

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS

“OPTIMIZACIÓN MEDIANTE CAMIONES ARTICULADO CAT 740B, EN ACARREO DE GRAVA PARA CONFINADO DE EXPLOSIVOS, SECTOR ALTO JAHUAPAYLLA, TAJO FERROBAMBA – LAS BAMBAS – APURIMAC”

PRESENTADO POR:

**BACH. YELTSIN EFRAIN ARENAS
FARFAN**

PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL
DE:

INGENIERO DE MINAS

ASESOR:

MGT. JUAN F. SOTO ELGUERA

CUSCO – PERÚ

2019

DEDICATORIA

A Dios, a mis padres Walter y Marisol, hermanos Wilson y Siwar por ser la razón para mi continua superación personal y a mí amado hijo Yefren que desde el cielo guía mi camino.

AGRADECIMIENTOS

Agradecer a Dios, mi familia, compañeros de universidad, por su apoyo incondicional. A los docentes de esta casa de estudios por su esmerada labor en mi formación académica, a la empresa EPSA PERU SAC y MMG Las Bambas por brindarme la oportunidad para desenvolverme en el campo de la minería.

PRESENTACIÓN

Señor decano de la facultad de Ingeniería Geológica, Minas y Metalúrgica. Señores miembros del jurado, pertenecientes a la escuela profesional de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco; el titulado, Yeltsin Efrain Arenas Farfan, Bachiller en Ingeniería de Minas; con el objetivo de optar al Título Profesional de Ingeniero de Minas y por lo dispuesto en el Reglamento de Grados y Títulos de la facultad; pongo a vuestra consideración la tesis intitulada **“OPTIMIZACIÓN MEDIANTE CAMIÓN ARTICULADO CAT 740B, EN ACARREO DE GRAVA PARA CONFINADO DE EXPLOSIVOS, SECTOR ALTO JAHUAPAYLLA, TAJO FERROBAMBA – LAS BAMBAS – APURIMAC”**.

Habiendo laborado durante más de 2 años para la empresa EPSA PERU SAC, en la unidad minera Las Bambas operada por MMG, en el área de operaciones mina y desarrollándome en los puestos de asistente de producción, asistente de seguridad e ingeniero de producción. He elaborado la presente tesis con el objetivo de optar al título profesional de Ingeniero de Minas.

Actualmente en la minería superficial es necesario mover gran cantidad de material (mineral y estéril), por lo que se involucran diferentes áreas para realizar un trabajo coordinado. Para que los equipos gigantes de carguío y acarreo puedan tener acceso a este material, se realiza voladura casi todos los días y en varios frentes, llegando a tener entre 300 y 500 taladros por proyecto, la fragmentación del macizo rocoso debe ser la solicitada por el área de planta concentradora, esto con el fin de no incrementar el costo de chancado y molienda. De acuerdo al diseño de las columnas explosiva; el taco es uno de los parámetros de voladura más importante ya que este tiene la función de contener y no dejar escapar los gases generados por la mezcla explosiva y obtener la fragmentación solicitada del macizo rocoso. El material empleado para el taco en los taladros es la grava por consecuencia es de gran importancia

cumplir con el abastecimiento de dicho material en las mallas de carguío, la cual es solicitada por el área de voladura. El presente trabajo tiene por objetivo realizar un estudio de los costos involucrados en el acarreo de dicho material.

RESUMEN

Actualmente en la minería es clave tener una mayor producción a menor costo por consiguiente es necesario cumplir con la planificación a corto, mediano y largo plazo, la fragmentación del macizo rocoso puede influir hasta en un 70 % del costo total de producción, ya que una fragmentación deficiente va a influir en el carguío y acarreo de material, empleando mayor tiempo y elevando los costos en estas actividades, adicional a ello en el chancado y molienda, generando demoras no planificadas.

En la unidad minera Las Bambas se viene explotando el yacimiento Ferrobamba con 3 frentes de extracción de material (alto Jahuapaylla, Fase 2 y Fase 2B), lugares donde se evidencia la presencia de mineral de cobre, por lo que se presta interés en el sector alto Jahuapaylla para el presente estudio, los equipos de perforación realizan taladros de producción de diámetro de 12¼ pulgadas y 5 pulgadas de diámetro en taladros de pre corte, estos taladros de acuerdo al diseño de la columna explosiva tienen el parámetro denominado taco, para el cual se utiliza grava, cumpliendo una función muy importante como es la de no permitir durante milisegundos que los gases generados en la voladura escapen a la atmosfera, lográndose obtener una fragmentación ideal del macizo rocoso. Para cumplir con la cantidad solicitada de material grava se vienen empleando equipos de acarreo de gran capacidad (CAT 773F), verificándose limitaciones en su rendimiento y generando mayor gasto a la empresa minera ya que dichos equipos son alquilados y pagados por horas máquina, es así que se implementó por un periodo el uso de camiones articulados CAT 740B para suplir estas limitaciones, se pueden mencionar cualidades de estos nuevos equipos tales como la ergonomía, fácil manipulación, mayor velocidad en caminos con peralte, pendiente e inclinación pronunciada, radio de giro mayor, mejor campo visual del operador, etc. En el caso de resultados se tiene un menor consumo de combustible, menor gasto en mantenimiento y un ahorro económico anual significativo.

INDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTOS	III
PRESENTACIÓN	IV
RESUMEN	VI
ÍNDICE DE TABLAS	XI
ÍNDICE DE FIGURAS	XII
ÍNDICE DE GRÁFICOS	XV
CAPITULO I	
PROBLEMÁTICA DE LA INVESTIGACIÓN	16
1.2. Formulación del problema de investigación	18
1.2.1. Problema General.....	18
1.2.2. Problemas Específicos.....	19
1.3. Objetivos de la Investigación.....	19
1.3.1. Objetivo General	19
1.3.2. Objetivos Específicos.....	19
1.4. Justificación y delimitación de la investigación	20
1.5. Hipótesis	20
1.5.1. Hipótesis General.....	20
1.5.2. Hipótesis Específicos.....	21
1.6. Variables	21

1.6.1.	Variable independiente.....	21
1.6.2.	Variables dependientes.....	22
CAPÍTULO II	MARCO TEÓRICO	23
2.1.	Antecedentes de la investigación	23
2.1.1.	Antecedentes a nivel local.....	23
2.1.2.	Antecedentes a nivel Nacional.	24
2.2.	Marco contextual	24
2.2.1.	Operaciones unitarias en unidad minera Las Bambas.....	24
2.2.2.	Servicios auxiliares	33
2.2.3.	Transporte de mineral grueso	33
2.2.4.	Descripción de la zona de trabajo y equipos en estudio.....	34
2.3.	Marco teórico conceptual.....	43
2.3.1.	Voladura en minería superficial.	43
2.3.2.	Movimiento de tierras en minería superficial.	49
2.3.3.	Sistema carguío – acarreo en función a parámetros operativos.	56
2.3.4.	Productividad de equipos de carguío y acarreo.....	63
2.3.5.	Indicadores de desempeño.	73
2.4.	Descripción de la unidad minera Las Bambas	76
2.4.1.	Ubicación y acceso.....	76
2.4.2.	Antecedentes históricos.....	79
2.4.3.	Marco Geográfico	81

2.4.4.	Aspectos Geológicos.....	84
2.4.5.	Aspectos mineros.....	88
2.4.6.	Planta de beneficio.....	95
2.5.	Optimización en el sistema de carguío – acarreo.....	99
2.5.1.	Equipos de carguío y acarreo.....	99
2.5.2.	Sistema de carguío y acarreo.....	99
2.5.3.	Compatibilidad de los equipos en el sistema de carguío y acarreo.....	99
2.5.4.	Factor de acoplamiento.....	100

CAPITULO III

METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN.....	102	
3.1.	Método de investigación.....	102
3.2.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	102
3.3.	Población.....	104
3.4.	Matriz de consistencia.....	105

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y RESULTADOS DEL SISTEMA DE CARGUÍO Y ACARREO DE MATERIAL GRAVA PARA CONFINADO DE EXPLOSIVOS.....	106	
4.1.	Calculo y análisis de indicadores de desempeño del sistema de carguío y acarreo de material grava.....	106
4.1.1.	Rendimiento de los equipos de carguío y acarreo.....	106
4.1.2.	Costo de acarreo.....	119
4.1.3.	Costo del consumo de combustible de equipos de acarreo.....	123

4.1.4. Costos directos en el acarreo	126
4.2. RESULTADOS.....	127
4.2.1. Beneficio económico de la implementación del camión articulado 740B con respecto a la utilización del camión CAT 773F.....	127
CONCLUSIONES	129
RECOMENDACIONES	130
REFERENCIA BIBLIOGRAFICA	131
Caterpillar INC. (2013). <i>Manual de rendimiento</i> (Trigésimo primero ed.). Peoria, Illinois, EE. UU.....	131

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Variable Independiente	21
Tabla 2: Variables Dependientes	22
Tabla 3: equipos de perforación minera Las Bambas	26
Tabla 4 Mallas de perforación en función al material.....	27
Tabla 5: Características de mezcla explosiva Fortis Extra.....	28
Tabla 6: Equipos de carguío en unidad minera Las Bambas	31
Tabla 7: Equipos de acarre unidad minera Las Bambas	32
Tabla 8: Clasificación de trabajo según condición de trabajo.....	62
Tabla 9: Rutas de acceso a U.M. Las Bambas.	78
Tabla 10: Minerales presentes en U.M. Las Bambas.....	85
Tabla 11: Tiempo de vida U.M. Las Bambas	87
Tabla 12: Indicadores de extracción por año U.M. Las Bambas	89
Tabla 13: Características de cargador de ruedas CAT 992K.	107
Tabla 14: Características equipo de acarreo CAT 773F	109
Tabla 15: Características de camión articulado CAT 740B.....	110
Tabla 16: Distribución de tiempo de trabajo	112
Tabla 17: Datos para el cálculo de tonelaje de grava.....	114
Tabla 18: Datos para número de viajes en equipo de acarreo CAT 773F.....	116
Tabla 19: Datos para número de viajes en equipo de acarreo CAT 740B	117
Tabla 20: Ahorro del primer trimestre en el costo de acarreo.....	120
Tabla 21: Ahorro en consumo de combustible primer trimestre 2018.....	124
Tabla 22: Remuneración de operadores de equipos de acarreo	126
Tabla 23: Resumen de ahorro por la implementación de camión articulado 740B	127

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura n° 1: Operaciones unitarias en unidad minera. Las Bambas	25
Figura n° 2: Diseño de malla de perforación en minería.	26
Figura n° 3: Equipos de perforación U.M. Las Bambas	27
Figura n° 4: Malla de perforación con presencia de agua	28
Figura n° 5: Plano de evacuación por voladura U.M. Las Bambas	29
Figura n° 6: Secuencia de voladura U.M. Las Bambas.....	30
Figura n° 7: Equipos de carguío y acarreo unidad minera Las Bambas	32
Figura n° 8: Diagrama de flujo de transporte de mineral grueso	34
Figura n° 9: rutas de acarreo de grava.....	36
Figura n° 10: Cargador sobre ruedas 992K, para carguío de material	37
Figura n° 11: Dimensiones de cargador sobre ruedas CAT 992K.	38
Figura n° 12: Camión Rígido CAT 773F, acarreo de material	39
Figura n° 13: Dimensiones de camión rígido CAT 773F	40
Figura n° 14: puntos ciegos de camio CAT 773F	40
Figura n° 15: Dimensiones de camión articulado CAT 740B.....	42
Figura n° 16: Camión articulado CAT 740B, descarga de material grava.....	42
Figura n° 17: Fases de voladura de macizo rocoso.	44
Figura n° 18: Clasificación de gases en voladura.	45
Figura n° 19: Distribución de grava en el taladro	46
Figura n° 20: Diseño de columna explosiva en taladros de pre corte y producción	48
Figura n° 21: Mantenimiento de vía con equipo auxiliar.....	52
<i>Figura n° 22: Riego con cisterna de agua.</i>	<i>53</i>
Figura n° 23: Compactación de tramo 6	53
Figura n° 24: Factor de esponjamiento de materiales.	54

Figura n° 25: características de materiales.....	56
Figura n° 26: Ciclo de carguío y acarreo.	61
<i>Figura n° 27: Equipo de acarreo en traslado sin carga.....</i>	<i>65</i>
<i>Figura n° 28: Equipo de acarreo en espera</i>	<i>65</i>
<i>Figura n° 29: Equipo en carguío.</i>	<i>66</i>
Figura n° 30: Presencia de cables en zona de descarga de grava.....	67
<i>Figura n° 31: Equipo de acarreo en descarga</i>	<i>67</i>
Figura n° 32: Recomendación de cuidado de neumático	71
Figura n° 33: Distancia a unidad minera Las Bambas	77
Figura n° 34: Ubicación de unidad minera Las Bambas en mapa político de Apurímac ...	77
Figura n° 35: Concesiones de minera Las Bambas	78
Figura n° 36: Rutas de acceso via terrestre de Lima a Cusco	79
Figura n° 37: Acceso de la ciudad de Cusco a U.M. Las Bambas	79
Figura n° 38: Valores de MMG y unidad minera Las Bambas	81
Figura n° 39: Plano de carta nacional de tajo Ferrobamba.	82
Figura n° 40: Subestación de planta concentradora	83
Figura n° 41: Geología de la unidad minera Las Bambas.....	86
Figura n° 42: Mapa geológico de unidad minera. Las Bambas	87
Figura n° 43: Diseño de bancos	90
Figura n° 44: Diseño AutoCAD de tajo Ferrobamba.....	91
Figura n° 45: Tajo Ferrobamba en unidad minera Las Bambas.....	91
Figura n° 46: Diseño de rampa.....	92
Figura n° 47: Secuencia de minado tajo Ferrobamba	93
Figura n° 48: Diseño final tajo Ferrobamba.....	93
Figura n° 49: Diagrama de flujo de chancador primario.....	97

Figura n° 50: Plata concentradora unidad minera Las Bambas.	98
Figura n° 51: presa de relaves unidad minera Las Bambas	98
Figura n° 52: Parte diario de trabajo, para actividades diarias.....	103

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Grafico 1 Tiempos promedios de carguío primer trimestre	107
Grafico 2: Disponibilidad de equipo de carguío CAT 992K	113
Grafico 3: Utilización de cargador CAT 992K	113
Grafico 4: tonelaje de grava solicitada por día en el primer trimestre 2018	115
Grafico 5: Comparación de número de viajes entre CAT 740B y CAT 773F primer trimestre 2018.....	118
Grafico 6: Ahorro trimestral en acarreo	122
Grafico 7: Ahorro trimestral asociado al acarreo de grava	128

CAPITULO I

PROBLEMÁTICA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

La unidad minera Las Bambas, viene desarrollando sus operaciones de explotación de minerales de cobre en el sector de alto Jahuapaylla del tajo Ferrobamba, sector que se encuentra registrado como una zona muy importante de mineralización, a diario se realiza la voladura para la fragmentación del macizo rocoso, en promedio 400 taladros por proyecto, teniendo taladros de producción y de pre corte, en el caso de la perforación se cuenta con 8 perforadoras de producción (6 eléctricas y 2 diésel) cuyo diámetro de perforación es de 12.25 pulgadas, 3 perforadoras diésel de pre corte con 5 pulgadas de diámetro de perforación, de acuerdo al diseño la altura de los bancos de explotación son de 15 metros, en total por cada taladro se perfora 17 metros (2 metros de sobre perforación). En la voladura se viene empleando grava como material para el confinado de la mezcla explosiva (taco), el cual permite aprovechar el origen de gases a muy alta presión y temperatura que generan los explosivos y así obtener una

buena fragmentación del macizo rocoso, la altura de taco varía según los tipos de taladros, en el caso de los taladros de producción se tiene de 8-9 metros y en taladros de pre-corte de 9-10 metros. Para la obtención de grava luego de la voladura el área de operaciones mina envía dicho material fragmentado en camiones a una chancadora que se encuentra en la plataforma del tramo 1, la cual está ubicada aproximadamente a 5 kilómetros del sector de explotación del mineral alto Jahuapaylla. En este tramo la vía presenta diferentes características, rampas con pendientes positivas y negativas que alcanzan hasta 12%, derrame de mineral o desmonte por parte de los camiones mineros debido a un exceso de carga, polución excesiva por el tránsito de camiones mineros, presencia de cables eléctricos en área de perforación y área de carguío a camiones mineros, tramos lastrados sin compactar, en época de lluvias los camiones mineros derrapan, lo cual obliga a los operadores de camiones a disminuir la velocidad durante el acarreo. Actualmente en el acarreo de material grava para el confinamiento del explosivo se vienen empleando camiones mineros CAT 773F con una capacidad de carga de hasta 54 Tm, estos equipos de acarreo por su propio diseño presentan entre sus características un solo cuerpo rígido por lo que tiene un menor radio de giro, lo que lo limita en el momento de descarga del material, ingreso a áreas de descarga, en los tramos de curva , reduciendo su rendimiento (Tm/hora) en el acarreo de grava ya que al trasladarse cargado por pendientes positivas disminuye su velocidad, debido a su motor y diseño tiene un mayor consumo de combustible, mayor costo en mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos. El uso de estos equipos han generado cortes de energía a perforadoras eléctricas ya que el ancho de los neumáticos es mayor al de los pasa cables empleados al momento de ingresar al área de perforación siendo necesario tomar un tiempo y personal (vigía o cuadrador) adicional para cruzarlos.

Para operar estos equipos se necesita de operadores con mayor pericia, experiencia y entrenamiento, con sueldos altos, sobresfuerzo del equipo cuando el clima es adverso o se tiene

terreno en malas condiciones, por sus dimensiones y por la ubicación de la cabina del operador se tiene un área de visibilidad menor.

Todas estas deficiencias generan problemas con el área de perforación y voladura ya que en ocasiones toma toda la guardia (10.74 horas) cumplir con la cantidad de material grava solicitada, debido a que todos los días se tienen varias mallas de voladura para cargar, además de tener un mayor costo al momento de valorizar ya que estos equipos están sujetos a un contrato de horas máquina, los tiempos en maniobras son mayores y se llega a la conclusión de que no se están cumpliendo con un procesos integral y óptimo de acarreo de material grava.

Como alternativa se implementó el uso de camiones articulados CAT 740B con una capacidad de carga de hasta 40 Tm, por sus enormes ventajas para suplir las limitaciones que presentan los camiones mineros CAT 773F, se pueden mencionar cualidades de estos nuevos equipos, tales como la ergonomía, fácil manipulación, mayor velocidad en vías de acarreo, en rampas con pendientes fuertes, velocidad constante en curvas, versatilidad durante la descarga de material, mayor campo visual para el operador, etc. Como resultado se tiene un menor consumo de combustible, rendimiento mayor o igual por Tm/hora de acarreo del material grava, menor costo de mantenimiento, menor sueldo del operador, analizando el desenvolvimiento de ambos equipos y calculando sus indicadores de desempeño se logra identificar el equipo idóneo para el acarreo de grava.

1.2. Formulación del problema de investigación

1.2.1. Problema General.

¿Cuáles son las deficiencias que vienen generando el empleo de camiones CAT 773 F en el proceso de carguío y acarreo de grava para el confinamiento del explosivo como taco en los bancos de explotación, entre la plataforma del tramo 1 y el sector alto Jahuapaylla, tajo Ferrobamba, Las Bambas?

1.2.2. Problemas Específicos.

1. ¿Cuáles son las deficiencias que vienen generando el empleo de camiones CAT 773 F en el proceso de carguío y acarreo del material grava para el confinamiento de explosivos en los bancos de explotación del sector alto Jahuapaylla, tajo Ferrobamba, Las Bambas?
2. ¿Cuál será los efectos producidos en cuanto al rendimiento Tm/hora con la implementación de nuevos equipos de acarreo CAT 740B, en el proceso de acarreo de grava desde la plataforma del tramo 1 al sector alto Jahuapaylla, tajo Ferrobamba, Las Bambas?
3. ¿Cuál será el número de camiones que satisfacen adecuadamente en el acarreo de grava con la implementación del camión CAT 740B, y el ahorro de costos con relación a los equipos que vienen operando en el sector alto Jahuapaylla, tajo Ferrobamba, Las Bambas?

1.3. Objetivos de la Investigación

1.3.1. Objetivo General.

Determinar las deficiencias que vienen generando el empleo de camiones CAT 773 F en todo el proceso de carguío y acarreo de grava para el confinamiento del explosivo en los bancos de explotación, entre plataforma del tramo 1 y sector alto Jahuapaylla, tajo Ferrobamba, Las Bambas.

1.3.2. Objetivos Específicos.

1. Determinar las deficiencias que vienen generando el empleo de camiones CAT 773 F en el proceso de carguío y acarreo del material grava para el confinamiento del explosivo en los bancos de explotación del sector alto Jahuapaylla, tajo Ferrobamba, Las Bambas.

2. Optimizar el rendimiento por Tm/hora producido, con la implementación de nuevos equipos de acarreo CAT 740B, en el proceso de acarreo de grava desde la plataforma del tramo 1 al sector alto Jahuapaylla, tajo Ferrobamba, Las Bambas.
3. Lograr el número de camiones requeridos que satisfagan el acarreo de grava con la implementación del camión CAT 740B, y el ahorro de costos con relación a los equipos que vienen operando en el sector alto Jahuapaylla, tajo Ferrobamba, Las Bambas.

1.4. Justificación y delimitación de la investigación

Dada la existencia de un bajo rendimiento, eficiencia y productividad en las actividades de carguío y acarreo de material grava para el confinamiento de explosivo, lo que a su vez genera incremento en los costos de operación, prolongación de tiempos para el cumplimiento de la cantidad de grava solicitada por el área de perforación y voladura, lo que repercute en las actividades de la operación minera, teniendo la implementación de un nuevo equipo de acarreo se dio inicio a un estudio para poder seleccionar el equipo de acarreo idóneo para esta tarea y mejorar el ciclo de carguío y acarreo con el fin de cumplir los trabajos dentro del plazo previsto y a un menor costo operativo.

Es por ello que con este trabajo de investigación se busca generar alternativas de mejora a un menor costo operativo en el sistema carguío – acarreo de material grava para el confinamiento de explosivo en el sector alto Jahuapaylla, tajo Ferrobamba, Las Bambas.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis General.

A través de un estudio detallado de los camiones articulados CAT 740B, se logrará sustituir los equipos en actual operación, optimizando el rendimiento en el acarreo de grava por

Tm/hora, reduciendo los costos de producción y mantenimiento de equipos entre la plataforma del tramo 1 y sector alto Jahuapaylla, tajo Ferrobamba, Las Bambas.

1.5.2. Hipótesis Específicos.

1. Se identificaran las deficiencias que presenta el empleo de camiones CAT 773F en las operaciones unitarias dentro del proceso de carguío y acarreo de material grava para el confinamiento de explosivo en los bancos de explotación del sector alto Jahuapaylla, tajo Ferrobamba, Las Bambas.

2. Se logrará optimizar el rendimiento por Tm/hora, con la implantación de nuevos equipos de acarreo CAT 740B, en el proceso de acarreo de grava desde la plataforma del tramo 1 al sector alto Jahuapaylla, tajo Ferrobamba, Las Bambas.

3. Con un estudio detallado, se logrará determinar el número de camiones CAT 740B que satisfagan adecuadamente el acarreo de grava, reduciendo los costos con relación a los equipos que vienen operando en el sector alto Jahuapaylla, tajo Ferrobamba, Las Bambas.

1.6. Variables

1.6.1. Variable independiente.

Tabla 1: Variable Independiente

VARIABLES	DIMENSIÓN	INDICADORES
X1: Variable independiente		<ul style="list-style-type: none"> • Disponibilidad mecánica (%).
Optimización del acarreo de grava para el confinado de explosivo.	<ul style="list-style-type: none"> • Indicadores de acarreo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Utilización mecánica (%). • Ratio de combustible de equipos de acarreo (gal/hora).

Fuente: elaboración propia.

1.6.2. Variables dependientes.

Tabla 2: Variables Dependientes

VARIABLES	DIMENSION	INDICADORES
Y1: Variable dependiente		<ul style="list-style-type: none"> • Producción diaria (m3/día).
Producción en la operación de acarreo de grava.	<ul style="list-style-type: none"> • Nivel de producción. 	<ul style="list-style-type: none"> • Producción por equipo de acarreo (m3/equipo). • Rendimiento (Tm/hora).
Y2: Variable dependiente		<ul style="list-style-type: none"> • Costo de acarreo (\$/Tm).
Costo de acarreo de grava.	<ul style="list-style-type: none"> • Costo de acarreo. • Costo de equipo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Precio Hora maquina (\$/hora).

Fuente: elaboración propia.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes a nivel local.

Para el presente trabajo se ha tomado como referencia investigaciones elaboradas con objetivos similares presentados en el actual trabajo, compartiendo un fin común, el de optimizar el ciclo de acarreo y emplear equipos adecuados para el trabajo, a un menor costo y mayor productividad.

A nivel local se cita la tesis intitulada “EVALUACIÓN DEL SISTEMA CARGUIO – ACARREO EN EL MOVIMIENTO DE TIERRAS PARA CONSTRUCCIÓN DE DRENES Y CANALES EN LA ZONA DE MINADO – ALTO JAHUAPAYLLA – UNIDAD MINERA LAS BAMBAS – COTABAMBAS – APURIMAC”, cuyo autor es el bachiller Luicyn Robert Auccapure Flores, egresado de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, dicho trabajo se elaboró el año 2018 y presenta la conclusión final de: “El cálculo del rendimiento y la aplicación del Match Factor (factor de acoplamiento), se pudo elegir el sistema Excavadora

CAT 390D y Articulados CAT 740B como el más óptimo para la actividad de carguío – acarreo para la construcción de drenes y canales”.

A nivel local también se cita la tesis intitulada “EVALUACIÓN TÉCNICA OPERATIVA DEL SISTEMA DE CARGUÍO ACARREO EN LA MINA COIHUARMI: YAUYOS - LIMA”, cuyo autor es el bachiller José Miguel Vera Espinoza, egresado de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, dicho trabajo se elaboró el año 2015 y presenta la conclusión final de: “Los factores operativos que influyen en el sistema carguío - acarreo en la mina Corihuarmi, son: Densidad del material, factor de esponjamiento, ángulo de reposo de la carga, geometría del área de operaciones, condiciones de excavación y de las pistas mineras, sistemas de despacho, capacidad de los equipos de carguío y acarreo, match factor o acople entre cargador y acarreador, disponibilidad mecánica, tiempo neto de operación entre otros”.

2.1.2. Antecedentes a nivel Nacional.

A nivel nacional la tesis intitulada “CRITERIOS DE SELECCIÓN Y REEMPLAZAMIENTO DEL EQUIPO DE CARGUÍO Y ACARREO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE ACCESOS Y PLATAFORMAS EN COMPAÑÍA MINERA ANABI S.A.C.”, cuyo autor es el bachiller Tommy Anthony Nuñez Soberon, egresado de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, dicho trabajo se elaboró el año 2013 y presenta la conclusión final de: “El reemplazo es adecuado cuando se busca equilibrar la estructura de la flotilla por clase de edad, es eficaz cuando permite homogeneizar la flotilla en torno a uno o dos modelos de vehículos, es oportuna cuando se apoya en instrumentos de predicción de los períodos de renovación y exitosa cuando conduce a seleccionar el vehículo el más adaptado a la actividad de la empresa.”.

2.2. Marco contextual

2.2.1. Operaciones unitarias en unidad minera Las Bambas

Principales operaciones unitarias involucradas en la extracción minera son las siguientes:

Figura n° 1: Operaciones unitarias en unidad minera. Las Bambas



Fuente: (Camara Minera del Peru, 2010)

2.2.1.1. Perforación.

La perforación es la primera operación dentro del ciclo de minado, en el caso de unidad minera Las Bambas y las mina del tajo abierto se lleva a cabo una perforación rotativa con triconos, esta es efectuado por grandes equipos de perforación capaces de ejercer elevados empujes sobre la broca tanto para producción y pre corte. Sin una perforación adecuado y ordenado la voladura seria deficiente, lo que conllevaría a una baja eficiencia en el carguío del material impactando directamente en la producción de la mina.

