

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONOR ORREGO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE ESTUDIO DE INGENIERÍA
INDUSTRIAL



TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO INDUSTRIAL

Propuesta de un modelo de simulación de líneas de espera para optimizar el tiempo y el número de camiones de transporte de material y palas de la mina de Fosfato Bayovar a la planta concentradora

Área de Investigación

Optimización de la Producción

AUTOR:

Bazalar Landa, Jorge Luis

Jurado Evaluador:

Presidente: Landeras Pilco, Maria Isabel

Secretario: Espinoza Raymundo, Marco Antonio

Vocal: Espinoza Guevara, Victor Humberto

ASESOR:

Seminario Vásquez, Ricardo Gerónimo

Código Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-3202-5945>

PIURA - PERÚ

2023

Fecha de sustentación: 2023/01/06

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE ESTUDIO DE INGENIERÍA
INDUSTRIAL



Propuesta de un modelo de simulación de líneas de espera para optimizar el tiempo y el número de camiones de transporte de material y palas de la mina de Fosfato Bayovar a la planta concentradora

Aprobada en contenido y estilo por

Presidente: Dra. María Isabel Landeras Pilco
CIP.44282

Secretario: Mg. Marco A. Espinoza Raymundo
CIP. 97122

VOCAL: Mg. Victor Humberto Espinoza Guevara
CIP. 23479

Asesor: Dr. Ricardo G. Seminario Vásquez
CIP 98876

Fecha de sustentación: 06 de enero del 2023

DEDICATORIA

Dedicada principalmente a mi creador Dios en quien creo y me bendice siempre en cada etapa de mi existencia.

A mi madre, mi padre y a mi hermano, quienes me alentaron en cada etapa de mi trabajo y de mis estudios.

A toda mi familia porque con su paciencia, ánimos y alocución me dieron fuerzas e hicieron de mí una mejor persona y de cualquier forma siempre me han acompañado a lo largo de mi vida con el fin de obtener mis metas más deseadas

A mis tutores y profesores quienes me inspiran a continuar en esta carrera.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar un sincero agradecimiento, en primer lugar, a Dios, a mi mamá por ser mi pilar fundamental de mi familia, a mi padre, mi hermano y en especial a mis tías por creer en mí y haberme apoyado sin condiciones, pese a los contratiempos, dificultades y limitaciones que se manifestaron.

Y un especial agradecimiento a todos los docentes que infundieron en mí la curiosidad científica y el amor por mi carrera, inspirándome a seguir sus pasos.

JORGE BAZALAR

RESUMEN

La presente investigación en la Mina de Sechura, que explota la Empresa MiskiMayo, se realizó para determinar el número óptimo de camiones mineros y palas necesarias para transportar el mineral a la zona de acopio evitando desabastecimiento en la planta concentradora.

En este trabajo de simulación se empleó como herramienta de soporte el software Arena versión 12 tipo estudiantil.

En este sentido, después de realizar los escenarios, a partir de los parámetros reales de producción de la empresa MiskiMayo, se obtuvo que actualmente la empresa opera con 7 palas y 20 camiones mineros trasladando 10'099,249.78 toneladas por año, cuya cifra es aproximada en un 3.9% respecto a la producción publicada por la empresa MiskiMayo el año 2016, así como 916,000 tm en el mes de mayo del año 2021 y el modelo realizado nos dio como resultado 918,000 mensuales, siendo un aproximado de 0.02% de diferencia, lo cual valida el trabajo de simulación realizado. Luego se realizan los escenarios con parámetros aproximados de 18 y 22 camiones con 6 y 8 palas y se obtiene un valor óptimo recomendado de 22 camiones con 8 palas que incrementan el traslado de mineral en un 5% aproximadamente. En cuanto a los costos de operación, por referencia a lo que menciona Cabezas Oruna(2011) que la inversión minera fue de 566 millones de dólares y por otro lado la Empresa Caterpillar, con su experiencia de liderazgo mundial, indica en tabla 3, que más del 40% del costo es por excavación y transporte lo que equivale aproximadamente a 226.4 millones de dólares.

ABSTRACT

The present investigation in the Sechura Mine, operated by the MiskiMayo Company, was carried out to determine the optimal number of mining trucks and shovels necessary to transport the mineral to the storage area, avoiding shortages in the concentrator plant.

In this simulation work, the Arena software version 12 student type was used as a support tool.

In this sense, after carrying out the scenarios, based on the real production parameters of the MiskiMayo company, it was obtained that the company currently operates with 7 shovels and 20 mining trucks moving 10'099,249.78 tons per year, which figure is approximate in 3.9% compared to the production published by the company MiskiMayo in 2016, as well as 916,000 mt in the month of May 2021 and the model carried out gave us 918,000 monthly results, with an approximate difference of 0.02%, which validates the simulation work performed. Then the scenarios are carried out with approximate parameters of 18 and 22 trucks with 6 and 8 shovels and an optimum recommended value of 22 trucks with 8 shovels is obtained, which increases the transfer of ore by approximately 5%. Regarding the operating costs, by reference to what Cabezas Oruna (2011) mentions that the mining investment was 566 million dollars and on the other hand the Caterpillar Company, with its world leadership experience, indicates in table 3, that more than 40% of the cost is for excavation and transportation, which is equivalent to approximately 226.4 million dollars.

PRESENTACION

Señores miembros del Jurado:

Presento ante ustedes mi Tesis titulada “PROPUESTA DE UN MODELO DE SIMULACION DE LINEAS DE ESPERA PARA OPTIMIZAR EL TIEMPO Y EL NUMERO DE CAMIONES DE TRANSPORTE DE MATERIAL Y PALAS DE LA MINA DE FOSFATOS BAYOVAR A LA PLANTA CONCENTRADORA”, con la finalidad de realizar una propuesta de mejora de la productividad. Esta tesis cumple con lo dispuesto en el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería y tiene como objetivo cumplir con las competencias requeridas para obtener el Título Profesional de Ingeniero Industrial.

Espero cumplir con los requisitos de aprobación

Piura, ABRIL del 2022

BR. JORGE BAZALAR LANDA

ÍNDICE

DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
RESUMEN	vi
PRESENTACION	viii
I. INTRODUCCION	1
1.1. Problema de investigación	1
1.2. Formulación del problema	2
1.3. Objetivos	2
1.4. Justificación del estudio	3
II. MARCO DE REFERENCIA	5
2.1. Antecedentes del estudio	5
2.2. Marco teórico	6
2.2.1. Explotación minera	6
2.2.2. Optimización	7
2.2.3. Productividad minera	7
2.2.4. Sistema de carga y transporte	8
2.2.5. Teoría de líneas de espera	8
2.2.6. Clasificación de las líneas de espera	9
2.2.7. Software Arena para el modelado de líneas de espera	10
2.2.7.1. Entidades	10
2.2.7.2. Atributos	10
2.2.7.3. Variables	10
2.2.7.4. Recursos	11
2.2.7.5. Colas	11
2.2.7.6. Acumulador estadístico	11
2.2.7.7. Eventos	11
2.2.7.8. Reloj de simulación	11
2.2.7.9. Inicio y parada de la simulación	12
2.2.7.10. Módulos del software arena	12
2.2.7.10.1. Créate	12
2.2.7.10.2. Process	12
2.2.7.10.3. Decide	13

2.2.7.10.4.	Assign	13
2.2.7.10.5.	Record	13
2.2.7.10.6.	Delay	14
2.2.7.10.7.	Match	14
2.2.7.10.8.	Readwrite.....	15
2.2.8.	Diagnóstico de la mina de Bayovar	15
2.2.8.2.	Ubicación de la mina de fosfatos Bayovar	15
2.2.8.3.	Vías de acceso	17
2.2.9.	Combinación de sistema de carguío y transporte	25
2.2.10.	Camiones en tajo abierto	25
2.2.11.	Ciclo de operación de los camiones	26
2.2.12.	Actividades improductivas en el proceso de acarreo de mineral	26
2.2.13.	Rendimiento y flota de camiones.....	27
2.2.14.	Factores que afectan el rendimiento de los camiones	27
2.2.15.	Índices de disponibilidad y utilización de equipos en Tajo Abierto	29
2.2.16.	Costo de producción en minería superficial a cielo abierto	30
2.2.16.1.	Costo de transporte por camiones	30
2.2.16.2.	Costo de explotación a cielo abierto.....	31
2.2.17.	Etapas de un modelo de simulación	31
2.2.17.1.	Formulación del problema	33
2.2.17.2.	Comprensión del sistema a estudiar	33
2.2.17.3.	Recolección de datos del sistema	34
2.2.17.4.	Construcción del modelo	34
2.2.17.4.1.	Diagrama de flujo del ciclo de camión - pala	35
2.2.17.5.	Verificación y validación del modelo	36
2.2.17.6.	Experimentación de escenarios	37
2.2.17.7.	Análisis de escenarios.....	37
2.3.	Marco conceptual.....	37
2.3.1.	Simulación.....	37
2.3.2.	Modelo.....	38
2.3.3.	Teoría de colas o líneas de espera	38
2.3.4.	Línea de espera aplicada a la industria minera.....	39
2.3.5.	Yacimiento minero	39
2.3.6.	Fosfatos	40
2.3.7.	Acarreo.....	41
2.3.8.	Banco.....	41

2.3.9.	Concentrado	41
2.3.10.	Deposito.....	41
2.3.11.	Tajo abierto	41
2.4.	Sistema de hipótesis	41
2.4.1.	Hipótesis general.....	41
2.4.2.	Hipótesis específicas	42
2.5.	Variables e indicadores	42
2.5.1.	Variables	42
2.5.2.	Indicadores	42
2.6.	Operacionalización de variables (matriz de consistencia).....	43
III	METODOLOGIA EMPLEADA	44
3.1.	Tipo y nivel de investigación	44
3.2.	Población y muestra del estudio.....	44
3.3.	Diseño de investigación	45
3.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	45
3.4.1.	Reportes de los supervisores de la empresa	45
3.4.2.	Información técnica de equipos registrada en la empresa.....	45
3.5.	Procesamiento y análisis de datos.....	45
3.5.1.	Procesamiento de datos.....	45
3.5.1.1.	Formulación del problema	46
3.5.1.2.	Comprensión del sistema a modelar	46
3.5.1.3.	Recolección de datos.....	46
3.5.1.4.	Construcción del modelo.....	47
3.5.1.5.	Verificación y validación del modelo	54
3.5.1.6.	Experimentación de escenarios	54
•	Variación de valores actuales (ver tabla 4)	54
•	Cuadros comparativos (ver tabla 4).....	54
3.6.	Análisis de resultados	54
3.6.1.	Análisis de datos	54
IV	PRESENTACION DE RESULTADOS	55
4.1.	Análisis e interpretación de resultados	55
4.1.4.	Escenario simulado de 18 camiones y 6 palas	57
4.1.5.	Escenario simulado de 18 camiones y 7 palas	58
4.1.6.	Escenario simulado de 18 camiones y 8 palas	58
4.1.7.	Escenario simulado de 22 camiones y 6 palas	59
4.1.8.	Escenario simulado de 22 camiones y 7 palas	59

4.1.9. Escenario simulado de 22 camiones y 8 palas	60
V DISCUSION DE RESULTADOS	61
5.1. Respecto a la operación actual de 20 camiones y 7 palas.....	61
5.2. Con respecto al escenario de 18 camiones con 6,7 y 8 palas.....	61
5.3. Respecto a la simulación de 22 camiones con 6, 7 y 8 palas.....	61
5.4. Respecto a los tiempos improductivos.....	62
CONCLUSIONES.....	63
RECOMENDACIONES	64
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	65
ANEXO 1: Indicadores de operación de palas (Shovels) y camiones (Trucks).....	67
ANEXO 2: Procesamiento de roca fosfórica en Bayóvar	68
ANEXO 3: Características y especificaciones técnicas de camiones y excavadoras.....	71

Índice de Figuras

Figura 1: Pala y camión transportador	2
Figura 2:Línea de espera de una etapa	9
Figura 3:Linea de espera de varias etapas	9
Figura 4:Módulo de Inicio.....	12
Figura 5: Modulo de Proceso	12
Figura 6: Modulo de decisión	13
Figura 7:Modulo de asignación	13
Figura 8: Modulo de registro estadístico	14
Figura 9:Módulo de tiempo de retardo	14
Figura 10: Modulo de ajuste.....	14
Figura 11: Modulo de lectura y escritura	15
Figura 12:Vias de acceso a la mina de Sechura	17
Figura 13:Mapa General de las instalaciones	18
Figura 14: Diagrama de flujo de la planta.....	19
Figura 15: Procesos en la mina realizados por Misky Mayo.....	19
Figura 16:Modelo de colas para la industria minera.....	22
Figura 17: Camión minero 730E y camión minero HD 705	23
Figura 18:Palas excavadoras en la mina Miski Mayo Komatsu PC4000	25
Figura 19:Etapas de un modelo de simulación	32
Figura 20:Yacimiento minero de Bayovar con explotación a cielo abierto	40

Índice de tablas

Tabla 1:Producción minera no metálica	16
Tabla 2:Costo de transporte por camiones en porcentajes	30
Tabla 3:Costo Total de producción a cielo abierto	31

I. INTRODUCCION

1.1. Problema de investigación

Una de las actividades que contribuye al desarrollo económico del país es la minería, que consiste en la extracción de minerales de la superficie y del subsuelo, cuyo mineral tienen una alta cotización en los mercados internacionales. Desde el año 2010, la empresa MiskiMayo, viene desarrollando sus actividades de explotación minera en la provincia de Sechura, Departamento de Piura en el norte del Perú (Mendieta Reyna, 2018), siendo estos fosfatos la materia prima para la elaboración de fertilizantes y productos para la industria química.

