

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

“PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE CARGA Y
TRANSPORTE EN UNA CANTERA DE CALIZAS UBICADA EN EL KM 12 ½
VÍA A LA COSTA.”

PROYECTO DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERA EN MINAS

Presentado por:

Andrea Carolina Mina Zavala

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2016

AGRADECIMIENTO

A mi hija Frida Lamilla porque con tu existencia me motivas a soñar y cumplir mis objetivos.

A mi madre María Mercedes Zavala Cedeño por confiar en mí y siempre brindarme su amor.

A Diego Lamilla por ser incondicional y ofrecerme su apoyo en cada momento.

A mis hermanos Ivanna, Ronnaldo, Byron, Bruno, Valentina y Mikaela por extenderme su alegría y motivarme a ser un ejemplo para ustedes.

Al Ing. Marco Tinoco por compartir sus conocimientos sin limitaciones, por su predisposición en todo momento y por su siempre amigable trato.

Al Ph.D Richard Banda por ser la guía fundamental en la elaboración de este documento.

Andrea Carolina Mina Zavala

DEDICATORIA

A mi madre María Mercedes Zavala
Cedeño porque te lo mereces todo, porque
este logro es de las dos, porque lo hemos
soñado juntas desde que tengo memoria,
y llegó el día en el que lo logramos, juntas,
como desde el principio.

Andrea Carolina Mina Zavala

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Dr. Richard Banda
Tutor del Proyecto

Dr. Paúl Carrión
Miembro evaluador

Ing. Juan Carlos Pindo
Miembro evaluador

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

Andrea Carolina Mina Zavala

RESUMEN

El presente documento contiene el análisis de las operaciones de carga y transporte que se llevan a cabo en la explotación de una cantera de caliza ubicada en el Km 12 ½ vía a la costa, la identificación de los tiempos no productivos por maquinaria de carga y transporte, la identificación de las actividades más ineficientes que constituyen el ciclo de trabajo de las operaciones de carga y transporte, a partir de mediciones cronológicas a cada una de las actividades que componen el ciclo de trabajo del sistema de carga y transporte.

Los cálculos realizados permiten conocer las dimensiones y cantidades de las maquinarias de carga y transporte que producen los rendimientos efectivos más altos dentro de las labores.

Posterior a la selección de las combinaciones de maquinarias más idóneas según los rendimientos efectivos, se realizó el cálculo y el análisis de los costos operativos a estas combinaciones, de las cuales se pudo seleccionar la combinación de maquinaria más idónea según los costos operativos.

La Optimización del Sistema de Carga y Transporte se logra a partir del dimensionamiento en conjunto de la flota de maquinaria lo que permite evitar

pérdidas por incompatibilidad de sus capacidades y dimensiones, además de considerar factores propios de la explotación como la distancia de recorrido, estado y pendientes de las vías, el tipo de material a transportar, condiciones de la plataforma de trabajo entre otros.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	VII
ABREVIATURAS	XII
SIMBOLOGÍA.....	XIII
INTRODUCCIÓN	XXIII
1. ANTECEDENTES	26
1.1 Ubicación del Área de Estudio.	26
1.2 Trabajos anteriores.	28
1.3 Datos Generales de las Concesiones.	28
1.4 Marco Geológico-Geomorfológico.....	30
1.4.1 Geología Regional.	30
1.4.2 Geología Local: F.m San Eduardo.....	32
1.4.3 Topografía	34
1.5 Operaciones mineras	35
2. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	38
2.1 Definición del Problema	38
2.2 Justificación del Proyecto.	39
2.2.1 Impactos del proyecto.....	41
2.2.2 Variables independientes y dependientes de los procesos.	43

