



UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

ESCUELA DE POSTGRADO

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN GESTIÓN MINERA

**Identificación Y Control De Indicadores Clave De Desempeño En La
Planificación Minera A Corto Plazo Mediante La Simulación Montecarlo Con
Crystal Ball**

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Presentado como parte de los requisitos para optar el grado académico de

AUTOR(ES)

Lanata Rospigliosi, Miguel Ángel Wilfredo	0000-0003-2995-2630
Ramírez Aguado, Yuri Valeri	0000-0002-5197-2075
Reymer Mullizaca, Deivy Luis	0000-0001-5998-8840

ASESOR(ES)

Ayesta Castro, Augusto Narciso	0000-0003-3357-6324
--------------------------------	---------------------

Lima, 24 de enero de 2023

DEDICATORIA

A nuestros padres y familiares que nos motivaron a cerrar este ciclo, a nuestros profesores por la valiosa experiencia transmitida en las aulas, y a nuestro asesor Augusto Ayesta por su motivación y orientación en nuestra investigación.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, queremos dedicar este trabajo a nuestros familiares y seres queridos por su apoyo incondicional a lo largo de estos años de estudio. En segundo lugar, a los tres integrantes del equipo de tesis por su valioso esfuerzo y sacrificio a pesar de las múltiples responsabilidades personales y laborales, así como a nuestro profesor y asesor, Augusto Ayesta Castro, por su orientación en el desarrollo del presente trabajo de investigación.

A la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas por despertar el interés en mejorar nuestras competencias a través del presente programa. Finalmente, a nuestros compañeros de estudio por su valiosa experiencia y amistad.

RESUMEN

El éxito económico de una operación minera a cielo abierto se encuentra directamente relacionado con el nivel de confiabilidad del modelo de recursos para la estimación del plan de minado a corto plazo y la ejecución del mismo plan, a través de indicadores que miden el desempeño diario, semanal y mensual de las áreas operativas.

El plan de minado tiene como objetivo maximizar el flujo de caja en los primeros años, recuperando la inversión en el menor tiempo posible, en un escenario complejo por la variación en los precios de los metales.

El presente trabajo ha sido elaborado con el objetivo de establecer los criterios para el cumplimiento del plan de producción, mediante el seguimiento de indicadores de gestión de perforación, carguío y acarreo en una operación minera a cielo abierto.

La hoja de cálculo desarrollada relaciona los parámetros de operación de la flota de producción con el tonelaje planificado mensualmente, constituyéndose en una herramienta para la toma de decisiones a nivel operativo. Un mayor nivel de detalle puede ser incluido de acuerdo con los requerimientos de la mina y los recursos existentes. Los principales objetivos son:

1. Elaborar y configurar una hoja de cálculo de flota de producción (perforación, carguío y acarreo) en base al plan mensual de minado.
2. Ajustar la hoja de cálculo con datos reales de una operación minera a cielo abierto.
3. Generar variabilidad en los parámetros básicos que determinan el tamaño de la flota utilizando la simulación Montecarlo con el complemento Oracle Crystal Ball.
4. Identificar los indicadores clave de desempeño para la ejecución y cumplimiento del plan de minado de acuerdo con el impacto en la variación del número de equipos requeridos, proporcionando los ajustes necesarios a las variables controlables del modelo para cumplir el plan de producción.

Palabras clave: equipos mineros; plan de minado; indicador clave de desempeño; simulación Montecarlo; tajo abierto.

SUMMARY

The success of any open pit mine operation it's directly related to the confidence level of the resources model to estimate either long or short term plans and the execution as well, through indicators that measure daily, weekly and monthly performance of the operation areas.

Mine plan has the goal of maximize cash flow in the first years of the life of mine, recovering the investment as soon as the market can make it possible, in a complex scenario due to the variation of metal prices.

This research has been developed with the objective to establish the criteria that we need to achieve the mine plan by using key performance indicators in critical open pit mining activities like drilling, loading and hauling.

The calculation sheet connects production fleet parameters with monthly tonnage planned, becoming an important tool for operational level decision making. More details can be included according to the mine requirements and the available resources. The main objectives are:

1. To elaborate and set up a production fleet worksheet (drilling, loading and hauling) based on a monthly mine plan.
2. To adjust the worksheet with real data of an open pit mine operation.
3. To generate variability on basic parameters that are important for the fleet size using Monte Carlo simulation with Oracle Crystal Ball.
4. To identify key performance indicators that are important to achieve mine plan according to the required equipment and its variation, adjusting controllable variables to reach the production plan.

Keywords: mine equipment; mine plan; key performance indicator; Montecarlo simulation; open pit.

Identificación Y Control De Indicadores Clave De Desempeño En La Planificación Minera A Corto Plazo Mediante La Simulación Montecarlo Con Crystal Ball

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Carlos III de Madrid Trabajo del estudiante	2 %
2	intranet2.minem.gob.pe Fuente de Internet	1 %
3	repositorio.unab.cl Fuente de Internet	1 %
4	Submitted to 53250 Trabajo del estudiante	1 %
5	hdl.handle.net Fuente de Internet	1 %
6	www.minem.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
7	dir.indiamart.com Fuente de Internet	<1 %
8	vsip.info Fuente de Internet	<1 %

9	autodocbox.com Fuente de Internet	<1 %
10	repositorio.unsaac.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
11	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
12	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	<1 %
13	KNIGHT PIESOLD CONSULTORES S.A.. "ITS de Cambios Menores en Componentes de la Unidad Minera Toromocho-IGA0003071", R.D. N° 343-2017-SENACE/DCA, 2020 Publicación	<1 %
14	Chamorro, Jimmy Abel Becerra. "Gestion De La Perforacion Diamantina A Traves De Metodologias agiles (Scrum - Kanban)", Pontificia Universidad Catolica del Peru - CENTRUM Catolica (Peru), 2022 Publicación	<1 %
15	"Análisis técnico-económico de producción y almacenamiento de hidrógeno", Pontificia Universidad Catolica de Chile, 2022 Publicación	<1 %
16	mriuc.bc.uc.edu.ve Fuente de Internet	<1 %
Submitted to Instituto de Empress S.L.		

17	Trabajo del estudiante	<1 %
18	es.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
19	Submitted to Instituto Superior de Artes, Ciencias y Comunicación Trabajo del estudiante	<1 %
20	es.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
21	Salazar Izquierdo, Ruben Louredes. "Análisis Económico del Diseño Y Construcción de Muros de Suelo Reforzado como Base de Instalación de una Chancadora Primaria Semi - Móvil.", Pontificia Universidad Católica del Peru - CENTRUM Católica (Peru), 2020 Publicación	<1 %
22	dspace.ups.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
23	doku.pub Fuente de Internet	<1 %
24	repositorio.uchile.cl Fuente de Internet	<1 %
25	www.clubensayos.com Fuente de Internet	<1 %

26	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	<1 %
27	it.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
28	www.inversoro.es Fuente de Internet	<1 %
29	Submitted to Universidad Privada Boliviana Trabajo del estudiante	<1 %
30	Submitted to Universidad de Medellin Trabajo del estudiante	<1 %
31	dspace.unitru.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
32	mining.tcgcr.ru Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas

Apagado

Exclude assignment
template

Activo

Excluir bibliografía

Activo

Excluir coincidencias

< 20 words

NDICE

AGRADECIMIENTOS.....	3
RESUMEN	4
SUMMARY	6
ÍNDICE	11
ÍNDICE DE TABLAS	14
ÍNDICE DE FIGURAS	17
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN A LA PROBLEMÁTICA DEL CUMPLIMIENTO DEL PLAN DE MINADO.....	21
1.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	21
1.2 OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN.....	22
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS DE LA INVESTIGACIÓN	22
1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	23
1.5 ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN.....	23
1.6 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	23
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	24
2.1 ANTECEDENTES DE LA ACTIVIDAD MINERA	24
2.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	27
2.3 GEOLOGÍA DEL PROYECTO.....	29
2.4 MÉTODO DE EXPLOTACIÓN MINERA A CIELO ABIERTO.....	29
2.4.1 Perforación	32
2.4.2 Carguío y Acarreo.....	32
2.5 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO	35
2.6 INDICADORES CLAVE DE DESEMPEÑO (KPIs).....	40
2.6.1 Índice de frecuencia de lesiones reportables	41
2.6.2 Disponibilidad Física y confiabilidad	41
2.6.3 Utilización de equipo	42
2.6.4 Productividad de equipo.....	42
2.7 CONCEPTOS BÁSICOS DE MODELO MATEMÁTICO Y SIMULACIÓN	42
2.8 SIMULACIÓN MONTECARLO EMPLEANDO ORACLE CRYSTAL BALL	44
CAPITULO III: ANÁLISIS SITUACIONAL Y DIAGNÓSTICO	45

3.1	DIAGNÓSTICO DEL ÁREA DE PLANEAMIENTO A CORTO PLAZO.....	45
3.2	DIAGNÓSTICO DE PERFORACIÓN.....	48
3.3	DIAGNÓSTICO DE CARGUÍO.....	50
3.4	DIAGNÓSTICO DE ACARREO.....	55
3.5	ESTIMACIÓN DE FLOTA.....	58
3.5.1	Perforación.....	59
3.5.2	Carguío y Acarreo.....	65
3.6	CONFIGURACIÓN Y AJUSTE DE LA HOJA DE CÁLCULO.....	73
3.7	CONCLUSIONES PRELIMINARES DEL DIAGNÓSTICO.....	84
CAPITULO IV: PROPUESTA DE VALOR CON SIMULACIÓN MONTECARLO EMPLEANDO ORACLE CRYSTAL BALL.....		85
4.1	MÉTODO PROPUESTO PARA LA PLANIFICACIÓN MINERA DE CORTO PLAZO.....	85
4.2	DEFINICIÓN DE SUPUESTOS CASO BASE.....	88
4.2.1	Definición de supuestos para Perforación.....	88
4.2.2	Definición de Supuestos para Carguío (Ver Apéndices).....	88
4.2.3	Definición de Supuestos para Acarreo (Ver Apéndices).....	88
4.3	DEFINICIÓN DE PRONÓSTICOS/PREVISIÓN CASO BASE.....	89
4.3.1	Definición de Pronósticos/Previsión para Perforación.....	90
4.3.2	Definición de Pronósticos/Previsión para Carguío.....	93
4.3.3	Definición de Pronósticos/Previsión para Acarreo.....	99
4.4	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS CASO BASE.....	102
4.4.1	Interpretación de Resultados en Perforación.....	102
4.4.2	Interpretación de Resultados en Carguío.....	109
4.4.3	Interpretación de Resultados en Acarreo.....	116
4.5	RESULTADOS CASO MEJORADO.....	123
4.5.1	Resultados en Perforación.....	123
4.5.2	Resultados en Carguío.....	127
4.5.3	Resultados en Acarreo.....	133
4.6	RELACIÓN BENEFICIO/COSTO.....	138
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		139
5.1	CONCLUSIONES EN PERFORACIÓN.....	139
5.2	CONCLUSIONES EN CARGUÍO.....	140
5.3	CONCLUSIONES EN ACARREO.....	142
5.4	CONCLUSIONES GENERALES.....	143

5.5	RECOMENDACIONES EN PERFORACIÓN	144
5.6	RECOMENDACIONES EN CARGUÍO	146
5.7	RECOMENDACIONES EN ACARREO.....	147
5.8	RECOMENDACIONES GENERALES	148
	REFERENCIAS.....	150
	APÉNDICE	152

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Principales diferencias minería superficial y subterránea.....	27
Tabla 2 Cálculo de match factor.....	35
Tabla 3 Fases de minado del proyecto vs ley de corte.....	37
Tabla 4 Análisis FODA del área de planeamiento mina.....	47
Tabla 5 Resistencia a la Rodadura Según Komatsu.....	68
Tabla 6 Resistencia a la gradiente para diversos ángulos de inclinación.....	69
Tabla 7 Corrección por altitud.....	70
Tabla 8 Resistencia a la gradiente para diversos ángulos de inclinación.....	70
Tabla 9 Horizonte del proyecto.....	73
Tabla 10 Material a perforar según plan de minado.....	74
Tabla 11 Criterio de diseño de perforación y voladura.....	75
Tabla 12 Estructura de tiempo para perforación.....	76
Tabla 13 Requerimiento de perforadoras.....	77
Tabla 14 Parámetros de carguío y acarreo.....	78
Tabla 15 Material a transportar.....	79
Tabla 16 Estructura de tiempo para acarreo.....	80
Tabla 17 Requerimiento de camiones.....	81
Tabla 18 Estructura de tiempo para carguío.....	82
Tabla 19 Requerimiento de palas y cargador.....	83
Tabla 20 Velocidad de Penetración.....	90
Tabla 21 Número de Perforadoras Requeridas.....	92
Tabla 22 Costo por Metro Perforado.....	93
Tabla 23 Productividad de Palas.....	94
Tabla 24 Número de Palas Requeridas.....	95

Tabla 25 <i>Costo por Tonelada Cargada Pala</i>	96
Tabla 26 <i>Productividad Cargador Frontal</i>	97
Tabla 27 <i>Número de Cargadores Frontales Requeridos</i>	98
Tabla 28 <i>Costo por Tonelada Cargada por Cargador Frontal</i>	99
Tabla 29 <i>Productividad de Flota de Camiones</i>	100
Tabla 30 <i>Número de Camiones Requeridos</i>	101
Tabla 31 <i>Costo por Tonelada Transportada</i>	102
Tabla 32 <i>Resultados Tornado Velocidad de Penetración</i>	104
Tabla 33 <i>Resultados Tornado Número de Perforadoras Requeridas</i>	106
Tabla 34 <i>Resultados tornado por metro perforado</i>	108
Tabla 35 <i>Resultados Tornado Productividad de Palas</i>	109
Tabla 36 <i>Resultados Tornado Número de Palas Requeridas</i>	110
Tabla 37 <i>Resultados Tornado Costo por Tonelada Cargada Pala</i>	111
Tabla 38 <i>Resultados Tornado Productividad de Cargador Frontal</i>	112
Tabla 39 <i>Resultados Tornado Número de Cargadores Frontales Requeridos</i>	114
Tabla 40 <i>Resultados Tornado Costo por Tonelada Cargada por Cargador Frontal</i>	116
Tabla 41 <i>Resultados Productividad de Camiones</i>	118
Tabla 42 <i>Resultados Tornado Número de Camiones Requeridos</i>	120
Tabla 43 <i>Resultados Tornado Costo por Tonelada Transportada</i>	122
Tabla 44 <i>Velocidad de Penetración Mejorada</i>	125
Tabla 45 <i>Costo por Metro Perforado Mejorado</i>	126
Tabla 46 <i>Productividad de Palas Mejoradas</i>	129
Tabla 47 <i>Costo por Tonelada Cargada en Pala Mejorado</i>	130
Tabla 48 <i>Productividad de Cargador Frontal Mejorado</i>	131
Tabla 49 <i>Costo por Tonelada Cargada en Cargador Frontal Mejorado</i>	132

Tabla 50 <i>Productividad de Camiones Mejorado</i>	135
Tabla 51 <i>Número de Camiones Mejorado</i>	136
Tabla 52 <i>Costo por Tonelada Transportada Mejorado</i>	137

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Precio del Cobre Proyectado al 2015</i>	25
Figura 2 <i>Precio del Cobre en los Últimos 5 años</i>	25
Figura 3 <i>Precio del Oro en los Últimos 5 Años</i>	26
Figura 4 <i>Ubicación Geográfica en el País del Proyecto</i>	28
Figura 5 <i>Ubicación geográfica regional del proyecto</i>	28
Figura 6 <i>Explotación por fases de un tajo abierto</i>	30
Figura 7 <i>Sección típica de minado en una mina a tajo abierto</i>	31
Figura 8 <i>Distribución de equipos en una operación minera a tajo abierto</i>	31
Figura 9 <i>Parámetros de perforación y voladura</i>	32
Figura 10 <i>Rango de aplicación de equipos según distancia de acarreo</i>	33
Figura 11 <i>Secuencia de carguío y acarreo Pala-Camión</i>	34
Figura 12 <i>Vista del tajo abierto del proyecto</i>	35
Figura 13 <i>Diagrama del proceso de minado</i>	36
Figura 14 <i>Movimiento de Materiales a lo Largo del Proyecto</i>	38
Figura 15 <i>Perfil de Producción de Cobre y Cobre Equivalente del Proyecto</i>	38
Figura 16 <i>Flota de Equipos a Largo Plazo del Proyecto</i>	39
Figura 17 <i>Distribución de Tiempo por Categorías</i>	40
Figura 18 <i>Descripción de Categorías</i>	41
Figura 19 <i>Conceptos básicos de simulación</i>	43
Figura 20 <i>Secuencia típica en Crystal Ball</i>	44
Figura 21 <i>Diagrama de flujo del planeamiento de minado a corto plazo actual</i>	46
Figura 22 <i>Vista de la perforadora Epiroc Pit Viper 351</i>	48
Figura 23 <i>Esquema de diseño de perforación</i>	50
Figura 24 <i>Vista de la pala Caterpillar</i>	51

Figura 25 <i>Dimensiones de la pala Caterpillar 7495</i>	51
Figura 26 <i>Especificaciones operativas de la pala Caterpillar 7495</i>	52
Figura 27 <i>Vista cargador frontal Le Tourneau L2350</i>	54
Figura 28 <i>Dimensiones y especificaciones operativas del LT2350</i>	54
Figura 29 <i>Vista del Camión Caterpillar 797F</i>	56
Figura 30 <i>Dimensiones y especificaciones operativas del 797F</i>	57
Figura 31 <i>Abaco para Calcular la Velocidad en Función de la Carga y Resistencia</i>	67
Figura 32 <i>Representación gráfica del perfil de acarreo</i>	69
Figura 33 <i>Abaco para Calcular la Velocidad del 797F en Función de la Carga y Resistencia</i>	71
Figura 34 <i>Diagrama de flujo del planeamiento de minado propuesto</i>	86
Figura 35 <i>Diagrama de flujo del planeamiento a corto plazo propuesto</i>	87
Figura 36 <i>Galería de distribuciones</i>	88
Figura 37 <i>Ventana de preferencias</i>	89
Figura 38 <i>Gráfico de pronósticos</i>	89
Figura 39 <i>Gráfico de simulación de velocidad de penetración</i>	90
Figura 40 <i>Gráfico de simulación de número de perforadoras</i>	91
Figura 41 <i>Gráfico de simulación de costo por metro perforado</i>	92
Figura 42 <i>Gráfico de resultados de simulación productividad de palas</i>	93
Figura 43 <i>Gráfico de resultados simulación palas requeridas</i>	94
Figura 44 <i>Gráfico de resultados de simulación costo por tonelada</i>	95
Figura 45 <i>Gráfico de resultados simulación productividad de cargador frontal</i>	96
Figura 46 <i>Gráfico de resultados de simulación de número de cargadores frontales requeridos</i>	97

Figura 47 <i>Gráfico de resultados de simulación del costo por tonelada cargada por cargador frontal</i>	98
Figura 48 <i>Gráfico de resultados de simulación de la productividad de la flota de camiones</i>	99
Figura 49 <i>Gráfico de resultados de simulación del número de camiones requeridos</i>	100
Figura 50 <i>Gráfico de resultados de simulación del costo por tonelada transportada</i>	101
Figura 51 <i>Gráfico de tornado velocidad de penetración</i>	103
Figura 52 <i>Gráfico de tornado perforadoras requeridas</i>	105
Figura 53 <i>Gráfico de tornado costo por metro perforado</i>	107
Figura 54 <i>Gráfico de tornado productividad de palas</i>	109
Figura 55 <i>Gráfico de tornado número de palas requeridas</i>	110
Figura 56 <i>Gráfico de tornado costo por tonelada por pala</i>	111
Figura 57 <i>Gráfico de tornado productividad cargador frontal</i>	112
Figura 58 <i>Gráfico de tornado número de cargadores frontales</i>	113
Figura 59 <i>Gráfico de costo por tonelada cargada</i>	115
Figura 60 <i>Gráfico de tornado productividad de camiones</i>	117
Figura 61 <i>Gráfico de tornado número de camiones requeridos</i>	119
Figura 62 <i>Gráfico de tornado costo por tonelada transportada</i>	121
Figura 63 <i>Distribución ajustada de velocidad de penetración mineral tipo 1</i>	123
Figura 64 <i>Distribución ajustada de velocidad de penetración mineral tipo 2</i>	123
Figura 65 <i>Distribución ajustada de velocidad de penetración desmonte tipo 1</i>	124
Figura 66 <i>Distribución ajustada de velocidad de penetración desmonte tipo 2</i>	124
Figura 67 <i>Gráfico de resultados de velocidad de penetración mejorada</i>	125
Figura 68 <i>Gráfico de resultados de costo por metro perforado mejorado</i>	126
Figura 69 <i>Distribución ajustada del tiempo esperando camión en pala</i>	127
Figura 70 <i>Distribución ajustada del tiempo esperando camión en cargador</i>	127

Figura 71 <i>Distribución ajustada del tiempo de pase en pala</i>	128
Figura 72 <i>Distribución ajustada del tiempo de pase en cargador</i>	128
Figura 73 <i>Gráfico de resultados de productividad de palas mejoradas</i>	129
Figura 74 <i>Gráfico de resultados de costo por tonelada cargada en pala mejorado</i>	130
Figura 75 <i>Gráfico de resultados de productividad de cargador frontal mejorada</i>	131
Figura 76 <i>Gráfico de resultados de costo por tonelada cargada en cargador frontal mejorado</i>	132
Figura 77 <i>Distribución ajustada de velocidad lleno a chancadora</i>	133
Figura 78 <i>Distribución ajustada de velocidad lleno a botadero</i>	133
Figura 79 <i>Distribución ajustada de velocidad vacío de chancadora</i>	134
Figura 80 <i>Distribución ajustada de velocidad vacío de botadero</i>	134
Figura 81 <i>Gráfico de resultados de productividad de camiones mejorado</i>	135
Figura 82 <i>Gráfico de resultados de número de camiones mejorado</i>	136
Figura 83 <i>Gráfico de resultados de costo por tonelada transportada mejorado</i>	137
Figura 84 <i>PDCA lean mejora continua</i>	149

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN A LA PROBLEMÁTICA DEL CUMPLIMIENTO DEL PLAN DE MINADO

1.1 Definición del Problema

Durante el desarrollo de las operaciones en una mina a cielo abierto se presentan eventos no planificados y condiciones no previstas que impactan significativamente en el cumplimiento del plan de producción minero. Tal es el caso de cambios estratégicos de la alta dirección por la coyuntura actual y situación financiera; aparición de elementos contaminantes en mayor o menor proporción que los establecidos en el modelo; paradas mecánicas no programadas en la flota de equipos de mina; cambios en las fases de minado por variación de leyes, dureza de material, restricciones geotécnicas, etc.

Por ejemplo, para el año 2020, debido a la coyuntura de la pandemia los esfuerzos se enfocaron en cumplir el objetivo anual de producción de cobre fino, llegando a un 96.6% del número proyectado. El primer semestre se buscó cumplir el envío de mineral al proceso de chancado, dejando en segunda instancia el desbroce en otros sectores de la mina por falta de personal en la operación. A partir del segundo semestre, con las medidas sanitarias de control asumidas por la compañía, la producción se fue recuperando conforme el personal se reintegraba a la operación, cumpliéndose en 100.3% el objetivo de tonelaje total movido.

Sin embargo, al analizar el periodo 2020 la disponibilidad y utilización de la chancadora estuvieron por debajo -5% y -10.7% respectivamente, debido a paradas no programadas por temas mecánico-eléctricos, clima severo con tormentas eléctricas, nevadas que ocasionaron paradas de faja por peso excesivo, cortes por presencia de metales, atoros por rocas sobredimensionadas y por desgaste de componentes en el circuito. La molienda también se vio afectada en su disponibilidad (-0.6%) respecto al plan anual debido a problemas eléctricos y mayor dureza del mineral.

No obstante, si analizamos el 2019, un año sin pandemia, el resultado del cumplimiento de la producción de cobre fino fue 98.5% del objetivo anual, afectado principalmente por las bajas disponibilidades de la chancadora y molienda en -3.4% y -0.6%, atribuidos a paradas no programadas relacionados a problemas mecánico-eléctricos. La mayoría de las paradas fueron originadas por tormentas eléctricas, presencia de metales que originaron cortes en la faja, presencia de mineral con mayor dureza, eventos que influyen directamente en el cumplimiento de los planes de producción.

En ese sentido, el presente trabajo de investigación busca identificar y controlar las principales fuentes de variación en las actividades del área de Operaciones Mina.

1.2 Objetivo de la Investigación

Desarrollar una herramienta de gestión que permita estimar y evaluar las principales fuentes de variación en el cumplimiento del plan, orientada a las actividades de perforación, carguío y acarreo en una operación minera a cielo abierto e implementar las medidas correctivas.

1.3 Objetivos Específicos de la Investigación

Elaborar y configurar una hoja de cálculo de flota de producción (perforación, carguío y acarreo) en base al plan mensual de minado mediante un modelo determinístico. Ajustar la hoja de cálculo con datos reales de una operación minera a cielo abierto en las actividades de perforación, carguío y acarreo.

Generar variabilidad en los parámetros básicos que determinan el tamaño de la flota utilizando la simulación Montecarlo con el complemento Oracle Crystal Ball, lo que constituye un modelo estocástico.

Identificar los indicadores clave de desempeño para la ejecución y cumplimiento del plan de minado de acuerdo con su impacto en la variación del número de equipos requeridos,

proporcionando los ajustes necesarios a las variables controlables del modelo para cumplir el plan de producción.

1.4 Justificación de la Investigación

El éxito económico del negocio minero se encuentra directamente relacionado con el nivel de confiabilidad en la elaboración del plan de minado a corto plazo, y al cumplimiento del mismo, a través del seguimiento a los indicadores clave de desempeño, empleando para ello herramientas tecnológicas como un sistema de gestión de flota y software complementario de simulación.

1.5 Alcance de la Investigación

El presente trabajo de investigación comprende específicamente a las actividades de Perforación, Carguío y Acarreo en una mina a cielo abierto. La metodología y modelo propuestos son de amplia aplicación en cualquier proyecto minero a cielo abierto.

1.6 Limitaciones de la Investigación

La hoja de cálculo desarrollada relaciona particularmente los parámetros de operación de la flota de producción (perforación, carguío y acarreo) con el tonelaje planificado mensualmente en una unidad minera específica. Un mayor nivel de detalle puede ser incluido de acuerdo con los requerimientos de la mina y los recursos existentes.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la Actividad Minera

Actualmente, el Perú se sitúa como el sexto mayor productor de oro en el mundo, segundo en cobre, zinc y plata. El impacto de la minería en la economía del país es relevante. Se estima que representa alrededor del 60% de las exportaciones, un 9.1% del PBI y cerca de 8% en recaudación fiscal.

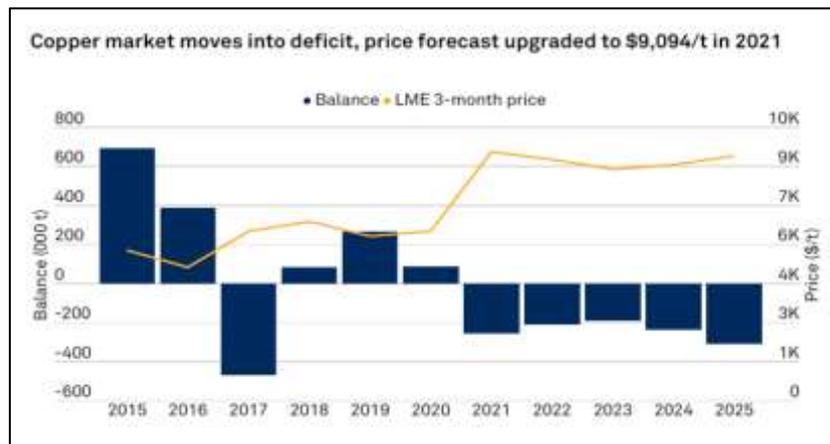
Por otro lado, la cartera de proyectos mineros supera los 56,000 millones USD, de los cuales el 32% se encuentran en Cajamarca. De toda la cartera, aproximadamente 91% son proyectos greenfield y 9% brownfield. El cobre representa 68% de las inversiones; el oro 14%, el hierro 9%, fosfatos el 4%, zinc un 3%, litio y uranio un 2%. Nuestro país cuenta con importantes reservas a nivel mundial en oro (5to), cobre y zinc (3ro), en plata (1ro).

En los últimos años, el Perú cayó al puesto 24 en Competitividad Minera principalmente por incertidumbre en la administración y aplicación de regulaciones. (Fraser). El incremento en la fabricación y venta de vehículos eléctricos de pasajeros, principalmente en China, Europa y los EEUU de alrededor de 2 millones en el 2019 a más de 10 millones de unidades por año para el 2025 representan una magnífica oportunidad para países productores de cobre como el Perú y con reservas importantes de litio.

A continuación, se muestra en la Figura 1 el precio del cobre proyectado al 2025 y en la Figura 2 y Figura 3 se muestran los precios del cobre y oro en los últimos 5 años.

Figura 1

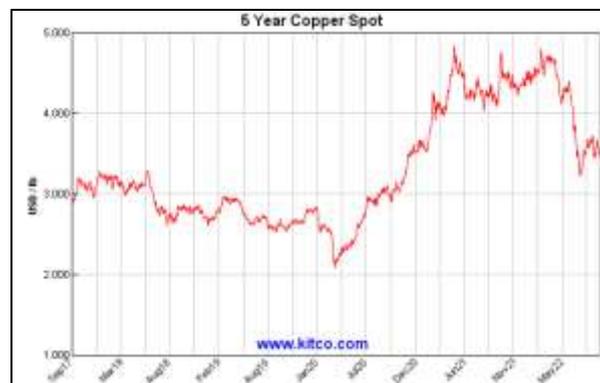
Precio del Cobre Proyectado al 2025



Nota. Información consultada el segundo trimestre del 2022. De “State of the Market Mining”, por S&P Global Market Intelligence, s.f. (<https://pages.marketintelligence.spglobal.com/rs/565-BDO-100/images/state-of-the-market-mining-q123.pdf>)

Figura 2

Precio del Cobre en los Últimos 5 años



Nota. De “Historical Charts/5 Year Copper”, por Kitcometals, s.f. (http://www.kitcometals.com/charts/copper_historical_large.html#5years)

Figura 3

Precio del Oro en los Últimos 5 Años



Nota: De “5 Year Gold”, por Kitco, s.f.
(<https://www.kitco.com/charts/popup/au1825nyb.html>)

En el Perú la minería metálica se desarrolla en dos ámbitos distintos de explotación. Por un lado, la gran minería y un sector de la mediana minería se desarrollan mediante la explotación superficial, tales como las grandes minas de cobre, hierro y oro ubicados en gran parte del territorio nacional, desde Cajamarca hasta Tacna, y que involucra amplias extensiones de superficie. Por otro lado, la minería polimetálica y aurífera a mediana y pequeña escala se emplazan en yacimientos que son explotados mediante el método subterráneo. Ambos métodos difieren en su conceptualización, planificación minera, proceso operativo y gestión de indicadores. A continuación, en la Tabla 1 se describe las principales diferencias entre ambos métodos de explotación.

Tabla 1*Principales diferencias minería superficial y subterránea*

PRINCIPALES DIFERENCIAS		
	EXPLOTACIÓN SUPERFICIAL	EXPLOTACIÓN SUBTERRÁNEA
1	Yacimientos diseminados de menor ley, pero económicamente viables.	Cuerpos con mayor concentración de mineral.
2	Cercano a superficie.	Ubicados a mayor profundidad de la superficie.
3	Mayor volumen de movimiento de material.	Menor volumen de movimiento de material.
4	Mayor inversión de capital.	Menor inversión de capital.
5	Costos operativos bajos.	Altos costos operativos.
6	Mayor impacto al medio ambiente.	Menor impacto ambiental.
7	Equipos de gran tamaño.	Equipos de menor tamaño, bajo perfil.

2.2 Descripción del Proyecto

Las exploraciones geológicas y el planeamiento de mina han determinado que el depósito Toromocho contiene una reserva de 1 526 millones de toneladas de mineral con una ley promedio de cobre de 0,48%, una ley promedio de molibdeno de 0,019% y una ley promedio de plata de 6,88 gramos por tonelada, basado en una ley corte de aproximadamente 0,37% de cobre. (Knight Piésold Consultores S.A., 2009, p. 9)

El proyecto se ubica en los distritos de Morococha y Yauli, en la provincia de Yauli, región Junín. El proyecto se encuentra emplazado en la Cordillera de los Andes y presenta una topografía accidentada a una altitud encima de los 4,000 m.s.n.m. Se observan terrenos llanos,

laderas montañosas y accidentadas. Para llegar a la unidad minera desde Lima se utiliza la carretera Central recorriendo más de 140 km. al Este.

Figura 4

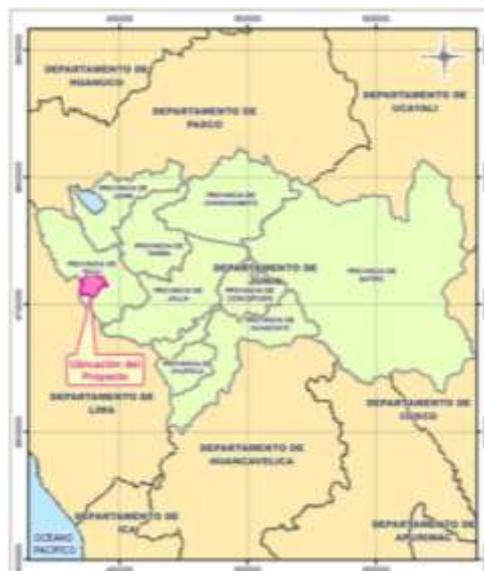
Ubicación Geográfica en el País del Proyecto



Nota. De “Plan de Cierre de Minas Proyecto Toromocho”, por Walsh Perú S.A., 2011.

Figura 5

Ubicación Geográfica Regional del Proyecto



Nota. De “Plan de Cierre de Minas Proyecto Toromocho”, por Walsh Perú S.A., 2011.

Según Knight Piésold Consultores S.A. (2009), se estiman 36 años de vida del proyecto. La temperatura media varía entre 1 a 8°C. Las precipitaciones anuales fluctúan entre 600 y 800 mm. siendo los meses más lluviosos de octubre a marzo. La humedad relativa promedio es 62,2%. Los componentes del proyecto se hallan principalmente en terrenos estables, sin mayor riesgo por acción geodinámica externa.

2.3 Geología del Proyecto

Con respecto a la geología del proyecto, el Plan de Cierre de Minas, Proyecto Toromocho elaborado por Walsh Perú (2011) señala lo siguiente:

El depósito mineral es un complejo de vetas, vetillas, mantos mineralizados y sulfuros diseminados del tipo general skarn y pórfido de cobre, con diseminaciones de baja ley. La mineralización fue depositada en las calizas de la formación Pucará, junto con los intrusivos terciarios incluyendo dioritas, monzonitas y pórfido cuarácico. En el proyecto está definida una zona central de cobre-molibdeno diseminado, rodeado por un anillo de plomo-zinc, mayormente como depósitos de vetas, incluyendo cuerpos de zinc diseminados. Esta zona, a su vez, está rodeada por una franja de vetas de plomo-plata. La zona del Proyecto comprende rocas sedimentarias y volcánicas de origen marino o continental, así como cuerpos intrusivos. Las rocas más antiguas reconocidas en el área corresponden al Grupo Excelsior, siguiéndole el Grupo Mitu y luego las rocas volcánicas Catalina, asentándose, posteriormente, sobre ellos el Grupo Pucará y la secuencia cretácica integrada por las formaciones Goyllarisquizga, Chulec, Pariatambo, Jumasha y Casapalca. Entre las rocas más comunes se puede mencionar areniscas y calizas; de manera más localizada, se hallan lutitas, cuarcitas y conglomerados. Las intrusiones del Terciario, conformadas por una amplia variedad petrográfica (dioritas, monzonitas, andesitas y dacitas) cortan las secuencias sedimentarias en varios sectores, siendo en gran parte responsables de la mineralización del área. Toda esta secuencia

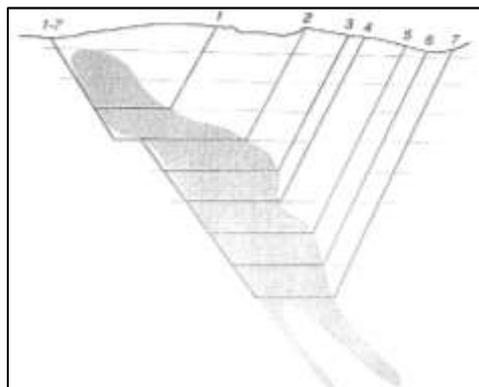
rocosa, está en su mayor parte cubierta por un manto discontinuo de materiales cuaternarios poco o nada consolidados de naturaleza glacial, fluvio-glacial y coluvial. El área está afectada por fallas que afectan las filitas Excelsior y las rocas del grupo Mitu, la mayoría de dirección NO-SE, también son coincidentes con el patrón estructural regional. Además, el área está afectada por otras fallas secundarias de diferente orientación. En general, ninguna de estas fallas presenta cicatrices o evidencias de reactivación actual, es decir no se encuentran activas. Por otro lado, todas las muestras contienen sulfuros y el azufre como sulfuro es la especie dominante. El contenido de azufre como sulfuro es alto en las muestras de mineral e intermedia en las muestras de relaves espesados. La mayoría de material de desmonte a generarse y el mineral a extraer del proyecto es potencialmente generador de drenaje ácido. (pp. R11-R12)

2.4 Método de Explotación Minera a Cielo Abierto

En una explotación a tajo abierto por fases, como se ve en las Figuras 6 y 7, los equipos son distribuidos de acuerdo con la secuencia definida en el plan de minado. La primera etapa conforma la perforación y voladura; en segundo lugar, el carguío con pala/cargador y, finalmente, el acarreo con los camiones (Figura 8).

Figura 6

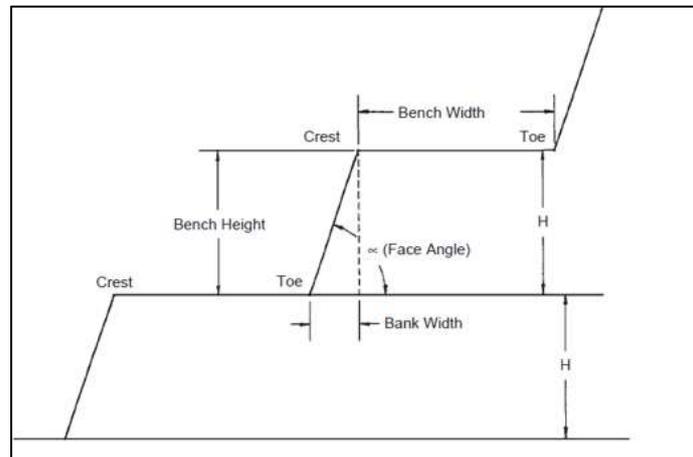
Explotación por fases de un tajo abierto



Nota. De “Mining Economics and Strategy”, por Society for Mining, Metallurgy and Exploration, 1998.

Figura 7

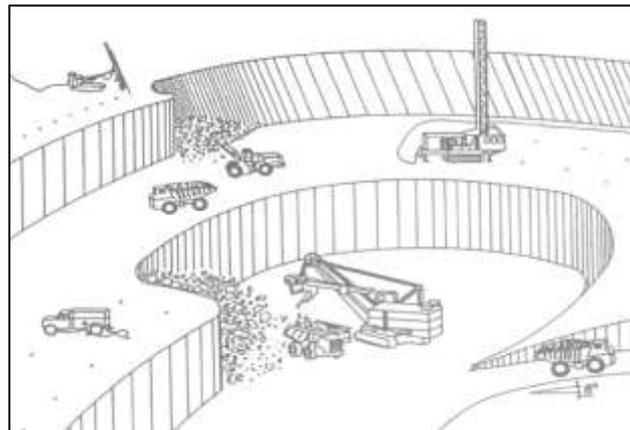
Sección típica de minado en una mina a tajo abierto



Nota. De “Open Pit Mine Planning & Design”, por W. Hustrulid, M. Kuchta, & R. Martin, 2013.

Figura 8

Distribución de equipos en una operación minera a tajo abierto



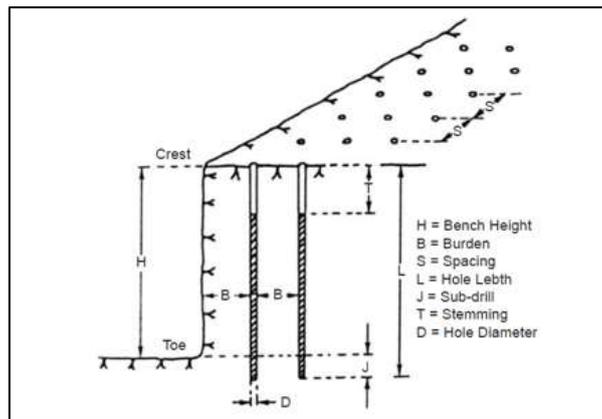
Nota. De “Open Pit Mine Planning & Design”, por W. Hustrulid, M. Kuchta, & R. Martin, 2013.

2.4.1 Perforación

El objetivo de la perforación y voladura es proveer de material roto para el avance del minado con palas y cargador. En la Figura 9 tenemos los parámetros básicos de la perforación y voladura en un tajo abierto.

Figura 9

Parámetros de perforación y voladura



Nota. De “Open Pit Mine Planning & Design”, por W. Hustrulid, M. Kuchta, & R. Martin, 2013.

Los cortes de minado planificados indican los tipos de material sean mineral o desmonte, cada uno con sus respectivas características en cuanto a densidad y velocidad de penetración. Estos tonelajes o volúmenes se presentan en períodos mensuales.

2.4.2 Carguío y Acarreo

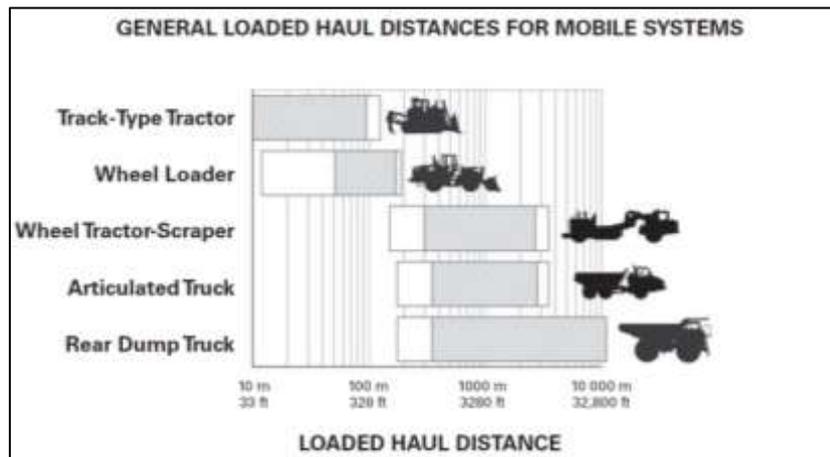
Recordemos que la densidad rota varía respecto a la densidad in situ o en banco por el factor de esponjamiento.

$$\text{Factor de Esponjamiento} = \frac{\text{Densidad Suelta}}{\text{Densidad en Banco}}$$

Como referencia se usó el Caterpillar Performance Handbook (43rd ed.) del 2013. Es importante destacar que hay ciertos criterios para el uso de equipos en minería a tajo abierto respecto a las distancias de acarreo (Figura 10).

