a perforar tal como se puede apreciar en la tabla 84.

TABLA 84. RESUMEN DE COSTO Y GASTOS DE PERFORACIÓN SEGÚN MODELO.

Producción	
Equipo	PIT VIPER 271
Diámetro	10 5/8
Costo en Mineral [USD/m]	9,61
Metros	1.025.226
Gasto Perforación Mineral [USD]	9.852.422
Costo en Estéril [USD/m]	9,17
Metros	543.089
Gasto perforación Estéril [USD]	4.980.126

Respecto al carguío y transporte, estas operaciones se consideran como actividades complementarias. Si bien los costos unitarios de carguío dependen básicamente del rendimiento del equipo, el costo unitario del transporte depende básicamente del tiempo de ciclo que este posea. Por lo tanto, para generar una solución robusta se determinó crear una matriz: distancia en la vertical v/s distancia total recorrida, para cada match equipo de carguío – equipo de transporte bajo ciertas condiciones. Para ello, al igual que en el caso de la perforación, se genera un formulario donde el usuario debe seleccionar el equipo de carguío y transporte a utilizar, la distancia máxima que se espera recorrer, la diferencia de cota máxima que se espera alcanzar, la pendiente que debieran tener las rampas, la velocidad máxima permitida, si se considera el combustible y el valor de este al momento de la evaluación. Con ello se genera la matriz, como se muestra a continuación:

Distancia Vertical	Equipo Carguío				PC5500 FS		Equipo Transporte				CAT 793F					
	Distancia Recorrida															
	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	
0	10	0,543	0,563	0,581	0,599	0,615	0,629	0,644	0,658	0,670	0,683	0,695	0,705	0,716	0,726	0,736
10	20	0,543	0,562	0,582	0,600	0,617	0,634	0,648	0,663	0,677	0,689	0,702	0,713	0,724	0,734	0,745
20	30	0,543	0,562	0,581	0,600	0,619	0,636	0,653	0,667	0,682	0,696	0,708	0,721	0,732	0,743	0,753
30	40	0,543	0,562	0,581	0,600	0,619	0,638	0,655	0,671	0,686	0,701	0,715	0,727	0,740	0,751	0,762
40	50	0,543	0,562	0,581	0,600	0,619	0,638	0,657	0,674	0,690	0,705	0,720	0,733	0,746	0,758	0,769
50	60	0,543	0,562	0,581	0,600	0,619	0,637	0,657	0,676	0,692	0,708	0,724	0,739	0,752	0,765	0,776
60	70	0,543	0,562	0,581	0,600	0,619	0,637	0,656	0,676	0,694	0,711	0,727	0,743	0,757	0,770	0,784
70	80	0,543	0,562	0,581	0,600	0,619	0,637	0,656	0,675	0,695	0,712	0,730	0,746	0,762	0,775	0,789
80	90	0,543	0,562	0,581	0,600	0,619	0,637	0,656	0,675	0,694	0,713	0,731	0,749	0,765	0,781	0,794
90	100	0,543	0,562	0,581	0,600	0,619	0,637	0,656	0,675	0,694	0,712	0,732	0,750	0,768	0,784	0,799
100	110	0,543	0,562	0,581	0,600	0,619	0,637	0,656	0,675	0,694	0,712	0,731	0,751	0,769	0,786	0,803
110	120	0,543	0,562	0,581	0,600	0,619	0,637	0,656	0,675	0,694	0,712	0,731	0,750	0,769	0,788	0,805
120	130	0,543	0,562	0,581	0,600	0,619	0,637	0,656	0,675	0,694	0,712	0,731	0,750	0,769	0,788	0,807
130	140	0,543	0,562	0,581	0,600	0,619	0,637	0,656	0,675	0,694	0,712	0,731	0,750	0,769	0,787	0,807
140	150	0,543	0,562	0,581	0,600	0,619	0,637	0,656	0,675	0,694	0,712	0,731	0,750	0,769	0,787	0,806
150	160	0,543	0,562	0,581	0,600	0,619	0,637	0,656	0,675	0,694	0,712	0,731	0,750	0,769	0,787	0,806
160	170	0,543	0,562	0,581	0,600	0,619	0,637	0,656	0,675	0,694	0,712	0,731	0,750	0,769	0,787	0,806
170	180	0,543	0,562	0,581	0,600	0,619	0,637	0,656	0,675	0,694	0,712	0,731	0,750	0,769	0,787	0,806
180	190	0,543	0,562	0,581	0,600	0,619	0,637	0,656	0,675	0,694	0,712	0,731	0,750	0,769	0,787	0,806
190	200	0,543	0,562	0,581	0,600	0,619	0,637	0,656	0,675	0,694	0,712	0,731	0,750	0,769	0,787	0,806
200	210	0,543	0,562	0,581	0,600	0,619	0,637	0,656	0,675	0,694	0,712	0,731	0,750	0,769	0,787	0,806

ILUSTRACIÓN 11. MATRIZ DE COSTOS DE CARGUÍO Y TRANSPORTE.

A esta matriz también se le puede agregar el costo por equipos de servicio. Para lo cual el usuario deberá seleccionar el tipo de equipo de apoyo (bulldozer, Wheeldozer, aljibe, motoniveladora, excavadora secundaria) y la cantidad a utilizar, dichos antecedentes entrarán en el cálculo de la matriz.

La matriz de costos de carguío y transporte será entregada en formato Excel permitiendo su fácil manipulación, sin la necesidad de software especiales.

En la sección anexos se exponen ilustraciones referenciales de los formularios a completar por el usuario (ilustraciones desde n°15 a n°18).

Finalmente, los proyectos se licitan por determinados plazos de tiempo (desde 12 hasta 60 meses) o por etapas (prestripping, minerales de óxido y minerales de sulfuro), lo que permite modificar las condiciones del contrato según como han ido evolucionando las condiciones del mercado (precio del cobre, oferta y demanda de empresas contratistas, nuevas oportunidades de negocio como la venta del yacimiento, entre otras) o bien la decisión de explotarla con recursos propios.

Considerando que el modelo ha sido desarrollado con valores reales del periodo comprendido entre enero 2018 y abril del 2019, claramente estos pueden ir quedando “obsoletos” en el tiempo. Por ello, se utilizará un valor de ajuste que considera el índice de remuneración minera entregado por el INE y el valor de la UF, por lo que para realizar la evaluación de una propuesta en un periodo n se utilizará el siguiente factor de ajuste:

ECUACIÓN 8. FACTOR DE AJUSTE.

$$Reajuste = 0,2 * \frac{IR_n}{IR_o} + 0,8 * \frac{UF_n}{UF_o}$$

IR_n = Índice de remuneración minera en el mes n de aplicación.

IR_o = Índice de remuneración minera oficial INE Mayo 2019 (110,77).

UF_n = Valor en pesos (\$) de la unidad de fomento en el mes n de aplicación.

UF_o = Valor Unidad de Fomento en pesos al cierre de mayo 2019 equivale a \$27.762,55

Se considera como IR₀ y UF₀ los resultados obtenidos al cierre del mes de mayo. Como inputs se deben ingresar el IR_n y UF_n, los que corresponden a los valores con los cuales cerró el mes anterior al que se desea realizar la evaluación.

5.3.1 Calibración

El proceso de calibración se lleva a cabo comparando los costos reales que presentan las diferentes operaciones que componen Minera Centinela, con los resultados entregados por el modelo (ver tabla n°85).

TABLA 85. RESUMEN DE LA OPERACIÓN DEL RAJO ÓXIDO ENCUESTRO.

Meses	Distancia Media Recorrida [m]	Distancia Media Vertical [m]	Costos Reales [USD/ton]	Valor Modelo [USD/ton]
sept-18	3.700	147	1,04	1,013
oct-18	3.718	147	1,04	1,019
nov-18	3.452	139	0,97	0,986
dic-18	3.562	137	0,98	0,994
ene-19	4.275	122	1,00	1,019
feb-19	4.001	120	1,02	0,995
mar-19	3.951	123	0,99	1,004
abr-19	3.316	91	1,00	0,984
may-19	3.689	94	1,04	0,995

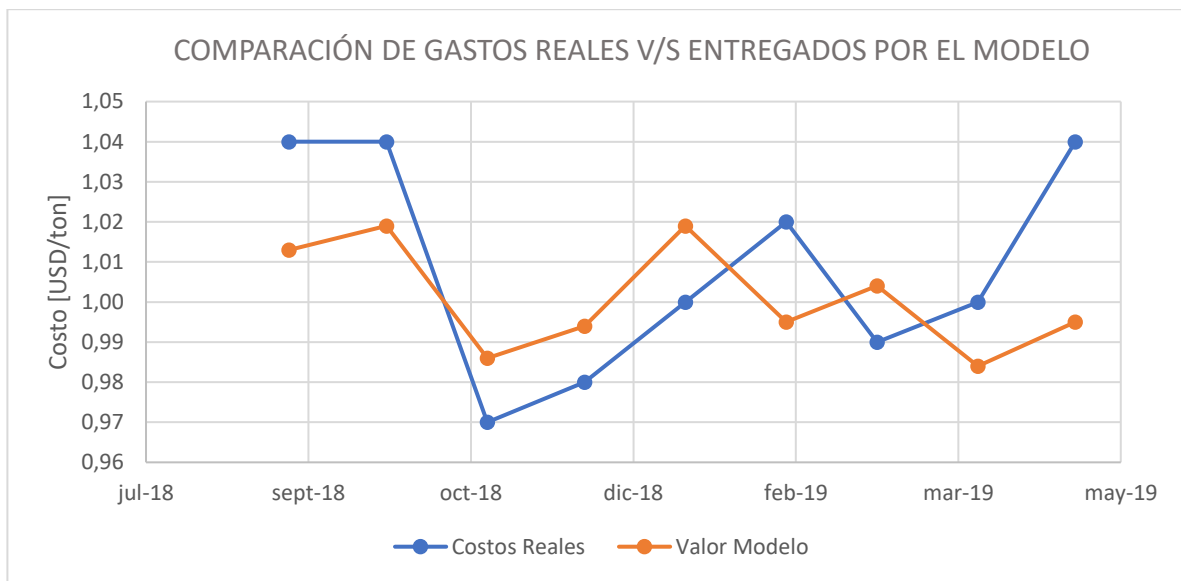


GRÁFICO 13. COMPARACIÓN DE GASTOS REALES V/S ENTREGADOS POR EL MODELO.