2.3	Objetivos.....	44
2.3.1	Objetivo general.....	44
2.3.2	Objetivos específicos.....	44
3.	MARCO TEÓRICO.....	45
3.1	Maquinaria utilizada en el sistema de carga y transporte.	45
3.1.1	Pala cargadora o cargador frontal.	45
4.	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.	52
4.1	Esquema de la Investigación.	52
4.2	Fase 1.....	52
4.3	Fase 2.....	53
4.4	Fase 3.....	54
5.	DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.	57
5.1	Análisis de las Operaciones Actuales del Sistema de Carga y Transporte.....	57
5.1.1	Plataforma de Trabajo.	61
5.1.2	Parque de máquinas.....	61
5.1.3	Tiempos de Ciclo de Trabajo del Sistema de Carga.....	62
5.1.4	Tiempos de Ciclo de Trabajo del Sistema de Transporte.	68
5.2	Determinación del Rendimiento de las Operaciones.	69
5.3	Tasas anuales de producción requerida.	72

5.4 Propuesta de equipos.	73
5.5 Cálculo de rendimientos de la maquinaria de carga propuesta.....	76
5.6. Cálculo de rendimientos de la maquinaria de transporte propuesta. ..	85
6. ANÁLISIS DE RESULTADOS.	125
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	127
7.1 CONCLUSIONES	127
7.2 RECOMENDACIONES.	129

ANEXOS

BIBLIOGRAFIA

ABREVIATURAS

a	Año
cic	Ciclo
cuc	Cucharada
ō	Densidad
d	Día
h	Hora
m ³	Metro cúbico
m	Metro
min	Minuto
seg	Segundo
ton	Ton
tur	Turno
u	Unidad
vi	Viaje

SIMBOLOGÍA

Cc	Capacidad del equipo de carguío
Ct	Capacidad del equipo de transporte
Ccc	Consumo de combustible por hora
CCc	Costo de capital por hora
CCC	Costo de capital por tonelada
CEc	Costo de energía por hora
CEC	Costo de energía por tonelada
CLc	Costo de Lubricantes por Hora
CLC	Costo de lubricantes por Tonelada
MOc	Costo de Mano de Obra por Hora
MOC	Costo de Mano de Obra por Tonelada
CMc	Costo de Mantenimiento y de Repuestos por Hora
CMC	Costo de Mantenimiento y de Repuestos por Tonelada
CNc	Costo de Neumáticos por Hora
CNC	Costo de Neumáticos por Tonelada
CDc	Costos Directos por hora
CDC	Costos Directos por tonelada
CTc	Costos Totales por Hora
CTC	Costos Totales por Tonelada
δ	Densidad del material
Db	Densidad del mineral en banco
Ds	Densidad del mineral volado
Da	Días al año
Dfa	Días feriado al año

Dla	Días Laborales anuales
Dlm	Días laborales mensuales
Dnl	Días no laborales
DPc	Días por periodo para el carguío y transporte
DFc	Disponibilidad física del equipo de carguío
DFt	Disponibilidad física del equipo
Di	Distancia de ida
Dr	Distancia de regreso
Fmc	Factor de equivalencia entre el costo de mantención y reposición del equipo:
Fmt	Factor de equivalencia entre el costo de mantención y reposición del equipo:
e	Factor de Esponjamiento:
FLc	Factor de llenado del equipo de carguío:
FLt	Factor de llenado del equipo de transporte:
Flc	Factor de lubricantes respecto a consumo de combustible para los equipos de carga:
Flt	Factor de lubricantes respecto a consumo de combustible para los equipos de transporte:
Utc	Factor de utilización del equipo de carguío:
UTt	Factor de utilización del equipo de transporte:
Foc	Factor operacional del equipo de carguío:
FOt	Factor operacional del equipo de transporte:

FM	Factor que castiga el sistema de carguío por la manipulación del material:
	Horas laborales al año:
Hla	Horas laborales al día:
Hld	Horas laborales al mes:
Hlm	Horas trabajadas por turno del carguío o transporte:
HTc	
NEC	Número de Equipos de carguío:
	Número de equipos de Transporte:
NET	Número de operadores del equipo de carga por período:
Noc	
Not	Número de operadores del equipo de transporte por período:
	Número de paladas para cargar al equipo de transporte:
NP	
Npp	Número de Paladas Promedio:
RPt	Rendimiento anual del equipo de transporte:
RPc	Rendimiento del equipo de carguío en el período:
RPt	Rendimiento del equipo de transporte en el período:
RDc	Rendimiento diario del equipo de carguío:
RDt	Rendimiento diario del equipo de transporte:
RHt	Rendimiento Horario del equipo de transporte:
RPc	Rendimiento por período del equipo de carguío:
Soc	Sueldo de operadores por período:
Sot	Sueldo de operadores por período:

Tcd	Tiempo de carga y descarga
Tc	Tiempo de Carga
TCc	Tiempo de ciclo del carguío
TCt	Tiempo de ciclo del transporte
Td	Tiempo de Descarga
Tmg	Tiempo de Giro y Maniobras
TMt	Tiempo de maniobras del equipo de transporte
Tt	Tiempo de Transporte ida y regreso
TVt	Tiempo de viaje del transporte
TVct	Tiempo de viaje del transporte cargado
TVdt	Tiempo de viaje del transporte descargado
Tct	Tiempo Operacional del Ciclo de Transporte
Tcc	Tiempo teórico de Ciclo del Equipo de Carga
T	Tonelaje de entrega al Proceso de Trituración anual
t	Tonelaje de entrega al Proceso de Trituración por hora
Ta	Turnos al día
TDc	Turnos trabajados por día para el carguío o transporte:
Vec	Valor de compra del equipo de carga:
Vet	Valor de compra del equipo de transporte:
Vnc	Valor de neumático del equipo de carga:
Vnt	Valor de neumático del equipo de transporte:
Vcc	Valor del combustible por unidad de consumo por el equipo de carga:

Vct	Valor del combustible por unidad de consumo por el equipo de transporte:
Vma	Velocidad máxima:
Vun	Vida útil de los neumáticos:
Vuc	Vida útil del equipo de carga en horas:
Vut	Vida útil del equipo de transporte en horas:
Vb	Volumen del balde del equipo de carguío:

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Vista Superior de las operaciones mineras de la empresa Calizas El Huayco S.A.....	26
Figura 2. Límites geométricos de las concesiones colindantes al Área de estudio.	27
Figura 3. Datos Generales de las Concesiones Progransa-Terraplein.	29
Figura 4. Datos Generales de la Concesión A Guay El Huayco.	30
Figura 5. Formaciones geológicas que constituyen la Región Litoral.	31
Figura 6. Calizas de la Formación San Eduardo en el área de Estudio.	32
Figura 7. Formación Geológica dominante en el área de Estudio.....	33
Figura 8. Topografía de la Concesión Minera.	34
Figura 9. Vista de la Planta Huayco de Calizas El Huayco S.A.	36
Figura 10. Clasificación de las concesiones por mineral.....	40
Figura 11. Producción anual de Principales Productos Mineros.	40
Figura 12. Aplicaciones de las excavadoras.	46
Figura 13. Aplicaciones de Palas Cargadoras vs Retroexcavadoras.....	48
Figura 14. Volquetes convencionales de dos y tres ejes.	50

Figura 15. Volquete de tipo tractor con remolque.	50
Figura 16. Volquete de tipo articulado.....	51
Figura 17. Frentes de Trabajo, Punto de Inicio del ciclo de Trabajo.	58
Figura 18. Carga de Material en el Nivel 2.	59
Figura 19. Plataforma de trabajo del nivel 3.....	61
Figura 20. Carga del material en el nivel 2.....	65
Figura 21. Clasificación del equipo de transporte según su capacidad y campo de aplicación.	75
Figura 22. Consumo de combustible de camiones articulados.	112