Cabe resaltar que la explotación minera que realiza la Empresa MiskiMayo es solo superficial denominada de cielo abierto, de manera directa sin perforación, por lo que no hace uso de explosivos en sus procesos. El proceso de extracción de mineral se inicia en la propia mina de Bayovar y tiene que transportarse mediante camiones mineros a la zona de apilado de mineral, luego a través de faja transportadora de 2 km. de longitud, utilizando feeder breaker, el mineral es reducido a menos de 4 pulgadas de tamaño. (MiskiMayo), en la planta de tratamiento.

La planta tiene una capacidad de 54 toneladas, donde el mineral es reducido a su tamaño exigido por el mercado siendo de esta forma seleccionado y el que no cumple con el calibre determinado es llevado a botaderos externos e internos de la mina, respetando los estándares ambientales.

En la extracción de roca fosfórica de la mina se cuenta con siete palas excavadoras y veinte camiones transportadores de mineral a la zona apiladora de mineral, observándose a veces colas y otras veces excavadoras con tiempos improductivos.

En este sentido, el presente estudio busca aproximar mediante escenarios de simulación el número óptimo de máquinas excavadoras (palas) y camiones transportadores (camiones mineros) (ver Figura 1) que cumplan con la cantidad de mineral que la planta concentradora debe procesar diariamente y que disminuyan el tiempo improductivo del personal y maquina parada aplicando la técnica de líneas de espera.

Así mismo, mediante las técnicas de la teoría de líneas de espera y la simulación se busca determinar los tiempos muertos de los camiones (clientes) y palas (servidores) así como los posibles tiempos de espera de los camiones transportadores y palas.

Al mismo tiempo se determinará los tiempos improductivos de palas y camiones transportadores, lo cual permitirá realizar una propuesta para el mejoramiento de procesos de transporte de mineral de la empresa minera Miski Mayo a la planta concentradora.

Figura 1: Pala y camión transportador



Fuente: Empresa Misky Mayo

1.2. Formulación del problema

¿Es posible determinar mediante simulación la optimización del tiempo y el número de camiones y palas en el transporte de roca fosfórica de la mina de Bayovar al área apiladora de la planta concentradora de fosfatos?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar mediante simulación el número óptimo de camiones y palas, así como los tiempos improductivos en el transporte de

roca fosfórica de la mina a la zona apiladora de mineral de la planta concentradora de fosfatos.

1.3.2. Objetivos específicos

Modelar mediante software el proceso de carga, transporte y descarga de material de roca fosfórica a la planta concentradora.

Determinar los tiempos improductivos de transporte de roca fosfórica a la planta concentradora mediante la aplicación de la teoría de líneas de espera.

Calcular los costos óptimos de producción de transporte de mineral y determinar mediante escenarios el número de camiones de transporte y palas en el proceso de extracción de fosfatos comparándolos con el número de unidades actuales.

1.4. Justificación del estudio

La producción minera en cuanto a fosfatos según el Boletín Estadístico Minero del Ministerio de Energía y Minas, en el mes de mayo del 2021, fue de 916,091 Toneladas métricas, que representa un incremento del 85.1% del total de producción de fosfatos a nivel nacional.

En este sentido la Compañía Minera Miski Mayo S.R.L, en la unidad de Bayovar 2, se mantuvo como el productor de mayor nivel de fosfatos en el Peru, aportando el 99.8% del total de producción a nivel nacional. (Rumbo Minero Internacional, 2021) De esta manera, en la actividad minera de Miski Mayo, se toman decisiones técnicas diversas en los diferentes procesos extractivos y de transformación previamente planificados, sin embargo, en la medida que el mercado es más exigente, se hace necesario realizar nuevos estudios que mejoren las condiciones de manejo de las instalaciones, maquinaria y equipo.

Es así, que en general toda empresa busca maximizar utilidades, reduciendo costos en la producción.

En este sentido como lo indica los estudios realizados por Caterpillar (ver tabla 3) más del 40% de los costos de producción minera de cielo abierto son de carga y transporte de mineral y los costos de voladura que representan el 25% de los costos totales.

Por otro lado, la Empresa Miski Mayo que realiza la explotación minera sin voladura, es receptiva a las propuestas técnicas que mejoren de manera continua el funcionamiento de las instalaciones y de sus procesos de producción, sobre todo de aquellos que permiten mejorar su eficiencia y productividad.

Así mismo, permitirá satisfacer la demanda de mineral para su tratamiento en la planta de concentrado que cumpla con la cuota requerida y que se evite la parada de planta por falta de material a procesar.

Es por ello que, aplicando los estudios de simulación, se realizó el presente estudio con la finalidad de realizar una propuesta técnica que mejore el proceso de carga, transporte y descarga de material de roca fosfórica desde la mina de fosfatos a la zona de apilamiento cercana a la planta procesadora del mineral.

Cabe indicar que se consideraran determinados parámetros en la operación minera como trayectos a recorrer por los camiones, tiempos de carga de las palas excavadoras, factores de llenado, tiempos de descarga, resistencia a la rodadura, pendientes, distancia variable de la mina a la planta, etc. Siendo estos parámetros las entradas al sistema que mediante cálculos matemáticos permitirán calcular el número de unidades de palas y camiones transportadores requeridos, en la empresa que facilite el transporte de mineral necesario en la planta procesadora.

II. MARCO DE REFERENCIA

2.1. Antecedentes del estudio

En la presente investigación, **a nivel internacional** se encontró la siguiente fuente:

Yarmuch Guzmán (2012) en su estudio realizado en la mina Chuquimata en Chile, sobre el manejo de transporte de materiales donde se emplean 96 camiones de carga, utilizando para ello la simulación dinámica y los modelos de cadena de Markov.

Aportando en esta investigación el uso de simulación de eventos discretos en apoyo a la planificación del transporte de material en dicha mina.

A nivel nacional se encontró el siguiente antecedente:

Como lo mencionado anteriormente (Hurtado Quinto, 2019) en su tesis titulada “Optimización del transporte de mineral aplicando simulación de la teoría de líneas de espera en la unidad minera cobriza - 2019” donde la minería se realiza de manera subterránea para obtener cobre, siendo el método de perforación y voladura, donde se aplicó el estudio de la teoría de colas por presentarse déficit en los procesos de transporte. En esta mina se observó una inadecuada distribución de los volquetes, tiempos muertos en las operaciones de carga, descarga y transporte de mineral. En este sentido la aplicación de las líneas de espera permitió presentar una propuesta de mejora en la referida mina, tomando en cuenta que en cuanto avanza la extracción de mineral de la mina como es superficial se va avanzando a mayor distancia este proceso y por lo tanto la distancia hacia la planta concentradora es variable.

Asimismo (Ortiz Sanchez, 2017) menciona la aplicación de la teoría de colas en el la minera corona s.a.” menciona la aplicación de líneas de espera en el proceso de carga al interior de la mina, así como transporte y descarga de mineral al exterior de la mina, evaluando los puntos de carguío a la planta de tratamiento así mismo los costos relacionados con el transporte y el uso de tolvas, así como los tiempos de espera.

Por otro lado, (Pardo Navarro, 2019) en su tesis titulada “Optimización del transporte de desmonte con volquetes mediante la teoría espera en la mina Yauricocha, transportando los desechos de desmonte de la desmontara el Chumbe a la para ser transportado para el relleno de tajo de mina Central, utilizando un cargador frontal 996 H CAT y volquetes Volvo FMX 440, realizando la propuesta de instalación de nuevos puntos de carga reduciendo de esta forma los tiempos muertos y los costos asociados.

Corroborar a esta investigación (Neyra Ayma, 2020) quien en su tesis sobre “Estudio del cálculo de flota de camiones para una operación minera a cielo abierto” aplica el modelo de líneas de espera para el cálculo óptimo de camiones transportadores de la mina de Cerro de Pasco, considerando diversos factores en los procesos de carga, transporte y descarga de mineral.

En el entorno regional, tenemos como antecedente la siguiente investigación:

(Espinoza Aguero, 2019) en su tesis titulada “Capacitación y entrenamiento en simulador camión y las competencias de los colaboradores de la Compañía Minera Miski Mayo, Sechura 2019; la tesis tuvo como objetivo determinar la relación de la capacitación y entrenamiento en simulador camión con las competencias de los colaboradores, teniendo como resultados que el 68.7% de los colaboradores calificara que es buena y óptima.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Explotación minera

La explotación minera en el Perú desde la época de la colonia y durante la época republicana, la minería estuvo Durante la Colonia y toda la etapa republicana del siglo XIX, la minería estuvo bajo el reglamento de las Ordenanza de Indias y disposiciones administrativas que rectificaban o ampliaban. (OSINERGMIN, 2007).

Este código autorizó a quienes se dedicaban a la explotación minera a nivel nacional favoreciendo al concesionario generando problemas con la agricultura. Bajo este marco legal, el minero pagaba un impuesto por las utilidades industriales y comerciales, posteriormente se estableció un decreto que exoneraba por 25 años al minero de todo gravamen por crearse. (OSINERGMIN, 2007).

En 1971, durante el régimen militar del Presidente Juan Velasco Alvarado promulgó la ley general de la minería 18880, en dicha ley se declara la propiedad estatal de los yacimientos mineros como inalienables e imprescriptibles.

A partir de entonces, se realizó la estatización de diversas empresas y organizaciones privadas presentes en todas las etapas de la actividad minera reduciéndose la actividad privada sujeta a un régimen de concesiones.

Posteriormente con la formación de la constituyente de 1979 se aprobó medidas de promoción minera siendo el Decreto Legislativo No. 34 que señala una modificación del porcentaje de reinversión de utilidades necesario para la exención del pago de impuestos. (OSINERGMIN, 2007).

2.2.2. Optimización

Considerándose la actividad minera como una industria, que requiere de diversos recursos para su explotación y el cumplimiento de los nuevos estándares de calidad ambiental aplicando para ello la tecnología necesaria que minimice el daño ecológico, es por lo que se buscan nuevos métodos que optimicen el uso de los recursos a emplear en su explotación.

2.2.3. Productividad minera

Considerándose la actividad minera como una industria, que requiere de diversos recursos para su explotación y el cumplimiento de los

nuevos estándares de calidad ambiental aplicando para ello la tecnología necesaria que minimice el daño ecológico, es por lo que se buscan nuevos métodos que optimicen el uso de los recursos a emplear en su explotación.

De esta forma, al aplicar técnicas con bases científicas se busca optimizar maximizar utilidades y reducir costos en los procesos productivos.

2.2.4. Sistema de carga y transporte

El sistema de carga y transporte de material de mina está conformado por las palas excavadoras y los camiones transportadores de material de la mina. Siendo las primeras, las que surten de material a los camiones.

Al respecto, se toma en cuenta el tipo de excavadora y camión, considerando diversos factores para el transporte tales como la geometría de la vía, la velocidad de producción, distancia de transporte, el método de explotación, el tonelaje de reservas de minera, las dimensiones del camino de acarreo, la seguridad, el capital y los costos de operación, intersecciones viales, la velocidad requerida de los camiones, esquinas y curvas, calidad de vías a recorrer, etc. (Mayhua Mendoza, 2012)

2.2.5. Teoría de líneas de espera

La teoría de líneas de espera o teoría de colas es un conjunto de modelos matemáticos que se utilizan para la descripción de líneas de espera que observamos en diversas realidades con el fin de determinar la capacidad de servicio en la modelación, mencionado por Hurtado Quinto (2019, citado en Max Schwarz, 2013, Blog)

Tiene como aplicaciones en la programación de camiones tolveros para la carga de material de mina, optimizando los tiempos de ciclo de mineral desde los bancos de tajo hasta las plantas de beneficio. En estas aplicaciones las palas actúan como servidores que cargan de mineral a los camiones y estos están en la cola en espera de ser cargados (de

mineral o desmonte). Las ecuaciones de los modelos de líneas de espera, permiten predecir niveles de servicio que pueden simularse de tal forma que podamos reasignar recursos y utilizar al máximo la capacidad instalada. (Hurtado Quinto, 2019, citado en Max Schwarz, 2013, Blog)

Un sistema de colas o líneas de espera tiene tres elementos: el sistema de población(entidades), el sistema de colas y el sistema de servicio (servidor). Ver figura 2.

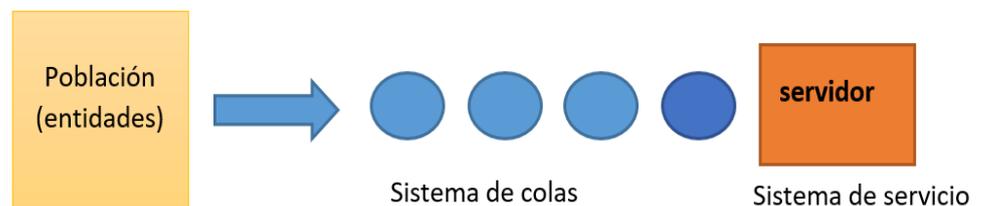
2.2.6. Clasificación de las líneas de espera

La línea de espera se clasifica en:

a) Sistema de una etapa

Son los sistemas de un solo canal (ver figura 02) donde se aprecia la cola y un servidor.