De manera general es importante efectuar esta operación con la mayor exactitud del caso en lo que respecta a profundidad, coordenadas, paralelismo y perpendicularidad; estas variables influyen en la obtención de una fragmentación requerida y control en las paredes finales del tajo. Unidad minera Las Bambas cuenta con los siguientes equipos: La perforación en Las Bambas, se realiza con seis (6) perforadas primarias, 4 de ellas Eléctricas P&H y CAT y 2 Diésel marca P&H, que son utilizadas para realizar la perforación primaria, con una velocidad de perforación de 65 m/h, un diámetro de 12 ¼” y una rotación de 90 RPM en promedio. Para

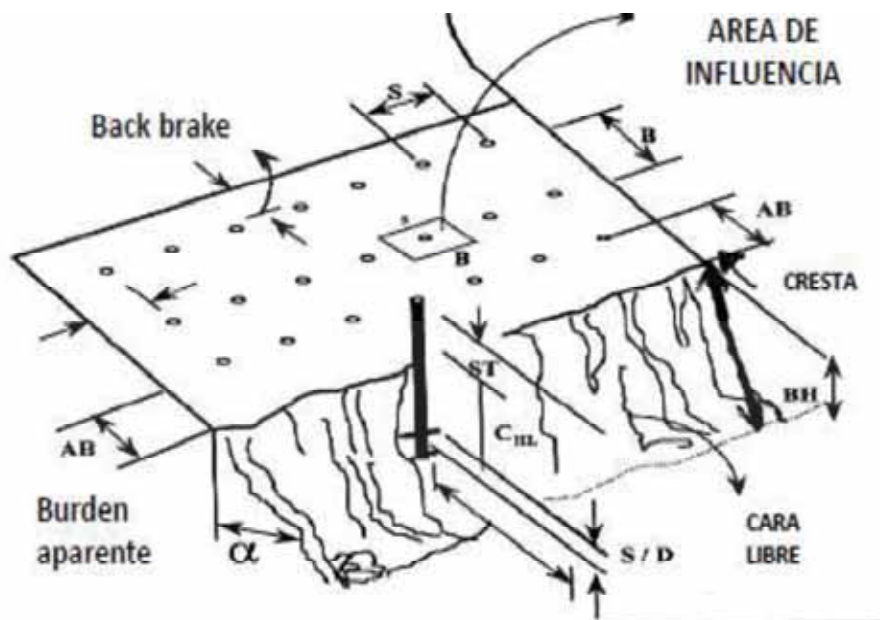
perforaciones de pre corte se cuenta con cinco (5) perforadoras, 2 de ellas marca SANDVIK (DR 560) y 3 ATLAS COPCO (Rock L8) de 5" y 4" de diámetro de perforación,

Tabla 3: equipos de perforación minera Las Bambas

MARCA	MODELO	DIAMETRO	TIPO DE ENERGIA USADA	CODIGO MINA
P&H	250XP-ST	12.25 pulg	Diésel	TD 002
ATLAS COPCO	PIT VIPER 351	12.25 pulg	Diésel	TD 009
				TD 003
P&H	320 XPC	12.25 pulg	Eléctrico	TD 004
				TD 008
				TD 005
CATERPILLAR	MD6640	12.25 pulg	Eléctrico	TD 006
				TD 007
SANDVIK	DR560	5 pulgadas	Diésel	TD 011
				TD 012
ATLAS COPCO	L8	5 pulgadas	Diésel	L8

Fuente: (MMG Las Bambas, 2018)

Figura n° 2: Diseño de malla de perforación en minería.



Fuente: (Camara Minera del Peru, 2010)

2.2.1.2. La malla de perforación.

Tabla 4 Mallas de perforación en función al material

Tipo de material	Diámetro (pulg)	Espaciamiento (m)	Burden (m)	Sobre perforación (m)	Taco	Dureza de roca	Densidad de roca (ton/m ³)
Mineral	12.25	6.5	7.5	1.5	10	Duro	2.7
Desmonte	12.25	8	9	1.5	9	Duro	2.7
Pre corte	5	2	5	0	9	Duro	2.7

Fuente: (Orica, 2018)

Figura n° 3: Equipos de perforación U.M. Las Bambas



Fuente: elaboración propia.

2.2.1.3. Voladura.

La voladura es una de las partes más importantes de las actividades del ciclo de minado alcanzando no solamente en su proceso la obtención de material adecuadamente fracturado y apilado, sino que con ella debemos lograr una alta eficiencia en el ciclo en conjunto (carguío, transporte y tratamiento metalúrgico), ya que la granulometría obtenida influirá en los procesos siguientes, con el fin de no dañar las estructuras y mantener costos mínimos, las voladuras se realizarán a una hora predeterminada, usualmente al mediodía o inicio de guardia, ya que previo a la voladura se despejará toda el área de trabajo, ubicándose el personal a distancias mayores a 500 m y equipos a 300 metros, de acuerdo a las normas de seguridad.

Las horas programadas estarán indicadas, en un lugar visible y comunicado para todo el personal.

2.2.1.3.1. Mezcla explosiva Fortis Extra.

Descripción

El Sistema de emulsión bombeable sensibilizada FortisT Extra está específicamente diseñado para aplicaciones de voladuras con agua. El rango de productos FortisT Extra son las emulsiones explosivas a granel más energéticas disponibles hoy en día.

El tiempo máximo de espera recomendada es de 7 días, emplear el explosivo en taladros con una máxima profundidad de 30 metros y diámetro mínimo de 3 pulgadas.

Tabla 5: Características de mezcla explosiva Fortis Extra.

Mezcla explosiva	Densidad de explosivo (ton/m ³)	Densidad lineal (kg/m)	Factor de carga (kg/m ³)	Factor de potencia (kg/ton)
Fortis Extra	1.3	98.91	0.71	0.26

Fuente: (Orica, 2018)

Figura n° 4: Malla de perforación con presencia de agua



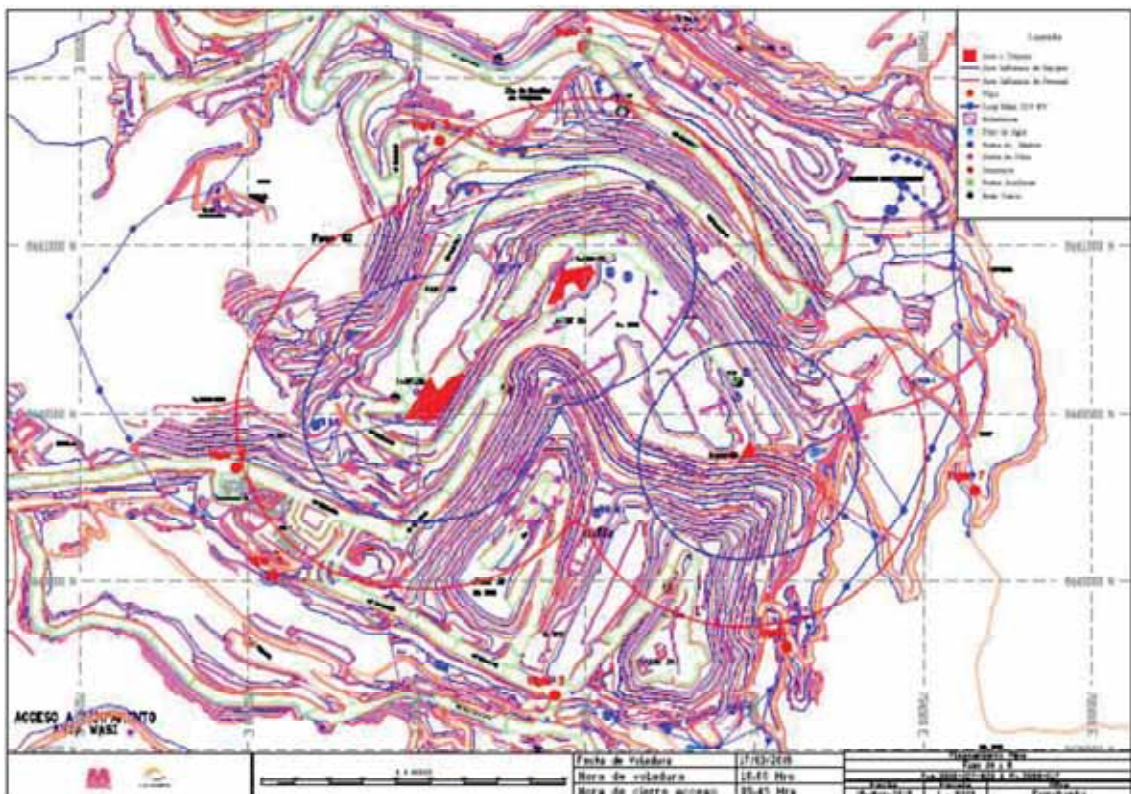
Fuente: elaboración propia.

2.2.1.3.2. Agentes y accesorios de voladura.

Nitrato de Amonio (NH_4NO_3)

- Petróleo Diésel Nro. 2
- Emulsión Matriz
- Booster de ½ y de 1lb
- Cordón Detonante 5G
- Detonador no Eléctrico de 400, 500, 600 y 700 ms. (Fanel Dual)
- Retardos Superficiales de 17, 42, 65 y 100 ms
- Línea Silenciosa
- Fulminante

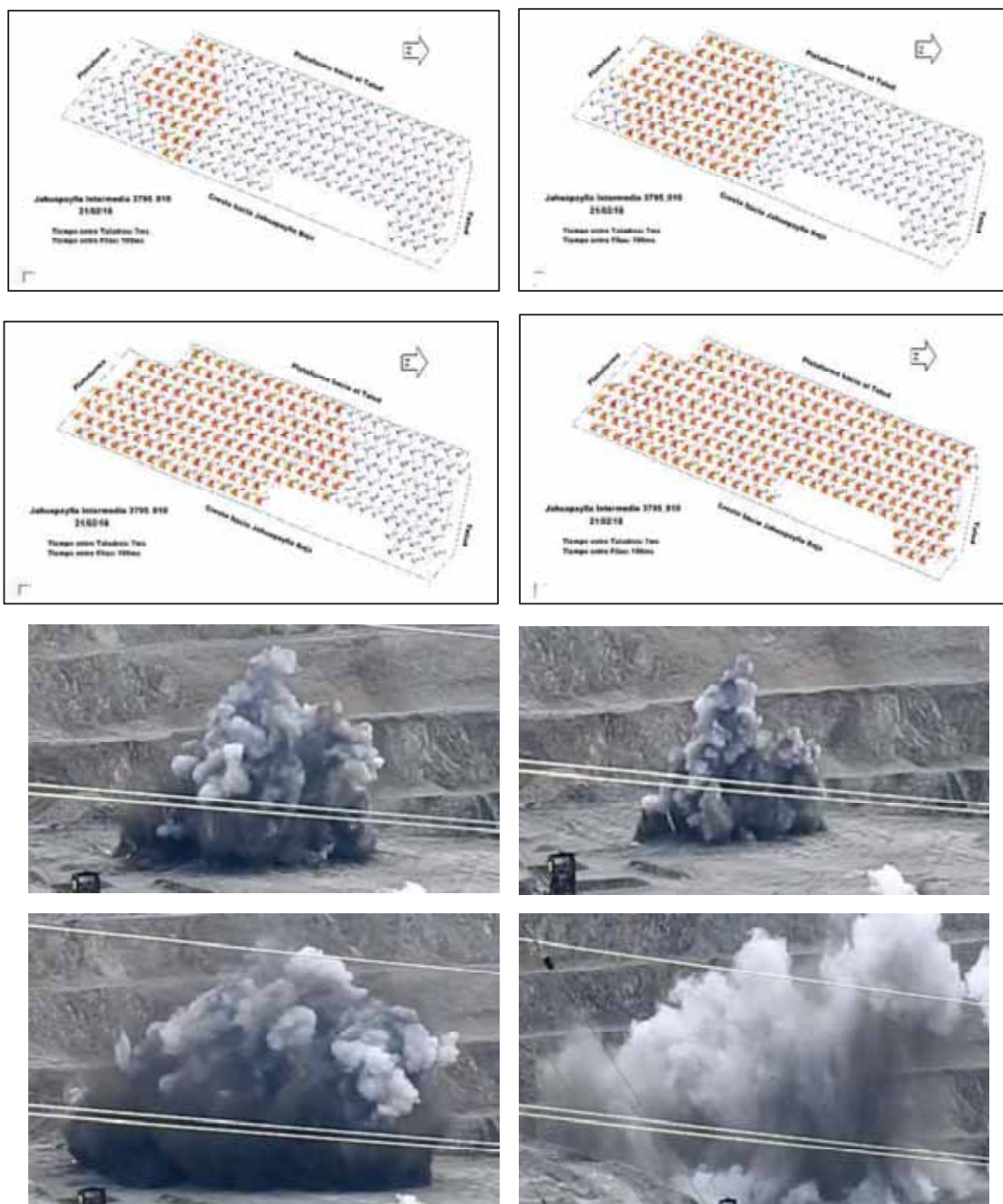
Figura n° 5: Plano de evacuación por voladura U.M. Las Bambas



Fuente: (Orica, 2018)

La voladura es simulada y ejecutada con el fin de controlar las vibraciones, para lo cual se da un tiempo de retardo a cada taladro.

Figura n° 6: Secuencia de voladura U.M. Las Bambas



Fuente: (Orica, 2018)

2.2.1.4. Carguío

Una de las actividades de mayor importancia en el ciclo de minado es el carguío que consiste en el recojo del material ya fragmentado para depositarlo seguidamente en los camiones quienes lo conducen a distintos destinos considerando si se trata de mineral, lixiviable o desmonte.

Tabla 6: Equipos de carguío en unidad minera Las Bambas

MARCA	MODELO	TIPO DE ENERGIA USADA	CODIGO MINA
CATERPILLAR	PALA HIDRAULICA 60605	DIESEL	SH011
			SH012
			SH013
P&H	4100XPC	ELECTRICA	SH003
			SH004
CATERPILLAR	7495HR	ELECTRICA	SH001
			SH002
LETOURNEAU	CARGADOR L2350-II	DIESEL	LD001

Fuente: (MMG Las Bambas, 2018)

El área de carguío de los camiones en la pala y cargadores generalmente es una zona de concentración de equipos: camiones esperando, equipos de limpieza, vehículos livianos, por lo tanto se requiere de una operación metódica que involucre el más alto nivel de comunicación y coordinación entre los operadores de pala, camiones y otros equipos.

Basados en la altura de banco propuesta para el diseño de los tajos (15 metros) y en concordancia con el nivel de productividad esperada, se consideró usar palas eléctricas de 73yd³, palas hidráulicas de 50 yd³ y cargadores frontales de 31 yd³ de capacidad. Todos los casos consideran un match de 300Tm.

Figura n° 7: Equipos de carguío y acarreo unidad minera Las Bambas



Fuente: elaboración propia.

2.2.1.5. Acarreo

En la actualidad el sistema de acarreo emplea camiones Komatsu 930E de acarreo con capacidades de 300 toneladas y camiones Caterpillar 797F de 360 toneladas de capacidad, siendo el sistema de acarreo la más costosa e importante del proceso productivo debido a la cantidad de combustible consumida y costo de mantenimiento, razón básica por la que se debe usar tecnología avanzada, tal como el sistema GPS y la gestión del sistema de transporte (Dispatch) con ayuda de computadoras, en Las Bambas el transporte del material fragmentado es realizado básicamente por un sistema de transporte directo que realiza el acarreo de material de desmonte por los camiones hacia los botadero y el transporte de mineral a la chancadora primaria.

Tabla 7: Equipos de acarreo unidad minera Las Bambas

MARCA	MODELO	CANTIDAD
KOMATSU	930E-4SE	45
CATERPILLAR	797F	9

Fuente: (MMG Las Bambas, 2018)

2.2.2. Servicios auxiliares

El área de servicios auxiliares está conformado por un equipo de personas y equipos encargados de brindar las condiciones óptimas al área de operaciones mina para que las actividades sean realizadas de tal manera que no se sufra interrupciones inesperadas para lo cual realiza mantenimiento a las vías, accesos de la mina, brindar mantenimiento a los botaderos, conformación de bermas en las diferentes vías de acceso al chancadora primaria y botadero, construcción de rampas fijas o temporales, uso de agua mediante cisternas para controlar la polución en las vías, conformas y limpieza de cunetas, parqueos de equipos pesados y livianos, además de controlar toda la señalética de la mina las principales labores de construcción y drenaje de agua es mediante el empleo de garzas, pozos de bombeo, empleo de tubería para evacuación de aguas en mina.

2.2.3. Transporte de mineral grueso

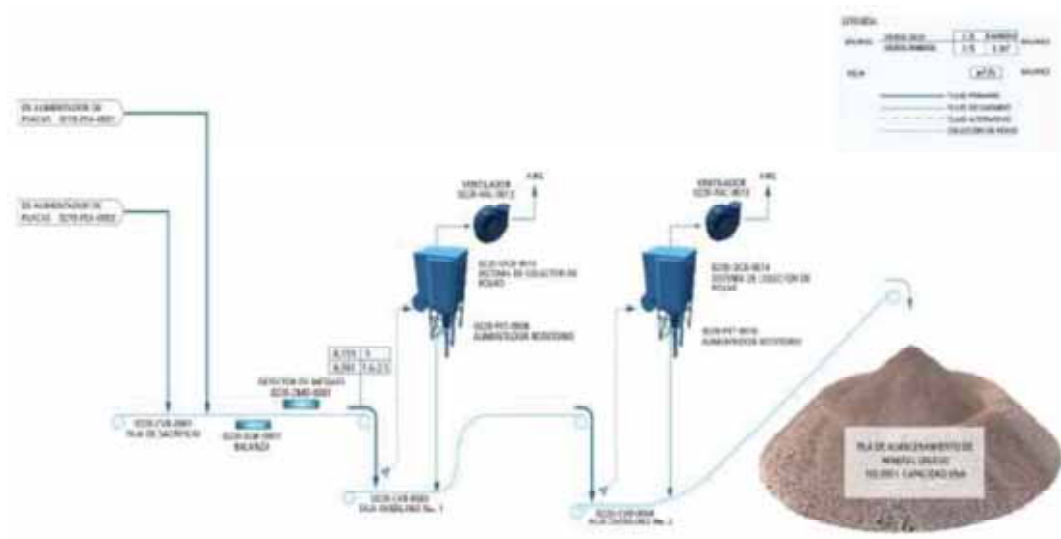
El mineral chancado proveniente de los alimentadores de placas, es descargado sobre la faja de sacrificio de 84” de ancho x 207 m de longitud con velocidad ajustable y 600 kW de potencia, transportándolo hasta la faja overland N° 1 de 72” de ancho x 2,613 m de longitud, la cual descarga el mineral sobre la faja overland N° 2 de 72” de ancho x 2,729 m de longitud, para finalmente enviarlo a la pila de almacenamiento de mineral grueso.

La faja de sacrificio y las fajas overland tienen una capacidad de 9,400 toneladas/hora. La faja de sacrificio cuenta con una balanza para el control operacional de tonelaje y con un detector de metales.

Para el control de polvo, se cuenta con dos colectores de polvo, uno ubicado en la descarga de la faja de sacrificio y el otro en la descarga de la faja overland N° 1. Cada colector cuenta con un rechazo de partículas finas hacia la faja de descarga correspondiente.

Ambas fajas overland cuentan con un motor Gearless de 8,800 kW.

Figura n° 8: Diagrama de flujo de transporte de mineral grueso



Fuente: (Jesmin, 2015)

2.2.4. Descripción de la zona de trabajo y equipos en estudio

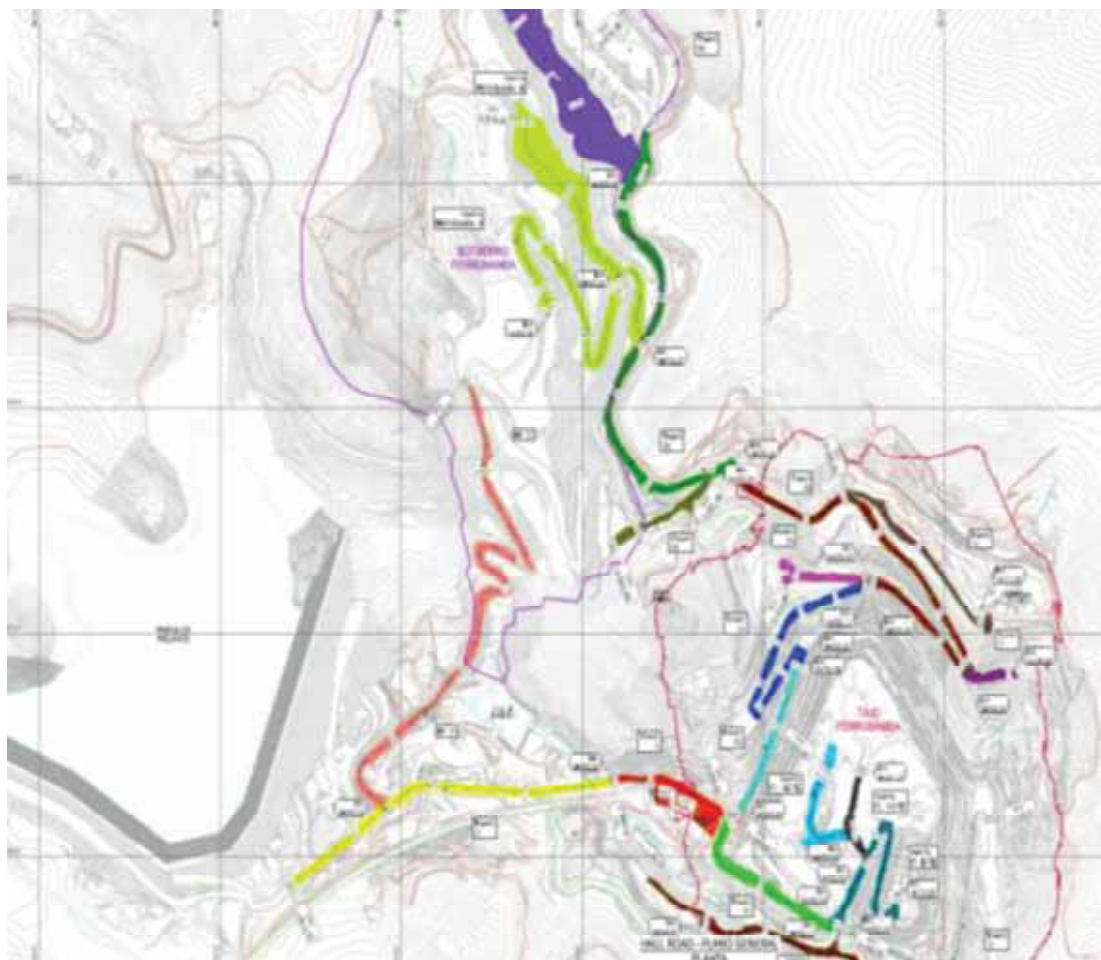
Actualmente en la unidad minera Las Bambas se realiza la perforación y voladura en el sector de alto Jahuapaylla debido a la presencia de mineral con alta ley, para lo cual se vienen realizando voladura en forma diaria e inter diaria, siguiendo el plan de trabajo, se tiene un promedio de 400 taladros perforados por día, los cuales son cargados con la mezcla explosiva Fortis y con el fin de aprovechar al máximo los gases generados por la voladura se emplea un taco con una altura promedio de 8.5 metros, el material utilizado es grava con una densidad de 1.62 Tm/m³ y diámetro promedio de 1 pulgada, el cual es obtenido de una chancadora, dicha chancadora está ubicada en la plataforma del tramo 1, donde todo el material chancado es cargado mediante un cargador sobre ruedas CAT 992K, para el acarreo de dicho material se están empleando camión articulado CAT 773 F que tiene una capacidad de 54 Tm, la descarga de material se realiza en la zona de disparo sector alto Jahuapaylla, en la vía se presentan pendientes pronunciadas de hasta 12 %, polución generada por el tráfico de camiones gigantes ya que esta vía es bastante usada para el acarreo de mineral y desmonte, al ingresar al área de voladura se tiene presencia de cables

en el piso que energizan a las perforadoras eléctricas, siendo necesario el empleo de pasa cables para no realizar un corte de energía, los cuales son instalados manualmente y con un ancho igual al del neumático de los camiones CAT 773F, en ocasiones el área de descarga es pequeña para lo cual los operadores de camiones realizan muchas maniobras, adicionando un vigía o cuadrador debido al cuerpo rígido de este equipo, también existe la posibilidad de tapar los taladros ya perforados, una vez descargada la grava los mini cargadores del área de voladura se encarga de distribuir la grava a todos los taladros.

2.2.4.1. Descripción de las rutas de acarreo tomadas para la muestra.

Para el presente trabajo tomo el tramo que comprende la plataforma de la chancadora móvil en el tramo 1 (zona de carguío) y el sector alto Jahuapaylla (zona de descarga), las rutas tomadas para la presente investigación inician en la plataforma de la chancadora móvil en el tramo 1, el acarreo del material pasa por el tramo 0 ,tramo 2, rampa fase 2 Este, rampa fase 2 Norte, rampa fase 2 Oeste y se ingresa al sector de alto Jahuapaylla, en este tramo se presenta tráfico de camiones gigantes, traslado de palas, perforadoras y trabajos por parte del área de servicios auxiliares, generando demoras al momento de acarrear el material, presencia de pendientes pronunciadas donde el equipo cargado de material disminuyen la velocidad, incrementando el consumo de combustible, la vía es constantemente lastrada y compactada, empleando para ello una motoniveladora y rodillo con el fin de evitar la presencia de huecos o desniveles, para no tener un desgaste prematuro de los neumáticos y sobre esfuerzo de los equipos, es necesario también señalar que la vía presenta curvas de acuerdo al diseño de la rampa principal.

Figura n° 9: rutas de acarreo de grava



Item	Tramo	Metros	Referencia
1	Tramo 0	699.85	
2	Tramo 1	1,914.73	
3	Tramo 2	988.47	
4	Rampa F2 Este	1,125.95	
5	Rampa F2 Oeste	534.93	
6	Rampa F2 Norte	441.70	

Fuente: (GMI, 2018)

2.2.4.2. Descripción de los equipos de carguío y acarreo tomados para la muestra.

2.2.4.2.1. Equipos de Carguío.

Para el presente trabajo de optimización mediante camión articulado CAT 740B, en acarreo de grava para confinado de explosivos se viene empleado un cargador de ruedas CAT 992K proporcionado por el área de servicios auxiliares de operaciones mina, a continuación se detallan sus características.

a) Cargador de ruedas CAT 992K.

El cargador de ruedas CAT 992K es un equipo que fue presentado por primera vez en el año 1968 y desde entonces ha sido el líder mundial, ganando una reputación como equipo seguro de operar, ergonómico, productivo y duradero, están equipados con un cucharón sobre brazos articulados sujetos al equipo, los cuales son accionados por dispositivos hidráulicos, estas máquinas están diseñadas especialmente para trabajos de carguío, también en excavación de materiales suaves o previamente aflojados. Sirve para retirar objetos pesados del terreno, entre sus funciones tenemos nivelación de pisos, carga de material, transporte de materia en distancias cortas y conformación de muros de seguridad. Debido a ello es bastante utilizado en la actividad minera (Caterpillar INC., 2013)

- Potencia Bruta 900 hp.
- Potencia Neta 814 hp.
- Capacidad del cucharón 10,7 – 12,3 m³.
- Levantamiento estándar con carga útil nominal 21.7 toneladas.
- Tanque de combustible estándar 413 galones.

Figura n° 10: Cargador sobre ruedas 992K, para carguío de material



Fuente: elaboración propia

Figura n° 11: Dimensiones de cargador sobre ruedas CAT 992K.



	Levantamiento estándar del 992K* 45/45-45 50		Levantamiento alto** del 992K 45/45-45 50	
1 Altura hasta la parte superior de la ROPS	5.678 mm	18' 7"	5.678 mm	18' 7"
2 Altura hasta la parte superior del tubo de escape	5.248 mm	17' 2"	5.248 mm	17' 2"
3 Altura hasta la parte superior del capó	4.043 mm	13' 4"	4.043 mm	13' 4"
4 Altura hasta la parte superior del parachoques	1.830 mm	6' 0"	1.830 mm	6' 0"
5 Espacio libre del parachoques	1.176 mm	3' 11"	1.176 mm	3' 11"
6 Espacio libre sobre el suelo**	682 mm	2' 2"	682 mm	2' 2"
7 Alcance en descargas de 90° (estándar), 45° (levantamiento alto), (punta del diente)	2.118 mm	6' 11"	2.092 mm	6' 9"
8 Espacio libre en descargas de 90° (estándar), 45° (levantamiento alto), (punta del diente)	4.480 mm	14' 8"	4.574 mm	15' 1"
9 Altura del pasador del cucharón a levantamiento completo	6.927 mm	22' 8"	7.544 mm	24' 7"
10 Altura total máxima del cucharón subido	9.313 mm	30' 6"	10.109 mm	33' 1"
11 Distancia entre ejes	5.890 mm	19' 4"	5.890 mm	19' 4"
12 Longitud total máxima	15.736 mm	52' 0"	16.095 mm	52' 8"

Fuente: (Caterpillar INC., 2013)

2.2.4.2.2. Equipos de Acarreo.

En la actividad minera a cielo abierto se emplean equipos de gran capacidad y en el acarreo de material grava se vienen empleando equipos con capacidad de carga superior a los 39 Tm, a continuación se describe los equipos utilizados para el acarreo de grava.

a) Camión rígido CAT 773F.