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Incidencia del sistema de carga y transporte en los costos operativos en minería.	41
Gráfico 2. Clasificación de los volquetes según su diseño.	49
Gráfico 3. Esquema general utilizado en el desarrollo del presente Trabajo.	52
Gráfico 4. Actividades realizadas en el Apartado de Trabajo de Escritorio, Fase 1.....	53
Gráfico 5. Actividades realizadas en el Apartado de Trabajo de Campo.	54
Gráfico 6. Actividades realizadas en la Fase 3.	56
Gráfico 7. Esquema del área donde se realizaron las mediciones.	58
Gráfico 8. Flujo del Sistema de Carga y Transporte.	64
Gráfico 9. Relación porcentual de las actividades del ciclo de trabajo.....	66
Gráfico 10. Distribución Porcentual de las Actividades que componen el ciclo de trabajo del Sistema de Carga y Transporte.....	67
Gráfico 11. Relación de los tiempos productivos versus los tiempos muertos de las excavadoras.	68
Gráfico 12. Rendimiento horario de la maquinaria de carga propuesta.	85
Gráfico 13. Combinaciones de maquinarias propuestas versus rendimientos horarios.....	111

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Característica de la trituradora primaria.....	35
Tabla 2. Productos de la Planta Huayco – Cal y Carbonatos.	37
Tabla 3. Impactos Locales Positivos y Negativos producidos por la ejecución de este proyecto.	42
Tabla 4. Variables dependientes e independientes del proyecto.....	43
Tabla 5. Propiedades de las excavadoras hidráulicas y las palas cargadoras frontales.	47
Tabla 6. Descripción de las unidades de tiempo laboral.....	60
Tabla 7. Descripción de la maquinaria utilizado en el Sistema de carga y transporte actualmente.	62
Tabla 8. Tiempos promedio del ciclo de trabajo del sistema de carga y transporte.....	64
Tabla 9. Tiempos Muertos para el Sistema de Carga.	67
Tabla 10. Representación en porcentaje de los tiempos no productivos con respecto al tiempo efectivo.	69
Tabla 11. Factores operacionales utilizados en el cálculo del rendimiento actual.	69
Tabla 12. Rendimientos de las operaciones medidas.	72

Tabla 13. Maquinaria de carga propuesta.	74
Tabla 14. Maquinaria de Transporte propuesta.	75
Tabla 15. Parámetros Considerados para calcular el rendimiento de la cargadora de ruedas CAT988B.	76
Tabla 16. Valores obtenidos de los cálculos.....	78
Tabla 17. Parámetros Considerados para calcular el rendimiento de la excavadora hidráulica Doosan Giant 500 LCV.	79
Tabla 18. Valores obtenidos de los cálculos.....	81
Tabla 19. Parámetros Considerados para calcular el rendimiento de la excavadora hidráulica CAT 320DL.	82
Tabla 20. Valores obtenidos de los cálculos.....	83
Tabla 21. Rendimiento de los equipos de carga propuestos.	84
Tabla 22. Tiempo de ciclo de trabajo teórico de un equipo de transporte. ...	86
Tabla 23. Resultado de los rendimientos horarios de las 12 combinaciones de maquinarias propuestas.....	110

INTRODUCCIÓN

Las concesiones de materiales áridos y de no metálicos en el país representa el 58,3% del total de materiales explotados, de esto se desprende la necesidad de optimizar los sistemas de explotación en pro del desarrollo laboral, disminución de los impactos ambientales, tecnicidad del sector minero y el beneficio social que las actividades mineras generan.

Calizas “El Huayco S.A” es una empresa que explota materiales de áridos para la construcción, cales y carbonatos, el sistema de explotación implementado se compone de las siguientes fases: Destape, Perforación, Voladura, Carga, Transporte, Trituración, Clasificación, Almacenamiento y Despacho.

En un sistema de explotación a cielo abierto, las operaciones de Carga y Transporte conllevan la mayor cantidad de análisis debido a que sus dimensiones y características se encuentran directamente asociadas entre sí, por esto los cálculos del dimensionamiento de la maquinaria que conforman el sistema de Carga y Transporte deben realizarse conjuntamente.

Los equipos seleccionados en esta etapa de producción se encuentran relacionados directamente con las características de la mina, tales como

geométricas (altura de banco, ancho de plataforma de trabajo, ancho de vías), físicas y químicas (dureza y abrasividad, granulometría, grado de meteorización, humedad, entre otras) y productivas (rendimientos, tiempos de ciclo).