Figura 2:Línea de espera de una etapa

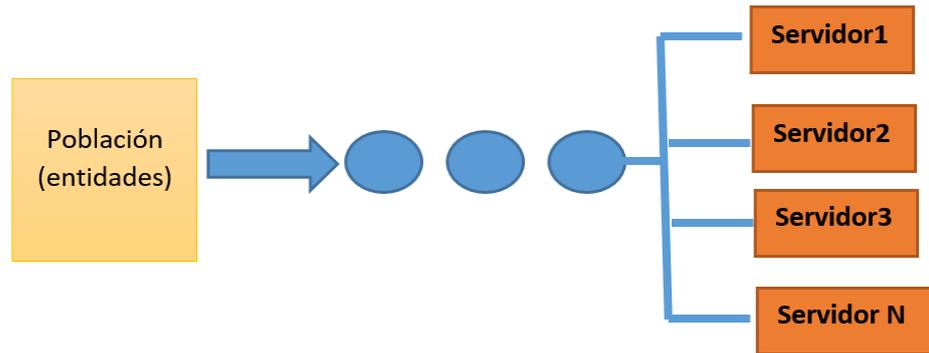


Fuente: Elaboración propia

b) Sistema de múltiples etapas

Son los sistemas de un solo canal con múltiples servidores (ver figura 3)

Figura 3:Linea de espera de varias etapas



Fuente: Elaboración propia

2.2.7. Software Arena para el modelado de líneas de espera

El software arena constituye una herramienta para la construcción de modelos de simulación conformado por los siguientes elementos:

2.2.7.1. Entidades

Según (Allende, 2000) las entidades son elementos que se mueven alrededor del sistema, pudiendo afectarlo y a la vez ser afectado por otras entidades del sistema

2.2.7.2. Atributos

Son características propias de cada entidad que las hace diferentes unas de otras, tomando valores según el caso.

(Allende, 2000)

2.2.7.3. Variables

Es una parte de la información que representa a una parte del sistema. Hay variables propias del software arena y aquellas definidas por el usuario. (Allende, 2000)

2.2.7.4. Recursos

Son capacidades variables modificadas durante la simulación, así mismo una entidad puede tomar un recurso cuando lo considera necesario y está disponible y liberarlo después de utilizarlo. (Allende, 2000)

2.2.7.5. Colas

Cuando una entidad no se puede mover debido a que necesita el servicio de un servidor, el cual está ocupado, debe de esperar en un espacio de cola. (Allende, 2000).

2.2.7.6. Acumulador estadístico

Son variables que acumulan valores durante la ejecución de la simulación, ejemplo: el tiempo acumulado durante la corrida del modelo, tiempo improductivo de una entidad.

2.2.7.7. Eventos

Son situaciones que cambian en un momento dado en el tiempo de simulación, pudiendo cambiar los atributos del sistema, ejemplo: inicio del sistema, entrada de una entidad, salida de una entidad, el sistema termina en 15 minutos. (Allende, 2000).

2.2.7.8. Reloj de simulación

Es el tiempo de simulación que se obtiene de una variable global del sistema de simulación. (Allende, 2000)

2.2.7.9. Inicio y parada de la simulación

Según (Salvatierra Baltazar, 2021 quien cita a Gómez, 2006) menciona que es el usuario quien configura el inicio y parada de la simulación para un tiempo determinado

2.2.7.10. Módulos del software arena

2.2.7.10.1. Créate

Según (Allen Bradley, 2007) el módulo créate es el punto de partida para la creación de entidades en una simulación. Las entidades se crean empleando un tiempo entre llegadas. Se representan según la fig.4

Figura 4: Módulo de Inicio

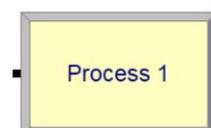


Fuente: Manual de software Arena(Allen Bradley, 2007)

2.2.7.10.2. Process

Este módulo de la figura 5, permite realizar procesos específicos en el procedimiento de simulación, empleando para ello los recursos disponibles.

Figura 5: Modulo de Proceso

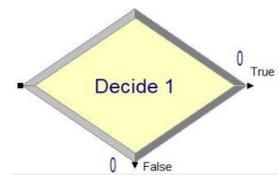


Fuente: Manual de software Arena(Allen Bradley, 2007)

2.2.7.10.3. Decide

Este módulo (figura 6) permite tomar decisiones cuando en el problema lo requiera. Contando con valores para los atributos (Allen Bradley, 2007).

Figura 6: Modulo de decisión



Fuente: Manual de software Arena(Allen Bradley, 2007)

2.2.7.10.4. Assign

Este módulo permite asignar valores, atributos de entidad a variables del sistema (Allen Bradley, 2007).

Figura 7:Modulo de asignación



Fuente: Manual de software Arena(Allen Bradley, 2007)

2.2.7.10.5. Record

Según (Allen Bradley, 2007), este módulo se utiliza para la estadística del modelo de simulación cuyos valores se acumulan. (ver figura 8)

Figura 8: Modulo de registro estadístico



Fuente: Manual de software Arena(Allen Bradley, 2007)

2.2.7.10.6. Delay

Según el manual del software Arena (Allen Bradley, 2007) indica que este módulo indica el periodo de tiempo de retardo de una entidad.(ver figura 9)

Figura 9:Módulo de tiempo de retardo



Fuente: Manual de software Arena(Allen Bradley, 2007)

2.2.7.10.7. Match

Es el módulo de ajuste el cual reúne a un número determinado de entidades de espera en las colas, debiendo tener los valores de los atributos antes de iniciar. (ver figura 10)

Figura 10: Modulo de ajuste



Fuente: Manual de software Arena(Allen Bradley, 2007)

2.2.7.10.8. Readwrite

Según el manual del software Arena (Allen Bradley, 2007), este módulo permite leer datos de un archivo y asignar el valor de los datos a una lista de variables o atributos, así mismo escribir datos a un dispositivo de salida como la pantalla, disco, impresora, etc.(ver figura 11)

Figura 11: Modulo de lectura y escritura



Fuente: Manual de software Arena(Allen Bradley, 2007)

2.2.8. Diagnóstico de la mina de Bayovar

2.2.8.1. Historia de la mina de fosfatos Bayovar

La mina de fosfatos de Bayovar fue descubierta el año 1950, sin embargo, después de 50 años se inicia el proceso de explotación de los yacimientos mineros. Es así que en el año 2010 se comenzó la exportación de los fosfatos al Brasil por la empresa Miski Mayo subsidiaria de la Empresa Vale. Para realizar esta explotación y exportación de fosfatos, la Empresa Brasileira Vale desarrollo el proyecto Bayovar considerado como como proyecto de yacimiento no metálico siendo el tipo de explotación superficial por capas de roca fosfórica.

2.2.8.2. Ubicación de la mina de fosfatos Bayovar

La mina de fosfatos de Bayovar, se encuentra ubicada en la costa norte del Peru, en el Departamento de Piura, provincia de Sechura al sur de la bahía del mismo nombre. Desde la década

de los años 1950 esta zona del desierto fue explorada extensamente y estuvo bajo estudio por diversas empresas públicas y privadas del Perú y extranjeras, quienes diagnosticaron que se trataba de un gigante yacimiento minero de fosfatos. (Cabezas Oruna, 2011)

El proyecto inicial está en operación desde el 2010 y tuvo una capacidad anual de 3.9 millones de toneladas. Demandó una inversión de US\$ 566 millones. Vale do Rio viene evaluando una ampliación de la planta para elevar en 50% su producción de roca fosfórica hasta 5.8 millones de toneladas. (Cabezas Oruna, 2011)

En el boletín del Ministerio de Energía y Minas, menciona la producción de minerales no metálicos refiriendo que en el año 2019, la producción de fosfatos fue de 991,757 toneladas métricas mensuales y en el año 2020 la producción disminuyó en casi un 50% es decir 494,989 toneladas métricas al mes (Ministerio de Energía y Minas, 2020) ver tabla 1.

Tabla 1: Producción minera no metálica

Metal	Mayo			Enero-Mayo		
	2019	2020	Var. %	2019	2020	Var.
Caliza / Dolomita (TM)	1,065,085	29,173	-97.3%	5,099,448	6,428,127	26.1%
Fosfatos (TM)	991,757	494,989	-50.1%	4,571,125	2,649,947	-42.0%
Hormigón (TM)	550,557	1	-100.0%	2,927,481	1,129,213	-61.4%
Sal (TM)	100,512	68,402	-31.9%	515,006	479,299	-6.9%
Conchuelas (TM)	171,808	1,851	-98.9%	724,346	338,981	-53.2%
Puzolana (TM)	124,602	23,977	-80.8%	489,684	318,778	-34.9%
Arena (Gruesa/Fina) (TM)	162,519	1,540	-99.1%	853,277	294,584	-65.5%
Piedra (Construcción) (TM)	145,952	14,359	-90.2%	746,883	240,182	-67.8%
Andalucita (TM)	60,833	40,947	-32.7%	314,375	166,238	-47.1%

Datos preliminares.

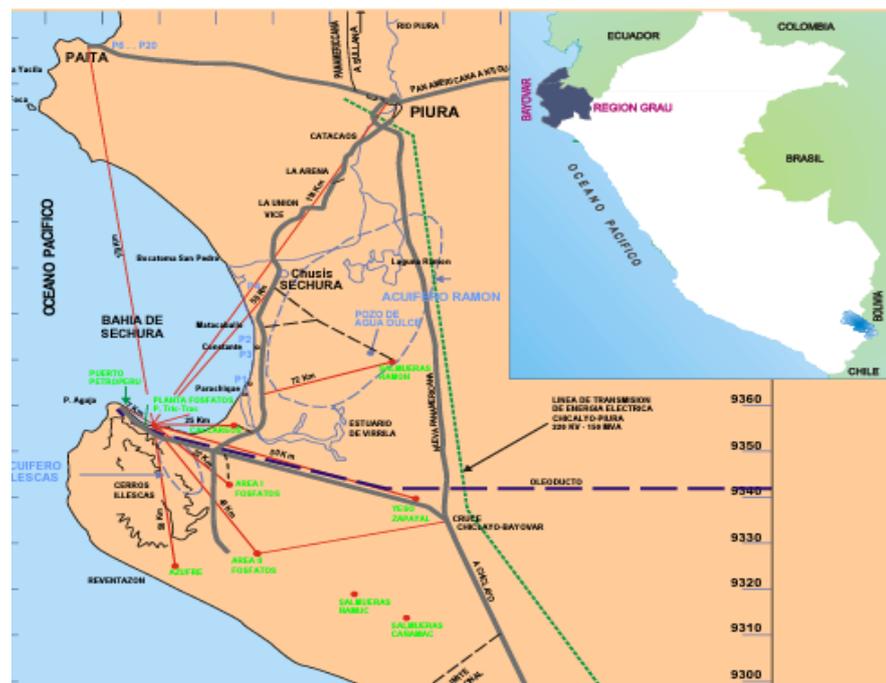
Fuente: Dirección de Gestión Minera, DGM/ Fecha de consulta: 25 de junio de 2020.

Elaboración: Dirección de Promoción Minera, DGPSM.

2.2.8.3. Vías de acceso

La ubicación de la mina de fosfatos de Bayovar se conecta con la carretera a panamericana con un desvío Chiclayo a Sechura y la carretera que une Piura con las localidades de Catacaos, la Arena la Unión, Vice y Sechura. (ver figura 12)

Figura 12: Vías de acceso a la mina de Sechura



Fuente: (Vega, Jose Luis, 2005)

2.2.8.4. Descripción de los procesos en la mina

Los procesos de la mina de fosfatos de Bayovar se inician con la extracción a tajo abierto que tiene un área de 4200 hectáreas, donde con excavadoras se remueve la arena y el material sedimentario hasta dejar expuesto el mineral de la roca fosfórica que es transportada por camiones a la planta concentradora. (Cabezas Oruna, 2011).

La planta concentradora tiene una capacidad de cuatro millones de toneladas anuales. El mineral extraído de la mina es

apilado cerca de la planta y llevado mediante faja transportadora para ser lavado con agua de mar y seleccionado, finalmente el mineral es lavado con agua tratada con osmosis inversa para retirarle la mayor cantidad de sales, obteniéndose de este modo el mineral con una humedad del 15% (figura 13).