En el gráfico 13—se expone la comparación entre los valores reales del costo obtenido de la operación de carguío y transporte del Rajo Óxido Encuentro y los entregados por el modelo (considera la utilización de equipo de carguío PC5500, CAEX 793F, 2 motoniveladoras, 3 Bulldozer, 1 Whelldozer, 2 aljibes y 1 excavadora secundaria). En el análisis se puede apreciar que no existe una desviación fija del modelo (siempre mayor o menor que el gasto real), sino que es más bien oscilante (a veces mayor y a veces menor). Lo que podría estar bien o no, considerando que en el resumen del caso real no se reflejan hechos puntuales que pueden haber afectado el costo o, dicho de otra forma, el modelo estima según los parámetros entregados de una forma ideal de funcionamiento.

Finalmente, como las desviaciones son menores a un 5%, se considera que los resultados entregados por el modelo son aceptables y no requieren de una mayor calibración. Sin embargo, de ser necesaria la calibración se lleva a cabo mediante la variación de los diferentes parámetros; considerando como máximo porcentaje de variación el entregado por la desviación estándar de cada uno de ellos.

5.4 Resultados

En el análisis de casos se realizará la evaluación de los 3 proyectos realizados para la explotación del rajo Óxido Encuentro, de las cuales ninguna considera el combustible (ya adjudicado en septiembre de 2018), dichas propuesta se presentan en las tablas 86, 88 y 90. Entre ellas existen diferencias desde 10 MUSD hasta 105 MUSD solo por conceptos de gastos directos ligados a carguío, transporte y perforación; lo que además tiene incidencia en las utilidades cobradas, dado que éstas se calculan en base a los costos directos.

Por otra parte, en las tablas 87, 89 y 91 se muestran los resultados obtenidos por el modelo para cada una de las propuestas antes mencionadas.

Propuesta Empresa N°1 Óxidos Encuentro

TABLA 86. PROPUESTA ECONÓMICA EMPRESA N°1.

Sub Total Servicio (USD)				233.884.236
Total Material Movido	m3		81.799.989	
Total Metros Perforados	m		1.682.346	
Costo Directo	USD			233.884.236
Total Gasto General (% sobre CD)	USD	12,0%		28.046.167
Total Utilidad (% sobre CD)	USD	12,2%		28.572.820
TOTAL CONTRATO	USD			305.805.086

Considera la utilización de equipos de carguío PC5500, equipos de transporte CATERPILLAR 793F, perforadoras Dr460, DR560 y FlexiRoc D65 y equipos de apoyo 4 Bulldozer D10T, 1 Wheeldozer 854K, 2 Motoniveladoras 16M, una excavadora PC1250, 3 camiones aguateros 777D.

Evaluación con Modelo Propuesta N°1 Óxidos Encuentro

TABLA 87. EVALUACIÓN PROPUESTA ECONÓMICA N°1 UTILIZANDO EL MODELO.

Sub Total Servicio (US\$)			Cantidad	Gasto
Total Material Movido	m3		81.799.989	209.566.443
Total Metros Perforados	m		1.682.345	12.881.965
Total costo directo	USD			222.448.408
Total Gasto General (% sobre CD)	USD			28.629.996

Considera la utilización de equipos de carguío PC5500, equipos de transporte CATERPILLAR 793F, perforadoras PV351, DR560 y RocL8, y equipos de apoyo 4 Bulldozer D10T, 1 Wheeldozer 854K, 2 Motoniveladoras 16M, una excavadora CAT374L, 3 camiones aguateros 777G.

Propuesta Empresa N°2 Óxidos Encuentro

TABLA 88. PROPUESTA ECONÓMICA EMPRESA N°2.

Sub Total Servicio (US\$)				
Total Material Movido	m3		81.792.607	
Total Metros Perforados	m		1.682.345	
Total costo directo	USD			227.446.133
Total Gasto General (% sobre CD)	USD	34%		76.567.852
Total Utilidad (% sobre CD)	USD	8%		18.644.624
TOTAL CONTRATO	USD			322.658.609

Considera la utilización de equipos de carguío Komatsu PC5500, equipos de transporte CATERPILLAR 793, perforadoras PV271, DM45 y DR560 y equipos de apoyo 2 Bulldozer D10T, 2 Bulldozer D11T, 2 Wheeldozer 834K, 2 Motoniveladoras 16M, una excavadora CAT349D, 3 camiones aguateros 70 m3.

Evaluación con Modelo Propuesta N°2 Óxidos Encuentro

TABLA 89. EVALUACIÓN PROPUESTA ECONÓMICA EMPRESA N°2 UTILIZANDO EL MODELO.

Sub Total Servicio (US\$)			Cantidad	Gasto
Total Material Movido	m3		81.792.607	212.554.746
Total Metros Perforados	m		1.682.345	14.608.314
Total costo directo	USD			227.163.060
Total Gasto General (% sobre CD)	USD			28.627.412

Considera la utilización de equipos de carguío Komatsu PC5500, equipos de transporte CATERPILLAR 793, perforadoras PV271, DM45 y DR560 y equipos de apoyo 2 Bulldozer D10T, 2 Bulldozer D11T, 2 Wheeldozer 834K, 2 Motoniveladoras 16M, una excavadora CAT349D, 3 camiones aguateros 70 m3.

Propuesta Empresa N°3 Óxidos Encuentro

TABLA 90. PROPUESTA ECONÓMICA EMPRESA N°3.

Sub Total Servicio (USD)				
Total Material Movido	m3		80.859.127,95	
Total Metros Perforados	m		2.346.132,51	
Total costo directo	USD			336.412.618,20
Total Gasto General (% sobre CD)	USD	8,96%		30.144.380,23
Total Utilidad (% sobre CD)	USD	9,47%		31.867.140,18
TOTAL CONTRATO	USD			398.424.138,61

Considera la utilización de equipos de carguío Komatsu PC5500, equipos de transporte Komatsu 930E, perforadoras PV271, DM45 y ROC L8, y equipos de apoyo 4 Bulldozer D10T, 2 Wheeldozer 834K, 2 Motoniveladoras 16M, una excavadora CAT390D, 4 camiones aguateros Komatsu HD785.

Evaluación con Modelo Propuesta N°3 Óxidos Encuentro

TABLA 91. EVALUACIÓN PROPUESTA ECONÓMICA EMPRESA N°3 UTILIZANDO EL MODELO.

Sub Total Servicio (US\$)			Cantidad	Gasto
Total Material Movido	m3		83.412.458	188.617.907
Total Metros Perforados	m		2.346.133	20.673.279
Total costo directo	USD			209.291.186
Total Gasto General (% sobre CD)	USD			29.194.360

Considera la utilización de equipos de carguío Komatsu PC5500, equipos de transporte Komatsu 930E, perforadoras PV271, DM45 y ROC L8, y equipos de apoyo 4 Bulldozer D10T, 2 Wheeldozer 834K, 2 Motoniveladoras 16M, una excavadora CAT390D, 4 camiones aguateros Komatsu HD785.

*Al no contar con algunos equipos en la base de dato, se considera uno de características similares para la evaluación.

Con estas evaluaciones se puede apreciar que para el caso N°1 existe una diferencia que bordea el 5% entre el modelo y la propuesta, lo que se considera aceptable. Para el caso de la propuesta N°2 la diferencia es despreciable (<1%) y finalmente para el caso N°3 la diferencia es sobre un 60%, lo que a priori la dejaría fuera de la adjudicación; sin embargo, se puede solicitar información detallada de los aspectos considerados para calcular el costo.

Otros aspectos relevantes a la hora de la evaluación de las propuestas son: 1) La seguridad, lo que implica un análisis de las estadísticas de accidentabilidad o cuasi accidentabilidad que posea la empresa en el último año. 2) Respaldo financiero, es decir, que las empresas cuenten con apoyos que acrediten el sustento de la empresa y la capacidad de poder hacer frente a imprevistos y aspectos legales, los que hacen referencia a posibles problemas con empleados o ex empleados.

Las empresas que participan de estos procesos de licitación están ligadas principalmente al rubro del movimiento de tierra, obras civiles y construcción. Por ejemplo: THIESS, TEP SAC, BESALCO, MPM, CERRO NEVADO y algunos consorcios que agrupa medianas y grandes empresas que no tienen la capacidad de afrontar un proyecto de esta envergadura por sí solas.