Figura 10

Rango de aplicación de equipos según distancia de acarreo

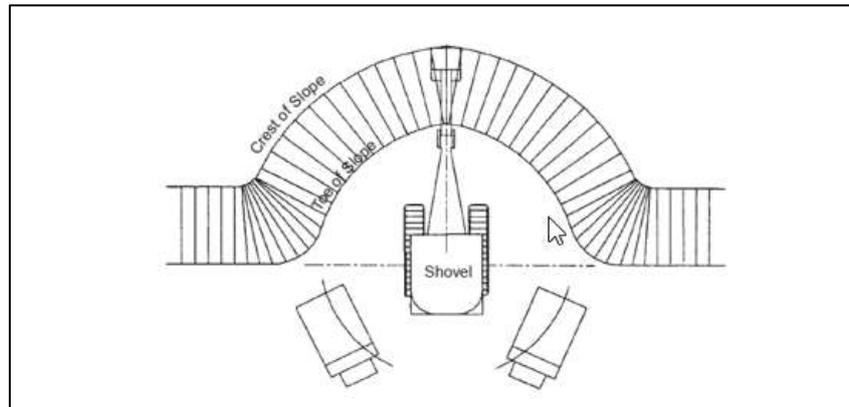


Nota. De “Caterpillar Performance Handbook”, por Caterpillar, 2013. (<http://5.imimg.com/data5/CA/OT/CK/GLADMIN-59766/cat-303-5e-mini-crawler-excavator-32-hp-3508-kg.pdf>)

El objetivo del carguío y acarreo es desarrollar las fases de minado de manera que se cumplan el plan de producción que demanda la planta concentradora y el desarrollo del tajo propiamente. El volumen o tonelaje volado debe coincidir o exceder el tonelaje planeado para los equipos de carguío. En la Figura 11 muestra una secuencia típica de extracción de mineral en una operación minera a tajo abierto.

Figura 11

Secuencia de carguío y acarreo Pala-Camión



Nota. De "Open Pit Mine Planning & Design", por W. Hustrulid, M. Kuchta, & R. Martin, 2013.

En el análisis de carguío-acarreo se deben tomar en cuenta los "tiempos fijos":

- Tiempo de carguío del camión 797F (con pala/cargador).
- Tiempo de cuadrado del camión 797F en pala/cargador (típicamente 0.6-0.8 min.).
- Tiempo de descarga en el destino asignado (típicamente 1.0-1.2 min.).

Posteriormente, los "tiempos variables" del ciclo que dependen de las rutas (distancias, pendientes, velocidades y condiciones de las vías) lo conforman:

- Tiempo de acarreo (cargado)
- Tiempo de retorno (vacío)

Una mala asignación de la flota de acarreo ocasiona pérdidas en el ciclo productivo que se traducen en:

- Tiempo esperando camión (pala/cargador sin camión)
- Tiempo de cola (exceso de camiones)

Una óptima asignación maximiza la productividad de pala y/o cargador minimizando el tiempo de espera y/o cola. Finalmente, un parámetro importante en el dimensionamiento de la flota es el factor de acoplamiento o “fleet match factor”. Un valor menor a 1 indica que faltan camiones para cubrir la capacidad de la flota de carguío tal como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2

Cálculo de match factor

(1) Ciclo de Carguío (min)	3.0
(2) Ciclo de Acarreo (min)	29.0
(3) Número de Equipos de Carguío	3
(4) Número de Camiones	30
Fleet Match Factor (1x4)/(2x3)	1.03

2.5 Descripción del Proceso Productivo

Figura 12

Vista del tajo abierto del proyecto



La operación del proyecto incluye el minado de 2,700 millones de toneladas, de las cuales 1,400 millones corresponden a mineral de baja ley y desmonte, mientras que 1,300 millones de toneladas corresponden a mineral que ingresa al proceso a una tasa de 235,000 TM/día. El método convencional de explotación utiliza palas eléctricas y camiones para el transporte del

mineral y/o desmonte. En la figura 12 se muestra el inicio de un proyecto a tajo abierto y en la figura 13 se muestra mediante un diagrama de flujo el proceso de minado del proyecto.

Figura 13

Diagrama del proceso de minado



El mineral del yacimiento tiene una ley de cobre de 0.48% y de molibdeno de 0.019%.

El tajo abierto final del proyecto tendrá unas dimensiones de 2.4 km. x 2.3 km. La profundidad se estima en 860 m.

La vida del proyecto es de 32 años, planificada en 10 fases (ver Tabla 2), durante los cuales se produce concentrado y se almacena mineral de baja ley. Los últimos de 4 años de vida del proyecto, las operaciones estarán enfocadas en procesar el mineral de baja ley en stocks sumando en total 36 años de operación (ver Figuras 14 y 15).

El desarrollo del tajo se realiza en frentes de trabajo con un ancho promedio de 120 m. La altura de banco es de 15 m. El ángulo de cara de banco fluctúa entre 60 y 75 grados, dependiendo del tipo de roca. El ancho mínimo efectivo de las vías de acarreo es de 30 m. La pendiente en las rampas y vías principales es de 10%.

Las zonas de apilamiento de desmonte del proyecto se realiza en los depósitos Oeste y Sureste. Adicionalmente, contempla un stock de mineral de baja ley y un stock de mineral de baja ley Suroeste. Finalmente el punto principal de descarga de mineral es Chancado Primario.

El diseño final de los taludes es estable en condiciones estáticas y pseudo-estáticas. El material que se deposita en los botaderos se considera generador de agua ácida, junto con las filtraciones drenan al túnel Kingsmill, previo tratamiento las aguas son descargadas al río Yauli. La flota minera actual la componen los siguientes equipos (ver figura 16):

- 1 Cargador Frontal LeTourneau 2350
- 3 Palas Eléctricas Caterpillar 7495
- 30 Camiones Caterpillar 797F
- 3 Perforadoras Epiroc Pit Viper 351

Tabla 3

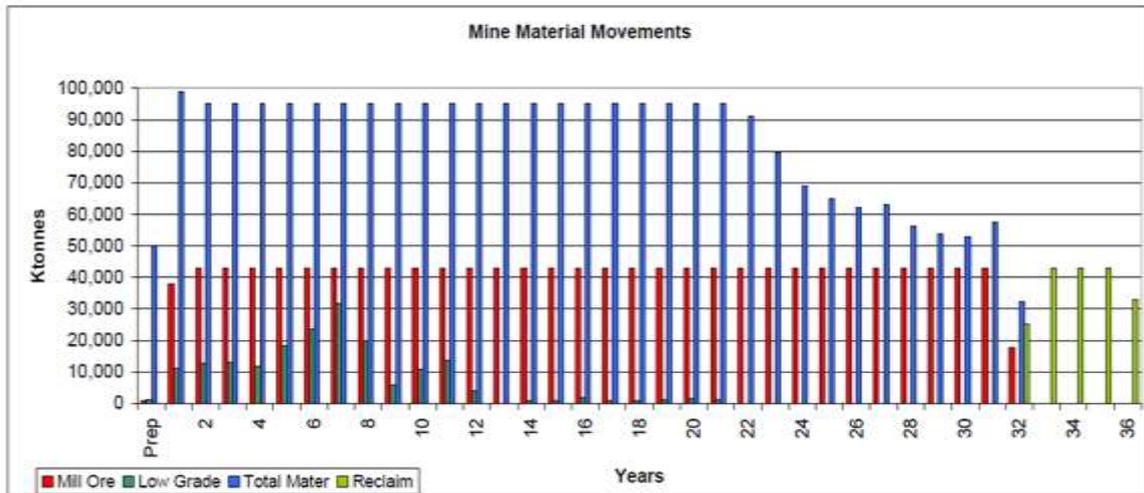
Fases de minado del proyecto vs ley de corte

Phase	\$4.75 Net of Process Cutoff			\$3.00 Net of Process Cutoff			\$1.75 Net of Process Cutoff			Waste kt	Total kt
	kt	Tot Cu%	Moly %	kt	Tot Cu%	Moly %	kt	Tot Cu%	Moly %		
Ph 1	73,002	0.616	0.014	86,213	0.575	0.013	94,894	0.546	0.012	50,358	145,252
Ph 2	51,925	0.525	0.018	61,698	0.490	0.017	67,213	0.469	0.016	28,625	95,838
Ph 3	93,855	0.613	0.022	107,348	0.571	0.021	120,299	0.532	0.020	26,162	146,461
Ph 4	104,118	0.588	0.020	121,390	0.548	0.018	132,630	0.523	0.017	49,798	182,428
Ph 5	137,193	0.561	0.016	158,536	0.531	0.014	166,600	0.519	0.014	11,290	177,890
Ph 6	85,030	0.543	0.017	108,306	0.499	0.015	117,372	0.482	0.014	13,319	130,691
Ph 7	68,108	0.610	0.019	79,150	0.571	0.017	85,057	0.549	0.016	9,868	94,925
Ph 8	314,770	0.459	0.024	374,178	0.434	0.022	411,245	0.417	0.020	177,174	588,419
Ph 9	71,361	0.510	0.018	84,307	0.475	0.017	88,355	0.465	0.016	63,381	151,736
Ph 10	343,357	0.437	0.021	449,989	0.395	0.019	504,730	0.377	0.018	513,161	1,017,891
Total	1,342,719	0.511	0.020	1,631,113	0.473	0.018	1,788,395	0.453	0.017	943,136	2,731,531

Nota. De “Toromocho Project Feasibility Study”, por Aker Kvaerner, 2007.

Figura 14

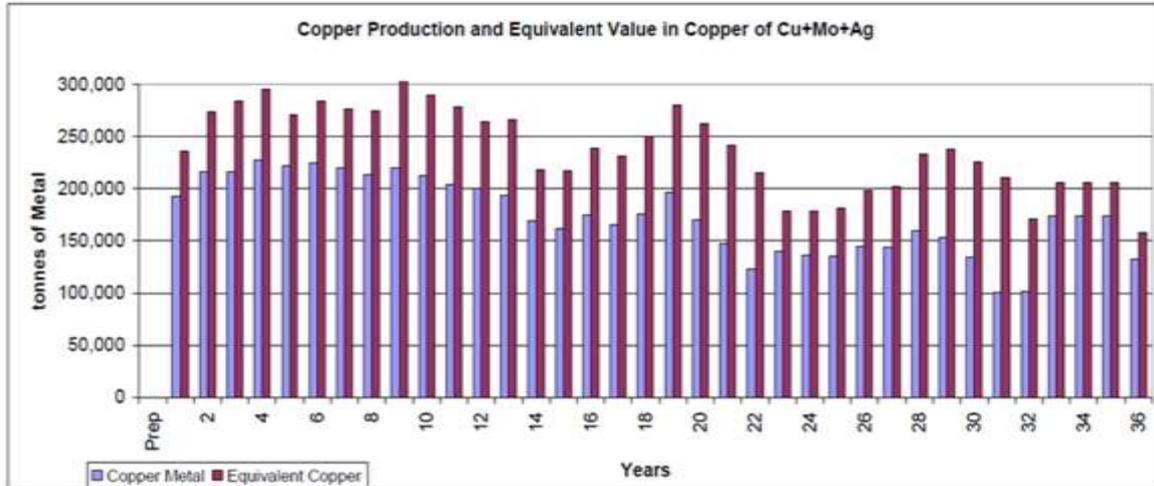
Movimiento de Materiales a lo Largo del Proyecto



Nota. De “Toromocho Project Feasibility Study”, por Aker Kvaerner, 2007.

Figura 15

Perfil de Producción de Cobre y Cobre Equivalente del Proyecto



Nota. De “Toromocho Project Feasibility Study”, por Aker Kvaerner, 2007.

Figura 16

Flota de Equipos a Largo Plazo del Proyecto

Mine Major Equipment Fleet On Hand, Preproduction Through Year 9																
Equipment Type	PP Q1	PP Q2	PP Q3	PP Q4	Yr1 Q1	Yr1 Q2	Yr1 Q3	Yr1 Q4	2	3	4	5	6	7	8	9
Blast Hole Drill, 125,000 lb pull down	0	1	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Cable Shovel, 35.2 cu meter	0	1	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Wheel Loader, 17 cu meter	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Haul Truck, 345 tonne	0	8	17	22	22	22	22	22	22	22	28	28	31	35	35	35
Track Dozer, 580 hp	3	5	6	6	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Wheel Dozer, 354 hp	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Motor Grader, 7.3 m	2	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Water Truck, 90,000 ltr	1	2	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Wheel Loader, 11.5 cu meter	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Auxiliary Haul Truck, 90 tonne	3	3	3	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Auxiliary Rock Drill, IR ECM 780	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Auxiliary Back Hoe, 1.6 cu meter	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
TOTAL	15	30	43	53	56	56	56	56	56	56	62	62	65	69	69	69

Mine Major Equipment Fleet On Hand, Years 10 through 36																
Equipment Type	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21-25	26-30	31-32	36	
Blast Hole Drill, 125,000 lb pull down	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
Cable Shovel, 35.2 cu meter	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
Wheel Loader, 17 cu meter	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Haul Truck, 345 tonne	35	38	38	39	39	39	40	40	43	43	43	43	32	30	7	
Track Dozer, 580 hp	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	6	6	5	6	6	
Wheel Dozer, 354 hp	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
Motor Grader, 7.3 m	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
Water Truck, 90,000 ltr	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	
Wheel Loader, 11.5 cu meter	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Auxiliary Haul Truck, 90 tonne	5	5	5	5	5	5	5	3	3	3	3	3	3	3	3	
Auxiliary Rock Drill, IR ECM 780	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Auxiliary Back Hoe, 1.6 cu meter	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
TOTAL	69	72	72	73	73	73	74	72	75	75	74	73	61	63	37	

Nota. De “Toromocho Project Feasibility Study”, por Aker Kvaerner, 2007.

Para el procesamiento del mineral se tiene una Chancadora Primaria ubicada al lado sur del tajo. Posteriormente, el mineral se envía mediante una faja transportadora hacia un stockpile del Circuito de Molienda (2 molinos de bolas -28 pies- y un molino SAG de 40 pies) ubicado aproximadamente a 5 km. de distancia.

Las operaciones de la Planta Concentradora están orientadas a separar mediante flotación rougher el mineral no diferenciado Cu-Mo en concentrado de Cu y concentrado de Mo. Asimismo se cuenta con circuitos de limpieza de Cu, Mo y espesadores de los metales indicados así como un espesador de relaves.

Se procesan 117,200 toneladas diarias de mineral, durante la vida de la mina (36 años), se producirá alrededor de 1,838 toneladas de concentrado de Cu por día (26,5% Cu) y óxido de molibdeno (MoO3).

El concentrado de Cu es transportado mediante el ferrocarril central hacia el Callao para su exportación.

2.6 Indicadores Clave de Desempeño (KPIs)

Para la evaluación y medición del desempeño se debe establecer un método que registre información y permita el análisis de las demoras y pérdidas en los procesos y equipos. Las definiciones y los métodos de cálculo de las métricas deben estar formalizados, comunicados y bien entendidos.

- Seguridad - TRIFR (Índice de Frecuencia de Lesiones Reportables)
- Disponibilidad Física y Confiabilidad
- Utilización
- Productividad

Figura 17

Distribución de Tiempo por Categorías

EQUIPO MÓVIL	Tiempo Nominal (Calendario)									
	Tiempo Disponible							Detención por Mantenimiento		
	Tiempo con Dotación (Operador)									
	Tiempo Productivo									
Productivo Valioso			Productivo Pérdida							
Perforación de taladros	Cargado de camiones (con pala o cargador)	Acarreo (cuadrado, lleno, vacío, descarga)	Traslado entre pozos de perforación	Pala/cargador esperando camión	Cola de camiones en zona de carga y/o descarga	Demora Operacional	Reserva Operacional	No Programado	Programado	
ACTIVIDADES							CATEGORÍAS DE TIEMPO			

Nota. De “Estándares de Excelencia Operacional: Métricas de Equipos e Indicadores Claves de Desempeño”. por J. Ashun & R. Fifield, 2013.

Figura 18

Descripción de Categorías

Tiempo Nominal (Calendario)	Total de horas del periodo.
Tiempo Disponible	Total de horas que el equipo está disponible mecánicamente para trabajar.
Detención por Mantenimiento	Total de horas que el equipo no está disponible mecánicamente para trabajar.
Tiempo con Dotación (Operador)	Total de horas que un operador está asignado a un equipo.
Tiempo Productivo	Total de horas que el equipo está siendo utilizado para las operaciones de producción.
Productivo Valioso	Tiempo total que el equipo está produciendo (metros perforados, carguío de camiones, acarreo de material, descarga de material, retorno vacío, cuadrado en frente de carguío y descarga)
Productivo Pérdida	Tiempo total que el equipo está siendo utilizado pero no produce dentro del ciclo (traslado entre pozos, cola de camiones en frente de carguío y descarga, pala/cargador esperando camión)
Mantenimiento No Programado	Detención por mantenimiento debido a fallas o averías imprevistas durante el turno de trabajo o en caso de accidentes u alargue de PM.
Mantenimiento Programado (PM)	Detención por mantenimiento planificado.
Demora Operacional	Tiempo total que el equipo está disponible pero realizando otras actividades necesarias para continuar con la producción (cambio de turno, inspección pre-operativa, abastecimiento de combustible, agua, refrigerio, traslados mayores, despeje por voladura, cambio de aceros de perforación, etc.)
Reserva Operacional	Tiempo total que el equipo está disponible pero apagado debido a condiciones climáticas o sociales adversas, por falta de operadores, por exceso de equipos en el ciclo productivo, etc.

Nota. De “Estándares de Excelencia Operacional: Métricas de Equipos e Indicadores Claves de Desempeño”. por J. Ashun & R. Fifield, 2013.

2.6.1 Índice de frecuencia de lesiones reportables

Es el índice de frecuencia del total de lesiones reportables de los empleados por cada 200,000 horas trabajadas.

$$\text{TRIFR} = \frac{\text{Número de Lesiones Reportables del Periodo}}{\text{Numero de Horas – Hombre Trabajadas}} \times 200,000$$

2.6.2 Disponibilidad Física y confiabilidad

La disponibilidad física es el porcentaje de tiempo que el equipo/planta es capaz de operar en relación con el tiempo total dentro de un periodo definido. Mide el impacto que el mantenimiento tiene sobre el desempeño. La información la provee Mantenimiento.

$$\% \text{ DISPONIBILIDAD FISICA} = \frac{\text{Tiempo Disponible}}{\text{Tiempo Nominal (Calendario)}}$$

La confiabilidad de un equipo es la probabilidad que opere dentro de los parámetros esperados en un período y condiciones específicas. La mejor medida es el MTBS o tiempo medio entre paralizaciones (programadas y no programadas). El MTTR es el tiempo medio para reparar.

$$\text{MTBS} = \frac{\text{Tiempo Productivo}}{\# \text{ de paralizaciones}}$$

$$\text{MTTR} = \frac{\text{Detención por Mantenimiento}}{\# \text{ de paralizaciones}}$$

2.6.3 Utilización de equipo

Es el tiempo que el equipo está produciendo respecto al tiempo disponible en un período definido. Es un indicador del uso de los activos y responsabilidad de la mano de obra de la empresa. La información la proporciona el área de Operaciones Mina/Procesos.

$$\% \text{ UTILIZACION} = \frac{\text{Tiempo Productivo}}{\text{Tiempo Disponible}}$$

2.6.4 Productividad de equipo

Es el ratio que mide las unidades producidas por unidad de recurso empleado. En nuestro caso el tiempo productivo. La información la proporciona el área de Operaciones Mina.

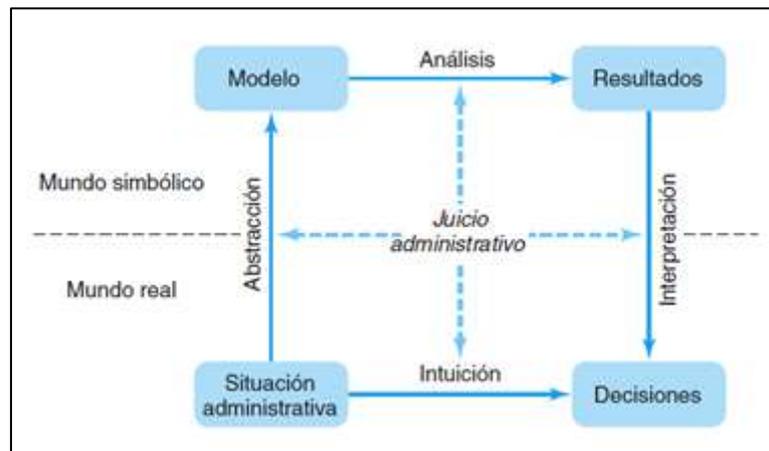
$$\text{PRODUCTIVIDAD} = \frac{\text{Unidades producidas}}{\text{Tiempo Productivo}}$$

2.7 Conceptos Básicos de Modelo Matemático y Simulación

Un modelo es una abstracción cuidadosamente seleccionada de la vida real. Complementa el uso de la intuición y experiencia para la toma de decisiones. Los resultados del modelo deben ser luego, relacionados al mundo real. Ver Figura 19.

Figura 19

Conceptos básicos de simulación



Nota. De “Manual Solver y Simulación de Monte Carlo con Crystal Ball”, por G. Sedano, 2018.

Los modelos tienen diversas aplicaciones en los diferentes niveles de la empresa, desde el plano estratégico hasta el operativo. Nos ayudan a definir nuestros objetivos, a cuantificar las variables, a reconocer las restricciones o limitaciones. Un modelo simbólico representa numéricamente las relaciones entre los datos (cuantitativo). En los modelos de decisión algunas de las variables representan probables decisiones, respetando algunos límites establecidos y buscando un objetivo en particular. El proceso de construcción de un modelo incluye tres pasos:

- Estudiar el escenario.
- Formular el modelo, definiendo la función objetivo, su(s) medida(s) de desempeño (salida), las variables de decisión y parámetros (entradas).
- Construir y analizar el modelo mediante el desarrollo de ecuaciones que relacionen entre sí las variables.

La clasificación de modelos comprende:

- **Modelos determinísticos**, en los cuales los valores de los parámetros se conocen con certeza. La información necesaria para la toma de decisiones está disponible.

- **Modelos probabilísticos (estocásticos)**, en los cuales no se tiene certeza de los valores de los parámetros (variables aleatorias). Es decir, incorporan la incertidumbre a través de las probabilidades de las variables aleatorias.

La simulación permite que los parámetros tomen diferentes valores y, paralelamente, se guardan los resultados objetivo de nuestro interés. Así observamos cómo varían los resultados de acuerdo con los valores de entrada. La simulación que utiliza valores aleatorios para variables desconocidas se denomina método Montecarlo. La simulación emplea distintas aplicaciones y programas complementarios, como Crystal Ball y @Risk.

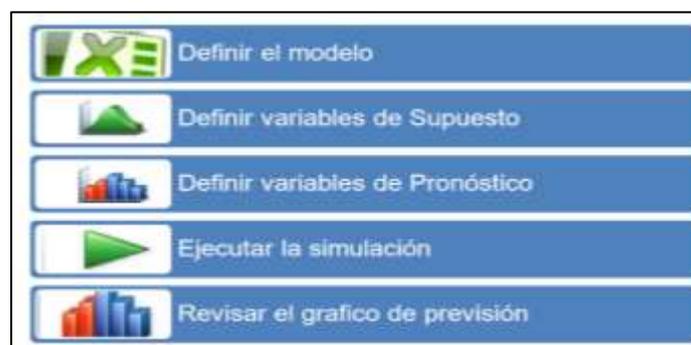
2.8 Simulación Montecarlo empleando Oracle Crystal Ball

Oracle Crystal Ball es un complemento de simulación mediante el método Montecarlo en hojas Excel. Permite realizar modelamiento predictivo, simulación, pronósticos y optimización. Presenta los factores que impactan en el nivel de certeza. Permite tomar decisiones para alcanzar objetivos aún con incertidumbre.

Los pasos para seguir en Crystal Ball se detallan en la Figura 20:

Figura 20

Secuencia típica en Crystal Ball



Nota. De “Manual Solver y Simulación de Monte Carlo con Crystal Ball”, por G. Sedano, 2018.

CAPITULO III: ANÁLISIS SITUACIONAL Y DIAGNÓSTICO

3.1 Diagnóstico del área de Planeamiento a Corto Plazo

El proyecto inició sus operaciones a inicios del mes de setiembre del 2013. Los procesos de minado han ido mejorando con el tiempo por el entrenamiento continuo del personal de Operaciones Mina. Actualmente, se tienen los procedimientos de trabajo en todo el proceso de minado. Posteriormente, se implementó el plan diario de minado el cual tiene como finalidad planificar la secuencia de operación de los equipos de minado y perforación, el tonelaje y la ley de mineral a planta concentradora.

El área de planeamiento a corto plazo se ha encargado de elaborar los planes de minado diario, semanal y mensual. Para ello, se ha establecido una secuencia que procesa información de las diferentes áreas involucradas en la producción, ver Figura 21.

1. El área de Geología envía un modelo actualizado producto de la información obtenida de los taladros perforados así como la generación de polígonos de mineral y desmonte.
2. El tonelaje de mineral a planta está ajustado de acuerdo con las coordinaciones semanales entre la gerencia de planta y la gerencia de mina.
3. Para la elaboración del plan semanal los tonelajes de producción están afectados sólo por las horas de parada de los equipos de mina y planta.
4. Actualmente, el tonelaje planificado para los equipos de carguío está basado en un promedio estadístico desde el inicio de la operación.
5. El uso de factores tales como la disponibilidad física y la utilización de la flota de perforadoras, palas, cargadores y camiones en el plan semanal están ausentes en los cálculos de producción.

6. El cálculo de camiones en base a las rutas de acarreo para el cumplimiento de la producción no está implementado.

Figura 21

Diagrama de flujo del planeamiento de minado a corto plazo actual



Para identificar las oportunidades de mejora en la gestión del área se utilizó la herramienta F.O.D.A (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas). En ese sentido, se observaron debilidades en el proceso de planificación a corto plazo ya que carece de parámetros operativos en el cálculo. Asimismo, las áreas operativas no tienen claro sus objetivos y el impacto de su gestión en el cumplimiento de las metas de producción como se indicó líneas arriba. En la siguiente Tabla 4 se describe el FODA.

Tabla 4

Análisis FODA del área de planeamiento mina

	<u>Fortalezas</u>	<u>Debilidades</u>
Análisis Interno	<p>Personal con experiencia en planeamiento minero.</p> <p>Software especializado de planeamiento disponible.</p> <p>Información base de operaciones similares a tajo abierto alrededor del mundo.</p> <p>Trabajo en equipo del personal del área.</p> <p>Información detallada disponible de las etapas previas al proyecto. (Factibilidad).</p>	<p>Pocos recursos para capacitación en temas relacionados al planeamiento.</p> <p>Falta de automatización de reportes y hojas de cálculo (Corto Plazo).</p> <p>Alta rotación de profesionales en Planeamiento Mina.</p> <p>Estructura de reportes básicas.</p> <p>Planificación de Corto Plazo basado en pocos parámetros.</p>
	<u>Oportunidades</u>	<u>Amenazas</u>
Análisis Externo	<p>Iniciar la Transformación Digital en la implementación de la teleoperación con una red 5G.</p> <p>Mejorar la gestión de la información desde el inicio de la operación (TI).</p> <p>Implementar indicadores de gestión (KPIs) que integren a las áreas de Mantenimiento y Mina.</p> <p>Aplicación de nueva tecnología para el tratamiento de minerales complejos.</p> <p>Aplicación de una nueva tecnología en el acarreo de minerales (equipos autónomos).</p> <p>Capacitación y desarrollo de nuevas competencias dirigido al personal con menos experiencia.</p>	<p>Incertidumbre política en el Perú y guerra comercial entre Estados Unidos y China post COVID-19.</p> <p>Rotación de personal debido al inicio de nuevos proyectos mineros.</p> <p>Rebote de conflictos sociales y movimientos ambientalistas muy cercanos como el caso de la Oroya.</p> <p>Condiciones climáticas extremas desfavorables para la operación.</p>

3.2 Diagnóstico de Perforación

La flota de perforación primaria está compuesta de 3 perforadoras eléctricas **Epiroc Pit Viper 351** capaz de perforar en ambos métodos clásicos: rotativo y DTH. (Single Pass), ver figura 22 muestra imagen típica de una perforadora pit viper.

Figura 22

Vista de la perforadora Epiroc Pit Viper 351



Nota: De “Pit Viper 351”, por Epiroc, s.f. (<https://www.epiroc.com/es-pe/products/drill-rigs/surface-blasthole-drill-rigs/pv-351>)

- Pulldown hidráulico 120,000 lbf. (534 kN)
- Peso sobre la broca 125,000 lb (56,700 kg.)
- Pullback hidráulico 60,000 lbf (267 kN)
- Peso estimado 175,000 kg - 188,000 kg.
- Compresor de aire 3.800 cfm (107,6 m³/min) a 110 psi (7,6 bar)
- Motor Weg 6811 1400hp / 1044kW@

50 o 60 Hz

- Velocidad de desplazamiento 1,0 mph (1,77 km/h)

Dimensiones con torre arriba (m.)

- Longitud 16.4
- Altura 31.6
- Ancho 8.1

Dimensiones con torre abajo (m.)

- Longitud 29.9
- Altura 8.5

Malla de Perforación

El diseño de banco de producción es el siguiente:

- Altura de banco (m.) 15
- Sobreperforación (m.) 2.0
- Diámetro de perforación (pulg.) 12 1/4
- Diámetro de barreno (pulg.) 10 3/4 (8 BECO)
- Profundidad single pass (m.) 19.8

Actualmente, la mina considera dos tipos de malla triangular equilátera.

Para roca media-suave:

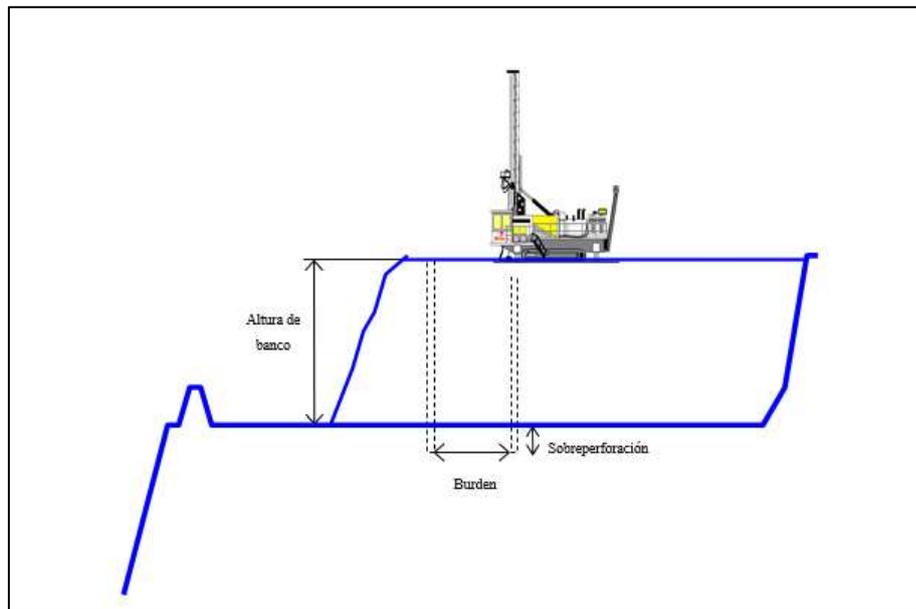
- Burden (m.) 8.67
- Espaciamiento (m.) 10.0

Para roca dura:

- Burden (m.) 6.1
- Espaciamiento (m.) 7.0

Figura 23

Esquema de diseño de perforación



Parámetros Actuales

Tiempo de traslado y nivelación 2.5 min

Las velocidades de penetración (m/hr) son:

- Roca Suave 56
- Roca Dura 32

3.3 Diagnóstico de Carguío

La flota de carguío actual consta de 3 palas eléctricas **Caterpillar 7495** cuyas especificaciones detallamos a continuación (Figuras 25 y 26):

- Peso Bruto Operativo 1'369,246 kg.

- Capacidad nominal de carga 85-90 t (varía según peso específico)
- Capacidad de cucharón 47.4 m³

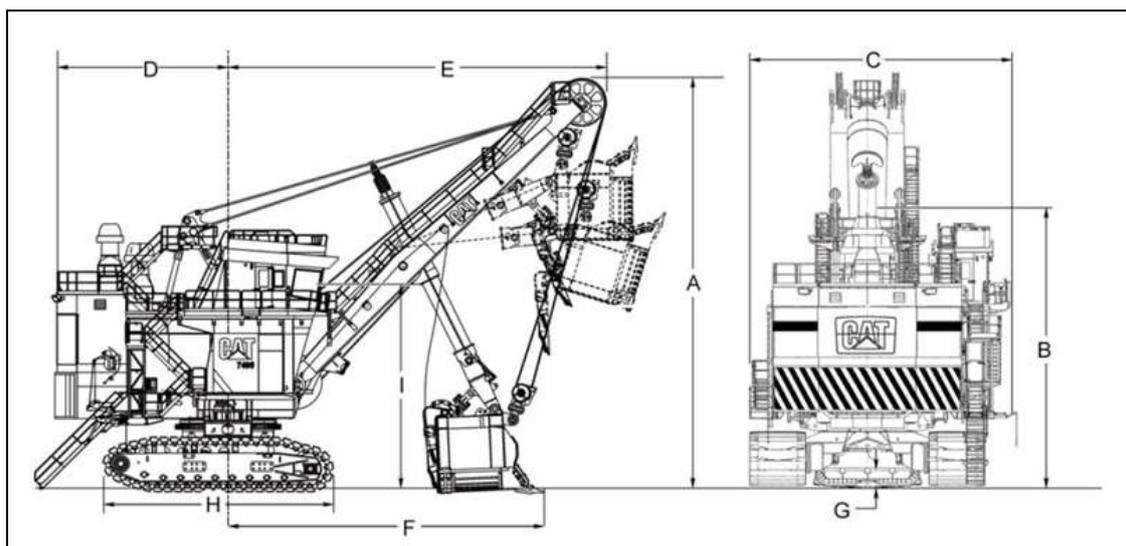
Figura 24

Vista de la pala Caterpillar 7495



Figura 25

Dimensiones de la Pala Caterpillar 7495

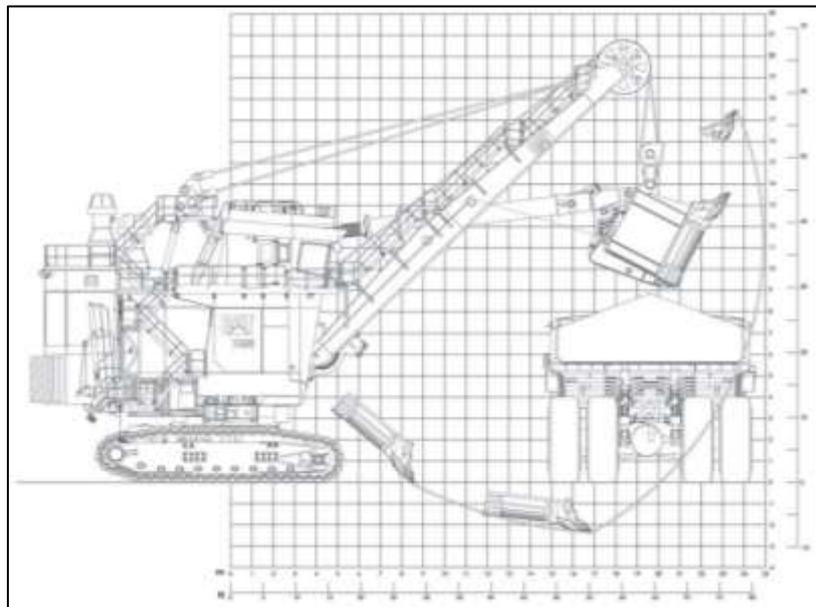


Nota. De “Caterpillar Performance Handbook”, por Caterpillar, 2013 (<http://5.imimg.com/data5/CA/OT/CK/GLADMIN-59766/cat-303-5e-mini-crawler-excavator-32-hp-3508-kg.pdf>)

Longitud de Brazo	20.40 m.
A Altura	20.87 m.
B Altura de la Estructura	14.00 m.
C Ancho Total	13.11 m.
D Radio de Giro de la Cola	9.34 m.
E Radio de Giro	19.65 m.
F Radio a Nivel de Piso	17.47 m.
G Espacio Libre sobre el Suelo	0.90 m.
H Longitud de la Cadena	11.43 m.
I Nivel de visibilidad del operador	10.61 m.

Figura 26

Especificaciones Operativas de la Pala Caterpillar 7495



Nota. De “Caterpillar Performance Handbook”, por Caterpillar, 2013
 (<http://5.imimg.com/data5/CA/OT/CK/GLADMIN-59766/cat-303-5e-mini-crawler-excavator-32-hp-3508-kg.pdf>)

- Altura de descarga 10.06 m.
- Altura de descarga al ataque 8.61 m.
- Radio de descarga 21.64 m.
- Altura de corte 17.80 m.
- Radio de corte 25.20 m.

Parámetros Actuales

- Tiempo de carguío por pase (s) 40
- Densidad in-situ (t/m³) 2.58
- Densidad rota (t/m³) 1.84
- Factor de llenado de cucharón (%) 98
- Número de Pases 4

Por otro lado, también se cuenta con un cargador frontal **LeTourneau L2350 Generación 2** cuyas especificaciones detallamos a continuación (Figura 27):

- Motor Rated Power 2,300 hp
1,715 kW @ 1,800 rpm 16 cylinders
Type 4-cycle turbocharged
- Peso Bruto Operativo 272,065 kg
- Capacidad de cucharón 38.23 m³
- Neumáticos estándar 70/70-57
- Aros 60 x 57 con 6" pestaña
- Capacidad del tanque combustible 4,940 lt. 1,305 U.S. gal

Figura 27

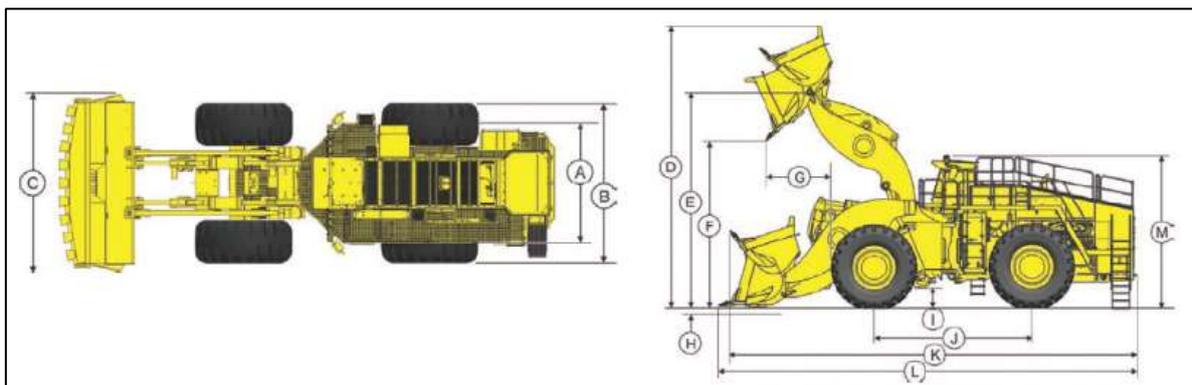
Vista del Cargador Frontal Le Tourneau L2350



Nota: De “Generación 2 Cargador de ruedas Descripción del producto”, por Joy Global P&H, 2016 (https://mining.komatsu/docs/default-source/product-documents/surface/wheel-loaders/generaci%C3%B3n-2-cargador-de-ruedas-descripci%C3%B3n-del-producto.pdf?sfvrsn=6f4b0a6b_62)

Figura 28

Dimensiones y Especificaciones Operativas del LT 2350



Nota: De “Generación 2 Cargador de ruedas Descripción del producto”, por Joy Global P&H, 2016 (https://mining.komatsu/docs/default-source/product-documents/surface/wheel-loaders/generaci%C3%B3n-2-cargador-de-ruedas-descripci%C3%B3n-del-producto.pdf?sfvrsn=6f4b0a6b_62)

(A) Ancho	5.0 m.
(B) Ancho Exterior (neumáticos)	6.76 m.
(C) Ancho del Cucharón	7.01 m.
(D) Altura Máxima de Cucharón	13.89 m.
(E) Altura Máxima del Pasador	10.59 m.
(F) Altura Libre de Descarga	8.01 m.
(G) Alcance al Levante Máximo	3.49 m.
(H) Profundidad de Excavación	0.25 m.
(I) Espacio Libre sobre la Superficie	0.50 m.
(J) Distancia Entre Ejes	7.88 m.
(K) Longitud Posición de Acarreo	20.07 m.
(L) Longitud con Cucharón Abajo	20.90 m.
(M) Altura Sobre Cabina	6.71 m.