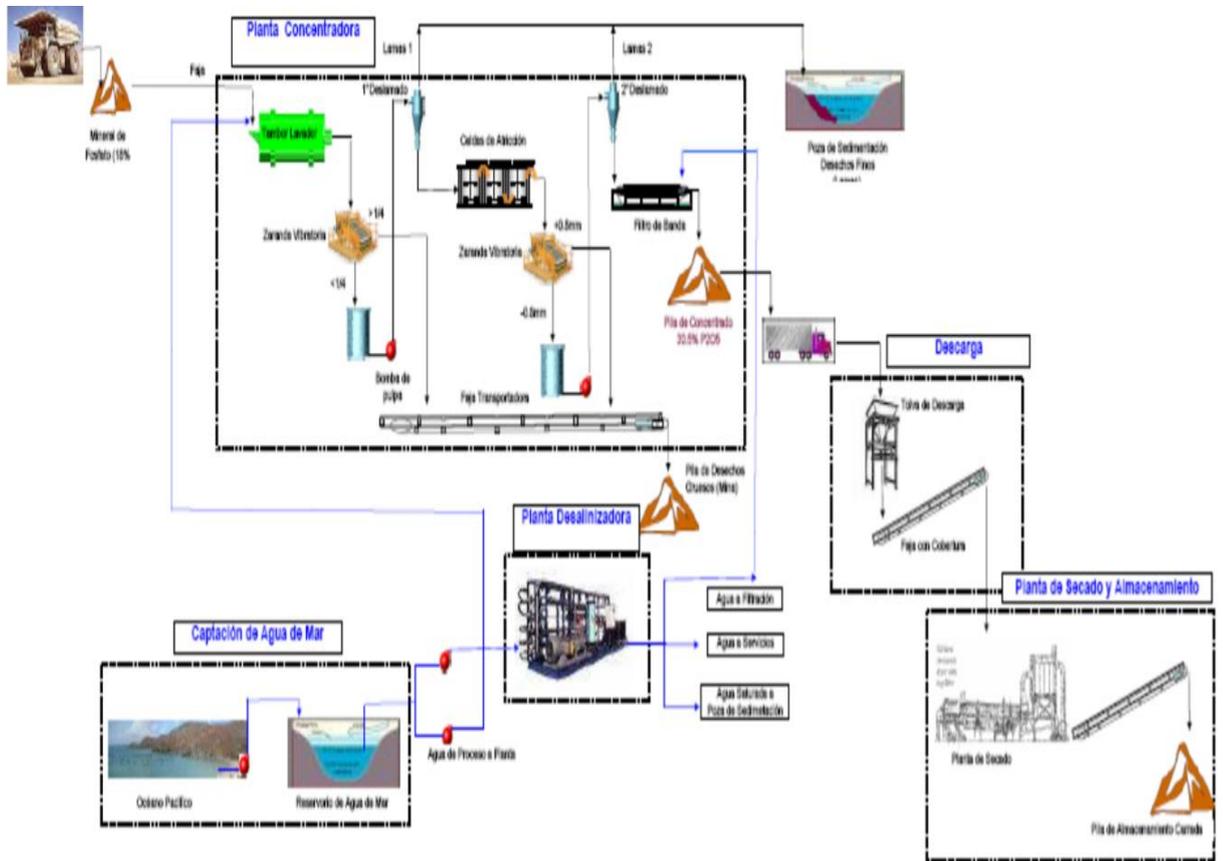
El mineral es transportado por camiones bitrenes a la zona de descarga de concentrados, que consiste en dos tolvas de recepción siendo transportado por faja de 5 kilómetros a la zona de secado y almacenado (figura 14). (Vega, Jose Luis, 2005)

Figura 13: Mapa General de las instalaciones



Fuente: Minera Misky Mayo

Figura 14: Diagrama de flujo de la planta



Fuente: (Vega, Jose Luis, 2005)

Figura 15: Procesos en la mina realizados por Misky Mayo





Fuente: http://miskimayo.com/products/proceso_productivo.htm

2.2.8.5. Producción actual

La producción actual hasta setiembre del año 2021 de la mina de fosfatos de Bayóvar fue de 815.541 toneladas métricas mensuales, así mismo la producción acumulada resulto ser 32.5% mayor a la del año anterior, por el problema de la pandemia. Sin embargo, Misky Mayo sigue siendo el mayor productor de fosfatos del Perú, con un aporte de 99.8% del total, de tal manera que la Región Piura ostenta el 100% de participación. (Energimas, 2021)

2.2.8.6. Método de explotación

La explotación realizada en los yacimientos de Bayovar, es de cielo abierto, donde no se utilizan detonaciones para la obtención del mineral no metálico fosfato.

Sin embargo, cabe mencionar que en la explotación minera de cielo abierto tiene sus métodos que en el pasado la selección del método se basaba en técnicas aplicadas en otras minas y en la experiencia obtenida de depósitos similares. En ese sentido la inversión que se realiza para abrir una nueva mina o cambiar de método de explotación es muy elevado. (Herrera Herbert, Juan, 2006)

Por lo tanto, deben considerarse los diversos parámetros mediante un análisis sistemático y global, entre los que destaca la geometría del depósito, propiedades geo mecánicas del mineral y rocas encajantes, factores económicos, limitaciones ambientales, condiciones sociales, etc. (Herrera Herbert, Juan, 2006)

En los yacimientos mineros de Sechura se realizaron estudios durante varias décadas, de tal manera que se consideró el criterio por su proximidad a la superficie, por encontrarse el mineral a una proximidad menor a los 30 metros. Se emplea el sistema de operación o arranque sin voladura con equipos de palas y el transporte se efectúa con volquetes mineros.

Figura 16: Modelo de colas para la industria minera



Fuente: Elaboración propia

2.2.8.7. Rendimiento de palas y camiones

El rendimiento de palas y camiones es estándar según los equipos de la marca komatsu

2.2.8.8. Camiones transportadores

El mineral transportado de la mina a la planta procesadora mediante camiones 730E y HD 705 cuyos indicadores de rendimiento (kpi) se detallan en el anexo 03 (ver figura 9).

Figura 17: Camión minero 730E y camión minero HD 705



Fuente: Misky Mayo

2.2.8.9. Palas

Las palas excavadoras utilizadas en el proceso de carga en la empresa Miski Mayo son las PC4000 ver figura 18, cuyas características técnicas (kpi) se especifican en el anexo 03.

Por otro lado, cabe mencionar que entre los medios de transporte de mineral en la empresa Miski Mayo, se destacan los siguientes:

- A. Camiones bitrenes
- B. Fajas trasportadoras
- C. Camiones 730E y camión minero HD 705

Del mismo modo podemos mencionar que el empleo de camiones bitrenes y camiones 730E y HD 705 requieren:

- A. Buenas carreteras que minimizan el costo en llantas
- B. Son limitadas a distancias de aproximadamente 4 km.
- C. En el terreno llano son flexibles y de gran capacidad

Sin embargo, las fajas trasportadoras (Neyra Ayma, 2020) presentan las siguientes características:

- A. Transportan altos volúmenes, grandes distancias y bajo costo
- B. Son difíciles y costosas de moverlas
- C. Tienen un alto costo de inversión
- D. Pueden transportar en pendientes altas de hasta 40 grados
- E. El material requiere ser de tamaños pequeños para incrementar la vida útil de la faja.

Figura 18: Palas excavadoras en la mina Miski Mayo Komatsu PC4000



Fuente: Empresa minera Miski Mayo

2.2.9. Combinación de sistema de carguío y transporte

Se recomienda una combinación adecuada entre los medios de carguío y transporte en función de sus capacidades (Neyra Ayma, 2020), considerando la realidad de la empresa Miski Mayo, así

- A. Pala – camión
- B. Pala – camión – faja transportadora

2.2.10. Camiones en tajo abierto

Siendo la característica de la mina de Bayovar de tajo abierto, el método más recomendable es de volquetes, debido a su gran movilidad, flexibilidad y facilidad para vencer pendientes altas. (Neyra Ayma, 2020)

2.2.11. Ciclo de operación de los camiones

El ciclo de operación de los camiones está considerado por el tiempo de carga, descarga, transporte y retorno, así mismo se consideran los tiempos fijos (tf) y el tiempo variable (tv)

Tiempo de carga (tc)

Tiempo de transporte (tt)

Tiempo de descarga (td)

Tiempo de retorno (tr)

Tiempo fijo = tiempo de carga, descarga y otras demoras

Tiempo variable = tiempo de transporte y retorno

Siendo su fórmula correspondiente:

$$T_c = t_c + t_t + t_d + t_r$$

$$T_c = t_f + t_v$$

2.2.12. Actividades improductivas en el proceso de acarreo de mineral

En el proceso de carga, transporte y descarga de mineral, cabe señalar lo que indica (Hurtado Quinto, 2019 citando a Huarocco Canto, Pabel Max, 2014, p.89) que durante el proceso de acarreo también se consideran tiempos de actividades improductivas como:

- Falta de camión
- Cambio de turno
- Mantenimiento preventivo programado
- Levantamiento topográfico
- Alimentos

- Otros

2.2.13. Rendimiento y flota de camiones

Calculo de la producción horaria de camiones (Neyra Ayma, 2020)

$$\frac{\text{ton}}{\text{hora}} = \frac{N_{\text{ciclos}}}{\text{hora}} * \frac{\text{Capacidad}}{\text{ciclo}} * f_{\text{de llenado}} * \text{eficiencia combinada}$$

Camiones requeridos

$$N^{\circ} \text{ de camiones} = \frac{\text{Produccion requerida/ hora}}{\text{Produccion camion /hora}}$$

Número de camiones por pala

$$N^{\circ} \text{ Camiones por pala} = \frac{60 * \text{ciclo de trabajo por camion}}{\text{ciclo de pala} * n^{\circ} \text{ pases}}$$

2.2.14. Factores que afectan el rendimiento de los camiones

Los factores que afectan la performance o rendimiento de los camiones son: (Neyra Ayma, 2020, pág. 70-71)

1. Propiedades del material a transportar
2. Fuerza de jale o tipo
3. La tracción
4. Resistencia de rodamiento(rr)

5. Resistencia a la pendiente (rp)
6. Resistencia al viento (aire)
7. Condiciones de altura y temperatura
8. Aceleración
9. Ciclo de operación
10. Eficiencia de trabajo (combinado la eficiencia de operación)

Estos factores se agrupan en dos:

- a) Factores para producción: buena fragmentación, propiedades del material, condiciones mecánicas o eléctricas del camión, habilidad del operador y su eficiencia
- b) Factores para acarreo o transporte: capacidad de la unidad, distancia de acarreo o transporte, condiciones de la carretera, factores climatológicos, etc.

El tamaño óptimo del camión se puede obtener graficando los costos unitarios con el tamaño de los camiones y obteniendo el mínimo de la curva, a medida que se profundiza el tajo la distancia ira aumentando, graficando varias curvas se obtiene el tamaño óptimo de los camiones para cada banco, estos puntos siguen aproximadamente una línea recta (Neyra Ayma, 2020, pág. 71, citado por Rodríguez, 2019)

2.2.15. Índices de disponibilidad y utilización de equipos en

Tajo Abierto

Para calcular los índices de disponibilidad y utilización de equipos se realizan los siguientes cálculos (Neyra Ayma, 2020, citado de Ortiz, Canchari, Iglesias & Gonzales, 2007)

I. Disponibilidad mecánica

$$DM = \frac{HP - (MP + RME) * 100}{HP}$$

$$DM = \frac{HORAS DISPONIBLES}{HORAS PROGRAMADAS}$$

DONDE:

HP= Horas programadas para operar el equipo

MP= horas de mantenimiento preventivo

RME=Horas de reparaciones mecánicas y eléctricas

II. Disponibilidad del equipo (DE)

$$DE = \frac{HP - (MP + RME + DO + OD) * 100}{HP}$$

$$DE = \frac{HORAS DE OPERACION}{HORAS PROGRAMADAS}$$

Donde:

DO= demoras operativas (accidentes, derrumbes, traslado)

OD= otras demoras (falta de repuestos, herramientas y charlas de seguridad)

III. Utilización efectiva del equipo (UE)

$$DE = \frac{HP - (MP + RME + DO + OD + DF) * 100}{HP}$$

$$DE = \frac{HORAS TRABAJADAS}{HORAS PROGRAMADAS}$$

Donde:

DF= demoras fijas (ordenes, marcación de la tarjeta, vestuario, refrigerio, etc.)

2.2.16. Costo de producción en minería superficial a cielo abierto

2.2.16.1. Costo de transporte por camiones

El costo por camiones (Neyra Ayma, 2020, citado de Rodríguez, 2019) afirma que los costos de transporte por camiones, considerando los siguientes rubros:

Tabla 2: Costo de transporte por camiones en porcentajes

Costo de transporte por camiones	
Rubro	Porcentaje
Costo de llantas	40
Costo de mantenimiento	30
Costo de lubricantes y combustible	20
Labor y operador	10

Fuente: (Rodríguez Dorregaray, 2019)

2.2.16.2. Costo de explotación a cielo abierto

Rodríguez Dorregaray (2019) en su tesis “Gestión de transporte y acarreo de mineral y desmonte en mina Cuajone de Souther Peru Corporation” señala que Caterpillar ha desarrollado estudios de costos de explotación de cielo abierto, en una diversidad de empresas mineras, cuyos costos porcentuales aproximados se muestran en la tabla 3. Cabe destacar que, según lo indicado en la tabla en mención, es en el rubro de carguío y transporte el 44% de los costos de producción minera a cielo abierto.

Tabla 3: Costo Total de producción a cielo abierto

Rubro	Porcentaje
Voladura	25
Carguio	10
Transporte	34
Chancado	2
Equipos auxiliares	7
Servicios auxiliares	4
Gastos generales	18
Total de costos de producción	100%

Fuente: (Rodríguez Dorregaray, 2019)

2.2.17. Etapas de un modelo de simulación

Un modelo de simulación es la representación de un sistema actual considerando las características más representativas de la realidad bajo estudio para cuya elaboración se siguen las siguientes etapas (ver figura 19).

Figura 19: Etapas de un modelo de simulación



Fuente: Elaboración propia en base a (Morales Pulcha, 2019)

2.2.17.1. Formulación del problema

Muchas veces se formula el problema como una pregunta que permitirá guiar en el proceso de investigación, pero también deben considerarse ciertos parámetros o restricciones que se deben considerar en el estudio. En el caso de estudio de la industria minera debe especificarse el área a considerar que es el problema de transporte de mineral con la determinación de tiempos en los procesos de carga, descarga y transporte. En el presente estudio de la minera de Bayovar, la explotación es de cielo abierto, donde se han considerado los diversos parámetros que requiere la teoría de líneas de espera.

2.2.17.2. Comprensión del sistema a estudiar

En esta etapa se debe considerar el conjunto de elementos del sistema o subsistema bajo estudio y su relación entre ellos, considerando la información de la organización. Respecto al presente estudio se tendrá en cuenta el desempeño de las palas y camiones y los tiempos empleados en los procesos de carga, transporte y descarga de mineral, así como los tiempos de descanso y tiempos de mantenimiento de equipos.