En esta etapa de producción principalmente lo que se realiza es la movilización del material resultante de la voladura por parte de la maquinaria del Sistema de Carga desde el frente de explotación hasta las maquinarias del Sistema de Transporte, las mismas que se encargan de movilizar este material a zonas parciales o finales, como botaderos, acopios de mineral de alto, mediano y bajo interés, en este caso de estudio hasta la trituradora.

Las actividades que se llevan a cabo dentro del Sistema de Carga y Transporte producen los mayores costos dentro de todo el Sistema de explotación minero debido a que en estas se involucran altos grados de mecanización, bajos rendimientos productivos, grandes cantidades de maquinarias y recurso humano, obteniéndose costos operativos de aproximadamente el 45% y el 65% de los costos totales de la operación de la mina, los mismos que pueden variar dependiendo de las condiciones en las que se produzcan las actividades de explotación. Los costos operativos del Sistema de carga se encuentran en un rango del 10% al 20%, mientras que los costos operativos del Sistema de Transporte van desde un 35% a un 45%.

El tonelaje a mover por la maquinaria se encuentra restringido por la capacidad de la trituradora de 650 toneladas por hora, por el tiempo de ciclo de la maquinaria y por los factores de pérdidas en el sistema.

Dentro de las características propias de cada una de las fases de explotación utilizadas en la actualidad, se propone con este estudio identificar y analizar las deficiencias existentes en el Sistema de carga y Transporte, e implementar un sistema de optimización en las labores de carga y transporte, en las que se considerará la maquinaria idónea de carga y de transporte, con el fin de disminuir costos y aumentar la productividad.

CAPÍTULO 1

1. ANTECEDENTES

1.1 Ubicación del Área de Estudio.

La empresa minera Calizas el Huayco S.A. se encuentra ubicada en la provincia de Guayas, ciudad de Guayaquil, parroquia Chongón, en el sector del Cerro Azul en el Km 12 vía a la costa, sus actividades principales radican en la explotación de una cantera y el procesamiento de estos materiales y como resultado la elaboración de áridos para la construcción, calizas y carbonatos.



Figura 1. Vista Superior de las operaciones mineras de la empresa Calizas El Huayco S.A.
Fuente: Campoverde, K. (2013).

El estudio realizado se desarrolla dentro de las concesiones Progransa-Terraplein y A Guay El Huayco, los mismos que son explotados por la empresa minera Calizas el Huayco S.A., en Progransa-Terraplein se encuentran los frentes de explotación desde donde inician las actividades de carga y en la concesión A Guay El Huayco se encuentra ubicada la trituradora en la que se descargan los materiales.



Figura 2. Límites geométricos de las concesiones colindantes al Área de estudio.
Fuente: Mina, A. (2016).

1.2 Trabajos anteriores.

Los trabajos realizados por técnicos investigadores universitarios en la empresa se han enmarcado en los siguientes aspectos:

- Elaboración de un manual para la implementación de un sistema de Gestión ambiental basado en la norma ISO14001 para una industria de calizas y agregados en el año 2006 por la Escuela Superior Politécnica.
- Estudio de coordinación de protecciones eléctricas usando métodos computarizados aplicados a Calizas El Huayco S.A. en el año 2009 por la Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Impacto ambiental al recurso aire generado por las actividades mineras en la zona urbana desde el kilómetro 10 al kilómetro 14 del sector noroeste del cantón Guayaquil en el año 2013 por la Universidad de Guayaquil.

1.3 Datos Generales de las Concesiones.

1.3.1 Concesión Progransa-Terraplein.

Las concesiones tienen como titular mineros Productos de Granitos S.A y código 66 y 2993 respectivamente, tienen un área registrada de 2 Ha cada

una, el material de manifiesto es caliza, se encuentran en la Fase de explotación y sus coordenadas son 612.067 X, 9'759.680 Y en el sistema de referencia WGS84.