Parámetros Actuales

• Tiempo de carguío por pase (s)	60
• Densidad in-situ (t/m ³)	2.58
• Densidad rota (t/m ³)	1.84
• Factor de llenado de cucharón (%)	75
• Número de Pases	7

3.4 Diagnóstico de Acarreo

La flota de acarreo actual consta de 30 camiones **Caterpillar 797F** ver figura 29 y cuyas especificaciones detallamos a continuación ver Figura 30:

• Peso bruto del camión operativo	623,690 kg
• Peso vacío del camión	273,570 kg

- Capacidad nominal de carga útil 371 t
- Capacidad de tolva 240-267 m³
- Distribución de peso vacío Delantero 48%/Posterior 52%
- Distribución de peso cargado Delantero 33.3%/Posterior 66.7%
- Modelo de motor C175-20
- Potencia neta 2,828 kW (3,793 hp)
- Neumáticos estándar 59/80R63
- Diámetro de espacio libre de giro 42.1 m
- Volumen del tanque de combustible 7,571 lt. (2,000 U.S. gal)
- Velocidad máxima del camión cargado 67.9 km/h (42.2 mph)

Figura 29

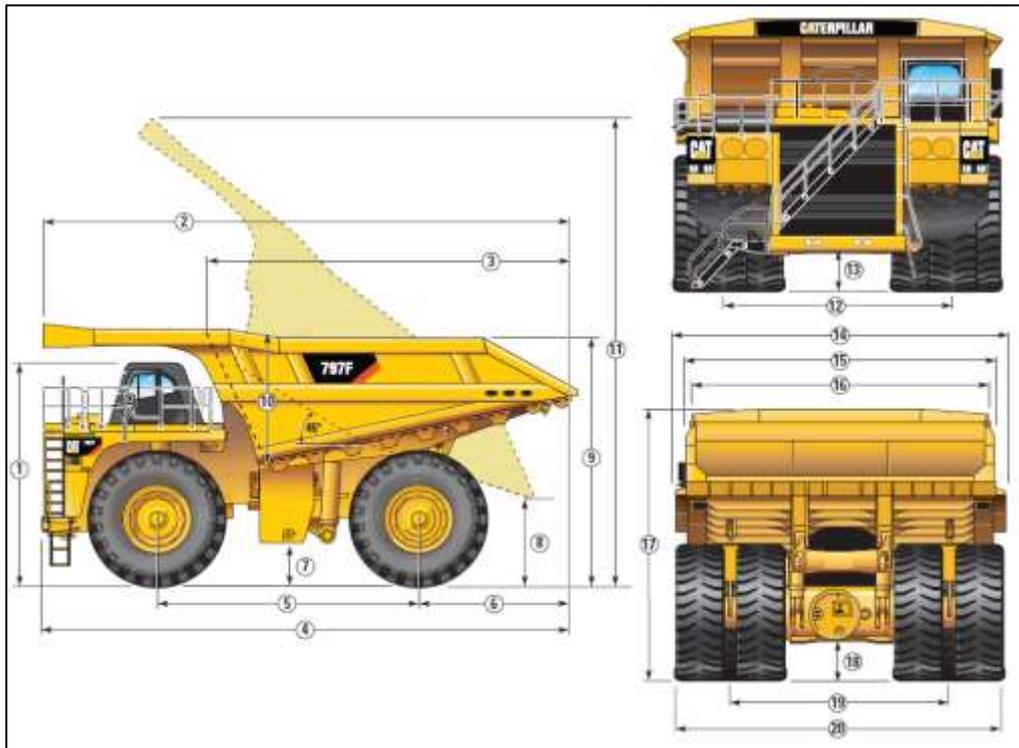
Vista del Camión Caterpillar 797F



Nota. De “Caterpillar Performance Handbook”, por Caterpillar, 2013
 (<http://5.imimg.com/data5/CA/OT/CK/GLADMIN-59766/cat-303-5e-mini-crawler-excavator-32-hp-3508-kg.pdf>)

Figura 30

Dimensiones y Especificaciones Operativas del 797F



Nota. De “Caterpillar Performance Handbook”, por Caterpillar, 2013
 (<http://5.imimg.com/data5/CA/OT/CK/GLADMIN-59766/cat-303-5e-mini-crawler-excavator-32-hp-3508-kg.pdf>)

1.- Altura a la parte superior de cabina	6.526 m.
2.- Longitud total de la tolva	14.802 m.
3.- Longitud interior de la tolva	9.976 m.
4.- Longitud total del camión	15.080 m.
5.- Distancia entre ejes del camión	7.195 m.
6.- Distancia del eje trasero a cola	3.944 m.
7.- Espacio libre sobre la superficie	0.786 m.
8.- Espacio libre para descarga	2.017 m.
9.- Altura del camión vacío	6.998 m.
10.- Profundidad de la tolva	3.363 m.
11.- Altura con la tolva levantada	15.701 m.

12.- Ancho entre ejes neumáticos delantero	6.534 m.
13.- Espacio libre del protector del motor	1.025 m.
14.- Ancho exterior de la tolva	9.755 m.
15.- Ancho total del techo	9.116 m.
16.- Ancho interior de la tolva	8.513 m.
17.- Altura del techo delantero vacío	7.709 m.
18.- Espacio libre del eje trasero cargado	0.947 m.
19.- Ancho entre ejes neumáticos traseros	6.233 m.
20.- Ancho total entre neumáticos traseros	9.529 m.

Parámetros Actuales

• Tiempo de cuadrado (min)	
En Pala	0.6
En Cargador	0.6
• Tiempo de cola (min)	1.6

3.5 Estimación de Flota

A partir del diagnóstico del presente capítulo, se calculará teóricamente la flota de producción requerida de perforación, carguío y acarreo, tomando en consideración los parámetros de entrada, las condiciones particulares y de diseño del proyecto, lo que configura un *modelo determinístico*.

Posteriormente, la metodología será plasmada en una hoja de cálculo Excel (ver 3.6), con el fin de tomar decisiones operativas que aseguren el cumplimiento de los planes de minado a corto plazo, identificaremos indicadores clave de desempeño y el impacto a los resultados

mediante la simulación de los parámetros/variables aleatorias. Esto constituye el *modelo probabilístico/estocástico*, materia de la presente investigación.

3.5.1 Perforación

Las perforadoras Pit Viper 351 perforan taladros de 12 ¼” de diámetro en bancos de 15 m. de altura, con 2.0 m. de sobreperforación (SD o subdrilling). De acuerdo con la dureza de la roca el burden (distancia entre las filas o cara libre B) y espaciamiento (entre taladros de una misma fila S) varían de la siguiente manera:

Para roca media-suave (Tipo 1) en metros:

- Burden 8.67
- Espaciamiento 10.0

Para roca dura (Tipo 2):

- Burden 6.1
- Espaciamiento 7.0

Para obtener el tonelaje debemos multiplicar por la densidad del material en particular. Por ejemplo, si tenemos mineral tipo 1:

- Densidad Promedio mineral tipo 1 (ρ) 2.60 TM/m³
- Velocidad de Penetración Instantánea (VPI) 74 m/hr.
- Diámetro (ϕ) 311.2 mm.
- Altura de Banco (H) 15.0 m.
- Sobreperforación (SD) 2.0 m.
- Longitud Taladro (L= H + SD) 17.0 m.
- Burden (B) 8.67 m.

- Espaciamiento (S) 10.00 m.
- Volumen Roto por Taladro ($V_r=H \times B \times S$) 1,300.5 m³
- Tonelaje Promedio por Taladro ($T=V \times \rho$) 3,381.3 TM

Según la Tabla 5 Distribución de Tiempo por Categorías, el tiempo productivo lo podemos dividir en valioso y pérdida. En el caso de la perforación, el tiempo productivo valioso es el que ocupa perforando los taladros planificados. **La velocidad de penetración instantánea (VPI)** mide el ratio de avance de la perforación en un tipo de material particular (m/hr). Este valor depende de las propiedades físicas de la roca, la abrasividad, la resistencia a la compresión, el grado de fracturamiento, la presencia de agua, la preparación del terreno, el expertise del operador, la condición de la perforadora, la configuración de la columna, el tipo de broca, los parámetros de operación, etc.

Por otro lado, se presentan actividades dentro del ciclo productivo de perforación que, si bien no entregan avance efectivo, son necesarias para la perforación de cada taladro en su totalidad. Podemos tomar para el ejemplo:

- Traslado entre Taladros (TT) 1.0 min.
- Nivelación con las Gatas (NG) 1.0 min.
- Formación del Collar (FC) 1.0 min.
- Retracción de la Columna (RC) 0.6 min.
- Medición del Taladro (MT) 0.0 min.
- Retracción de las Gatas (RG) 0.6 min.

Por consiguiente, estas actividades inevitablemente afectan a la velocidad de penetración reduciéndola significativamente respecto a la VPI:

$$VP \text{ (m/hr)} = L / (TT + NG + FC + TP + RC + MT + RG) \dots (1)$$

El tiempo de perforación (TP) representa el tiempo que toma perforar la longitud del taladro a la Velocidad de Penetración Instantánea (VPi)

$$TP \text{ (hr)} = L / VPi \dots (2)$$

Por lo tanto, reemplazando los valores en las ecuaciones (2) y (1) tenemos:

$$TP \text{ (hr)} = 17 / 74 = 0.23$$

Luego,

$$VP \text{ (m/hr)} = 17 / (1/60 + 1/60 + 1/60 + 0.23 + 0.6/60 + 0.0 + 0.6/60) = 56.7$$

Como observamos la VP finalmente se reduce de 74 a 56.7 m/hr. Por ello es importante medir el ciclo de perforación regularmente, de manera que la planificación sea la más real posible. Dentro del ciclo de perforación se presentan también las siguientes demoras y reservas operacionales que afectan la utilización (a criterio de la empresa):

- | | |
|-----------------------------------|---------------------|
| • Cambio de Turno | Demora Operativa |
| • Refrigerio | Demora Operativa |
| • Demora por Voladura | Demora Operativa |
| • Abastecimiento de Agua | Demora Operativa |
| • Traslados Mayores | Demora Operativa |
| • Engrase de Columna | Demora Operativa |
| • Cambio de Broca | Demora Operativa |
| • Cambio de Aceros de Perforación | Demora Operativa |
| • Stand-by (falta área, operador) | Reserva Operacional |
| • Parada por mal clima | Reserva Operacional |

Los valores que se consideran en la planificación se basan en las estadísticas más recientes de la operación ya sea mediante un sistema de despacho o a través de reportes detallados internos del área. Estas demoras representan a su vez una oportunidad de mejora continua. Para el presente ejemplo, tenemos los siguientes valores en minutos por día:

• Cambio de Turno	15
• Refrigerio	75
• Demora por Voladura	5
• Abastecimiento de Agua	20
• Traslados Mayores	15
• Engrase de Columna	5
• Cambio de Broca	3
• Cambio de Aceros de Perforación	10
• Stand-by (falta área, operador)	30
• Parada por mal clima	5

Por lo tanto, sumando:

• Demoras Operacionales	2.47 hr.
• Reservas Operacionales	0.58 hr.

El cálculo de flota de perforadoras en el ejemplo considera:

• Tonelaje de mineral tipo 1 (t)	2'518,885
• Densidad Promedio mineral tipo 1 (ρ)	2.60 TM/m ³
• Volumen de mineral tipo 1 (m ³)	968,802

A partir de estos valores planificados debemos calcular el número de taladros, metros perforados y horas de perforadora requeridas. Previamente calculamos el volumen roto por taladros según el diseño para mineral tipo 1:

- Volumen Roto por Taladro ($V_r = H \times B \times S$) 1,300.5 m³

Para calcular el número de taladros del período procedemos a dividir:

- Volumen de mineral (V) tipo 1 968,802 m³
- Número de Taladros ($\#tal = V/V_r$) 745 taladros

Para calcular los metros perforados multiplicamos el número de taladros por la longitud:

- Longitud Taladro ($L = H + SD$) 17.0 m.
- Metros perforados ($\#tal \times L$) 12,664 m.

Normalmente, de acuerdo con las condiciones del terreno se puede requerir reperforar algunos taladros. Para el ejemplo hemos considerado un 2% adicional de metros reperforados.

- Metros Reperforados (2% adicional) 2% (12,664)
253 m.

Estos metros adicionales no constituyen mayor producción, sino mayor tiempo, impactando la productividad de la flota. Considerando la velocidad de penetración VP de 56.7 m/hr, las horas totales serán:

- Horas totales requeridas (prod. + reperf.) $(12,664 + 53)/56.7$
228 hr.

Finalmente, para determinar el número de perforadoras requeridas en el período emplearemos la disponibilidad propuesta por Mantenimiento, la utilización teórica propuesta por Operaciones Mina y las horas requeridas por el plan que acabamos de calcular:

- Disponibilidad Física Planificada 90%
- Detención por Mantenimiento (T Nominal - Disp. x T Nominal)
 $24 - 24 \times 90\% = 2.4 \text{ hr/día}$
- Tiempo Disponible (T. Nominal - Detención por Mantenimiento)
 21.6 hr/día
- Demora Operacional 2.47 hr
- Reserva Operacional 0.58 hr
- Tiempo Productivo (T. Disponible - Demora Op - Reserva Op)
 18.55 hr
- Utilización Teórica (Tiempo Productivo/Tiempo Disponible)
 $18.55/21.6 = 85.8\%$
- Tiempo Productivo por equipo (Tiempo Disponible x # días)
 $18.55 \times 31 = 575 \text{ hr}$
- # Perforadoras Requeridas (Horas Requeridas / Tiempo Productivo por Equipo)
 $228/575 = 0.4 \text{ perforadoras Pit Viper 351}$

Conociendo el número total de perforadoras en la operación (capacidad instalada) se puede determinar la utilización de la flota por período y hacer los ajustes necesarios en el plan.

3.5.2 Carguío y Acarreo

Empezaremos calculando los “tiempos fijos” que dependen del estado del equipo, los procedimientos del área de Operaciones Mina, el grado de instrucción, habilidad y experiencia de los operadores y supervisores. Los datos consignados fueron recogidos de la operación. Sin embargo, la hoja de cálculo propuesta permitirá hacer las variaciones de acuerdo con las condiciones cambiantes de la operación en el futuro.

Para las palas Caterpillar 7495:

- Capacidad del cucharón/bucket (m^3) = 47.4
- Factor de llenado de cucharón (%) = 95
- Densidad in situ (t/m^3) = 2.58
- Densidad suelta (t/m^3) = 1.87
- Capacidad de tolva 797F (t) = 371

Calculamos el tonelaje por pase = $47.4 m^3 \times 1.87 t/m^3 \times 95\% = 84.2$

- # pases requeridos por el 797F = 4.5 (40 seg. c/u)

Por lo tanto,

- Tiempo de carguío del camión 797F (min) = 3.0
- Tiempo de cuadrado del camión 797F (min) = 0.8
- Tiempo de descarga (min) = 1.5

Para el cargador LeTourneau L2350:

- Capacidad del cucharón/bucket (m^3) = 38.2
- Factor de llenado de cucharón (%) = 80

- Densidad in situ (t/m^3) = 2.58
- Densidad suelta (t/m^3) = 1.87
- Capacidad de tolva 797F (t) = 371

Calculamos el tonelaje por pase = $38.2 \text{ m}^3 \times 1.87 \text{ t/m}^3 \times 80\% = 57.1$

- # pases requeridos por el 797F = 6.5 (60 seg c/u)

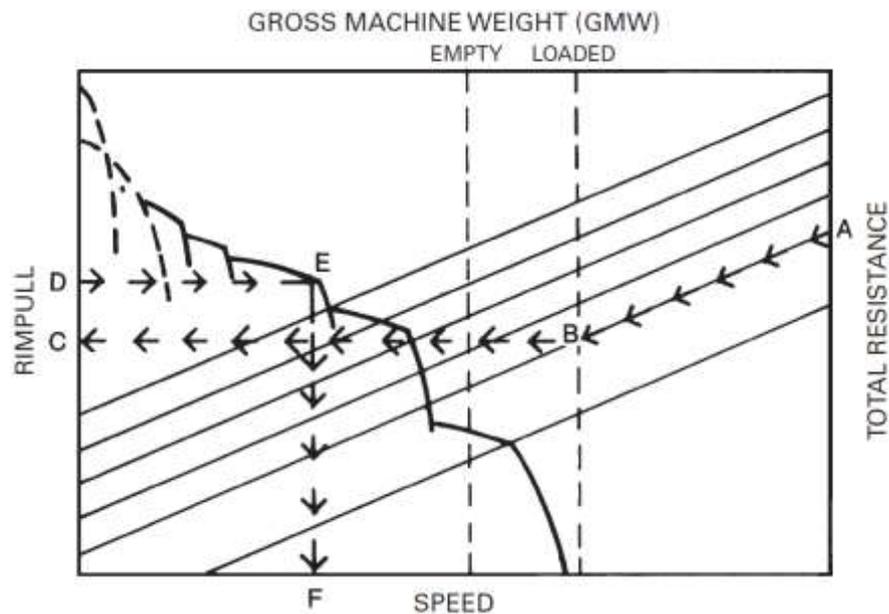
Por lo tanto,

- Tiempo de carguío del camión 797F = 6.5 minutos
- Tiempo de cuadrado del camión 797F = 0.9 minutos
- Tiempo de descarga del camión 797F = 1.5 minutos

Para calcular los “tiempos variables” necesitamos tener el detalle del perfil de las rutas del origen al destino. Durante el acarreo de material los camiones deben vencer su peso más la carga que lleva en la tolva, la gradiente y la resistencia a la rodadura en las vías de acarreo. Para los cálculos teóricos se emplean los ábacos del Caterpillar Performance Handbook (43rd ed.). La Figura 31 muestra el algoritmo general para el cálculo indicado.

Figura 31

Abaco para Calcular la Velocidad en Función de la Carga y Resistencia



Nota. De “Caterpillar Performance Handbook”, por Caterpillar, 2013 (<http://5.imimg.com/data5/CA/OT/CK/GLADMIN-59766/cat-303-5e-mini-crawler-excavator-32-hp-3508-kg.pdf>)

La metodología propuesta por el fabricante se resume de esta manera:

- 1) Determinar la Resistencia Total (Gradiente + Rodadura) en porcentaje en el tramo de análisis.
- 2) El valor de Resistencia Total se ingresa por el punto A, luego se sigue diagonalmente por la línea correspondiente hasta intersectar la línea vertical en el punto B, que indica el Peso Total del Vehículo (GMW).
- 3) Trazamos una línea horizontal hacia la izquierda para determinar el Rimpull o fuerza necesaria que demandamos del vehículo para vencer la resistencia, punto C.
- 4) El valor C se divide entre el porcentaje de potencia disponible a la altura de la operación. Esto arroja un valor mayor D.

5) Desde el punto D trazamos una línea horizontal hacia la derecha hasta intersectar la curva de marchas más alejada en el punto E.

6) Finalmente, trazamos una línea vertical hacia abajo para cortar la escala de Velocidad aparente para ese tramo en el punto F.

7) El tiempo de viaje lo determinamos dividiendo la distancia entre la velocidad calculada anteriormente y de esa manera obtenemos los tiempos variables en el cálculo del ciclo de minado.

Por ejemplo, para una ruta del Banco 4755 al Botadero 4860 la distancia es 3.2 km. La resistencia a la rodadura (RR) la determinamos por el grado de calidad y mantenimiento de las vías. La siguiente Tabla 8 tomada de Komatsu (2008) Specifications & Application Handbook (29th ed.) es una buena referencia para determinar el RR:

Tabla 5

Resistencia a la Rodadura Según Komatsu

Haul Road Conditions	Rolling Resistance
Well-maintained road, surface is flat and firm, properly wetted, and does not sink under weight of vehicle.	2.0%
Same road conditions as above, but surface sinks slightly under weight of vehicle.	 3.5%
Poorly maintained, not wetted, sinks under weight of vehicle.	5.0%
Badly maintained, road base not compacted or stabilized, forms ruts easily.	8.0%
Loose sand or gravel road.	10.0%
Not maintained at all, soft, muddy, deeply rutted.	15% to 20%

Nota. De “Komatsu Specifications & Application Handbook, Edition 29”, por Komatsu, 2008.

Por otro lado, la resistencia a la gradiente (RG) de manera simplificada se obtiene calculando el seno del ángulo de inclinación de la vía que viene a ser la componente del peso en la dirección del camión (ver Tabla 9). Si es plano el efecto de la gradiente es nulo.

Tabla 6

Resistencia a la Gradiente para diversos ángulos de inclinación

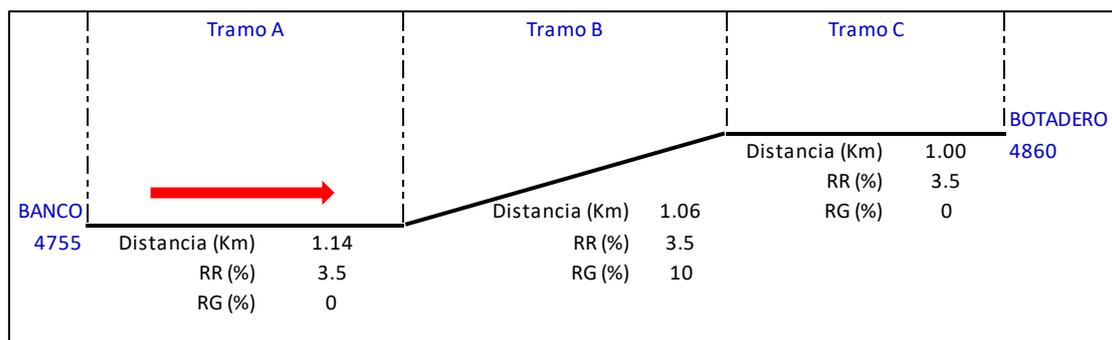
Angle	% (sin α)	Angle	% (sin α)	Angle	% (sin α)
1	1.8	11	19.0	21	35.8
2	3.5	12	20.8	22	37.5
3	5.2	13	22.5	23	39.1
4	7.0	14	24.2	24	40.2
5	8.7	15	25.9	25	42.3
6	10.5	16	27.6	26	43.8
7	12.2	17	29.2	27	45.4
8	13.9	18	30.9	28	47.0
9	15.6	19	32.6	29	48.5

Nota. De “Caterpillar Performance Handbook”, por Caterpillar, 2013 (<http://5.imimg.com/data5/CA/OT/CK/GLADMIN-59766/cat-303-5e-mini-crawler-excavator-32-hp-3508-kg.pdf>)

Para el caso en particular la vía tiene el siguiente perfil, ver Figura 32:

Figura 32

Representación gráfica del perfil de acarreo



En el ciclo de acarreo (cargado) se toma en cuenta el peso del camión 797F y su respectiva carga que, aproximadamente alcanza los 624 TM. La Resistencia Total es la suma de la Resistencia a la Gradiente y la Resistencia a la Rodadura.

En el retorno se debe considerar el peso del camión vacío alrededor de 274 TM. La Resistencia a la Gradiente (a nuestro favor) se le resta la Resistencia a la Rodadura. La velocidad máxima seteada es de 45 Km/hr.

Los valores obtenidos de tablas se deben ajustar por la presencia de curvas, intersecciones propias de la vía, así como por las consideraciones de aceleración y frenado. En todos los cálculos está presente la corrección del rendimiento por altitud (ver Tabla 7). Según el fabricante, a más de 4600 m.s.n.m. se debe aplicar un 82% de factor de corrección. En la Tabla 8 y Figura 33 desarrollamos el tramo A (cargado).

Tabla 7

Corrección por altitud

ALTITUDE DERATION (Continued)						
MODEL	0-760 m (0-2500')	760-1500 m (2500-5000')	1500-2300 m (5000-7500')	2300-3000 m (7500-10,000')	3000-3800 m (10,000-12,500')	3800-4600 m (12,500-15,000')
797F	100	100	100-98.5	98.5-93	93-87	87-82

Nota. De “Caterpillar Performance Handbook”, por Caterpillar, 2013 (<http://5.imimg.com/data5/CA/OT/CK/GLADMIN-59766/cat-303-5e-mini-crawler-excavator-32-hp-3508-kg.pdf>)

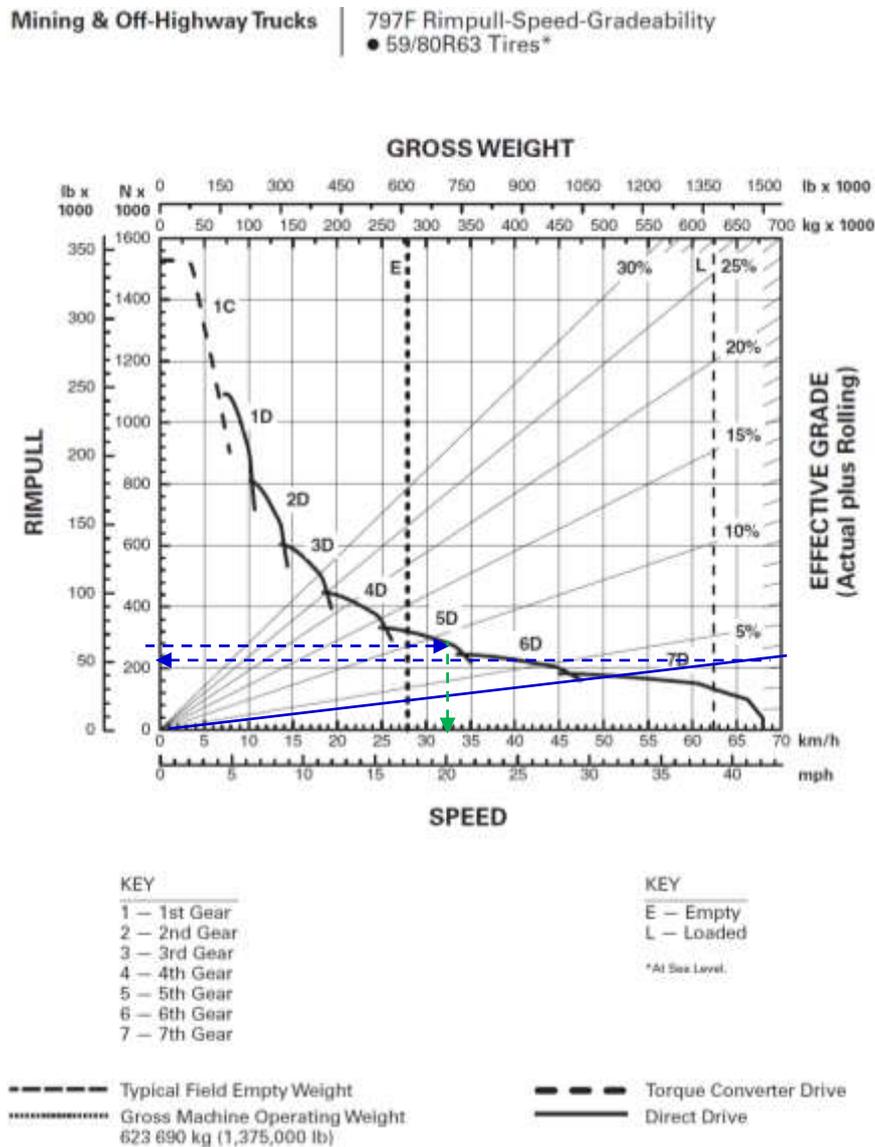
Tabla 8

Resistencia a la gradiente para diversos ángulos de inclinación

		Distancia (Km)	RG (%)	RR (%)	RT (%)	Peso Total (t)	Rimpull (KN)	Factor Altura (%)	Rimpull corregido (KN)	Velocidad (Km/hr)	Ajustada (Km/hr)	Tiempo (min)
Cargado	Tramo A	1.14	0.0	3.5	3.5	624	222.6	82.0	271.5	33	30	2.28
	Tramo B	1.06	10.0	3.5	13.5	624	858.7	82.0	1047.2	9	8	7.95
	Tramo C	1.00	0.0	3.5	3.5	624	222.6	82.0	271.5	33	30	2.00
Vacío	Tramo C	1.00	0.0	3.5	3.5	274				38	34	1.76
	Tramo B	1.06	10.0	3.5	-6.5	274				37	33	1.93
	Tramo A	1.14	0.0	3.5	3.5	274				38	34	2.01
												17.93

Figura 33

Abaco para Calcular la Velocidad del 797F en Función de la Carga y Resistencia



Nota. De “Caterpillar Performance Handbook”, por Caterpillar, 2013, (<http://5.imimg.com/data5/CA/OT/CK/GLADMIN-59766/cat-303-5e-mini-crawler-excavator-32-hp-3508-kg.pdf>)

En caso la pala Caterpillar 7495 cargará al 797F el ciclo total para esta ruta sería:

Tiempo de carguío del camión 797F = 3.0 minutos

Tiempo de cuadrado del camión 797F = 0.8 minutos

Tiempo de descarga del camión 797F = 1.5 minutos

$$\underline{\text{Tiempo de acarreo y retorno del 797F}} = 17.93 \text{ minutos}$$

$$\text{Ciclo Total Banco 4755 – Botadero 4860 (min)} = 23.23$$

La productividad del camión 797F para esta ruta es en teoría:

$$\text{Productividad 797F (t/hr)} = \frac{60 \text{ min/hr} \times 371 \text{ t}}{\text{ciclo total} + \text{cola (min)}}$$

$$\text{Productividad 797F (t/hr)} = \frac{60 \text{ min/hr} \times 371 \text{ t}}{23.23 \text{ min}} = 958.2$$

La productividad de la pala, considerando que carga un camión 797F a la vez:

$$\text{Productividad 7495 (t/hr)} = \frac{60 (\text{min/hr}) \times 371 \text{ t}}{\text{Tiempo de carguío} + \text{cuadrado} + \text{espera (min)}}$$

$$\text{Productividad 7495 (t/hr)} = \frac{60 \text{ min/hr} \times 371 \text{ t}}{3.0+0.8 \text{ min}} = 5,857.9$$

No debe existir “esperando camión” ni “cola” si asignamos correctamente los camiones. La cantidad de camiones que demanda la pala en estas condiciones de minado ideales viene dada por la siguiente expresión:

$\# \text{ Camiones} = \frac{\text{Ciclo Total (min)}}{\text{Tiempo de Carguío} + \text{Cuadrado (min)}}$

$$\# \text{ Camiones} = \frac{23.23}{3.0 + 0.8} = 6.1$$

3.6 Configuración y Ajuste de la Hoja de Cálculo

El libro Short Term Plan Open Pit cuenta con 15 hojas, las cuales tienen como inputs las celdas con fuente de color azul y los outputs de color negro. En la hoja de cálculo “Horizonte del Proyecto” (ver Tabla 09) se detalla el período de análisis. En este caso el plan de minado está definido mensualmente, incluyendo el número de días y la temporada (lluvia o seca).

Tabla 9

Horizonte del proyecto

Periodo	Mes	Dias	Temporada
01	Ene-20	31	Lluvia
02	Feb-20	29	Lluvia
03	Mar-20	31	Lluvia
04	Abr-20	30	Seca
05	May-20	31	Seca
06	Jun-20	30	Seca
07	Jul-20	31	Seca
08	Ago-20	31	Seca
09	Set-20	30	Seca
10	Oct-20	31	Lluvia
11	Nov-20	30	Lluvia
12	Dic-20	31	Lluvia

En la siguiente hoja “Material a Perforar” se ordenan los cortes mensuales de mineral y desmonte por mes en términos de tonelaje, volumen y densidad (ver Tabla 10).

Tabla 10

Material a perforar según plan de minado

Material a Perforar Planificado

Mes Dias	Ene-20 31	Feb-20 29	Mar-20 31	Abr-20 30	May-20 31	Jun-20 30
Tonelaje de Mineral						
Tipo 1 (kt)	1,511	1,286	1,792	1,798	2,462	2,830
Tipo 2 (kt)	1,008	858	1,194	1,199	1,641	1,887
Total (kt)	2,519	2,144	2,986	2,997	4,104	4,717
Volumen de Mineral						
Tipo 1 (m3 x 1,000)	581	495	689	692	947	1,089
Tipo 2 (m3 x 1,000)	388	330	459	461	631	726
Total (m3 x 1,000)	969	825	1,148	1,153	1,578	1,814
Densidad de Mineral						
Tipo 1 (t/m3)	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60
Tipo 2 (t/m3)	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60
Densidad Total (t/m3)	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60
Tonelaje de Desmonte						
Tipo 1 (kt)	2,728	2,857	2,571	2,457	2,232	1,745
Tipo 2 (kt)	1,819	1,905	1,714	1,638	1,488	1,163
Total (kt)	4,547	4,762	4,285	4,095	3,720	2,909
Volumen de Desmonte						
Tipo 1 (m3 x 1,000)	1,049	1,099	989	945	858	671
Tipo 2 (m3 x 1,000)	700	733	659	630	572	447
Total (m3 x 1,000)	1,749	1,832	1,648	1,575	1,431	1,119
Densidad de Desmonte						
Tipo 1 (t/m3)	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60
Tipo 2 (t/m3)	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60
Densidad Total (t/m3)	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60
Tonelaje Total						
Tipo 1 (kt)	4,239	4,144	4,362	4,255	4,694	4,575
Tipo 2 (kt)	2,826	2,763	2,908	2,837	3,129	3,050
Total (kt)	7,066	6,906	7,271	7,092	7,824	7,626
Volumen Total						
Tipo 1 (m3 x 1,000)	1,631	1,594	1,678	1,637	1,805	1,760
Tipo 2 (m3 x 1,000)	1,087	1,063	1,119	1,091	1,204	1,173
Total (m3 x 1,000)	2,718	2,656	2,796	2,728	3,009	2,933
Densidad Total						
Tipo 1 (t/m3)	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60
Tipo 2 (t/m3)	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60
Densidad Total (t/m3)	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60

En la hoja “Diseño de P&V”, ver Tabla 11, se especifican las dimensiones de la malla de perforación de acuerdo con la clasificación de materiales. En nuestra plantilla tenemos dos tipos de mineral y dos tipos de desmonte con su respectiva densidad.

Permite configurar diámetro, altura de banco, sobreperforación, burden y espaciamiento por tipo de material. Asimismo, se incluyen la velocidad de penetración instantánea y el ciclo completo de perforación que afectan directamente a la productividad de la flota.

Tabla 11

Criterio de diseño de perforación y voladura

Criterio de Diseño P&V

	Mineral		Desmonte	
	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 1	Tipo 2
Malla de Perforacion				
Densidad Promedio (t/m3)	2.60	2.60	2.60	2.60
Diseño de Taladro				
Diámetro (mm)	311.2	311.2	311.2	311.2
Altura de Banco (m)	15.0	15.0	15.0	15.0
Sobreperforacion (m)	2.0	2.0	2.0	2.0
Longitud Total del Taladro (m)	17.0	17.0	17.0	17.0
Diseño de Malla				
Burden (m)	8.7	7.0	8.7	7.8
Espaciamiento (m)	10.0	8.0	10.0	9.0
Volumen Roto por Taladro (m ³)	1,304.3	834.8	1,304.3	1,056.5
Tonelaje Promedio por Taladro (t)	3,391.3	2,170.4	3,391.3	2,747.0
Productividad				
Velocidad de Penetración Instantánea (m/hr)	74.0	37.0	74.0	37.0
Ciclo de Perforacion				
Traslado entre Taladros (min)	1.0	1.0	1.0	1.0
Nivelación con las Gatas (min)	1.0	1.0	1.0	1.0
Formación del Collar (min)	1.0	1.0	1.0	1.0
Tiempo de Perforacion Efectivo (min)	13.8	27.6	13.8	27.6
Retracción de la Columna (min)	0.6	0.6	0.6	0.6
Medición del Taladro (min)	-	-	-	-
Retracción de las Gatas (min)	0.6	0.6	0.6	0.6
Ciclo Total por Taladro (min)	18.0	31.8	18.0	31.8
Ciclo Total por Taladro (hr)	0.3	0.5	0.3	0.5
Velocidad de Penetración (m/hr)	56.7	32.1	56.7	32.1

En la siguiente hoja “Estructura de Tiempo Perforación” se especifican las demoras y reservas operacionales que afectan la utilización de la flota de perforadoras durante el turno. Puede configurarse de acuerdo con la temporada (lluvia o seca), (ver Tabla 12).

Tabla 12

Estructura de tiempo para perforación

Estructura de Tiempo (Utilización) Atlas Copco Pit Viper 351

Tiempo	Categoría	Temporada Seca (min/día)	Temporada Lluvia (min/día)
Cambio de Turno	Demora Operativa	20.00	20.00
Refrigerio	Demora Operativa	75.00	75.00
Demora por Voladura	Demora Operativa	12.00	12.00
Abastecimiento de Agua	Demora Operativa	20.00	20.00
Traslados Mayores	Demora Operativa	15.00	15.00
Engrase de Columna	Demora Operativa	5.00	5.00
Cambio de Broca	Demora Operativa	3.00	3.00
Cambio de Aceros de Perforación	Demora Operativa	10.00	10.00
Stand-by (falta área, operador)	Reserva Operacional	30.00	30.00
Parada por mal clima	Reserva Operacional	7.50	60.00
		Horas	Horas
Tiempo Total (hr)		24.00	24.00
Demora Operativa		2.67	2.67
Reserva Operacional		0.63	1.50

La hoja “Requerimiento de Perforadoras” (ver Tabla 13) trae de la hoja “Material a Perforar” los tonelajes/volúmenes planificados mensualmente por tipo de material, los transforma en taladros/metros según los parámetros de diseño y calcula las horas de perforación requeridas para cumplir el plan de producción, tomando en cuenta la productividad, disponibilidad física y la utilización teórica de la flota.

Esta hoja, finalmente, responde a la pregunta si la flota actual cumple con el requerimiento planificado y qué variables impactan en mayor o menor medida en el cumplimiento del plan de minado.

Tabla 13

Requerimiento de perforadoras

Requerimiento de Perforadoras

Mes	Ene-20	Feb-20	Mar-20	Abr-20	May-20	Jun-20	2020
Días	31	29	31	30	31	30	366
Temporada	Lluvia	Lluvia	Lluvia	Seca	Seca	Seca	

RESUMEN DE PERFORACION MINERAL Y DESMONTE

Número de Taladros							
Tipo 1	1,250	1,222	1,286	1,255	1,384	1,349	7,746
Tipo 2	1,126	1,089	1,174	1,149	1,298	1,293	7,129
Total Número de Taladros	2,376	2,311	2,461	2,403	2,682	2,642	14,875
Metros Perforados							
Tipo 1	21,252	20,772	21,868	21,332	23,531	22,936	131,690
Tipo 2	19,147	18,506	19,961	19,528	22,065	21,979	121,187
Total Metros Perforados (m)	40,399	39,279	41,829	40,859	45,596	44,914	252,877
Metros Reperforados							
Tipo 1	425	415	437	427	471	459	2,634
Tipo 2	383	370	399	391	441	440	2,424
Total Metros Reperforados (m)	808	786	837	817	912	898	5,058
Horas de Perforación							
Tipo 1	382	374	393	384	423	412	2,368
Tipo 2	608	588	634	620	701	698	3,850
Total Horas de Perforación (hr)	990	961	1,027	1,004	1,124	1,111	6,218
Velocidad de Penetración Promedio (m/hr)	40.8	40.9	40.7	40.7	40.6	40.4	40.7

REQUERIMIENTO DE PERFORADORAS

Disponibilidad Física Planeada	81.0%	83.0%	81.2%	82.5%	81.8%	82.0%
Detención por Mantenimiento (hr/día)	4.6	4.1	4.5	4.2	4.4	4.3
Tiempo Disponible (hr/día)	19.4	19.9	19.5	19.8	19.6	19.7
Demora Operativa (hr/día)	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7
Reserva Operacional (hr/día)	1.5	1.5	1.5	0.6	0.6	0.6
Tiempo Productivo (hr/día)	15.3	15.8	15.3	16.5	16.3	16.4
Utilización Teórica Planeada	78.6%	79.1%	78.6%	83.4%	83.2%	83.3%
Tiempo Productivo por Equipo	473	457	475	495	507	492
Horas de Perforación Requeridas	990	961	1,027	1,004	1,124	1,111
Numero de Perforadoras Requeridas	2.1	2.1	2.2	2.0	2.2	2.3
Numero de Perforadoras en la Operación	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Tiempo Productivo por Flota Instalada	1,420	1,371	1,425	1,486	1,520	1,475
Horas de Perforación Requeridas	990	961	1,027	1,004	1,124	1,111
Utilización Esperada de la Flota	54.8%	55.5%	56.7%	56.3%	61.6%	62.7%
Metros Perforados Esperados	40,399	39,279	41,829	40,859	45,596	44,914

De forma similar, la hoja “Parámetros de Carguío y Acarreo” (ver Tabla 14) se configura con las capacidades bucket/tolva y factores de llenado de la flota de carguío y acarreo, tiempos del ciclo, obteniéndose productividades teóricas tanto para la pala como para el cargador frontal.

Tabla 14

Parámetros de carguío y acarreo

Densidad Material In-situ (t/m ³)	2.60
Porcentaje de Esponjamiento (%)	40%
Densidad Material Suelto (t/m ³)	1.86
Camion de Acarreo CAT 797F	
Capacidad de tolva (m ³)	240
Factor de Llenado de tolva (%)	83.0%
Volumen efectivo de tolva (m ³)	199.2
Tonelaje de tolva (t)	369.9
Pala Caterpillar 7495	
Volumen de Cucharon (m ³)	47.4
Factor de Llenado (%)	98%
Volumen por pase (m ³)	46.5
Tonelaje por pase (t)	86.3
Tiempos del Ciclo Productivo (Camión)	
Cola en Pala (min)	1.10
Cuadrado en Pala (min)	0.80
Descarga en Chancadora (min)	1.80
Descarga en Stockpile (min)	1.50
Descarga en Botadero (min)	1.50
Tiempos del Ciclo Productivo (Pala)	
Esperando Camion (min)	1.10
Pase (min)	0.67
Numero de pases calculado	4.29
Tiempo de Carguío (min)	2.54
Ciclo de Carguío (min)	4.44
Productividad (t/hr)	5001
(incluyendo espera de camion)	
Productividad (t/hr)	6649
(sin considerar espera de camion)	
Cargador Le Tourneau 2350	
Volumen de Cucharon (m ³)	38.2
Factor de Llenado (%)	80%
Volumen por pase (m ³)	30.6
Tonelaje por pase (t)	56.8
Tiempos del Ciclo Productivo (Camión)	
Cola en Cargador (min)	1.10
Cuadrado en Cargador (min)	0.90
Descarga en Chancadora (min)	1.80
Descarga en Stockpile (min)	1.50
Descarga en Botadero (min)	1.50
Tiempos del Ciclo Productivo (Cargador)	
Esperando Camion (min)	4.85
Pase (min)	1.00
Numero de pases calculado	6.51
Tiempo de Carguío (min)	6.01
Ciclo de Carguío (min)	11.76
Productividad (t/hr)	1887
(incluyendo espera de camion)	
Productividad (t/hr)	3211
(sin considerar espera de camion)	

En la hoja “Material a Transportar” ver Tabla 15, se ingresan los tonelajes de mineral y desmonte por banco a su respectivo destino, se convierten en ciclos, considerando la distancia, la velocidad promedio de acarreo lleno y retorno vacío. Finalmente, calcula el tiempo de acarreo “variable”.

Tabla 15

Material a transportar

Mes Dias	Ene-20 31	Feb-20 29	Mar-20 31	Abr-20 30	May-20 31	Jun-20 30
Tonelaje de Mineral a Chancadora Primaria (4719) por banco	2,304,126	1,881,590	2,501,049	2,309,030	3,018,329	3,059,321
Tonelaje de Mineral a Stockpile (XXXXX) por banco	214,759	262,424	484,805	688,373	1,085,253	1,657,736
Tonelaje de Mineral de Stockpile a Chancadora Primaria (4719)	-319,010	222,732	-608,060	163,614	-382,617	342,671
Tonelaje de Desmonte a Botadero (XXXXX) por banco	4,546,884	4,762,398	4,284,745	4,094,933	3,719,983	2,908,602
Tonelaje Total Transportado	7,384,779	7,129,144	7,078,658	7,255,950	8,206,181	7,968,350
Numero de Ciclos de Mineral a Chancadora Primaria (4719) por banco	6,228	5,086	6,761	6,242	8,159	8,270
Numero de Ciclos de Mineral a Stockpile (XXXXX) por banco	581	709	1,310	1,861	2,934	4,481
Numero de Ciclos de Mineral de Stockpile a Chancadora Primaria (4719)	862	602	1,644	442	1,034	926
Numero de Ciclos de Desmonte a Botadero (XXXXX) por banco	12,291	12,873	11,582	11,069	10,056	7,862
Numero de Ciclos Total	19,962	19,271	21,297	19,614	22,182	21,559
Distancia a Chancadora Primaria (4719) por banco (km)						
Distancia a Stockpile (XXXXX) por banco						
Distancia de Stockpile a Chancadora Primaria (4719)	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Distancia a Botadero (XXXXX) por banco						
Velocidad Acarreo Lleno a Chancadora Primaria (4719) por banco						
Velocidad Acarreo Lleno a Stockpile (XXXXX) por banco						
Velocidad Acarreo Lleno de Stockpile a Chancadora Primaria (4719)	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
Velocidad Acarreo Lleno a Botadero (XXXXX) por banco						
Velocidad Retorno Vacío de Chancadora Primaria (4719) a banco						
Velocidad Retorno Vacío de Stockpile (XXXXX) a banco						
Velocidad Retorno Vacío de Chancadora Primaria (4719) a Stockpile (XXXXX)	19.0	19.0	19.0	19.0	19.0	19.0
Velocidad Retorno Vacío de Botadero (XXXXX) a banco						
Tiempo de Acarreo Lleno a Chancadora Primaria (4719) en horas	1,102	900	1,196	1,104	1,443	1,527
Tiempo de Acarreo Lleno a Stockpile (XXXXX) por banco	116	142	262	372	587	896
Tiempo de Acarreo Lleno de Stockpile a Chancadora Primaria (4719)	23	16	44	12	28	25
Tiempo de Acarreo Lleno a Botadero (XXXXX) por banco	3,025	3,169	2,851	2,725	2,553	2,056
Tiempo de Retorno Vacío de Chancadora Primaria (4719) a banco	754	616	818	756	988	1,045
Tiempo de Retorno Vacío de Stockpile (XXXXX) a banco	79	97	179	255	401	613
Tiempo de Retorno Vacío de Chancadora Primaria (4719) a Stockpile (XXXXX)	18	13	35	9	22	20
Tiempo de Retorno Vacío de Botadero (XXXXX) a banco	2,070	2,168	1,951	1,864	1,746	1,407
Tiempo Total de Acarreo (hr)	7,188	7,120	7,936	7,097	7,768	7,588

En la hoja “Estructura de Tiempo de Acarreo”, ver Tabla 16, se especifican las demoras y reservas operacionales que afectan la utilización de la flota de camiones durante el turno. Puede configurarse de acuerdo con la temporada (lluvia o seca).