El modelo desarrollado también presta utilidad para la evaluación de casos, bases o presupuestos. Un claro ejemplo de ello es la reciente evaluación del proyecto Rajo Mirador, que permite gestionar de mejor manera los recursos. La tabla 92 expone la evaluación del caso en base al modelo señalado.

TABLA 92. VALORIZACIÓN DEL GASTO DE CARGUÍO, TRANSPORTE Y SERVICIOS MEDIANTE EL MODELO DEL PROYECTO RAJO MIRADOR FASE 4.

CYT SEGÚN MODELO CENTINELA (3 EQUIPOS: BULL, MOTO, ALJIBE/ 930E_PC5500)					
2019					
Material	Dist. Vertical	DH Media	ton	Matriz	USD
Waste	30	1.900	3.382.699	0,764	2.584.382
2020					
Material	Dist. Vertical	DH Media	ton	Matriz	USD
Waste	30	1.700	18.140.190	0,752	13.641.423
2021					
Material	Dist. Vertical	DH Media	ton	Matriz	USD
Ore_Óxidos	50	6.700	47.657	1,057	50.373
Oxb	40	8.100	4.681	1,141	5.341
Stk_mir	40	3.000	6.969	0,829	5.777
Waste	40	2.000	18.031.319	0,779	14.046.398
2022					
Material	Dist. Vertical	DH Media	ton	Matriz	USD
Ore_Óxidos	50	7.500	3.383.207	1,110	3.755.360
Oxb	40	14.900	219.631	1,592	349.653
Stk_mir	40	3.400	2.413.848	0,844	2.037.288
Waste	50	4.600	6.108.034	0,918	5.607.175
Resumen					
Total		ton	51.738.235	US	42.083.169

Por último, hay que señalar que el modelo permite evaluar un determinado proyecto bajo diferentes condiciones y elección de equipos, pudiendo tener una referencia de la combinación más conveniente para el caso analizado.

6. Conclusión

El presente trabajo desarrolla un modelo de costos operacionales directos mina (OPEX) para Minera Centinela. La primera etapa consistió en la identificación de los factores más relevantes del costo de producción mina.

En el caso de las operaciones de perforación, carguío y transporte, el factor más influyente del costo unitario es el rendimiento de cada equipo. En este sentido, la operación de carguío es la que se ve impactada por una mayor cantidad de factores, que determinan su tiempo de ciclo y consigo el rendimiento. Factores como la distancia total recorrida, restricciones de velocidad, tiempos de carga, aculatamiento y descarga, impactan considerablemente en la estimación del costo de transporte.

Debe considerarse, que existen otros factores más difíciles de cuantificar y que también impactan el costo de transporte. Por ejemplo, la cantidad de curvas existentes en el recorrido, cantidad de detenciones o demoras en el circuito, entre otras.

Resulta complejo obtener una estimación precisa del costo unitario, tanto para las toneladas como para los metros, debido a la gran cantidad de factores que influyen en ello. Por ejemplo, en el caso de la operación de transporte (que representa alrededor del 50% de los gastos de la mina) es importante considerar la disposición y evolución de los stocks, botaderos y chancado en el modelo de costos.

El modelo de costos considera datos de insumos, consumos, rendimientos y datos de producción para la estimación del gasto mina, desglosado por operación unitaria. La implementación del modelo se efectuó en el software Excel. La precisión de los costos estimados por el modelo fue del orden del 5% para los escenarios estudiados. Sin embargo, cabe destacar algunas deficiencias del modelo, como la reducida cantidad de equipos analizados respecto a los disponibles en el mercado y la falta de cuantificación de los tiempos de espera, de los medios de carga y descarga (en cola), para el cálculo del tiempo de ciclo y rendimiento.

Finalmente, el modelo desarrollado en esta memoria fue entregado a Minera Centinela como una herramienta de apoyo a la planificación; ya que, de manera rápida y trazable, proporciona una estimación razonable de costos operacionales mina. Permitiendo al tomador de decisiones, obtener una primera noción de los costos de un determinado proyecto.

7. Recomendaciones

Robustecer la matriz de equipos considerados con el análisis de otras alternativas, permitiendo, de esta manera, tener una mayor cantidad de opciones.

Analizar, con mayor detalle, la dependencia del rendimiento y consumo de combustible de los equipos de perforación respecto al diámetro utilizado. En conjunto con realizar la valorización del consumo de agua, aspecto que en este trabajo no es considerado, debido a que el agua utilizada en su recarga es obtenida a través de una cachimba mina en donde no se tiene cuantificado el costo de extracción.

Incluir, como opción de selección, otras alternativas de depreciación de activos, permitiendo adecuarse en caso de que la opción de la empresa licitante o de la misma compañía sean diferentes a la planteada hasta el momento del desarrollo de este trabajo.

Complementar el modelo con un análisis detallado de los costos por tronadura, considerando el impacto que tienen los diferentes diseños de mallas y los posibles tipos de explosivos a utilizar.

Cuantificar las demoras de equipos de transporte por concepto de curvas o rotondas existentes en el circuito, trabajos en la ruta, tiempos de espera (carga y descarga). Con el objetivo de poder ajustar de mejor manera el tiempo de ciclo.

Definir cuál es el factor de riesgo para el contratista, en función de la duración del contrato y la antigüedad de los equipos. Con el objetivo de entender las brechas que se puedan generar y poder considerar esos factores en modelos futuros.

8. Bibliografía

1. Muñoz López, Galo (2012), Modelo de costos para la valorización de planes mineros.
2. Handbook. (1992), Mining Engineering SME, Costs and Cost Estimation Chapter 6 - 3.
3. Arteaga R., López C., Camara A., Montes J., Román F., De la Vega R., Gutiérrez L. (1991), Manual de evaluación Técnico – Económica de proyectos mineros de inversión. Capítulos 5 y 6.
4. Tann at Dwayne. (2001), Guide lines for mine haul road design. Rolling Resistance Chapter 4.4.
5. Vásquez A., Galdames B., Le-Feaux R. (2009). Apunte preliminar de diseño y operaciones de minas a cielo abierto.
6. Hustrulid W. Kuchta M. (2006), Open pit mine planning and design (pp 100 – 130).
7. Stebbins S. Leinart J. (2011), SME Handbook, Cost Estimating for Surface Mines (Capitulo 4.9).

9. Anexos

Proceso de Licitación

La licitación es un sistema por el que se adjudica la realización de una obra o un servicio, generalmente de carácter público, a la persona o la empresa que ofrece las mejores condiciones.

Este sistema cuenta con diferentes hitos o actividades principales, las cuales son determinadas por la empresa licitante. En el caso de Minera Centinela y AMSA, el proceso de licitación contempla los siguientes pasos:

1. Emisión de solicitud

El área usuaria o interesada debe emitir la solicitud al área de abastecimiento.

2. Emisión de la estrategia de contratación.

El área de abastecimiento emite los aspectos principales de la licitación, como el tipo de contrato, la forma de pago, el presupuesto, los plazos, la metodología de evaluación y las condiciones especiales si existiesen.

3. Precalificación de la empresa.

Se solicitan documentos a las empresas interesadas y solo aquellas que aprueben la precalificación serán invitadas a licitar.

4. Aprobación comité de contratos Centinela.

Se realiza una reunión informativa de aprobación de la estrategia de licitación.

5. Aprobación comité de contratos AMSA.

Se realiza una reunión informativa de aprobación de la estrategia de licitación.

6. Emisión del documento de licitación.

Se emiten todos los documentos necesarios para el desarrollo de la propuesta técnica y económica, dentro de los cuales se encuentran: bases técnicas, bases de medición y pago, formularios técnicos, formularios económicos, modelos de contrato, instrucciones y procedimientos del dueño. En este punto, dependiendo del tipo de servicio y la complejidad de este, el área solicitante puede recurrir a asesoría externa para emitir documentación especializada.

7. Publicación de la licitación.

Se realiza la publicación oficial de la licitación, a través de la plataforma ARIBA y se hace entrega de la Solicitud de Propuesta (RFP).

8. Visita a terreno.

La empresa solicitante y representantes de las empresas interesadas realizan una visita a terreno para poder evaluar las condiciones in situ del proyecto.

9. Ronda de consultas.

Cada empresa participante, en el proceso de licitación, tiene la posibilidad de emitir un documento de consultas con el objetivo de poder clarificar cualquier duda, a fin de desarrollar una correcta propuesta técnico y económica.

10. Ronda de Respuestas.

La empresa solicitante debe responder a todas las consultas realizadas por las empresas interesadas mediante un documento de respuestas, el cual se hará llegar a cada una de las empresas según sus consultas.

11. Recepción de Ofertas.

Cada empresa participante debe entregar su oferta técnica y económica de manera independiente, a través de la plataforma ARIBA

12. Evaluación de ofertas técnicas.

El área solicitante y asesoría externa si se requiere, dependiendo del tipo de servicio y su complejidad, realizan una revisión de los aspectos técnicos de cada oferta.