2.2.17.3. Recolección de datos del sistema

En esta etapa se consideran los datos de entrada al sistema, que debe estar registrada en la empresa, entre los que destaca:

- a) Tiempo entre llegadas de camiones
- b) Tiempo de transporte
- c) Tiempo de carga y descarga de mineral
- d) Tiempo de ciclo por camión
- e) Tiempo de toma de alimentos
- f) Tiempo de descanso del personal
- g) Número de colaboradores(as) del subsistema de transporte
- h) Tiempo entre fallas mecánicas
- i) Capacidad de la zona apilado de descarga
- j) Numero de palas y camiones
- k) Distancia promedio de mina a la zona de descarga
- l) Turnos de trabajo

2.2.17.4. Construcción del modelo

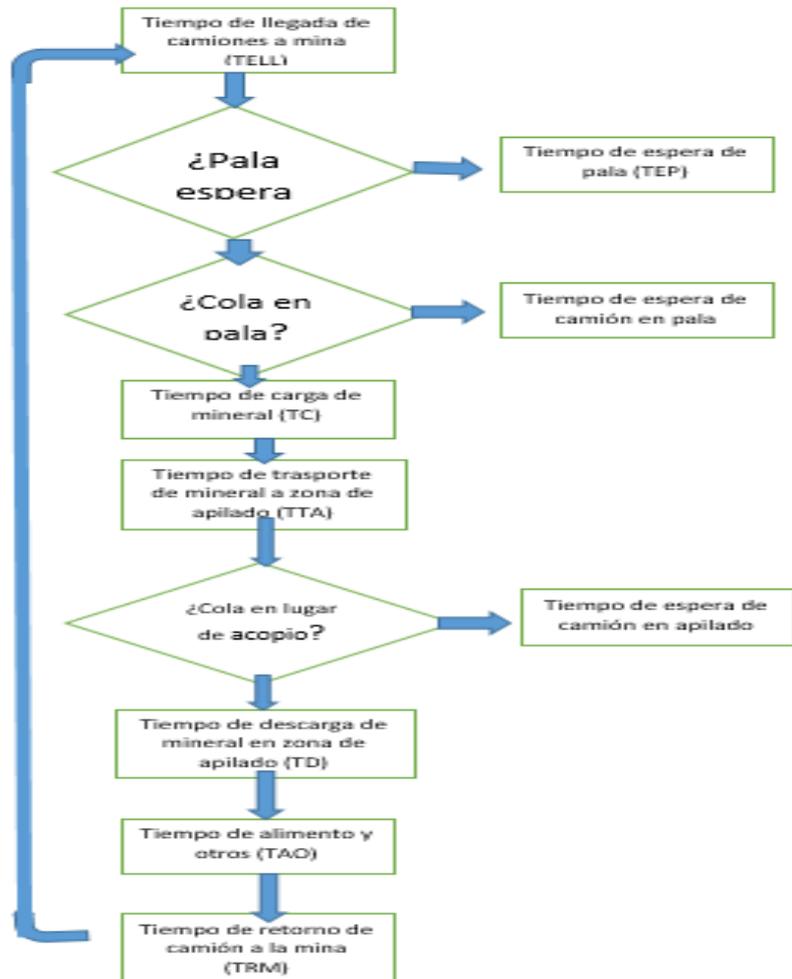
El modelo se construyó con la herramienta de simulación Arena (versión estudiante), tomando en cuenta el diagrama de contexto, el número de camiones (clientes) y el número de palas (servidores) así como las distribuciones de probabilidad a emplear según los datos del sistema.

2.2.17.4.1. Diagrama de flujo del ciclo de camión - pala

Como se mencionó en el apartado 2.2.11, se ha representado el modelo del sistema empleando las variables específicas dentro del ciclo de camión y pala, considerando: carga, traslado y descarga, incluyendo los tiempos de espera en pala y en la zona de descarga de fosfatos, como son:

- Tiempo entre llegas de camiones (TELL)
- Tiempo de espera de pala (TEP)
- Tiempo de espera de camión en cola de pala (TECP)
- Tiempo de carga (TC)
- Tiempo de transporte a zona de apilado de mineral (TTA)
- Tiempo de descarga (TD)
- Tiempo de retorno a mina (TRM)
- Tiempo de alimentos y otros (TAO) se considera los tiempos de alimentos de los colaboradores y de mantenimiento programado de camiones y palas

Figura 20:DIAGRAMA DE PROCESOS DE LA MINA AL CENTRO DE ACOPIO



Fuente: Elaboración propia

2.2.17.5. Verificación y validación del modelo

En esta etapa, donde el modelo trabaja correctamente es necesario verificar que los resultados sean verificables con las formulas y distribuciones empleadas con resultados aproximados, luego se valida los resultados del modelo con la información del sistema real, de manera que, si bien no sea exacta, es aproximada.

2.2.17.6. Experimentación de escenarios

Los escenarios son situaciones supuestas o hipotéticas con las que se puede experimentar cambiando ciertos parámetros del modelo, generando situaciones pesimistas, considerando ciertas interferencias de clima, mantenimiento programado, operadores de máquinas ausentes, optimistas, cuando no se consideran retrasos de ningún tipo y más probables, es cuando se producen situaciones poco comunes como incidentes, abastecimiento de combustible, toma de alimento de los operadores de camiones o palas, situaciones que hacen que los tiempos de espera se dilaten y con cuyos resultados se toman decisiones.

2.2.17.7. Análisis de escenarios

En esta etapa final se analizan los resultados de la experimentación del modelo verificando con la situación actual en cuanto a indicadores de producción minera, el comportamiento del modelo en los diversos escenarios y los aportes en el proceso de simulación, lo cual nos llevara a la conclusiones y recomendaciones del estudio.

2.3. Marco conceptual

2.3.1. Simulación

La Simulación es una técnica con la cual se pueden realizar experimentos mediante modelos matemáticos con el software por computadora. Estos modelos deben ser el reflejo del comportamiento y estructura del sistema real, siendo la complejidad una característica

de estos sistemas. En este sentido la simulación es una herramienta que proporciona información aproximada y no exacta, sin embargo, su información es proporcionada en base a escenarios con los cuales es más factible tomar decisiones en situaciones de riesgo.

2.3.2. Modelo

Un modelo es la representación de un sistema real, para lo cual la información de entrada debe validarse con la información del sistema bajo estudio, de manera que el modelo refleje la realidad bajo estudio, por lo tanto podemos realizar experimentos controlados con el modelo simulando escenarios posibles que nos brindaran resultados aproximados a la realidad, considerando que es mejor tener un resultado aproximado a un problema bien planteado que un resultado exacto a un problema no bien definido. (Seminario Vasquez, 2021)

2.3.3. Teoría de colas o líneas de espera

La teoría de colas o líneas de espera tiene diversos usos en la industria minera. En este sentido los modelos matemáticos de la línea de espera nos permiten proyectar y aproximar la capacidad de producción mediante simulación permitiendo hacer uso de la capacidad máxima de las instalaciones.

De igual forma (Pardo Navarro, 2019) señala en la pág. 41, que la teoría de colas o líneas de espera está conformado por modelos matemáticos que describen en la realidad situaciones en que los demandantes de un servicio superan la capacidad de atención del servidor o servidores y tiene por objeto encontrar un estado estable y determinar la capacidad de servicio mediante la modelación.

2.3.4. Línea de espera aplicada a la industria minera

La línea de espera o cola (figura 7) se encuentra cuando en un sistema el requerimiento de un servicio o de un producto rebasa la cantidad que el sistema puede suministrar y comprende los siguientes componentes:

- a) Entidades o clientes (Proceso de llegada) son los camiones transportadores
- b) Línea de espera de camiones en la carga de material en la mina o proceso de descarga de mineral en la zona de acopio.
- c) Servidor o sistema de servicio que son las palas o excavadoras (proceso de Servicio)

“La condición para que haya cola es que el número de entidades es mayor al número de servidores “ (Pardo Navarro, 2019)

Pero mediante la simulación, podemos determinar que también se dan retrasos en el transporte y en la zona de descarga de mineral.

2.3.5. Yacimiento minero

Según Hurtado Quinto, 2019, citado en Gustavo Castro, 2012, menciona que es la acumulación o concentración de una o más sustancias útiles de una o más sustancias útiles (metálica, de carbón o líquida como el petróleo, si su origen es sedimentario) que pueden ser explotadas económicamente. Formación o depósito que contiene reservas probadas de uno o varios minerales. Así mismo es la acumulación natural de una sustancia mineral o fósil, cuya concentración excede el contenido normal de una sustancia en la corteza terrestre (que se encuentra en el subsuelo o en la superficie terrestre). que en algún caso pueden ser objeto de explotación humana.

Figura 21: Yacimiento minero de Bayóvar con explotación a cielo abierto



Fuente: Miski Mayo <https://proactivo.com.pe/miski-mayo-inicia-perforaciones-al-noroeste-de-fosfatos-de-bayovar/>

2.3.6. Fosfatos

Son sustancias que contienen en común la presencia del grupo Fosfato (PO_4) como por ejemplo: fosfato de aluminio, fosfato de calcio, fosfato mono amónico, fosfato de di amonio, fosfato de sodio. Son de gran importancia en la industria, empleándose en fertilizantes, industria alimentaria y en limpieza. Escribe (s.f)

<https://www.quimicas.net/2015/09/los-fosfatos.html>.

Los fosfatos de Bayóvar proporcionan altos niveles de fosfato y calcio ayudando a corregir los niveles de acidez de los suelos, ofreciendo un alto nivel de eficiencia agrícola y está certificado para la agricultura orgánica¹. Entre sus características están que contiene un alto nivel de fósforo y calcio, tiene un alto grado de sustitución isomórfica de fósforo por carbonato, así mismo un alto nivel de solubilidad en ácido cítrico del 2% y granulometría fina como un alto valor correctivo. (Compañía Minera Miski Mayo)

¹ <http://miskimayo.com/products/fosfato.htm>

2.3.7. Acarreo

Acción de trasladar de un sitio a otro una cosa material o inmaterial

2.3.8. Banco

Son los cortes horizontales que se realizan en una mina de tajo abierto. A medida que la mina progresa hasta niveles más bajos, se deja bancos de seguridad en las paredes a fin de que capturen o retengan cualquier roca que caiga desde arriba. (Rodríguez Dorregaray, 2019).

2.3.9. Concentrado

Es un producto fino y polvoriento obtenido del proceso de molienda al triturar el material inicial.

2.3.10. Deposito

Es un cuerpo mineralizado definido y delimitado físicamente con suficiente perforación, excavación de zanjas y que se ha encontrado en cantidad suficiente que garantice su explotación.

2.3.11. Tajo abierto

Se llaman a las minas superficiales o a cielo abierto a diferencias de las subterráneas que se realizan bajo ella.

2.4. Sistema de hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

Mediante simulación es posible determinar el número óptimo de palas excavadoras y camiones transportadores de mineral y los tiempos improductivos de personal operativo de camiones y excavadoras de

la mina Bayovar a la zona apiladora de la planta concentradora de roca fosfórica

2.4.2. Hipótesis específicas

Es posible elaborar un modelo de simulación de transporte de mineral desde la mina hasta la zona apiladora de material de roca fosfórica.

Es posible aplicar la teoría de líneas de espera para determinar los tiempos muertos de palas y camiones transportadores y los tiempos improductivos del personal operario.

Es posible determinar los costos de transporte de material de la mina a la zona de apilado de la planta concentradora

2.5. Variables e indicadores

2.5.1. Variables

2.5.1.1. Variable independiente

X: Optimización de tiempo y transporte de mineral de los camiones y palas

2.5.1.2. Variable dependiente

Y: Simulación de líneas de espera

2.5.2. Indicadores

- Tiempo de ciclo de transporte de mineral (T_c)

- $T_c = T_{carga} + T_{descarga} + T_{traslado} + T_{otros}$

El tiempo de otros se refiere a los tiempos de refrigerio, tiempo de mantenimiento e imprevistos,

retrasos en el transporte y en la descarga de mineral

- Tiempo de ciclo simulado a escala
 - Es el tiempo de ciclo generado por el simulador en función de los parámetros del sistema minero.

2.6. Operacionalización de variables (matriz de consistencia)

VARIABLE DEPENDIENTE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSION	INDICADOR	UNIDAD DE MEDIDA
OPTIMIZACION	“La optimización es un proceso que tiende a minimizar o maximizar alguna variable de rendimiento, generalmente tiempo, espacio, procesador, etc”	Es el resultado de la evaluación de los tiempos productivos de carga y descarga de material de mina	tiempo	Tiempo de ciclo de transporte de mineral	minutos
VARIABLE INDEPENDIENTE					
SIMULACION DE LINEAS DE ESPERA	La teoría de la línea de espera o teoría de colas es un conjunto de modelos matemáticos que se utilizan para describir las líneas de espera que podemos observar en la realidad con el	Es el resultado de un estudio experimental con modelos matemáticos por computadora aplicando la teoría de líneas de espera	Tiempo a escala	Tiempo de ciclo simulado a escala	Minuto a escala

	objetivo de encontrar un estado estable y determinar una capacidad de servicio apropiada por medio de la modelación				
--	---	--	--	--	--

III METODOLOGIA EMPLEADA

3.1. Tipo y nivel de investigación

3.1.1. Tipo de investigación

Es una investigación descriptiva y explicativa y cuantitativa, dado que describe el proceso minero de extracción del mineral de roca fosfórica hasta su destino el centro de acopio, asimismo explica el tiempo de ciclo que no es exacto debido a situaciones externas, como descansos del personal, refrigerio y tiempos improductivos y tiempos de espera tanto de las palas como de los camiones transportadores.