Este equipo fue diseñado para dar comodidad al operador y resistencia para durar varios años, desarrollado específicamente para la construcción, minería y canteras. Es necesario que el operador sea bien capacitado para poder operar de manera correcta y no afectar la vida útil del equipo, a continuación se detallan sus características.

- Potencia Bruta: 740 hp.
- Potencia Neta: 703 hp.
- Capacidad de carga colmada: 35,6 m³ o 54 Tm.
- Angulo de descarga: 60 grados.
- Tiempo de elevación: 10 segundos.
- Tiempo de bajada: 13 segundos.
- Tanque de combustible estándar: 185 galones.

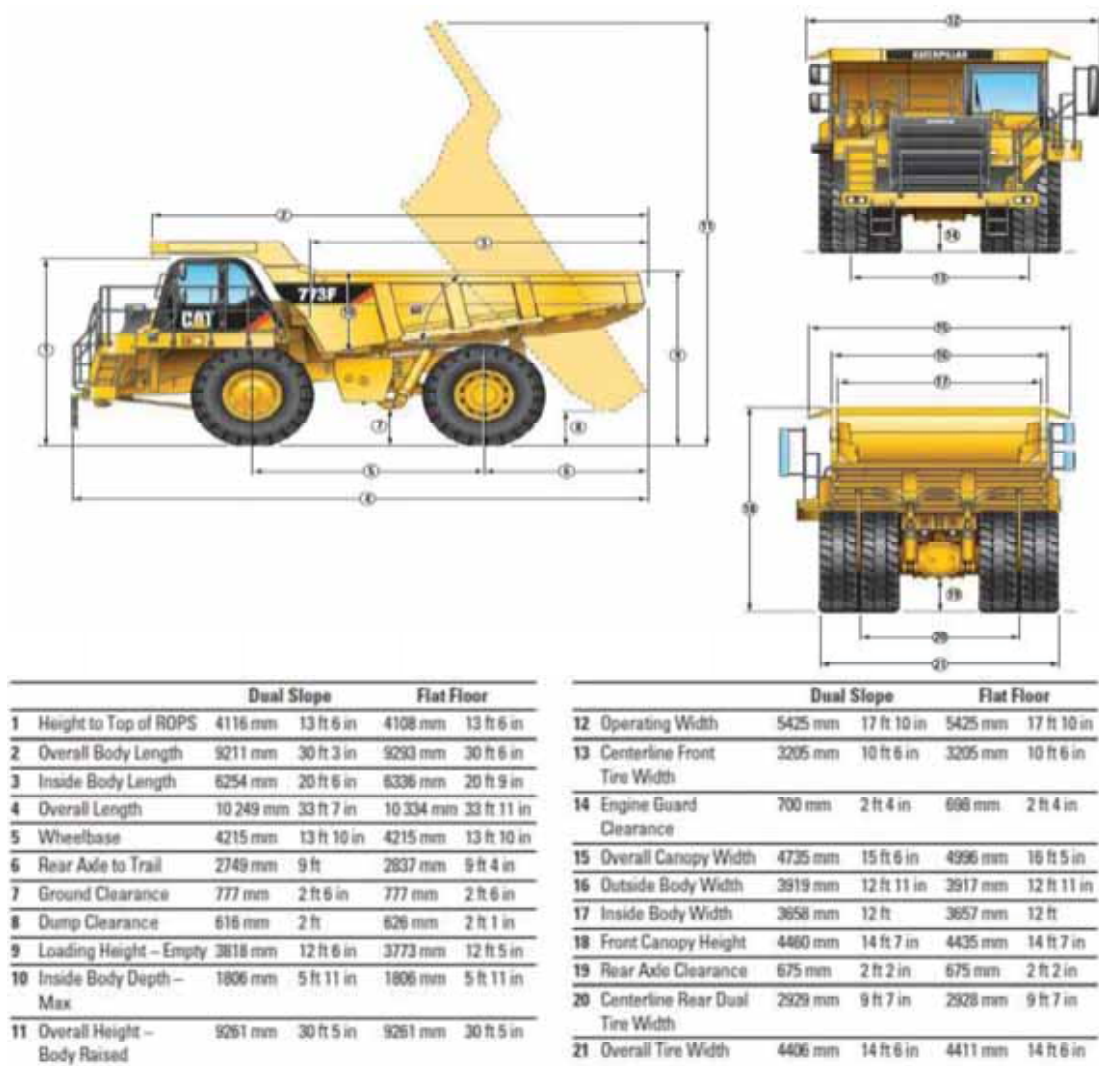
Figura n° 12: Camión Rígido CAT 773F, acarreo de material



Fuente: Elaboración propia

A continuación se detalla las dimensiones

Figura n° 13: Dimensiones de camión rígido CAT 773F



Fuente: (Caterpillar INC., 2013)

Figura n° 14: puntos ciegos de camio CAT 773F



Fuente: (MMG Las Bambas, 2018)

b) Camión Articulado CAT 740B.

Este equipo ofrece fiabilidad y durabilidad comprobadas, alta productividad, comodidad superior para el operador y costos de operación más bajos.

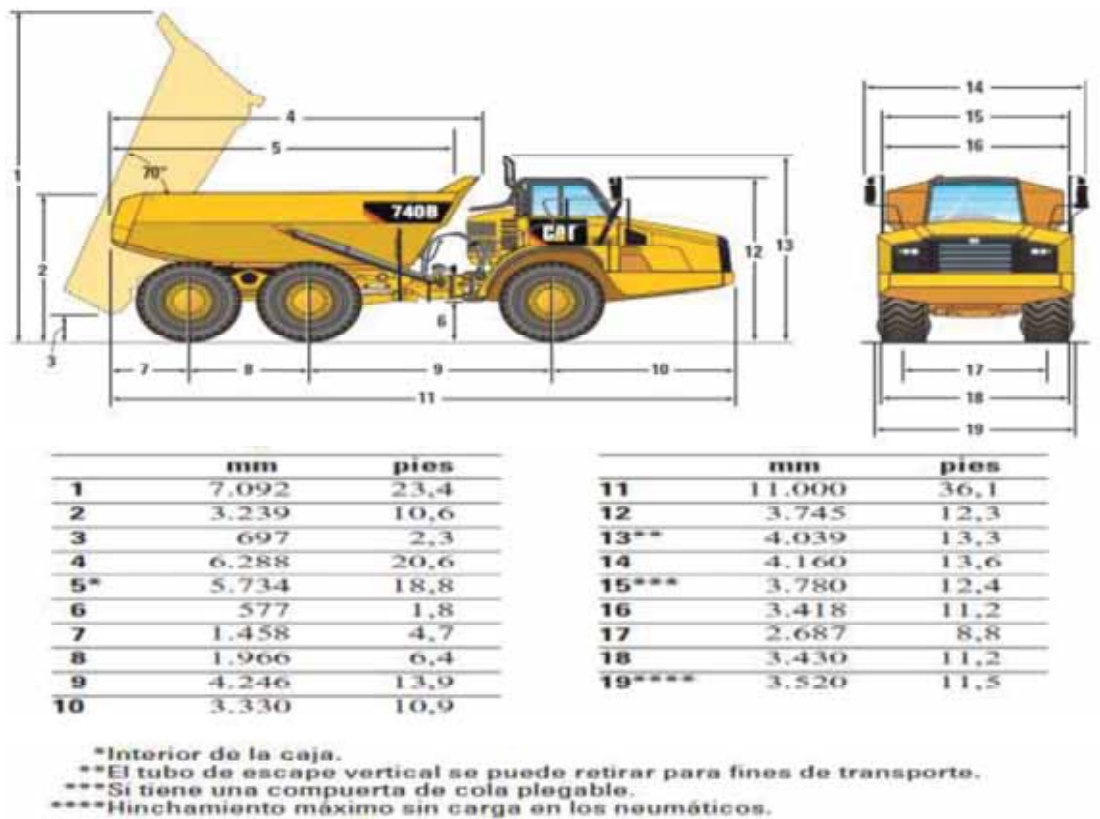
Gracias a la espaciosa cabina para dos personas, con asiento orientado hacia el frente para el acompañante y cilindros de suspensión delanteros todo terreno de aceite/nitrógeno, el operador puede estar cómodo durante toda la jornada de trabajo.

Los motores Cat ACERT™ son resistentes y duraderos, y cuentan con la solución de emisiones de escape Tier 2/Stage II y transmisiones suaves y controladas electrónicamente, lo que permite obtener una alta productividad con un bajo consumo de combustible.

- Potencia Bruta: 484 hp.
- Potencia Neta: 477 hp.
- Capacidad de carga colmada: 24 m³ o 40 t.
- Angulo de descarga: 45 grados.
- Tiempo de elevación: 12 segundos.
- Tiempo de bajada: 7 segundos.
- Tanque de combustible estándar: 148 galones.

A continuación se detallan sus dimensiones:

Figura n° 15: Dimensiones de camión articulado CAT 740B



Fuente: (Caterpillar INC., 2013)

Figura n° 16: Camión articulado CAT 740B, descarga de material grava



Fuente: elaboración propia.

2.3. Marco teórico conceptual

2.3.1. Voladura en minería superficial.

La voladura es una de las operaciones unitarias del ciclo de minado, que consiste en el empleo de mezclas explosivas comerciales para la fragmentación del macizo rocoso, debido a la necesidad de mover una gran cantidad de material para obtener el mineral se han desarrollado diversos tipos de mezclas explosivas comerciales y cada una con propiedades específicas como la resistencia al agua, etc. (Camara Minera del Peru, 2010)

La mayoría de los investigadores están de acuerdo en que 3 son las etapas o fases principales que toman lugar en el proceso de fragmentación del macizo rocoso:

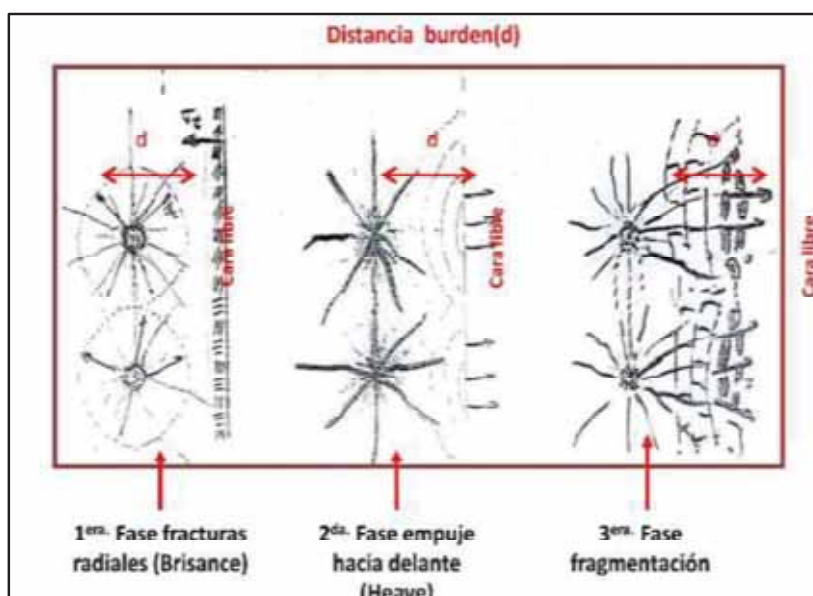
- a) Primera fase fracturas radiales (Brisance): Cuando cualquier mezcla explosiva comercial que se encuentra cargada dentro de un taladro es detonada, este produce ondas compresivas o de choque.

La forma y magnitud de estas ondas compresivas que viajan a altas velocidades cuyo rango esta entre 3,000 m/s – 5,000 m/s., dependerá del tipo de mezcla explosiva comercial empleada, del tipo de roca, del número y posición de los boosters, altura de carga, diámetro del taladro y la relación de la velocidad de detonación con la velocidad de propagación de las ondas a través del macizo rocoso.

- b) Segunda fase empuje hacia adelante (heave): Las altas presiones de los gases, hacen que estos produzcan las ondas compresivas las cuales serán refractadas y reflejadas. Las ondas compresivas reflejadas cambian de signo (negativo) y se convertirán en ondas tensionales. Esta transformación ocurrirá cuando las ondas compresivas arriben a una cara libre, cuando la masa rocosa cambie de densidad o cuando ellas encuentran fallas geológicas o planos estructurales. El fracturamiento de la roca comenzara en la cara libre o en cualquier discontinuidad donde las ondas compresivas son reflejadas.

- c) Tercera fase fragmentación: Bajo la influencia de las altas presiones de los gases producidos por la detonación de cualquier mezcla explosiva comercial; las primeras fracturas radiales son extendidas, la cara libre falla y esta es movida hacia el frente.

Figura n° 17: Fases de voladura de macizo rocoso.



Fuente: (Camara Minera del Peru, 2010).

Los objetivos de la voladura son:







- Lograr un adecuado grado de fragmentación del macizo rocoso, de tal modo que minimice los costos de las operaciones subsiguientes del proceso global Mina-Planta.
- Lograr un nivel de piso y pilas de escombros adecuados para su carga.
- Evitar la dilución del mineral.
- Minimizar el daño al macizo rocoso remanente, protegiendo la integridad de los bancos y la estabilidad de los taludes, para hacer viable la operación minera en el largo plazo.
- Nivel de vibraciones controladas.

2.3.1.1. Columna explosiva.

Los explosivos son compuestos que al detonar, generan un gran volumen de gases que llegan a alcanzar altas temperaturas y muy altas presiones, que al expandirse provocan la

fragmentación del macizo rocoso, por lo que es necesario realizar un correcto diseño de la malla de perforación y de la columna explosiva. Para realizar los cálculos de dichas mallas existen modelos matemáticos como el de Pearse o el uso de softwares mineros como el I-kon.

Figura n° 18: Clasificación de gases en voladura.

Nivel	Apariencia típica	Comentario
Nivel 0 No humos		Balace de oxígeno correcto. Condiciones ideales
Nivel 1 Leve. Humos color amarillo		Balace de oxígeno incorrecto. Contaminación de la mezcla explosiva por presencia de agua subterránea. Deflagración de la mezcla explosiva. Macizo rocoso agrietado
Nivel 2 Menor. Humos color amarillo/anaranjado		
Nivel 3 Moderado. Humos color anaranjado		
Nivel 4 Significante. Humos color anaranjado		
Nivel 5 Mayor. Humos color rojo		

Fuente: (Orica, 2018).

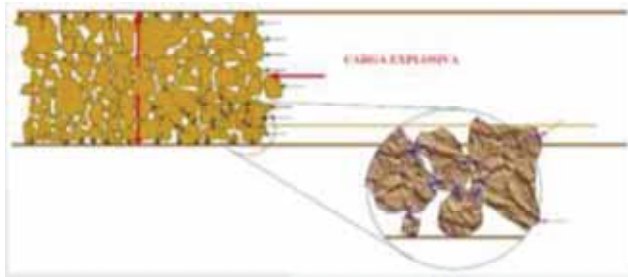
2.3.1.2. Importancia del taco en voladura superficial.

Uno de los parámetros más importantes en el diseño de la columna explosiva es el taco cuya función es la de retener dentro del taladro los gases generados por la voladura durante fracciones de segundos, suficientes para evitar que los gases escapen por la boca del taladro y de esta manera permita que trabaje por completo en la fragmentación de la roca.

- a) El taco es el material utilizado como relleno en la parte superior de un taladro, en el caso de unidad minera Las Bambas se emplea la grava, cuya densidad es de 1.62 Tm/m³ y un diámetro promedio de 1 pulgada.

Sin la presencia del taco los gases escaparían a la atmosfera arrastrando gran cantidad de energía que debería ser aprovechada para la fragmentación del macizo rocoso.

Figura n° 19: Distribución de grava en el taladro



Fuente: (Romero, 2015)

2.3.1.2.1. Modelos matemáticos para el cálculo de taco.

a) Modelo matemático de Langefors:

Este modelo matemático propone la siguiente expresión para calcular el valor del taco.

$$T = B1 ; metros$$

Donde

B1: Burden practico

$$B1 = \frac{1}{2} * \left(\frac{D}{35.6} * \frac{P * S}{C * F * EV} \right) ; metros$$

Donde

D: diámetro de perforación en milímetros.

P: grado de retardo, cantidad de carga en Kg/dm³.

S: potencia relativa en peso del explosivo (1 – 1.4).

F: grado de fijación de los tiros, en caso de tiros verticales es igual a 1.

C: constante especifica de la roca, la cantidad de explosivo necesaria para fragmentar 1 m³ de roca, normalmente en voladuras a cielo abierto y roca dura es 0.4.

EV: relación de espaciamento – burden y puede estar entre 1 a 2.

b) Modelo matemático de Richard L. Ash:

Para el cálculo del taco se tiene la siguiente expresión:

$$T = 0.7 * B ; \text{pies}$$

Donde

B: Burden en pies

$$B = kB * \frac{De}{12} ; \text{pies}$$

Donde

kB: constante que depende del tipo de roca y el tipo de mezcla explosiva ase usada, al tratarse de roca dura-media y densidad alta-media se toma el valor de 30

De: diámetro de explosivo en pulgadas

c) Teoría de C.J. Konya

C.J. Konya, analizo y modifíco la fórmula de R. L. Ash, expresándola de la siguiente manera:

$$T = 0.72 * B ; \text{pies, para roca estratificada}$$

$$T = B ; \text{pies, para roca masiva}$$

Donde

B: burden

$$B = 3.15 * De \left(\frac{\delta e}{\delta r} \right)^{1/3} ; \text{pies}$$

Donde

De: diámetro del explosivo en pulgadas

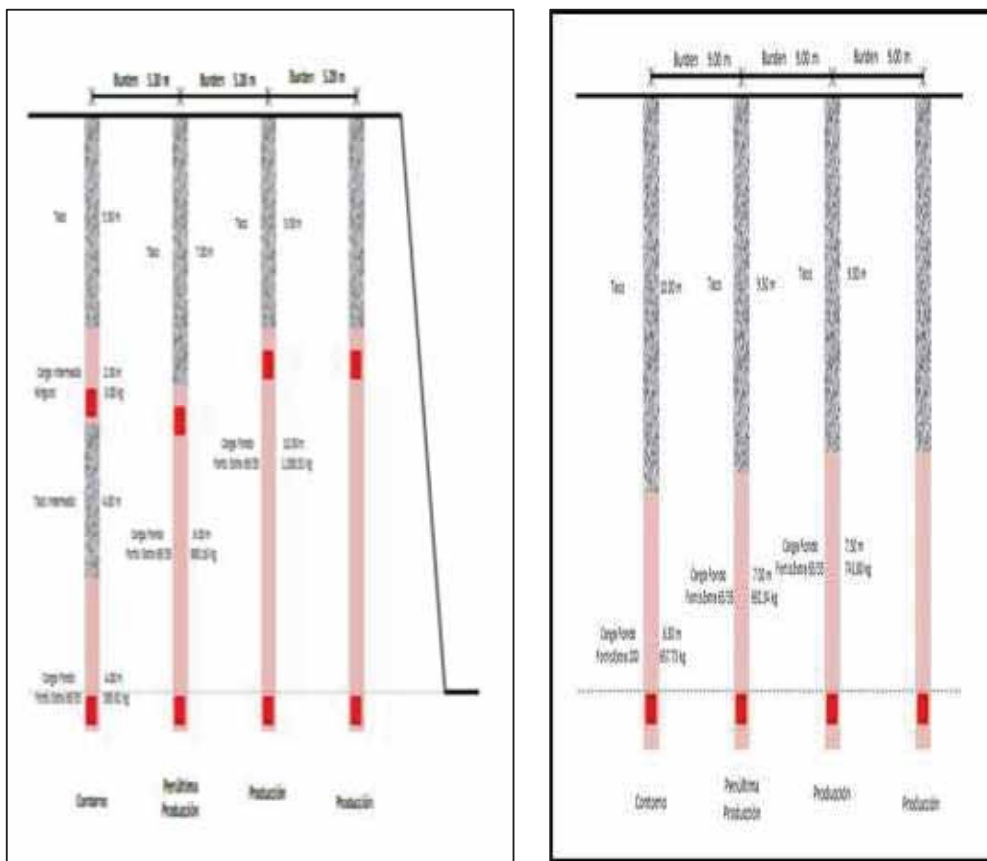
δe : densidad del explosivo, gramos/cm³

δr : densidad de la roca, gramos/cm³

Existen dos situaciones por la manera en la que se emplea el taco:

- Si la longitud del taco es corta esta no será suficiente para poder soportar la presión de los gases y se dará una mala fragmentación en el macizo rocoso e incluso se podrían dar tiros sopladados, generando un fuerte ruido por onda aérea, también la craterización y los fly rocks que en muchas ocasiones alcanzan los 500 metros de distancia, llegando a impactar equipos de mina.
- Si la longitud del taco es muy larga esta no permitirá que los gases se expandan de manera correcta generando una mala fragmentación en la boca de los taladros, dando lugar a los famosos bolones, poco esponjamiento del macizo rocoso y un nivel de vibración muy alto. (Romero, 2015)

Figura n° 20: Diseño de columna explosiva en taladros de pre corte y producción



Fuente: (Orica, 2018)

En unidad minera Las Bambas la voladura se realiza con un sistema de iniciación electrónico y adicional a ello si este sistema falla también se aplica la iniciación pirotécnica.

2.3.2. Movimiento de tierras en minería superficial.

2.3.2.1. Conceptos generales.

El movimiento de tierras en minería superficial es a gran escala, antes y después de la perforación y voladura se deben realizar trabajos auxiliares con diversos fines, un ejemplo es la reubicación de material orgánico (top soil), construcción de plataformas para perforación diamantina, construcción de accesos auxiliares, reubicación de material inadecuado o fino, acarreo de grava para el área de voladura, etc. Luego de la perforación y voladura se realiza el carguío y acarreo del material fragmentado con destinos de descarga definidos por el área de planeamiento mina (chancador primario o Botadero Huancarane).

Por lo tanto el movimiento de tierras se define como un conjunto de operaciones que se realizan en terreno, a fin de modificar la forma de la naturaleza o de aportar en obras públicas, mineras o industriales. (Cherné & González, 2005)

En los casos más generales las operaciones de movimiento de tierras son:

- a) Limpieza y desmonte.
- b) Excavación.
- c) Carguío.
- d) Acarreo.
- e) Descarga.
- f) Servicios auxiliares (refinos, saneos, etc.).

2.3.2.2. Operaciones básicas en la actividad de Movimiento de Tierras.

- a) Limpieza y desmonte.

Esta operación de movimiento de tierras está orientada a la limpieza de material orgánico, en unidad minera Las Bambas se tiene el estándar de que si la capa de tierra orgánica tiene un grosor mayor a 20 cm, esta debe ser reubicada en un depósito de material orgánico (DMO), dichos depósitos están ubicadas en zonas estratégicas y

distantes al tajo, ya que serán utilizadas posteriormente en el cierre de mina, siendo de vital importancia su reubicación.

b) Excavación o Corte.

La excavación consiste en la remoción de tierra con diferentes objetivos, construcción de pozos para captación de lodos, construcción de canales para evacuación de agua, instalación de tubería para drenaje del tajo, drenes, puesta a tierras para contener usadas como refugio frente a tormentas eléctricas, etc. el material excavado deberá ser acarreado a puntos estratégicos para poder dejar el área de excavación libre. En unidad minera Las Bambas se tiene el estándar de riesgo fatal de trabajos en espacios confinados, donde solicitan que se realice un check list diario de las excavaciones y así realizar un control de estabilidad.

Según el DS 024-2016 en el artículo 133 menciona que “en toda excavación, el material proveniente de ella y acopiado en la superficie deberá quedar a una distancia mínima del borde que equivalga a la mitad de la profundidad de la excavación, en el caso de suelos bastante deleznable, esta distancia será mayor o igual a la profundidad de la excavación.

c) Carguío.

Es la actividad que consiste en recoger la roca arrancada y depositarla en un equipo de acarreo mediante un equipo de carguío, para su reubicación, actualmente el área de servicios auxiliares utiliza equipos como el cargador de ruedas CAT 992K, excavadoras CAT 336DL, en el caso de mineral o desmonte se utilizan palas hidráulicas, eléctricas y un cargador sobre ruedas gigante P&H L-2350 con una capacidad de cuchara de 40.52 m³.

d) Acarreo.

El acarreo consiste en el traslado de material a destinos definidos en el área de operaciones mina.

Según el artículo número 7 del DS 024-2016 EM carguío se define como “traslado de material hacia un destino señalado.

e) Descarga.

La descarga de material corresponde al vaciado de los equipos de acarreo en destinos definidos, esta actividad se debe realizar con mucho cuidado por ejemplo para la descarga de material en los botaderos se debe conformar pre bermas, con el objetivo de alejar los camiones de la cresta de los bancos o botaderos, puesto que en unidad minera Las Bambas los botaderos tienen una altura de más de 100 metros, la descarga en el chancador primario debe ser con un cálculo de distancias, debido a las dimensiones de la estructura de la chancadora primaria, no descargas en zonas con presencia de cables aéreos, pisos inestables.

f) Servicios auxiliares (refinos, saneos, etc.).

Estas actividades están relacionadas en su mayoría al mantenimiento de vías, limpieza de cunetas, mantenimiento de muros de seguridad, perfilado de taludes, drenaje de agua, captación de agua en garzas, limpieza de pozas de lodo, lastrado de vías, todas ellas con el fin de brindar óptimas condiciones de trabajo a los equipos pesados y no sufrir demoras por condiciones adversas.

Figura n° 21: Mantenimiento de vía con equipo auxiliar.



Fuente: elaboración propia.

- Extendido de material: Esta actividad se realiza mediante el empleo de diferentes equipos tales como retroexcavadoras y motoniveladoras, en unidad minera Las Bambas se tiene el tramo 2, una vía con pendiente pronunciada y tráfico de camiones por lo que es necesario realizar un lastrado y compactación de la vía con el uso de equipos de acarreo y motoniveladora para así controlar el desgaste de los neumáticos y evitar la presencia de huecos y agua en la vía. También se realiza en el mantenimiento de accesos auxiliares, plataformas de perforación diamantina para tener precisión durante su actividad y no tener desvíos durante su perforación.
- Humectación o desecación: Esta actividad está orientada para evitar la polución debido al tráfico de equipos y también para suavizar el terreno y tener una mejor compactación. En unidad minera Las Bambas se tienen cisternas de agua de gran tamaño y una cisterna pequeña que abastece de agua a las perforadoras de producción.

Figura n° 22: Riego con cisterna de agua.



Fuente: elaboración propia.

- **Compactación:** Mediante esta actividad se afirma el terreno empleando un rodillo logrando disminuir el espacio entre el material compactado es decir disminuir su volumen y tener terreno compacto.

Figura n° 23: Compactación de tramo 6



Fuente: elaboración propia.

2.3.2.3. Estados de los materiales durante el proceso.

Durante el proceso de movimiento de tierras es necesario identificar los siguientes estados en los que se puede encontrar al material.

- a) **Material en banco:** Volumen de material tal como se encuentra o en estado natural
- b) **Material suelto:** Volumen de material después de que ha sido perturbado por un proceso de carga.
- c) **Material compacto:** Volumen de material en estado compacto.

Figura n° 24: Factor de esponjamiento de materiales.

Material	Peso en banco		Peso sueltp		Porcentaje de esponjamiento	Factor de esponjamiento
	Lb/yd3	Kg/m3	Lb/yd3	Kg/m3		
Arcilla seca	2,700	1,600	2,000	1,185	36	0.74
Arcilla húmeda	3,000	1,780	2,200	1,305	35	0.74
Tierra seca	2,800	1,660	2,240	1,325	25	0.80
Tierra húmeda	3,200	1,895	2,580	1,528	25	0.80
Tierra y grava	3,200	1,895	2,600	1,575	20	0.83
Grava seca	2,800	1,660	2,490	1,475	12	0.89
Grava húmeda	3,400	2,020	2,980	1,765	14	0.88
Caliza	4,400	2,610	2,750	1,630	60	0.63
Roca, bien explotada	4,200	2,490	2,640	1,586	60	0.63
Arena seca	2,600	1,542	2,260	1,340	15	0.87
Arena húmeda	2,700	1,600	2,360	1,400	15	0.87
Esquisto	3,500	2,075	2,480	1,470	40	0.71

Fuente: (Peurifoy, Schexnayder, & Shapira, 2011)

2.3.2.4. Características de los materiales.

- a) Esponjamiento: Es el incremento porcentual de volumen, entre los estados de banco y de suelto. Podemos expresar el concepto mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Esponjamiento (\%)} = \frac{V \text{ suelto} - V \text{ banco}}{V \text{ banco}} \times 100$$

Donde:

- V suelto: volumen de material suelto (m3)
- V banco: volumen de material en banco (m3)

Entonces de esta ecuación podemos hallar el factor de esponjamiento:

$$\text{Factor de esponjamiento} = \frac{V \text{ suelto}}{V \text{ banco}} = 1 + \frac{\text{Esponjamiento (\%)}}{100}$$

- b) Compresibilidad: Es la reducción porcentual de volumen entre los estados en banco y compacto. Podemos expresar el concepto mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Compresibilidad (\%)} = \frac{V \text{ banco} - V \text{ compacto}}{V \text{ banco}} \times 100$$

Donde:

- V compacto: volumen de material compactado (m³).
- V banco: volumen de material en banco (m³).