Tabla 16

Estructura de tiempo para acarreo

Estructura de Tiempo (Utilizacion) Caterpillar 797F

Tiempo	Categoría	Temporada Seca (min/día)	Temporada Lluvia (min/día)
Cambio de Turno	Demora Operativa	10.50	10.50
Refrigerio	Demora Operativa	75.00	75.00
Demora por Voladura	Demora Operativa	20.00	20.00
Abastecimiento de Combustible	Demora Operativa	28.00	28.00
Limpieza de Frente de Minado	Demora Operativa	5.00	5.00
Mantenimiento de Vías	Demora Operativa	5.00	5.00
Espera por Cambio de Frente	Demora Operativa	15.00	15.00
Stand-by (falta pala, falta chancadora, operador)	Reserva Operacional	5.00	5.00
Parada por mal clima	Reserva Operacional	1.00	5.00
		Horas	Horas
Tiempo Total (hr)		24.00	24.00
Demora Operativa		2.64	2.64
Reserva Operacional		0.10	0.17

En la siguiente hoja “Requerimiento de Camiones”, ver Tabla 17, se traen los tonelajes, su equivalente en ciclos y tiempo de acarreo variable total de la hoja “Material a Transportar”, los cuales se distribuyen entre las palas y el cargador frontal. Los tiempos fijos de cada equipo de carguío, detallados en la hoja “Parámetros de Carguío y Acarreo”, se multiplican por el número de ciclos asignados y obtenemos el tiempo fijo total. Finalmente, con la disponibilidad física y la utilización, calculamos el tamaño de flota del período.

Tabla 17

Requerimiento de camiones

Requerimiento de Camiones Caterpillar 797F

Mes	Ene-20	Feb-20	Mar-20	Abr-20	May-20	Jun-20	2020
Dias	31	29	31	30	31	30	966
Temporada	llovía	llovía	llovía	seca	seca	seca	

Tiempos Fijos Totales del Ciclo de Acarreo en horas							
Pala Caterpillar 7495							
Coña en Pala (hr)	331	319	341	332	368	351	2,041
Cuadrado en Pala (hr)	240	232	248	242	268	255	1,484
Tiempo de Cargado (hr)	763	736	786	766	849	809	4,709
Descarga en Chancadora (hr)	187	153	203	187	245	248	1,222
Descarga en Stockpile (hr)	15	18	33	47	73	112	297
Descarga en Botadero (hr)	280	290	263	250	214	159	1,468
Cargador Le Tourneau 2350							
Coña en Cargador (hr)	35	34	50	27	39	44	230
Cuadrado en Cargador (hr)	29	28	41	22	32	36	188
Tiempo de Cargado (hr)	194	187	272	150	212	242	1,257
Descarga en Chancadora (hr)	26	18	49	33	35	28	165
Descarga en Stockpile (hr)	-	-	-	-	-	-	-
Descarga en Botadero (hr)	27	32	27	26	27	37	176
Tiempo Fijo Total del Ciclo de Acarreo en horas	2,126	2,047	2,311	2,064	2,367	2,322	13,237

Tiempos Variables Totales del Ciclo de Acarreo en horas							
Tiempo de Acarreo Lleno a Chancadora Primaria (4719) en horas	1,102	900	1,196	1,104	1,443	1,527	7,272
Tiempo de Acarreo Lleno a Stockpile (XXXXX) por banco	116	142	262	372	587	896	2,375
Tiempo de Acarreo Lleno de Stockpile a Chancadora Primaria (4719)	23	16	44	12	28	25	147
Tiempo de Acarreo Lleno a Botadero (XXXXX) por banco	3,025	3,169	3,851	3,735	2,553	2,056	16,379
Tiempo de Retorno Vacío de Chancadora Primaria (4719) a banco	754	616	818	756	988	1,045	4,976
Tiempo de Retorno Vacío de Stockpile (XXXXX) a banco	79	97	179	255	401	613	1,625
Tiempo de Retorno Vacío de Chancadora Primaria (4719) a Stockpile (XXXXX)	18	13	35	9	22	20	116
Tiempo de Retorno Vacío de Botadero (XXXXX) a banco	2,070	2,168	1,951	1,864	1,746	1,407	11,207
Tiempo Variable Total del Ciclo de Acarreo en horas	7,188	7,120	7,336	7,097	7,748	7,588	44,097
Tiempo de Acarreo (Fijos + Variables) en horas	9,314	9,167	9,647	9,160	10,135	9,910	57,334

REQUERIMIENTO DE CAMIONES							
Disponibilidad Física Planeada	86.3%	88.1%	84.5%	80.2%	86.2%	86.1%	
Detención por Mantenimiento (hr/día)	3.3	2.9	3.7	4.8	3.3	3.3	
Tiempo Disponible (hr/día)	20.7	21.1	20.3	19.2	20.7	20.7	
Demora Operativa (hr/día)	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	
Reserva Operacional (hr/día)	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	
Tiempo Productivo (hr/día)	17.9	18.3	17.5	16.5	17.9	17.9	
Utilización Teórica Planeada	86.4%	86.7%	86.2%	85.8%	86.7%	86.7%	
Tiempo Productivo por Equipo	555	532	542	495	556	538	3,218
Horas de Acarreo Requeridas	9,314	9,167	9,647	9,160	10,135	9,910	57,334
Numero de Camiones Requeridos	16.8	17.2	17.8	18.5	18.2	18.4	
Numero de Camiones en la Operación	16.0	17.0	17.0	18.0	18.0	20.0	
Tiempo Productivo por Flota instalada	8,880	9,039	9,208	8,913	10,570	10,753	57,364
Horas de Acarreo Requeridas	9,314	9,167	9,647	9,160	10,135	9,910	57,334
Utilización Esperada de la Flota	90.7%	87.9%	90.3%	88.1%	83.2%	79.9%	
Tonelaje Transportado Esperado	7,384,779	7,129,144	7,878,658	7,255,950	8,206,181	7,968,330	
Tonelaje Transportado	7,384,779	7,129,144	7,878,658	7,255,950	8,206,181	7,968,330	45,823,044
Tonelaje Minado	7,065,769	6,906,412	7,270,598	7,092,336	7,823,564	7,625,660	43,784,340
Productividad del Camión 797F (t/hr)	798	778	817	792	810	804	799
Distancia Total a Chancadora Primaria (4719) por banco (km)	28,650	23,396	31,099	28,711	37,531	39,695	189,082
Distancia Total a Stockpile (XXXXX) por banco	3,019	3,689	6,815	9,676	15,255	23,302	61,754
Distancia Total de Stockpile a Chancadora Primaria (4719)	690	482	1,315	354	827	741	4,409
Distancia Total a Botadero (XXXXX) por banco	78,661	82,389	74,126	70,842	66,367	53,464	425,849
Km. Recorridos Totales	111,020	109,958	113,354	109,583	119,980	117,201	681,094

En la hoja “Estructura de Tiempo para Carguío” ver Tabla 18, se especifican las demoras y reservas operacionales que afectan la utilización de la flota durante el turno tanto para las palas como para el cargador frontal.

Tabla 18*Estructura de tiempo para carguío***Estructura de Tiempo (Utilizacion) Pala Caterpillar 7495**

Tiempo	Categoría	Temporada Seca (min/día)	Temporada Lluvia (min/día)
Cambio de Turno	Demora Operativa	8.00	8.00
Refrigerio	Demora Operativa	5.00	5.00
Demora por Voladura	Demora Operativa	15.00	15.00
Limpieza de Frente de Minado	Demora Operativa	20.00	20.00
Traslados	Demora Operativa	35.00	35.00
Stand-by (falta material, falta camión, operador)	Reserva Operacional	9.00	9.00
Parada por mal clima	Reserva Operacional	-	2.00
		Hours	Hours
Tiempo Total (hr)		24.00	24.00
Demora Operativa		1.38	1.38
Reserva Operacional		0.15	0.18

Estructura de Tiempo (Utilizacion) Cargador Le Tourneau 2350

Tiempo	Categoría	Temporada Seca (min/día)	Temporada Lluvia (min/día)
Cambio de Turno	Demora Operativa	12.00	12.00
Refrigerio	Demora Operativa	5.00	5.00
Demora por Voladura	Demora Operativa	15.00	15.00
Abastecimiento de Combustible	Demora Operativa	23.00	23.00
Limpieza de Frente de Minado	Demora Operativa	5.00	5.00
Traslados	Demora Operativa	15.00	15.00
Stand-by (falta material, falta camión, operador)	Reserva Operacional	9.00	9.00
Parada por mal clima	Reserva Operacional	-	2.00
		Horas	Horas
Tiempo Total (hr)		24.00	24.00
Demora Operativa		1.25	1.25
Reserva Operacional		0.15	0.18

Finalmente, en la hoja “Requerimiento de Palas y Cargador” ver Tabla 19, se importan los tonelajes, se asignan y distribuyen entre las palas y el cargador frontal. Los tiempos de ciclo definidos en la hoja “Parámetros de Carguío y Acarreo” nos permiten determinar la productividad y las horas de carguío requeridas para cumplir el plan. Con la disponibilidad física y la utilización esperadas, calculamos el tamaño de la flota de carguío.

Tabla 19

Requerimiento de palas y cargador

Mes	Ene-20	Feb-20	Mar-20	Abr-20	May-20	Jun-20	2020
Días	31	29	31	30	31	30	306
Temperado	Lluvia	Lluvia	Lluvia	Seca	Seca	Seca	
TONELAJE ASIGNADO POR EQUIPO DE CARGUID							
Pala Caterpillar 7495							
Tonelaje de Mineral a Chancadora Primaria (4719) por banco	2,304,326	1,881,590	2,501,049	2,309,030	3,016,329	3,059,323	15,073,445
Tonelaje de Mineral a Stockpile (XXXX) por banco	214,759	282,424	484,805	688,373	1,085,253	1,057,736	4,393,350
Tonelaje de Mineral de Stockpile a Chancadora Primaria (4719)	-	-	-	-	-	-	-
Tonelaje de Desmonte a Botadero (XXXX) por banco	4,150,396	4,293,084	3,890,479	3,705,431	3,319,758	2,356,308	21,718,056
Tonelaje Total Cargado	6,669,281	6,457,098	6,876,332	6,702,834	7,421,339	7,075,365	41,184,850
Cargador Le Tourneau 2350							
Tonelaje de Mineral a Chancadora Primaria (4719) por banco	-	-	-	-	-	-	-
Tonelaje de Mineral a Stockpile (XXXX) por banco	-	-	-	-	-	-	-
Tonelaje de Mineral de Stockpile a Chancadora Primaria (4719)	319,010	222,732	608,060	103,614	382,617	342,671	2,038,704
Tonelaje de Desmonte a Botadero (XXXX) por banco	396,488	468,714	394,260	389,502	430,225	500,394	2,590,489
Tonelaje Total Cargado	715,498	691,446	1,002,320	553,116	782,842	892,965	4,638,193
Tempos del Ciclo de Cargado en minutos							
Pala Caterpillar 7495							
Esperando Camión (min)	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
Cuadrado en Pala (min)	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
Tiempo de Cargado (min)	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54
Ciclo de Cargado (min)	4.44	4.44	4.44	4.44	4.44	4.44	4.44
Productividad Teórica Pala Caterpillar 7495 (t/hr)	5,001						
Cargador Le Tourneau 2350							
Esperando Camión (min)	4.85	4.85	4.85	4.85	4.85	4.85	4.85
Cuadrado en Cargador (min)	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
Tiempo de Cargado (min)	6.01	6.01	6.01	6.01	6.01	6.01	6.01
Ciclo de Cargado (min)	11.76	11.76	11.76	11.76	11.76	11.76	11.76
Productividad Teórica Cargador Le Tourneau 2350 (t/hr)	1,887						
Horas Operativas Requeridas de Pala Caterpillar 7495	1,335.51	1,387.20	1,374.91	1,340.22	1,484.28	1,414.70	8,234.83
Horas Operativas Requeridas de Cargador Le Tourneau 2350	379.18	366.44	531.18	293.13	414.87	473.23	2,458.04
REQUERIMIENTO DE PALAS							
Disponibilidad Mecánica Planeada							
Detección por Mantenimiento (hr/día)	92.1%	91.3%	92.0%	92.1%	92.6%	91.4%	
Tiempo Disponible (hr/día)	1.9	2.1	1.9	1.9	1.7	2.1	
Demora Operativa (hr/día)	22.1	21.9	22.1	22.1	22.3	21.9	
Reserva Operativa (hr/día)							
Reserva Operativa (hr/día)	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	
Tiempo Productivo (hr/día)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	
Utilización Teórica Planeada	20.5	20.3	20.5	20.6	20.8	20.4	
Utilización Teórica Planeada	92.9%	92.8%	92.9%	93.1%	93.1%	93.0%	
Tiempo Productivo por Equipo							
Horas de Cargado Requeridas	637	590	636	637	644	612	
Numero de Palas Requeridas	2.1	2.2	2.3	2.2	2.3	2.3	
Numero de Palas en la Operación	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	
Tiempo Productivo por Flota Instalada							
Horas de Cargado Requeridas	1,910	1,770	1,908	1,852	1,931	1,836	
Utilización Esperada de la Flota de Palas	84.8%	87.9%	87.0%	87.3%	71.6%	71.7%	
Tonelaje Cargado Esperado	6,669,281	6,457,098	6,876,332	6,702,834	7,421,339	7,075,365	
Tonelaje Pala	6,669,281	6,457,098	6,876,332	6,702,834	7,421,339	7,075,365	41,184,850
Productividad de Pala Caterpillar 7495 (t/hr)	5,001						
REQUERIMIENTO DE CARGADORES							
Disponibilidad Flota Planeada							
Detección por Mantenimiento (hr/día)	89.4%	89.6%	88.3%	88.0%	85.3%	87.1%	
Tiempo Disponible (hr/día)	7.3	7.5	7.8	7.6	7.5	7.1	
Demora Operativa (hr/día)	16.7	21.5	21.2	20.4	20.5	20.9	
Reserva Operativa (hr/día)							
Reserva Operativa (hr/día)	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	
Tiempo Productivo (hr/día)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	
Utilización Teórica Planeada	15.2	20.1	19.8	19.0	19.1	19.5	
Utilización Teórica Planeada	93.4%	93.3%	93.2%	93.1%	93.2%	93.3%	
Tiempo Productivo por Equipo							
Horas de Cargado Requeridas	472	582	612	570	591	585	
Numero de Cargadores Requeridas	0.8	0.8	0.9	0.5	0.7	0.8	
Numero de Cargadores en la Operación	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
Tiempo Productivo por Flota Instalada							
Horas de Cargado Requeridas	472	582	612	570	591	585	
Utilización Esperada de la Flota de Cargadores	75.4%	88.7%	80.9%	47.9%	65.4%	75.9%	
Tonelaje Cargado Esperado	715,498	691,446	1,002,320	553,116	782,842	892,965	
Tonelaje Cargador	715,498	691,446	1,002,320	553,116	782,842	892,965	4,638,193
Productividad del Cargador Le Tourneau 2350 (t/hr)	1,887						

3.7 Conclusiones Preliminares del Diagnóstico

Las variaciones de producción respecto al plan de minado se originan debido a múltiples factores tales como:

- Disponibilidad y Confiabilidad de la flota por parte del equipo de Mantenimiento Mina.
- Utilización de la flota que comprende la gestión de las demoras y reservas operacionales del turno a cargo del Jefe de Guardia y la supervisión de Operaciones Mina.
- Productividad de la flota en función a los parámetros operativos aplicados y que se distribuyen en tiempos fijos y variables.
- Condiciones climáticas favorables o adversas.

El objetivo del presente trabajo de investigación es determinar qué parámetros son los de mayor impacto en el dimensionamiento de la flota de equipos, tanto de perforación, como de carguío y acarreo, para cumplir el plan de minado.

En ese sentido, siendo nuestro modelo determinístico multivariable, no es efectivo realizar análisis de sensibilidad por cada parámetro. Se requiere, en todo caso, ejecutar simulación Montecarlo, con el complemento Crystal Ball de Oracle u otro software, para las operaciones de perforación, carguío y acarreo en rangos razonables por cada parámetro.

Finalmente, como resultado del análisis de tornado podremos definir indicadores clave de desempeño que nuestro equipo de Planeamiento, Operaciones y Mantenimiento Mina deberán gestionar activamente.

CAPITULO IV: PROPUESTA DE VALOR CON SIMULACIÓN MONTECARLO EMPLEANDO ORACLE CRYSTAL BALL

4.1 Método Propuesto para la Planificación Minera de Corto Plazo

Los planes de minado a corto plazo, generalmente, se realizan en horizontes de tiempo que van desde los planes trimestrales, mensuales, semanales hasta planes diarios. Los planes de corto plazo son dinámicos debido a las condiciones cambiantes de la operación y la incertidumbre propia del mercado de materias primas o commodities.

Por otro lado, en el corto plazo se desarrollan planes e implementan tácticas específicas que están orientadas a cumplir el plan minero de largo plazo o LOM. En ese sentido, el plan minero a corto plazo es limitado en términos de influencia sobre el valor del proyecto y a su vez, recibe poca atención en la literatura de planificación de minas. Aun así, las decisiones que se toman pueden ocasionar impactos en el valor del proyecto si estos no están alineados al LOM. El objetivo principal es cumplir con la demanda de mineral que exige la planta respetando el plan de largo plazo.

Dentro del plan a corto plazo se detallan la operación durante un periodo establecido (semanal, diario, mensual y hasta trimestral); las metas de producción expresadas como tonelaje con su calidad y contenido metálico; las áreas de perforación; la disponibilidad por flota de equipos como responsabilidad de Mantenimiento considerando las paradas programadas; la utilización de equipos de Mina y su ubicación/distribución; ratios de productividad; secuencia de minado; rutas y distancias de acarreo; horas requeridas; zonas de apilamiento y descarga; restricciones geotécnicas, consideraciones ambientales y de seguridad.

La calidad del mineral se refiere a las especificaciones requeridas por planta, de manera que sea vendible y rentable. Cabe mencionar que muchos yacimientos, actualmente, tienen altos contenidos de elementos contaminantes que requieren mezclas con mineral limpio para que la ley final del concentrado cumpla los parámetros mínimos de calidad y sea vendible. Otra de las restricciones que se debe tomar en cuenta es la dureza del mineral debido al impacto en el consumo de energía en la planta concentradora y en la productividad de la planta.

En las Figuras 34 y 35 se observan los flujogramas propuestos para la elaboración del plan de minado y el plan minero de corto plazo.

Figura 34

Diagrama de flujo del planeamiento de minado propuesto

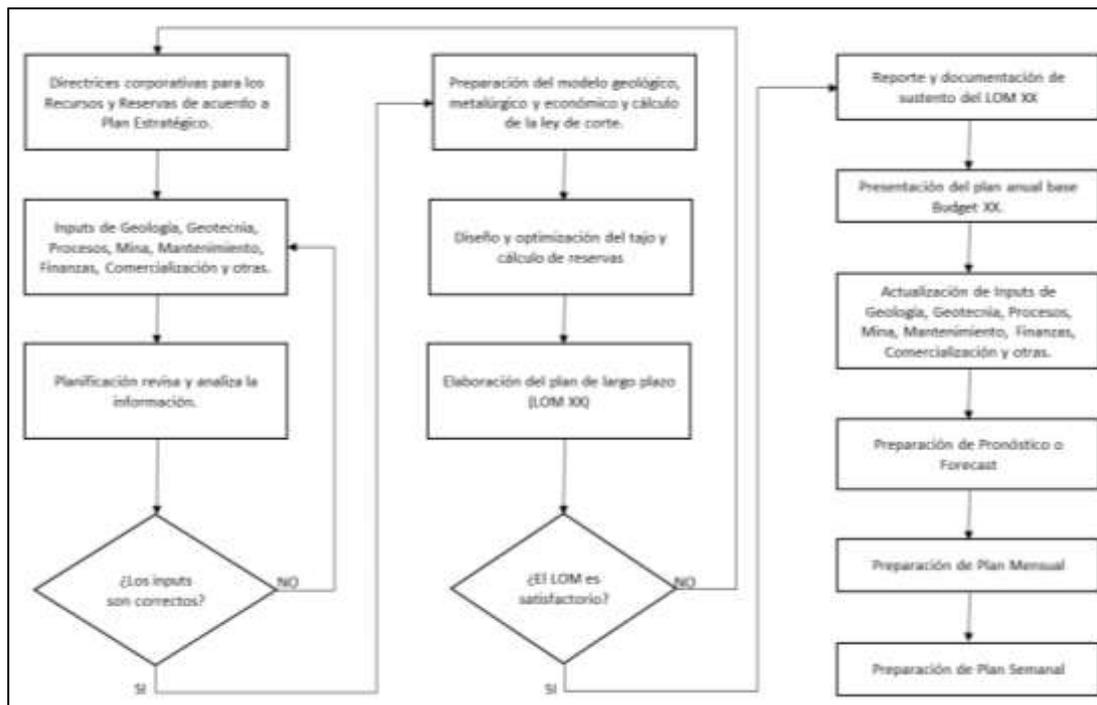
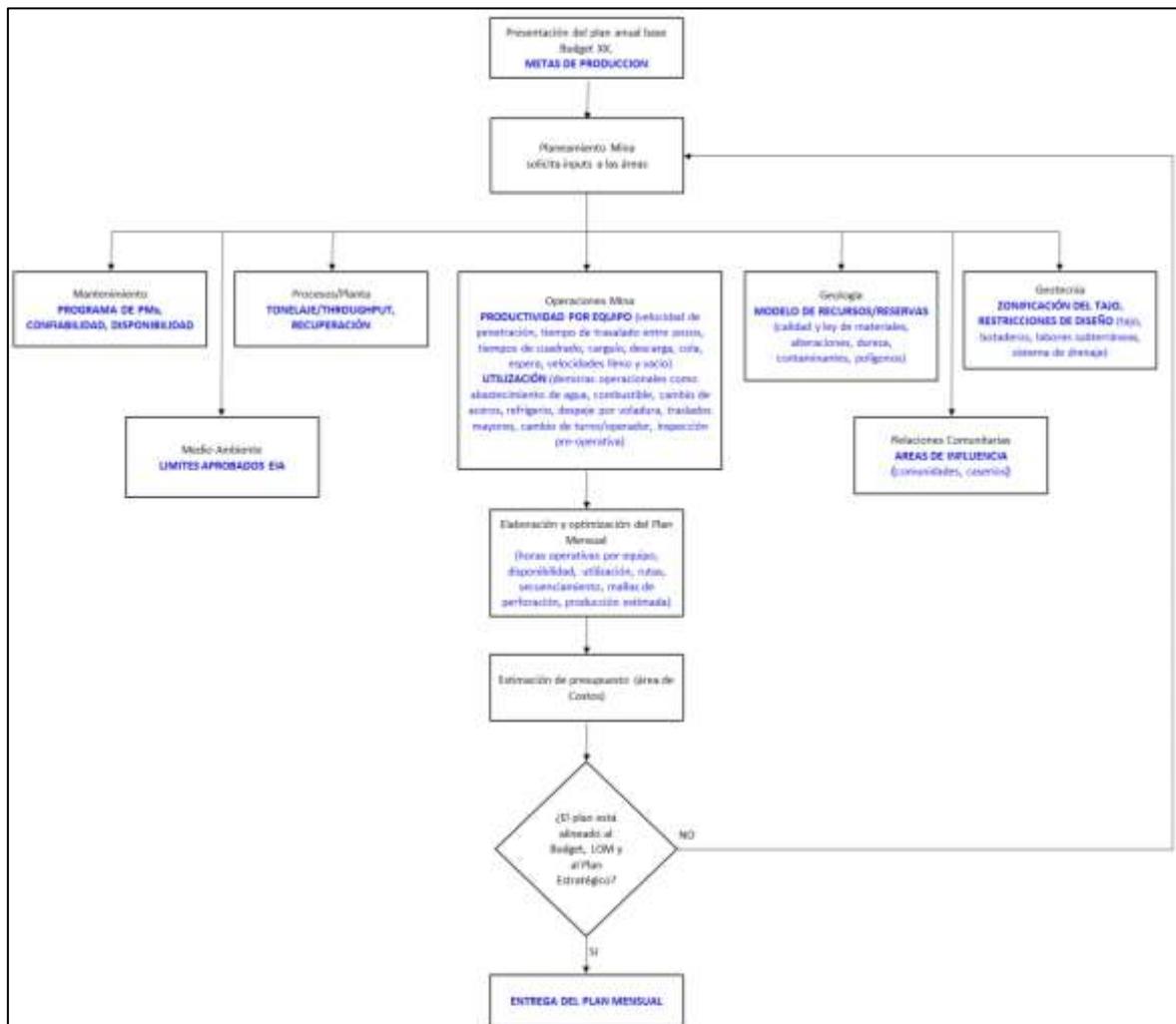


Figura 35

Diagrama de flujo del planeamiento a corto plazo propuesto



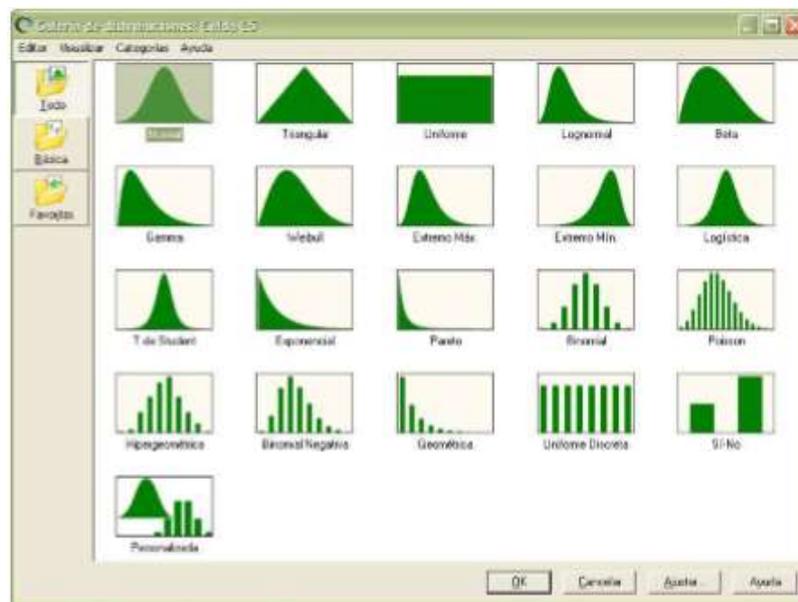
El plan de corto plazo, finalmente, debe estar alineado con el Budget, Plan a Largo Plazo o LOM y al Plan Estratégico de la empresa. Este último, incluye objetivos estratégicos de la compañía en un horizonte de 3 años, generalmente.

4.2 Definición de Supuestos Caso Base

En Crystal Ball, un supuesto es una variable incierta que puede tomar valores aleatorios de acuerdo con una distribución de probabilidad continua o discreta. Crystal Ball posee una galería de distribuciones predefinidas y permite, además, personalizar alguna distribución particular, (ver Figura 36). Una vez seleccionada la distribución se configuran ciertos parámetros básicos:

Figura 36

Galería de distribuciones



4.2.1 Definición de supuestos para Perforación

Después de haber analizado toda la actividad de Perforación en la plantilla Excel se definieron los siguientes supuestos en el Crystal Ball en donde ya se explicó previamente se definen las distribuciones y el software nos da un rango de valores como el Mínimo, Máximo y el valor más probable que puede optar después de realizar 1000 iteraciones. (Ver Apéndices)

4.2.2 Definición de Supuestos para Carguío (Ver Apéndices)

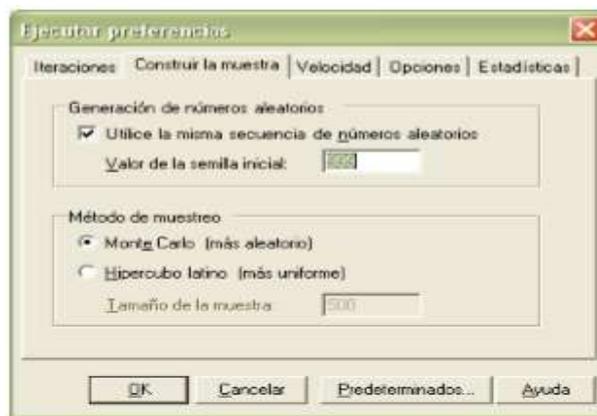
4.2.3 Definición de Supuestos para Acarreo (Ver Apéndices)

4.3 Definición de Pronósticos/Previsión Caso Base

Una vez establecidas las celdas con las variables o supuestos del modelo, se configuran las celdas de pronósticos, las cuales están referenciadas a uno o más supuestos. Luego se configura la generación de números aleatorios eligiendo la simulación de Montecarlo tal como se observa en la ventana del software (ver Figura 37):

Figura 37

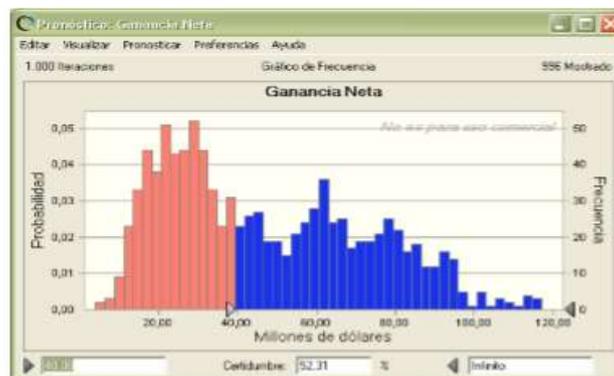
Ventana de preferencias



Analizando la figura 38 de ejemplo se podrá ver que el rango de valores de la previsión simulada arroja un 52% de certeza de obtener una ganancia superior a los 40 MUSD.

Figura 38

Gráfico de pronósticos



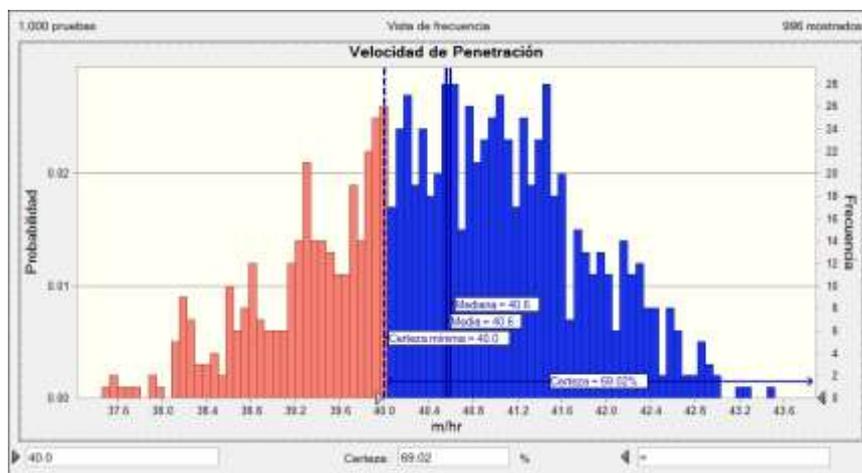
4.3.1 Definición de Pronósticos/Previsión para Perforación

4.3.1.1 Velocidad de Penetración

La velocidad de penetración de las Pit Viper 351 se ve afectada por el tipo de roca, parámetros operativos y tiempos del ciclo de perforación. Para el período se estableció un mínimo aceptable de 40 m/hr. (ver figura 39).

Figura 39

Gráfico de simulación de velocidad de penetración



De acuerdo a los parámetros y variabilidad del caso base y ejecutada la simulación, el pronóstico de velocidad de penetración encima de 40 m/hr tiene un nivel de certeza de 69.02%, el cual debe ser mejorado.

Tabla 20

Velocidad de Penetración

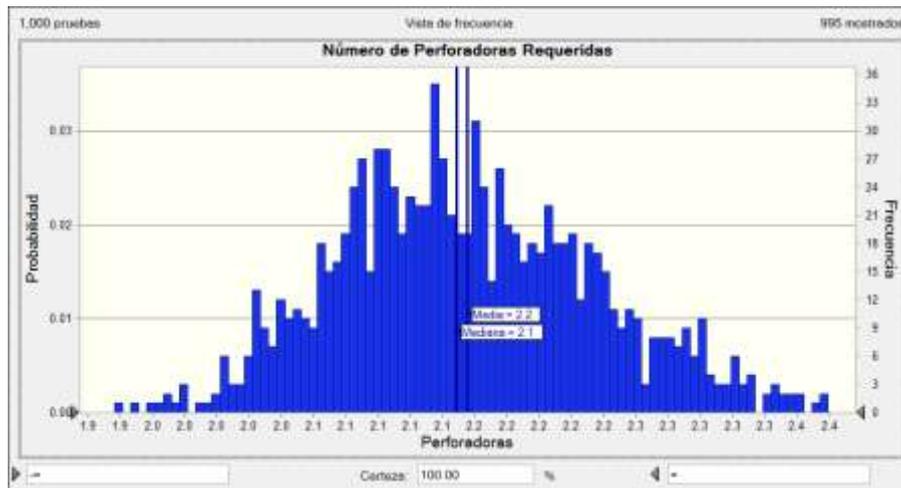
Estadística	Valores de previsión
Pruebas	1.000
Caso base	40.7
Medio	40.8
Mediana	40.8
Modo	---
Desviación estándar	1.1
Varianza	1.3
Sesgo	-0.1799
Curtosis	2.83
Coefficiente de variación	0.0279
Mínimo	36.8
Máximo	43.9
Error estándar medio	0.0

4.3.1.2 Número de Perforadoras Requeridas

El número de perforadoras se ve afectado por la velocidad de penetración, tiempos de ciclo de perforación, demoras, reservas operacionales y disponibilidad. El número de equipos es 3.

Figura 40

Gráfico de simulación de número de perforadoras



Según los parámetros considerados en la simulación, el pronóstico de número de perforadoras en todos los casos estará entre 1.9 y 2.5 unidades, por tanto, no es crítico ya que se disponen de 3 equipos.

Tabla 21

Número de Perforadoras Requeridas

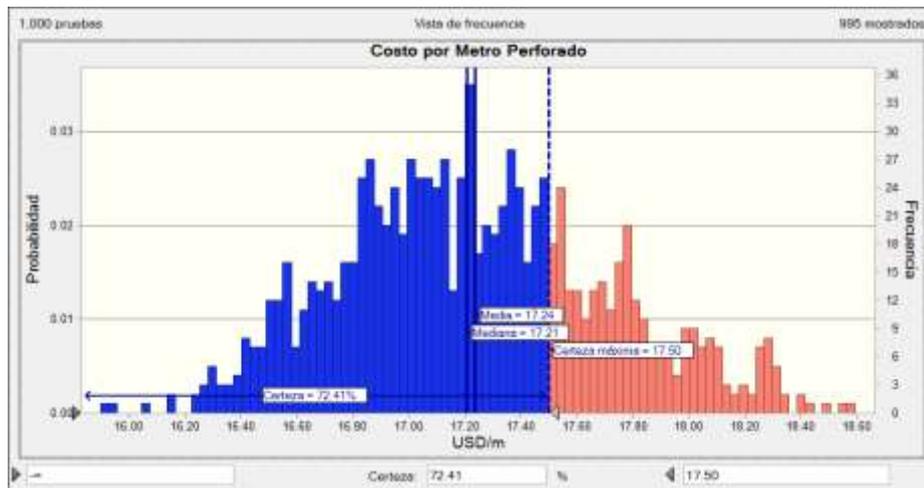
Estadística	Valores de previsión
Pruebas	1,000
Caso base	2.1
Media	2.2
Mediana	2.1
Moda	---
Desviación estándar	0.1
Varianza	0.0
Sesgo	0.2844
Curtosis	3.00
Coefficiente de variación	0.0379
Mínimo	1.9
Máximo	2.5
Error estándar medio	0.0

4.3.1.3 Costo por Metro Perforado

El costo por metro perforado está relacionado con la velocidad de penetración de la perforadora. Como mínimo aceptable se estableció 17.5 USD/m.

Figura 41

Gráfico de simulación de costo por metro perforado



De acuerdo con los parámetros considerados en la simulación, el pronóstico de costo de perforación por debajo del valor aceptable tiene una certeza de 72.41%, el cual puede incrementarse.

Tabla 22

Costo por Metro Perforado

Estadística	Valores de previsión
► Pruebas	1,000
Caso base	17.18
Media	17.24
Mediana	17.21
Modo	---
Desviación estándar	0.48
Varianza	0.23
Sequo	0.3330
Curtosis	2.98
Coefficiente de variación	0.0261
Mínimo	15.90
Máximo	19.08
Error estándar medio	0.02

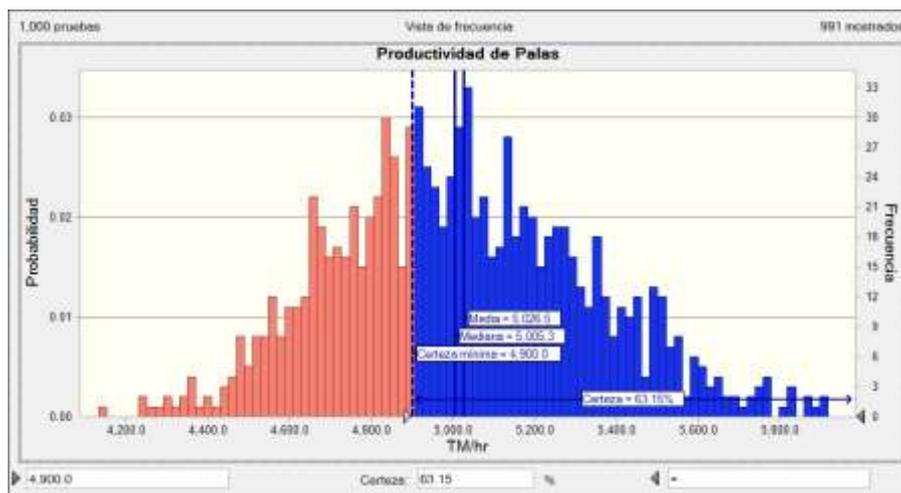
4.3.2 Definición de Pronósticos/Previsión para Carguío

4.3.2.1 Productividad de Flota de Palas

La productividad de las palas eléctricas se ve afectada principalmente por los tiempos que conforman el ciclo de carguío (esperando, cuadrado, pase). Para el período se fijó un mínimo de 4,900 TM/hr.

Figura 42

Gráfico de resultados de simulación productividad de palas



Después de simular el pronóstico de productividad de pala fue de 63.15% por encima de 4,900 TM/hr, valor que puede mejorar.

Tabla 23

Productividad de Palas

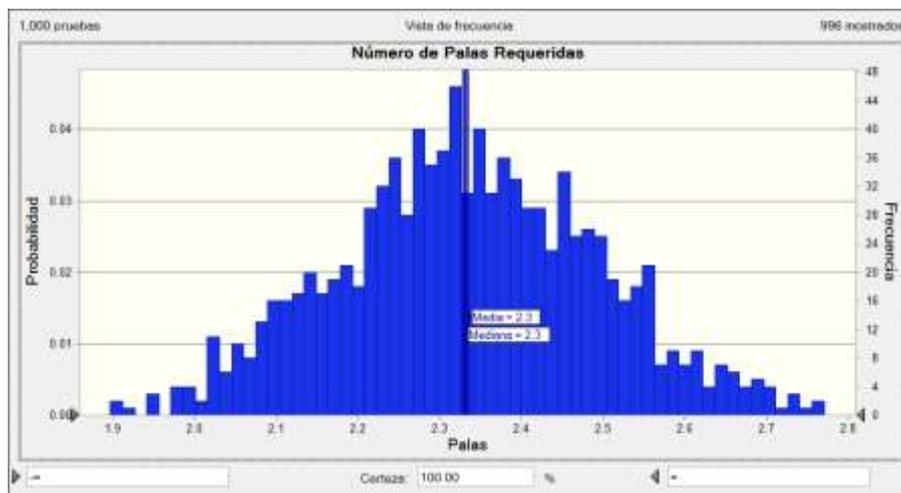
Estadística	Valores de previsión
► Pruebas	1,000
Caso base	5,001.3
Medio	5,026.5
Mediano	5,005.3
Modo	—
Desviación estándar	325.8
Varianza	106,115.1
Sesgo	0.4229
Curtosis	3.33
Coefficiente de variación	0.0848
Mínimo	4,131.1
Máximo	6,276.7
Error estándar medio	10.3

4.3.2.2 Número de Palas Requeridas

El número de palas eléctricas varía en función del tonelaje planeado, la productividad, la utilización y la disponibilidad. Para el período se tienen 3 equipos en la unidad.

Figura 43

Gráfico de resultados simulación palas requeridas



Con los parámetros usados en la simulación, el pronóstico de número de palas estará entre 1.8 y 2.8 unidades, lo cual indica baja criticidad al tener 3 equipos en mina.