3.1.2. Nivel de investigación

Esta investigación es de nivel descriptivo, dado que no se modifican las condiciones de la realidad en estudio

3.2. Población y muestra del estudio

3.2.1. Población

Está conformada por los 20 camiones que transportan el mineral de la mina a la zona de apilamiento de la planta concentradora y 7 palas que cargan el mineral a los camiones transportadores

3.2.2. Muestra

Está conformada por la misma cantidad de máquinas de la población de camiones y palas.

3.3. Diseño de investigación

Se utilizó el diseño descriptivo correlacional representado en el siguiente esquema:



Donde:

M= muestra representativa

X= variable independiente

Y= variable dependiente

R= relación entre las dos variables

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1. Reportes de los supervisores de la empresa

Esta información es considerada por los reportes diarios de los supervisores de la Empresa Misky Mayo que controlan y supervisan el normal funcionamiento de la maquinaria y equipos

3.4.2. Información técnica de equipos registrada en la empresa

Esta información que proporciona la empresa respecto a las características de los equipos que operan en la mina, como son palas y camiones de carga, transporte y descarga, así como los costos operativos de personal y maquinaria pesada.

3.5. Procesamiento y análisis de datos

3.5.1. Procesamiento de datos

Se utilizó el software arena para simular la trayectoria en la operación de carga, transporte de la mina a la zona de acopio de mineral, así como la descarga y retorno a la mina de la zona de acopio, así como el software Excel para determinar los

tiempos utilizados y los tiempos muertos de los equipos tanto como los tiempos improductivos del personal.

Se comparó los tiempos simulados con los tiempos reportados considerando los diversos parámetros de la zona minera.

3.5.1.1. Formulación del problema

Tal como se mencionó en el apartado 1.2 de la presente tesis ¿Es posible determinar mediante simulación la optimización del tiempo y el número de camiones y palas en el transporte de roca fosfórica de la mina de Bayovar al área apiladora de la planta concentradora de fosfatos?

3.5.1.2. Comprensión del sistema a modelar

La industria minera está conformada por diversos subsistemas que unidos permiten el logro de los objetivos determinados en el que destaca la explotación minera, la adecuación del mineral al estándar de los clientes externos y su exportación, siguiendo la normatividad ambiental y de responsabilidad social. Tomando en cuenta que el subsistema de carga, transporte y descarga de mineral en la zona de acopio es imprescindible para el resto de subsistemas de la industria minera.

Tomando en cuenta lo que menciona (Rodriguez Dorregaray, 2019) los costos de explotación minera de cielo abierto, en cuanto a transporte y acarreo suman el 44% de la inversión total (tabla 3) por lo que es importante el estudio para determinar el número de unidades de transporte y de palas en la explotación minera de Miski Mayo.

3.5.1.3. Recolección de datos

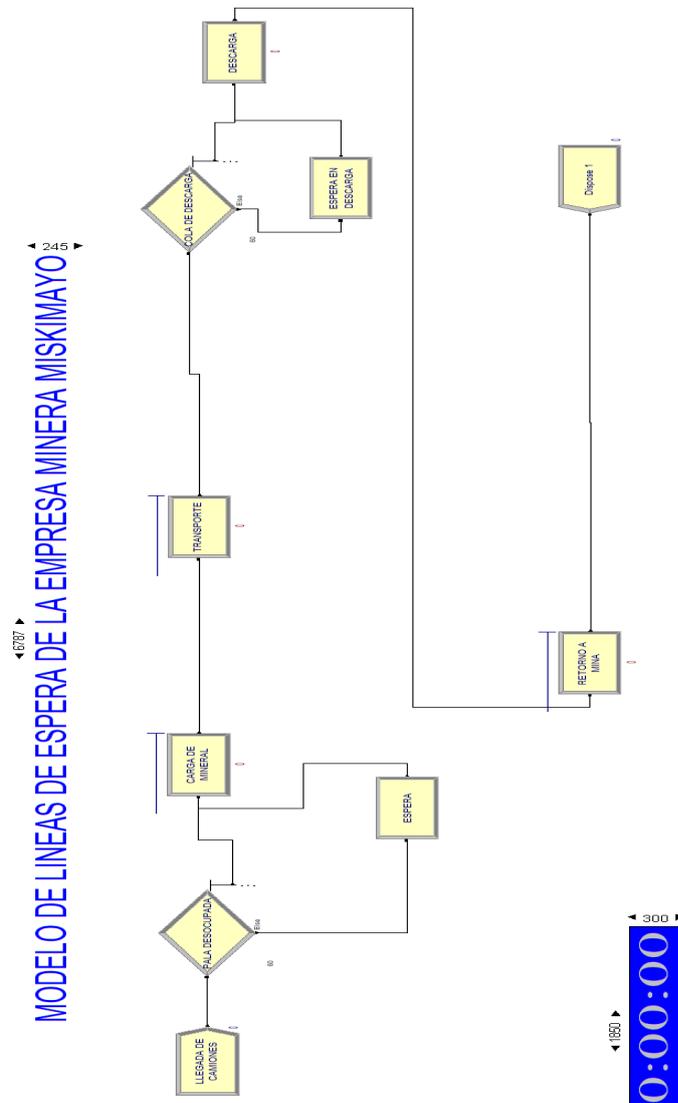
En esta etapa se ha utilizado la data de la Empresa Miski Mayo, que está conformada por el resultado de los informes de los supervisores de la mina entre los que tenemos los indicadores

de rendimiento de palas y camiones, los tiempos de carga y descarga de mineral, los tiempos entre llegadas, etc., que serán la data de entrada al modelo propuesto.

3.5.1.4. Construcción del modelo

Para la construcción del modelo, se empleó el software de simulación arena, como se mencionó anteriormente, con el cual se presenta en la figura N° 22 el modelo propuesto.

Figura 22: Modelo de línea de espera de minera MiskiMayo



Descripción de componentes del modelo

- Créate : Permite el ingreso de camiones a la zona de carga
- Decide : Es la decisión si “la pala esta desocupada” de ser verdad ingresa el camión a ser cargado, de lo contrario debe esperar
- Delay : Indica el tiempo de espera el mismo que es entre 2 y 4 minutos
- Process: Es el proceso de carga de mineral, de transporte, de espera, de retorno a la mina.
- Dispose : es el término del ciclo

Figura 23: Objetos del Modelo en Arena y Configuración

Create

Name: LLEGADA DE CAMIONES Entity Type: CAMIONES

Time Between Arrivals

Type: Expression Expression: UNIF(3,5) Units: Minutes

Entities per Arrival: 1 Max Arrivals: 20 First Creation: 20

OK Cancel Help

Decide ? X

Name: PALA DESOCUPADA Type: N-way by Chance

Percentages:

60	Add...
<End of list>	

Edit...
Delete

OK Cancel Help

Delay ? X

Name: ESPERA Allocation: Other

Delay Time: UNIF(2 , 4) Units: Minutes

OK Cancel Help

Process ? X

Name: Type:

Logic

Action: Priority:

Resources:

<input type="text" value="Resource, Resource 1, 1"/>	<input type="button" value="Add..."/>
<input type="text" value="<End of list>"/>	<input type="button" value="Edit..."/>
	<input type="button" value="Delete"/>

Delay Type: Units: Allocation:

Expression:

Report Statistics

Process ? X

Name: Type:

Logic

Action: Priority:

Resources:

<input type="text" value="Resource_Resource 1, 1"/>	<input type="button" value="Add..."/>
<End of list>	<input type="button" value="Edit..."/>
	<input type="button" value="Delete"/>

Delay Type: Units: Allocation:

Minimum: Maximum:

Report Statistics

Decide ? X

Name: Type:

Percentages:

<input type="text" value="60"/>	<input type="button" value="Add..."/>
<End of list>	<input type="button" value="Edit..."/>
	<input type="button" value="Delete"/>

Delay

Name: ESPERA EN DESCARGA Allocation: Other

Delay Time: UNIF(1 , 3) Units: Minutes

OK Cancel Help

Process

Name: DESCARGA Type: Standard

Logic

Action: Delay

Delay Type: Uniform Units: Minutes Allocation: Value Added

Minimum: 1.13 Maximum: 3

Report Statistics

OK Cancel Help

Process ? X

Name: Type:

Logic

Action: Priority:

Resources:

<End of list>

Delay Type: Units: Allocation:

Minimum: Maximum:

Report Statistics

Dispose ? X

Name:

Record Entity Statistics

3.5.1.5. Verificación y validación del modelo

Se verifico los valores de las variables del modelo presentadas en el apartado 2.2.1.1 ciclo de operación de los camiones con la información proporcionada en la empresa MiskiMayo, validando respecto a la producción diaria, mensual, hasta la producción anual, siendo de resultados aproximados en un 5% de similitud con los datos estadísticos de las entidades competentes.

3.5.1.6. Experimentación de escenarios

- **Variación de valores actuales (ver tabla 4)**
- **Cuadros comparativos (ver tabla 4)**

3.6. Análisis de resultados

3.6.1. Análisis de datos

De la información obtenida en la empresa respecto al tipo de camiones mineros, así como las especificaciones técnicas según la marca de los camiones transportadores y palas mineras, se considera la velocidad promedio en superficies planas, la cual está en el rango entre 10 y 13 km por hora, así mismo los tiempos dedicados a los mantenimientos programados y de abastecimiento de combustible de las referidas maquinas (camiones mineros y palas)

Así mismo, se obtuvo de las fuentes citadas (empresa y especificaciones técnicas) la información de las palas marca Komatsu, en el proceso de carga de los camiones, cuyos tiempos se presentan en las tablas comparativas.

IV PRESENTACION DE RESULTADOS

4.1. Análisis e interpretación de resultados

4.1.1. Escenarios

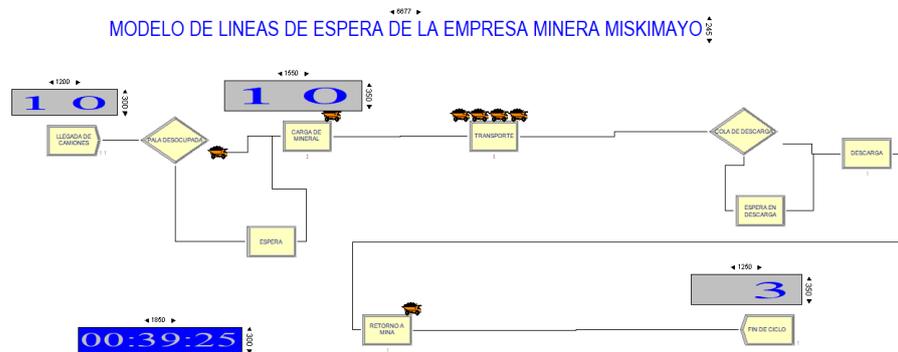
Respecto al escenario actual se está operando con 7 palas y 20 camiones mineros. Donde el tiempo entre llegadas de los camiones está en el rango de 3-5 minutos, el tiempo de carga esta entre 3 y 6 minutos, el tiempo de espera en la zona de carga esta entre 2 y 8 minutos, el tiempo de transporte a la zona de acopio es de 6 a 9 minutos, el tiempo de espera en la zona de descarga es de 2 a 8 minutos. Así mismo el tiempo de descarga esta entre 2 y 5 minutos y finalmente el tiempo de retorno a la mina esta entre 5 a 7 minutos, tal como se muestra en la tabla N°4 parte 2 (20 camiones y variación en número de palas)

En cuanto a la producción de material no metálico o piedra fosfórica es de 10'099,249.78 toneladas por año, cuya cifra es aproximada en un 3.9% a la producción publicada por la empresa MiskiMayo el año 2016.