Entonces de esta ecuación podemos hallar el factor de reducción:

$$\text{Factor de reducción} = \frac{V \text{ compactado}}{V \text{ banco}} = 1 - \frac{\text{Compresibilidad (\%)}}{100}$$

- c) Tipos de materiales geotécnicos: Se tienen principalmente cinco tipos principales de suelos o sus combinaciones, los siguientes límites de tamaño representan los establecidos por la sociedad americana para pruebas de materiales (AST).
- Grava: está compuesta de partículas redondeadas o semi redondeadas de roca, que pasarán un tamiz de 3 pulgadas y serán retenidas en otro de 2.0 mm. Los tamaños mayores a 10 pulgadas se llaman comúnmente rocas.
 - Arena: es roca desintegrada con partículas que varían en tamaño desde el límite inferior de grava (2.0 mm) hasta 0.074 mm. Se clasifican como arena gruesa o fina, dependiendo del tamaño de grano. La arena es un material granular no cohesivo y sus partículas tienen una forma abultada.
 - Limo: es un material más fino que la arena y por lo tanto sus partículas son menores de 0.074 mm, pero mayores de 0.005 mm. Es un material no cohesivo y tiene poca o ninguna resistencia. Los limos se compactan muy mal.
 - Arcilla: es un material cohesivo cuyas partículas son inferiores a 0.005 mm. La cohesión entre las partículas le da alta resistencia cuando se seca al aire. Las arcillas pueden ser objeto de cambios considerables en el volumen, cuando ocurren variaciones en el contenido de humedad, exhiben plasticidad dentro de un rango de "contenidos de agua." y tienen forma de láminas delgadas, de ahí el uso del término laminar.

- **Materia orgánica:** es vegetación parcialmente descompuesta. Tiene una estructura esponjosa, inestable, que continuará descomponiéndose y es químicamente reactiva. Si se encontrara presente en el suelo que se utiliza para la construcción, la materia orgánica deberá ser eliminada y reemplazada con un suelo más adecuado.

Figura n° 25: características de materiales

Suelo	Gravas y arenas	Limos	Arcillas
Tamaño de grano	De grano grueso. Se pueden ver los granos. Individuales a simple vista.	De grano fino. No se puede ver los granos. Individuales a simple vista.	De grano fino. No se puede ver los granos. Individuales a simple vista
Características	Sin cohesión. No plástico. Granular.	Sin cohesión. No plástico. Granular.	Cohesión. Plástico.
Efecto del agua	Relativamente sin importancia (excepción: suelto y saturado, con cargas dinámicas)	Importante	Muy importante
Efecto de la distribución del tamaño del grano en las propiedades de ingeniería	Importante	Relativamente sin importancia.	Relativamente sin importancia.

Fuente: (Peurifoy, Schexnayder, & Shapira, 2011)

2.3.3. Sistema carguío – acarreo en función a parámetros operativos.

2.3.3.1. Rendimiento de equipos de carguío y acarreo.

La producción o rendimiento de una maquina es el número de unidades de trabajo que realiza en la unidad de tiempo, generalmente una hora:

Las unidades de trabajo más comunes empleadas en el movimiento de tierras son de m³ o toneladas. La unidad de tiempo más empleada es la hora, aunque a veces se expresa por días. (Cherné & González, 2005)

- a) Términos relacionados con el rendimiento: Para conocer el rendimiento de un equipo es necesario conocer los siguientes términos como son:

- Tiempo de un ciclo (T): este concepto está ligado a las diferentes actividades que se realizan con un equipo para completar un trabajo, el tiempo de un ciclo para los siguientes equipos contempla maniobras, carga, descarga, espera, retorno, acarreo, etc.
- Capacidad de los receptáculos (Q): este término se refiere a la capacidad que tienen los diferentes elementos de los equipos como son los cucharones de los cargadores de ruedas, etc. Este dato viene dada por el fabricante.
- Factor de eficiencia de cucharón (K): se refiere a la relación que existe entre la cantidad de material en el receptáculo y la capacidad nominal del mismo.

$$K = \frac{\text{material cargado por el receptaculo}}{\text{Capacidad nominal del receptaculo}}; (\%)$$

- Factor de eficiencia de la maquina (E): también conocido como el factor de rendimiento de trabajo, básicamente representa la pérdida de rendimiento del equipo. El cual está en función directa con las condiciones del equipo, de la adaptación que se tenga para cierto trabajo como las condiciones del área de trabajo, condiciones administrativas, así tenemos:
 - Las condiciones del área de trabajo: superficie del terreno, topografía, condiciones climáticas y adaptabilidad de la máquina.
 - Las condiciones administrativas: estado de la máquina, coordinación del trabajo entre equipos, permisos de trabajo.

2.3.3.1.1. *Rendimiento Teórico o nominal.*

El rendimiento teórico por lo general es un dato proporcionado por el fabricante, en este caso Caterpillar, no tomando en cuenta las condiciones que se presentan en los trabajos diarios.

Podemos definirlo de acuerdo a la relación entre el trabajo útil de una determinada máquina y el trabajo total entregado a la misma.

$$\text{Produccion/Rendimiento} = \frac{\text{unidades de trabajo}}{1 \text{ hora}}; \left(\frac{m^3}{\text{hora}} \text{ o } \frac{Tm}{\text{hora}} \right)$$

2.3.3.1.2. Rendimiento Práctico o Real.

El rendimiento real o producción real es aquel que se calcula mediante la toma de datos en tiempo real en campo, lográndose identificar las fallas ya sean del operador, la supervisión o del equipo durante el trabajo en diferentes condiciones del terreno. A continuación se menciona las siguientes demoras que afectan al rendimiento:

- a) Demoras rutinarias: en este grupo se pueden identificar el abastecimiento de combustible, lubricación del equipo, Check list diario de estado de equipo, necesidades fisiológicas, etc. Restricciones en la operación como el espacio reducido del área de trabajo, coeficiente de rodamiento.
- b) Demoras por condiciones en el área de trabajo.
- c) Condiciones climáticas: lluvia, tormenta eléctrica, neblina, temperatura elevada (afectan al operador),
- d) Condiciones físicas: presencia de agua en el área de trabajo, presencia de lodo.
- e) Demora por terceros: presencia de equipos ajenos a la obra, paros o huelgas, presencia de animales.
- f) Coordinación de trabajo: una deficiencia en la coordinación por parte de los supervisores puede generar una demora en el inicio de trabajos.

De acuerdo a esto se tiene la siguiente ecuación que permite obtener el rendimiento real:

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Unidades de trabajo}}{\text{Tiempo planificado de trabajo} - \text{Demoras}}; \left(\frac{m^3}{\text{hora}} \text{ o } \frac{Tm}{\text{hora}} \right)$$

Para los diferentes equipos empleados en el presente trabajo se tienen las siguientes ecuaciones:

a) Rendimiento de cargadores de rueda es:

$$R = \frac{60 * Q * K * E}{T} \left(\frac{m^3}{h} \text{ o } \frac{t}{h} \right)$$

Donde:

R: Rendimiento en m³/ hora o Tm/hora.

Qc: capacidad nominal del cucharón.

K: factor de llenado del cucharón.

E: Factor de rendimiento de trabajo.

T: Tiempo de un ciclo.

Es necesario aclarar que el tiempo de un ciclo se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$T. \text{ ciclo cargador} = T \text{ carga} + T \text{ giro} + T \text{ descarga (minutos)}$$

Donde:

T carga: indica el tiempo empleados por el cargador para llenar su cucharón.

T giro: se refiere al tiempo empleado en los giros necesario para llenar al equipo de acarreo.

T Descarga: es el tiempo empleado para descargar el material del cucharón a la tolva del equipo de acarreo.

b) Rendimiento de equipo de acarreo:

$$R = \frac{60 * Q * E}{T}; \frac{m^3}{Hr}$$

Donde:

R: rendimiento en m³/Hora

Q: Capacidad de máquina en m³

E: factor de rendimiento de trabajo

T: tiempo empleado en un ciclo completo (minutos)

Para lo cual un ciclo completo será

$$T. ciclo = T carga + T acarreo + T. retorno + T descarga (minutos)$$

Donde:

T acarreo: es el tiempo empleado para recorrer una determinada distancia y a una velocidad promedio a un punto de descarga

T retorno: es el tiempo empleado para retornar al punto de carguío.

T descarga: Tiempo empleado en la descarga del material.

T carga: en función a la capacidad del cucharón del equipo de carguío y la capacidad de la tolva del equipo de acarreo, para lo cual se tiene la siguiente ecuación:

$$T. ciclo cargador = T carga por cucharon * N$$

Donde:

T carga por cucharon: es el tiempo empleado para un cucharon del cargador sobre ruedas

N: Numero de cucharones para llenar la tolva del equipo de acarreo

El número necesario de cucharones (N) necesarios para llenar la tolva del equipo de acarreo se determina de la siguiente manera:

$$N = \frac{Q}{Qc * K * e * P. e.}$$

Donde:

Q: Capacidad nominal del equipo de acarreo en toneladas

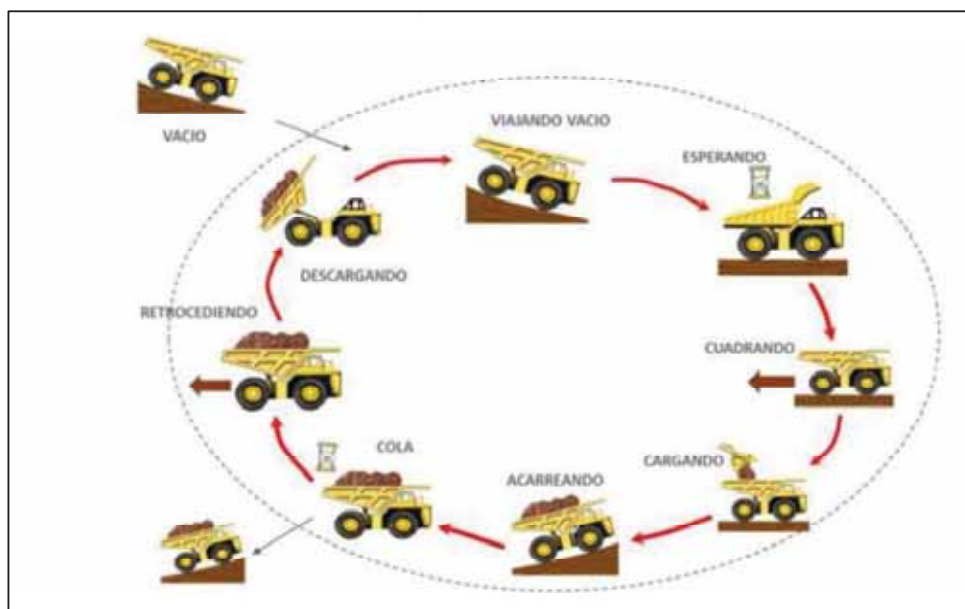
Qc: capacidad nominal de la cuchara del equipo de carguío en m³

K: factor de llenado de cucharón en %

e: esponjamiento de material en %

P.e.: peso específico del material (Tm/m³)

Figura n° 26: Ciclo de carguío y acarreo.



Fuente: (Caterpillar INC., 2013)

2.3.3.2. Eficiencia de equipos de carguío y acarreo.

La eficiencia de los equipos de carguío y acarreo se definen como el porcentaje de trabajo efectivo durante el turno de trabajo, este factor es determinado empleando por lo general el 50/60 que sugiere que de cada 60 minutos el equipo trabaja 50 minutos. Para alcanzar una máxima eficiencia es necesario una combinación de buenas operaciones por parte de la supervisión y los operadores, como la planificación de la tarea en función a sus recursos, la asignación de la tarea, monitoreo de la ejecución de la tarea y empoderamiento al personal, en

el caso de los operadores es la aceptación de la tarea, seguir lo planificado y mantener un trabajo seguro. Podemos hallar la eficiencia con la siguiente ecuación:

$$E = \frac{\text{Tiempo efectivo de trabajo en 60 minutos (45 a 50 minutos)}}{60 \text{ minutos}}; \%$$

Teniendo esta ecuación podemos hallar la eficiencia horaria del turno de trabajo

$$\text{Eficiencia horaria} = Ht * E; \text{ horas}$$

Donde:

Ht: horas trabajadas durante el turno de trabajo

a) Factor óptimo de la eficiencia horaria.

Se denomina producción óptima (Po) a la mayor cantidad de minutos alcanzada en cada hora de trabajo, según la eficiencia ya descrita solo se trabaja de 45 a 50 minutos por hora de trabajo generando que la producción normal “Pn” sea:

$$Pn = E * Po; \%$$

Donde:

Pn: producción normal

E: eficiencia

Po: Producción óptima

Se tiene la siguiente tabla para clasificar la eficiencia por condiciones de trabajo

Tabla 8: Clasificación de trabajo según condición de trabajo

Condición de trabajo	Organización de obra		
	Buena	Promedio	Mal
Buena	0.9	0.75	0.6
Promedio	0.8	0.65	0.5
Mala	0.7	0.6	0.45

Fuente: (Caterpillar INC., 2013)

2.3.4. Productividad de equipos de carguío y acarreo.

Productividad es definida como actividad con el fin de conseguir mayor satisfacción con el menor costo, esta definición puede ser calculada matemáticamente como el resultado de la división de la cantidad producida y los insumos utilizados. Términos relacionados a la productividad.

a) Productividad teórica.

La productividad teórica está relacionada con la cantidad de material (m³ o toneladas) y el tiempo empleado. Llegando a obtener la siguiente ecuación:

$$Productividad\ teorica = \frac{Qa}{T.\ ciclo} * \frac{T.\ ciclo}{hora} ; \left(\frac{Tm}{hora}\right)$$

Donde:

Qa: Capacidad nominal del equipo de acarreo en m³ o toneladas.

T. ciclo: Tiempo de ciclo de acarreo en minutos.

b) Productividad promedio.

Esta productividad involucra la productividad teórica, considerando los retrasos que se presenta en la operación ya sean fijos o variables.

De preferencia debe ser aplicada por turno, teniendo la siguiente ecuación

$$Productividad\ promedio = 60 \frac{minutos}{hora} * \frac{(T - R) * E * Qa}{T * T.\ ciclo} ; \frac{Tm}{hora}$$

Donde:

T: Duración del periodo de tiempo total en minutos.

Qa: Capacidad nominal del equipo de acarreo en m³ o toneladas.

R: retrasos fijos en minutos.

T. ciclo: Tiempo de ciclo de acarreo en minutos.

E: Eficiencia de trabajo en %.

c) Productividad máxima por hora.

Esta productividad corresponde a los m³ o toneladas métricas por hora en operación, considerando retrasos variables que se presentan en la operación. Esta producción se aplica para determinar el número de unidades de acarreo asignadas al cargador de ruedas, esta producción se determina de la siguiente manera:

$$Productividad\ maxima = 60 \frac{minutos}{hora} * \frac{E * Qa}{T.ciclo}; \frac{Tm}{hora}$$

Donde:

E: Eficiencia de trabajo en %.

Qa: Capacidad nominal del equipo de acarreo en m³ o Tm.

T. ciclo: Tiempo de ciclo de acarreo en minutos.

2.3.4.1. *Actividades del sistema de carguío – acarreo.*

Para realizar las actividades del sistema de carguío y acarreo en minería es de vital importancia observar e identificar las actividades en este ciclo para mejorar dichas actividades, algunos factores a tomar en cuenta son los siguientes:

- Posición actual y velocidad del equipo de acarreo.
- Tiempo calculado de llegada a los puntos de carguío y descarga de material.

a) Equipo de acarreo en traslado sin material.

Se refiere al viaje que realiza el equipo de acarreo vacío, dirigiéndose al punto de carguío. A inicio de turno los equipos se encuentran estacionados en puntos estratégicos o designados para no interactuar con los equipos gigantes. Por tal motivo se emplea entre 20 a 30 minutos llegar al punto de carguío.

Figura n° 27: Equipo de acarreo en traslado sin carga.



Fuente: elaboración propia.

b) Equipo de acarreo en espera.

Se refiere al equipo de acarreo mientras se encuentra en espera para ser cargado. Esto puede ser debido a que el equipo de carguío está realizando una actividad de preparación de material, coordinación de trabajo con la supervisión, etc.

Figura n° 28: Equipo de acarreo en espera



Fuente: Elaboración propia

c) Equipo de acarreo durante la posición para ser cargado.

Se refiere al equipo de acarreo mientras realiza la actividad de cuadrarse para el carguío, disminuyendo los retrasos por giros o movimientos innecesarios del equipo de carguío.

d) Equipo de acarreo durante el carguío.

Se refiere al equipo de acarreo vez posicionado en el área de carguío. Durante esta actividad tanto el operador del equipo de acarreo y carguío deben estar en constante coordinación para no realizar un carguío excesivo o que el material este a un lado de la tolva. Todo esto mediante el uso de radios y claxon.

Figura n° 29: Equipo en carguío.



Fuente: elaboración propia.

e) Equipo durante el acarreo.

Luego de ser cargado con la cantidad de material necesaria, el equipo de acarreo inicia su traslado al área de descarga, es en esta actividad donde se presentan mayor tiempo de demoras, debido a la prioridad de paso en la vía minera, si en la vía se tienen equipos gigantes trasladándose, restricción de la vía por factores climáticos, equipos averiados en la vía, excesiva polución y demás situaciones.

f) Retrocediendo.

Una vez llegado el equipo de acarreo a la zona de descarga, es dirigida por un vigía o cuadrador, esto debido al espacio reducido o la cercanía a los taladros, presencia de

cables eléctricos en el piso, perforados de producción, realizando la descarga en el punto indicado por la supervisión.

Figura n° 30: Presencia de cables en zona de descarga de grava.



Fuente: elaboración propia.

g) Descargando.

Se refiere al equipo de acarreo ya ubicada en la zona de descarga. Para una correcta descarga se debe verificar que las condiciones del terreno deben prestarse para esta actividad ya que si se tiene presencia de agua, terreno inestable, lodo, podría ocurrir enfangamiento del equipo.

Figura n° 31: Equipo de acarreo en descarga



Fuente: elaboración propia

2.3.4.2. *Tiempo de operación.*

Es el tiempo real en el que el equipo de acarreo realiza actividades para la producción, refiriéndose a la suma de los tiempos empleados en las diferentes actividades durante el ciclo de acarreo de material (tiempo de giro y posicionamiento, tiempo de carguío, tiempo de acarreo, tiempo de descarga y tiempo de retorno al punto de carguío).

a) Tiempo de giro y posicionamiento de equipos de acarreo.

Es el tiempo que demora el equipo de acarreo en posicionarse en el punto de carguío, este tiempo depende de la coordinación y pericia de los operadores, condiciones del área de trabajo, una mala posición del equipo de acarreo puede generar retrasos considerables en la operación. Un buen posicionamiento permite al equipo de carguío reducir los tiempos en cuanto a los giros que realizan y así aumentar su productividad.

2.3.4.3. *Tiempo de carguío.*

Se refiere al tiempo empleado por el equipo de carguío para el llenado de la tolva del equipo de acarreo, este tiempo dependerá del número de cucharones necesarios.

$$T. ciclo carguio = T carga por cucharon * N; minutos$$

Donde:

T carga por cucharon: es el tiempo empleado para un cucharon del cargador de ruedas.

N: Numero de cucharones para llenar la tolva del equipo de acarreo.

2.3.4.4. *Tiempo de acarreo (Ta)*

Se refiere al tiempo empleado por el equipo cargado, para recorrer la distancia que se tienen entre la zona de carguío y la zona de descarga. Dependiendo de la distancia de acarreo y la velocidad a la que se desplaza el equipo de acarreo, en minería se tiene estándar de límite de

velocidad de acuerdo a las características de los equipos utilizados, su velocidad puede variar, puesto que en pendientes pronunciadas su velocidad disminuye drásticamente.

$$Ta = \frac{D}{Vc}; \text{ minutos}$$

Donde:

D: Distancia de acarreo en metros.

Vc: Velocidad de equipo de acarreo con carga en metros por minutos

2.3.4.5. *Tiempo de descarga y maniobras (Td).*

Este tiempo dependerá de las condiciones del área de trabajo. En general el área de descarga debe ser amplia, libre de obstáculos y equipos ajenos a la actividad, permitiendo al equipo de acarreo realizar las maniobras necesarias para la descarga.

2.3.4.6. *Tiempo de retorno (Tr).*

Es el tiempo empleado por el equipo de acarreo durante su traslado del punto de descarga al punto de carguío, con la tolva vacía, este tiempo depende de la distancia de acarreo “D” y de la velocidad a la que va el equipo de acarreo.

$$Tr = \frac{D}{Vr}; \text{ minutos}$$

Donde:

D: Distancia de acarreo en metros

Vr: Velocidad de equipo de acarreo vacía en metros por minutos

En resumen para considerar un ciclo completo de trabajo de acarreo de material, será la suma del tiempo de giro y posicionamiento, tiempo de carguío, tiempo de acarreo, tiempo de descarga y tiempo de retorno al punto de carguío.

Es necesario considerar que en el ciclo de carguío y acarreo se tiene dos tipos de tiempos:

- a) Tiempo fijo (Tf): Este tiempo está formado por el tiempo empleado para el giro y las maniobras del equipo de acarreo, el tiempo en el que el equipo de carguío inicia la operación de carga, el tiempo de descarga y el tiempo de demora. Obteniendo la siguiente ecuación:

$$Tf = Tg + Tc + Ta + Td + Tde$$

Donde:

Tf: tiempo fijo en minutos.

Tg: tiempo de giro en minutos.

Tc: tiempo de carguio en minutos.

Ta: tiempo de acarreo en minutos.

Td: tiempo de descarga en minutos.

Tde: tiempo de demoras en minutos.

- b) Tiempo variable (Tv): Es el tiempo empleado para el acarreo y retorno se determina mediante la división de la distancia entre las velocidades empleadas en ambos trayectos.

$$Tv = T. \text{ ciclo de carguio} + \frac{D}{Vc} + \frac{D}{Vr} ; \text{ minutos}$$

Donde:

Tv: tiempo variable en minutos

2.3.4.7. Factores que afectan la productividad del sistema de carguío y acarreo.

Se debe tomar en cuenta que muchas veces la productividad del sistema de carguío y acarreo se ven afectadas por factores mecánicos además de los operadores, supervisores, factor climático e incluso a personal del área administrativa y de seguridad.

- a) Factores que influyen negativamente en la productividad.

Dentro de este grupo se consideran los siguientes:

- Área de carguío y descarga inadecuada: esta condición genera demoras tanto en el equipo de carguío como en el de acarreo, ya que los operadores realizan sus actividades con lentitud y mayor número de maniobras.
- Vías en mal estado: esta condición hará que el tiempo ejecutado sea mayor al tiempo planificado, incrementando tiempos de acarreo y retorno al punto de carguío.
- Presencia de huecos y charcos de agua en la vía: generalmente en la época de lluvias o por el regado y tránsito continuo de los equipos, se originan huecos con o sin presencia de agua los cuales disminuyen el tiempo de vida de los neumáticos y componentes de los equipos y para evitar esta acción los operadores se ven forzados a disminuir la velocidad.

Figura n° 32: Recomendación de cuidado de neumático



Fuente: (Michelin, 2019)

- Granulometría de material: muchas veces se tienen cuerpos de dimensiones fuera del estándar, los cuales al momento de caer a la tolva del equipo de acarreo golpean moviendo las piezas del equipo, reduciendo el tiempo de vida útil de la tolva y pudiendo provocar lumbalgia en los operadores.
- Tránsito de equipos pesado por vías principales: los equipos gigantes como son las palas eléctricas, perforadoras de producción y demás equipos, transitan a velocidades de 5 a 10 km/hora generando demoras en el acarreo de material.

- Factor climático y falta de condiciones para trabajar: en época de lluvias las vías se tornan resbaladizas haciendo que los equipos de mina derrapen y se conviertan en un peligro y generándose el riesgo de choque o colisión de equipos, por la ubicación de la unidad minera se tiene presencia de neblina, demasiada polución por el tránsito de equipos en la vía, derrame de mineral o desmonte por parte de los equipos de carguío.
- b) Causas de pérdida de productividad en el sistema de carguío y acarreo.
- Labor administrativa ineficiente: Para que los equipos y operadores se encuentren habilitados para ejercer trabajos dentro de la unidad minera y en especial dentro del tajo se realizan tramites y solicitud de permisos. En el caso de personal nuevo, se debe capacitarlo para realizar sus actividades de manera correcta, en algunos casos el personal nuevo no pasa por esta capacitación y genera demoras por no realizar un correcto trabajo.
 - Falta de recurso humano: muchas veces debido a que el personal renuncia sin previo aviso, ya sean operadores, vigías o supervisores.
 - Mala planificación de la tarea: la función de un supervisor es muy importante por lo que una mala planificación y asignación de la tarea puede generar demoras disminuyendo horas efectivas de trabajo. Es necesario tener los permisos de las áreas que están involucradas en las actividades, plasmando su firma para tener autorización de trabajo. En algunos casos estos formatos son firmados pasados el inicio de guardia.
 - El área de seguridad está en constante verificación del cumplimiento de las normas internas de mina, por tal efecto realizan observaciones a condiciones y actos sub estándar, solicitando corregirlas para poder re iniciar las actividades, por lo cual la

supervisión asigna recursos adicionales y horas de trabajo para corregir dichas observaciones.

- Demora por terceros: En el área de trabajo se tienen trabajos preliminares realizados por otras áreas, en algunos casos dejan el área de trabajo en malas condiciones el área de trabajo, generando demoras por interacción con equipos móviles ajenos a la tarea incrementando el riesgo de choques o colisiones entre equipos.

2.3.5. Indicadores de desempeño.

Actualmente en minería es de suma importancia llevar un correcto control en tiempo real de los indicadores de desempeño a los equipos que realizan trabajos en diferentes áreas, esto con el fin de identificar si se tiene ineficiencias en los procesos o en los equipos, personal y así ver oportunidades de mejora en las actividades, implementación de nuevos equipos o capacitación de personal en tareas específicas. Para el sistema de carguío y acarreo es de suma importancia llevar el control de horas efectivas de trabajo, horas de mantenimiento y horas en stand by (equipo parado), estos datos serán usados para poder hallar la disponibilidad y utilización de los equipos durante sus jornada de trabajo.

2.3.5.1. Disponibilidad de equipos en el sistema de carguío y acarreo.

La disponibilidad es un indicador de desempeño que permite calcular el porcentaje de tiempo total que un equipo se encuentra en condiciones para realizar un trabajo. El estándar en mina esta entre el 88% y 95%, la cual puede ser determinada por la siguiente formula

$$D = \frac{HT - Tnd}{HT} * 100; \%$$

Donde:

D: Disponibilidad del equipo

HT: Total de horas por guardia (12 horas por guardia).

Tnd: Total de tiempo no disponible, que implican demoras por mantenimiento u otros.

2.3.5.1.1. Tiempo no disponible de un equipo.

Se refiere al tiempo que un equipo no se encuentra operativo, diversos factores como la ausencia del operador, falla mecánica, que el combustible quede en cero, disminuyen la disponibilidad del equipo, a continuación se presenta la siguiente lista:

- a) Equipo sin operador.
- b) Mantenimiento preventivo.
- c) Mantenimiento correctivo.
- d) Equipo en espera de combustible.
- e) Operador en refrigerio.
- f) Equipo en abastecimiento de combustible.

2.3.5.1.2. Demoras que influyen en la disponibilidad del equipo.

En la actividad de un equipo existen demoras que afectan y que no afectan su disponibilidad, teniendo en estos casos tres grupos de demoras.

a) Demoras operativas

Este tipo de demoras no afectan a la disponibilidad ya que son generadas para poder iniciar el trabajo o por el lugar donde se desarrolla el trabajo de los equipos, algunos ejemplos son:

- Falta de área de trabajo.
- Inspección de área de trabajo.
- Control topográfico.
- Necesidades fisiológicas.
- Movimiento corto o largo.
- Charla de seguridad.

- Capacitación.
- Demora por terceros.
- Voladura.

b) Demoras por stand by.