Tabla 24

Número de Palas Requeridas

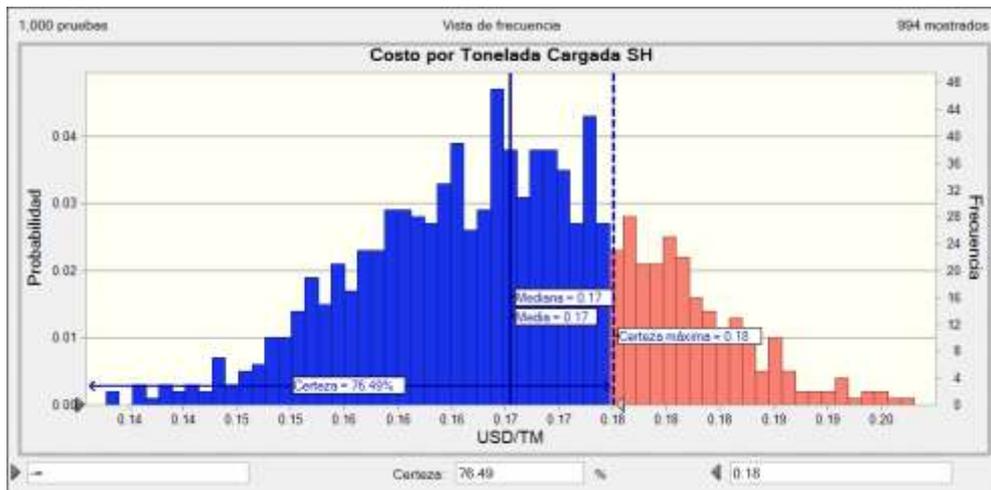
Estadística	Valores de previsión
Pruebas	1,000
Caso base	2.3
Medio	2.3
Mediana	2.3
Moda	---
Desviación estándar	0.2
Varianza	0.0
Sesgo	0.0235
Curtosis	2.88
Coefficiente de variación	0.0891
Mínimo	1.8
Máximo	2.8
Error estándar medio	0.0

4.3.2.3 Costo por Tonelada Cargada por Pala

El costo por tonelada cargada está directamente relacionado con la productividad de la pala. Para el período se espera un costo menor a 0.18 USD/TM.

Figura 44

Gráfico de resultados de simulación costo por tonelada



De acuerdo con la simulación, el pronóstico de costo por tonelada para pala por debajo de 0.18 USD/TM, tiene una certeza de 76.49%, con

Tabla 25

Costo por Tonelada Cargada Pala

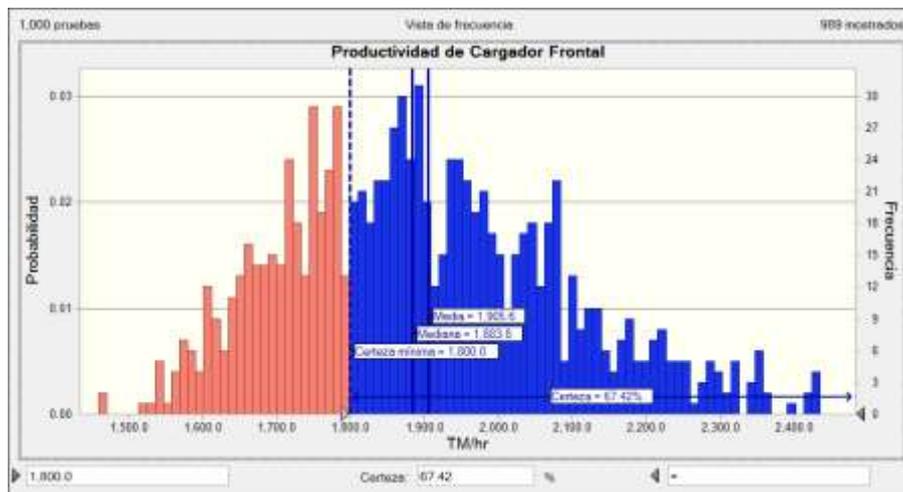
Estadística	Valores de provisión
► Pruebas	1,000
Caso base	0.17
Media	0.17
Mediana	0.17
Modo	---
Desviación estándar	0.01
Varianza	0.00
Sesgo	-0.0272
Curtosis	3.00
Coficiente de variación	0.0639
Mínimo	0.13
Máximo	0.20
Error estándar medio	0.00

4.3.2.4 Productividad de Cargador Frontal

La productividad del cargador frontal se ve afectada principalmente por los tiempos que conforman el ciclo de carguío (esperando, cuadrado, pase). En el período se espera como mínimo 1,800 TM/hr.

Figura 45

Gráfico de resultados simulación productividad de cargador frontal



Después de simular, el pronóstico de productividad de cargador frontal por encima de 1,800 TM/hr tiene un nivel de certeza de 67.42% el cual puede incrementarse.

Tabla 26

Productividad Cargador Frontal

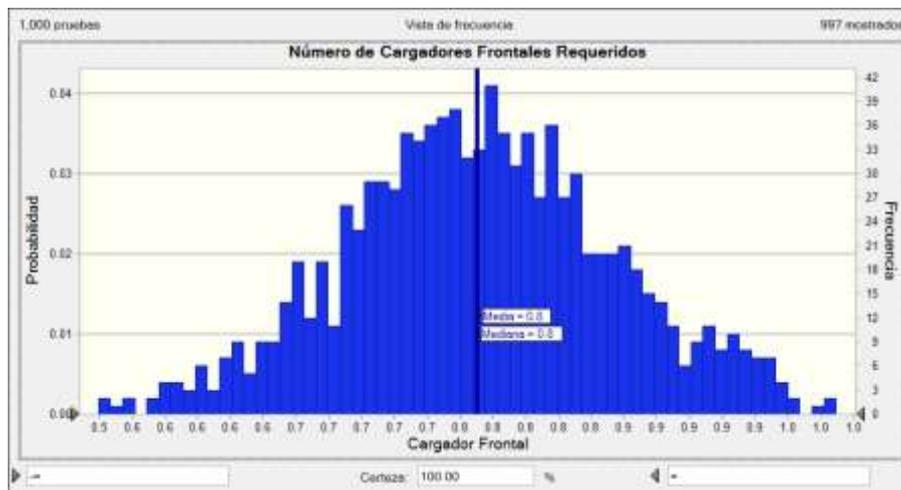
Estadística	Valores de predicción
Pruebas	1,000
Caso base	1,896.9
Medio	1,905.8
Mediana	1,833.3
Moda	—
Desviación estándar	196.8
Varianza	38,746.8
Sesgo	0.6847
Curtois	3.68
Coefficiente de variación	0.1033
Mínimo	1,459.4
Máximo	2,711.8
Error estándar medio	6.2

4.3.2.5 Número de Cargadores Frontales Requeridos

El número de cargadores frontales varía en función de la productividad, la utilización y la disponibilidad. Para el período de análisis se tiene 1 equipo en mina.

Figura 46

Gráfico de resultados de simulación de número de cargadores frontales requeridos



Según los parámetros usados en la simulación, el pronóstico de número de cargadores frontales con 100% de certeza estará entre 0.5 y 1.0 unidades, lo cual indica que está bien dimensionado.

Tabla 27

Número de Cargadores Frontales Requeridos

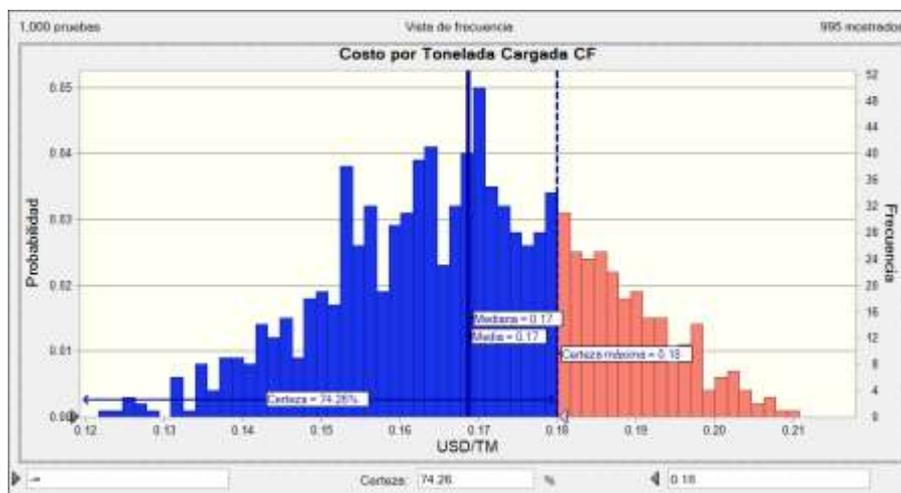
Estadística	Valores de previsión
Pruebas	1,000
Caso base	0.8
Media	0.8
Mediana	0.8
Moda	---
Desviación estándar	0.1
Varianza	0.0
Sesgo	-0.0389
Curtosis	2.69
Coefficiente de variación	0.1072
Mínimo	0.5
Máximo	1.0
Error estándar medio	0.0

4.3.2.6 Costo por Tonelada Cargada por Cargador Frontal

El costo por tonelada cargada está directamente relacionado con la productividad del cargador frontal. Se considera aceptable un costo por tonelada debajo de 0.18 USD/TM.

Figura 47

Gráfico de resultados de simulación del costo por tonelada cargada por cargador frontal



De acuerdo con los parámetros considerados en la simulación, el pronóstico de costo de carguío por debajo de 0.18 USD/TM. tiene una certeza de 74.26%, factible de mejora.

Tabla 28

Costo por Tonelada Cargada por Cargador Frontal

Estadística	Valores de previsión
► Pruebas	1,000
Caso base	0.17
Media	0.17
Mediana	0.17
Modo	—
Desviación estándar	0.02
Varianza	0.00
Sesgo	-0.0869
Curtois	2.79
Coefficiente de variación	0.0984
Mínimo	0.12
Máximo	0.22
Error estándar medio	0.00

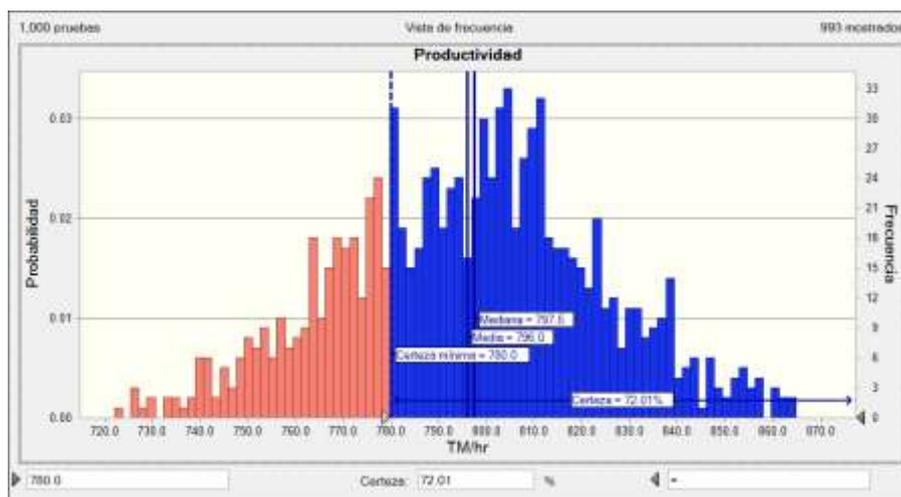
4.3.3 Definición de Pronósticos/Previsión para Acarreo

4.3.3.1 Productividad de Flota de Camiones

La velocidad en las distintas rutas de acarreo, tiempos de carguío y descarga, tiempo de cola, determinan la productividad de la flota de camiones. La productividad mínima para el período es 780 TM/hr.

Figura 48

Gráfico de resultados de simulación de la productividad de la flota de camiones



Luego de simular en el caso base, el pronóstico de productividad de los camiones por encima de 780 TM/hr tiene 72.01% de certeza.

Tabla 29

Productividad de Flota de Camiones

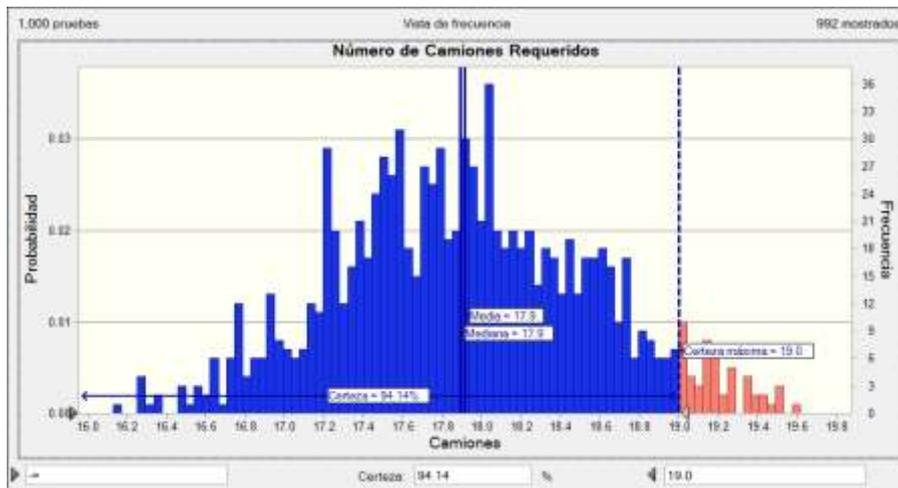
Estadística	Valores de previsión
Pruebas	1,000
Caso base	799.2
Media	796.0
Mediana	797.5
Modo	---
Desviación estándar	27.8
Varianza	762.0
Sesgo	-0.0460
Curtosis	3.05
Coefficiente de variación	0.0347
Mínimo	701.3
Máximo	885.5
Error estándar medio	0.9

4.3.3.2 Número de Camiones Requeridos

En cuanto al número de camiones requeridos este varía en función de la productividad, disponibilidad y la utilización. En los 6 meses se espera disponer de 19 camiones como mínimo al final del período.

Figura 49

Gráfico de resultados de simulación del número de camiones requeridos



Con los parámetros usados en la simulación, el pronóstico de número de camiones al 94.14% de certeza está entre 16 y 19 unidades en el período analizado.

Tabla 30

Número de Camiones Requeridos

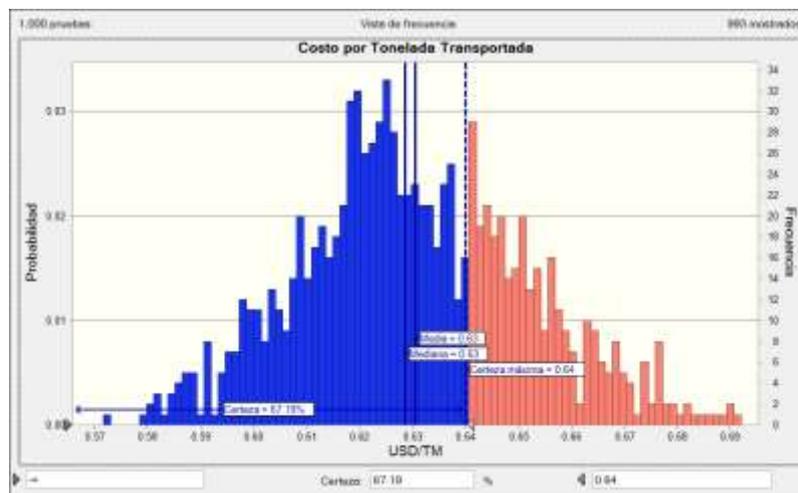
Estadística	Valores de previsión
► Pruebas	1,000
Caso base	17.8
Media	17.9
Mediana	17.9
Modo	---
Desviación estándar	0.7
Varianza	0.4
Sesgo	0.2363
Curtosis	3.10
Coefficiente de variación	0.0372
Mínimo	16.0
Máximo	20.3
Error estándar medio	0.0

4.3.3.3 Costo por Tonelada Transportada

El costo por tonelada transportada es directamente proporcional a la productividad de la flota. Es aceptable un costo de 0.64 USD/TM.

Figura 50

Gráfico de resultados de simulación del costo por tonelada transportada



Simulando el caso base, el pronóstico de costo por tonelada transportada por debajo de 0.64 USD/TM tiene 67.19% de certeza.

Tabla 31*Costo por Tonelada Transportada*

Estadística	Valores de previsión
▶ Pruebas	1,000
Caso base	0.63
Media	0.63
Mediana	0.63
Modo	---
Desviación estándar	0.02
Varianza	0.00
Sesgo	0.2611
Curtosis	3.16
Coefficiente de variación	0.0349
Mínimo	0.57
Máximo	0.71
Error estándar medio	0.00

4.4 Interpretación de Resultados Caso Base

4.4.1 Interpretación de Resultados en Perforación

Se analizó a través de un gráfico de tornado el impacto de cada parámetro/suposición en la previsión o pronóstico.

Figura 51

Gráfico de tornado velocidad de penetración

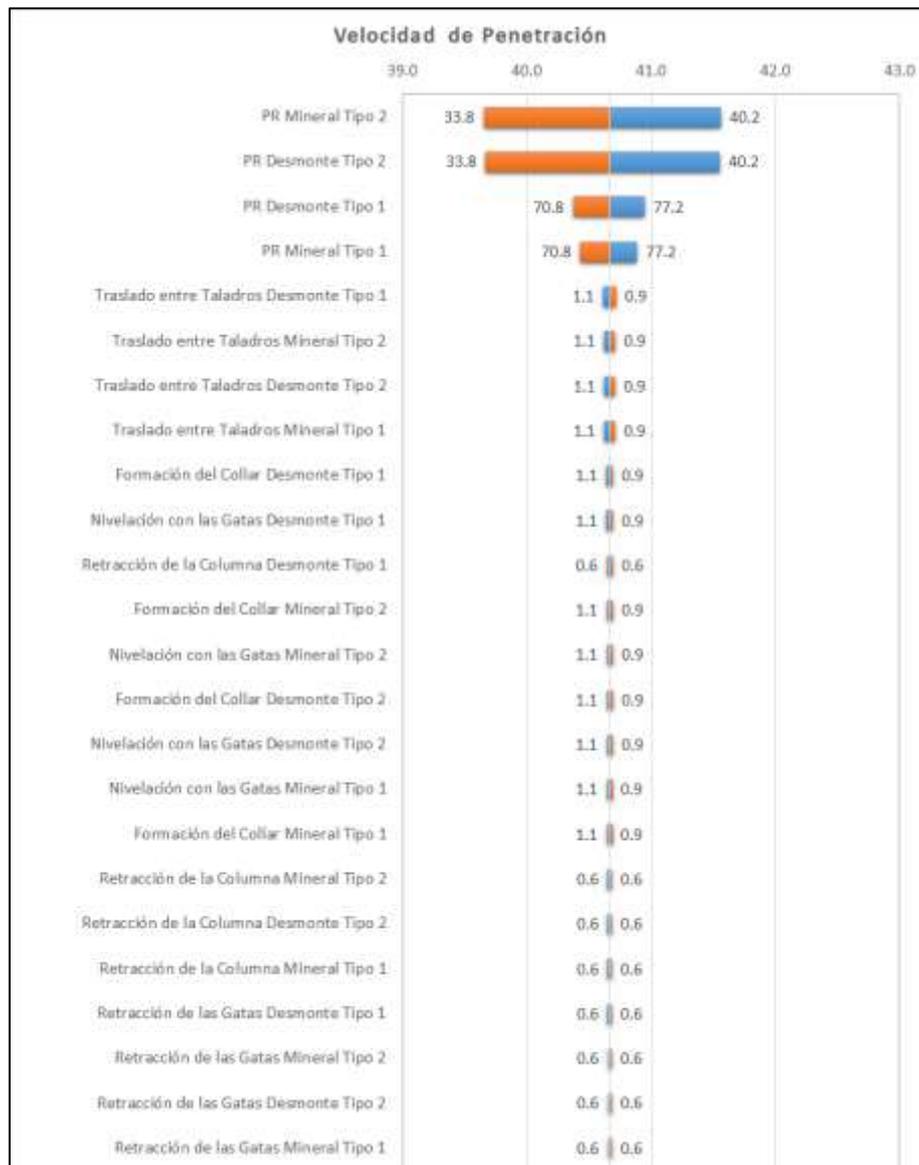


Tabla 32

Resultados Tornado Velocidad de Penetración

Variable de entrada	Velocidad de Penetración				Entrada		
	Hacia abajo	Hacia arriba	Rango	Explicación de variación ¹	Hacia abajo	Hacia arriba	Caso base
PR Mineral Tipo 2	39.7	41.6	1.9	46.79%	33.8	40.2	37.0
PR Desmante Tipo 2	39.7	41.6	1.9	92.37%	33.8	40.2	37.0
PR Desmante Tipo 1	40.4	40.9	0.6	96.55%	70.8	77.2	74.0
PR Mineral Tipo 1	40.4	40.9	0.5	99.23%	70.8	77.2	74.0
Traslado entre Taladros Desmante Tipo 1	40.7	40.6	0.1	99.38%	0.9	1.1	1.0
Traslado entre Taladros Mineral Tipo 2	40.7	40.6	0.1	99.48%	0.9	1.1	1.0
Traslado entre Taladros Desmante Tipo 2	40.7	40.6	0.1	99.57%	0.9	1.1	1.0
Traslado entre Taladros Mineral Tipo 1	40.7	40.6	0.1	99.66%	0.9	1.1	1.0
Formación del Collar Desmante Tipo 1	40.7	40.6	0.1	99.70%	0.9	1.1	1.0
Nivelación con las Gatas Desmante Tipo 1	40.7	40.6	0.1	99.74%	0.9	1.1	1.0
Retracción de la Columna Desmante Tipo 1	40.7	40.6	0.0	99.76%	0.6	0.6	0.6
Formación del Collar Mineral Tipo 2	40.7	40.6	0.0	99.79%	0.9	1.1	1.0
Nivelación con las Gatas Mineral Tipo 2	40.7	40.6	0.0	99.81%	0.9	1.1	1.0
Formación del Collar Desmante Tipo 2	40.7	40.6	0.0	99.84%	0.9	1.1	1.0
Nivelación con las Gatas Desmante Tipo 2	40.7	40.6	0.0	99.86%	0.9	1.1	1.0
Nivelación con las Gatas Mineral Tipo 1	40.7	40.6	0.0	99.88%	0.9	1.1	1.0
Formación del Collar Mineral Tipo 1	40.7	40.6	0.0	99.91%	0.9	1.1	1.0
Retracción de la Columna Mineral Tipo 2	40.7	40.6	0.0	99.93%	0.6	0.6	0.6
Retracción de la Columna Desmante Tipo 2	40.7	40.6	0.0	99.94%	0.6	0.6	0.6
Retracción de la Columna Mineral Tipo 1	40.7	40.6	0.0	99.96%	0.6	0.6	0.6
Retracción de las Gatas Desmante Tipo 1	40.7	40.7	0.0	99.97%	0.6	0.6	0.6
Retracción de las Gatas Mineral Tipo 2	40.7	40.7	0.0	99.98%	0.6	0.6	0.6
Retracción de las Gatas Desmante Tipo 2	40.7	40.7	0.0	99.99%	0.6	0.6	0.6
Retracción de las Gatas Mineral Tipo 1	40.7	40.7	0.0	100.00%	0.6	0.6	0.6

Uno de los resultados que se demuestra, es que la velocidad de penetración instantánea explica cerca del 99% de la variación en la productividad de la flota. El restante 1% se atribuye a tiempos de traslado, nivelación, formación de collar y retracción. En ese sentido, se ha venido reforzando las competencias de los perforistas en cuanto a los parámetros de perforación por tipo de roca (RPM, presión de aire, pulldown, etc.), asimismo, se ha analizado el modo de desgaste de los aceros de perforación. Por otro lado, se ha verificado con el personal de Mantenimiento Mina y el fabricante, el real desempeño del compresor y la eficiente velocidad de barrido.

Cuando se ha tenido baja velocidad de penetración por cambio repentino de material, los perforistas han seguido las recomendaciones de los fabricantes de aceros en cuanto a parámetros como pulldown y RPM de manera de mantener las PR en material tipo 1 y 2 alrededor de 74 y 37 m/hr.

Figura 52

Gráfico de tornado perforadoras requeridas



Tabla 33

Resultados Tornado Número de Perforadoras Requeridas

Variable de entrada	Número de Perforadoras Requeridas				Explicación de variación ¹	Entrada		
	Hacia abajo	Hacia arriba	Rango			Hacia abajo	Hacia arriba	Caso base
PR Mineral Tipo 2	2.2	2.1	0.1		24.88%	33.8	40.2	37.0
PR Desmonte Tipo 2	2.2	2.1	0.1		49.11%	33.8	40.2	37.0
Disponibilidad Física Marzo	2.2	2.1	0.1		56.86%	76.1%	86.3%	81.2%
Disponibilidad Física Mayo	2.2	2.1	0.1		64.60%	76.7%	86.9%	81.8%
Disponibilidad Física Enero	2.2	2.1	0.1		72.34%	75.9%	86.1%	81.0%
Disponibilidad Física Abril	2.2	2.1	0.1		79.59%	77.4%	87.6%	82.5%
Disponibilidad Física Junio	2.2	2.1	0.1		86.84%	76.9%	87.1%	82.0%
Disponibilidad Física Febrero	2.2	2.1	0.1		93.61%	77.9%	88.1%	83.0%
PR Desmonte Tipo 1	2.2	2.1	0.0		95.82%	70.8	77.2	74.0
PR Mineral Tipo 1	2.2	2.1	0.0		97.24%	70.8	77.2	74.0
Parada por mal clima Temporada Lluvia	2.1	2.2	0.0		98.02%	52.00	68.00	60.00
Stand-by Temporada Lluvia	2.1	2.1	0.0		98.22%	26.00	34.00	30.00
Cambio de Turno Temporada Lluvia	2.1	2.1	0.0		98.41%	16.00	24.00	20.00
Refrigerio Temporada Lluvia	2.1	2.1	0.0		98.61%	71.00	79.00	75.00
Refrigerio Temporada Seca	2.1	2.1	0.0		98.81%	71.00	79.00	75.00
Stand-by Temporada Seca	2.1	2.1	0.0		99.00%	26.00	34.00	30.00
Cambio de Turno Temporada Seca	2.1	2.1	0.0		99.20%	16.00	24.00	20.00
Traslados Mayores Temporada Seca	2.1	2.1	0.0		99.29%	12.24	17.76	15.00
Traslados Mayores Temporada Lluvia	2.1	2.1	0.0		99.38%	12.24	17.76	15.00
Traslado entre Taladros Desmonte Tipo 1	2.1	2.1	0.0		99.46%	0.9	1.1	1.0

Los parámetros de mayor impacto en el número de perforadoras son la productividad con un 53% de peso. Por otro lado, la disponibilidad física explica un 44%. El restante 3% se atribuye a la gestión del turno como cambio de guardia y refrigerio.

En el período, se obtuvo una disponibilidad física entre 81 y 83%. En algunas ocasiones se han identificado demoras en los traslados, por lo que es necesario el apoyo constante de mantenimiento eléctrico y servicios auxiliares para manipular los cables. Definitivamente, la flota de perforadoras está bien dimensionada para cumplir el plan de minado en el período de análisis.

Figura 53

Gráfico de tornado costo por metro perforado



Tabla 34

Resultados tornado por metro perforado

Variable de entrada	Costo por Metro Perforado				Entrada		
	Hacia abajo	Hacia arriba	Rango	Explicación de variación ¹	Hacia abajo	Hacia arriba	Caso base
PR Mineral Tipo 2	17.62	16.81	0.81	46.81%	33.8	40.2	37.0
PR Desmonte Tipo 2	17.61	16.81	0.80	92.41%	33.8	40.2	37.0
PR Desmonte Tipo 1	17.30	17.06	0.24	96.57%	70.8	77.2	74.0
PR Mineral Tipo 1	17.28	17.08	0.19	99.24%	70.8	77.2	74.0
Traslado entre Taladros Desmonte Tipo 1	17.15	17.20	0.04	99.38%	0.9	1.1	1.0
Traslado entre Taladros Mineral Tipo 2	17.16	17.19	0.04	99.48%	0.9	1.1	1.0
Traslado entre Taladros Desmonte Tipo 2	17.16	17.19	0.04	99.58%	0.9	1.1	1.0
Traslado entre Taladros Mineral Tipo 1	17.16	17.19	0.04	99.67%	0.9	1.1	1.0
Formación del Collar Desmonte Tipo 1	17.16	17.19	0.02	99.70%	0.9	1.1	1.0
Nivelación con las Gatas Desmonte Tipo 1	17.16	17.19	0.02	99.74%	0.9	1.1	1.0
Retracción de la Columna Desmonte Tipo 1	17.17	17.19	0.02	99.76%	0.6	0.6	0.6
Formación del Collar Mineral Tipo 2	17.17	17.19	0.02	99.79%	0.9	1.1	1.0
Nivelación con las Gatas Mineral Tipo 2	17.17	17.19	0.02	99.81%	0.9	1.1	1.0
Formación del Collar Desmonte Tipo 2	17.17	17.19	0.02	99.84%	0.9	1.1	1.0
Nivelación con las Gatas Desmonte Tipo 2	17.17	17.19	0.02	99.86%	0.9	1.1	1.0
Nivelación con las Gatas Mineral Tipo 1	17.17	17.18	0.02	99.88%	0.9	1.1	1.0
Formación del Collar Mineral Tipo 1	17.17	17.18	0.02	99.91%	0.9	1.1	1.0
Retracción de la Columna Mineral Tipo 2	17.17	17.18	0.02	99.93%	0.6	0.6	0.6
Retracción de la Columna Desmonte Tipo 2	17.17	17.18	0.02	99.94%	0.6	0.6	0.6
Retracción de la Columna Mineral Tipo 1	17.17	17.18	0.02	99.96%	0.6	0.6	0.6

Del análisis de tornado se observa como principal fuente de variación en el costo por metro perforado a la productividad. Es importante asegurar la preparación oportuna de las áreas de perforación con equipo auxiliar, siendo responsabilidad de la supervisión, así como cargar las mallas al sistema de navegación GPS, procurando minimizar la desviación de los taladros y cumpliendo los cortes de diseño. Estas medidas aseguran el cumplimiento del plan a corto plazo.

4.4.2 Interpretación de Resultados en Carguío

Se analizó a partir de un gráfico de tornado el impacto de cada parámetro/suposición en la previsión o pronóstico.

Figura 54

Gráfico de tornado productividad de palas



Tabla 35

Resultados Tornado Productividad de Palas

Variable de entrada	Productividad de Palas				Entrada		
	Hacia abajo	Hacia arriba	Rango	Explicación de variación ¹	Hacia abajo	Hacia arriba	Caso base
Esperando Camion Pala	5,307.8	4,728.2	579.6	46.62%	0.84	1.36	1.10
Pase Pala	5,290.7	4,741.9	548.7	88.40%	0.61	0.73	0.67
Cuadrado en Pala	5,150.0	4,860.9	289.1	100.00%	0.67	0.93	0.80

Los parámetros de mayor impacto en la productividad de las palas eléctricas son el tiempo esperando camión con un 46.6% de peso, el tiempo de pase representa un 42% y el tiempo de cuadrado 12%. En ese sentido, el match pala-camión es básico para asegurar la productividad de la flota. La labor del dispatcher es fundamental asignando la cantidad óptima de camiones, minimizando los tiempos esperando camión (hang time) y los tiempos de cola (queue time) y haciendo seguimiento al tiempo de pase y tiempo de cuadrado de los camiones.

Figura 55

Gráfico de tornado número de palas requeridas

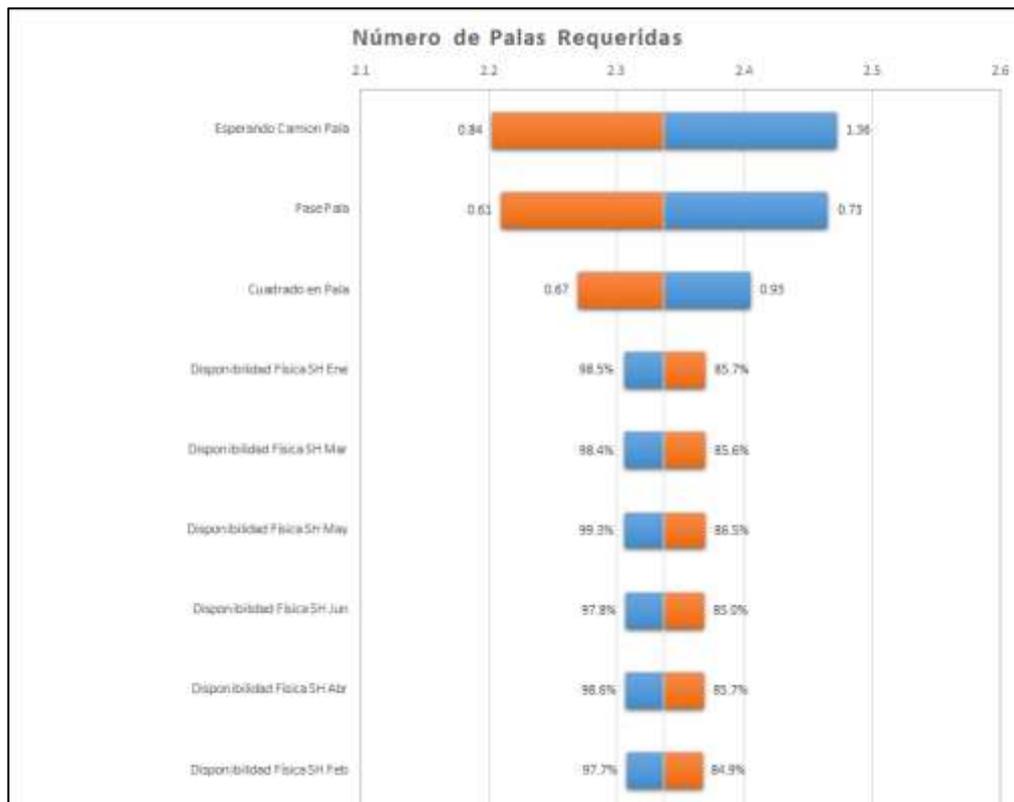


Tabla 36

Resultados Tornado Número de Palas Requeridas

Variable de entrada	Número de Palas Requeridas				Entrada		
	Hacia abajo	Hacia arriba	Rango	Explicación de variación ¹	Hacia abajo	Hacia arriba	Caso base
Esperando Camion Pala	2.2	2.5	0.3	40.49%	0.84	1.36	1.10
Pase Pala	2.2	2.5	0.3	76.81%	0.61	0.73	0.67
Cuadrado en Pala	2.3	2.4	0.1	86.94%	0.67	0.93	0.80
Disponibilidad Física SH Ene	2.4	2.3	0.1	89.16%	85.7%	98.5%	92.1%
Disponibilidad Física SH Mar	2.4	2.3	0.1	91.39%	85.6%	98.4%	92.0%
Disponibilidad Física SH May	2.4	2.3	0.1	93.61%	86.5%	99.3%	92.9%
Disponibilidad Física SH Jun	2.4	2.3	0.1	95.69%	85.0%	97.8%	91.4%
Disponibilidad Física SH Abr	2.4	2.3	0.1	97.77%	85.7%	98.6%	92.1%
Disponibilidad Física SH Feb	2.4	2.3	0.1	99.72%	84.9%	97.7%	91.3%
Traslados SH Lluvia	2.3	2.3	0.0	99.80%	29.00	41.00	35.00
Limpieza de Frente de Minado SH Lluvia	2.3	2.3	0.0	99.84%	16.00	24.00	20.00
Traslados SH Seca	2.3	2.3	0.0	99.87%	31.00	39.00	35.00
Limpieza de Frente de Minado SH Seca	2.3	2.3	0.0	99.91%	16.00	24.00	20.00
Refrigerio SH Lluvia	2.3	2.3	0.0	99.93%	72.24	77.76	75.00
Demora por Voladura SH Lluvia	2.3	2.3	0.0	99.94%	12.24	17.76	15.00
Refrigerio SH Seca	2.3	2.3	0.0	99.96%	72.24	77.76	75.00
Demora por Voladura SH Seca	2.3	2.3	0.0	99.98%	12.24	17.76	15.00
Stand-by (falta material, falta camión, operador) SH Lluvia	2.3	2.3	0.0	99.99%	6.60	11.40	9.00
Stand-by (falta material, falta camión, operador) SH Seca	2.3	2.3	0.0	100.00%	7.40	10.60	9.00
Cambio de Turno SH Seca	2.3	2.3	0.0	100.00%	7.17	8.83	8.00

La variable/supuesto que impacta en mayor medida al número de palas es el hang time o tiempo esperando camión en un 40.5%, el tiempo de pase relacionado a la productividad de la flota con 36%, la disponibilidad física en 13% y, finalmente el tiempo de cuadrado en un 10%. Con ello nuevamente la gestión del dispatcher es fundamental para asignar correctamente la flota de carguío y acarreo. Las Figuras 52 y Tabla 39 muestran el análisis por tornado y resultados.

Figura 56

Gráfico de tornado costo por tonelada por pala



Tabla 37

Resultados Tornado Costo por Tonelada Cargada Pala

Variable de entrada	Costo por Tonelada Cargada SH				Entrada		
	Mínimo	Máximo	Rango	Explicación de variación ¹	Mínimo	Máximo	Caso base
Esperando Camion Pala	0.16	0.18	0.02	46.58%	0.84	1.36	1.10
Pase Pala	0.16	0.18	0.02	88.36%	0.61	0.73	0.67
Cuadrado en Pala	0.16	0.17	0.01	100.00%	0.67	0.93	0.80

Como principal fuente de variación en el costo por tonelada cargada tenemos el tiempo esperando camión con un 46.6%, el tiempo de pase impacta en un 42% y el tiempo de cuadrado el 12% restante. En resumen, los costos están directamente relacionados con la productividad de la flota.

Figura 57

Gráfico de tornado productividad cargador frontal



Tabla 38

Resultados Tornado Productividad de Cargador Frontal

Variable de entrada	Productividad de Cargador Frontal				Entrada		
	Hacia abajo	Hacia arriba	Rango	Explicación de variación ¹	Hacia abajo	Hacia arriba	Caso base
Esperando Camión Cargador	2,117.7	1,701.6	416.1	73.21%	3.57	6.13	4.85
Pase Cargador	2,019.2	1,770.9	248.3	99.28%	0.87	1.13	1.00
Cuadrado en Cargador	1,907.7	1,866.6	41.1	100.00%	0.77	1.03	0.90

La previsión de productividad del cargador frontal, como en el caso de las palas eléctricas, depende fundamentalmente del tiempo esperando camión al 73% y el tiempo de pase y cuadrado en un 27%. El match cargador-camión es básico para asegurar la productividad. Por lo visto, se emplea el cargador frontal para hacer remanejo de Stockpile principalmente, lo que se traduce en subutilización. Existe la oportunidad de darle mayor uso en el tajo.

Figura 58

Gráfico de tornado número de cargadores frontales

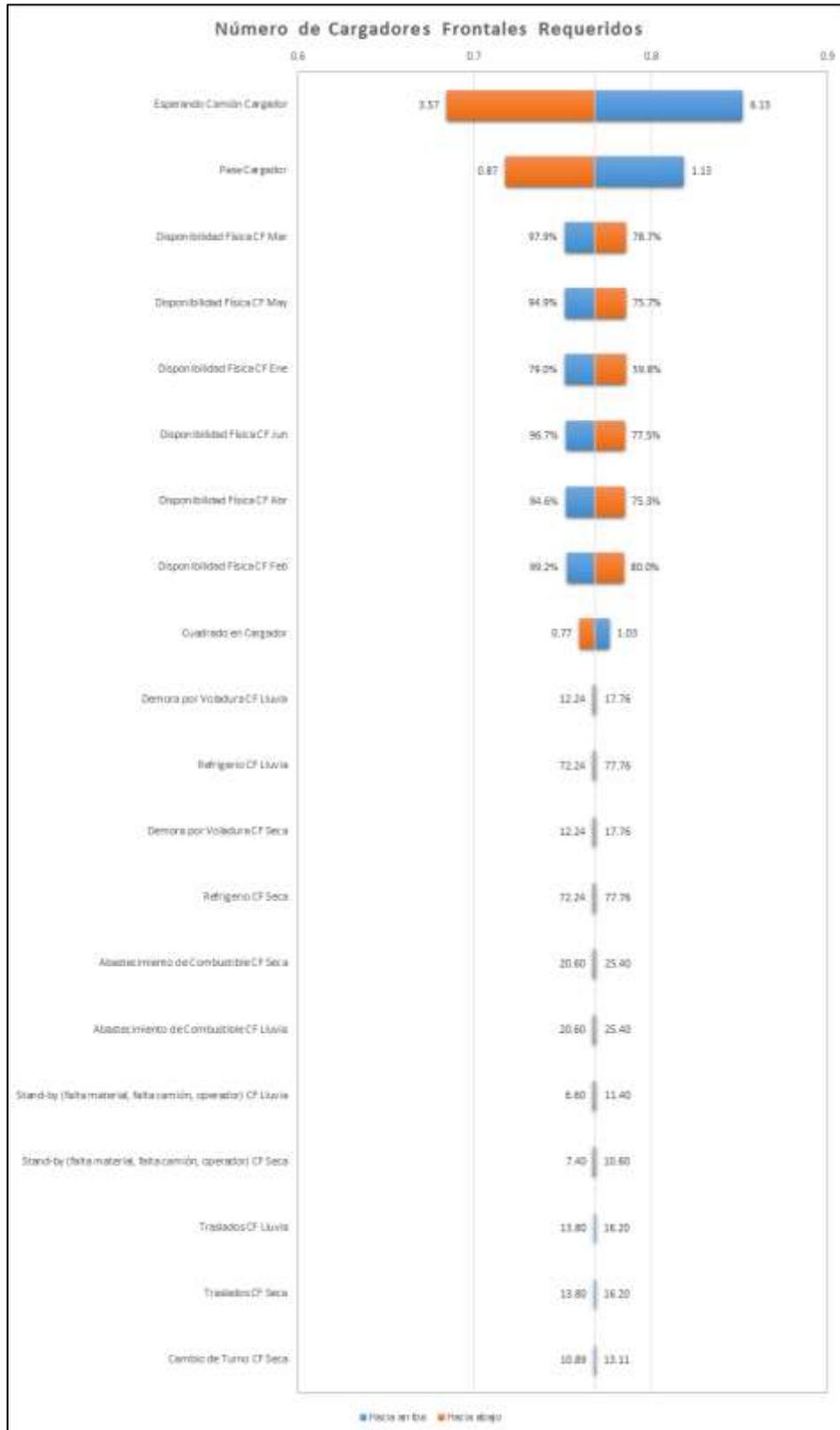


Tabla 39

Resultados Tornado Número de Cargadores Frontales Requeridos

Variable de entrada	Número de Cargadores Frontales Requeridos				Entrada		
	Hacia abajo	Hacia arriba	Rango	Explicación de variación ¹	Hacia abajo	Hacia arriba	Caso base
Esperando Camión Cargador	0.7	0.9	0.2	61.93%	3.57	6.13	4.85
Pase Cargador	0.7	0.8	0.1	84.32%	0.87	1.13	1.00
Disponibilidad Física CF Mar	0.8	0.8	0.0	86.93%	78.7%	97.9%	88.3%
Disponibilidad Física CF May	0.8	0.8	0.0	89.54%	75.7%	94.9%	85.3%
Disponibilidad Física CF Ene	0.8	0.8	0.0	92.15%	59.8%	79.0%	69.4%
Disponibilidad Física CF Jun	0.8	0.8	0.0	94.59%	77.5%	96.7%	87.1%
Disponibilidad Física CF Abr	0.8	0.8	0.0	97.03%	75.3%	94.6%	85.0%
Disponibilidad Física CF Feb	0.8	0.8	0.0	99.31%	80.0%	99.2%	89.6%
Cuadrado en Cargador	0.8	0.8	0.0	99.93%	0.77	1.03	0.90
Demora por Voladura CF Lluvia	0.8	0.8	0.0	99.94%	12.24	17.76	15.00
Refrigerio CF Lluvia	0.8	0.8	0.0	99.95%	72.24	77.76	75.00
Demora por Voladura CF Seca	0.8	0.8	0.0	99.96%	12.24	17.76	15.00
Refrigerio CF Seca	0.8	0.8	0.0	99.97%	72.24	77.76	75.00
Abastecimiento de Combustible CF Seca	0.8	0.8	0.0	99.98%	20.60	25.40	23.00
Abastecimiento de Combustible CF Lluvia	0.8	0.8	0.0	99.98%	20.60	25.40	23.00
Stand-by (falta material, falta camión, operador) CF Lluvia	0.8	0.8	0.0	99.99%	6.60	11.40	9.00
Stand-by (falta material, falta camión, operador) CF Seca	0.8	0.8	0.0	99.99%	7.40	10.60	9.00
Traslados CF Lluvia	0.8	0.8	0.0	99.99%	13.80	16.20	15.00
Traslados CF Seca	0.8	0.8	0.0	100.00%	13.80	16.20	15.00
Cambio de Turno CF Seca	0.8	0.8	0.0	100.00%	10.89	13.11	12.00

La variable/supuesto que impacta en mayor medida al número de cargadores frontales es el tiempo esperando camión con un 62%, tiempo de pase 23% y por la disponibilidad física en 15%. Por lo que se ha evidenciado el único cargador frontal en mina es suficiente, sin embargo, existe la posibilidad de incrementar sus horas de trabajo ya que por ahora se utiliza en remanejo de mineral del stockpile hacia la chancadora.