Tabla 4: Tiempos actuales del transporte de mineral

18 CAMIONES Y VARIACION EN NUMERO DE PALAS																
N° DE CAMIONES	N° DE PALAS	TIEMPO DE CARGA	TIEMPO DE ESPERA EN CARGA	TIEMPO DE TRANSPORT E	TIEMPO DE ESPERA EN DESCARGA	TIEMPO DE DESCARGA	TIEMPO DE RETORNO A MINA	TIEMPO DE CICLO	TIEMPO EN HORAS	N° CICOS POR DIA	CARGA DE MINERAL POR CICLO	CARGA DIARIA	CARGA MENSUAL	CARGA ANUAL	CAR GA POR CAMI ON	CONCENTR ADO
18	6	3-7 MIN	3-20 MIN	6-9 MIN	2-8 MIN	2-5 MIN	5-7 MINUTOS	4h 12m03s	4.2008	5.7132	5400	30851.27	925,537.99	10,180,917.92	300	3,817,844.22
18	7	3-6MIN	3-12 MIN	6-9 MIN	2-8 MIN	2-5 MIN	5-7 MINUTOS	4h 16m39s	4.2775	5.6108	5400	30298.07	908,942.14	9,998,363.53	300	3,749,386.32
18	8	3-5 MIN	3-10 MIN	6-9 MIN	2-8 MIN	2-5 MIN	5-7 MINUTOS	4h 08m37s	4.1436	5.7921	5400	31277.15	938,314.51	10,321,459.60	300	3,870,547.33
20 CAMIONES Y VARIACION EN NUMERO DE PALAS																
N° DE CAMIONES	N° DE PALAS	TIEMPO DE CARGA	TIEMPO DE ESPERA EN CARGA	TIEMPO DE TRANSPORT E	TIEMPO DE ESPERA EN DESCARGA	TIEMPO DE DESCARGA	TIEMPO DE RETORNO A MINA	TIEMPO DE CICLO	TIEMPO EN HORAS	N° CICOS POR DIA	CARGA DE MINERAL POR CICLO	CARGA DIARIA	CARGA MENSUAL (APROX 4%)	CARGA ANUAL	CAR GA POR CAMI ON	CONCENTR ADO
20	6	3-7 MIN	3-20 MIN	6-9 MIN	2-8 MIN	2-5 MIN	5-7 MINUTOS	4h 40m02s	4.6672	5.1423	6000	30853.62	925,608.50	10,181,693.52	300	3,563,592.73
20	7	3-6MIN	3-12 MIN	6-9 MIN	2-8 MIN	2-5 MIN	5-7 MINUTOS	4h 42m19s	4.7053	5.1006	6000	30603.79	918,113.62	10,099,249.78	300	3,534,737.42
20	8	3-5 MIN	3-10 MIN	6-9 MIN	2-8 MIN	2-5 MIN	5-7 MINUTOS	4h 31m09s	4.5192	5.3107	6000	31864.05	955,921.40	10,515,135.42	300	3,680,297.40
22 CAMIONES Y VARIACION EN NUMERO DE PALAS																
N° DE CAMIONES	N° DE PALAS	TIEMPO DE CARGA	TIEMPO DE ESPERA EN CARGA	TIEMPO DE TRANSPORT E	TIEMPO DE ESPERA EN DESCARGA	TIEMPO DE DESCARGA	TIEMPO DE RETORNO A MINA	TIEMPO DE CICLO	TIEMPO EN HORAS	N° CICOS POR DIA	CARGA DE MINERAL POR CICLO	CARGA DIARIA	CARGA MENSUAL	CARGA ANUAL	CAR GA POR CAMI ON	CONCENTR ADO
22	6	3-7 MIN	3-20 MIN	6-9 MIN	2-8 MIN	2-5 MIN	5-7 MINUTOS	5h 01m18s	5.0217	4.7793	6600	31543.10	946,293.09	10,409,223.97	300	3,903,458.99
22	7	3-6MIN	3-12 MIN	6-9 MIN	2-8 MIN	2-5 MIN	5-7 MINUTOS	4h 59m45s	5.9958	4.0028	6600	26418.49	792,354.79	8,718,102.67	300	3,269,288.50
22	8	3-5 MIN	3-10 MIN	6-9 MIN	2-8 MIN	2-5 MIN	5-7 MINUTOS	5h 00m39s	5.0108	4.7897	6600	31611.72	948,351.56	10,431,867.17	300	3,911,950.19

Fuente: Elaboración propia en base al software Arena



4.1.2. Escenario simulado de 20 camiones con 6 palas

- Tiempo entre llegadas 3 - 5 minutos
- Tiempo de espera para la carga de mineral 3-20 minutos
- Tiempo de carga 3-7 minutos
- Tiempo de transporte 6 - 9 minutos
- Tiempo de espera en la zona de descarga es 2 - 8 minutos
- Tiempo de descarga 2 - 5 minutos

- Tiempo de retorno a la mina 5 - 7 minutos
- Producción anual de piedra fosfórica es de 10'181,693.52 tm/año ² en comparación con la producción publicada por la empresa de 10.6 millones de tm/año lo que significa el 3.9% de aproximación del resultado del modelo con la producción total.

4.1.3. Escenario simulado de 20 camiones con 8 palas

- Tiempo entre llegadas 3 - 5 minutos
- Tiempo de espera para la carga de mineral 3-10 minutos
- Tiempo de carga 3-5 minutos
- Tiempo de transporte 6 - 9 minutos
- Tiempo de espera en la zona de descarga es 2 - 8 minutos
- Tiempo de descarga 2 - 5 minutos
- Tiempo de retorno a la mina 5 - 7 minutos
- Producción de mineral es de 10'515,135.42 tm/año

4.1.4. Escenario simulado de 18 camiones y 6 palas

- Tiempo entre llegadas 3 - 5 minutos
- Tiempo de espera para la carga de mineral 3-20 minutos
- Tiempo de carga 3-7 minutos
- Tiempo de transporte 6 - 9 minutos

² http://www.miskimayo.com/documents/Rese_a_2017_Final.pdf

- Tiempo de espera en la zona de descarga es 2 - 5 minutos
- Tiempo de descarga 2 - 5 minutos
- Tiempo de retorno a la mina 5 - 7 minutos
- Producción de mineral es de 10'180,917.92 tm/año

4.1.5. Escenario simulado de 18 camiones y 7 palas

- Tiempo entre llegadas 3 - 5 minutos
- Tiempo de carga de mineral 3 – 6 minutos
- Tiempo de espera para la carga de mineral 3-12 minutos
- Tiempo de espera en la zona de descarga es 2 – 5 minutos
- Tiempo de transporte de mineral a la zona de acopio 6 a 9 minutos
- Tiempo de descarga 2 - 5 minutos
- Tiempo de retorno a la mina 5 - 7 minutos
- Producción de mineral es de 9'998,363.53 tm/año

4.1.6. Escenario simulado de 18 camiones y 8 palas

- Tiempo entre llegadas 3 - 5 minutos
- Tiempo de carga 3 – 5 minutos
- Tiempo de espera para la carga de mineral 3-10 minutos
- Tiempo de espera en la zona de descarga es 2 - 5 minutos
- Tiempo de transporte de mineral a la zona de acopio 6 a 9 minutos

- Tiempo de descarga 2 - 5 minutos
- Tiempo de retorno a la mina 5 - 7 minutos
- Producción de mineral es de 10'321,459.60 tm/año

4.1.7. Escenario simulado de 22 camiones y 6 palas

- Tiempo entre llegadas 3 - 5 minutos
- Tiempo de carga 3 – 7 minutos
- Tiempo de espera para la carga de mineral 3-20 minutos
- Tiempo de espera en la zona de descarga es 2 - 8 minutos
- Tiempo de transporte de mineral a la zona de acopio 6 a 9 minutos
- Tiempo de descarga 2 - 5 minutos
- Tiempo de retorno a la mina 5 - 7 minutos
- Producción de mineral es de 10'409,223.97 tm/año

4.1.8. Escenario simulado de 22 camiones y 7 palas

- Tiempo entre llegadas 3 - 5 minutos
- Tiempo de carga 3 – 6 minutos
- Tiempo de espera para la carga de mineral 3-12 minutos
- Tiempo de espera en la zona de descarga es 2 - 8 minutos
- Tiempo de transporte de mineral a la zona de acopio 6 a 9 minutos
- Tiempo de descarga 2 - 5 minutos

- Tiempo de retorno a la mina 5 - 7 minutos
- Producción de mineral es de 8'718,102.67 tm/año

4.1.9. Escenario simulado de 22 camiones y 8 palas

- Tiempo entre llegadas 3 - 5 minutos
- Tiempo de carga 3 – 10 minutos
- Tiempo de espera para la carga de mineral 3-10 minutos
- Tiempo de espera en la zona de descarga es 2 - 8 minutos
- Tiempo de transporte de mineral a la zona de acopio 6 a 9 minutos
- Tiempo de descarga 2 - 5 minutos
- Tiempo de retorno a la mina 5 - 7 minutos
- Producción de mineral es de 10'431,867.17 tm/año

V DISCUSION DE RESULTADOS

5.1. Respecto a la operación actual de 20 camiones y 7 palas

Se puede observar que la producción de 10'099,249.78 tm/año de roca fosfórica de la cual el 35% después de procesar se extrae el fosfato equivalente a 3'534,737.42 tm/año, considerando que cada camión transporta 300 tm. Aproximados por viaje a una velocidad entre 10 y 13 km/hora. Trabajando las 24 horas diarias y trasladando actualmente 30,603.79 tm/día.

Comparando la producción actual, con operación de 20 camiones mineros y 6 palas, se obtendría 10'181,693.52 tm/año, sin embargo, si se incrementa una pala en la carga de mineral se trasladaría a la zona de acopio la cantidad de 10'515,135.42 tm/año, lo cual representa el 4.7% de incremento en el transporte de material minero.

5.2. Con respecto al escenario de 18 camiones con 6,7 y 8 palas

Se puede observar tanto en tabla N°4 y en los resultados, que el uso de 18 camiones y 8 palas proporciona el mayor traslado de mineral, llegando a trasladarse 10'321,459.60 tm/año siendo el nivel mas alto entre las tres opciones, seguido de la operación de 18 camiones y 6 palas.

5.3. Respecto a la simulación de 22 camiones con 6, 7 y 8 palas

Se puede observar que si se mantienen solo las 7 palas y los 22 camiones mineros se lograría transportar 8'718,102.67 tm/año de mineral. Sin embargo, si se opera 22 camiones y 8 palas se lograría

un transporte de 10'431, 867.17 tm/año lo cual representa el 5% más de la producción actual, siendo esta cifra el óptimo de transporte de mineral no metálico en la minera de Sechura.

5.4. Respecto a los tiempos improductivos

Estos están determinados por los tiempos de espera en la zona minera y en la zona de acopio, así mismo según el simulador Arena hay tiempos de espera en el transporte debido a la velocidad de los camiones mineros la cual está entre 10 y 13 km/hora, así mismo las demoras de retorno de los camiones a la zona de explotación minera. (ver anexos)

5.5. Respecto a los costos de transporte de mineral se sabe que la inversión total corresponde al 40% de la inversión total, así mismo el costo de mantenimiento se aproxima a 220 dólares/hora de operación, considerando que los camiones operan las 24 horas, siendo al mes por los 20 camiones y las 7 palas 51'321,600 al año sin considerar el combustible y el pago del personal.

CONCLUSIONES

Se realizó el modelo de simulación del proceso de carga, traslado y descarga de mineral (roca fosfórica) de la minera ubicada en la Provincia de Sechura a cargo de la Empresa MiskiMayo hacia la zona de acopio, para luego ser trasladada mediante fajas transportadoras a la planta concentradora, para lo cual se empleó el software Arena versión 12, de versión estudiantil.

Se determinó los tiempos improductivos en el transporte de roca fosfórica a la planta concentradora, ubicándose estos en la misma mina, en el traslado de mineral y en la zona de acopio, siendo una de las causas la controlada velocidad de los camiones mineros.

Se realizó el cálculo de los costos de transporte que ascienden a 51'321,600 de dólares solo por el mantenimiento, incluyendo las 7 palas que operan en la mina y se determinó mediante escenarios el número óptimo de 22 camiones con 8 palas para obtener la máxima carga que se debe trasladar que asciende a 10'431, 867.17 tm/año lo cual representa el 5% más de la producción actual. Considerando lo que menciona Cabezas Oruna(2011) que la inversión minera fue de 566 millones de dólares y la Empresa Caterpillar indica que en tabla 3, que mas del 40% del costo es por excavación y transporte lo que equivale aproximadamente a 226.4 millones de dólares.

RECOMENDACIONES

Se recomienda que la minera MiskiMayo debe trabajar con 22 camiones mineros y 8 palas para incrementar el transporte de mineral a 10'431, 867.17 tm/año lo cual representa el 5% más de la producción actual, siendo este último el valor óptimo.

Se recomienda realizar estudios de traslado de mineral de la zona de acopio a la faja transportadora con el fin de disminuir los tiempos de espera de los camiones mineros en esa zona, así como determinar el número óptimo de camiones y palas de la zona de acopio a la faja transportadora.

Se recomienda realizar un estudio de tiempos, para determinar el número de camiones a adquirir a fin de reemplazar a aquellos camiones que ingresan al taller para el mantenimiento programado y de esa forma la disminución de mineral transportado, habiéndose considerado para este estudio un traslado promedio de 300 tm/camión.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Allende, H. (2000). Introduccion al software arena. Valparaiso, Chile.
- Cabezas Oruna, J. (2011). EXPLOTACIÓN DE LOS YACIMIENTOS DE FOSFATOS BAYOVAR. *Revista Infraestructura Peruana*.
- Compañía Minera Miski Mayo. (s.f.). Fosfato. *Boletín de la Empresa Miski Mayo*, Compañía Minera Miski Mayo S.R.L.
- Energimas. (2021). Producción nacional de fosfatos alcanza los 7.9 millones de toneladas a setiembre, un 32.5% más entre un año y otro. *Energimas edicion 92 online*, <https://energiminas.com/buenaventura-y-gold-fields-mineras-que-financian-estudios-tecnicos-para-electrificacion-rural-en-cajamarca/>.
- Espinoza Aguero, J. F. (2019). *Capacitación y entrenamiento en simulador camión y las competencias de los colaboradores de la Compañía Minera Miski Mayo, Sechura 2019*. Sechura - Piura.
- Herrera Herbert, Juan. (2006). *Metodos de Minería a cielo abierto*. Madrid España: Universidad Politecnica de Madrid-Escuela Tecnica Superior de Ingenieros de Minas.
- Hurtado Quinto, J. S. (2019). "OPTIMIZACIÓN DEL TRANSPORTE DE MINERAL APLICANDO SIMULACION DE LA TEORIA DE LINEAS DE ESPERA EN LA UNIDAD MINERA COBRIZA - 2019". Huancayo - Peru.
- Mayhua Mendoza, A. L. (2012). *Optimizacion del sistema de transporte de mineral del nivel 1070 a superficie de la unidad de produccion San Cristobal Volcan CIA MInera SAA*. Huancavelica Peru: Universidad Nacional de Huancavelica.
- Mendieta Reyna, F. N. (2018). "Incremento de la Productividad en la Planta de Secado aplicando modificaciones en la lógica de programación del sistema Scada de la Compañía Minera Miski Mayo SRL Bayóvar Perú". Piura: Universidad Cesar Vallejo.
- Ministerio de Enegia y Minas. (2020). Minería impulsa la reactivacion de la economía nacional. *Boletín estadístico minero*, chrome-extension://efaidnbmninnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=http%3A%2F%2Fwww.minem.gob.pe%2Fminem%2Farchivos%2Ffile%2FMineria%2FPUBLICACIONES%2FVARIABLES%2F2020%2FBEMMay2020.pdf&clen=3227221&chunk=true.
- MiskiMayo. (s.f.). Proceso Productivo. http://www.miskimayo.com/documents/Proceso_Productivo.pdf.
- Molina Tapia, J. I. (2018). *Simulación del sistema de líneas de espera del Centro de Rehabilitación y Educación Especial (CREE) de Baja California Sur para mejorar su eficiencia*. La Paz - Bolivia: http://uabcs.mx/genero/public/files/MOLINA_1.PDF.