Este tipo de demoras no afectan la disponibilidad ya que implican que el equipo y el operador estén disponibles y las actividades se paren por factores ajenos al trabajo, algunos ejemplos son:

- Factor climático.
- Huelgas o paros.
- Celebraciones.
- Condiciones insegura.

c) Demoras por mantenimiento

Las demoras por mantenimiento se definen como el tiempo empleado para que el equipo sea intervenido por el área de mecánica y se encuentre en condiciones para trabajar, afectando la disponibilidad, este grupo se dividen en dos:

- Demoras por mantenimiento programado: En este caso el mantenimiento del equipo es realizado según el control de horas, según el fabricante existen mantenimiento de 250 horas, 500 horas y 1000 horas, con el fin de anticipar fallas mecánicas y verificar el estado del equipo, dependiendo del mantenimiento se puede tomar desde 2 horas a 1 día realizar dicha actividad.
- Demoras por mantenimiento no programado: En este grupo encontramos tiempos empleados para corregir fallas mecánicas inesperadas de los equipos, como ejemplo tenemos:
 - Falla mecánica
 - Falla en suspensión

- Fuga de líquidos del equipo
- Falla en panel de operador
- Falla en dirección
- Neumático pinchado
- Falla en el sistema eléctrico

2.3.5.2. Utilización de equipos de carguío y acarreo.

La utilización está definida como el porcentaje entre el tiempo neto operativo del equipo respecto al tiempo disponible del equipo, este indicador proporciona datos que ayudan a identificar factores que intervienen en el trabajo de un equipo, tales como el uso óptimo de recursos por parte de un supervisor, estado mecánico de los equipos, trabajo planificado para el turno de trabajo.

Podemos usar la siguiente fórmula para hallar la utilización de un equipo:

$$\text{Utilización} = \frac{\text{Horas trabajadas}}{\text{Horas disponible}} * 100 ; \%$$

2.3.5.3. Ratio de consumo de combustible por hora.

Este indicador de desempeño está en función al consumo mensual de combustible por equipo y la cantidad de horas trabajadas dentro de las tareas asignadas. Lográndose identificar fallas o deterioros en equipos que tiene un consumo excesivo, uso correcto del equipo por parte del operador.

2.4. Descripción de la unidad minera Las Bambas

2.4.1. Ubicación y acceso

2.4.1.1. Ubicación.

Unidad minera Las Bambas con una inversión aproximada de 10,000 millones de dólares, geográficamente está ubicada en los Andes de la zona centro-sur del Perú, aproximadamente a 75 km al suroeste de la ciudad de Cusco, 300 km al noroeste de la ciudad de Arequipa.

Políticamente se encuentra entre los distritos de Challhuahuacho, Tambobamba y Coyllurqui, provincia de Cotabambas, y el distrito de Progreso, provincia de Grau, en el departamento de Apurímac, entre las cuencas de los ríos Vilcabamba y Santo Tomás, específicamente en las sub cuencas Ferrobamba, Pamputa, Pumamarca y Cuenca Record, a una altitud que varía entre los 3,800 msnm (campamento Pioneros) y 4,600 msnm (Tomocco).

Figura n° 33: Distancia a unidad minera Las Bambas



Fuente: Elaboración propia.

Figura n° 34: Ubicación de unidad minera Las Bambas en mapa político de Apurímac



Fuente: (CNC-LAVALIN PERU, 2018)

Con un total de 41 concesiones mineras abarca un área aproximada de 34,860 Hectáreas La operación de la unidad minera Las Bambas involucra la explotación de los yacimientos de Ferrobamba, Chalcobamba y Sulfobamba. Las instalaciones de procesamiento de mineral comprenden las etapas de chancado, molienda, flotación, remolienda, espesamiento, filtración y secado, a una tasa de procesamiento autorizada a 140,000 Tm/día, generando Cu-Mo como producto concentrado, con una ley de cobre aproximada del 35% de Cu.

Figura n° 35: Concesiones de minera Las Bambas



Fuente: (INGEMMET, 2019)

2.4.1.2. Accesibilidad

Para llegar a la U.M. Las Bambas se tienen 2 rutas:

Tabla 9: Rutas de acceso a U.M. Las Bambas.

Ruta N°	Vía	Origen	Destino	Distancia (km)	Tiempo aproximado (h)
1	Carretera	Lima	Cusco	573	22
	Carretera convencional	Cusco	U.M. Las Bambas	275	6-10
2	Aérea	Lima	Cusco	573	1.5
	Aérea	Cusco	U.M. Las Bambas	275	0.5

Fuente: elaboración propia

Se adjunta rutas de acceso vía terrestre

Figura n° 36: Rutas de acceso via terrestre de Lima a Cusco



Fuente: (Google maps, 2019)

Figura n° 37: Acceso de la ciudad de Cusco a U.M. Las Bambas



Fuente: (Google maps, 2019)

2.4.2. Antecedentes históricos.

“En el año 1911 en el sector de Las Bambas se realizaron exploraciones con seis taladros diamantinos a cargo de la empresa Ferrobamba Ltd.

En el año 1952 se realiza 366 estudios de comprobación de metales con el fin de obtener las leyes a cargo de la empresa Kruger.

En el año 1993 la empresa Tintaya realizó ensayos químicos en las zonas de Chalcobamba y Ferrobamba, identificándose presencia de oro y plata.

En el año 2003 el proyecto pasa a pro inversión, durante los meses de setiembre a diciembre se realiza un total de 2, 328 metros perforados (11 taladros) con el fin de actualizar la información.

En el año 2004 mes de agosto la empresa Suiza Xstrata Cooper gana la licitación del proyecto Las Bambas, triplicando el precio base (con US\$ 121 millones).

En el año 2011 se aprueba el EIA iniciando la construcción de la inversión planeada.

En el año 2013 debido a leyes antimonopolio del país de China frente a la fusión de las empresas Glencore (Australia) y Xstrata (China), solicita la venta del proyecto Las Bambas.

En el año 2014, El proyecto Las Bambas es comprada por su actual dueña, conformada por un consorcio (MMG Limited (62.5%), Guoxin International Investent Co. Ltd. (22,5%)” (CNC-LAVALIN PERU, 2018)

a) Operadora de unidad minera Las Bambas

MMG Limited con sede en Melbourne, Australia, fue fundada en 2009 para convertirse en la empresa minera más respetada del mundo.

Realiza sus trabajos en asociación con su principal accionista, China Minmetals, con el objetivo de ser valorado como uno de los principales mineros del mundo.






Opera y desarrolla proyectos de cobre, zinc y otros metales básicos en Australia, la República Democrática del Congo y Perú.

- **Objetivo de MMG y unidad minera Las Bambas:**

Ser valorado como uno de las principales empresas mineras de nivel medio en el mundo para 2020.

- Misión de MMG y unidad minera Las Bambas: Realizar minería para crear riqueza para nuestra gente, comunidades anfitrionas y accionistas.
- Visión de MMG y unidad minera Las Bambas: Construir la empresa minera más respetada del mundo.
- Valores de MMG y unidad minera Las Bambas: Unidad minera Las Bambas tiene 5 valores:

Figura n° 38: Valores de MMG y unidad minera Las Bambas

	PENSAMOS EN LA SEGURIDAD ANTE TODO Nos detenemos a pensar y luego actuamos para prevenir lesiones.
	NOS RESPETAMOS UNOS A OTROS Somos honestos, considerados y actuamos con integridad
	TRABAJAMOS JUNTOS Incorporamos diversas perspectivas para lograr mejores resultados.
	NUESTRAS PALABRAS SE TRADUCEN EN HECHOS Asumimos nuestra responsabilidad y cumplimos nuestros compromisos.
	QUEREMOS SER MEJORES Buscamos siempre oportunidades para mejorar.

Fuente: (MMG, 2019).

2.4.3. Marco Geográfico

2.4.3.1. Fisiografía.

El área del proyecto presenta pendientes abruptas tanto al Este como al Oeste del cerro Pichacani, estas pendientes se vuelven más fuertes y pronunciadas desde la quebrada Huascachaca hasta el poblado de Challhuahuacho, y se presentan paralelas al río Fuerabamba, encajonándolo y formando así un valle en la parte baja del proyecto.

Figura n° 39: Plano de carta nacional de tajo Ferrobamba.



Fuente: (CNC-LAVALIN PERU, 2018)

2.4.3.2. *Clima.*

La presencia de la cadena central constituye un factor determinante en el modelamiento del clima, puesto que impide el paso de las nubes y genera su precipitación. Según la estación meteorológica de Tambobamba cercana a la U.M. Las Bambas la precipitación promedio acumulada anual varía entre 854 y 1 189,7 mm/año. Para el año 2003 se reportó una temperatura Media Anual de 13,6 C.

La humedad relativa se estima en un promedio anual de 67,8%. Los vientos predominantes provienen del noreste. Se reporta una velocidad promedio del viento de 12,2 km/h o 3,4 m/s.

2.4.3.3. *Vegetación.*

Como dato se tienen 79 variedades de especies botánicas, agrupadas dentro de 37 familias diferentes, entre fanerógamas y criptógamas. Las dicotiledóneas son la categoría taxonómica más representada, con el 59,5 % (54 especies) del total de familias. Por otro lado las familias de las monocotiledóneas están presentes en un 10,8 % (12 especies). Entre las dicotiledóneas, la familia más representativa son las asteráceas con el 42,6 % de especies (23 especies) y entre las monocotiledóneas lo son las poaceas con el 50 % de las especies (6 especies).

2.4.3.4. Fauna.

Se identificó un total de 32 especies diferentes de aves en el área de influencia la unidad minera Las Bambas. En el área de estudio existen 5 lagunas, reportándose la presencia de avifauna acuática en tres de ellas, Estas fueron las lagunas de Quelloacocha, Casanacocha y Totoracocha, las dos restantes son Llancope y Jalancere.

2.4.3.5. Hidrogeología.

Las características físicas de pendientes están entre suaves y agrestes. Las quebradas de Contahurihuayjo y Huasijasa son las que aportan mayores caudales al sistema, en el orden de 3 l/s. Con respecto al consumo de agua para uso minero, en la Zona de Ferrobamba se utiliza aguas provenientes del bofedal de la parte alta del yacimiento (Huancarane), en la margen izquierda del río Fuerabamba. El bofedal arroja un caudal en épocas de estiaje de 0,6 l/s, del que se tomara 0,11 l/s, que representa el 18% de la capacidad total .

2.4.3.6. Suministros.

2.4.3.6.1. Energía.

La energía requerida para la U.M. Las Bambas es suministrada a través de una línea de alta tensión de 220 KV de doble circuito proveniente de la subestación de Cotaruse, en el departamento de Apurímac. Esta línea de alta tensión se conectará a la subestación eléctrica de la U.M. Las Bambas adyacente a la Planta Concentradora.

Figura n° 40: Subestación de planta concentradora



Fuente: Elaboración propia

2.4.3.6.2. *Agua.*

El agua fresca necesaria para proceso y operación proviene del río Challhuahuacho y del reservorio Chuspiri, para lo cual se ha construido la infraestructura necesaria para el almacenamiento del agua. Las infraestructuras comprenden la bocatoma Challhuahuacho y el reservorio Chuspiri (incluyendo sus estructuras auxiliares).

2.4.4. Aspectos Geológicos.

2.4.4.1. *Geología Regional.*

La operación de la unidad minera Las Bambas contempla la explotación de tres yacimientos mineros denominados Ferrobamba, Chalcobamba y Sulfobamba, los cuales están ubicados en la franja de depósito de Cu (Mo-Au) de tipo skarn, controlados por el Batolito de Andahuaylas-Yauri del Eoceno-Oligoceno. Estos yacimientos tienen rocas de composición de granodiorita y monzonita que intrusionan a las rocas sedimentarias y, entre estas últimas, la caliza de la Formación Ferrobamba. Las monzonitas relacionadas con los yacimientos Ferrobamba, Chalcobamba y Sulfobamba se adhieren al lineamiento estructural WNW-ESE en la misma dirección que la tendencia del Batolito de Andahuaylas-Yauri.

A continuación, se describe de manera resumida los tres yacimientos minerales que conforman la U.M. Las Bambas.

- a) Ferrobamba está ubicada en la sección sureste del área Las Bambas. Es uno de los más importantes en términos de mineralización de Cu, con índice anómalo de oro, plata y molibdeno. El área con evidencia de mineralización se extiende por aproximadamente 300 ha.
- b) Chalcobamba está ubicado en el área central de la U.M. Las Bambas e incluye un área mineralizada de aproximadamente 300 ha. Es considerada un área importante debido a aspectos mineralógicos.

c) Sulfobamba está ubicada en el área oeste central de la U.M. Las Bambas y cubre aproximadamente 400 ha. En esta área, así como también en las dos descritas anteriormente, las calizas de la Formación Ferrobamba son cortadas por la intrusión de varias fases y parte de esta área está cubierta por sedimentos glaciares cuaternarios principalmente en la sección Norte.

2.4.4.2. Geología Local.

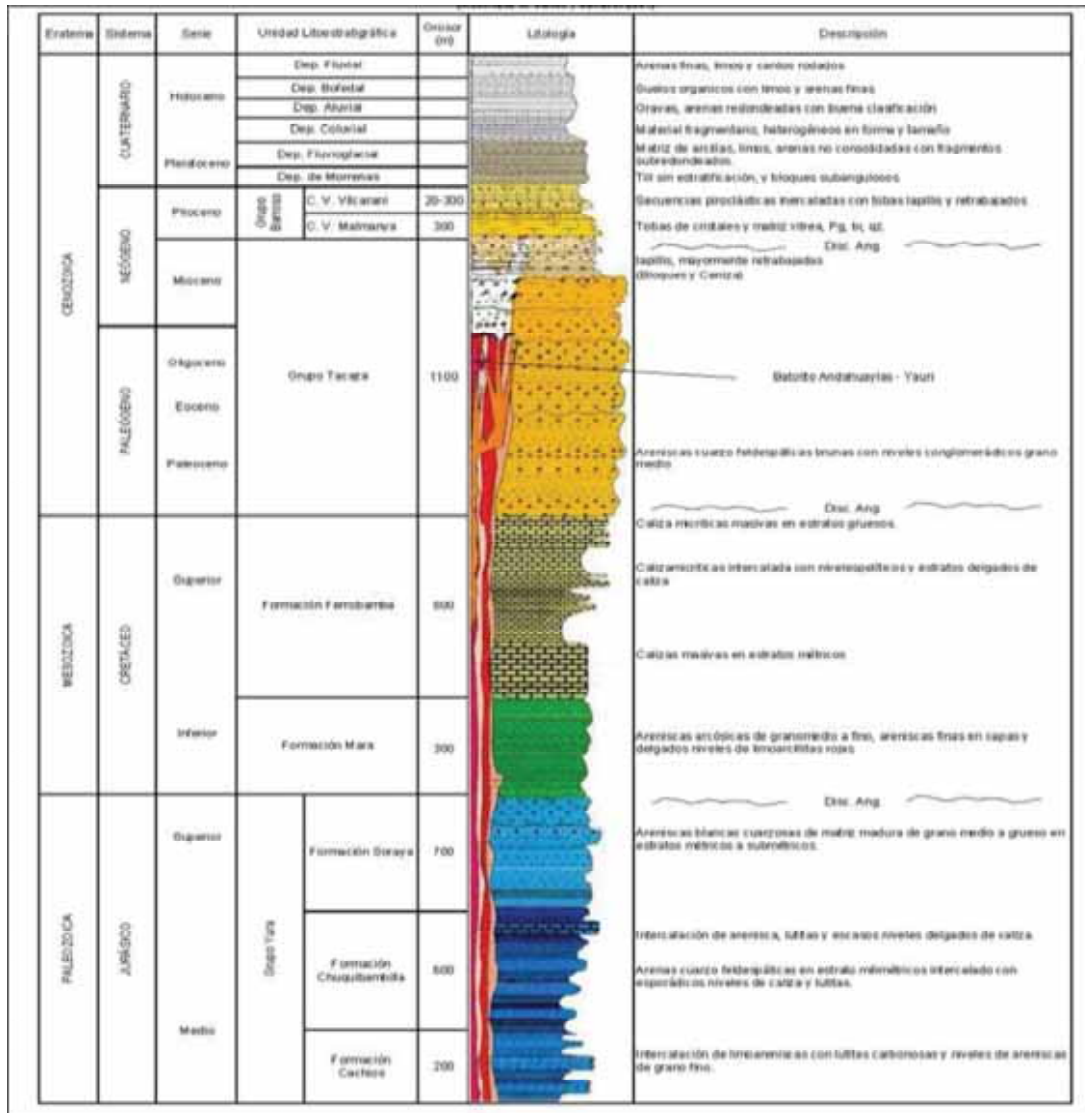
“La mineralización de cobre más común es la Calcopirita, que contiene oro y plata asociados con Cobre, el cual se encuentra principalmente emplazada en los contactos de calizas de la formación Ferrobamba y las rocas intrusivas de la Era Terciaria (granodiorita, cuarzo monzonita y cuarzo diorita). Las unidades litológicas ígneas y sedimentarias que afloran en el Distrito Minero, son las formaciones Hualhuani, Mara y Ferrobamba, cuyas eras van desde el Jurásico Superior al Cretáceo Superior” (CNC-LAVALIN PERU, 2018).

Tabla 10: *Minerales presentes en U.M. Las Bambas*

Minerales Principales	Sulfuros	Calcopirita
		Bornita
		Pirita
		Molibdenita
	Óxidos	Magnetita
		Hematita
Minerales Escasos	Sulfuros	Digenita
		Pirrotita
		Cubanita
	Óxidos	Limonita
Ilmenita		
	Carbonatos	Rutilo
		Malaquita
		Azurita

Fuente: elaboración propia.

Figura n° 41: Geología de la unidad minera Las Bambas

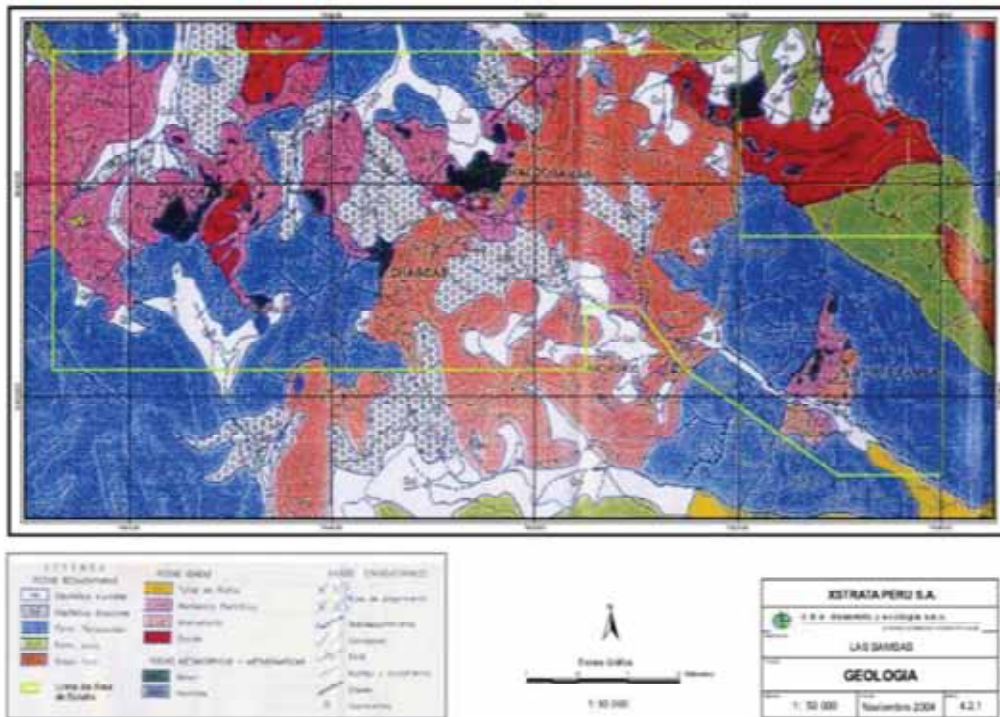


Fuente: (XSTRATA LAS BAMBAS, 2007)

2.4.4.3. Geología Estructural.

“El yacimiento Ferrobamba tiene una forma irregular, algo ondeada la cual está formada por mineralización de óxidos y sulfuros de cobre en un sistema ramificado. Este tiene dos o más principales lóbulos que parecen buzar leve a moderadamente hacia el SSW. El depósito de Cu – Au es considerado como un depósito de tipo skarn distal, desde que se encuentra dentro de las calizas, algo alejado del Plutón Principal Progreso, el recuadro de color amarillo indica la posición relativa de Mina Las Bambas” (CNC-LAVALIN PERU, 2018).

Figura n° 42: Mapa geológico de unidad minera. Las Bambas



Fuente: (XSTRATA PERU S.A., 2004)

2.4.4.4. Tiempo de vida útil de la U.M. Las Bambas.

- Construcción: del año 2012 al primer semestre del 2016 (aproximadamente 4 años).
- Operación: del año 2016 al 2033 (aproximadamente 18 años);
- Cierre: del 2034 al 2038 (aproximadamente 5 años);
- Post-cierre: 2039 en adelante.

Tabla 11: Tiempo de vida U.M. Las Bambas

Tajo	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2029	2030
Ferrobamba	x	x	x	x	x	x	x	X	x	x	x	x	x	x
Chalcobamb				x	x	x	x	X	x	x	x	x	x	x
Sulfobamba								X	x	x	x	x		x

Fuente: (CNC-LAVALIN PERU, 2018)

Actualmente Las Bambas extrae el mineral del tajo Ferrobamba, y que como parte del desarrollo del plan de minado el tajo Chalcobamba requiere iniciar su explotación el año 2019 y Sulfobamba el año 2023. El tiempo de vida de la mina se mantiene hasta el año 2033.

2.4.5. Aspectos mineros.

2.4.5.1. Plan de minado.

Unidad minera Las Bambas se encuentra explotando el tajo Ferrobamba, el cual, es solo uno de los tres tajos aprobados a favor de la unidad minera Las Bambas en el EIA de año 2011. Este tajo se aprobó con una capacidad de explotación de 140 kilo Tm/día, sin embargo se incrementó la capacidad de explotación a 145 kilo Tm/día en promedio.

Actualmente los frentes de explotación del tajo Ferrobamba, serán ampliados, así como la optimización de la distribución y almacenamiento del material extraído (mineral y desmonte) ampliación del botadero de desmonte Ferrobamba. El total de mineral a extraer de los tres tajos asciende de acuerdo al plan de minado propuesto a 800.328 Mega Tm. El tajo Ferrobamba que se encuentra actualmente en operación tiene 540.592 Mega Tm de mineral (67.55%), el mineral de Chalcobamba tiene 198.371 Mt (24.75 %) y Sulfobamba se mantiene en 61.365 Mega Tm. (7.7 %). Respecto a la planificación inicial el tajo Chalcobamba disminuyó en mineral disponible debido a una actualización del cálculo de ley de corte manteniendo su área y diseño y finalmente el tajo Sulfobamba no variará su área y diseño de acuerdo a lo aprobado en el EIA (2011). Es necesario comprender que el mineral extraído por tajo es variable en el tiempo, debido principalmente al precio de los metales, recuperación metalúrgica y costos asociados, el cual se refleja en la ley de corte que disgrega el mineral y material estéril. Por lo señalado a continuación en la tabla 7, se presenta el plan de minado actualizado para el tercer MEIA (CNC-LAVALIN PERU, 2018).

Tabla 12: Indicadores de extracción por año U.M. Las Bambas

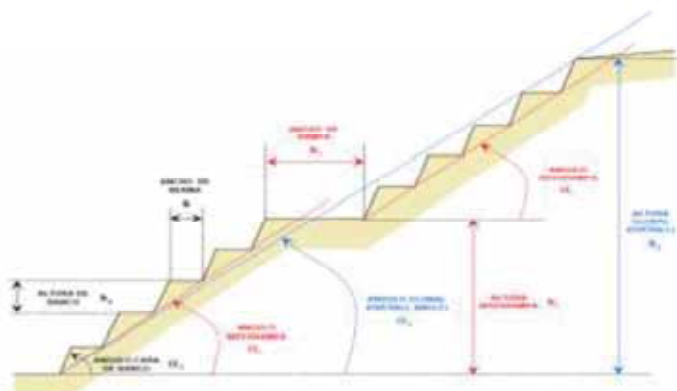
Final del periodo		2017	2018	2019
Días en periodo		184	365	365
Mina Ferrobamba				
		22300.0		
Mineral para molino	kTm	0	52900.00	42619.00
Ley Cu	%	0.85	0.93	0.80
Ley CuS	%	0.16	0.14	0.11
Ley Mo	Ppm	177.68	202.90	153.84
Ley Ag	g/Tm	4.23	5.74	4.23
Ley Au	g/Tm	0.08	0.11	0.09
TCuOX		0.90	0.15	0.13
Mineral para Stock	kTm	-	9477.00	-
Ley Cu	%	-	0.89	-
Ley CuS	%	-	0.13	-
Ley Mo	Ppm	-	160.35	-
Ley Ag	g/Tm	-	4.75	-
Ley Au	g/Tm	-	0.09	-
TCuOX		-	0.15	-
		56578.0	119623.0	127746.0
Desmonte	kTm	0	0	0
		78878.0	182000.0	170365.0
Total de roca minada	kT,	0	0	0
Ratio de desmonte a mineral minado		2.54	1.92	3.00
Remoción mineral	kTm	-	-	9477.00
Ley Cu	%	-	-	0.89
Ley CuS	%	-	-	0.13
Ley Mo	Ppm	-	-	160.35
Ley Ag	g/Tm	-	-	4.75
Ley Au	g/Tm	-	-	0.09
TCuOX		-	-	0.15
		78878.0	182000.0	179843.0
Total de roca movida	kTm	0	0	0
Tasa de minado	kTmpd	429.00	499.00	493.00
		22300.0		
Total de mineral para molino	kTm	0	52900.00	52097.00
Ley Cu	%	0.85	0.93	0.81
Ley CuS	%	0.16	0.14	0.11
Ley Mo	ppm	177.68	202.90	155.03
Ley Ag	g/Tm	4.23	5.74	4.32
Ley Au	g/Tm	0.08	0.11	0.09
TCuOX		0.19	0.15	0.14

Fuente: (CNC-LAVALIN PERU, 2018)

2.4.5.2. Criterio de diseño de los tajos abiertos

De acuerdo con el EIA la U. M. Las Bambas (2011), el diseño del tajo se realizó mediante procedimientos de cómputo (algoritmo de Lerchs & Grossmann's) que tienen en cuenta ecuaciones de beneficio y costos, los ángulos de talud, las recuperaciones metalúrgicas y el modelo de recursos geológicos (tipos de roca, leyes y categoría). Como resultado se definieron tres yacimientos, Ferrobamba, Chalcobamba y Sulfobamba. Las direcciones de extracción se decidieron mediante optimizaciones de Whittle y se diseñaron los tajos Ferrobamba, Chalcobamba y Sulfobamba. Los tajos se formarán mediante la apertura de una serie de bancos, los que comprenden la construcción de un conjunto de rampas, taludes y bermas.

Figura n° 43: Diseño de bancos



Parámetro	Und.	Tajo Ferrobamba
Área final superficial proyectada del tajo	Ha	340
Altura de los bancos simple	M	15
Altura de los bancos doble	M	30
Ancho de rampa	M	43
Pendiente máxima de la rampa	%	12
Ancho mínimo de berma o muro de seguridad	m	9
Altura mínima de berma o muro de seguridad	m	3.0

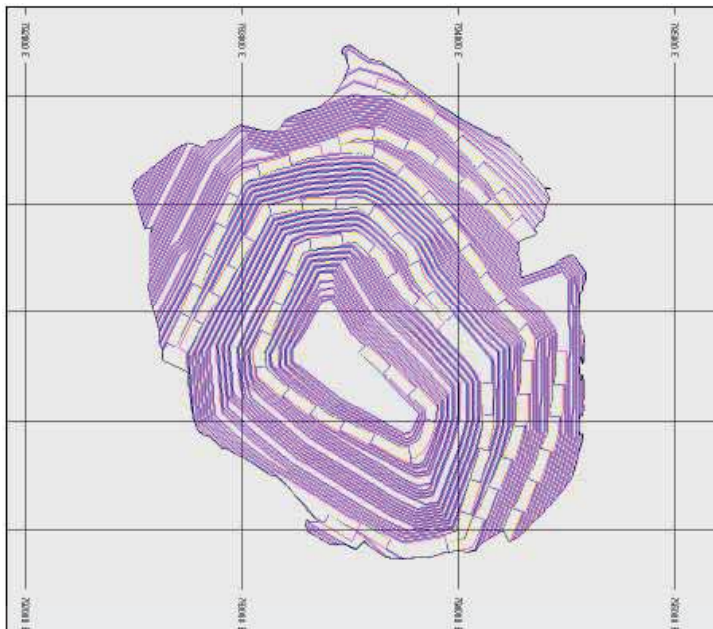
Fuente: (CNC-LAVALIN PERU, 2018)

El área correspondiente a los tajos serán lo siguientes:

- Tajo Ferrobamba 311 hectáreas.
- Tajo Chalcobamba 130 hectáreas.