Figura 59

Gráfico de costo por tonelada cargada



Tabla 40*Resultados Tornado Costo por Tonelada Cargada por Cargador Frontal*

Variable de entrada	Costo por Tonelada Cargada CF				Entrada		
	Mínimo	Máximo	Rango	Explicación de variación ¹	Mínimo	Máximo	Caso base
Esperando Camión Cargador	0.15	0.19	0.04	72.91%	3.57	6.13	4.85
Pase Cargador	0.16	0.18	0.02	99.27%	0.87	1.13	1.00
Cuadrado en Cargador	0.17	0.17	0.00	100.00%	0.77	1.03	0.90

Al igual que en la productividad, la principal fuente de variación en el costo por tonelada cargada por cargador frontal es el tiempo esperando camión con un 73% y el tiempo de pase afecta un 26%. Los costos están directamente relacionados con la productividad de la flota por ello la importancia de asignar los camiones necesarios para maximizar la productividad de este equipo.

4.4.3 Interpretación de Resultados en Acarreo

Se analiza a través de un gráfico de tornado el impacto de cada parámetro/suposición en la previsión o pronóstico.

Figura 60

Gráfico de tornado productividad de camiones

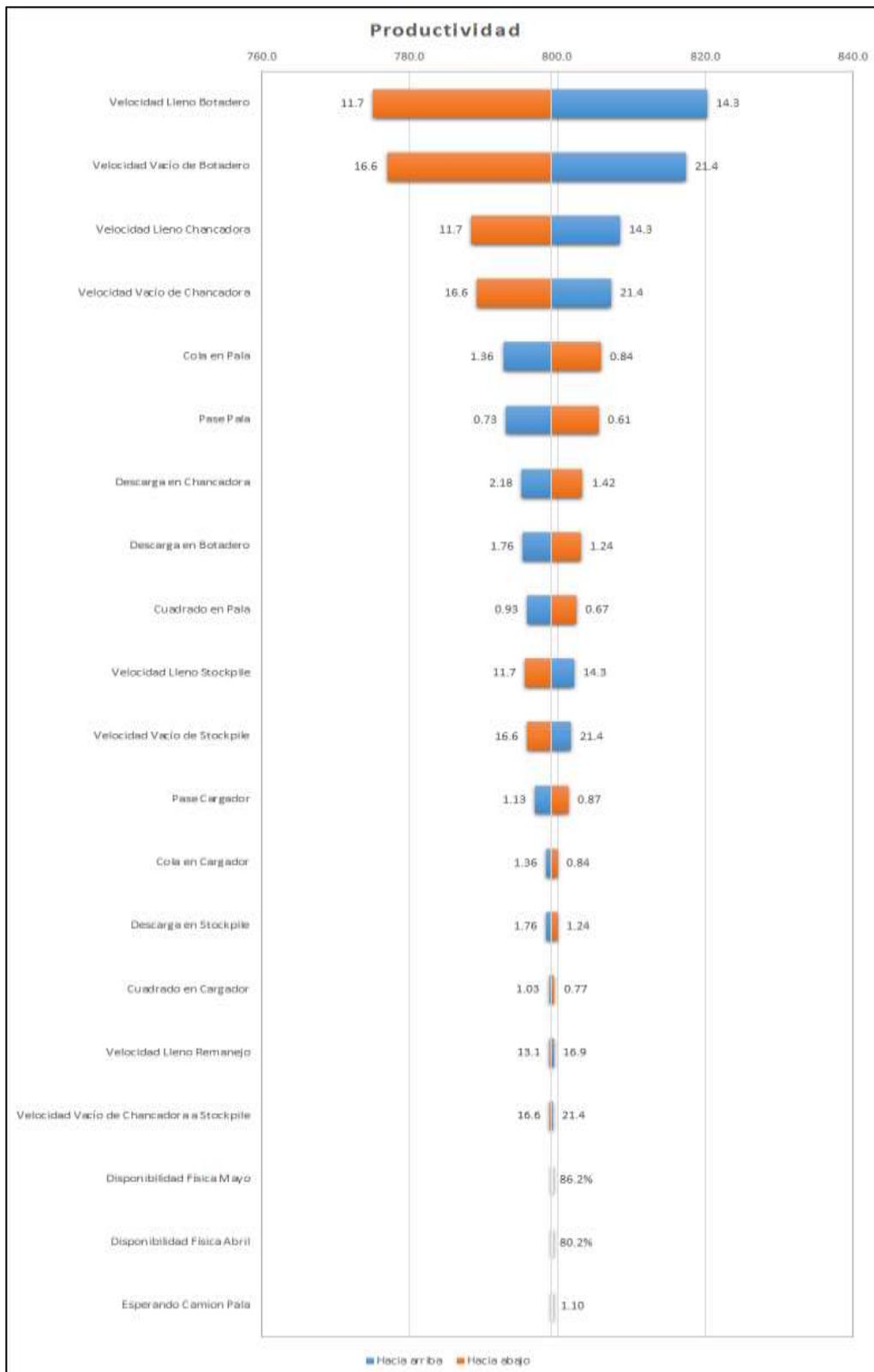


Tabla 41*Resultados Productividad de Camiones*

Variable de entrada	Productividad				Entrada		
	Hacia abajo	Hacia arriba	Rango	Explicación de variación ¹	Hacia abajo	Hacia arriba	Caso base
Velocidad Lleno Botadero	775.0	820.3	45.2	40.73%	11.7	14.3	13.0
Velocidad Vacío de Botadero	776.9	817.4	40.5	73.32%	16.6	21.4	19.0
Velocidad Lleno Chancadora	788.3	808.4	20.1	81.38%	11.7	14.3	13.0
Velocidad Vacío de Chancadora	789.2	807.2	18.0	87.85%	16.6	21.4	19.0
Cola en Pala	805.9	792.7	13.3	91.35%	0.84	1.36	1.10
Pase Pala	805.6	793.0	12.6	94.49%	0.61	0.73	0.67
Descarga en Chancadora	803.4	795.1	8.3	95.84%	1.42	2.18	1.80
Descarga en Botadero	803.2	795.3	7.8	97.06%	1.24	1.76	1.50
Cuadrado en Pala	802.6	795.9	6.6	97.94%	0.67	0.93	0.80
Velocidad Lleno Stockpile	795.6	802.2	6.6	98.80%	11.7	14.3	13.0
Velocidad Vacío de Stockpile	795.9	801.8	5.9	99.49%	16.6	21.4	19.0
Pase Cargador	801.5	797.0	4.5	99.90%	0.87	1.13	1.00
Cola en Cargador	800.0	798.5	1.5	99.94%	0.84	1.36	1.10
Descarga en Stockpile	799.9	798.5	1.4	99.98%	1.24	1.76	1.50
Cuadrado en Cargador	799.6	798.9	0.7	99.99%	0.77	1.03	0.90
Velocidad Lleno Remanejo	798.9	799.5	0.5	100.00%	13.1	16.9	15.0
Velocidad Vacío de Chancadora a Stockpile	799.0	799.4	0.4	100.00%	16.6	21.4	19.0

A partir del análisis de tornado, la velocidad de los camiones explica cerca del 90% de la variación en la productividad de la flota. El 10% restante se distribuye entre los tiempos de carguío, cola, cuadrado y descarga. En ese sentido, las vías de acarreo deben mantenerse en excelentes condiciones para no tener mayor variación en la velocidad. Por ello, el equipo de Servicios Auxiliares debe asegurar el buen estado de las vías, frentes de carguío y descarga en botaderos, chancadora y stockpiles. Es importante contar con material adecuado de cantera para el lastrado de vías.

Por otro lado, un sistema de gestión de flota y la capacitación continua de los operadores de equipos de carguío y acarreo, ayudan a reducir tiempos perdidos dentro del ciclo, incrementando la productividad.

En el frente de carguío es primordial mantener una distancia de puentes de alimentación eléctrica hacia la pala de 25 m. facilitando que los camiones hagan la maniobra de retroceso mejorando el tiempo de cuadrado.

Figura 61

Gráfico de tornado número de camiones requeridos

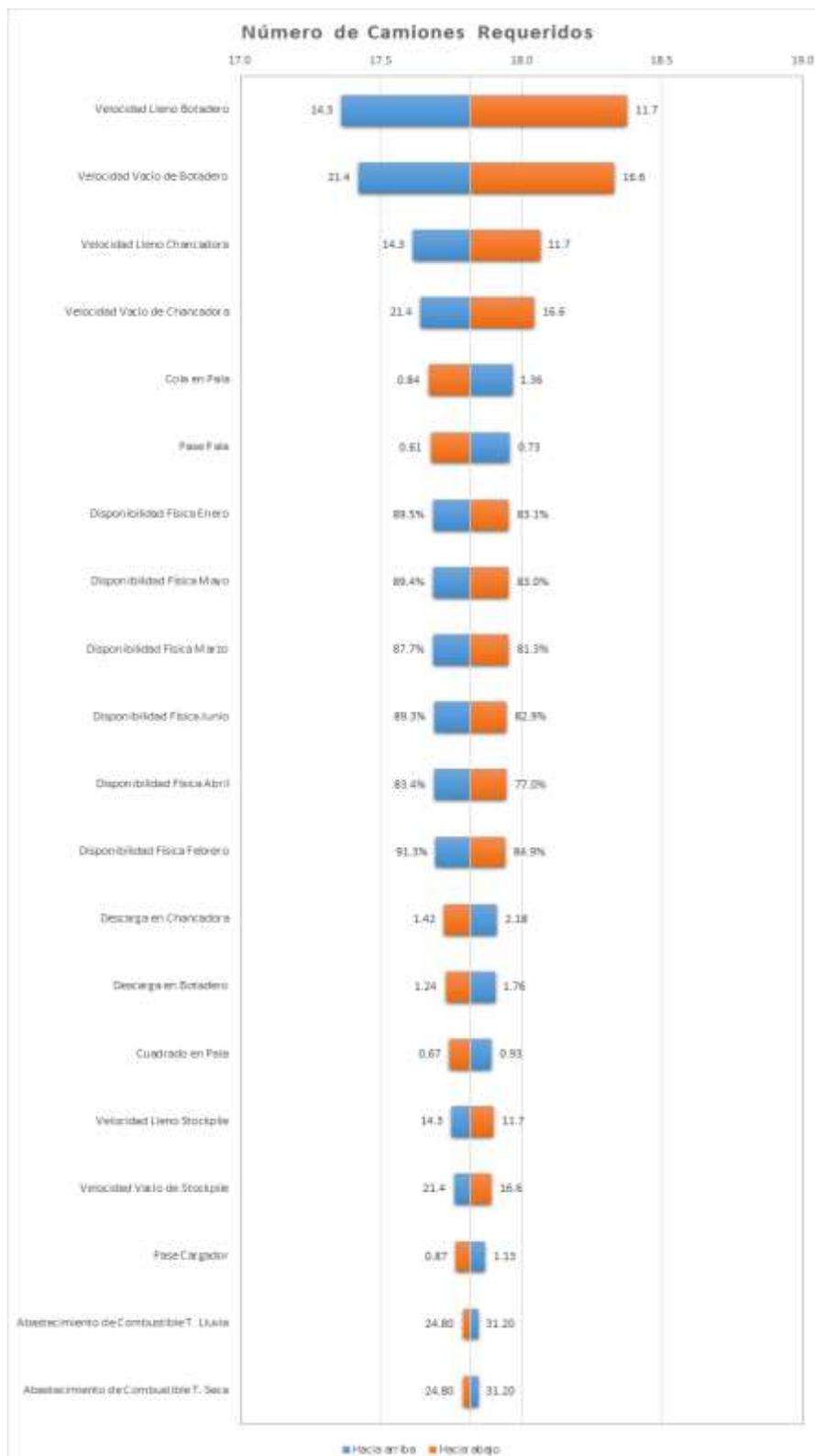


Tabla 42

Resultados Tornado Número de Camiones Requeridos

Variable de entrada	Número de Camiones Requeridos				Entrada		
	Hacia abajo	Hacia arriba	Rango	Explicación de variación ¹	Hacia abajo	Hacia arriba	Caso base
Velocidad Lleno Botadero	18.4	17.4	1.0	35.02%	11.7	14.3	13.0
Velocidad Vacío de Botadero	18.3	17.4	0.9	63.10%	16.6	21.4	19.0
Velocidad Lleno Chancadora	18.1	17.6	0.5	70.00%	11.7	14.3	13.0
Velocidad Vacío de Chancadora	18.0	17.6	0.4	75.54%	16.6	21.4	19.0
Cola en Pala	17.7	18.0	0.3	78.52%	0.84	1.36	1.10
Pase Pala	17.7	18.0	0.3	81.19%	0.61	0.73	0.67
Disponibilidad Física Enero	18.0	17.7	0.3	83.56%	83.1%	89.5%	86.3%
Disponibilidad Física Mayo	18.0	17.7	0.3	85.94%	83.0%	89.4%	86.2%
Disponibilidad Física Marzo	18.0	17.7	0.3	88.32%	81.3%	87.7%	84.5%
Disponibilidad Física Junio	17.9	17.7	0.3	90.54%	82.9%	89.3%	86.1%
Disponibilidad Física Abril	17.9	17.7	0.3	92.77%	77.0%	83.4%	80.2%
Disponibilidad Física Febrero	17.9	17.7	0.2	94.85%	84.9%	91.3%	88.1%
Descarga en Chancadora	17.7	17.9	0.2	96.01%	1.42	2.18	1.80
Descarga en Botadero	17.7	17.9	0.2	97.04%	1.24	1.76	1.50
Cuadrado en Pala	17.7	17.9	0.1	97.79%	0.67	0.93	0.80
Velocidad Lleno Stockpile	17.9	17.8	0.1	98.53%	11.7	14.3	13.0
Velocidad Vacío de Stockpile	17.9	17.8	0.1	99.12%	16.6	21.4	19.0
Pase Cargador	17.8	17.9	0.1	99.46%	0.87	1.13	1.00
Abastecimiento de Combustible T. Lluvia	17.8	17.8	0.1	99.56%	24.80	31.20	28.00
Abastecimiento de Combustible T. Seca	17.8	17.8	0.1	99.65%	24.80	31.20	28.00

La previsión del número de camiones se ve impactado por la velocidad en un 77%, la disponibilidad física explica un 13% de variación y los tiempos de carguío, cola, cuadrado, descarga explican el 10% restante. Nuevamente, cabe resaltar la importancia del mantenimiento de vías, principalmente, en las horas de descanso/refrigerio para evitar horas de parada de flota.

La asignación dinámica de los camiones con el soporte de un FMS nos ayuda a distribuir de manera óptima la flota disponible con las restricciones propias de la operación.

Figura 62

Gráfico de tornado costo por tonelada transportada

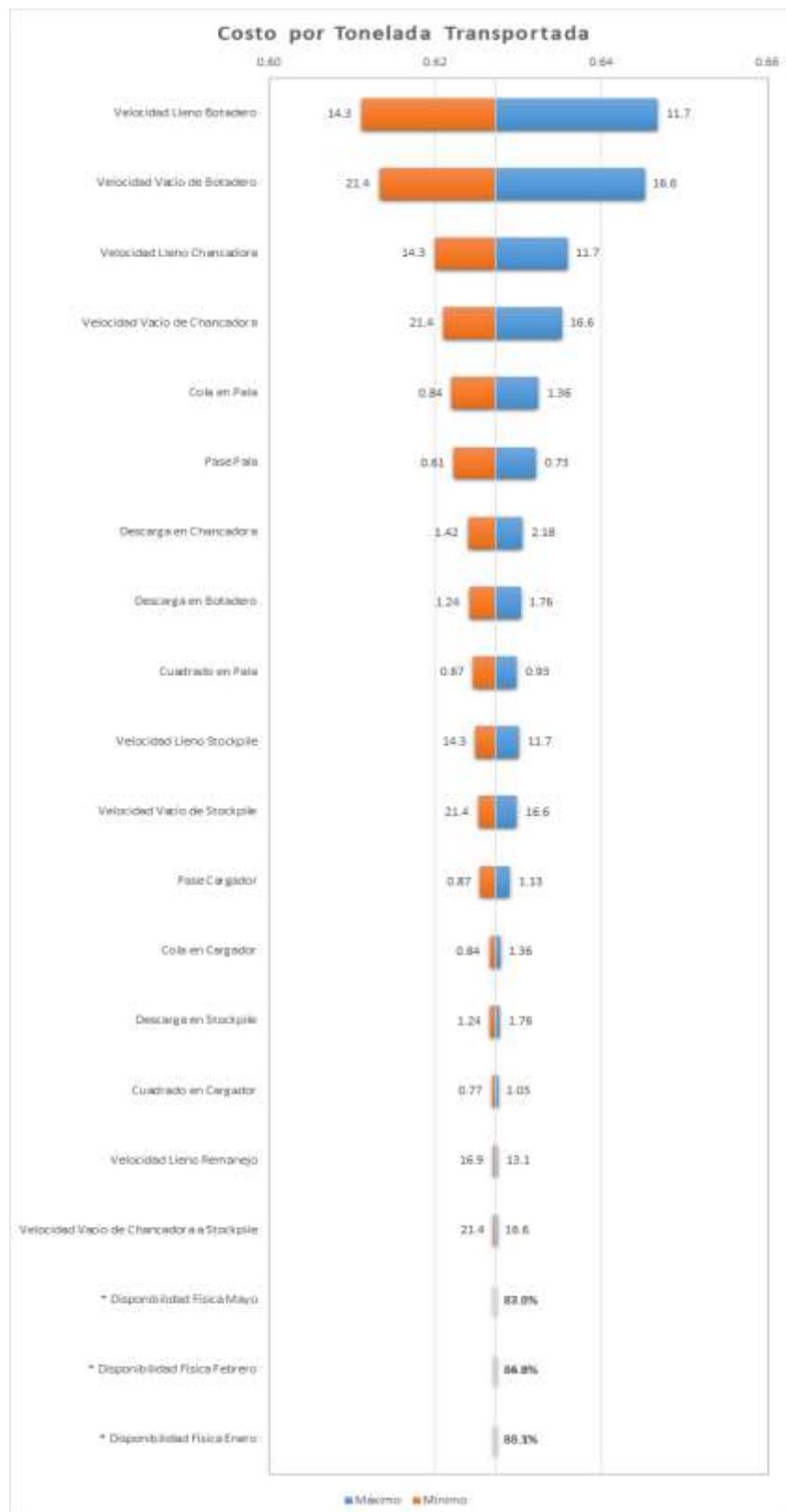


Tabla 43*Resultados Tornado Costo por Tonelada Transportada*

Variable de entrada	Costo por Tonelada Transportada				Entrada		
	Mínimo	Máximo	Rango	Explicación de variación ¹	Mínimo	Máximo	Caso base
Velocidad Lleno Botadero	0.61	0.65	0.04	40.77%	14.3	11.7	13.0
Velocidad Vacío de Botadero	0.61	0.65	0.03	73.47%	21.4	16.6	19.0
Velocidad Lleno Chancadora	0.62	0.64	0.02	81.50%	14.3	11.7	13.0
Velocidad Vacío de Chancadora	0.62	0.64	0.01	87.95%	21.4	16.6	19.0
Cola en Pala	0.62	0.63	0.01	91.42%	0.84	1.36	1.10
Pase Pala	0.62	0.63	0.01	94.53%	0.61	0.73	0.67
Descarga en Chancadora	0.62	0.63	0.01	95.88%	1.42	2.18	1.80
Descarga en Botadero	0.62	0.63	0.01	97.09%	1.24	1.76	1.50
Cuadrado en Pala	0.62	0.63	0.01	97.95%	0.67	0.93	0.80
Velocidad Lleno Stockpile	0.62	0.63	0.01	98.81%	14.3	11.7	13.0
Velocidad Vacío de Stockpile	0.63	0.63	0.00	99.50%	21.4	16.6	19.0
Pase Cargador	0.63	0.63	0.00	99.90%	0.87	1.13	1.00
Cola en Cargador	0.63	0.63	0.00	99.94%	0.84	1.36	1.10
Descarga en Stockpile	0.63	0.63	0.00	99.98%	1.24	1.76	1.50
Cuadrado en Cargador	0.63	0.63	0.00	99.99%	0.77	1.03	0.90
Velocidad Lleno Remanejo	0.63	0.63	0.00	100.00%	16.9	13.1	15.0
Velocidad Vacío de Chancadora a Stockpile	0.63	0.63	0.00	100.00%	21.4	16.6	19.0

La principal fuente de variación en el costo por tonelada transportada es la velocidad con un 90% y el 10% restante se explica por los tiempos de carguío, cola, cuadrado y descarga. Por ello, el sistema de gestión de flota debe optimizar la asignación de camiones a los frentes de carguío y el Jefe de Guardia evaluar las condiciones operativas durante todo el turno.

4.5 Resultados Caso Mejorado

4.5.1 Resultados en Perforación

Luego de haber revisado la interpretación de resultados en Perforación del caso base, se hicieron ajustes a los parámetros/suposiciones velocidad de penetración para mineral y desmonte 1 y 2. Se incrementó en 2.5% la media.

Figura 63

Distribución ajustada de velocidad de penetración mineral tipo 1

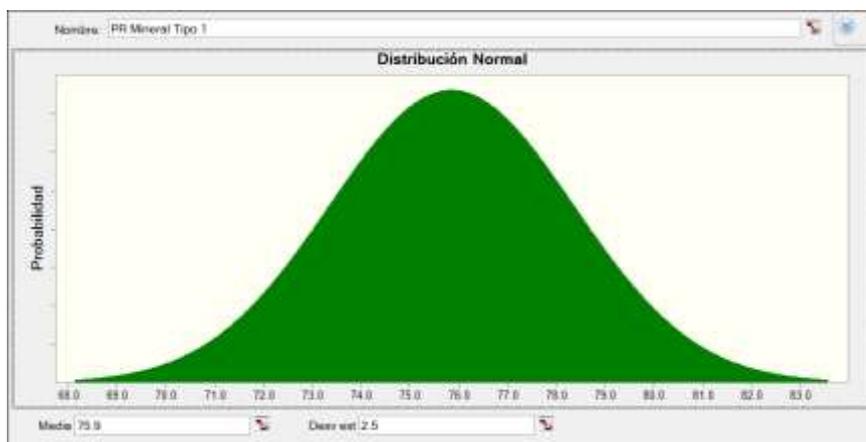


Figura 64

Distribución ajustada de velocidad de penetración mineral tipo 2

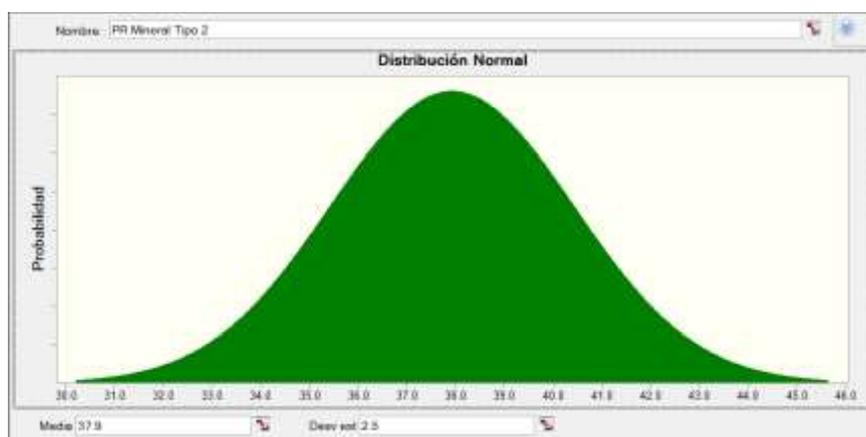


Figura 65

Distribución ajustada de velocidad de penetración desmonte tipo 1

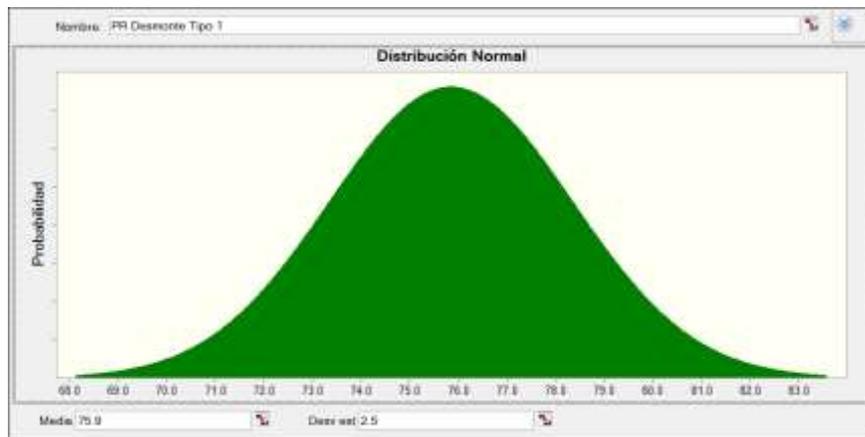
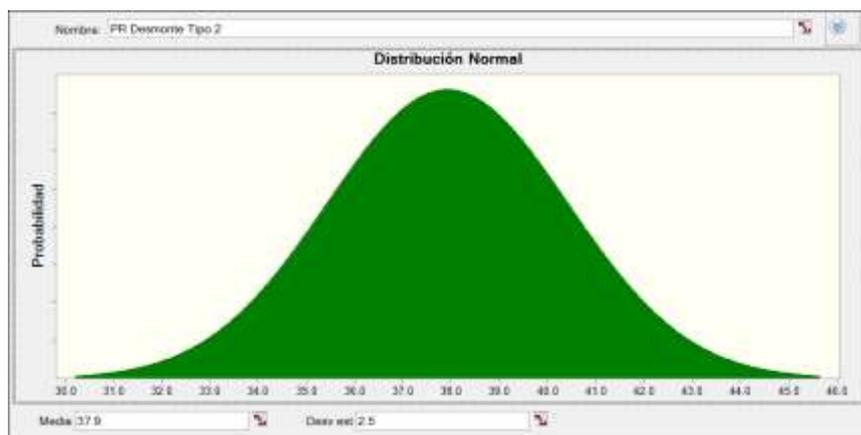


Figura 66

Distribución ajustada de velocidad de penetración desmonte tipo 2



En cuanto a las previsiones o pronósticos obtenidos con las suposiciones antes ajustadas vemos lo siguiente:

La productividad de las perforadoras por encima de 40 m/hr subió a **90.3%** de certeza respecto al 69.02% del caso base.

Figura 67

Gráfico de resultados de velocidad de penetración mejorada

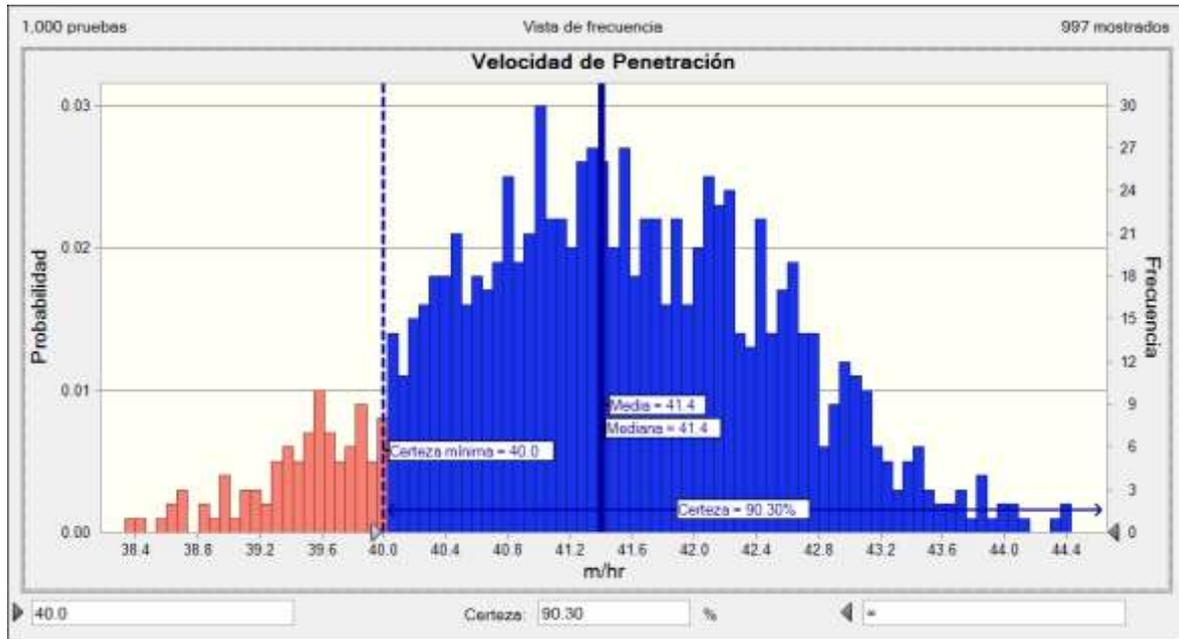


Tabla 44

Velocidad de Penetración Mejorada

Estadístico	Valores de previsión
► Pruebas	1,000
Caso base	40.7
Media	41.4
Mediana	41.4
Modo	—
Desviación estándar	1.1
Varianza	1.2
Seago	-0.0103
Curtosis	2.82
Coefficiente de variación	0.0268
Mínimo	38.2
Máximo	45.0
Error estándar medio	0.0

El número de perforadoras, como se indicó en el caso base, no es crítico, ya que se tienen 3 equipos en la unidad minera.

Respecto al costo por metro perforado debajo de 17.5 USD/m, se incrementa la certeza a **92.24%** con relación al caso base de 72.41%.

Figura 68

Gráfico de resultados de costo por metro perforado mejorado

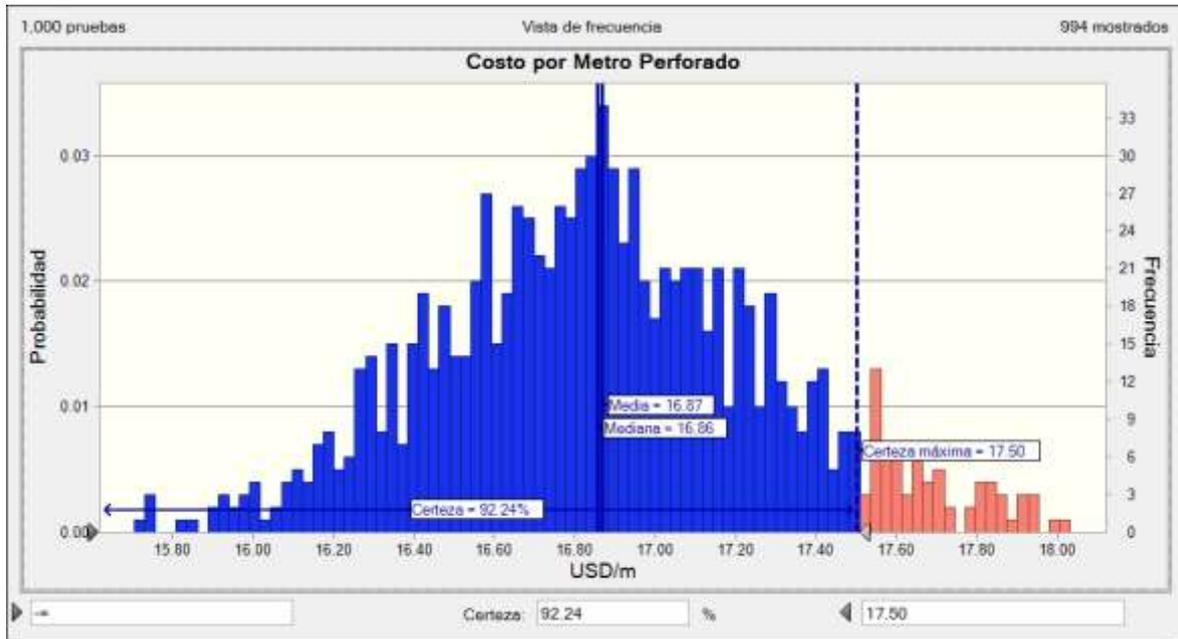


Tabla 45

Costo por Metro Perforado Mejorado

Estadística	Valores de previsión
► Pruebas	1,000
Caso base	17.18
Media	16.87
Mediana	16.86
Modo	---
Desviación estándar	0.43
Varianza	0.18
Sesgo	0.1400
Curtosis	3.04
Coficiente de variación	0.0252
Mínimo	15.61
Máximo	18.17
Error estándar medio	0.01

4.5.2 Resultados en Carguío

Luego de haber revisado la interpretación de resultados en Carguío a partir del caso base, se hicieron ajustes a los parámetros Tiempo Esperando Camión en Pala y Cargador (5%), así como el Tiempo de Pase de Pala y Cargador (3%).

Figura 69

Distribución ajustada del tiempo esperando camión en pala

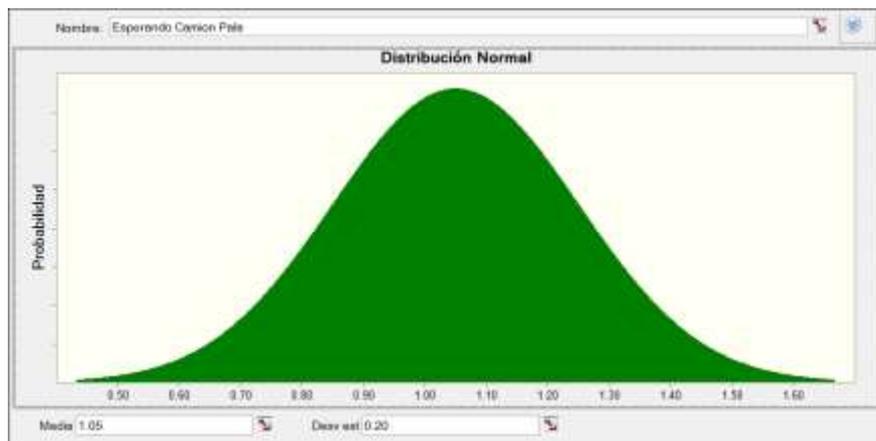


Figura 70

Distribución ajustada del tiempo esperando camión en cargador

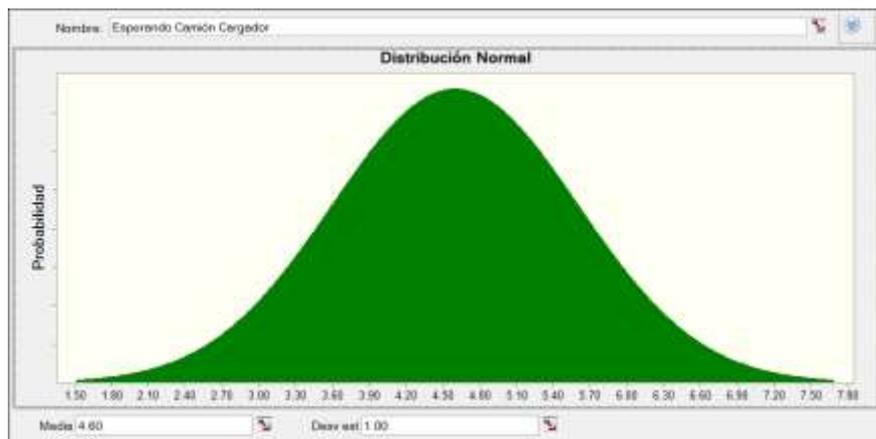


Figura 71

Distribución ajustada del tiempo de pase en pala

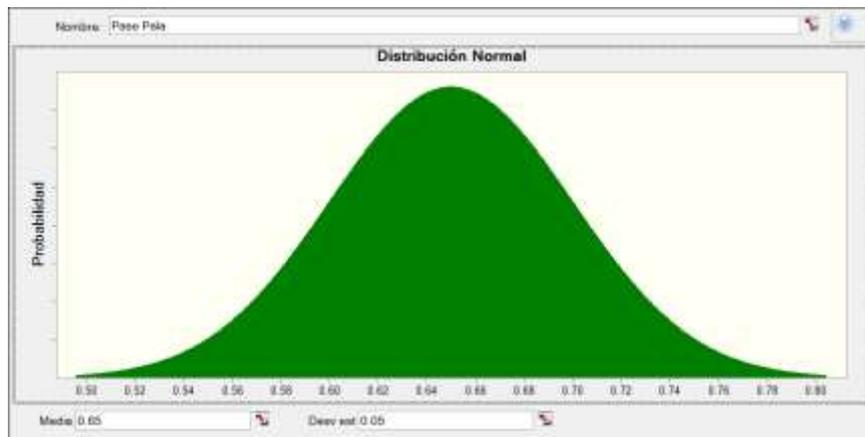
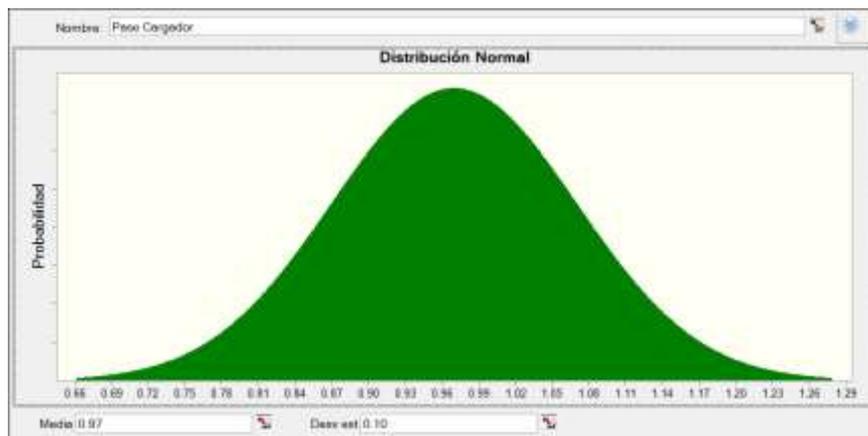


Figura 72

Distribución ajustada del tiempo de pase en cargador



En cuanto a las previsiones o pronósticos obtenidos con las suposiciones antes ajustadas obtuvimos lo siguiente. La productividad de las palas por encima de 4,900 TM/hr subió de 63.15% en el caso base a **76.61%** de certeza.

Figura 73

Gráfico de resultados de productividad de palas mejoradas

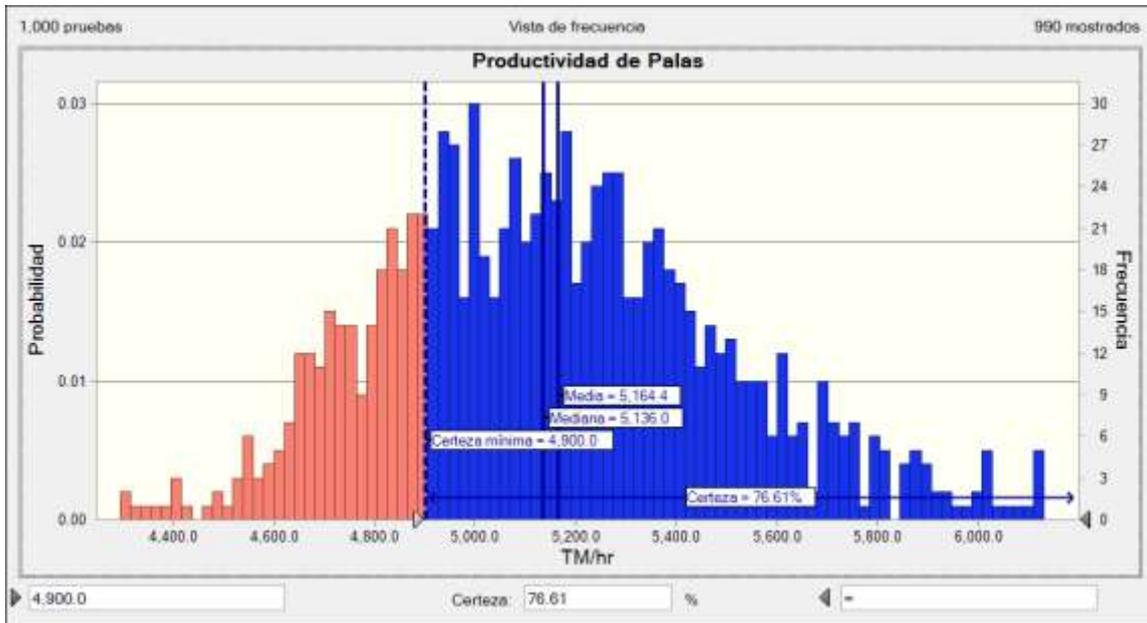


Tabla 46

Productividad de Palas Mejoradas

Estadística	Valores de previsión
Pruebas	1,000
Caso base	5,001.3
Medio	5,164.4
Mediana	5,136.0
Modo	---
Desviación estándar	352.4
Varianza	124,200.4
Sesgo	0.4896
Curtois	3.19
Coefficiente de variación	0.0682
Mínimo	4,294.0
Máximo	6,298.7
Error estándar medio	11.1

El número de palas, como se indicó en el caso base, no es crítico, ya que se tienen 3 equipos en la unidad minera.

Respecto al costo por tonelada cargada por debajo de 0.18 USD/TM, con los ajustes alcanzó **86.84%** de certeza en comparación al caso base de 76.49%.