- Morales Pulcha, M. A. (2019). Modelamiento y simulación del minado y remanipulación del mineral en una mina a tajo abierto. En M. P. Andrea, *Modelamiento y simulación del minado y remanipulación del mineral en una mina a tajo abierto* (págs. <https://1library.co/document/y4w3l99q-modelamiento-simulacion-minado-remanipulacion-mineral-mina-tajo-abierto.html>). Arequipa: Universidad Católica de Santa María - Escuela Profesional de Ingeniería de Minas.
- Neyra Ayma, A. A. (2020). *Estudio del cálculo de flota de camiones para una operación minera a cielo abierto*. Cerro de Pasco - Peru.
- Ortiz Sanchez, O. y. (2017). Aplicación del modelo de colas al acarreo minero. Caso Mina Magistral. *Rev. del Instituto de Investigación FIGMMG-UNMSM vol 20 n° 40,* 32 - 41.
- OSINERGMIN. (2007). *Panorama de la minería en el Perú*. Lima: Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería.
- Pardo Navarro, K. (2019). "OPTIMIZACIÓN DEL TRANSPORTE DE DESMONTE CON VOLQUETES MEDIANTE LA TEORÍA DE COLAS EN SOCIEDAD MINERA CORONA S.A.". Huancayo - Peru.
- Rodriguez Dorregaray, F. E. (2019). Gestión de transporte y acarreo de mineral y desmonte en mina Cuajone de Souther Peru Corporation. Huancayp Peru chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Frepositorio.uncp.edu.pe%2Fbitstream%2Fhandle%2F20.500.12894%2F4969%2FT010_71234514_T.pdf%3Fsequence%3D1%26isAllowed%3Dy&clen=1411530.
- Rumbo Minero Internacional. (2021). Miski Mayo lideró producción de fosfatos en mayo. *America Mining*.
- Salvatierra Baltazar, Y. (2021). Simulación con el software Arena considerando variabilidad operacional para determinar el número de volquetes en la empresa Summa Gold Corporation. Trujillo, Peru: Universidad Nacional de Trujillo - Facultad de Ingeniería.
- Seminario Vasquez, R. G. (2021). *Propuesta de Políticas y Estrategias para la Industria Turística Sustentable de Piura utilizando Dinámica de Sistemas*. Piura Peru: UNP.
- Vega, Jose Luis. (2005). Mina Fosfatos Bayóvar. *Mina Fosfatos Bayóvar*, (pág. 81). Sechura.

ANEXO 1: Indicadores de operación de palas (Shovels) y camiones (Trucks)

Reporte KPI's Shovels - Trucks

2/8/2022 6:11:27 PM

SHOVELS	DF	UT	HC	HEF	HTI	HTD	HOI	HAO	HOE	HMP	HMC	TP	TC	MAC	MMS
SH01	78.81	744.00	330.20	0.0	256.1	0.0	0.0	0.0	0.0	45.32	102.33	0.00	0.00	0.00	0.00
SH02	84.23	79.76	744.00	500.45	0.0	0.0	127.0	0.0	0.0	74.62	41.94	0.00	0.00	0.00	0.00
SH03	83.48	75.23	744.00	487.23	0.0	0.0	153.7	0.0	0.14	87.22	35.16	0.51	0.00	0.00	0.00
SH04	81.92	60.40	744.00	388.13	0.0	0.0	241.3	0.0	0.00	72.70	61.85	0.00	0.00	0.00	0.00
SH05	75.13	65.75	744.00	387.54	0.0	0.0	191.4	0.0	0.00	131.42	53.41	0.20	0.00	0.00	0.00
SH06	79.50	68.23	744.00	409.50	0.0	0.0	178.1	0.0	3.95	121.87	30.38	0.27	0.00	0.00	0.00
SH07	85.28	83.49	744.00	555.07	0.0	0.0	109.5	0.0	0.27	59.51	19.51	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	81.79	70.38	5248.00	2998.25	0.00	0.0	1,257.48	0.00	4.38	592.45	354.58	0.98	0.00	0.00	0.00

equiType	TRUCKS	DF	UT	HC	HEF	HTI	HTD	HOI	HAO	HOE	HMP	HMC	TP	TC	MAC	MMS
Komatsu 730E	HT01	91.85	87.07	744.00	544.98	0.00	0.00	88.11	0.00	0.25	52.48	7.57	0.62	0.00	0.00	0.0
	HT02	82.21	84.89	744.00	519.28	0.00	0.00	92.07	0.00	0.33	128.80	4.97	0.57	0.00	0.00	0.0
	HT03	89.83	82.81	744.00	552.45	0.00	0.00	114.86	0.00	0.00	34.23	41.21	0.24	0.00	0.00	0.0
	HT04	82.31	67.88	744.00	485.69	0.00	0.00	192.31	0.00	4.42	68.70	61.83	1.05	0.00	0.00	0.0
	HT05	89.24	79.59	744.00	520.38	0.00	0.00	134.70	0.00	0.84	63.59	10.96	0.55	0.00	0.00	0.0
	HT07	71.29	82.01	744.00	435.00	0.00	0.00	95.07	0.00	0.35	53.46	158.74	0.54	0.00	0.00	0.0
	HT08	90.37	81.35	744.00	546.92	0.00	0.00	124.89	0.00	0.53	50.51	19.82	0.00	1.33	0.00	0.0
	HT09	85.50	80.68	744.00	511.22	0.00	0.00	127.12	0.00	0.09	44.56	24.01	0.00	17.00	0.00	0.0
	HT10	84.51	82.88	744.00	521.10	0.00	0.00	107.63	0.00	0.00	35.25	77.21	0.52	0.00	0.00	2.2
	HT11	44.79	95.84	744.00	236.01	0.00	0.00	47.19	0.00	0.00	399.40	40.80	0.34	0.26	0.00	0.0
	HT12	76.38	81.67	744.00	475.08	0.00	0.00	108.08	0.00	0.01	64.70	94.35	1.78	0.00	0.00	0.0
	HT13	82.63	78.81	744.00	483.30	0.00	0.00	151.25	0.00	0.22	61.53	64.48	0.00	3.21	0.00	0.0
	HT14	81.46	83.40	744.00	505.49	0.00	0.00	100.15	0.00	0.43	28.79	103.94	0.00	0.20	0.00	0.0
	HT15	94.41	85.69	744.00	601.89	0.00	0.00	100.51	0.00	0.00	33.44	6.79	1.27	0.00	0.00	0.1
	HT16	88.21	84.48	744.00	554.38	0.00	0.00	101.86	0.00	0.01	69.91	16.10	0.00	0.00	0.00	1.75
	HT17	83.87	86.01	744.00	536.69	0.00	0.00	87.31	0.00	0.00	77.46	41.87	0.24	0.43	0.00	0.0
	HT18	92.37	83.09	744.00	571.00	0.00	0.00	116.23	0.00	0.00	42.37	13.96	0.44	0.00	0.00	0.0
	HT19	91.99	84.28	744.00	578.93	0.00	0.00	106.71	0.00	0.06	45.19	14.80	0.21	0.00	0.00	0.0
	HT20	84.22	76.95	744.00	479.70	0.00	0.00	146.91	0.00	0.02	58.04	52.10	0.49	4.78	0.97	0.0
	HT23	92.13	84.07	744.00	576.25	0.00	0.00	108.00	0.00	1.18	34.79	22.27	1.41	0.00	0.00	0.0
Total	84.22	82.03	14880.00	10292.72	0.00	0.00	2,238.48	0.00	8.74	1,420.18	833.87	19.37	27.21	3.56	2.39	
Komatsu HD785	HT21	93.73	31.35	744.00	218.65	0.00	0.00	478.71	0.00	0.00	19.83	28.71	0.00	0.26	0.00	0.0
	HT22	95.23	35.04	744.00	248.20	0.00	0.00	460.17	0.00	0.05	28.43	0.00	7.04	0.00	0.00	0.0
	Total	94.48	33.21	1488.00	466.95	0.00	0.00	938.87	0.00	0.05	48.11	28.71	7.04	0.26	0.00	0.00
Total	85.16	77.20	16348.00	10759.67	0.00	0.00	3,198.33	0.00	13.80	1,468.33	910.58	17.42	27.47	3.56	2.39	

ANEXO 2: Procesamiento de roca fosfórica en Bayóvar

a. Extracción de material de mina



b. Traslado de material de mina a la planta concentradora



c. Lavado de mineral con agua tratada

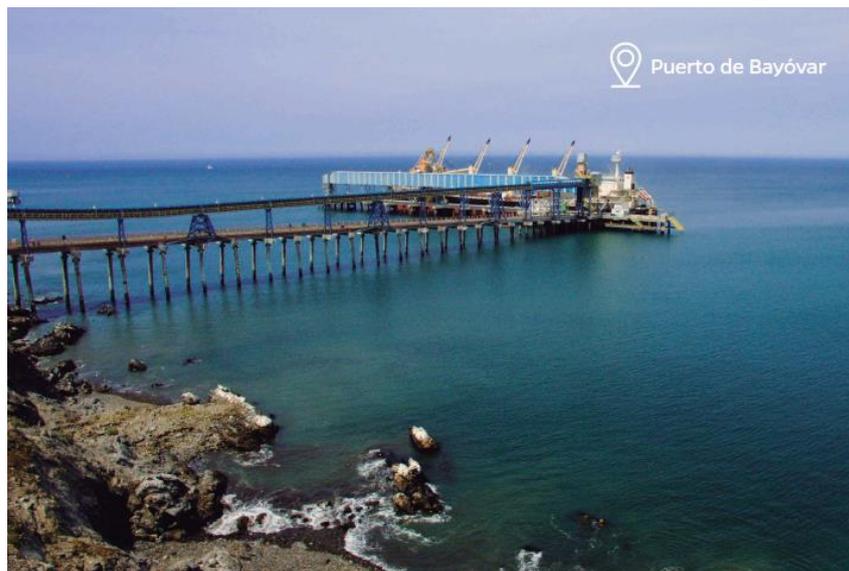


d. Descarga, secado de mineral y almacenamiento temporal





e. Traslado al puerto de Bayovar



ANEXO 3: Características y especificaciones técnicas de camiones y excavadoras

a) Camiones Komatsu 930E

CAPACIDAD & PRODUCTIVIDAD

Mediante el uso de diseños computacionales, análisis de elementos, pruebas dinámicas y estáticas a gran escala, el diseño del chasis ha sido estructuralmente mejorado, permitiendo acarrear **290 toneladas o 320 toneladas cortas**, entregando la más alta confiabilidad de la industria.

El camión eléctrico 930E-4 cuenta con un motor Komatsu SSDA16V160 diésel de 16 cilindros. Provee una potencia neta al volante de 1.902 [kW] 2.550 [hp] , con una excelente productividad, además de estar cumplir con las normas de emisión Tier 2.



b) Camión Komatsu HD 785



Especificaciones

Aviso: Todos los datos listados son verificados por el equipo de LECTURA Specs. Sin embargo, puede haber datos incompletos o contener errores. [Póngase en contacto con nuestro equipo con cualquier sugerencia de cambio.](#)

Peso	72.6 t	Neumáticos estándar	27.00 R 49
Capacidad de la cuchara bivalva	40 m³	Carga útil	91 t
Dirección	VL	Longitud de transporte	11.015 m
Anchura transporte	5.53 m	Altura de transporte	5.05 m
Velocidad	65 km/h	Radio de torneado exterior	10.1 m
Altura de carga	4.3 m	Fabr. del motor	Komatsu
Modelo de motor	SA12V140	Rendimiento de motor	879 kW
Cilindrada	30.48 l	Revoluciones	1900 rpm
Nº de cilindros	12	cilindro Diámetro x carrera	140x165 mm
Medidas l x a x x	###	Par máximo	###
Nivel de emisión	###		

Modelo base con cabina Rops y equipo estándar

c) Excavadoras – palas Komatsu



Las palas eléctricas P&H están diseñadas y construidas para ayudar a las minas a mover más material a un menor costo por tonelada. Nuestro enfoque en el diseño de componentes modulares se traduce en la posibilidad de realizar actualizaciones y mantención de manera más eficiente. Este énfasis en la facilidad de mantención, combinado con los tradicionalmente robustos sistemas mecánicos de P&H y los sistemas de control cada vez más inteligentes y rápidos, nos permite ofrecer algunas de las máquinas de carga más confiables y productivas de la industria minera.