DATOS	
Nombre de la Concesión:	Progransa-Terraplein
Código:	Progransa: 66
	Terraplein: 2993
Ubicación:	Provincia: Guayas
	Cantón: Guayaquil
	Parroquia: Tarqui
Titular Minero:	Productos de Granito S.A. PROGRANSA
Representante Legal:	Ing. Fernando Rodríguez Fernández
Domicilio:	Km 14.5 vía Alborada -Pascuales
Fase:	Explotación
Tipo de actividad minera:	Minerales No metálicos.
Material principal de explotación:	Caliza
Materiales secundarios de explotación:	Lutita Silicea de la Formación Guayaquil (a futuro)
Superficie total de concesión:	Progransa: 2 Ha
	Terraplein: 2 Ha
Superficie Manifestada en Producción:	Progransa: 1 Ha
	Terraplein: 2 Ha

Figura 3. Datos Generales de las Concesiones Progransa-Terraplein.
Fuente: Campoverde, K. (2013).

1.3.2 Concesión A Guay El Huayco.

La concesión minera A GUAY EL HUAYCO tiene como titular a MIRBET S.A. se encuentra en la Fase de explotación con un área registrada de 761.698,86

m², con código de zona N° 17 y tiempo otorgado 256 semanas desde el 20/09/2001.

DATOS	
Nombre de la Concesión:	A GUAY EL HUAYCO
Código:	124
Ubicación:	Provincia: Guayas
	Cantón: Guayaquil
	Parroquia: Chongón
Titular Minero:	Holcim Agregados S.A.
Representante Legal:	Ing. Mauricio Rada Hinojosa
Domicilio:	Urbanización San Eduardo 1, Avenida Barcelona s/n y José Rodríguez Bonín. Edificio El Caimán - Piso 2. Guayaquil.
Fase:	Explotación.
Tipo de actividad minera:	No metálicos.
Material principal de explotación:	Caliza
Materiales secundarios de explotación:	---
Superficie total de concesión:	79,17 Ha
Superficie Manifestada en Producción:	79,17 Ha

Figura 4. Datos Generales de la Concesión A Guay El Huayco.

Fuente: Campoverde, K. (2013).

1.4 Marco Geológico-Geomorfológico.

1.4.1 Geología Regional.

La Región Costa se encuentra localizada sobre formaciones geológicas de origen marino y formaciones de origen sub-litoral-continental de la cuenca hidrográfica del río Guayas.

El basamento de la región está constituido por rocas volcánicas correspondientes a la formación Piñón, específicamente rocas basálticas, diabasas y piroclastos.

La formación Cayo (Cretáceo Superior) se encuentra sobre-yaciendo a la formación Piñón, se divide en tres miembros geológicos: El miembro basal se denomina Calentura, sobre-yaciendo encontramos al miembro Cayo SS y en la parte superior encontramos al miembro Guayaquil. Esta formación se encuentra constituida por rocas de origen volcánico-clásticas, constituidas principalmente de lutitas, limonitas tobáceas, areniscas tobáceas, aglomerados y grauvacas.