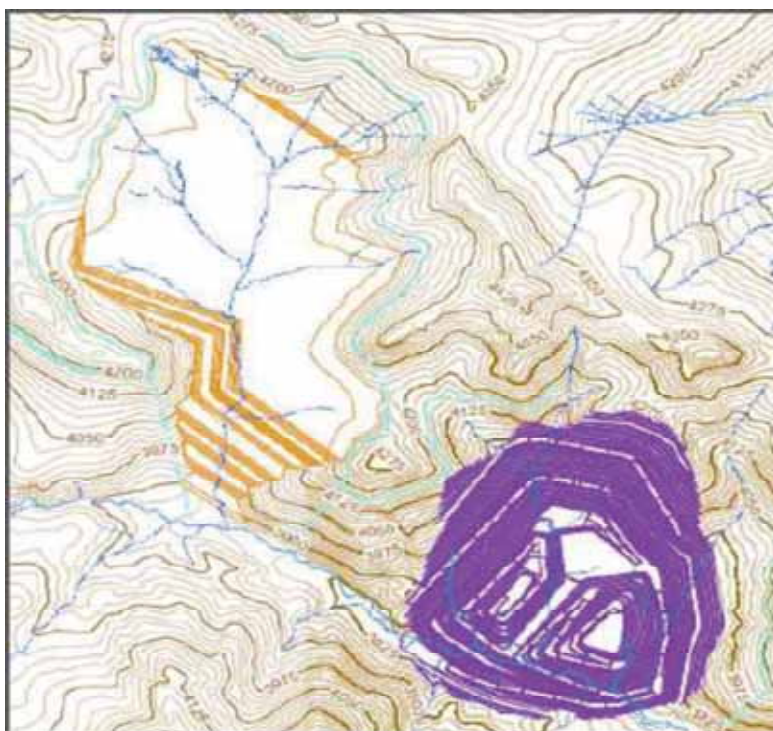
- Tajo Sulfobamba 75 hectáreas.

Figura n° 44: Diseño AutoCAD de tajo Ferrobamba.



Fuente: (CNC-LAVALIN PERU, 2018)

Figura n° 45: Tajo Ferrobamba en unidad minera Las Bambas



Fuente: (CNC-LAVALIN PERU, 2018)

Es necesario señalar que en unidad minera Las Bambas tiene actualmente camiones Komatsu 930-4SE y Caterpillar 797F, de los cuales el camión más grande es el Caterpillar 797F. Es por lo señalado que los parámetros de vía consideran que el ancho de rampa de acceso operativo es de 43 metros, el cual corresponde al ancho que permite el tránsito seguro de volquetes en doble vía. Es decir, considera el ancho de camión de 9.5 metros, siendo el ancho de vía transitable de 29 metros, la berma de seguridad es de 9 metros de ancho con una altura de 3 metros, que es el resultado de las $\frac{3}{4}$ partes de la altura de la llanta más grande correspondiente al camión Caterpillar 797F, cuya altura de llanta es de 4 metros.

La pendiente máxima considerada de la rampa es 12%, siendo 10% la gradiente promedio.

Figura n° 46: Diseño de rampa

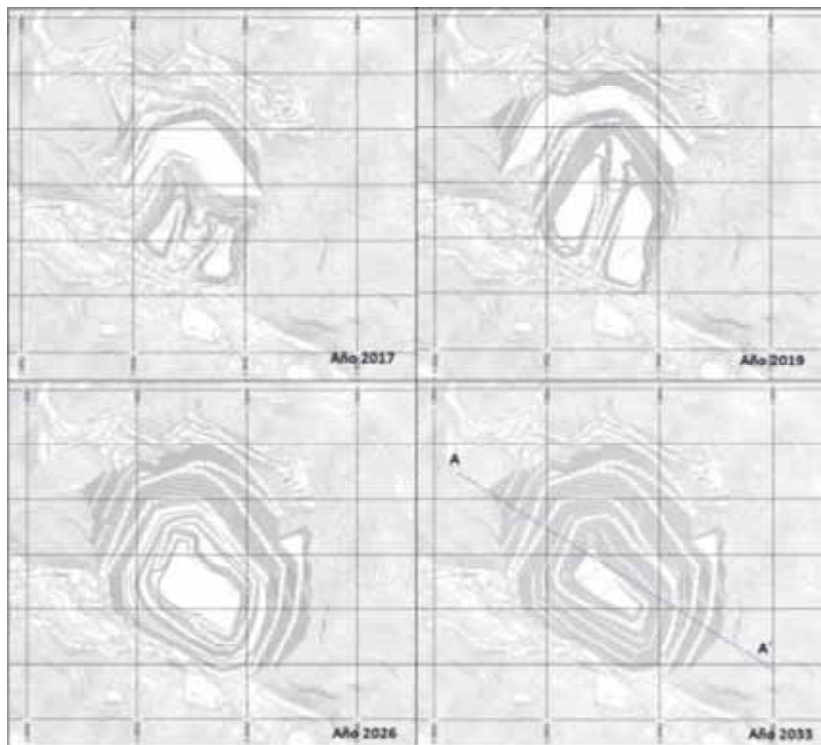


Fuente: (CNC-LAVALIN PERU, 2018)

2.4.5.3. Secuencia de minado de tajo Ferrobamba.

La secuencia de minado del tajo Ferrobamba para los años 2017, 2019, 2026 y 2033 se visualiza en la Figura

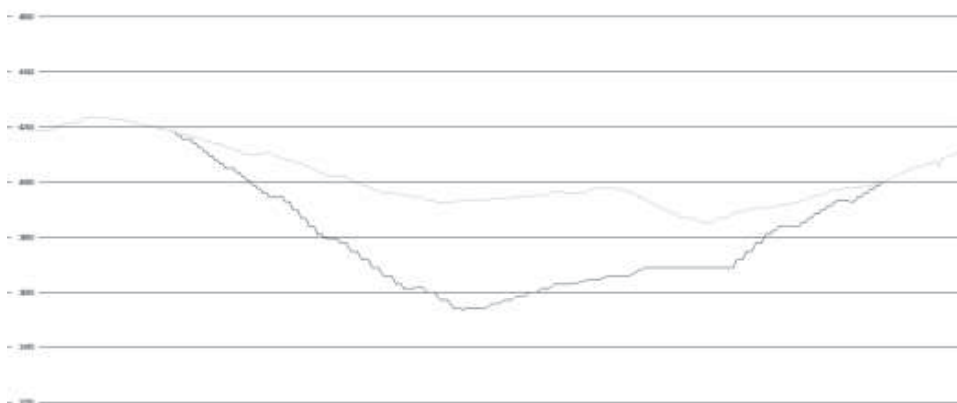
Figura n° 47: Secuencia de minado tajo Ferrobamba



Fuente: (CNC-LAVALIN PERU, 2018)

Finalmente el año 2033 el tajo tendrá la siguiente sección final teniendo una cota mínima de 3 420 msnm y con una profundidad total de 855 metros, ver figura

Figura n° 48: Diseño final tajo Ferrobamba.



Fuente: (CNC-LAVALIN PERU, 2018)

A continuación se realiza una breve descripción de las actividades que se realizan en la gerencia de operaciones mina:

Las actividades en la operación se dan inicio con una reunión de coordinación previa entre las guardias salientes y las entrantes, los líderes de todas las áreas involucradas en Operaciones mina, mantenimiento mina, servicios auxiliares, desarrollo de recursos y otras, coordinan y planifican los trabajos a realizar en la guardia que comienza considerando condiciones y acciones que se tomaron y tuvieron en cuenta en la guardia que finaliza, todos los planes deben estar alineado con el objetivo de cumplir los planes del mes y año establecidos, así también se deberá estar alineado al PASSO y medio ambiente establecidos por minera Las Bambas.

Previa a esta reunión el área de despacho debe coordinar para indicar a los equipos de acarreo los equipos de carguío para que estos trabajen en un circuito fijo en lo que resta del turno, de la misma manera se procede con los equipos auxiliares, para luego entregar toda la información al despachador entrante y tener un relevo óptimo.

Por su parte el jefe de guardia (O 1) y su asistente (O 2) una vez finalizada la reunión de coordinación hace un recorrido de entrada por los frentes de trabajo, para verificar las condiciones en las que esta la mina, los equipos para poder desarrollar su guardia, de acuerdo al manejo de tareas seguras, planificar la tarea, asignar recursos y asignar la tarea.

Adicionalmente el área de perforación y voladura encabezado por su líder V 1, encargado de brindar frentes para minar oportunamente, para este objetivo se requiere realizar disparos en forma diaria o inter diaria según se requiera.

Así también otra actividad de importancia es la desarrollada por el área de servicios auxiliares, cuyo líder K 1 desarrolla todos los trabajos auxiliares de la operación, como evacuación de agua, mantener constante el drenaje de aguas, mantenimiento de vías, movimiento de tierras, señalización de la mina y demás actividades para que los equipos de mina trabajen sin ninguna demora.

Todas estas áreas son parte de un equipo cuya finalidad es cumplir el plan mensual y anual los cuales están en contante comunicación mediante el uso de frecuencias radiales sin excepción.

2.4.5.4. Dispatch en U.M. Las Bambas.

Gracias a herramientas como el sistema de despacho y la interacción del despachador, se administran todos los activos de la mina en tiempo real optimizando el ciclo de acarreo de las diferentes flotas y coordinando acciones impartidas desde la supervisión hacia los operadores de equipos promoviendo una operación completamente dinámica. Así también el control Dispatch es la fuente oficial de información ya que colecta todos los eventos registrados durante la operación de los equipos, el número de viajes, las toneladas, kilómetros recorridos, velocidades, consumo de combustible y demás variables en tiempo real cuyo monitoreo y control es de mucha utilidad para la toma de decisiones en todo momento.

Todo este grupo de variables provenientes de campo, son utilizadas para el cálculo de diversos indicadores de rendimiento, los cuales para una operación totalmente competitiva.

2.4.6. Planta de beneficio.

2.4.6.1. Proceso de chancado.

La función principal del proceso de chancado primario y transporte de mineral grueso es reducir mecánicamente el mineral proveniente de mina desde un tamaño de partícula máximo de 1.5 m hasta 150 mm, para ser transportado hasta la pila de almacenamiento de mineral grueso, la cual tiene una capacidad viva de 105,000 toneladas

El mineral de mina, proveniente del yacimiento Ferrobamba es transportado en camiones de gran tonelaje, los cuales descargan directamente sobre dos tolvas de alimentación con una capacidad neta de 720 toneladas cada una, que alimentan a las chancadoras primarias.

En la parte superior de cada chancadora se tiene instalado un picarrocas, para reducir el tamaño del mineral mayor de 1.5 m.

Cada tolva de alimentación está diseñada con dos bahías para la descarga secuencial de dos camiones es decir cuatro bahías en total. La operación de descarga de los camiones se realiza con la ayuda de cuatro semáforos (uno por cada bahía), que indican a los camiones el momento de proceder con la descarga del mineral en la tolva de alimentación de cada chancadora.

El mineral es alimentado a las dos chancadoras giratorias, operadas en paralelo, las cuales reducen el mineral hasta un tamaño de partícula P80 de 150 mm (6 pulgadas). Cada chancadora tiene una capacidad de tratamiento desde 4,167 a 7,500 toneladas/hora, dependiendo de las características del mineral y la abertura de la chancadora (abertura nominal es de 178 mm o 7 pulgadas).

El mineral triturado es descargado en dos tolvas de compensación de 720 Tm de capacidad neta cada una, para luego ser extraído por medio de alimentadores de placas de 160 kW de potencia cada uno y una capacidad desde 4,384 a 5,261 toneladas/hora por línea, que transfieren el mineral sobre la faja de sacrificio

La descarga de cada alimentador de placas cuenta con un electroimán, que permite el retiro oportuno de metales que puedan producir algún daño, tanto en la faja de sacrificio como en la etapa de transporte de mineral grueso.

Para el control de polvo se cuenta con supresores de polvo (sprays de agua) ubicados en la parte superior de las tolvas de alimentación de las chancadoras primarias y dos colectores de polvo ubicados en las tolvas de descarga de las chancadoras y en la descarga de los alimentadores de placas, éstos colectores captan polvo y a su vez cuentan con un rechazo de partículas finas hacia la faja de sacrificio.

Se dispone de un sistema de estimación de tamaño de roca llamado Split-Online el cual proporciona información clave del proceso de conminución. Este es un sistema de monitoreo continuo, automático y no invasivo que emplea las tecnologías de procesamiento de imágenes.

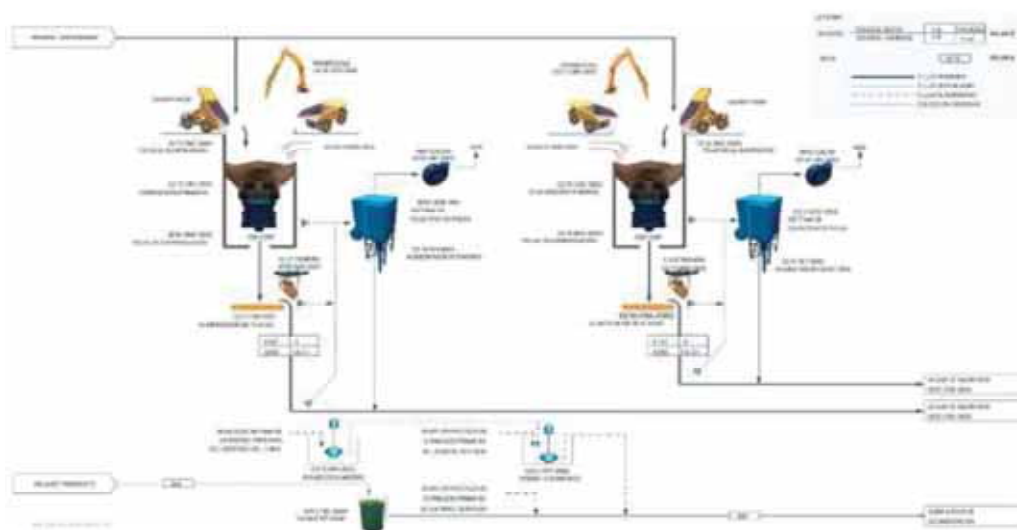
Cada punto de instalación Split-Online cuenta con un conjunto encapsulado (cámara e iluminación) y una caja de control (de la cámara).

Sobre la faja de sacrificio se tiene instalado dos puntos Split-Online. El primer y segundo punto, están ubicados entre los polines 38 y 37 y los polines 91 y 92 respectivamente formando un ángulo de 90° con respecto al eje central de faja de sacrificio, asimismo las luminarias están instaladas de manera que formen un ángulo de 45° con respecto a la misma faja.

También se cuenta con cuatro puntos de instalación Split-Online sobre la chancadora primaria, ubicados uno en cada bahía de descarga, donde las cámaras y luminarias forman un ángulo de 40° con respecto al eje central de tolva de camión de descarga objetivo.

Las aguas contactadas de la plataforma inferior son colectadas en un sumidero, para posteriormente ser enviadas por la bomba vertical hasta la poza de sedimentación de aguas contactadas. Las aguas contactadas en la zona del interior del túnel de descarga de las chancadoras, son colectadas en un pozo y enviadas por la bomba vertical para finalmente bombearla hasta el sumidero de agua contactada de la plataforma inferior.

Figura n° 49: Diagrama de flujo de chancador primario



Fuente: (Jesmin, 2015)

2.4.6.2. Descripción de la planta concentradora U.M. Las Bambas.

Las Bambas comprende una planta concentradora de 140 000 Tm/día (toneladas por día) de capacidad nominal para la producción de 2 835 Tm/día de concentrado colectivo de cobre y molibdeno.

La planta concentradora considera la extracción de mineral grueso de tres yacimientos durante el ciclo de vida del proyecto (actualmente se viene extrayendo del yacimiento Ferrobamba), e incluye una sección de chancado primario; una planta de molienda con dos módulos de molinos SAG (semi autogeno), molino de bolas y chancado de pebbles; una planta de flotación colectiva de cobre-molibdeno y una planta de separación de molibdeno; espesamiento del concentrados y espesamiento de relave y disposición final de este en una relavera.

Figura n° 50: Plata concentradora unidad minera Las Bambas.



Fuente: elaboración propia.

Figura n° 51: presa de relaves unidad minera Las Bambas



Fuente: elaboración propia.

2.5. Optimización en el sistema de carguío – acarreo

2.5.1. Equipos de carguío y acarreo.

Dentro de la planificación a mediano y largo plazo es muy importante la selección de equipos que participaran en el carguío y acarreo, tomando en cuenta la cantidad de material a mover, las vías por donde circularan, la planificación diaria. La gran variedad de equipos que ofrecen las distintas marcas en el mundo nos permiten optimizar los costos y la producción. Tomar en cuenta la mayor cantidad de parámetros para una correcta selección, realizando comparaciones y simulaciones con el uso de plantillas Excel u otras herramientas para elegir los equipos idóneos bajo las condiciones de trabajo que se presentan día a día.

2.5.2. Sistema de carguío y acarreo.

Para que el movimiento de material sea el correcto, se necesita aplicar un sistema de carguío y acarreo que permita cumplir con las metas programadas, involucrando a los equipos de carguío y los de acarreo, ya que en este sistema representa en el costo total un mayor porcentaje. Para lo cual se debe realizar cálculos y no tener situaciones que desfavorezcan a la producción tales como cola de camiones, paradas innecesarias de camiones, bolones, deficiente mantenimiento de vías, material mal cargado a los camiones, no tener equipos de limpieza cerca de los equipos de carguío y demás factores.

2.5.3. Compatibilidad de los equipos en el sistema de carguío y acarreo.

Para poder desarrollar un correcto sistema de carguío y acarreo, se debe tener la cantidad necesaria de equipos de carguío y equipos de acarreo, ocupando el menor tiempo en las actividades que ambos equipos deben realizar, la capacidad del cucharón del equipo de carguío debe generar un menor número de cucharas para llenar la tolva del equipo de acarreo, la recomendación es que el número de pasadas o cucharones debe estar entre los 3 a 7, esto debido a que el tamaño de las tolvas de los equipos de acarreo no sean muy reducidos con respecto a las capacidades de los cucharones de los equipos de carguío, una distribución ideal de equipos

para no tener tráfico de camiones en las vías de acarreo, así mismo no tener colas en el punto de carguío y el punto de descarga.

2.5.4. Factor de acoplamiento.

Este factor es muy utilizado en minera ya que permite identificar si el número de equipos de carguío y acarreo son correctos, se aplica el cociente que existe entre la producción de un equipo de acarreo y la producción del equipo de carguío.

$$\text{Factor de acoplamiento} = \frac{\text{Produccion equipo de acarreo}}{\text{Produccion equipo de carguio}}$$

$$\text{Factor de acoplamiento} = \frac{Naa * P \text{ acarreo}}{C * P \text{ cargador}}$$

Donde:

Naa: número de equipos de acarreo.

C: número de equipos de carguío.

P acarreo: producción de equipo de acarreo en m³ por hora o toneladas por hora.

P cargador: producción de equipo de carguío en m³ por hora o tonelada por hora.

Se debe tener en cuenta los siguientes casos:

- a) Factor de acoplamiento igual a 1.

Si al aplicar la formula se obtiene como resultado 1, esto nos indica que el sistema de carguío y acarreo se encuentra en un equilibrio perfecto.

- b) Factor de acoplamiento mayor a 1.

Si el resultado obtenido es menor a 1, esto nos indica que tenemos un mayor número de equipos de acarreo al necesario. Por lo que tendremos colas en los puntos de carguío, en los puntos de descarga y mayor interacción de equipos en los puntos de

carguío y descarga lo cual es un escenario desfavorable en minería ya que el porcentaje de que se dé un choque entre equipos es mayor.

c) Factor de acoplamiento menor a 1.

En este caso el número de equipos de acarreo es menor al necesario, teniendo tiempos de parada del equipo de carguío.

CAPITULO III

METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Método de investigación.

Para la presente investigación se determinó el uso de un tipo de investigación cuantitativa, aplicada, de campo y nivel de investigación descriptivo y correlacional.

3.2. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Las técnicas de recolección de datos tomados en el lugar de estudio en las actividades de acarreo de material grava con origen en la plataforma de tramo 1 (Chancadora móvil) y descarga en zona de minado alto Jahuapaylla, tajo Ferrobamba, Las Bambas. Así como las diferentes fuentes afines al tema se lograron mediante la aplicación de las siguientes actividades:

- a) La observación.

Esta técnica consiste en la recolección de información por excelencia y se utiliza en todas las ramas de la ciencia, su uso está regido por alguna teoría y estas determinan los aspectos que van a observar, dentro de esto aplicaremos la siguiente subdivisión:

- La observación Estructurada.

Porque se aplicaran partes diarios de trabajo como se muestra en la figura 1 para la recopilación de datos, sistematizando los aspectos más importantes referentes al tema de investigación.

Figura n° 52: Parte diario de trabajo, para actividades diarias

El formulario 'PARTE DIARIO DE TRABAJO' de EPSA PERU S.A.C. incluye los siguientes campos y secciones:

- Encabezado:** Logos de EPSA PERU y LAS BAYAS.
- Formularios de Datos:** Campos para 'FECHA', 'NOMBRE', 'EQUIPO', 'NÚMERO', 'NÚMERO LOCAL', 'TURNO', y 'GUARDA'.
- Tabla de Registro:** Una tabla con 13 columnas: 'HORA', 'LUGAR', 'LÍNEA DE TRABAJO', 'DESCRIPCIÓN ACTIVIDAD', 'CANTIDAD', 'CANTIDAD CUBA', 'DE EPSA', 'SELECCIÓN DE EQUIPO', 'CANTIDAD DE EQUIPO', 'ALTO', 'BARRIO', 'CALLE', 'MOTIVACIÓN', 'MOTIVACIÓN', y 'COMENTARIOS'. La tabla tiene 15 filas para el registro de actividades.
- Sección de Datos Adicionales:** Campos para 'NÚMERO DE EQUIPO', 'NÚMERO DE EQUIPO', 'NÚMERO DE EQUIPO', y 'NÚMERO DE EQUIPO'.
- Sección de Firmas:** Cuatro cuadros para las firmas de 'Operador', 'Supervisor', 'Supervisor Control', y 'Supervisor Las Bayas', cada uno con campos para 'Nombre' y 'Apellido'.

Fuente: EPSA PERU S.A.C

Este parte diario de trabajo es un formato empleado por los operadores de los camiones, con la finalidad de llevar un control de las actividades diarias que se realiza, generando una data de tiempos de carguío, acarreo, así mismo lugares de carga, lugares de descarga y equipos que realizan el carguío.

- Observación Individual.

Porque la presente investigación está realizada por una solo persona.

- b) Entrevista estructurada.

Realizadas a los operadores de los equipos de acarreo tales como camión CAT 773 F y camiones articulados CAT 740B quienes identifican con claridad los problemas que se tiene durante el ciclo de acarreo de material grava.

3.3. Población

Como población para el estudio se considerara el camión rígido CAT 773F y camión articulado CAT 740B para el acarreo y para el carguío se considera el cargador sobre ruedas CAT 992K, las cuales fueron utilizadas para los trabajos de estudio. Estos equipos se desenvuelven en el tramo de la plataforma de tramo 1 (chancadora móvil) y la zona de minado alto Jahuapaylla en el tajo Ferrobamba, Las Bambas, donde se comprende el carguío, acarreo y descarga de material grava para mallas de voladura, en este tramo es donde se verifica las demoras en el ciclo de carguío y acarreo de material grava en unidad minera Las Bambas.

3.4. Matriz de consistencia

Problema	Objetivo	Hipótesis	VARIABLES	Indicadores
<p>General: ¿Cuáles son las deficiencias que vienen generando el empleo de camiones CAT 773 F en el proceso de carguío y acarreo de grava para el confinamiento del explosivo como taco en los bancos de explotación, entre la plataforma del tramo 1 y el sector alto Jahuapaylla, tajo Ferrobamba, Las Bambas?</p> <p>Específicos</p> <p>1. ¿Cuáles son las deficiencias que vienen generando el empleo de camiones CAT 773 F en el proceso de carguío y acarreo del material grava para el confinamiento de explosivos en los bancos de explotación del sector alto Jahuapaylla, tajo Ferrobamba, Las Bambas?</p> <p>2. ¿Cuál será los efectos producidos en cuanto al rendimiento Tm/hora con la implementación de nuevos equipos de acarreo CAT 740B, en el proceso de acarreo de grava desde la plataforma del tramo 1 al sector alto Jahuapaylla, tajo Ferrobamba, Las Bambas?</p> <p>3. ¿Cuál será el número de camiones que satisfacen adecuadamente en el acarreo de grava con la implementación del camion CAT 740B, y el ahorro de costos con relación a los equipos que vienen operando en el sector alto Jahuapaylla, tajo Ferrobamba, Las Bambas?</p>	<p>General: Determinar las deficiencias que vienen generando el empleo de camiones CAT 773 F en todo el proceso de carguío y acarreo de grava para el confinamiento del explosivo en los bancos de explotación, entre plataforma del tramo 1 y sector alto Jahuapaylla, tajo Ferrobamba, Las Bambas.</p> <p>Específicos</p> <p>1. Determinar las deficiencias que vienen generando el empleo camiones CAT 773 F en el proceso de carguío y acarreo del material grava para el confinamiento del explosivo en los bancos de explotación del sector alto Jahuapaylla, tajo Ferrobamba, Las Bambas.</p> <p>2. Optimizar el rendimiento por Tm/hora producido, con la implementación de nuevos equipos de acarreo CAT 740B, en el proceso de acarreo de grava desde la plataforma del tramo 1 al sector alto Jahuapaylla, tajo Ferrobamba, Las Bambas.</p> <p>3. Lograr el número de camiones requeridos que satisfagan el acarreo de grava con la implementación del equipo de acarreo CAT 740B, y el ahorro de costos con relación a los equipos que vienen operando en el sector alto Jahuapaylla, tajo Ferrobamba, Las Bambas.</p>	<p>General: A través de un estudio detallado de los camiones articulados CAT 740B, se logrará sustituir los equipos en actual operación, optimizando el rendimiento en el acarreo de grava por Tm/hora, reduciendo los costos de producción y mantenimiento de equipos entre la plataforma del tramo 1 y sector alto Jahuapaylla, tajo Ferrobamba, Las Bambas.</p> <p>Específicos</p> <p>1 Se identificarán las deficiencias que presenta el empleo de camiones CAT 773F en las operaciones unitarias dentro del proceso de carguío y acarreo de material grava para el confinamiento de explosivo en los bancos de explotación del sector alto Jahuapaylla, tajo Ferrobamba, Las Bambas</p> <p>2. Se logrará optimizar el rendimiento por Tm/hora, con la implantación de nuevos equipos de acarreo CAT 740B, en el proceso de acarreo de grava desde la plataforma del tramo 1 al sector alto Jahuapaylla, tajo Ferrobamba, Las Bambas.</p> <p>3. Con un estudio detallado, se logrará determinar el número de camiones CAT 740B que satisfagan adecuadamente el acarreo de grava, reduciendo los costos con relación a los equipos que vienen operando en el sector alto Jahuapaylla, tajo Ferrobamba, Las Bambas.</p>	<p>X1: Variable independiente</p> <p>Optimización del acarreo de grava para el confinamiento de explosivo.</p> <p>Y1: Variable dependiente</p> <p>Producción en la operación de acarreo de grava.</p> <p>Y2: Variable dependiente</p> <p>Costo de acarreo de grava.</p>	<p>Disponibilidad mecánica (%).</p> <p>Utilización mecánica (%).</p> <p>Ratio de combustible de equipos de acarreo (gal/hora).</p> <p>Producción diaria (m³/día).</p> <p>Producción por equipo de acarreo (m³/equipo).</p> <p>Rendimiento (m³/hora).</p> <p>Costo de acarreo (\$/Tm).</p> <p>Precio Hora maquina (\$/hora).</p>

CAPÍTULO IV

**ANÁLISIS Y RESULTADOS DEL SISTEMA DE CARGUÍO Y ACARREO DE
MATERIAL GRAVA PARA CONFINADO DE EXPLOSIVOS**

4.1. Cálculo y análisis de indicadores de desempeño del sistema de carguío y acarreo de material grava

Para un correcto análisis del sistema de carguío y acarreo será de suma importancia realizar los cálculos de los indicadores de desempeño de los equipos involucrados en este sistema, para lo cual se tiene el respaldo de una base de datos que fueron tomados durante las actividades en mina, posteriormente se le dio un orden, agrupándolos y finalmente generando información que permitirán elegir los equipos a utilizar en el acarreo de material grava y reducir costos.