13. Evaluación de ofertas económicas.

El área de abastecimiento, según la estrategia de evaluación aprobada y expuesta en el punto 2, revisará las propuestas económicas; principalmente lo que respecta a: razonabilidad y competitividad en los precios, coherencia en la documentación presentada, adecuación al presupuesto informado, benchmarking con precios de otros contratos similares dentro del grupo y dentro del mercado, evaluación de riesgos asociados, evaluación de exclusiones y consideraciones de la oferta, cláusulas contractuales y legales, entre otros.

14. Informe de recomendación.

El área solicitante y el área de abastecimiento generan un documento que engloba todos los aspectos evaluados, donde emiten sus comentarios y recomendaciones.

15. Aprobación comité de contratos Centinela.

Se presenta el informe de aprobación al comité evaluativo de Minera Centinela.

16. Aprobación comité de contratos AMSA.

Se presenta el informe de aprobación al comité evaluativo de AMSA.

17. Aprobación del directorio.

Se presenta el informe de aprobación al directorio de la compañía.

18. Adjudicación de la obra o servicio.

El área de abastecimiento emite la carta de adjudicación (LOA) a la empresa que resulta ganadora.

19. Firma de contrato.

Finalmente, se emite el contrato y se lleva a cabo la firma del mismo entre las partes involucradas.

(Fuente: Gerencia corporativa de compras y contrato para proyectos, Antofagasta Minerals)

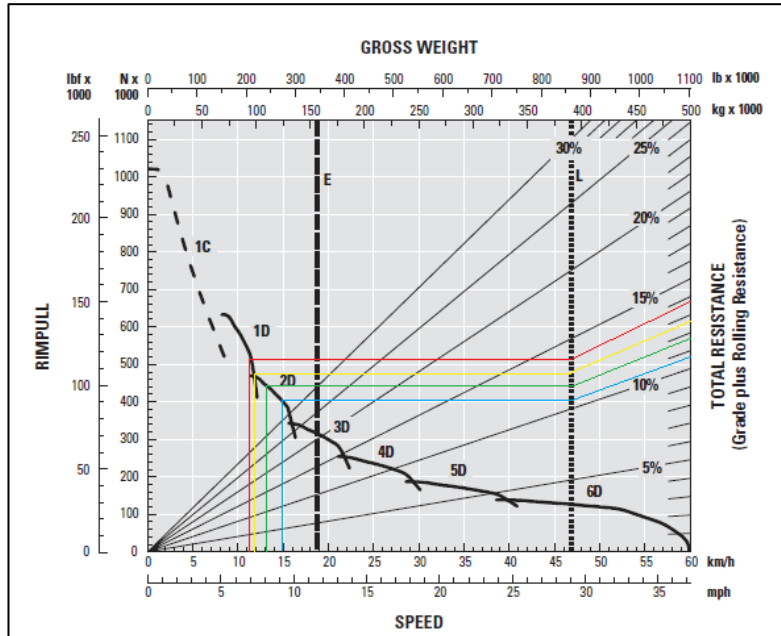


ILUSTRACIÓN 12. VELOCIDAD MÁXIMA CARGADO O VACÍO EN SUBIDA, PARA UN CAEX EXTRACCIÓN CAT 793F.

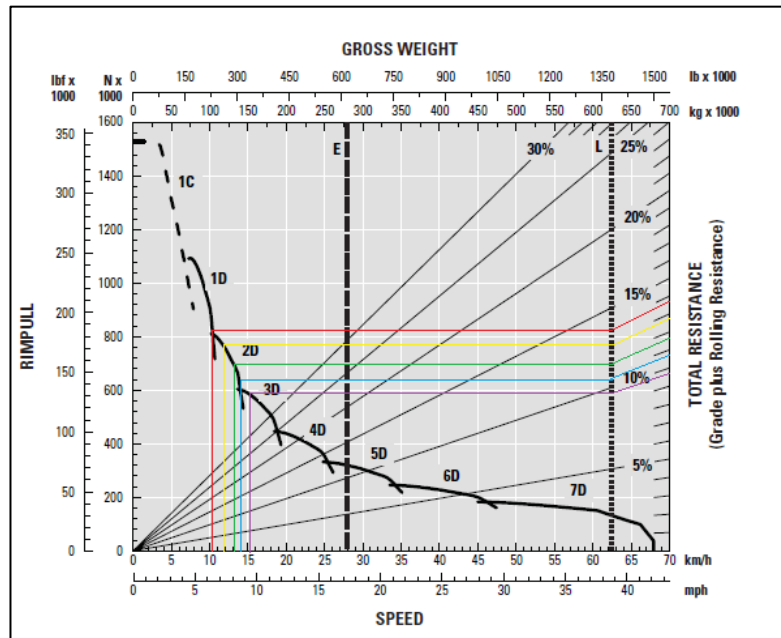


ILUSTRACIÓN 13. VELOCIDAD MÁXIMA CARGADO O VACÍO EN SUBIDA, PARA UN CAEX CAT 797.

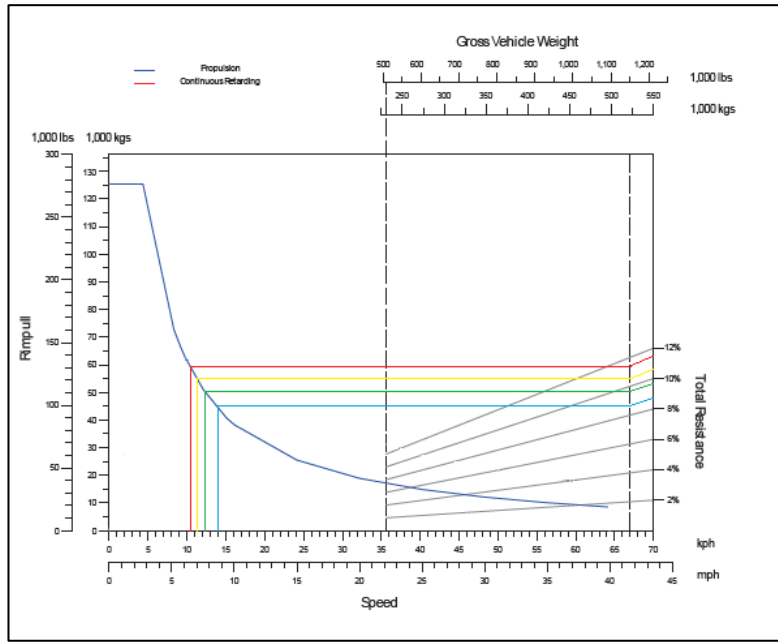


ILUSTRACIÓN 14. VELOCIDAD MÁXIMA CARGADO O VACÍO EN SUBIDA, PARA UN CAEX KOMATSU 930E.

Ventana Principal ✕

Consideraciones

Combustible

Precio Diesel [USD/litro]

Energía

Precio Energía [USD/Mw]

Factores de Ajuste

Indice de Remuneracion Minera [\$]

Valor UF [\$].

*Ambos valores corresponden al ultimo valor del mes recién pasado.

Configuracion Operaciones

Carguo y Transporte

Equipos de Apoyo

Perforacion

Estimacion de Gastos

Mensual

Trimestral

Anual

Aceptar

ILUSTRACIÓN 15. VENTANA DE INICIO FORMULARIO VISUAL BASIC.

Configuración Carguio y Transporte

Cota Menor [m] Cota Mayo [m]

Distancia Maxima [m] Pendiente [%]

Equipos de Carguio

Pala Electrica

P&H 4100XPC DC

Pala Hidraulica

KOMATSU PC5500 FS KOMATSU PC8000 FS

Cargadores Frontales

CAT 994L CAT 994K P&H L2350 GILL

Equipos de Transporte

CAT 797F CAT 793F KOMATSU 930E

Velocidad Maxima en Plano [km/h]

Cancelar Aceptar

ILUSTRACIÓN 16. VENTANA CONFIGURACIÓN OPERACIÓN DE CARGUÍO Y TRANSPORTE.

Configuración Perforación

Perforación Produccion

Perforadoras Diesel PV351D PV271 DMM3

Produccion 9 7/8" 10 5/8" 12 1/4"

Metros Totales Produccion Mineral

Metros Totales Produccion Esteril

Perforación Buffer

Perforadoras Diesel DM45 PV271 DMM3

Buffer 6 1/2" 6 3/4" 7 7/8" 8 7/8" 9 7/8" 10 5/8"

Metros Totales Buffer Mineral

Metros Totales Buffer Esteril

Perforación Precorte

Perforadoras Diesel ROC L8 DR560

Diametros Precorte 6 1/2" 6 3/4" 7 7/8"

Metros Totales PreCorte Mineral

Metros Totales PreCorte Esteril

Cancelar Calcular

ILUSTRACIÓN 17. VENTANA DE CONFIGURACIÓN OPERACIÓN DE PERFORACIÓN.

Configuración Equipos de Apoyo

Bulldozer

CAT D11T

CAT D10T2

Whelldozer

CAT 834K

CAT 854K

Aljibes

CAT 777GWT

Excavadoras

CAT 374L

CAT 349D

Motoniveladora

CAT 16M

CAT 24M

Plan Diario Promedio [Ton]

Aceptar

Cancelar

ILUSTRACIÓN 18. VENTANA DE SELECCIÓN EQUIPOS DE APOYO.

TABLA 93. DETALLE GASTOS DE MANTENIMIENTO PERFORADORA DMM3.