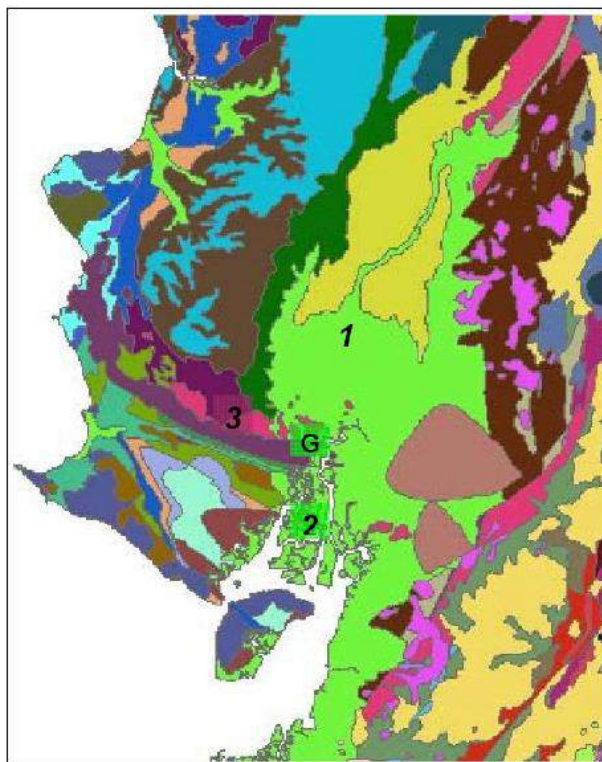


Figura 5. Formaciones geológicas que constituyen la Región Litoral.
Fuente: Benítez, E. (2005).

1.4.2 Geología Local: F.m San Eduardo.

La concesión se desplaza sobre la formación San Eduardo constituida litológicamente en su mayoría de roca caliza, del tipo turbidíticas y clásticas compactas compuestas de granos y fragmentos de origen marino con presencia de lutitas calcáreas y cherts, posee un espesor de 200m aproximadamente. Ver figura 6.



Figura 6. Calizas de la Formación San Eduardo en el área de Estudio.
Fuente: Mina, A. (2016).

La Formación San Eduardo está conformada por dos miembros:

Miembro San Eduardo y el Miembro Javita:

El primero de estos conforma la base de la Formación se caracteriza por la presencia de fragmentos de algas arrecifales, cherts y guijarros de calcilutitas, ver figura 7. El miembro Javita por su parte constituye la sección superior de la Formación en general se encuentra compuesta de calcarenitas alternado con brechas y conglomerados.

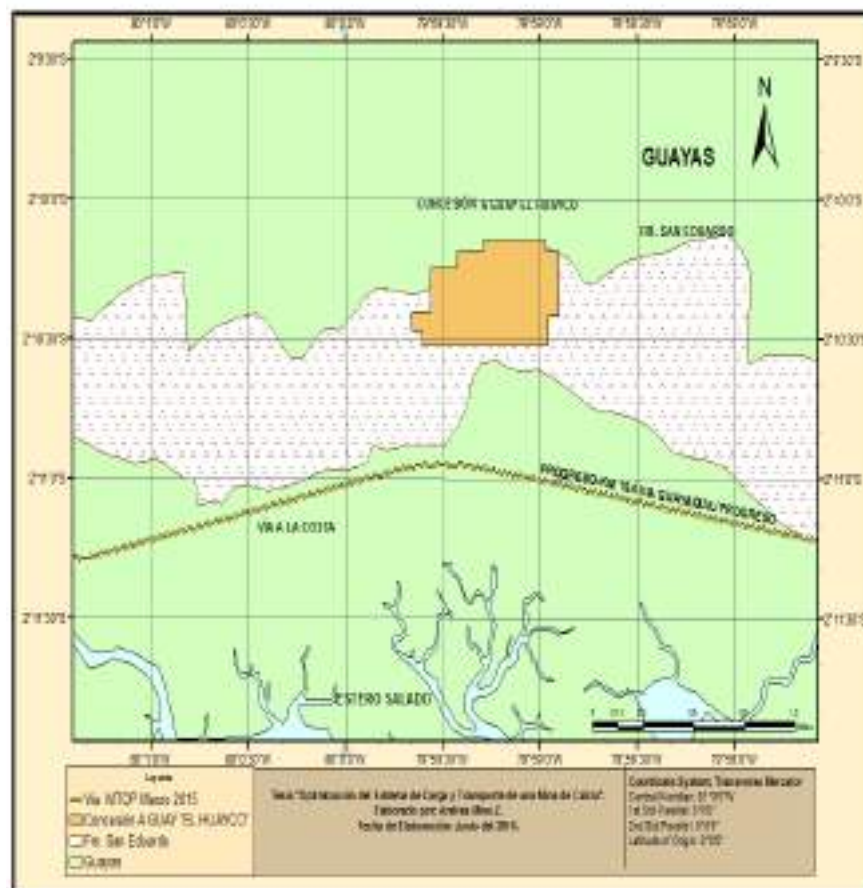


Figura 7. Formación Geológica dominante en el área de Estudio.
Elaborado por: Mina, A. (2016).