Figura 74

Gráfico de resultados de costo por tonelada cargada en pala mejorado

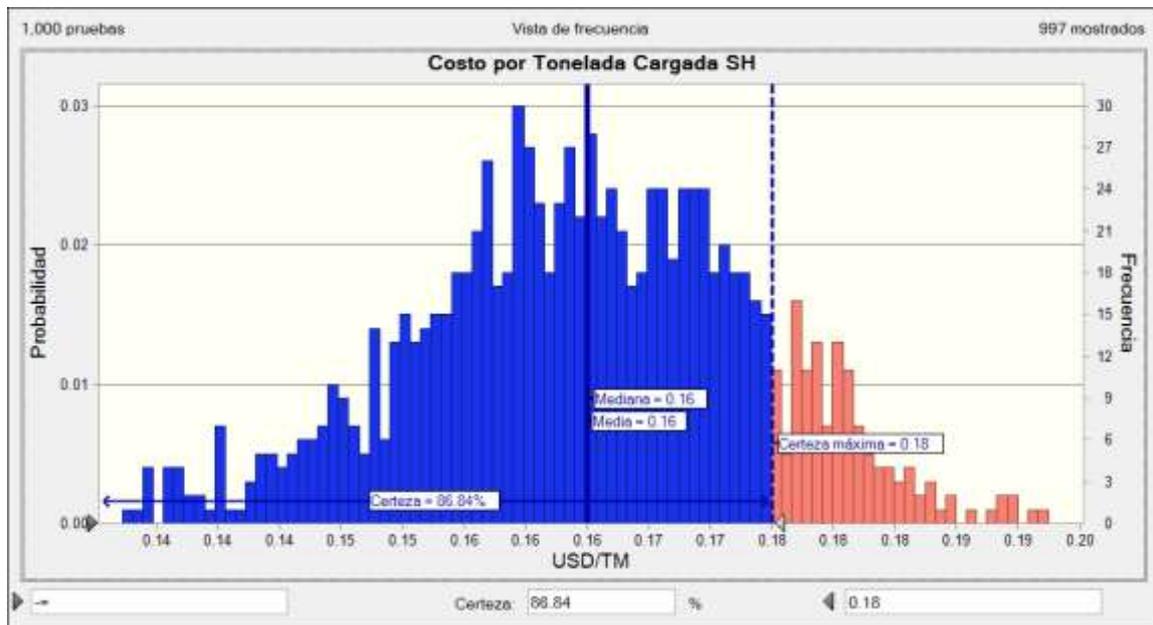


Tabla 47

Costo por Tonelada Cargada en Pala Mejorada

Estadística	Valores de previsión
► Pruebas	1,000
Caso base	0.17
Medio	0.16
Mediana	0.16
Modo	---
Desviación estándar	0.01
Varianza	0.00
Sesgo	-0.1036
Curtosis	2.90
Coefficiente de variación	0.0869
Mínimo	0.13
Máximo	0.20
Error estándar medio	0.00

La productividad del cargador frontal por encima de 1,800 TM/hr subió de 67.42% en el caso base a **79.75%** de certeza.

Figura 75

Gráfico de resultados de productividad de cargador frontal mejorada

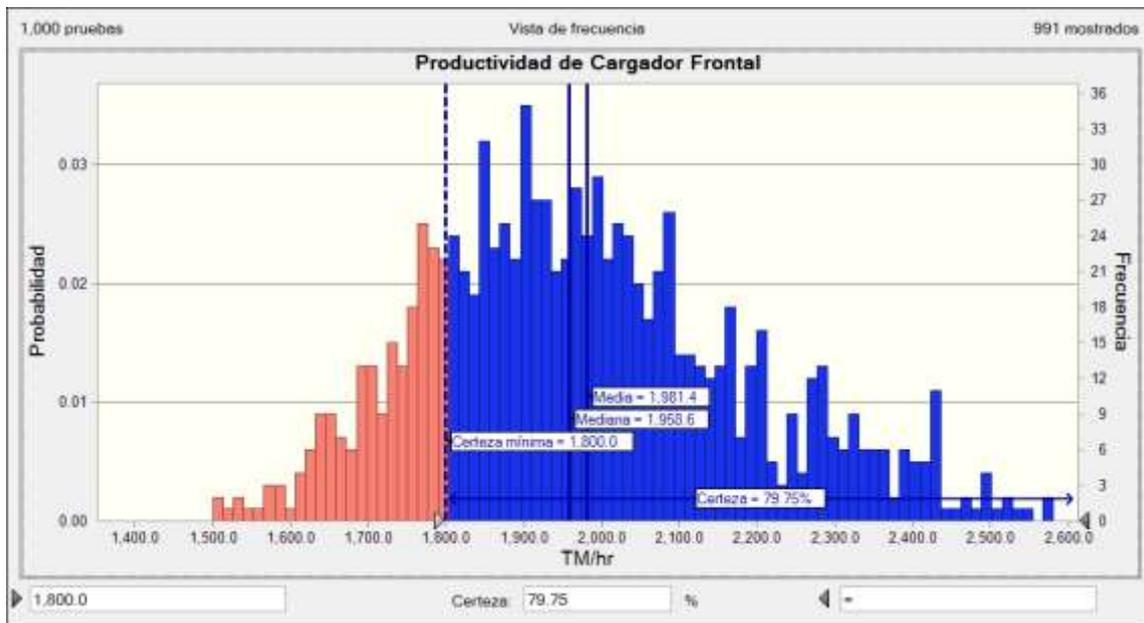


Tabla 48

Productividad de Cargador Frontal Mejorado

Estadística	Valores de previsión
► Pruebas	1,000
Caso base	1,886.9
Media	1,981.4
Mediana	1,958.6
Modo	---
Desviación estándar	214.1
Varianza	45,833.0
Sesgo	0.6047
Curtosis	3.48
Coefficiente de variación	0.1080
Mínimo	1,359.8
Máximo	2,915.1
Error estándar medio	6.8

El único cargador frontal está bien dimensionado, ya que el plan de minado no excede de 1 equipo en todos los casos simulados.

Respecto al costo por tonelada cargada por debajo de 0.18 USD/TM, con los ajustes alcanzó **85.99%** de certeza con relación al caso base de 74.26%.

Figura 76

Gráfico de resultados de costo por tonelada cargada en cargador frontal mejorado

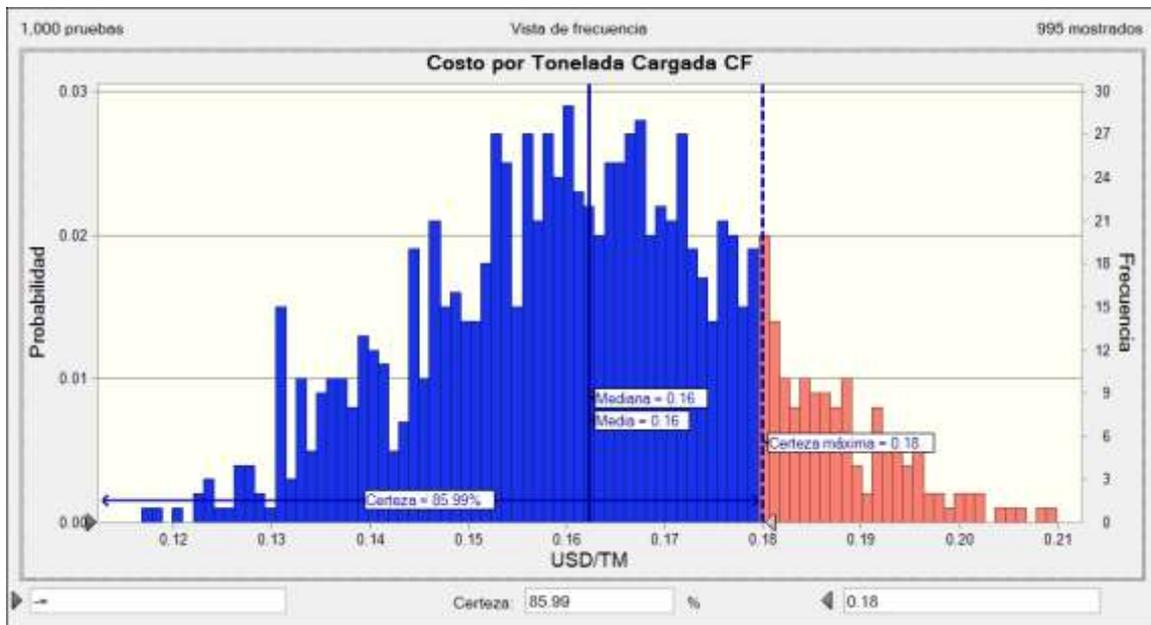


Tabla 49

Costo por Tonelada Cargada en Cargador Frontal Mejorado

Estadística	Valores de previsión
Pruebas	1,000
Caso base	0.17
Medio	0.16
Mediana	0.16
Modo	—
Desviación estándar	0.02
Varianza	0.00
Seago	0.0328
Curtosis	3.04
Coefficiente de variación	0.1048
Mínimo	0.11
Máximo	0.23
Error estándar medio	0.00

4.5.3 Resultados en Acarreo

Luego de haber revisado la interpretación de resultados en Acarreo a partir del caso base, se hicieron ajustes a los parámetros Velocidad Lleno y Vacío a Chancadora y Botadero (2.5%).

Figura 77

Distribución ajustada de velocidad lleno a chancadora

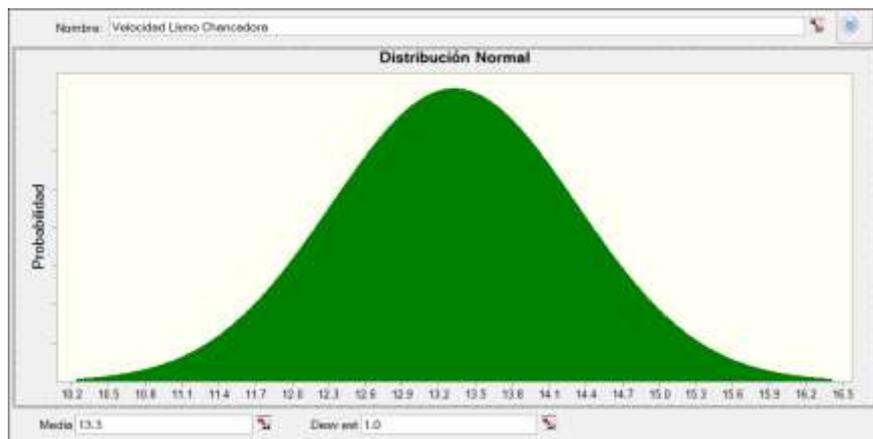


Figura 78

Distribución ajustada de velocidad lleno a botadero

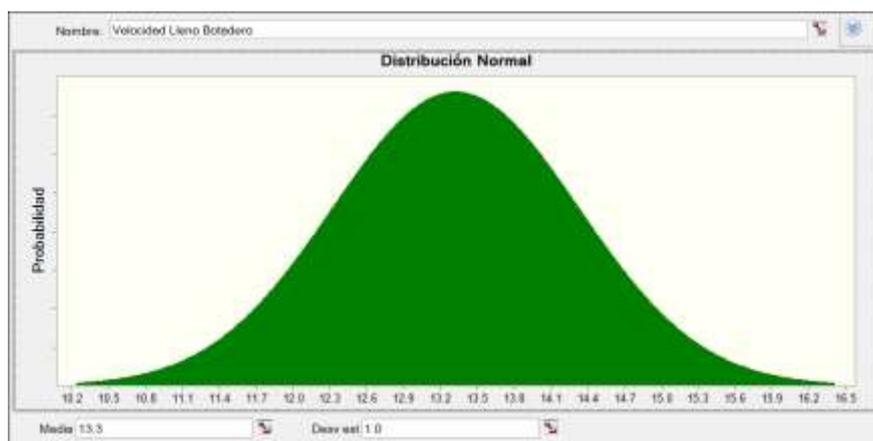


Figura 79

Distribución ajustada de velocidad vacío de chancadora

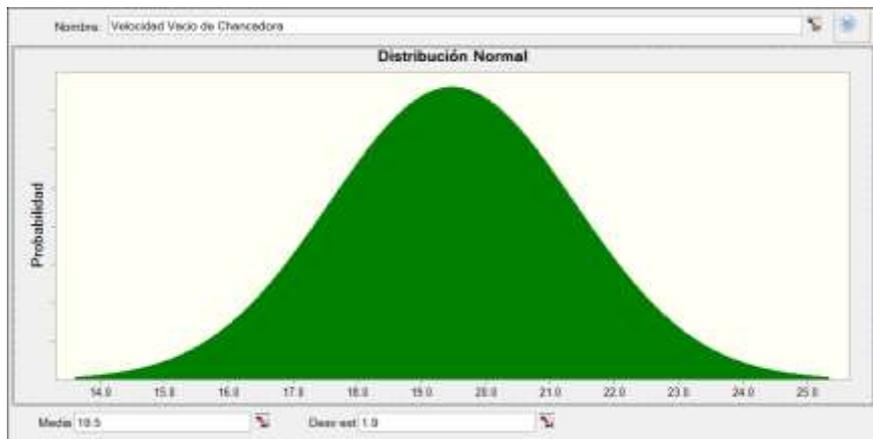
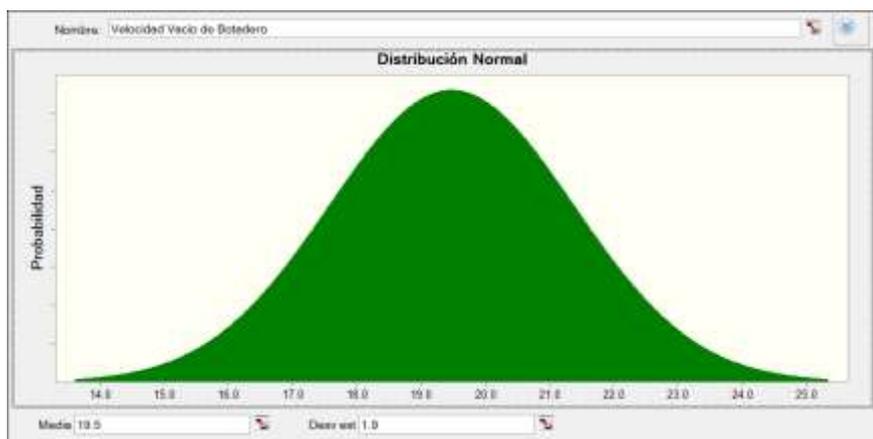


Figura 80

Distribución ajustada de velocidad vacío de botadero



En cuanto a las previsiones o pronósticos obtenidos con las suposiciones antes ajustadas obtuvimos lo siguiente:

La productividad de camiones superior a 780 TM/hr subió de 72.01% en el caso base a **86.76%** de certeza.

Figura 81

Gráfico de resultados de productividad de camiones mejorado

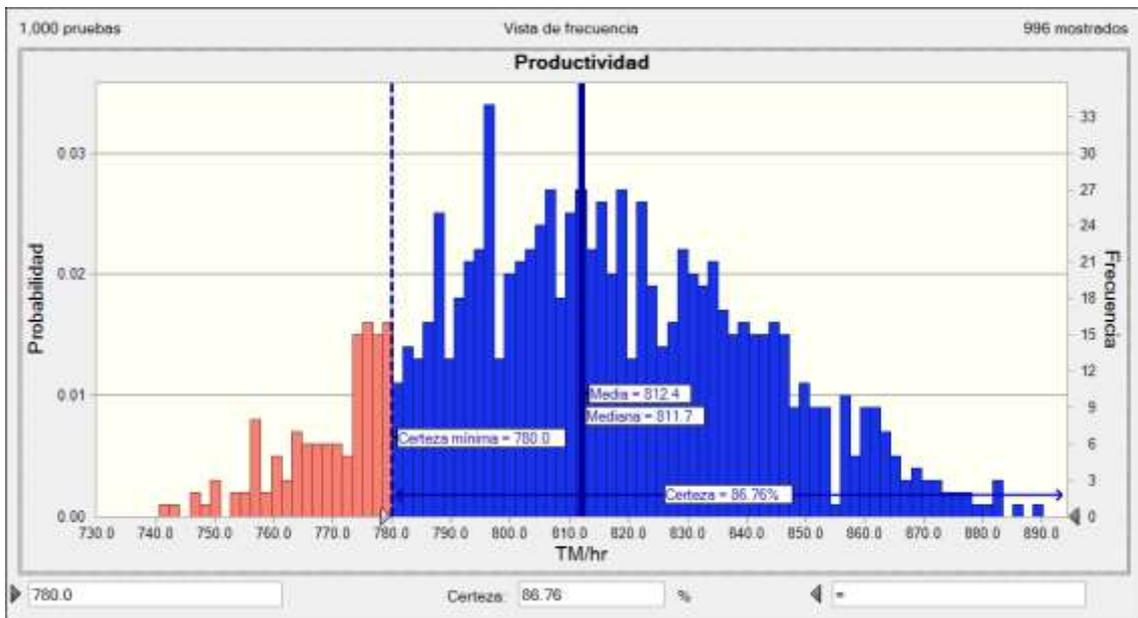


Tabla 50

Productividad de Camiones Mejorado

Estadística	Valores de previsión
Pruebas	1,000
Caso base	799.2
Medio	812.4
Mediana	811.7
Modo	—
Desviación estándar	28.1
Varianza	791.0
Seego	0.0074
Curtosis	2.76
Coefficiente de variación	0.0348
Mínimo	716.1
Máximo	890.3
Error estándar medio	0.9

El pronóstico de camiones, por debajo de 19 unidades, alcanzó un nivel de certeza de **98.15%**, mejorando respecto al caso base de 94.14%.

Figura 82

Gráfico de resultados de número de camiones mejorado

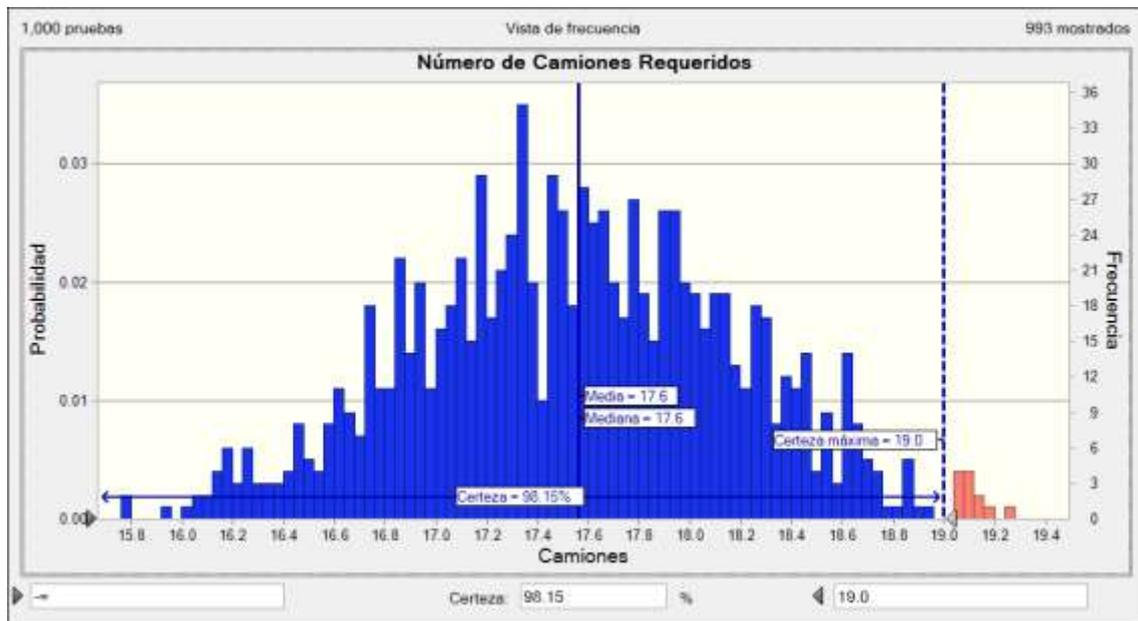


Tabla 51

Número de Camiones Mejorado

Estadística	Valores de previsión
Pruebas	1,000
Caso base	17.8
Media	17.6
Mediana	17.6
Moda	---
Desviación estándar	0.7
Varianza	0.4
Sesgo	0.1583
Curtois	3.10
Coefficiente de variación	0.0373
Mínimo	15.8
Máximo	20.1
Error estándar medio	0.0

Respecto al costo por tonelada transportada por debajo de 0.64 USD/TM, con los ajustes alcanzó **84.76%** de certeza con relación al caso base de 67.19%.

Figura 83

Gráfico de resultados de costo por tonelada transportada mejorado

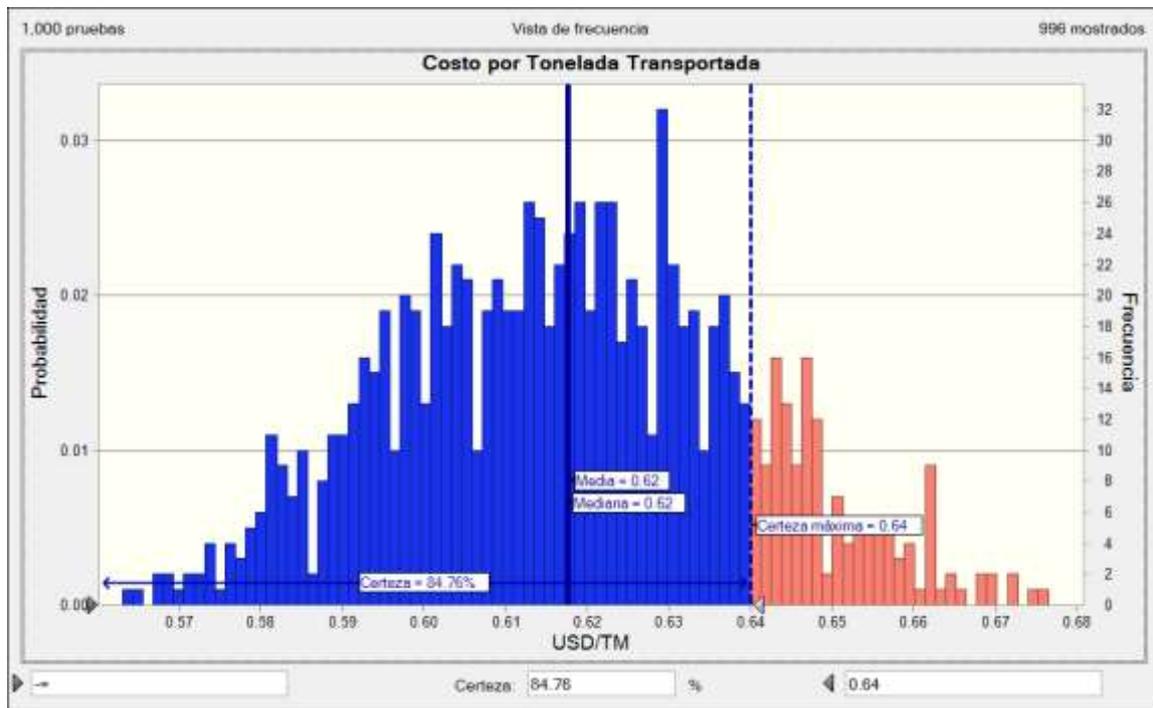


Tabla 52

Costo por Tonelada Transportada Mejorado

Estadística	Valores de previsión
Pruebas	1,000
Caso base	0.63
Media	0.62
Mediana	0.62
Modo	---
Desviación estándar	0.02
Varianza	0.00
Sesgo	0.1785
Curtosis	2.89
Coefficiente de variación	0.0347
Mínimo	0.56
Máximo	0.70
Error estándar medio	0.00

4.6 Relación Beneficio/Costo

A fin de realizar el presente trabajo de investigación y poder replicar en otras unidades mineras, adquirimos una licencia perpetua del complemento de Microsoft Excel, Oracle Crystal Ball para desarrollar las simulaciones. Los costos estimados en la presente investigación fueron:

Crystal Ball License 2019	US\$1,432.52
Software Update License & Support 2020-2021	US\$198.89
Software Update License & Support 2021-2022	US\$206.84
Configuración del modelo determinístico (600 horas)	US\$24,000.00
Actualización y configuración del modelo probabilístico (140 horas)	US\$5,600.00
<u>Simulación de op. unitarias e interpretación de resultados (140 horas)</u>	<u>US\$5,600.00</u>
COSTO TOTAL	US\$37,038.25

Los beneficios pueden obtenerse de los pronósticos/previsiones mejorados respecto al caso base en el período:

Perforación	@92.24%	252,877 m. x (17.24 - 16.87) \$/m	US\$93,564.49
Carguío	@86.84% & 85.99%	45'823,044 TM x (0.17 - 0.16) \$/TM	US\$458,230.44
<u>Acarreo</u>	<u>@84.76%</u>	<u>45'823,044 TM x (0.63 - 0.62) \$/TM</u>	<u>US\$458,230.44</u>
BENEFICIOS TOTALES			US\$1'010,025.37

La relación B/C es: $\frac{1'010,025.37 \text{ USD}}{37,038.25 \text{ USD}} = 27.2$

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones en Perforación

- Respecto al caso base, la velocidad de penetración promedio simulada fue 40.6 m/hr.
- Con un 69.02% de certeza, la productividad de perforadoras simulada en el caso base superó los 40 m/hr.
- Uno de los resultados que se demuestra mediante el análisis de tornado, es que la velocidad de penetración instantánea explica más del 90% de la variación en la productividad de la flota de perforación. El restante se atribuye a tiempos de traslado, nivelación, formación de collar y retracción.
- En cuanto al número de perforadoras simulado, el caso base con 100% de certeza, estima de 1.9 a 2.5 unidades, lo cual indica que no es crítico para la operación, ya que se cuenta con 3 perforadoras.
- El pronóstico de número de perforadoras se ve impactado por la velocidad de penetración en un 53% de variación. Asimismo, la disponibilidad física explica un 44% de variación siendo un factor determinante en la planificación del número de perforadoras. El restante 3% se atribuye al cambio de turno, refrigerio, mal clima, etc.
- Respecto al costo por metro perforado simulado, el caso base estuvo en promedio 17.24 USD/m y con un 72.41% de certeza, no supera los 17.5 USD/m.
- Se concluye que la principal fuente de variación en el costo por metro perforado es la velocidad de penetración instantánea por encima de 90% y el % restante se explica por los tiempos de traslado, nivelación, retracción y formación de collar.
- Con estos indicadores bien gestionados se pueden cumplir los planes de producción.
- Bajo ningún escenario simulado se exceden las 3 perforadoras.

- A partir de ajustes en la velocidad de penetración instantánea de 2.5% tanto en mineral como desmonte tipo 1 y 2 se ejecutaron nuevas simulaciones.
- Se obtuvo una velocidad de penetración promedio de 41.4 m/hr. La certeza de valores por encima de 40 m/hr mejoró a 90.3%.
- Finalmente, el costo por metro perforado promedio simulado se redujo a 16.87 USD/m y la certeza de no exceder los 17.5 USD/m alcanzó 92.24%.

5.2 Conclusiones en Carguío

- En cuanto a la productividad de las palas simulada, en el caso base se alcanzó 5,026.5 TM/hr en promedio.
- Con 63.15% de certeza la productividad simulada superó las 4,900 TM/hr en el caso base.
- Uno de los resultados que se demuestra mediante el análisis de tornado, es que el 46% de la variación en la productividad de la flota de palas se explica por el tiempo esperando camión. Asimismo, un 42% de variación se debe al tiempo de pase y un 12% al tiempo de cuadrado.
- En cuanto al número de palas, la simulación del caso base estuvo entre 1.8 y 2.8 equipos, no siendo crítico en el período por contar con 3 unidades.
- El pronóstico de número de palas se ve impactado por el tiempo esperando camión en un 40% de variación, 36% en el tiempo de pase, 13% por la disponibilidad física y un 10% por tiempo de cuadrado.
- Respecto al costo por tonelada cargada por pala el caso base simulado promedió 0.17 USD/TM.
- Con un 76.49% de certeza, el costo simulado no superó los 0.18 USD/TM.

- Se concluye que la principal fuente de variación en el costo por tonelada cargada por pala es el tiempo esperando camión con un 46%, el tiempo de pase afecta un 42% y el 12% restante se explica por el tiempo de cuadrado.
- En cuanto a la productividad del cargador frontal simulada, en el caso base se alcanzó 1,905.6 TM/hr en promedio.
- Con 67.42% de certeza la productividad simulada del cargador frontal superó las 1,800 TM/hr en el caso base.
- Uno de los resultados que se demuestra mediante el análisis de tornado, es que el 73% de la variación en la productividad del cargador frontal se explica por el tiempo esperando camión. Asimismo, un 26% de variación se debe al tiempo de pase.
- En cuanto al número de cargadores frontales simulado, el caso base requiere entre 0.5 y 1 unidad.
- El pronóstico de número de cargadores frontales se ve impactado por el tiempo esperando camión en un 62% de variación, 23% en el tiempo de pase y 15% por la disponibilidad física.
- Bajo ningún escenario simulado se exceden las 3 palas o 1 cargador frontal.
- A partir de ajustes en los tiempos esperando camión tanto en pala como cargador frontal de 5% y del tiempo de pase en 3% para ambos equipos, se ejecutaron nuevas simulaciones.
- Se obtuvo una productividad promedio de 5,164.4 TM/hr en palas. La certeza de valores por encima de 4,900 TM/hr se incrementó hasta a 76.61%. En cuanto al cargador frontal, la productividad promedió 1,981.4 TM/hr, la certeza de valores por encima de 1,800 TM/hr alcanzó 79.75%.
- Finalmente, el costo por tonelada cargada promedio se redujo a 0.16 USD/TM y la certeza de no exceder los 0.18 USD/TM alcanzó 86.84%.

5.3 Conclusiones en Acarreo

- Respecto al caso base, la productividad simulada tuvo una media de 796 TM/hr.
- Con un 72.01% de certeza, la productividad de camiones simulada superó las 780 TM/hr.
- Uno de los resultados que se demuestra mediante el análisis de tornado, es que la velocidad que desarrollan los camiones explica cerca del 90% de la variación en la productividad de la flota. El restante 10% se atribuye a tiempos de carguío, cola, cuadrado y descarga en los diversos frentes y destinos.
- En cuanto al número de camiones, el caso base simulado requería en promedio 17.9 unidades. Con un 94.14% de certeza, el número de camiones simulado estuvo por debajo de 19 unidades.
- El pronóstico de número de camiones se ve impactado por la velocidad en un 77% de variación. Asimismo, la disponibilidad física explica un 13% de variación siendo un factor determinante en la planificación de la cantidad de camiones. El restante 10% se atribuye a tiempos de carguío, cola, cuadrado, descarga y abastecimiento de combustible.
- Respecto al costo por tonelada transportada el caso base simulado arrojó 0.63 USD/TM como media.
- Con un 67.19% de certeza, el costo simulado estuvo debajo de 0.64 USD/TM.
- Se concluye, al igual que en la productividad, que la principal fuente de variación en el costo por tonelada transportada es la velocidad con un 90% y el 10% restante se explica por los tiempos de cola y el tiempo de pase del equipo de carguío. Cada uno explica cerca de 3.0% de variación.

- A partir de ajustes en los tiempos esperando camión tanto en pala como cargador frontal de 5% y del tiempo de pase en 3% para ambos equipos, se ejecutaron nuevas simulaciones.
- A partir de ajustes en la velocidad de lleno y vacío a chancadora y botadero, de 2.5% de incremento, se ejecutaron nuevas simulaciones.
- Se obtuvo una productividad promedio de 812.4 TM/hr. La certeza de valores por encima de 780 TM/hr mejoró a 86.76%.
- En cuanto al número de camiones en el caso mejorado se tuvo un rango de 15.8 a 20 unidades para el período. La certeza de requerir menos de 19 unidades se incrementó hasta 98.15%.
- Finalmente, el costo por tonelada transportada promedio se redujo a 0.62 USD/TM y la certeza de no exceder los 0.64 USD/TM alcanzó 84.76%.

5.4 Conclusiones Generales

- Un modelo determinístico es una descripción matemática de un proceso en el cual los valores de los parámetros se conocen con certeza. El pronóstico/resultado se determina considerando los efectos individuales de cada supuesto/variable en un solo cálculo.
- La simulación estocástica utiliza funciones de probabilidad como entradas y recalcula constantemente. Así, la variación y la interacción se contabilizan. Los modelos estocásticos se ejecutan un sinnúmero de veces, dando un rango de resultados, lo cual es una mejor aproximación al mundo real. Es decir, incorpora la incertidumbre a través de las probabilidades de las variables aleatorias.
- La simulación Montecarlo es una potente herramienta de análisis y toma de decisiones que permite visualizar, con distintos grados de certeza, el efecto de cada variable de

nuestro modelo de producción a partir del análisis de Tornado y el posterior ajuste de los supuestos/variables de mayor impacto.

- La simulación permite cuantificar la exposición al riesgo en cada una de nuestras operaciones unitarias y enfocarnos en establecer indicadores clave de desempeño que, bajo control, minimicen la incertidumbre.
- Se concluye que la aplicación de la simulación Montecarlo en una operación minera a tajo abierto muestra claramente cómo reducir los riesgos, mejorar la productividad y los costos respecto al plan minero.
- El potencial ahorro en las tres operaciones unitarias incluidas en el presente trabajo de investigación es 2% respecto al presupuesto original y la relación Beneficio/Costo es de 27.

5.5 Recomendaciones en Perforación

- Estandarizar los tiempos no productivos/pérdida (traslado, nivelación, formación de collar, retracción de columna y gatas) entre todas las cuadrillas de perforistas.
- Al ser la velocidad de penetración instantánea el factor más importante dentro del pronóstico/previsión de productividad se recomienda reforzar periódicamente con el área de Capacitación y Entrenamiento las competencias de los perforistas.
- Establecer los parámetros de perforación por tipo de roca (RPM, presión de aire, pulldown, dosificación de agua, etc.).
- Asimismo, los proveedores/fabricantes de aceros de perforación deben medir y evaluar a la cuadrilla de perforistas en las prácticas operacionales, aplicación de parámetros adecuados para los distintos tipos de roca y analizar las causas de falla/desgaste de los aceros que componen la columna.

- De la misma forma evaluar el rendimiento de cada perforadora. De ser necesario recomendar ajustes en el compresor y en la configuración de la columna de perforación (diámetros, nozzles/boquillas) para asegurar una adecuada velocidad de barrido.
- En ese sentido, es recomendable asegurar con el equipo de Mantenimiento Mina el buen estado de la perforadora respecto a la capacidad del compresor, alineamiento del mástil y el correcto funcionamiento de los indicadores en el tablero (pulldown, RPM, presión de aire, etc.).
- Preparar con anticipación las áreas de perforación con el apoyo de las áreas de Planeamiento Corto Plazo, Geología y Operaciones Mina.
- Con la finalidad de asegurar el tiempo de traslado entre taladros esperado es fundamental garantizar la disponibilidad del sistema de navegación GPS, o en su defecto el soporte del equipo de Topografía.
- Por otro lado, mantener buenas condiciones del terreno con el apoyo de Operaciones Mina y una adecuada secuencia de perforación ayudan enormemente a reducir estos tiempos y, por consiguiente, incrementan la productividad de la perforación.
- Es necesario el soporte constante de Mantenimiento Eléctrico para los traslados entre bancos o niveles ya que tratándose de perforadoras eléctricas se requiere manipular los cables de alimentación. Asimismo, el apoyo de personal de Servicios Auxiliares Mina para los movimientos dentro del mismo proyecto a perforar.
- Instalar cámaras de apoyo para mejor la visibilidad en los traslados dentro del mismo proyecto, especialmente, en el turno noche.
- Asignar permanentemente una cisterna de agua para atender a las perforadoras.
- Controlar y asegurar la calidad de la perforación tomando en cuenta la desviación horizontal, la profundidad de los taladros y la calidad del cono de detritus para el posterior muestreo.

- Verificar la dotación de personal y equipos del área P&V para operar toda la flota de perforadoras y brindar el soporte necesario (relevos, stock de aceros de perforación disponible, equipo de soldadura, grasa para la columna de perforación, grúa para manipular aceros, etc.).

5.6 Recomendaciones en Carguío

- Del análisis a la flota de carguío se recomienda que asegurar el match pala-camión garantiza la más alta productividad, así como la habilidad y destreza de los operadores para mantener un tiempo de pase adecuado y de parte de los conductores de camión un tiempo de cuadrado sostenido.
- El ángulo de giro en el pase no debe exceder los 70° para maximizar la productividad de la pala.
- Debe considerarse una red de alimentación de energía eléctrica “loop eléctrico” que funciona óptimamente con una diferencia de altura entre postes de 80 metros direccionándolo hacia el desarrollo de las fases y que permiten utilizar menos cables de fuerza además de dinamizar los movimientos de palas.
- En ese sentido, una gestión basada en indicadores, con el soporte de un FMS (Fleet Management System) optimiza la asignación de camiones a los equipos de carguío (palas y cargadores frontales) minimizando los tiempos esperando camión (hang time) y los tiempos de cola (queue time).
- Por otro lado, con el FMS se puede hacer seguimiento al tiempo de pase y tiempo de cuadrado de los camiones y corregir desviaciones con el área de Capacitación y Entrenamiento.

- En el caso particular de análisis, se observa que se da mayor prioridad a la flota de palas que al cargador frontal. Se recomienda verificar si es necesario implementar más camiones de acuerdo con el plan de minado.
- La cantidad de equipos de carguío pala o cargador estarán definidos por muchos factores desde la evaluación inicial de un proyecto minero. En el corto plazo, los cumplimientos de metas productivas estarán gobernadas por el requerimientos de camiones año a año por lo que siempre se deberá buscar un ciclo óptimo de carguío en el sistema pala - camión o cargador - camión.
- Los costos de un equipo de carguío estarán relacionados a la productividad que puedan desarrollar en el mayor tiempo disponible posible. Se recomienda asegurar la disponibilidad y confiabilidad de la flota de carguío, así como la gestión de turnos.

5.7 Recomendaciones en Acarreo

- Las vías de acarreo deben mantenerse en las mejores condiciones para no tener mayor variación en las velocidades planeadas. En ese sentido, es importante conservar anchos, pendientes y peraltes óptimos, sistemas de drenaje, ingresos a los frentes de carguío y descarga amplios.
- En ese sentido, es necesario tener un equipo de Servicios Auxiliares adecuado para dar mantenimiento a todas las vías de acarreo, frentes de carguío y descarga en botaderos, chancadora y stockpiles. Asimismo, contar con canteras de material adecuado para el lastrado de vías que disminuya la resistencia a la rodadura y extiendan la duración de las llantas de los camiones.
- La gestión de los equipos mineros soportada por un buen sistema de despacho, el expertise y capacitación continua de nuestros operadores de carguío y acarreo, ayudarán

considerablemente a reducir tiempos perdidos dentro del ciclo, incrementando la productividad y reduciendo el costo.

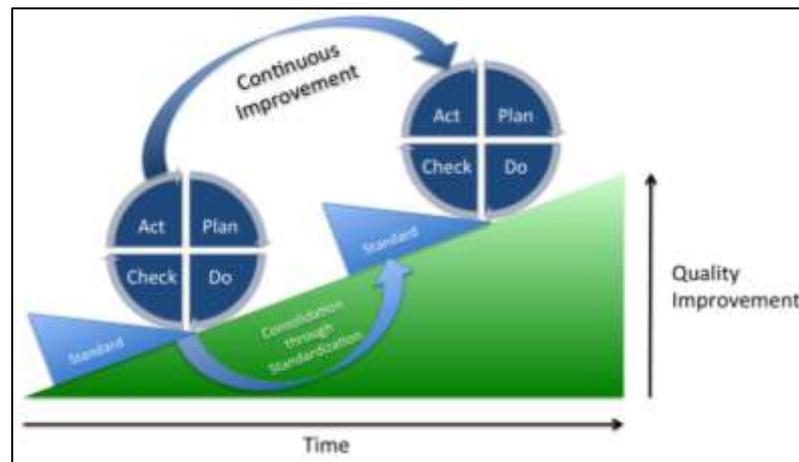
- Considerar una distancia de puentes de alimentación eléctrica hacia la pala de 25 metros como mejor práctica, que permite que los camiones hagan la maniobra de retroceso fuera del puente de alimentación eléctrica, la supervisión en campo debe realizar esta inspección constante.

5.8 Recomendaciones Generales

- Priorizando los criterios de seguridad y gestión ambiental resulta fundamental realizar la evaluación formal de riesgos para cada subproceso o actividad, implementando los controles operativos, manteniendo actualizados los procedimientos e instructivos, y difundiéndolos periódicamente entre los supervisores y operadores.
- Asegurar el control estadístico de la producción, registrando detalladamente estados y demoras operacionales en cada subproceso para ser analizado por los líderes de las áreas de Operaciones Mina, Geología, Planeamiento a Corto Plazo, Mantenimiento Mina y Procesos.
- Implementar una red privada LTE permite asegurar una buena cobertura de datos hacia los equipos principales y de esta manera no se presenten muchas variaciones en los datos que se recogen de mina.
- Enfocarse en la variabilidad de los principales KPIs y en los factores que la originan.
- Hacer análisis estadístico de los últimos períodos para retroalimentar la hoja de cálculo con información confiable, identificando las desviaciones y oportunidades de mejora que puedan plasmarse en el siguiente ejercicio de Forecast o Budget.
- Implementar una cultura de excelencia operacional basada en el círculo de Deming de Mejora Continua: Planear-Hacer-Revisar-Actuar, ver Figura 81.

Figura 84

PDCA Lean Mejora Continua



Nota: De “PDCA”, 2023

(<https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=PDCA&diff=prev&oldid=1162896369>)

- Se recomienda hacer los ajustes necesarios en los diseños de P&V de acuerdo con la medición sistemática de resultados (distribución granulométrica, % de finos, etc.), productividad de la flota de carguío y el feedback constante de los clientes internos (Carguío y Planta de Chancado).

REFERENCIAS

- Aker Kværner. (2007). *Toromocho Project Feasibility Study*. Minera Perú Copper S.A.
- Ashun, J., & Fifield, R. (2013). *Estándares de Excelencia Operacional: Métricas de Equipos e Indicadores Claves de Desempeño*. Barrick Operations Support.
- Caterpillar. (2013). *Caterpillar Performance Handbook (43rd ed.)*.
<http://5.imimg.com/data5/CA/OT/CK/GLADMIN-59766/cat-303-5e-mini-crawler-excavator-32-hp-3508-kg.pdf>
- Epiroc. (s.f.). *Vista de la Perforadora Epiroc Pit Viper 351*. Recuperado el 6 de julio del 2023,
<https://www.epiroc.com/es-pe/products/drill-rigs/surface-blasthole-drill-rigs/pv-351>
- Hustrulid, W., Kuchta, M., & Martin, R. (2013). *Open Pit Mine Planning & Design* (3rd ed.). CRC Press.
- Joy Global P&H. (2016). *Generación 2 Cargador de ruedas Descripción del producto*. Recuperado de https://mining.komatsu/docs/default-source/product-documents/surface/wheel-loaders/generaci%C3%B3n-2-cargador-de-ruedas-descripci%C3%B3n-del-producto.pdf?sfvrsn=6f4b0a6b_62
- Kitco. (s.f.). *5 Year Gold* [Figura]. Recuperado el 6 de julio del 2023 de <https://www.kitco.com/charts/popup/au1825nyb.html>
- Kitcometals. (s.f.). *Historical Charts/5 Year Copper* [Conjunto de datos]. Recuperado el 6 de julio del 2023 de [//www.kitcometals.com/charts/copper_historical_large.html#5years](https://www.kitcometals.com/charts/copper_historical_large.html#5years)
- Knight Piésold Consultores S.A. (2009). *Minera Chinalco Perú S.A. Proyecto Toromocho Estudio de Impacto Ambiental*. [Resumen ejecutivo]

Komatsu. (2008). *Komatsu Specifications & Application Handbook, Edition 29*.