Perforadora DMM3			
Ítem	Real 2018	Real Enero - abril 2019 [US]	Total [US]
Rep. y materiales mecánicos	468.969	187.643	656.611
Rep. y materiales eléctricos	4.035	10.871	14.906
Rep. y materiales instrumentación	973	499	1.471
Otros Repuestos	927.320	355.764	1.283.084
Filtros	63.006	19.530	82.536
Bombas	12.937	11.692	24.629
Motores	65.518	4.922	70.440
Tubos y Cañerías	3.727	2.021	5.748
Poleas	134	268	403
Correas	48	0	48
Mangueras	63.782	10.347	74.129
Válvulas	63.406	42.539	5.946
Repuestos	1.673.855	646.095	2.319.951
Servicios Mantenición y reparación de Soldadura	88.627	26.790	115.416
Servicios Mantenición y reparación otros	20.727	9.280	30.007
Servicios Mantenición Marc Fijo	0	5.063	5.063
Contratos Mantenición	109.353	41.134	150.487
Lubricantes	266.375	65.953	332.328
Componentes Reparados Mecánicos	733.696	231.730	965.425
Ropa de trabajo y elementos de seguridad	13.363	9.298	22.661
Taxi/ Transporte terrestre	216	0	216
Otros	216	0	216
Subtotal	2.796.858	994.209	3.791.068
MO Mantenimiento Taller Interno	1.200.375	418.761	1.619.136
Total	3.997.234	1.412.970	5.410.204
Horas Operativas	21.194	8.016	29.210
Costo [USD/Hr]	189	176	185

TABLA 94. DETALLE GASTOS DE MANTENIMIENTO PERFORADORA PV351.

Perforadora PV351			
Ítem	Real 2018 [US]	Real Enero - abril 2019 [US]	Total [US]
Rep. y materiales mecánicos	722.618	211.637	934.255
Rep. y materiales eléctricos	25.893	24.405	50.298
Rep. y materiales instrumentación	35.215	3.130	38.345
Otros Repuestos	912.468	449.820	1.362.289
Filtros	194.958	90.889	285.847
Motores	83.167	17.459	100.626
Bombas	124.438	13.100	137.539
Tubos y Cañerías	4.276	806	5.082
Mangueras	10.188	3.042	13.230
Válvulas	22.365	46.107	68.471
Herramientas Mecánicas	371	267	638
Repuestos	2.135.958	860.662	2.996.619
Servicios Mantenición y reparación de Soldadura	162.539	53.580	216.118
Servicios Mantenición y reparación otros	34.844	17.138	51.983
Servicios Mantenición Marc Fijo	0	7.668	7.668
Contratos Mantenición	197.383	78.386	275.769
Lubricantes	199.175	50.683	249.858
Componentes Reparados Mecánicos	1.002.282	211.030	1.213.313
Ropa de trabajo y elementos de seguridad	30.452	13.624	44.076
Subtotal	3.565.250	1.214.384	4.779.634
MO Mantenimiento Taller Interno	1.077.089	315.750	1.392.839
Total	4.642.339	1.530.134	6.172.473
Horas Operativas	24.088	8.317	32.405
Costo [USD/Hr]	193	184	190

TABLA 95. DETALLES DE GASTOS DE MANTENIMIENTO PERFORADORA DR560.

Perforadora DR560			
Ítem	Real 2018 [US]	Real Enero - abril 2019 [US]	Total [US]
Rep. y materiales mecánicos	581.747	0	581.747
Rep. y materiales eléctricos	33.137	0	33.137
Rep. y materiales instrumentación	4.923	0	4.923
Otros Repuestos	1.121.936	0	1.121.936
Filtros	6.059	0	6.059
Motores	37.240	0	37.240
Tubos y Cañerías	3.149	0	3.149
Mangueras	27.134	0	27.134
Válvulas	8.905	0	8.905
Herramientas Mecánicas	23	0	23
Repuestos	1.824.253	0	1.824.253
Servicios Mantenición y reparación de Soldadura	88.561	0	88.561
Servicios Mantenición y reparación otros	246.155	0	246.155
Contratos Mantenición	334.716	0	334.716
Lubricantes	167.690	0	167.690
Componentes Reparados Mecánicos	461.856	0	461.856
Ropa de trabajo y elementos de seguridad	4.898	0	4.898
Taxi/ Transporte terrestre	2.139	0	2.139
Otros	2.139	0	2.139
Subtotal	2.795.552	0	2.795.552
MO Mantenimiento Taller Interno	1.076.000	0	1.076.000
Total	3.871.551	0	3.871.551
Horas Operativas	18.005	0	18.005
Costo [USD/Hr]	215	0	215

TABLA 96. DETALLE GASTOS DE MANTENIMIENTO PERFORADORA ROC L8.

Perforadora RocL8			
Ítem	Real 2018 [US]	Real Enero - abril 2019 [US]	Total [US]
Rep. y materiales mecánicos	249.190	0	249.190
Rep. y materiales eléctricos	6.682	0	6.682
Rep. y materiales instrumentación	6.379	0	6.379
Otros Repuestos	583.772	0	583.772
Filtros	27.920	0	27.920
Bombas	22.458	0	22.458
Motores	1.195	0	1.195
Tubos y Cañerías	4.886	0	4.886
Poleas	591	0	591
Correas	24	0	24
Mangueras	99.074	0	99.074
Válvulas	34.677	0	34.677
Herramientas Mecánicas	121	0	121
Repuestos	1.036.966	0	1.036.966
Servicios Mantenición y reparación de Soldadura	107.195	0	107.195
Servicios Mantenición y reparación otros	25.142	0	25.142
Contratos Mantenición	132.337	0	132.337
Lubricantes	89.559	0	89.559
Componentes Reparados Mecánicos	172.270	0	172.270
Componentes Reparados Eléctricos	4.973	0	4.973
Ropa de trabajo y elementos de seguridad	6.955	0	6.955
Taxi/ Transporte terrestre	248	0	248
Otros	248	0	248
Subtotal	1.443.308	0	1.443.308
MO Mantenimiento Taller Interno	1.056.242	0	1.056.242
Total	2.499.550	0	2.499.550
Horas Operativas	12.443	0	12.443
Costo [USD/Hr]	201	0	201

TABLA 97. DETALLE GASTOS DE MANTENIMIENTO PERFORADORA DM45.

Perforadora DM45			
Ítem	Real 2018 [US]	Real Enero - abril 2019 [US]	Total [US]
Rep. y materiales mecánicos	281.201	84.344	365.544
Rep. y materiales eléctricos	503	0	503
Rep. y materiales instrumentación	486	16	502
Otros Repuestos	79.705	21.076	100.782
Filtros	14.590	3.468	18.058
Motores	9.798	0	9.798
Bombas	13.143	8.941	22.084
Tubos y Cañerías	435	242	677
Mangueras	14.268	845	15.113
Válvulas	19.148	74	19.222
Herramientas Mecánicas	74	0	74
Repuestos	433.351	119.007	552.358
Servicios Mantenición y reparación de Soldadura	40.651	13.395	54.046
Servicios Mantenición y reparación otros	10.363	3.929	14.293
Servicios Mantenición Marc Fijo	0	2.025	2.025
Contratos Mantenición	51.014	19.349	70.364
Lubricantes	83.768	21.416	105.184
Componentes Reparados Mecánicos	30.026	59.456	89.481
Ropa de trabajo y elementos de seguridad	12.464	436	12.900
Otros	12.538	436	12.974
Subtotal	623.162	220.099	843.261
MO Mantenimiento Taller Interno	372.658	115.040	487.698
Total	995.820	335.139	1.330.959
Horas Operativas	6.991	2.533	9.524
Costo [USD/Hr]	142	132	140

TABLA 98. DETALLE GASTOS DE MANTENIMIENTO PERFORADORA PV271.

Perforadora PV271			
Ítem	Real 2018 [US]	Real Enero - abril 2019 [US]	Total [US]
Rep. y materiales mecánicos	672.035	196.822	868.857
Rep. y materiales eléctricos	24.080	22.697	46.777
Rep. y materiales instrumentación	32.750	2.911	35.661
Otros Repuestos	848.596	418.333	1.266.929
Filtros	181.311	84.527	265.838
Motores	77.346	16.237	93.583
Bombas	115.728	12.183	127.911
Tubos y Cañerías	3.977	750	4.726
Mangueras	9.475	2.829	12.304
Válvulas	20.799	42.879	63.678
Herramientas Mecánicas	345	248	593
Repuestos	1.986.441	800.415	2.786.856
Servicios Mantenición y reparación de Soldadura	154.412	50.901	205.312
Servicios Mantenición y reparación otros	33.102	16.282	49.384
Servicios Mantenición Marc Fijo	0	7.284	7.284
Contratos Mantenición	187.514	74.466	261.980
Lubricantes	211.125	53.724	264.849
Componentes Reparados Mecánicos	1.062.419	223.692	1.286.111
Ropa de trabajo y elementos de seguridad	32.279	14.442	46.720
Subtotal	3.479.778	1.166.739	4.646.517
MO Mantenimiento Taller Interno	1.055.547	309.435	1.364.982
Total	4.535.326	1.476.174	6.011.499
Horas Operativas	25.488	8.617	34.105
Costo [USD/Hr]	178	171	176

TABLA 99. DETALLE GASTOS DE MANTENIMIENTO PALA ELÉCTRICA P&H 4100 XPC.