4.1.1. Rendimiento de los equipos de carguío y acarreo

Para el cálculo se realizó la toma de datos de los siguientes equipos:

- Cargador sobre de Caterpillar 992K

- Camión minero Caterpillar 773F.
- Camión articulado Caterpillar 740B.

4.1.1.1. Rendimiento del equipo de carguío.

Para el desarrollo de este trabajo de estudios se tomo el actual equipo de carguío empleado por el área de operaciones mina:

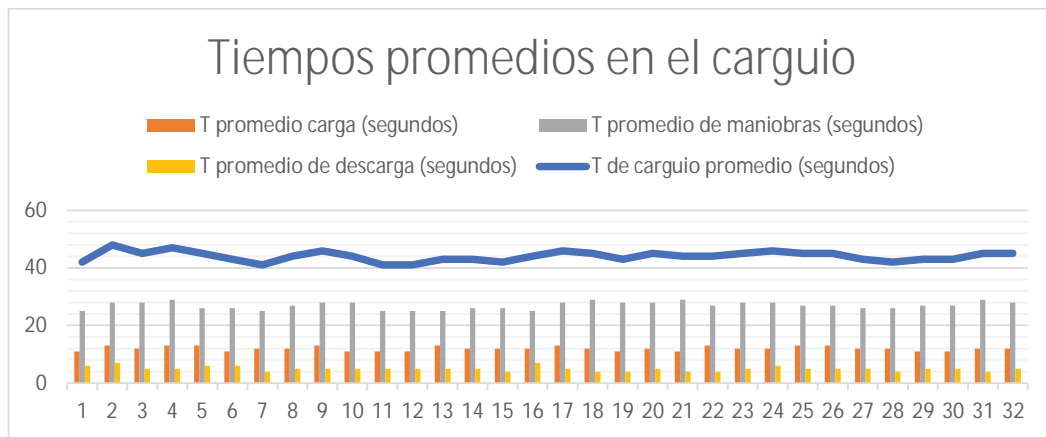
Tabla 13: Características de cargador de ruedas CAT 992K.

Equipo:	Cargador sobre ruedas
Marca	Caterpillar
Modelo	992K
Capacidad de cuchara	10.7 m3 a 12.3 m3

Fuente: elaboración propia.

De los datos tomados en campo se agruparon por semanas, arrojando tiempos promedios detallados en el siguiente cuadro:

Grafico 1 Tiempos promedios de carguío primer trimestre



Fuente: elaboración propia

Obteniendo los siguientes tiempos promedio para el equipo de carguío

- Tiempo promedio de carga: 12 segundos
- Tiempo promedio de maniobras: 27 segundos
- Tiempo promedio de descarga: 5 segundos

Aplicando la siguiente formula se obtiene el tiempo del ciclo del equipo de carguío:

$$T.\text{ciclo cargador} = T \text{ carga} + T \text{ giro} + T \text{ descarga (minutos)}$$

$$T.\text{ciclo cargador} = \frac{(12 + 27 + 5) \frac{\text{segundos}}{\text{cuchara}}}{60 \frac{\text{segundos}}{\text{minuto}}}$$

$$T.\text{ciclo cargador} = 0.73 \frac{\text{minutos}}{\text{cuchara}}$$

4.1.1.1.1. Rendimiento horario de equipo de carguío Caterpillar 992K

El rendimiento horario puede ser calculado usando la siguiente ecuación:

$$R = \frac{60 * Q * K * E}{T} \left(\frac{m^3}{Hr} \text{ o } \frac{Tm}{Hr} \right)$$

Donde:

K: factor de llenado del cucharon

$$K = \frac{1}{1 + f}$$

Donde:

f: factor de esponjamiento de la grava (0.89).

Para hallar este factor se aplica la siguiente ecuación:

$$K = \frac{1}{1 + 0.89}$$

$$K = 0.53$$

Una vez hallado el factor de esponjamiento aplicamos la ecuación de rendimiento

$$R = \frac{60 \left(\frac{\text{minutos}}{\text{hora}}\right) * 11.25 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{cuchara}}\right) * 0.53 * 0.83}{0.73 \left(\frac{\text{minutos}}{\text{cuchara}}\right)}$$

$$R = 406.75 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{hora}}\right)$$

4.1.1.1.2. Comparación de tiempo de carguío en camiones de acarreo

c) Numero de cucharas para cargar los equipos de acarreo

Para hallar este dato se aplicara la siguiente formula

$$N = \frac{Q}{C * f * e * P.e.}$$

- Numero de cucharas para cargar camión minero Caterpillar 773F:

Datos del equipo de acarreo:

Tabla 14: Características equipo de acarreo CAT 773F

Equipo:	Camión
Marca	Caterpillar
Modelo	773F
Capacidad de tolva	35.6m ³ o 54 Tm
Factor de esponjamiento para grava	0.89
Peso específico de material grava	1.62 Tm/m ³

Fuente: elaboración propia

Para el caso de este equipo se calcula la carga útil de grava que puede acarrear en función a la capacidad de su tolva y la densidad de la grava:

$$\text{Carga util CAT 773F} = 35.6 \frac{\text{m}^3}{\text{viaje}} * 1.62 \frac{\text{Tm}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Carga util CAT 773F} = 57.68 \frac{\text{Tm}}{\text{viaje}}$$

El dato obtenido se compara con la ficha técnica del equipo, siendo su carga útil neta de 54 Tm/viaje. Por lo tanto se puede cargar un máximo de 54 Tm/viaje. Se procede a calcular el número de cucharas necesarias por viaje

$$N = \frac{54 \frac{Tm}{viaje}}{11.25 \frac{m^3}{cuchara} * 0.9 * 0.89 * 1.62 \frac{Tm}{m^3}}$$

$$N = 3.83 \text{ cucharas/Viaje}$$

El número de cucharas debe ser un número entero, para lo cual el resultado será redondeado al número entero mayor

$$N \approx 4 \text{ cucharas/viaje}$$

- Numero de cucharas para cargar camión articulado CAT 740 B

Datos del equipo de acarreo:

Tabla 15: Características de camión articulado CAT 740B

Equipo:	Camión articulado
Marca	Caterpillar
Modelo	740B
Capacidad de tolva	24 m ³ o 40 Tm
Factor de esponjamiento para grava	0.89
Peso específico de material grava	1.62 t/m ³

Fuente: elaboración propia.

Para el caso de este equipo se calcula la carga útil de grava que puede acarrear en función a la capacidad de su tolva y la densidad de la grava:

$$Carga\ util\ CAT\ 740B = 24 \frac{m^3}{viaje} * 1.62 \frac{Tm}{m^3}$$

$$Carga\ util\ CAT\ 740BF = 38.88 \frac{Tm}{viaje}$$

El dato obtenido se compara con la ficha técnica del equipo, por lo tanto para la grava su carga útil neta será de 38.88Tm/viaje, ya que el volumen máximo es de 24 m³. Se procede a calcular el número de cucharas necesarias por viaje

$$N = \frac{38.88 \frac{Tm}{viaje}}{11.25 \frac{m^3}{cuchara} * 0.9 * 0.89 * 1.62 \frac{Tm}{m^3}}$$

$$N = 2.7 \text{ cucharas/viaje}$$

El número de cucharas debe ser un número entero, para lo cual el resultado será redondeado al número entero mayor

$$N \approx 3 \text{ cucharas/tolva}$$

4.1.1.1.3. *Calculo de tiempos de carguío para equipos de acarreo*

a) Tiempo empleado en el carguío de camión Caterpillar 773F.

$$T = 4 \left(\frac{cucharas}{tolva} \right) * 0.73 \left(\frac{minutos}{cuchara} \right)$$

$$T = 2.92 \text{ minutos/tolva}$$

b) Tiempo empleado en el carguío de camión articulado 740B

$$T = 3 \left(\frac{cucharas}{tolva} \right) * 0.73 \left(\frac{minutos}{cuchara} \right)$$

$$T = 2.19 \frac{minutos}{tolva}$$

	Tiempo de carguío (minutos)	Tiempo ahorrado (minutos)
CAT 773F	2.92	0.73
CAT 740B	2.19	

4.1.1.2. Disponibilidad y utilización en el equipo de carguio

En unidad minera Las Bambas se tiene dos guardias por dia, cada una con 12 horas

A continuación se presenta un cuadro que nos permitirá determinar la disponibilidad máxima de un equipo tomando en cuenta las demoras operativas.

Tabla 16: Distribución de tiempo de trabajo

Descripción	Horas
Tiempo total	12
Tiempo por demoras operativas	
Inspección y limpieza de equipo	0.17
refrigerio	0.75
Cambio de turno	0.17
Coordinación de trabajo	0.17
Tiempo efectivo de trabajo	10.74

Fuente: elaboración propia

De acuerdo a estos datos podemos hallar la disponibilidad máxima que puede alcanzar un equipo en un turno

$$D_{max} = \frac{12 \text{ horas} - 0.17 - 0.75}{12} * 100$$

$$D_{max} = 92.3 \%$$

Asi mismo se puede hallar la máxima utilización de un equipo

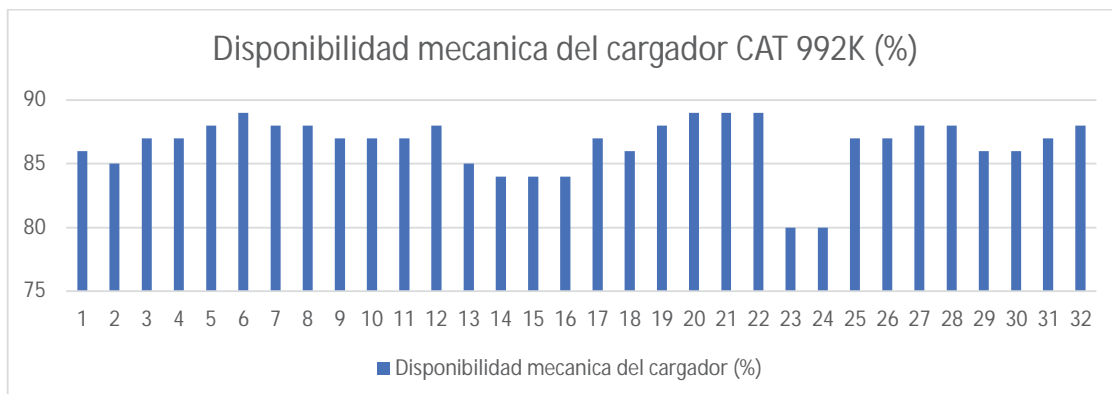
$$U_{max} = \frac{(12 - 0.17 - 0.75 - 0.17 - 0.17) \frac{\text{horas}}{\text{turno}}}{12 - 0.17 - 0.75 \frac{\text{horas}}{\text{turno}}} * 100$$

$$U_{max} = 92.1 \%$$

4.1.1.2.1. Disponibilidad de cargador sobre ruedas CAT 992K

Se adjunta grafica de disponibilidades y utilización semanales del cargador frontal 992K proporcionado por el área de despacho

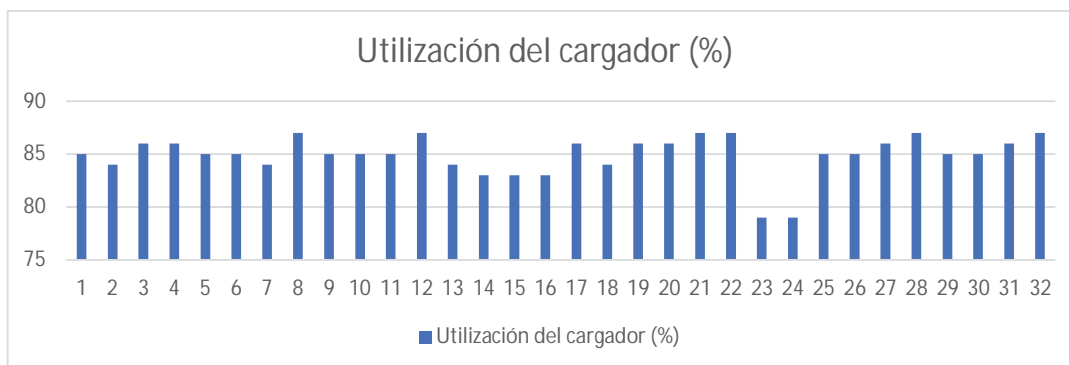
Grafico 2: Disponibilidad de equipo de carguío CAT 992K



Fuente (MMG Las Bambas, 2018)

La disponibilidad por bajo del 85% representa que el equipo estuvo en mantenimiento correctivo, presentó alguna falla mecánica o el equipo no contaba con operador.

Grafico 3: Utilización de cargador CAT 992K



Fuente: (MMG Las Bambas, 2018)

La utilización baja es debido a que en la semana 23 y 24 se tuvo un tiempo de disponibilidad menor y por tanto no se les programaron trabajos continuos, para poder realizar pruebas de funcionamiento en el equipo.

4.1.1.3. Cantidades de material grava solicitado por el área de voladura

El área de voladura de acuerdo a su programación y coordinación diaria realiza la solicitud de grava al área de operaciones mina, el cual permite determinar el número de viajes necesarios en base a la cantidad de taladros, se adjunta cuadro de toneladas de grava solicitadas por el área de voladura Para el 01 de enero del 2018 se calculó el tonelaje de grava con el uso de los siguientes datos:

Tabla 17: Datos para el cálculo de tonelaje de grava

Ubicación donde se realiza la voladura	Sector alto Jahupaylla
Cantidad de taladros de producción	62 unidades
Diámetro de taladro de producción	12.25 pulgadas (0.31115 m)
Altura de taco para taladro de producción	9.5 metros
Cantidad de taladros de pre corte	20
Diámetro de taladro de pre corte	5 pulgadas (0.127 m)
Altura de taco para taladro de pre corte	9 metros
Densidad de la grava	1.62 t/m ³

Fuente: elaboración propia.

Teniendo estos datos procedemos a realizar los siguientes cálculos:

Volumen de grava para taladros de producción:

$$V. \text{ grava en taladros de prod} = \frac{Nt \text{ pro} * Htaco \text{ de prod.} * (\emptyset \text{ tal. de prod.})^2 * \pi}{4}; m^3$$

$$V. \text{ grava en taladros de prod} = \frac{62 * 9.5 * (0.31115)^2 * \pi}{4}; m^3$$

$$V. \text{ grava en taladros de prod} = 44.8 m^3$$

Volumen de grava para taladros de pre corte

$$V. \text{ grava en taladros de pre corte} = \frac{Nt \text{ pre} * Htaco \text{ de pre.} * (\emptyset \text{ tal. de pre.})^2 * \pi}{4}$$

$$V. \text{ grava en taladros de pre corte} = \frac{20 * 9 * (0.127)^2 * \pi}{4}$$

$$V. \text{ grava en taladros de pre corte} = 2.3 m^3$$

Para el cálculo de toneladas de grava solicitada se sumara el volumen de los taladros de producción y pre corte y multiplicarlo por la densidad de la grava:

$$Tm \text{ de grava} = (V. \text{ de taladros de prod} + V. \text{ de taladros de pre}) * \rho \text{ grava}; Tm$$

$$Tm \text{ de grava} = (44.8 + 2.3) * 1.62; Tm$$

$$Tm \text{ de grava} = 72.8 Tm$$

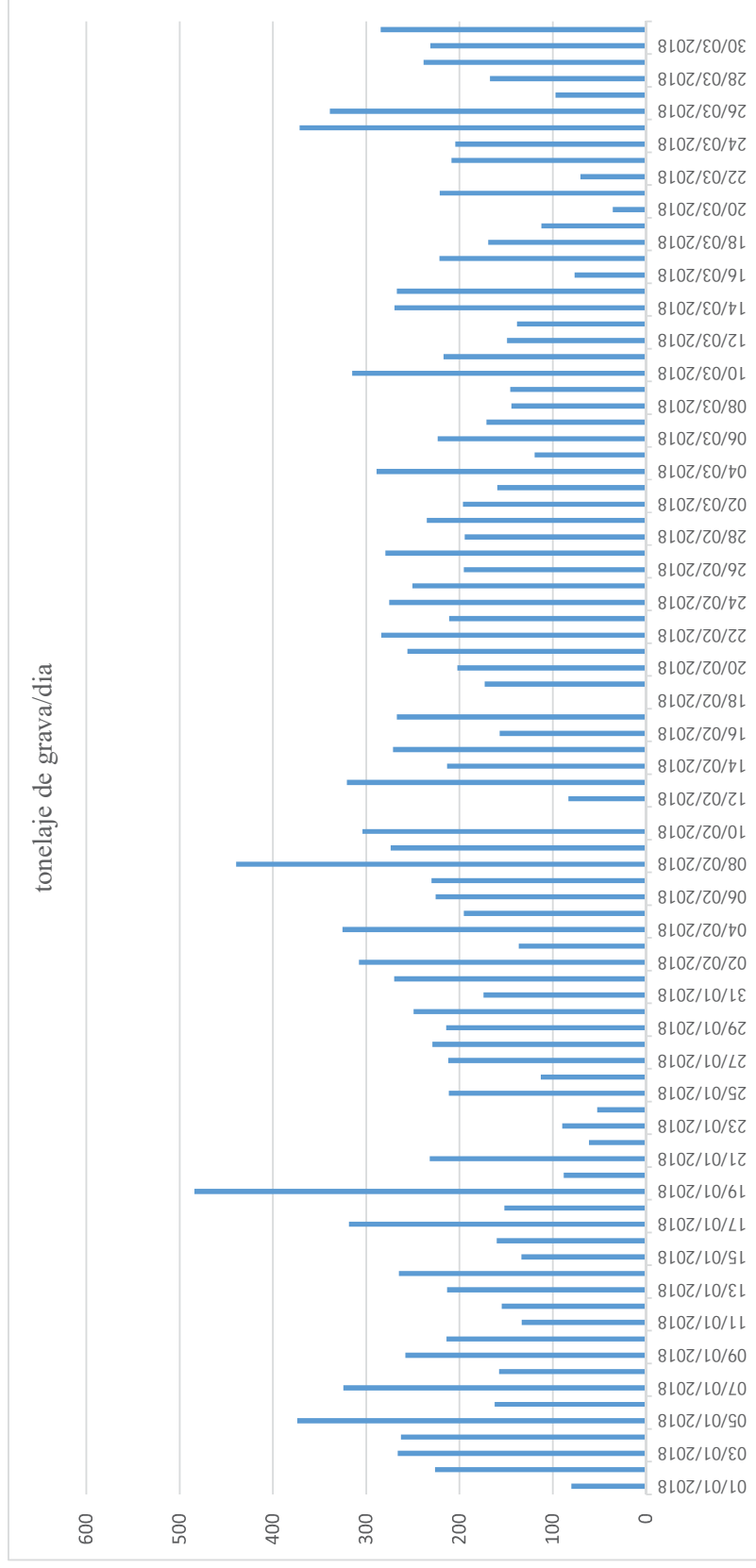
Adicional a ello se pide que se agregue un 10 % más de la cantidad solicitada

$$Tm \text{ de grava} = 72.8 Tm * 1.1$$

$$Tm \text{ de grava} = 80.1 Tm$$

A continuación se presenta la cantidad de Tm solicitada en los 3 primeros meses del presente estudio de trabajo

Gráfico 4: tonelaje de grava solicitada por día en el primer trimestre 2018



Fuente: elaboración propia

Una vez calculada la cantidad de toneladas solicitadas por día podemos calcular el número de viajes y horas empleadas por los equipos de acarreo.

4.1.1.4. Número de viajes de los equipos de acarreo.

a) Acarreo de material grava empleando un camión rígido Caterpillar 773F

Datos del equipo

Tabla 18: Datos para número de viajes en equipo de acarreo CAT 773F

Equipo:	Camión
Marca	Caterpillar
Modelo	773F
Capacidad de tolva	35.6m ³ o 54 Tm
Peso específico de material grava	1.62 Tm/m ³
Fecha	01/01/2018
Toneladas de grava solicitadas	80.1 Tm
Tiempo de acarreo	1.24 horas
Carga útil por viaje	54 Tm/viaje

Fuente: elaboración propia

Procedemos a calcular el número de viajes

$$\text{Numero de viajes 773F} = \frac{\text{Tm solicitada}}{\text{Tm por viaje}}$$

$$\text{Numero de viajes 773F} = \frac{80.1 \frac{\text{Tm}}{\text{día}}}{54 \frac{\text{Tm}}{\text{viaje}}}$$

$$\text{Numero de viajes 773F} = 1.5 \frac{\text{viajes}}{\text{día}}$$

El número de viajes debe ser necesariamente un numero entero, por lo cual el resultado deberá se redondeado a su mayor entero inmediato

$$\text{Numero de viajes 773F} = 2 \frac{\text{viajes}}{\text{día}}$$

b) Acarreo de material grava empleando un camión articulado 740B

Datos del equipo

Tabla 19: Datos para número de viajes en equipo de acarreo CAT 740B

Equipo:	Camión articulado
Marca	Caterpillar
Modelo	740B
Capacidad de tolva	24m ³ o 40 Tm
Peso específico de material grava	1.62 Tm/m ³
Fecha	01/01/2018
Tonelaje de grava solicitadas	80.1 Tm
Tiempo de acarreo	0.84 horas
Carga útil por viaje	38.9 Tm/viaje

Fuente: elaboración propia

Procedemos a calcular el número de viajes

$$\text{Numero de viajes 740B} = \frac{\text{Tm solicitada}}{\text{Tm por viaje}}$$

$$\text{Numero de viajes 740B} = \frac{80.1 \frac{\text{Tm}}{\text{dia}}}{38.9 \frac{\text{Tm}}{\text{viaje}}}$$

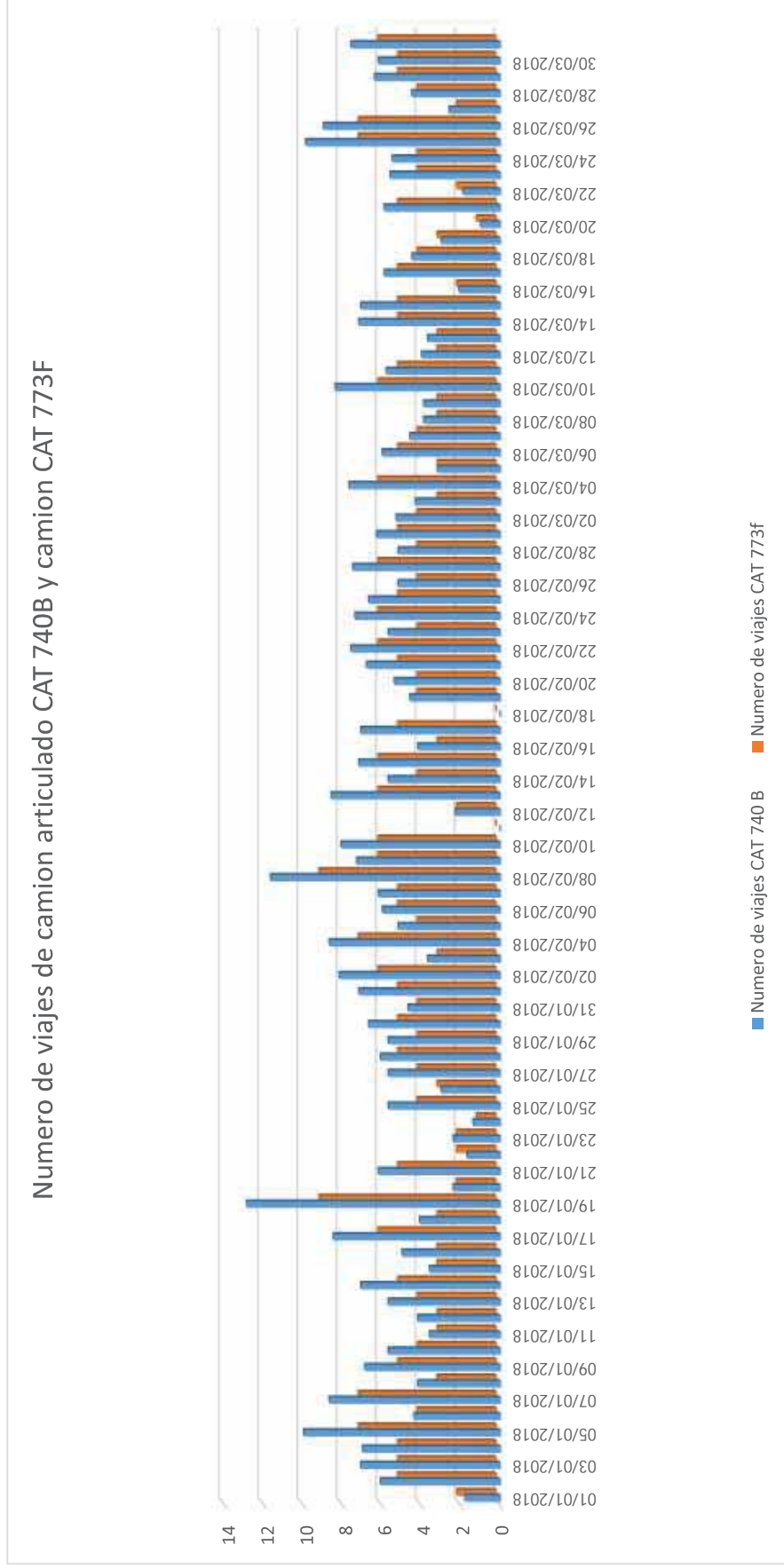
$$\text{Numero de viajes 740B} = 2.06 \frac{\text{viajes}}{\text{dia}}$$

Para este caso no será necesario redondear el número de viajes

$$\text{Numero de viajes 740B} = 2 \frac{\text{viajes}}{\text{dia}}$$

A continuación se presenta un cuadro comparativo de viajes de ambos equipos:

Grafico 5: Comparación de número de viajes entre CAT 740B y CAT 773F primer trimestre 2018



Fuente: elaboración propia.

4.1.2. Costo de acarreo.

4.1.2.1. Costos de acarreo en camión rígido Caterpillar 773 F.

Habiendo hallado el número de viajes necesario para cumplir con el tonelaje de grava solicitado por el área de voladura se procede a calcular el costo de acarreo al emplear el camión rígido Caterpillar 773F.

Para lo cual se aclara que el cálculo de valorización es por hora maquina

Teniendo el siguiente dato:

Costo por hora maquina 773F igual a 570 S/ por hora.

Costo de acarreo de material grava el día 01/01/2018

$$\text{Costo de acarreo Cat773F} = 570 \frac{\text{S/}}{\text{h}} * 1.24 \frac{\text{horas}}{\text{viaje}} * 2 \frac{\text{viajes}}{\text{dia}}$$

$$\text{Costo de acarreo Cat773F} = 1,413.6 \frac{\text{S/}}{\text{dia}}$$

4.1.2.2. Costos de acarreo en camión articulado Caterpillar 740B.

Costo por hora maquina Cat 740B: 290 S/ por hora.