PDCA (2023, 1 de Julio). En *Wikipedia*.

<https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=PDCA&diff=prev&oldid=1162896369>

Runge, I. C. (1998). *Mining Economics and Strategy*. Society for Mining, Metallurgy and Exploration.

S&P Global Market Intelligence. (s.f.). *Precio del cobre proyectado al 2025*. Recuperado el 6 de julio del 2023 de <https://pages.marketintelligence.spglobal.com/rs/565-BDO-100/images/state-of-the-market-mining-q123.pdf>

Sedano, G. (2018). *Manual Solver y Simulación de Monte Carlo con Crystal Ball*. Instituto de Informática de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

Thorley, U. (2012). *Open Pit Mine Planning: Analysis and System Modeling of Conventional and Oil Sands Applications*. [Tesis doctoral, Queen's University Kingston]. QSpace: Queen's Scholarship & Digital Collections. <http://hdl.handle.net/1974/7577>

Walsh Perú S.A. (2011). *Plan de Cierre de Minas Proyecto Toromocho*.

APÉNDICE

SUPUESTOS PARA PERFORACIÓN

Hoja de trabajo: [Z Short Term Plan.xlsx]Dis Malla

Suposición: Formación del Collar Desmonte Tipo 1

**Celda:
E33**

Triangular distribución con parámetros:

Mínimo	0.9
Más probable	1.0
Máximo	1.1

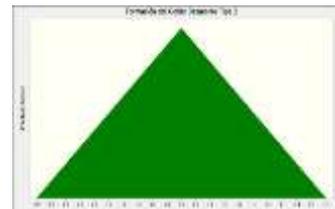


Suposición: Formación del Collar Desmonte Tipo 2

**Celda:
F33**

Triangular distribución con parámetros:

Mínimo	0.9
Más probable	1.0
Máximo	1.1

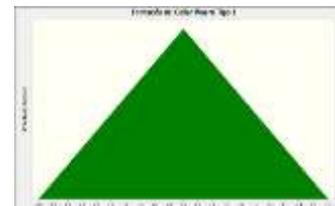


Suposición: Formación del Collar Mineral Tipo 1

**Celda:
C33**

Triangular distribución con parámetros:

Mínimo	0.9
Más probable	1.0
Máximo	1.1



Suposición: Formación del Collar Mineral Tipo 2

**Celda:
D33**

Triangular distribución con parámetros:

Mínimo	0.9
Más probable	1.0
Máximo	1.1



Suposición: Nivelación con las Gatas Desmorte Tipo 1

**Celda:
E32**

Triangular distribución con parámetros:

Mínimo	0.9
Más probable	1.0
Máximo	1.1

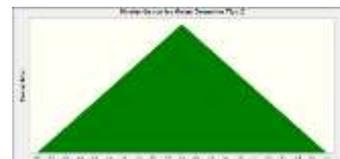


Suposición: Nivelación con las Gatas Desmorte Tipo 2

**Celda:
F32**

Triangular distribución con parámetros:

Mínimo	0.9
Más probable	1.0
Máximo	1.1



Suposición: Nivelación con las Gatas Mineral Tipo 1

**Celda:
C32**

Triangular distribución con parámetros:

Mínimo	0.9
Más probable	1.0
Máximo	1.1

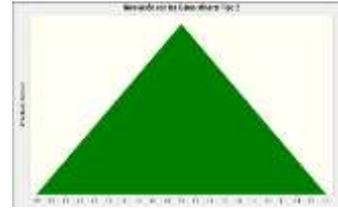


Suposición: Nivelación con las Gatas Mineral Tipo 2

**Celda:
D32**

Triangular distribución con parámetros:

Mínimo	0.9
Más probable	1.0
Máximo	1.1

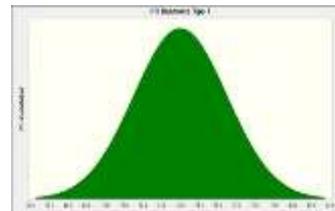


Suposición: PR Desmonte Tipo 1

**Celda:
E28**

Normal distribución con parámetros:

Media	74.0
Desv est	2.5

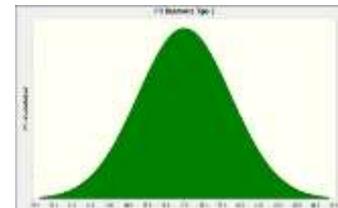


Suposición: PR Desmonte Tipo 2

**Celda:
F28**

Normal distribución con parámetros:

Media	37.0
Desv est	2.5

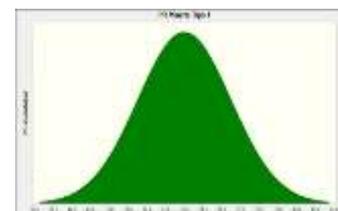


Suposición: PR Mineral Tipo 1

**Celda:
C28**

Normal distribución con parámetros:

Media	74.0
Desv est	2.5

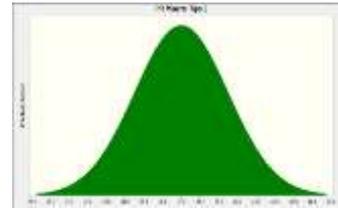


Suposición: PR Mineral Tipo 2

**Celda:
D28**

Normal distribución con parámetros:

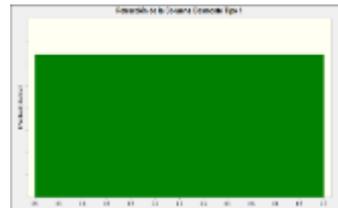
Media 37.0
Desv est 2.5



Suposición: Retracción de la Columna Desmonte Tipo 1

**Celda:
E35**

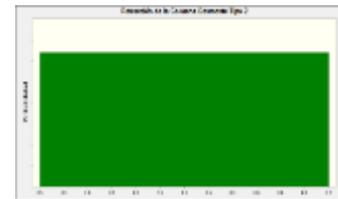
Uniforme distribución con parámetros:
Mínimo 0.5
Máximo 0.7



Suposición: Retracción de la Columna Desmonte Tipo 2

**Celda:
F35**

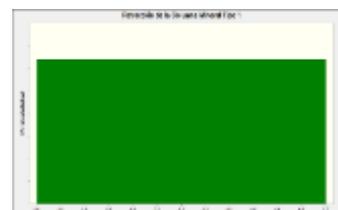
Uniforme distribución con parámetros:
Mínimo 0.5
Máximo 0.7



Suposición: Retracción de la Columna Mineral Tipo 1

**Celda:
C35**

Uniforme distribución con parámetros:
Mínimo 0.5
Máximo 0.7



Suposición: Retracción de la Columna Mineral Tipo 2

Uniforme distribución con parámetros:
Mínimo 0.5



Máximo 0.7

Suposición: Retracción de las Gatas Desmante Tipo 1

**Celda:
E37**

Triangular distribución con parámetros:

Mínimo 0.5
Más probable 0.6
Máximo 0.7



Suposición: Retracción de las Gatas Desmante Tipo 2

**Celda:
F37**

Triangular distribución con parámetros:

Mínimo 0.5
Más probable 0.6
Máximo 0.7



Suposición: Retracción de las Gatas Mineral Tipo 1

**Celda:
C37**

Triangular distribución con parámetros:

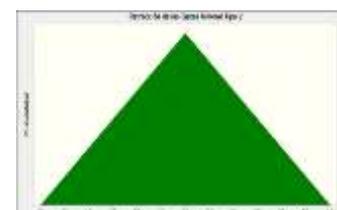
Mínimo 0.5
Más probable 0.6
Máximo 0.7



Suposición: Retracción de las Gatas Mineral Tipo 2

Triangular distribución con parámetros:

Mínimo 0.5
Más probable 0.6



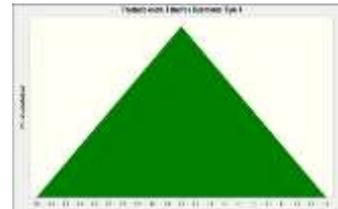
Máximo 0.7

Suposición: Traslado entre Taladros Desmonte Tipo 1

**Celda:
E31**

Triangular distribución con parámetros:

Mínimo 0.8
Más probable 1.0
Máximo 1.2



Suposición: Traslado entre Taladros Desmonte Tipo 2

**Celda:
F31**

Triangular distribución con parámetros:

Mínimo 0.8
Más probable 1.0
Máximo 1.2



Suposición: Traslado entre Taladros Mineral Tipo 1

**Celda:
C31**

Triangular distribución con parámetros:

Mínimo 0.8
Más probable 1.0
Máximo 1.2

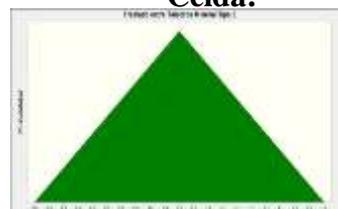


Suposición: Traslado entre Taladros Mineral Tipo 2

Celda:

Triangular distribución con parámetros:

Mínimo 0.8
Más probable 1.0



Máximo

1.2

Hoja de trabajo: [Z Short Term Plan.xlsx]Est Perf

Suposición: Abastecimiento de Agua Temporada Lluvia

**Celda:
E12**

Uniforme distribución con parámetros:

Mínimo 18.00

Máximo 22.00



Suposición: Abastecimiento de Agua Temporada Seca

**Celda:
D12**

Uniforme distribución con parámetros:

Mínimo 18.00

Máximo 22.00



Suposición: Cambio de Aceros de Perforación Temporada Lluvia

**Celda:
E16**

Uniforme distribución con parámetros:

Mínimo 8.00

Máximo 12.00



Suposición: Cambio de Aceros de Perforación Temporada Seca

Uniforme distribución con parámetros:

Mínimo 8.00

Máximo 12.00



Suposición: Cambio de Broca Temporada Lluvia

Triangular distribución con parámetros:

Mínimo	2.50
Más probable	3.00
Máximo	3.50

**Celda:
E15**



Suposición: Cambio de Broca Temporada Seca

Triangular distribución con parámetros:

Mínimo	2.50
Más probable	3.00
Máximo	3.50

**Celda:
D15**

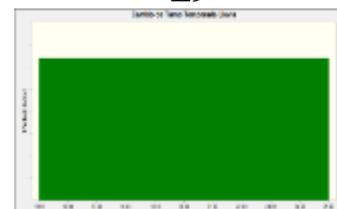


Suposición: Cambio de Turno Temporada Lluvia

Uniforme distribución con parámetros:

Mínimo	15.00
Máximo	25.00

**Celda:
E9**



Suposición: Cambio de Turno Temporada Seca

Uniforme distribución con parámetros:

Mínimo	15.00
Máximo	25.00



Suposición: Demora por Voladura Temporada Lluvia

**Celda:
E11**

Triangular distribución con parámetros:

Mínimo	10.00
Más probable	12.00
Máximo	14.00



Suposición: Demora por Voladura Temporada Seca

**Celda:
D11**

Triangular distribución con parámetros:

Mínimo	10.00
Más probable	12.00
Máximo	14.00

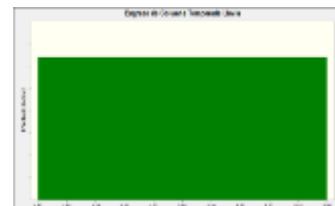


Suposición: Engrase de Columna Temporada Lluvia

**Celda:
E14**

Uniforme distribución con parámetros:

Mínimo	4.50
Máximo	5.50



Suposición: Engrase de Columna Temporada Seca

**Celda:
D14**

Uniforme distribución con parámetros:

Mínimo	4.50
Máximo	5.50



Suposición: Parada por mal clima Temporada Lluvia

**Celda:
E18**

Uniforme distribución con parámetros:

Mínimo 50.00
Máximo 70.00



Suposición: Parada por mal clima Temporada Seca

**Celda:
D18**

Uniforme distribución con parámetros:

Mínimo 5.00
Máximo 10.00



Suposición: Refrigerio Temporada Lluvia

**Celda:
E10**

Uniforme distribución con parámetros:

Mínimo 70.00
Máximo 80.00



Suposición: Refrigerio Temporada Seca

**Celda:
D10**

Uniforme distribución con parámetros:

Mínimo 70.00
Máximo 80.00



Suposición: Stand-by Temporada Lluvia

**Celda:
E17**

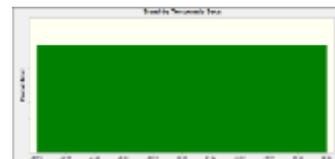
Uniforme distribución con parámetros:
Mínimo 25.00
Máximo 35.00



Suposición: Stand-by Temporada Seca

**Celda:
D17**

Uniforme distribución con parámetros:
Mínimo 25.00
Máximo 35.00



Suposición: Traslados Mayores Temporada Lluvia

**Celda:
E13**

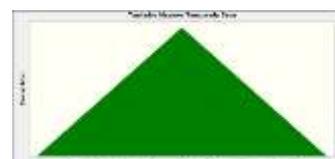
Triangular distribución con parámetros:
Mínimo 10.00
Más probable 15.00
Máximo 20.00



Suposición: Traslados Mayores Temporada Seca

**Celda:
D13**

Triangular distribución con parámetros:
Mínimo 10.00
Más probable 15.00
Máximo 20.00



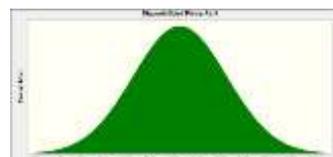
Hoja de trabajo: [Z Short Term Plan.xlsx]Req Perf

Suposición: Disponibilidad Fisica Abril

**Celda:
G176**

Normal distribución con parámetros:

Media 82.5%
Desv est 4.0%

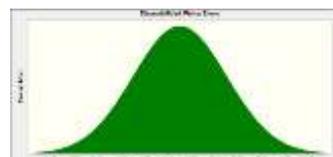


Suposición: Disponibilidad Fisica Enero

**Celda:
D176**

Normal distribución con parámetros:

Media 81.0%
Desv est 4.0%

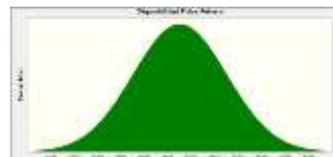


Suposición: Disponibilidad Fisica Febrero

**Celda:
E176**

Normal distribución con parámetros:

Media 83.0%
Desv est 4.0%

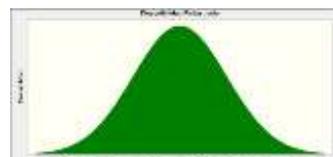


Suposición: Disponibilidad Fisica Junio

**Celda:
I176**

Normal distribución con parámetros:

Media 82.0%
Desv est 4.0%

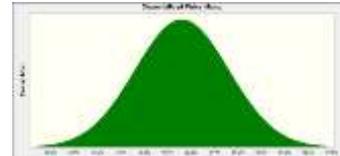


Suposición: Disponibilidad Física Marzo

**Celda:
F176**

Normal distribución con parámetros:

Media 81.2%
Desv est 4.0%

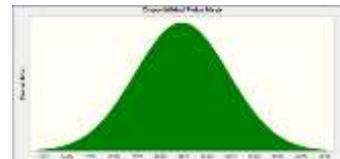


Suposición: Disponibilidad Física Mayo

**Celda:
H176**

Normal distribución con parámetros:

Media 81.8%
Desv est 4.0%



SUPUESTOS PARA CARGUÍO

**Hoja de trabajo: [Z Short Term Plan Open Pit Carguio.xlsx]Est
Car**

**Suposición: Abastecimiento de Combustible
CF Lluvia**

**Celda:
E34**

Uniforme distribución con
parámetros:
Mínimo 20.00



Máximo 26.00

Suposición: Abastecimiento de Combustible CF Seca

Celda: D34

Uniforme distribución con parámetros:

Mínimo 20.00
Máximo 26.00

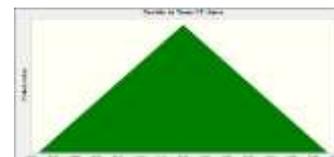


Suposición: Cambio de Turno CF Lluvia

Celda: E31

Triangular distribución con parámetros:

Mínimo 10.00
Más probable 12.00
Máximo 14.00

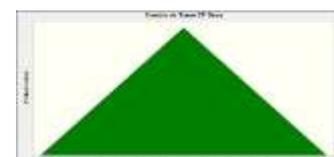


Suposición: Cambio de Turno CF Seca

Celda: D31

Triangular distribución con parámetros:

Mínimo 10.00
Más probable 12.00
Máximo 14.00

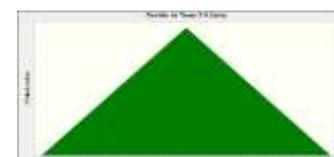


Suposición: Cambio de Turno SH Lluvia

Celda: E10

Triangular distribución con parámetros:

Mínimo 6.50
Más probable 8.00
Máximo 9.50

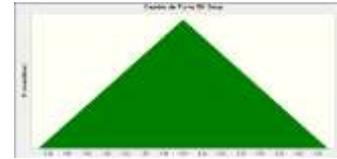


Suposición: Cambio de Turno SH Seca

Celda: D10

Triangular distribución con parámetros:

Mínimo	6.50
Más probable	8.00
Máximo	9.50

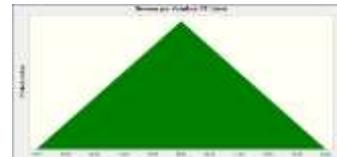


Suposición: Demora por Voladura CF Lluvia

**Celda:
E33**

Triangular distribución con parámetros:

Mínimo	10.00
Más probable	15.00
Máximo	20.00



Suposición: Demora por Voladura CF Seca

**Celda:
D33**

Triangular distribución con parámetros:

Mínimo	10.00
Más probable	15.00
Máximo	20.00

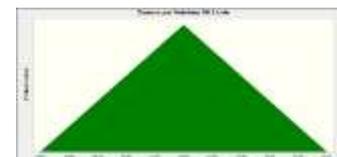


Suposición: Demora por Voladura SH Lluvia

**Celda:
E12**

Triangular distribución con parámetros:

Mínimo	10.00
Más probable	15.00
Máximo	20.00

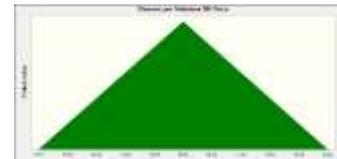


Suposición: Demora por Voladura SH Seca

**Celda:
D12**

Triangular distribución con parámetros:

Mínimo	10.00
Más probable	15.00
Máximo	20.00



Suposición: Limpieza de Frente de Minado CF Lluvia

Celda: E35

Uniforme distribución con parámetros:

Mínimo	4.50
Máximo	5.50



Suposición: Limpieza de Frente de Minado CF Seca

Celda: D35

Uniforme distribución con parámetros:

Mínimo	4.50
Máximo	5.50



Suposición: Limpieza de Frente de Minado SH Lluvia

Celda: E13

Uniforme distribución con parámetros:

Mínimo	15.00
Máximo	25.00

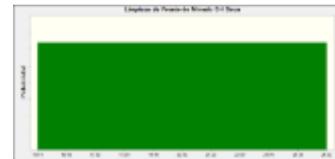


Suposición: Limpieza de Frente de Minado SH Seca

Celda: D13

Uniforme distribución con parámetros:

Mínimo 15.00
 Máximo 25.00



Suposición: Parada por mal clima CF Lluvia

**Celda:
E38**

Uniforme distribución con
 parámetros:

Mínimo 1.50
 Máximo 2.50



Suposición: Parada por mal clima SH Lluvia

**Celda:
E16**

Uniforme distribución con
 parámetros:

Mínimo 1.50
 Máximo 2.50

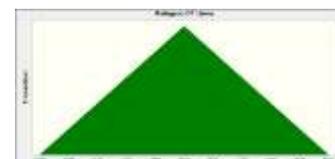


Suposición: Refrigerio CF Lluvia

**Celda:
E32**

Triangular distribución con
 parámetros:

Mínimo 70.00
 Más probable 75.00
 Máximo 80.00

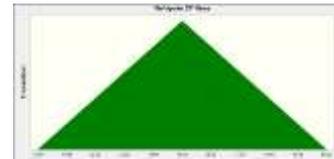


Suposición: Refrigerio CF Seca

**Celda:
D32**

Triangular distribución con
 parámetros:

Mínimo 70.00
 Más probable 75.00
 Máximo 80.00



Suposición: Refrigerio SH Lluvia

**Celda:
E11**

Triangular distribución con
 parámetros:
 Mínimo 70.00
 Más probable 75.00
 Máximo 80.00



Suposición: Refrigerio SH Seca

**Celda:
D11**

Triangular distribución con
 parámetros:
 Mínimo 70.00
 Más probable 75.00
 Máximo 80.00



Suposición: Stand-by (falta material, falta camión, operador) CF Lluvia E37

Celda:

Uniforme distribución con
 parámetros:
 Mínimo 6.00
 Máximo 12.00



Suposición: Stand-by (falta material, falta camión, operador) CF Seca D37

**Celda:
D37**

Uniforme distribución con
 parámetros:
 Mínimo 7.00



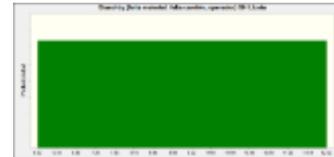
Máximo 11.00

Celda:

Suposición: Stand-by (falta material, falta camión, operador) SH Lluvia E15

Uniforme distribución con
parámetros:

Mínimo 6.00
Máximo 12.00

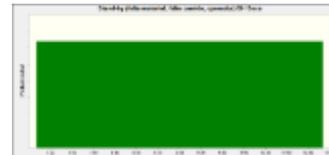


Celda:

Suposición: Stand-by (falta material, falta camión, operador) SH Seca D15

Uniforme distribución con
parámetros:

Mínimo 7.00
Máximo 11.00

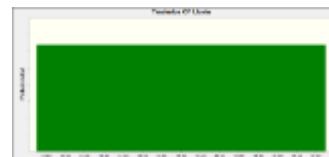


**Celda:
E36**

Suposición: Traslados CF Lluvia

Uniforme distribución con
parámetros:

Mínimo 13.50
Máximo 16.50



**Celda:
D36**

Suposición: Traslados CF Seca

Uniforme distribución con
parámetros:

Mínimo 13.50



Máximo 16.50

Suposición: Traslados SH Lluvia

**Celda:
E14**

Uniforme distribución con
parámetros:

Mínimo 27.50
Máximo 42.50



Suposición: Traslados SH Seca

**Celda:
D14**

Uniforme distribución con
parámetros:

Mínimo 30.00
Máximo 40.00



Hoja de trabajo: [Z Short Term Plan Open Pit Carguio.xlsx]Par C y Aca

Suposición: Cuadrado en Cargador

**Celda:
D47**

Normal distribución con
parámetros:

Media 0.90
Desv est 0.10

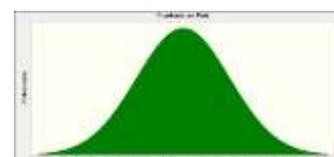


Suposición: Cuadrado en Pala

**Celda:
D22**

Normal distribución con
parámetros:

Media 0.80



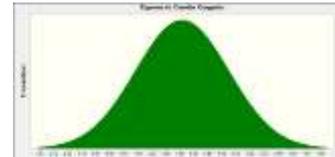
Desv est 0.10

Suposición: Esperando Camión Cargador

**Celda:
D53**

Normal distribución con
parámetros:

Media 4.85
Desv est 1.00

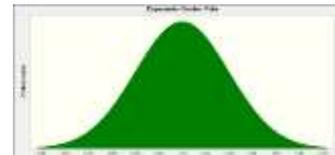


Suposición: Esperando Camion Pala

**Celda:
D28**

Normal distribución con
parámetros:

Media 1.10
Desv est 0.20



Suposición: Pase Cargador

**Celda:
D54**

Normal distribución con
parámetros:

Media 1.00
Desv est 0.10

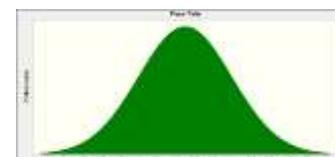


Suposición: Pase Pala

**Celda:
D29**

Normal distribución con
parámetros:

Media 0.67
Desv est 0.05

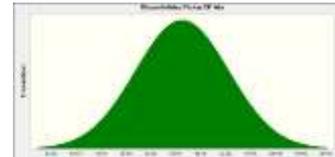


Hoja de trabajo: [Z Short Term Plan Open Pit Carguio.xlsx]Req Palas y Carg

Suposición: Disponibilidad Física CF Abr

**Celda:
G95**

Normal distribución con
parámetros:
Media 85.0%
Desv est 7.5%



Suposición: Disponibilidad Física CF Ene

**Celda:
D95**

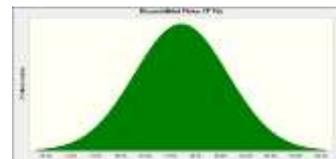
Normal distribución con
parámetros:
Media 69.4%
Desv est 7.5%



Suposición: Disponibilidad Física CF Feb

**Celda:
E95**

Normal distribución con
parámetros:
Media 89.6%
Desv est 7.5%



Suposición: Disponibilidad Física CF Jun

**Celda:
I95**

Normal distribución con
parámetros:
Media 87.1%
Desv est 7.5%

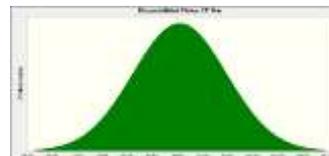


Suposición: Disponibilidad Física CF Mar

**Celda:
F95**

Normal distribución con
parámetros:

Media 88.3%
Desv est 7.5%



Suposición: Disponibilidad Física CF May

**Celda:
H95**

Normal distribución con
parámetros:

Media 85.3%
Desv est 7.5%

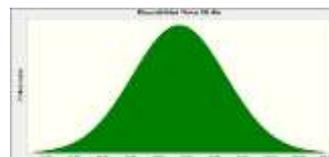


Suposición: Disponibilidad Física SH Abr

**Celda:
G70**

Normal distribución con
parámetros:

Media 92.1%
Desv est 5.0%

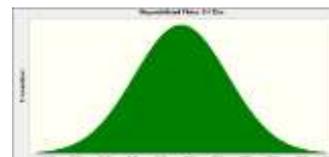


Suposición: Disponibilidad Física SH Ene

**Celda:
D70**

Normal distribución con
parámetros:

Media 92.1%
Desv est 5.0%

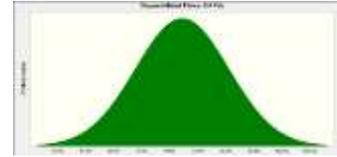


Suposición: Disponibilidad Física SH Feb

**Celda:
E70**

Normal distribución con
parámetros:

Media 91.3%
Desv est 5.0%

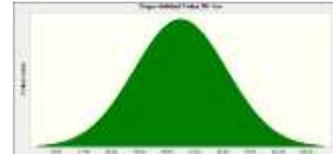


Suposición: Disponibilidad Física SH Jun

**Celda:
I70**

Normal distribución con
parámetros:

Media 91.4%
Desv est 5.0%

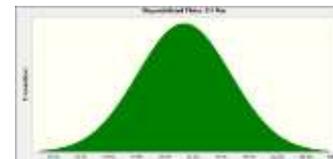


Suposición: Disponibilidad Física SH Mar

**Celda:
F70**

Normal distribución con
parámetros:

Media 92.0%
Desv est 5.0%



Suposición: Disponibilidad Física SH May

**Celda:
H70**

Normal distribución con
parámetros:

Media 92.9%
Desv est 5.0%



SUPUESTOS PARA ACARREO

Hoja de trabajo: [Z Short Term Plan Open Pit Acarreo.xlsx]Est Aca

Suposición: Abastecimiento de Combustible T. Lluvia

**Celda:
E12**

Uniforme distribución con parámetros:

Mínimo	24.00
Máximo	32.00

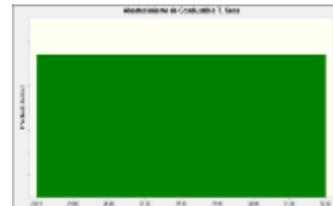


Suposición: Abastecimiento de Combustible T. Seca

**Celda:
D12**

Uniforme distribución con parámetros:

Mínimo	24.00
Máximo	32.00

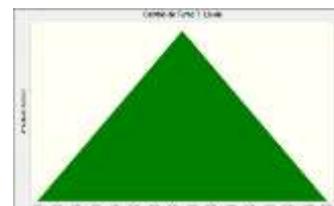


Suposición: Cambio de Turno T. Lluvia

**Celda:
E9**

Triangular distribución con parámetros:

Mínimo	9.00
Más probable	10.50
Máximo	12.00



Suposición: Cambio de Turno T. Seca

**Celda:
D9**

Triangular distribución con parámetros:
 Mínimo 9.00
 Más probable 10.50
 Máximo 12.00



Suposición: Demora por Voladura T. Lluvia

**Celda:
E11**

Triangular distribución con parámetros:
 Mínimo 18.00
 Más probable 20.00
 Máximo 22.00



Suposición: Demora por Voladura T. Seca

**Celda:
D11**

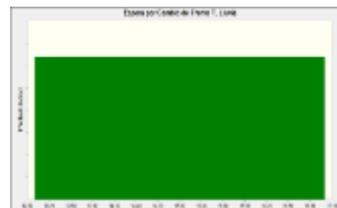
Triangular distribución con parámetros:
 Mínimo 18.00
 Más probable 20.00
 Máximo 22.00



Suposición: Espera por Cambio de Frente T. Lluvia

**Celda:
E15**

Uniforme distribución con parámetros:
 Mínimo 13.00
 Máximo 17.00

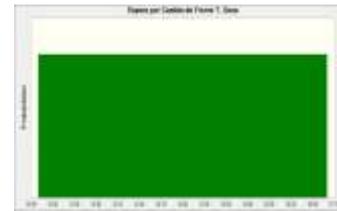


Suposición: Espera por Cambio de Frente T. Seca

**Celda:
D15**

Uniforme distribución con parámetros:

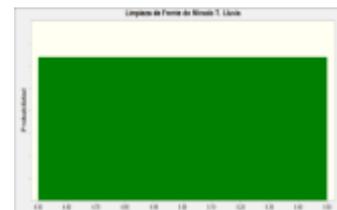
Mínimo 13.00
 Máximo 17.00



Suposición: Limpieza de Frente de Minado T. Lluvia

Celda: E13

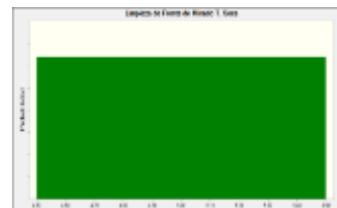
Uniforme distribución con parámetros:
 Mínimo 4.50
 Máximo 5.50



Suposición: Limpieza de Frente de Minado T. Seca

Celda: D13

Uniforme distribución con parámetros:
 Mínimo 4.50
 Máximo 5.50



Suposición: Mantenimiento de Vías T. Lluvia

Celda: E14

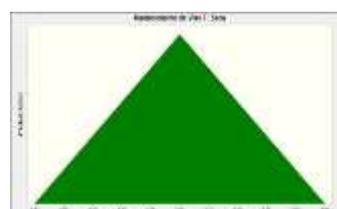
Triangular distribución con parámetros:
 Mínimo 4.50
 Más probable 5.00
 Máximo 5.50



Suposición: Mantenimiento de Vías T. Seca

Celda: D14

Triangular distribución con parámetros:
 Mínimo 4.50



Más probable	5.00
Máximo	5.50

Suposición: Parada por mal clima T. Lluvia

**Celda:
E17**

Uniforme distribución con parámetros:

Mínimo	4.00
Máximo	6.00

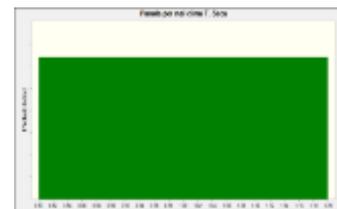


Suposición: Parada por mal clima T. Seca

**Celda:
D17**

Uniforme distribución con parámetros:

Mínimo	0.80
Máximo	1.20

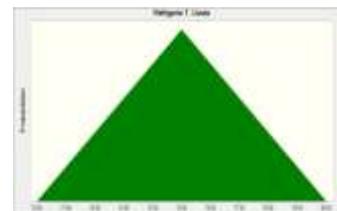


Suposición: Refrigerio T. Lluvia

**Celda:
E10**

Triangular distribución con parámetros:

Mínimo	70.00
Más probable	75.00
Máximo	80.00

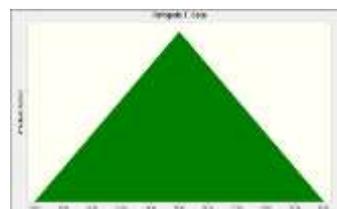


Suposición: Refrigerio T. Seca

**Celda:
D10**

Triangular distribución con parámetros:

Mínimo	70.00
Más probable	75.00

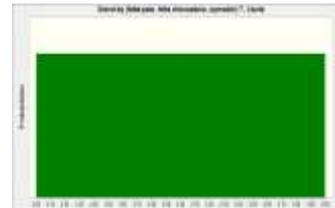


Máximo 80.00

Suposición: Stand-by (falta pala, falta chancadora, operador) T. Lluvia Celda: E16

Uniforme distribución con parámetros:

Mínimo 4.00
Máximo 6.00



Suposición: Stand-by (falta pala, falta chancadora, operador) T. Seca Celda: D16

Uniforme distribución con parámetros:

Mínimo 4.00
Máximo 6.00



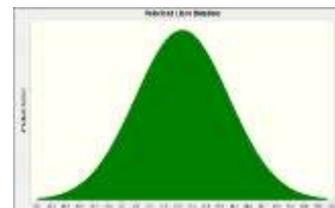
Hoja de trabajo: [Z Short Term Plan Open Pit Acarreo.xlsx]Mat Transp

Suposición: Velocidad Lleno Botadero

Celda: D294

Normal distribución con parámetros:

Media 13.0
Desv est 1.0

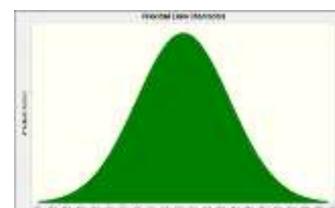


Suposición: Velocidad Lleno Chancadora

Celda: D244

Normal distribución con parámetros:

Media 13.0
Desv est 1.0

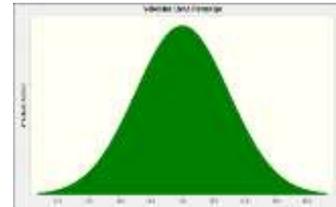


Suposición: Velocidad Lleno Remanejo

**Celda:
D285**

Normal distribución con parámetros:

Media 15.0
Desv est 1.5

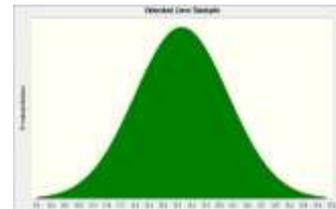


Suposición: Velocidad Lleno Stockpile

**Celda:
D268**

Normal distribución con parámetros:

Media 13.0
Desv est 1.0

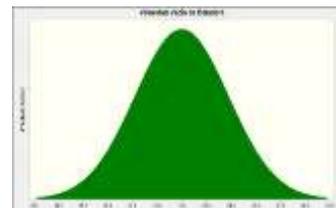


Suposición: Velocidad Vacío de Botadero

**Celda:
D368**

Normal distribución con parámetros:

Media 19.0
Desv est 1.9

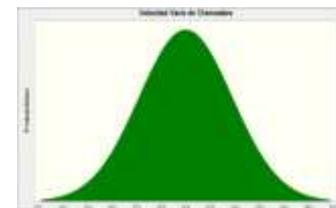


Suposición: Velocidad Vacío de Chancadora

**Celda:
D318**

Normal distribución con parámetros:

Media 19.0
Desv est 1.9

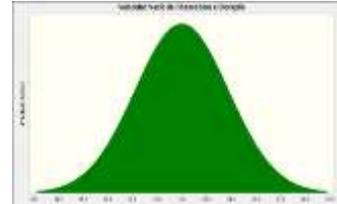


Suposición: Velocidad Vacío de Chancadora a Stockpile

Celda: D359

Normal distribución con parámetros:

Media 19.0
Desv est 1.9

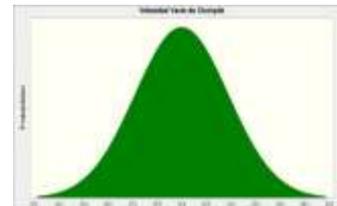


Suposición: Velocidad Vacío de Stockpile

Celda: D342

Normal distribución con parámetros:

Media 19.0
Desv est 1.9



Hoja de trabajo: [Z Short Term Plan Open Pit Acarreo.xlsx]Par C y Aca

Suposición: Cola en Cargador

Celda: D46

Normal distribución con parámetros:

Media 1.10
Desv est 0.20

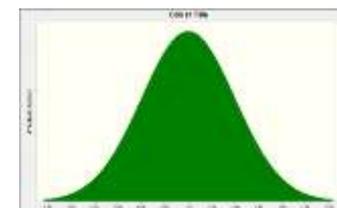


Suposición: Cola en Pala

Celda: D21

Normal distribución con parámetros:

Media 1.10
Desv est 0.20

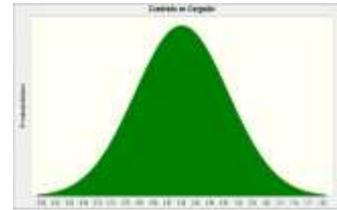


Suposición: Cuadrado en Cargador

**Celda:
D47**

Normal distribución con parámetros:

Media 0.90
Desv est 0.10

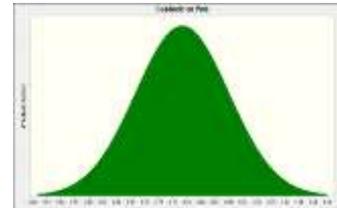


Suposición: Cuadrado en Pala

**Celda:
D22**

Normal distribución con parámetros:

Media 0.80
Desv est 0.10

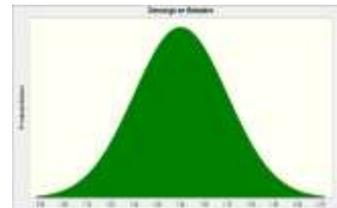


Suposición: Descarga en Botadero

**Celda:
D25**

Normal distribución con parámetros:

Media 1.50
Desv est 0.20

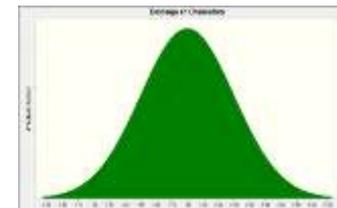


Suposición: Descarga en Chancadora

**Celda:
D23**

Normal distribución con parámetros:

Media 1.80
Desv est 0.30

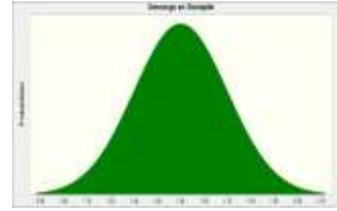


Suposición: Descarga en Stockpile

**Celda:
D24**

Normal distribución con parámetros:

Media 1.50
Desv est 0.20

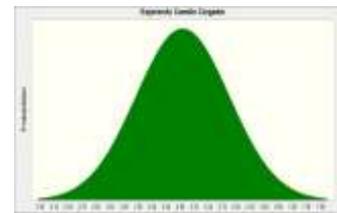


Suposición: Esperando Camión Cargador

**Celda:
D53**

Normal distribución con parámetros:

Media 4.85
Desv est 1.00

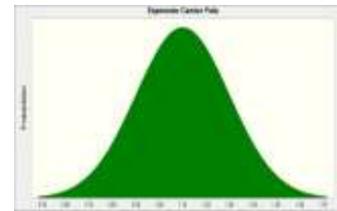


Suposición: Esperando Camión Pala

**Celda:
D28**

Normal distribución con parámetros:

Media 1.10
Desv est 0.20

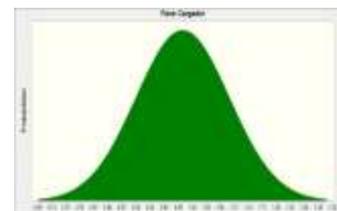


Suposición: Pase Cargador

**Celda:
D54**

Normal distribución con parámetros:

Media 1.00
Desv est 0.10



Suposición: Pase Pala

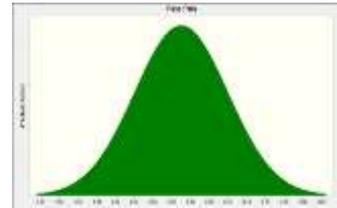
**Celda:
D29**

Normal distribución con parámetros:

Media 0.67

Desv est

0.05



Hoja de trabajo: [Z Short Term Plan Open Pit Acarreo.xlsx]Req Cam

Suposición: Disponibilidad Física Abril

**Celda:
G126**

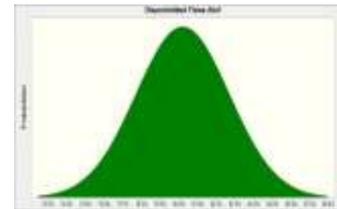
Normal distribución con parámetros:

Media

80.2%

Desv est

2.5%



Suposición: Disponibilidad Física Enero

**Celda:
D126**

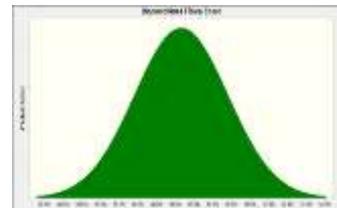
Normal distribución con parámetros:

Media

86.3%

Desv est

2.5%



Suposición: Disponibilidad Física Febrero

**Celda:
E126**

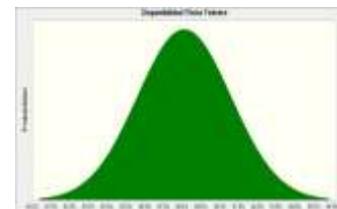
Normal distribución con parámetros:

Media

88.1%

Desv est

2.5%



Suposición: Disponibilidad Física Junio

**Celda:
I126**

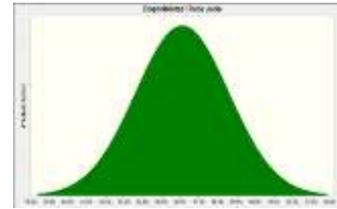
Normal distribución con parámetros:

Media

86.1%

Desv est

2.5%



Suposición: Disponibilidad Física Marzo

**Celda:
F126**

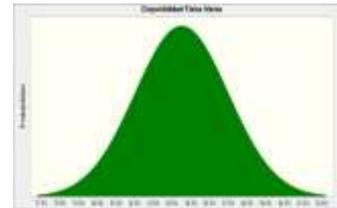
Normal distribución con parámetros:

Media

84.5%

Desv est

2.5%



Suposición: Disponibilidad Física Mayo

**Celda:
H126**

Normal distribución con parámetros:

Media

86.2%

Desv est

2.5%