Pala 4100XPC			
Ítem	Real 2018 [US]	Real Enero - abril 2019 [US]	Total [US]
Rep. y materiales mecánicos	1.023.219	201.443	1.224.662
Rep. y materiales eléctricos	108.505	38.431	146.936
Rep. y materiales instrumentación	14.338	3.171	17.508
Otros Repuestos	5.412.638	1.341.178	6.753.816
Filtros	46.528	1.617	48.145
Correas	6.615	0	6.615
Motores	3.814	59.053	62.866
Bombas	63.302	51.072	114.374
Válvulas	64.472	89.062	153.534
Poleas	1.860	0	1.860
Tubos y Cañerías	34.689	1.126	35.815
Mangueras	14.474	17.293	31.767
Herramientas Mecánicas	431	382.173	382.604
Herramientas Eléctricas	14.532	121	14.653
Otras Herramientas	2.634	111	2.745
Repuestos	6.812.049	2.185.851	8.997.900
Servicios Mantención y reparación de Soldadura	203.127	54.720	257.847
Servicios Mantención y reparación otros	327.340	60.939	388.278
Servicios Mantención Marc Fijo	0	7.946	7.946
Contratos Mantención	530.466	123.604	654.071
Lubricantes	597.812	117.948	715.760
Componentes Reparados Mecánicos	8.752.893	206.373	8.959.266
GET	128.307	3.072.153	3.200.460
Cables de Acero	779.095	44.400	823.494
Ropa de trabajo y elementos de seguridad	155.019	0	155.019
Taxi/ Transporte terrestre	2.149	0	2.149
Arriendo equipos apoyo	0	428	428
Incentivo extraordinario EECC	5.656	67.919	73.575
Otros	7.806	68.347	76.152
Subtotal	17.763.447	5.818.675	23.582.121
MO Mantenimiento Taller Otros Interno	1.340.322	462.378	1.802.700
Total	19.103.768	6.281.053	25.384.821
Horas Operativas	28.998	8.069	37.067
Costo [USD/Hr]	659	778	685

TABLA 100. DETALLE GASTOS DE MANTENIMIENTO EXCAVADORA KOMATSU PC5500.

Excavadora PC550			
Ítem	Real 2018 [US]	Real Enero - abril 2019 [US]	Total [US]
Rep. y materiales mecánicos	559.106	144.088	703.194
Rep. y materiales eléctricos	45.434	2.794	48.228
Rep. y materiales instrumentación	5.397	4.348	9.745
Otros Repuestos	1.373.169	467.618	1.840.787
Filtros	233.640	62.896	296.536
Válvulas	38.148	17.814	55.962
Bombas	236.416	84.850	321.267
Correas	508	0	508
Poleas	88.588	44.781	133.369
Motores	49.147	11.126	60.273
Tubos y Cañerías	2.457	2.528	4.985
Mangueras	20.081	5.668	25.750
Herramientas Mecánicas	227	23	250
Otras Herramientas	679	169	849
Repuestos	2.652.999	848.704	3.501.703
Servicios Mantención y reparación de Soldadura	75.009	34.921	109.930
Servicios Mantención y reparación otros	16.301	6.347	22.648
Servicios Mantención Marc Fijo	0	3.505	3.505
Contratos Mantención	91.310	44.774	136.084
Lubricantes	402.035	157.416	559.450
Componentes Reparados Mecánicos	1.045.102	306.963	1.352.065
GET	0	0	0
Ropa de trabajo y elementos de seguridad	21.241	6.719	27.960
Taxi/ Transporte terrestre	2.139	616	2.755
Otros	2.139	616	2.755
Subtotal	4.214.825	1.365.192	5.580.018
MO Mantenimiento Taller Otros Interno	1.001.215	275.246	1.276.461
MO Mantenimiento Taller Otros Externos	0	0	0
Total	5.216.041	1.640.438	6.856.479
Horas Operativas	12.721	4.472	17.193
Costo [USD/Hr]	410	367	399

TABLA 101. DETALLE GASTOS DE MANTENIMIENTO EXCAVADORA KOMATSU PC8000.

Excavadora PC8000			
Ítem	Real 2018 [US]	Real Enero - abril 2019 [US]	Total [US]
Rep. y materiales mecánicos	131.726	259.196	390.922
Rep. y materiales eléctricos	191	0	191
Rep. y materiales instrumentación	11.356	489	11.844
Otros Repuestos	736.791	274.078	1.010.869
Filtros	102.663	37.557	140.220
Válvulas	14.156	12.801	26.957
Bombas	7.089	0	7.089
Poleas	18.909	9.455	28.364
Tubos y Cañerías	4.155	4.830	8.985
Mangueras	8.377	8.156	16.533
Herramientas Mecánicas	53	67	120
Otras Herramientas	0	169	169
Repuestos	1.035.466	606.798	1.642.264
Servicios Mantenición y reparación de Soldadura	17.600	0	17.600
Servicios Mantenición y reparación otros	4.200	0	4.200
Contratos Mantenición	21.800	0	21.800
Lubricantes	184.214	47.742	231.956
Componentes Reparados Mecánicos	582.373	186.513	768.886
Ropa de trabajo y elementos de seguridad	0	5.736	5.736
Otros Servicios	0	2.609	2.609
Otros	0	2.609	2.609
Subtotal	1.823.854	849.397	2.673.251
MO Mantenimiento Taller Otros Interno	437.873	162.975	600.848
Total	2.261.726	1.012.372	3.274.098
Horas Operativas	4.006	1.818	5.824
Costo [USD/Hr]	565	557	562

TABLA 102. DETALLE GASTOS DE MANTENIMIENTO CF P&H L2350.

Cargador Frontal L2350			
Ítem	Real 2018 [US]	Real Enero - abril 2019 [US]	Total [US]
Rep. y materiales mecánicos	153.131	141.581	294.712
Rep. y materiales eléctricos	12.387	2.869	15.256
Rep. y materiales instrumentación	1.411	5.208	6.619
Otros Repuestos	1.342.661	627.859	1.970.520
Filtros	87.763	13.892	101.655
Bombas	38.030	28.198	66.228
Correas	1.712	944	2.655
Válvulas	90.757	23.747	114.504
Tubos y Cañerías	4.110	2.968	7.078
Mangueras	10.627	4.405	15.032
Motores	4.171	1.390	5.561
Herramientas Mecánicas	195	287	482
Herramientas Eléctricas	31	0	31
Repuestos	1.746.986	853.347	2.600.333
Servicios Mantención y reparación de Soldadura	62.985	21.638	84.623
Servicios Mantención y reparación otros	223.827	2.025	225.852
Servicios Mantención Marc Fijo	1.258.100	506.463	1.764.563
Contratos Mantención	1.544.912	530.126	2.075.038
Lubricantes	118.880	43.135	162.016
Componentes Reparados Mecánicos	1.240.464	611.636	1.852.100
GET	15.077	2.142	17.219
Ropa de trabajo y elementos de seguridad	39.586	9.920	49.506
Taxi/ Transporte terrestre	1.064	0	1.064
Otros	1.064	0	1.064
Subtotal	4.706.970	2.050.307	6.757.276
MO Mantenimiento Taller Otros Interno	344.789	90.919	435.708
Total	5.051.759	2.141.226	7.192.985
Horas Operativas	12.366	4.599	16.965
Costo [USD/Hr]	409	466	424

TABLA 103. DETALLE GASTOS DE MANTENIMIENTO CF CAT 994K.

Cargador Frontal 994K			
Ítem	YTD Real 2018 [US]	YTD Real 2019 [US]	Total [US]
Rep. y materiales mecánicos	453.961	140.864	594.825
Rep. y materiales eléctricos	3.942	0	3.942
Rep. y materiales instrumentación	908	0	908
Otros Repuestos	2.621.811	790.708	3.412.520
Repuestos	3.080.622	931.572	4.012.194
Servicios Mantención y reparación de Soldadura	128.274	32.457	160.730
Servicios Mantención y reparación otros	40.434	6.075	46.509
Servicios Mantención Marc Fijo	1.352.989	498.692	1.851.681
Contratos Mantención	1.521.697	537.224	2.058.921
Lubricantes	398.069	90.166	488.235
Componentes Reparados Mecánicos	2.914.541	830.661	3.745.202
GET	7.872	5.623	13.494
Ropa de trabajo y elementos de seguridad	33.274	195	33.470
Incentivo extraordinario EECC	14.916	0	14.916
Otros	14.916	0	14.916
Subtotal	7.970.991	2.395.441	10.366.432
MO Mantenimiento Taller Otros Interno	1.006	1.182	2.189
Total	7.971.997	2.396.623	10.368.620
Horas Operativas	25.045	8.394	33.439
Costo [USD/Hr]	318	286	310

TABLA 104. DETALLE GASTOS DE MANTENIMIENTO CF CAT 994F.