Costo de acarreo de material grava el día 01/01/2018.

$$\text{Costo de acarreo Cat740B} = 290 \frac{\text{S/}}{\text{h}} * 0.82 \frac{\text{horas}}{\text{viaje}} * 2 \frac{\text{viajes}}{\text{dia}}$$

$$\text{Costo de acarreo Cat773F} = 475.6 \frac{\text{S/}}{\text{dia}}$$

Hallando el costo de acarreo con cada equipo podemos calcular el ahorro que se tendría si se emplea solo el camión articulado 740 B.

$$\text{Ahorro} = 1413 \frac{\text{S/}}{\text{dia}} - 475.6 \frac{\text{s/}}{\text{dia}}$$

$$\text{Ahorro} = 938 \frac{\text{S/}}{\text{dia}}$$

A continuación adjuntamos el ahorro que se tendría los 3 primeros meses

Tabla 20: Ahorro del primer trimestre en el costo de acarreo

Fecha	Número de viajes CAT 740 B	Número de viajes CAT 773f	h/día camión 740B	Costo por día camión 740B S/	h/día camión 773F	Costo por guardia camión 773F S/	Ahorro S/
01/01/2018	2	2	1.476	475.6	2.48	1413.6	938
02/01/2018	6	5	5.002	1450.58	6.2	3534	2083.42
03/01/2018	7	5	5.822	1688.38	6.2	3534	1845.62
04/01/2018	7	5	5.74	1664.6	6.2	3534	1869.4
05/01/2018	10	7	8.2	2378	8.68	4947.6	2569.6
06/01/2018	4	4	3.608	1046.32	4.96	2827.2	1780.88
07/01/2018	9	7	7.134	2068.86	8.68	4947.6	2878.74
08/01/2018	4	3	3.444	998.76	3.72	2120.4	1121.64
09/01/2018	7	5	5.658	1640.82	6.2	3534	1893.18
10/01/2018	6	4	4.674	1355.46	4.96	2827.2	1471.74
11/01/2018	4	3	2.952	856.08	3.72	2120.4	1264.32
12/01/2018	4	3	3.444	998.76	3.72	2120.4	1121.64
13/01/2018	6	4	4.674	1355.46	4.96	2827.2	1471.74
14/01/2018	7	5	5.822	1688.38	6.2	3534	1845.62
15/01/2018	4	3	2.952	856.08	3.72	2120.4	1264.32
16/01/2018	5	3	4.1	1189	3.72	2120.4	931.4
17/01/2018	9	6	6.97	2021.3	7.44	4240.8	2219.5
18/01/2018	4	3	3.362	974.98	3.72	2120.4	1145.42
19/01/2018	13	9	10.578	3067.62	11.16	6361.2	3293.58
20/01/2018	2	2	1.968	570.72	2.48	1413.6	842.88
21/01/2018	6	5	5.084	1474.36	6.2	3534	2059.64
22/01/2018	2	2	1.394	404.26	2.48	1413.6	1009.34
23/01/2018	2	2	1.968	570.72	2.48	1413.6	842.88
24/01/2018	1	1	1.148	332.92	1.24	706.8	373.88
25/01/2018	6	4	4.674	1355.46	4.96	2827.2	1471.74
26/01/2018	3	3	2.46	713.4	3.72	2120.4	1407
27/01/2018	6	4	4.674	1355.46	4.96	2827.2	1471.74
28/01/2018	6	5	5.002	1450.58	6.2	3534	2083.42
29/01/2018	6	4	4.674	1355.46	4.96	2827.2	1471.74
30/01/2018	7	5	5.494	1593.26	6.2	3534	1940.74
31/01/2018	5	4	3.854	1117.66	4.96	2827.2	1709.54
01/02/2018	7	5	5.904	1712.16	6.2	3534	1821.84
02/02/2018	8	6	6.724	1949.96	7.44	4240.8	2290.84

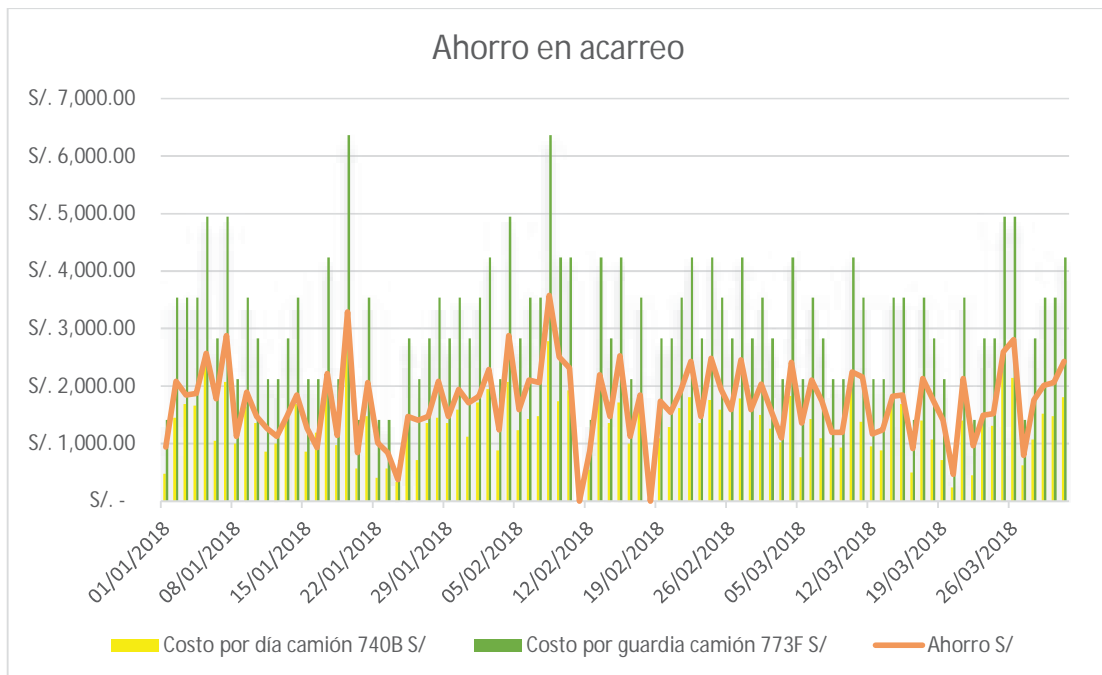
Fecha	Número de viajes CAT 740 B	Número de viajes CAT 773f	h/día camión 740B	Costo por día camión 740B S/	h/día camión 773F	Costo por guardia camión 773F S/	Ahorro S/
03/02/2018	4	3	3.034	879.86	3.72	2120.4	1240.54
04/02/2018	9	7	7.134	2068.86	8.68	4947.6	2878.74
05/02/2018	5	4	4.264	1236.56	4.96	2827.2	1590.64
06/02/2018	6	5	4.92	1426.8	6.2	3534	2107.2
07/02/2018	6	5	5.084	1474.36	6.2	3534	2059.64
08/02/2018	12	9	9.594	2782.26	11.16	6361.2	3578.94
09/02/2018	7	6	5.986	1735.94	7.44	4240.8	2504.86
10/02/2018	8	6	6.642	1926.18	7.44	4240.8	2314.62
11/02/2018	0	0	0	0	0	0	0
12/02/2018	2	2	1.886	546.94	2.48	1413.6	866.66
13/02/2018	9	6	7.052	2045.08	7.44	4240.8	2195.72
14/02/2018	6	4	4.674	1355.46	4.96	2827.2	1471.74
15/02/2018	7	6	5.904	1712.16	7.44	4240.8	2528.64
16/02/2018	4	3	3.444	998.76	3.72	2120.4	1121.64
17/02/2018	7	5	5.822	1688.38	6.2	3534	1845.62
18/02/2018	0	0	0	0	0	0	0
19/02/2018	5	4	3.772	1093.88	4.96	2827.2	1733.32
20/02/2018	5	4	4.428	1284.12	4.96	2827.2	1543.08
21/02/2018	7	5	5.576	1617.04	6.2	3534	1916.96
22/02/2018	8	6	6.232	1807.28	7.44	4240.8	2433.52
23/02/2018	6	4	4.674	1355.46	4.96	2827.2	1471.74
24/02/2018	7	6	6.068	1759.72	7.44	4240.8	2481.08
25/02/2018	7	5	5.494	1593.26	6.2	3534	1940.74
26/02/2018	5	4	4.264	1236.56	4.96	2827.2	1590.64
27/02/2018	8	6	6.15	1783.5	7.44	4240.8	2457.3
28/02/2018	5	4	4.264	1236.56	4.96	2827.2	1590.64
01/03/2018	6	5	5.166	1498.14	6.2	3534	2035.86
02/03/2018	5	4	4.346	1260.34	4.96	2827.2	1566.86
03/03/2018	4	3	3.526	1022.54	3.72	2120.4	1097.86
04/03/2018	8	6	6.314	1831.06	7.44	4240.8	2409.74
05/03/2018	3	3	2.624	760.96	3.72	2120.4	1359.44
06/03/2018	6	5	4.92	1426.8	6.2	3534	2107.2
07/03/2018	5	4	3.772	1093.88	4.96	2827.2	1733.32
08/03/2018	4	3	3.198	927.42	3.72	2120.4	1192.98
09/03/2018	4	3	3.198	927.42	3.72	2120.4	1192.98
10/03/2018	8	6	6.888	1997.52	7.44	4240.8	2243.28
11/03/2018	6	5	4.756	1379.24	6.2	3534	2154.76
12/03/2018	4	3	3.28	951.2	3.72	2120.4	1169.2
13/03/2018	4	3	3.034	879.86	3.72	2120.4	1240.54
14/03/2018	7	5	5.904	1712.16	6.2	3534	1821.84
15/03/2018	7	5	5.822	1688.38	6.2	3534	1845.62

Fecha	Número de viajes CAT 740 B	Número de viajes CAT 773f	h/día camión 740B	Costo por día camión 740B S/	h/día camión 773F	Costo por guardia camión 773F S/	Ahorro S/
16/03/2018	2	2	1.722	499.38	2.48	1413.6	914.22
17/03/2018	6	5	4.838	1403.02	6.2	3534	2130.98
18/03/2018	5	4	3.69	1070.1	4.96	2827.2	1757.1
19/03/2018	3	3	2.46	713.4	3.72	2120.4	1407
20/03/2018	1	1	0.82	237.8	1.24	706.8	469
21/03/2018	6	5	4.838	1403.02	6.2	3534	2130.98
22/03/2018	2	2	1.558	451.82	2.48	1413.6	961.78
23/03/2018	6	4	4.592	1331.68	4.96	2827.2	1495.52
24/03/2018	6	4	4.51	1307.9	4.96	2827.2	1519.3
25/03/2018	10	7	8.118	2354.22	8.68	4947.6	2593.38
26/03/2018	9	7	7.38	2140.2	8.68	4947.6	2807.4
27/03/2018	3	2	2.132	618.28	2.48	1413.6	795.32
28/03/2018	5	4	3.69	1070.1	4.96	2827.2	1757.1
29/03/2018	6	5	5.248	1521.92	6.2	3534	2012.08
30/03/2018	6	5	5.084	1474.36	6.2	3534	2059.64
31/03/2018	8	6	6.232	1807.28	7.44	4240.8	2433.52
Total							153,687.0 S/

Fuente: elaboración propia

El primer trimestre se tuvo un ahorro en el costo de acarreo de 153,687.0 S/

Grafico 6: Ahorro trimestral en acarreo



Fuente: elaboración propia

4.1.3. Costo del consumo de combustible de equipos de acarreo.

El costo de combustible es de suma importancia ya que las características de los equipos presentan diferencia en el consumo de galones/hora, para lo cual se recopiló información del consumo de combustible de los equipos por día. Obteniéndose los siguientes datos

Consumo de combustible por hora de camión rígido 773F: 10.9 galones/hora

Consumo de combustible por hora de camión articulado 740B: 6.2 galones/ hora

Valor de combustible en mina: 13S/ por galón.

4.1.3.1. Consumo de combustible camión rígido CAT 773F.

Para el día 01/01/2018

$$\text{Consumo de combustible Cat 773F} = h \text{ trab. por dia} * \text{Consumo por h}; \frac{\text{galones}}{\text{dia}}$$

$$\text{Consumo de combustible Cat 773F} = 2.48 \frac{h}{\text{dia}} * 10.9 \frac{\text{galones}}{h}$$

$$\text{Consumo de combustible Cat 773F} = 27.032 \frac{\text{galones}}{\text{dia}}$$

4.1.3.2. Costo de consumo de combustible para camión CAT 773F

$$\text{Costo de consumo de combustible Cat 773F} = \text{Total gal pordia} * \text{Costo por gal}; \frac{S}{\text{dia}}$$

$$\text{Costo de consumo de combustible Cat 773F} = 27.032 \frac{\text{galones}}{\text{dia}} * 13 \frac{S}{\text{gal}}$$

$$\text{Costo de consumo de combustible Cat 773F} = 351.416 \frac{S}{\text{dia}}$$

4.1.3.3. Consumo de combustible camión rígido Cat 740B

Para el día 01/01/2018

$$\text{Consumo de combustible Cat 740B} = 1.476 \frac{\text{horas}}{\text{dia}} * 6.2 \frac{\text{galones}}{\text{hora}}$$

$$\text{Consumo de combustible Cat 740B} = 9.15 \frac{\text{galones}}{\text{dia}}$$

4.1.3.4. Costo de consumo de combustible para camión Cat 740B

$$\text{Costo de consumo de combustible Cat 740B} = 9.15 \frac{\text{galones}}{\text{dia}} * 13 \frac{S}{\text{gal}}$$

$$\text{Costo de consumo de combustible Cat 740B} = 118.97 \frac{S/}{\text{día}}$$

Ahorro en el consumo de combustible empleando el camión articulado Cat 740B el día 01/01/2018

$$\text{Ahorro} = 351.416 \frac{S/}{\text{día}} - 118.97 \frac{s/}{\text{día}}$$

$$\text{Ahorro} = 232.45 \frac{s/}{\text{día}}$$

A continuación se presenta el ahorro diario de consumo de combustible en los 3 primeros meses

Tabla 21: Ahorro en consumo de combustible primer trimestre 2018

Fecha	h/día camión 740B	h/día camión 773F	Costo combustible camión 740B	Costo combustible camión 773F	Ahorro en combustible
01/01/2018	1.476	2.48	118.9656	351.416	232.4504
02/01/2018	5.002	6.2	403.1612	878.54	475.3788
03/01/2018	5.822	6.2	469.2532	878.54	409.2868
04/01/2018	5.74	6.2	462.644	878.54	415.896
05/01/2018	8.2	8.68	660.92	1,229.956	569.036
06/01/2018	3.608	4.96	290.8048	702.832	412.0272
07/01/2018	7.134	8.68	575.0004	1,229.956	654.9556
08/01/2018	3.444	3.72	277.5864	527.124	249.5376
09/01/2018	5.658	6.2	456.0348	878.54	422.5052
10/01/2018	4.674	4.96	376.7244	702.832	326.1076
11/01/2018	2.952	3.72	237.9312	527.124	289.1928
12/01/2018	3.444	3.72	277.5864	527.124	249.5376
13/01/2018	4.674	4.96	376.7244	702.832	326.1076
14/01/2018	5.822	6.2	469.2532	878.54	409.2868
15/01/2018	2.952	3.72	237.9312	527.124	289.1928
16/01/2018	4.1	3.72	330.46	527.124	196.664
17/01/2018	6.97	7.44	561.782	1,054.248	492.466
18/01/2018	3.362	3.72	270.9772	527.124	256.1468
19/01/2018	10.578	11.16	852.5868	1,581.372	728.7852
20/01/2018	1.968	2.48	158.6208	351.416	192.7952
21/01/2018	5.084	6.2	409.7704	878.54	468.7696
22/01/2018	1.394	2.48	112.3564	351.416	239.0596
23/01/2018	1.968	2.48	158.6208	351.416	192.7952
24/01/2018	1.148	1.24	92.5288	175.708	83.1792
25/01/2018	4.674	4.96	376.7244	702.832	326.1076
26/01/2018	2.46	3.72	198.276	527.124	328.848

Fecha	h/día camión 740B	h/día camión 773F	Costo combustible camión 740B	Costo combustible camión 773F	Ahorro en combustible
27/01/2018	4.674	4.96	376.7244	702.832	326.1076
28/01/2018	5.002	6.2	403.1612	878.54	475.3788
29/01/2018	4.674	4.96	376.7244	702.832	326.1076
30/01/2018	5.494	6.2	442.8164	878.54	435.7236
31/01/2018	3.854	4.96	310.6324	702.832	392.1996
01/02/2018	5.904	6.2	475.8624	878.54	402.6776
02/02/2018	6.724	7.44	541.9544	1,054.248	512.2936
03/02/2018	3.034	3.72	244.5404	527.124	282.5836
04/02/2018	7.134	8.68	575.0004	1,229.956	654.9556
05/02/2018	4.264	4.96	343.6784	702.832	359.1536
06/02/2018	4.92	6.2	396.552	878.54	481.988
07/02/2018	5.084	6.2	409.7704	878.54	468.7696
08/02/2018	9.594	11.16	773.2764	1,581.372	808.0956
09/02/2018	5.986	7.44	482.4716	1054.248	571.7764
10/02/2018	6.642	7.44	535.3452	1054.248	518.9028
11/02/2018	0	0	0	0	0
12/02/2018	1.886	2.48	152.0116	351.416	199.4044
13/02/2018	7.052	7.44	568.3912	1054.248	485.8568
14/02/2018	4.674	4.96	376.7244	702.832	326.1076
15/02/2018	5.904	7.44	475.8624	1054.248	578.3856
16/02/2018	3.444	3.72	277.5864	527.124	249.5376
17/02/2018	5.822	6.2	469.2532	878.54	409.2868
18/02/2018	0	0	0	0	0
19/02/2018	3.772	4.96	304.0232	702.832	398.8088
20/02/2018	4.428	4.96	356.8968	702.832	345.9352
21/02/2018	5.576	6.2	449.4256	878.54	429.1144
22/02/2018	6.232	7.44	502.2992	1054.248	551.9488
23/02/2018	4.674	4.96	376.7244	702.832	326.1076
24/02/2018	6.068	7.44	489.0808	1054.248	565.1672
25/02/2018	5.494	6.2	442.8164	878.54	435.7236
26/02/2018	4.264	4.96	343.6784	702.832	359.1536
27/02/2018	6.15	7.44	495.69	1054.248	558.558
28/02/2018	4.264	4.96	343.6784	702.832	359.1536
01/03/2018	5.166	6.2	416.3796	878.54	462.1604
02/03/2018	4.346	4.96	350.2876	702.832	352.5444
03/03/2018	3.526	3.72	284.1956	527.124	242.9284
04/03/2018	6.314	7.44	508.9084	1054.248	545.3396
05/03/2018	2.624	3.72	211.4944	527.124	315.6296
06/03/2018	4.92	6.2	396.552	878.54	481.988
07/03/2018	3.772	4.96	304.0232	702.832	398.8088
08/03/2018	3.198	3.72	257.7588	527.124	269.3652
09/03/2018	3.198	3.72	257.7588	527.124	269.3652

Fecha	h/día camión 740B	h/día camión 773F	Costo combustible camión 740B	Costo combustible camión 773F	Ahorro en combustible
10/03/2018	6.888	7.44	555.1728	1054.248	499.0752
11/03/2018	4.756	6.2	383.3336	878.54	495.2064
12/03/2018	3.28	3.72	264.368	527.124	262.756
13/03/2018	3.034	3.72	244.5404	527.124	282.5836
14/03/2018	5.904	6.2	475.8624	878.54	402.6776
15/03/2018	5.822	6.2	469.2532	878.54	409.2868
16/03/2018	1.722	2.48	138.7932	351.416	212.6228
17/03/2018	4.838	6.2	389.9428	878.54	488.5972
18/03/2018	3.69	4.96	297.414	702.832	405.418
19/03/2018	2.46	3.72	198.276	527.124	328.848
20/03/2018	0.82	1.24	66.092	175.708	109.616
21/03/2018	4.838	6.2	389.9428	878.54	488.5972
22/03/2018	1.558	2.48	125.5748	351.416	225.8412
23/03/2018	4.592	4.96	370.1152	702.832	332.7168
24/03/2018	4.51	4.96	363.506	702.832	339.326
25/03/2018	8.118	8.68	654.3108	1229.956	575.6452
26/03/2018	7.38	8.68	594.828	1229.956	635.128
27/03/2018	2.132	2.48	171.8392	351.416	179.5768
28/03/2018	3.69	4.96	297.414	702.832	405.418
29/03/2018	5.248	6.2	422.9888	878.54	455.5512
30/03/2018	5.084	6.2	409.7704	878.54	468.7696
31/03/2018	6.232	7.44	502.2992	1054.248	551.9488

Fuente: elaboración propia

Teniendo un ahorro total en el consumo de combustible de 34724.41 soles

4.1.4. Costos directos en el acarreo

4.1.4.1. Costo de un operador de camión articulado CAT 740B y un operador de camión CAT 773F

Sueldo mensual de operador de camión rígido 773F: 5000 soles

Sueldo mensual de operador de camión articulado 740B: 4000 soles

Estos datos nos ayudan a calcular un ahorro diario de:

Tabla 22: Remuneración de operadores de equipos de acarreo

Equipo	Sueldo mensual S/	Gratificación por año S/	CTS S/
740B	4000	8720	2726.66667
773F	5000	10900	3408.33333

Fuente: elaboración propia

$$\text{Ahorro diario sueldo} = \frac{6122.98 \frac{\text{soles}}{\text{mes}} - 4898.38 \frac{\text{soles}}{\text{mes}}}{30 \frac{\text{días}}{\text{mes}}}$$

$$\text{Ahorro diario sueldo} = 40.82 \frac{\text{soles}}{\text{día}}$$

En cuanto al mantenimiento mecánico

Para el caso del camión rígido 773F se gastó 50,000 soles durante el año 2018.

Para el caso del camión articulado 740B se gastó 30,000 soles durante el año 2018.

Teniendo un ahorro de 20000 soles durante el año.

4.2. RESULTADOS

4.2.1. Beneficio económico de la implementación del camión articulado 740B con respecto a la utilización del camión CAT 773F.

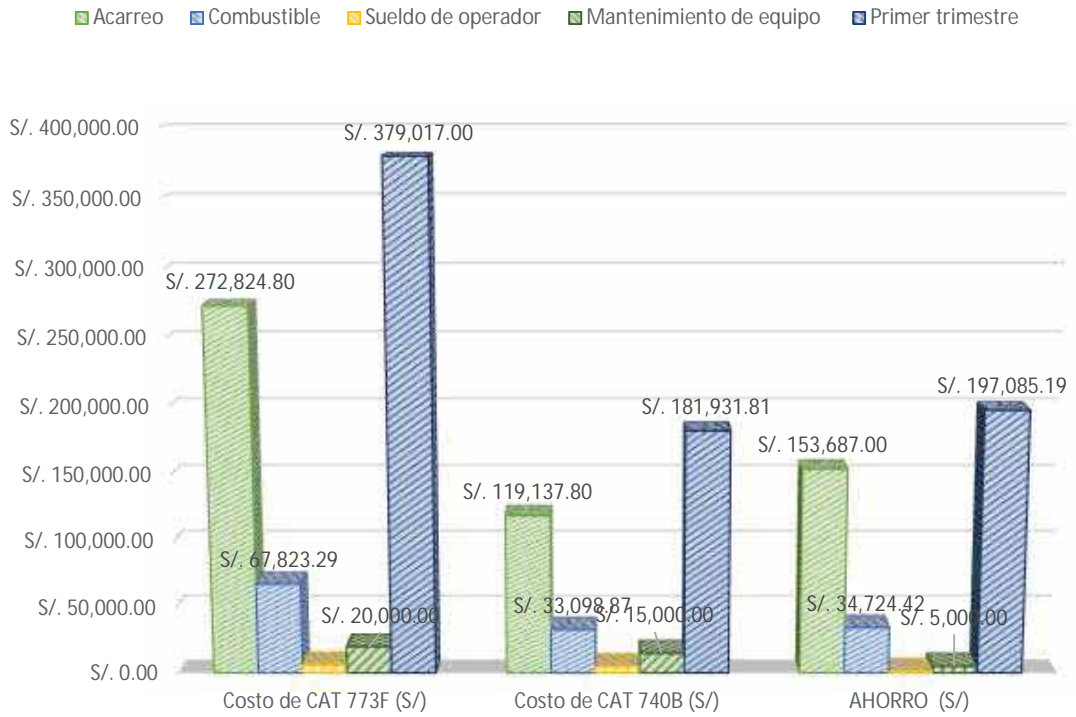
Luego de realizar los cálculos necesarios se demostró que la implementación del camión articulado CAT 740B es una mejor opción para el acarreo de material grava para el confinamiento de explosivos.

Tabla 23: Resumen de ahorro por la implementación de camión articulado 740B

Ítem	Descripción	Costo de CAT 773F (S/)	Costo de CAT 740B (S/)	AHORRO (S/)	Tonelaje acarreado (Tm)	Costo unitario CAT 773F (S//Tm)	Costo unitario CAT 740B (S//Tm)
1	Acarreo	272,824.80	119,137.80	153,687.00	19,857.07	13.74	6.00
2	Combustible	67,823.29	33,098.87	34,724.42	19,857.07	3.42	1.67
3	Sueldo de operador	6,122.97	4,898.38	1,224.59	19,857.07	0.31	0.25
4	Mantenimiento de equipo	20,000.00	15,000.00	5,000.00	19,857.07	1.01	0.76
5	Primer trimestre	379,017.00	181,931.81	197,085.19	19,857.07	19.09	9.16
6	Año 2018	1,516,068.00	727,727.24	788,340.76	79,428.28		

Fuente: elaboración propia

Grafico 7: Ahorro trimestral asociado al acarreo de grava



Fuente: elaboración propia

CONCLUSIONES

1. El empleo de un camión rígido Caterpillar 773F en el acarreo de material grava para el confinado de una mezcla explosiva comercial es limitado ya que al tener un solo cuerpo lo limita en su traslado en curvas o al momento de ingresar a zonas angostas para realizar la descarga, el tiempo de acarreo es mayor debido a que disminuye su velocidad en las pendientes pronunciadas de las vías de acarreo, el área de visibilidad del operador es menor, mayor consumo de combustible además del pago de sueldos altos a operadores.
2. El camión articulado CAT 740B tiene mayor velocidad en pendientes fuertes, presenta mayor versatilidad al momento de ingresar a la zona de descarga, el tiempo empleado en el acarreo del material grava es menor al del camión rígido 773F, este equipo tendrá rendimiento mayor de 5 % por hora desde la plataforma del tramo 1 al sector alto Jahuapaylla,
3. El número de camiones articulados que satisfacen el requerimiento de material grava por parte del área de voladura será de una unidad, esto debido a que la cantidad de horas necesarias no exceden las 10.74 horas de trabajo efectivo por día, el ahorro anual total es 788,340.76 soles y con un ahorro de 9.93 soles por Tm de grava.

RECOMENDACIONES

1. Se debe realizar un estudio técnico-económico de los equipos que se van a emplear en los trabajos de carguío y acarreo, tomando en cuenta las características de las vías, accesos y secuencia de trabajos que se tendrán durante la vida de la operación minera, así mismo es de suma importancia verificar las características técnicas de los equipos y su posible desempeño en los lugares de trabajo.
2. El estudio de tiempos en función a las características y desenvolvimiento de los equipos de acarreo es de suma importancia ya que muchos equipos de menor capacidad (toneladas) llegan a tener un rendimiento igual o mayor a un equipo de mayor capacidad de acarreo. La implementación de equipos de dos cuerpos (articulados) es recomendable para acarrear material que tengan una zona de descarga estrecha.
3. Así como en el proceso de acarreo de grava se recomienda realizar el estudio para determinar el número ideal de camiones de acarreo en las diversas áreas de trabajo, esto en función de su desenvolvimiento en campo, características de los equipos (no solo capacidad de carga) y las horas de trabajo necesarias para completar lo planificado.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

- Caterpillar INC. (2013). *Manual de rendimiento* (Trigésimo primero ed.). Peoria, Illinois, EE. UU.
- Cherné, J., & González, A. (2005). *Movimiento de tierras* (Quinta ed.). España: Universidad de Cantabria.
- CNC-LAVALIN PERU. (2018). *Resumen ejecutivo de la tercera modificatoria del estudio de impacto ambiental de la unidad minera Las Bambas*.
- GMI. (2018). Plano de vias del tajo Ferrobamba. Perú.
- MMG Las Bambas. (2018). Curso de transito por la izquierda en operaciones mina. Perú.
- MMG Las Bambas. (2018). *Informe de desempeño de equipos de operaciones mina*. Perú
- MMG Las Bambas. (2018). *Recuento de equipos mina*. Perú.
- Orica. (2018). *Informe diario de voladura*. Las Bambas.
- Peurifoy, R. L., Schexnayder, C. J., & Shapira, A. (2011). *Construction, planning. Equipment and Methods* (Octava ed.). Inventory.
- Auccapure Flores, L. R. (2018). *Evaluación del sistema de carguío– acarreo en el movimiento para construcción de drenes y canales en la zona de minado - alto jahuapaylla - unidad minera las bambas - cotabambas - apurimac. peru*.
- Camara Minera del Peru. (2010). *Modulo voladura superficial*.
- MMG. (2019). *Las Bambas*. Obtenido de www.lasbambas.com/excelencia-operativa
- Romero, R. (2015). *Blog de voladura de rocas*. Obtenido de <http://royer92voladura.blogspot.com/2015/12/disenio-e-importancia-del-taco-en.html>
- Google maps. (2019). Obtenido de <https://www.google.com/maps/dir/Lima/Las+Bambas,+Cotabambas+03260/@-13.1914115,-75.7656436,8z/data=!3m1!4b1!4m13!4m12!1m5!1m1!1s0x9105c5f619ee3ec7:0x14206cb9cc452e4a!2m2!1d-77.042754!2d-12.0463731!1m5!1m1!1s0x916c13a20869e741:0xca347b7d668f39b6!2m2!1d-72>.
- INGEMMET. (2019). *GEOCATMIN*. Obtenido de <http://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/>
- Jesmin. (2015). Manual de operaciones de planta concentradora Las Bambas. Perú. Obtenido de <http://www.jesmin.com/manuallasbambas>
- Michelin. (2019). *Michelinearthmover*. Obtenido de http://www.michelinearthmover.com/esl_la/Bienvenido/Minas-de-superficie
- XSTRATA LAS BAMBAS. (2007). PLANO LITOLÓGICO.
- XSTRATA PERU S.A. (2004). Plano geológico de Las Bambas.