Cargador Frontal 994F			
Ítem	Real 2018 [US]	Real Enero - abril 2019 [US]	Total [US]
Rep. y materiales mecánicos	67.780	8.636	76.415
Rep. y materiales eléctricos	0	0	0
Rep. y materiales instrumentación	3.836	381	4.217
Otros Repuestos	288.236	27.892	316.128
Filtros	26.335	4.317	30.652
Tubos y Cañerías	3.030	337	3.367
Mangueras	20.957	1.024	21.981
Correas	89	0	89
Poleas	3.715	0	3.715
Motores	4.505	0	4.505
Válvulas	12.741	191	12.932
Bombas	2.390	0	2.390
Repuestos	433.614	42.779	476.393
Servicios Mantención y reparación otros	26.184	2.025	28.208
Contratos Mantención	300.515	101.405	401.920
Lubricantes	64.552	21.723	86.275
Componentes Reparados Mecánicos	656.509	-29.736	626.773
GET	1.270	281	1.551
Ropa de trabajo y elementos de seguridad	15.151	0	15.151
Subtotal	1.197.278	37.071	1.234.350
MO Mantenimiento Taller Otros Interno	26.184	2.025	28.208
Total	1.497.794	138.476	1.636.270
Horas Operativas	4.210	1.339	5.549
Costo [USD/Hr]	356	103	295

TABLA 105. DETALLE GASTOS DE MANTENIMIENTO CAEX CAT 797F.

Camión Extracción 797F			
Ítem	Real 2018 [US]	Real Enero - abril 2019 [US]	Total [USD]
Rep. y materiales mecánicos	2.059.823	391.437	2.451.260
Rep. y materiales eléctricos	37.223	4.241	41.464
Rep. y materiales instrumentación	134.782	25.238	160.019
Otros Repuestos	7.105.031	1.633.822	8.738.853
Bombas	710.783	162.950	873.734
Correas	1.451	424	1.876
GET	2.301	0	2.301
Motores	188.694	27.165	215.859
Filtros	642.466	133.816	776.282
Mangueras	424.880	88.377	513.257
Tubos y Cañerías	12.545	5.197	17.742
Válvulas	112.204	52.232	164.436
Repuestos	11.432.183	2.524.901	13.957.084
Servicios Mantenición y reparación de Soldadura	507.479	172.707	680.186
Servicios Mantenición y reparación otros	311.687	100.140	411.827
Contratos	819.166	272.847	1.092.013
Lubricantes	2.130.262	652.449	2.782.711
Componentes Reparados Mecánicos	18.236.245	3.302.308	21.538.553
Ropa de trabajo y elementos de seguridad	134.901	43.416	178.317
Herramientas Mecánicas	581	303	884
Otras Herramientas	2.256	78	2.334
Otros Servicios	102.013	0	102.013
Otros	104.850	381	105.231
Subtotal	32.857.606	6.507.111	39.364.716
MO Mantenimiento Taller Otros Interno	4.202.286	1.154.483	5.356.769
Total	37.059.891	7.950.785	45.010.676
Horas Operativas	171.971	54.943	226.914
Costos Flota [USD/Hr]	216	145	198

TABLA 106. DETALLE GASTOS DE MANTENIMIENTO CAEX CAT 793F.

Camión Extracción 793F			
Ítem	Real 2018 [US]	Real Enero – abril 2019 [US]	Real [USD]
Otros Repuestos	3.535.764	677.097	4.212.860
Mangueras	0	195	195
Tubos y Cañerías	0	183	183
Válvulas	0	21	21
Repuestos	3.535.764	677.496	4.213.259
Servicios Mantención y reparación de Soldadura	271.838	97.767	369.605
Servicios Mantención y reparación otros	65.826	75.570	141.396
Servicios Mantención Marc Fijo	3.443.131	1.272.204	4.715.335
Contratos	3.780.795	1.445.541	5.226.336
Lubricantes	674.699	1.406.761	2.081.460
Componentes Reparados Mecánicos	6.041.231	203.773	6.245.003
Ropa de trabajo y elementos de seguridad	1.279	0	1.279
Herramientas Mecánicas	0	2.720.307	2.720.307
Incentivo extraordinario EECC	38.781	95	38.875
Otros	38.781	2.720.402	2.759.183
Subtotal	14.072.548	6.453.973	20.526.521
MO Mantenimiento Taller Otros Interno	17.641	4.213	21.855
Total	14.090.190	6.458.186	20.548.376
Horas Operativas	88.795	26.461	115.256
Costo Flota (USD/Hr)	159	244	178

TABLA 107. DETALLES GASTOS DE MANTENIMIENTO CAEX KOMATSU 930E.

Camión Extracción 930E			
Ítem	Real 2018 [US]	Real Enero - abril 2019 [US]	Total [USD]
Otros Repuestos	3.168.120	1.026.696	4.194.815
Repuestos	3.168.120	1.026.696	4.194.815
Servicios Mantención y reparación de Soldadura	277.722	97.767	375.489
Servicios Mantención y reparación otros	51.312	18.224	69.535
Servicios Mantención Marc Fijo	6.216.776	2.040.242	8.257.018
Contratos	6.545.810	2.156.232	8.702.042
Lubricantes	916.630	292.413	1.209.042
Componentes Reparados Mecánicos	5.214.041	2.028.648	7.242.689
Subtotal	15.844.600	5.503.989	21.348.589
MO Mantenimiento Taller Otros Interno	15.376	0	15.376
Total	15.859.976	5.503.989	21.363.965
Horas Operativas	95.601	30.776	126.377
Costo Flota (USD/Hr)	166	179	169

TABLA 108. DETALLE GASTOS DE MANTENIMIENTO CAMIÓN ALJIBE CAT 777G.

Camión Aljibe CATERPILLAR 777G			
Ítem	Real 2018 [US]	Real Enero - abril 2019 [US]	Total [US]
Rep. y materiales mecánicos	11.612	17.879	29.491
Rep. y materiales eléctricos	13.666	0	13.666
Rep. y materiales instrumentación	4.660	329	4.990
Otros Repuestos	111.856	27.410	139.265
Filtros	38.938	8.824	47.762
Mangueras	6.071	1.263	7.335
Válvulas	10.620	667	11.286
Tubos y Cañerías	2.933	450	3.384
Motores	20	10	30
Correas	371	297	668
Poleas	504	504	1.007
Bombas	99.633	35.081	134.714
Repuestos	300.884	92.713	393.597
Servicios Mantención y reparación otros	0	9.642	9.642
Contratos Mantención	0	9.642	9.642
GET	161	13	173
Lubricantes	104.359	28.014	132.373
Componentes Reparados Mecánicos	691.829	105.875	797.704
Ropa de trabajo y elementos de seguridad	2.812	0	2.812
Subtotal	1.100.045	236.256	1.336.300
MO Mantenimiento Taller Interno	287.333	90.171	377.504
Total	1.387.378	326.427	1.713.805
Horas Operativas	17.211	5.474	22.685
Costo [USD/Hr]	81	60	76

TABLA 109. DETALLE GASTOS DE MANTENIMIENTO BULLDOZER CAT D10T2.

Bulldozer CATERPILLAR D10T2			
Ítem	Real 2018 [US]	Real Enero - abril 2019 [US]	Total [US]
Rep. y materiales mecánicos	54.428	1.906	56.334
Rep. y materiales instrumentación	2.312	507	2.820
Otros Repuestos	706.513	108.330	814.843
Filtros	53.094	21.332	74.426
Poleas	24.334	6.083	30.417
Bombas	3.847	34.935	38.782
Tubos y Cañerías	2.306	735	3.042
Válvulas	16.839	13.581	30.420
Motores	9.212	0	9.212
Mangueras	8.590	2.562	11.152
Repuestos	881.475	189.972	1.071.448
Servicios Mantenión y reparación de Soldadura	133.629	51.519	185.148
Servicios Mantenión y reparación otros	37.687	9.642	47.329
Servicios Mantenión Marc Fijo	75.624	60.409	136.033
Contratos Mantenión	246.940	121.570	368.510
Lubricantes	179.537	83.033	262.570
Componentes Reparados Mecánicos	1.476.342	378.942	1.855.284
Componentes Reparados Eléctricos	0	7.040	7.040
GET	32.556	5.808	38.364
Ropa de trabajo y elementos de seguridad	3.856	486	4.342
Subtotal	1.965.963	623.607	2.589.570
MO Mantenimiento Taller Interno	439.058	120.755	559.813
Total	3.259.765	907.606	4.167.371
Horas Operativas	35.091	14.521	49.612
Costo [USD/Hr]	93	63	84

TABLA 110. DETALLE GASTOS DE MANTENIMIENTO BULLDOZER CAT D11T.

Bulldozer CATERPILLAR D11T			
Ítem	Real 2018 [US]	Real Enero - abril 2019 [US]	Total [US]
Rep. y materiales mecánicos	26.558	18.530	45.087
Rep. y materiales eléctricos	23	0	23
Rep. y materiales instrumentación	1.824	2.122	3.946
Otros Repuestos	112.533	27.482	140.015
Filtros	16.031	3.270	19.301
Tubos y Cañerías	326	54	380
Ropa de trabajo y elementos de seguridad	4.157	0	4.157
Válvulas	3.061	213	3.274
Motores	480	0	480
Bombas	55	10.173	10.229
Mangueras	4.375	1.040	5.415
Repuestos	169.423	62.882	232.305
Servicios Mantenición y reparación de Soldadura	31.287	9.926	41.213
Servicios Mantenición y reparación otros	5.430	1.928	7.358
Servicios Mantenición Marc Fijo	430.801	143.509	574.310
Contratos Mantenición	467.518	155.363	622.881
Lubricantes	77.833	24.543	102.376
Componentes Reparados Mecánicos	1.002.968	86.703	1.089.671
GET	31.528	10.462	41.991
Incentivo extraordinario EECC	5.682	0	5.682
Otros	1.002.968	86.703	1.089.671
Subtotal	1.749.270	331.824	2.081.094
MO Mantenimiento Taller Interno	215.824	66.245	282.069
Total	2.973.744	492.902	3.466.646
Horas Operativas	23.042	3.966	27.008
Costo [USD/Hr]	129	124	128

TABLA 111. DETALLE GASTOS DE MANTENIMIENTO MOTONIVELADORA CAT 24M.

Motoniveladora CATERPILLAR 24M			
Ítem	Real 2018 [US]	Real Enero - abril 2019 [US]	Total [US]
Rep. y materiales mecánicos	129.618	7.021	136.639
Rep. y materiales eléctricos	4.056	0	4.056
Rep. y materiales instrumentación	4.680	181	4.861
Otros Repuestos	495.655	92.386	588.041
Filtros	55.604	10.648	66.252
Tubos y Cañerías	4.245	1.402	5.647
Motores	12.345	850	13.195
Bombas	69.093	732	69.825
Correas	934	0	934
Válvulas	23.433	3.842	27.275
Herramientas Mecánicas	18	0	18
Mangueras	14.998	1.787	16.785
Repuestos	814.678	118.848	933.526
Servicios Mantención y reparación de Soldadura	139.287	51.519	190.805
Servicios Mantención y reparación otros	49.203	9.642	58.845
Contratos Mantención	188.490	61.161	249.650
Lubricantes	169.470	65.390	234.860
Componentes Reparados Mecánicos	1.536.831	670.422	2.207.253
Componentes Reparados Eléctricos	736	0	736
GET	162.021	54.441	216.461
Ropa de trabajo y elementos de seguridad	5.455	7.628	13.083
Subtotal	2.830.467	940.780	3.771.246
MO Mantenimiento Taller Interno	689.563	180.762	870.325
Total	3.567.244	1.158.651	4.725.895
Horas Operativas	35.064	11.480	46.544
Costo [USD/Hr]	102	101	102

TABLA 112. DETALLE GASTOS DE MANTENIMIENTO MOTONIVELADORA CAT 16M.

Motoniveladora CATERPILLAR 16M			
Ítem	Real 2018 [US]	Real Enero - abril 2019 [US]	Total [US]
Rep. y materiales mecánicos	147.835	9.021	156.856
Rep. y materiales eléctricos	2.086	342	2.428
Rep. y materiales instrumentación	4.990	447	5.437
Otros Repuestos	558.021	91.003	649.024
Filtros	47.300	9.724	57.024
Tubos y Cañerías	4.245	1.503	5.748
Motores	14.232	889	15.121
Bombas	63.452	1.032	64.484
Correas	1.002	48	1.050
Válvulas	24.233	4.991	29.224
Herramientas Mecánicas	78	51	129
Mangueras	14.998	1.665	16.663
Repuestos	882.472	120.716	1.003.188
Servicios Mantención y reparación de Soldadura	149.876	57.519	207.395
Servicios Mantención y reparación otros	48.912	11.263	60.175
Contratos Mantención	188.490	62.761	251.251
Lubricantes	179.026	67.594	246.620
Componentes Reparados Mecánicos	1.325.342	651.324	1.976.666
Componentes Reparados Eléctricos	836	104	940
GET	172.093	52.441	224.534
Ropa de trabajo y elementos de seguridad	5.955	6.328	12.283
Subtotal	2.754.214	961.268	3.715.482
MO Mantenimiento Taller Interno	698.231	212.043	910.274
Total	3.452.445	1.173.311	4.625.756
Horas Operativas	35.064	11.480	46.544
Costo [USD/Hr]	98	102	99

TABLA 113. DETALLE GASTOS DE MANTENIMIENTO WHELLDOZER CAT 834K.

Whelldozer CATERPILLAR 834K			
Ítem	Real 2018 [US]	Real Enero - abril 2019 [US]	Total [US]
Rep. y materiales mecánicos	1.623	1.359	2.982
Rep. y materiales instrumentación	1.773	717	2.489
Otros Repuestos	72.983	17.716	90.700
Filtros	12.892	4.345	17.237
Válvulas	89	3	91
Tubos y Cañerías	554	155	709
Motores	5.203	0	5.203
Mangueras	2.679	403	3.082
Bombas	1.549	0	1.549
Repuestos	99.344	24.698	124.043
Servicios Mantención y reparación de Soldadura	31.287	10.681	41.968
Servicios Mantención y reparación otros	8.145	2.893	11.037
Contratos Mantención	39.431	13.574	53.005
Lubricantes	46.348	22.304	68.652
Componentes Reparados Mecánicos	255.859	6.982	262.841
GET	37.345	8.821	46.167
Ropa de trabajo y elementos de seguridad	833	2.961	3.794
Subtotal	472.238	79.340	551.578
MO Mantenimiento Taller Interno	171.423	85.964	257.388
Total	650.584	165.304	815.889
Horas Operativas	13.634	4.016	17.650
Costo [USD/Hr]	48	41	46

TABLA 114. DETALLE GASTOS DE MANTENIMIENTO WHELLDOZER CAT 854K.

Whelldozer CATERPILLAR 854K			
Ítem	Real 2018 [US]	Real Enero - abril 2019 [US]	Total [US]
Rep. y materiales mecánicos	12.594	2.671	15.264
Rep. y materiales instrumentación	5.169	604	5.774
Rep. y materiales eléctricos	6.598	0	6.598
Otros Repuestos	482.460	105.724	588.185
Tubos y Cañerías	3.798	197	3.995
Motores	7.090	0	7.090
Filtros	72.606	8.255	80.862
Correas	84	0	84
Válvulas	5.478	0	5.478
Mangueras	11.351	997	12.348
Bombas	28.171	10.173	38.344
Repuestos	635.397	128.622	764.019
Servicios Mantenición y reparación de Soldadura	82.454	30.534	112.988
Servicios Mantenición y reparación otros	8.145	2.893	11.037
Servicios Mantenición Marc Fijo	25.209	9.294	34.502
Contratos Mantenición	115.808	42.720	158.528
Lubricantes	241.032	74.583	315.615
Componentes Reparados Mecánicos	915.562	260.472	1.176.034
Componentes Reparados Eléctricos	1.553	0	1.553
GET	302.876	85.176	388.053
Ropa de trabajo y elementos de seguridad	4.025	359	4.384
Subtotal	2.212.229	591.573	2.803.802
MO Mantenimiento Taller Interno	430.431	107.538	537.970
Total	2.646.685	699.471	3.346.156
Horas Operativas	35.988	10.913	46.901
Costo [USD/Hr]	74	64	71

TABLA 115. DETALLE GASTOS DE MANTENIMIENTO EXCAVADORA CAT 374L.

Excavadora CATERPILLAR 374L			
Ítem	Real 2018 [US]	Real Enero - abril 2019 [US]	Total [US]
Otros Repuestos	93.105	24.602	117.707
Rep. y materiales mecánicos	42.818	2.892	45.711
Rep. y materiales instrumentación	669	133	802
Tubos y Cañerías	3.377	567	3.944
Válvulas	305	40	345
Bombas	36.461	0	36.461
Motores	31.724	0	31.724
Mangueras	2.856	3.316	6.172
Filtros	35.413	12.910	48.322
Repuestos	246.729	44.460	291.189
Servicios Mantención y reparación de Soldadura	82.408	30.534	112.941
Servicios Mantención y reparación otros	16.289	5.785	22.075
Contratos Mantención	98.697	36.319	135.016
Componentes Reparados Mecánicos	314.662	29.579	344.241
Lubricantes	58.385	28.461	86.846
GET	50	153	203
Ropa de trabajo y elementos de seguridad	3.353	686	4.039
Subtotal	721.876	139.659	861.535
MO Mantenimiento Taller Interno	187.269	63.426	250.695
Total	909.145	203.085	1.112.229
Horas Operativas	17.286	4.498	21.784
Costo [USD/Hr]	53	45	51

TABLA 116. DETALLE GASTOS DE MANTENIMIENTO EXCAVADORA CAT 349D.

Excavadora CATERPILLAR 349D			
Ítem	Real 2018 [US]	Real Enero - abril 2019 [US]	Total [US]
Otros Repuestos	70.071	21.157	91.228
Rep. y materiales mecánicos	28.824	2.487	31.311
Rep. y materiales instrumentación	575	114	690
Tubos y Cañerías	2.905	487	3.392
Válvulas	262	35	297
Bombas	31.357	0	31.357
Motores	27.283	0	27.283
Mangueras	2.456	2.852	5.308
Filtros	30.455	11.102	41.557
Repuestos	194.187	38.236	232.423
Servicios Mantención y reparación de Soldadura	76.957	25.136	102.093
Servicios Mantención y reparación otros	14.776	4.758	19.534
Contratos Mantención	91.733	29.894	121.627
Componentes Reparados Mecánicos	164.662	31.046	195.708
Lubricantes	58.385	24.561	82.946
GET	106	87	193
Ropa de trabajo y elementos de seguridad	2.276	723	2.999
Subtotal	511.349	124.547	635.896
MO Mantenimiento Taller Interno	167.234	55.632	222.866
Total	678.583	180.179	858.762
Horas Operativas	18.362	4.985	23.347
Costo [USD/Hr]	37	36	37