1.4.3 Topografía

La zona de estudio se caracteriza por ser una topografía muy variada, debido a las explotaciones mineras que se desarrollan. En general la topografía es plana con presencia de elevaciones como las pertenecientes a la Cordillera Chongón-Colonche, en dirección sur se observan superficies de bajos relieves en la que se sitúan construcciones residenciales, extendiéndose hasta el manglar del Estero Salado. La topografía de la concesión varía desde cotas $z = 270\text{m}$ como máxima hasta la cota $z = -6$ metros. Ver figura 8.



Figura 8. Topografía de la Concesión Minera.
Fuente: Mina, A. (2016)

1.5 Operaciones mineras

La empresa minera Calizas Huayco S.A. opera las concesiones A Guay El Huayco, Progransa-Terraplein, de las cuales se comparte información, personal y equipos según Coello, J. (2014). Los yacimientos de las concesiones poseen similitudes geológicas, geomorfológicas, mineralógicas, topográficas y geométricas.

Calizas Huayco S.A. posee una planta de trituración y clasificación con una capacidad efectiva instalada de 650 ton/hora. Ver tabla 1.

Tabla 1. Característica de la trituradora primaria.

Marca	Modelo	Potencia	Capacidad teórica
		Unidades	
		KW	Ton/h
Babbittles	BP38DD	257	700

Fuente: Mina, A. (2016).

Los procesos de trituración están diseñados para asegurar el cumplimiento de la normativa legal y las normas ASTM y MTOP. Además de esto se realizan ensayos continuos de laboratorio, a la producción, con el objetivo de registrar y controlar los parámetros de calidad de los productos.

El sistema de explotación se inicia con el destape o limpieza de los frentes de explotación luego con la perforación y voladura del material, con la roca

fragmentada se realiza la carga y el transporte de los materiales a la planta de procesamiento donde se tritura y se clasifica el material, finalmente se almacena y se despacha el producto final. Ver Figura 9.



Figura 9. Vista de la Planta Huayco de Calizas El Huayco S.A.
Fuente: Bermudez, J y Paredes, C. (2006).

Los materiales que produce específicamente la planta son: cementina, cal, calciomar, albalux, carbonacal, carbonato fertilizante, ver tabla 2. Para efectos de describir los procesos de producción de la Planta Huayco es

necesario dividir dichos procesos en dos grandes grupos: la producción de agregados y la producción de cales.

Tabla 2. Productos de la Planta Huayco – Cal y Carbonatos.

Nombre	Usos
Cementina	Componente de mortero o cemento de albañilería
Cal P-24	Encalado y desinfección de piscinas; potabilización de agua; tratamiento de pozos sépticos; industrialización de caña de azúcar, pieles, fundiciones de metales, etc.
Albalux	Pintar o blanquear interiores y exteriores, tumbados, muros, cercas, árboles, etc.
Calciomar	Encalado de suelos; neutralizar acidez; aumentar dureza por aporte de calcio, magnesio, fósforo; desinfección.
Carbonacal	Encalado de suelos; estabilización de pH de piscinas camaroneras; alimentos balanceados, etc.
Carbonato Fertilizante	Preparación de fertilizantes agrícolas.

Fuente: Bermudez, J y Paredes, C. (2006).

CAPÍTULO 2

2 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.

2.1 Definición del Problema

La producción de las operaciones mineras se rigen por la capacidad efectiva de la trituradora 650 ton/h, siendo una de las más altas capacidades instaladas en el país, las actividades que se realizan en la Fase de Explotación poseen diferentes parámetros que deben ser controlados para de esta forma mitigar los impactos ambientales, cumplir con las normativas legales, ASTM y MTOP, y maximizar los beneficios de esta operación ya que los mismos son de gran magnitud debido a la alta producción de esta empresa.

Se conoce que el sistema de carga y transporte no se encuentra exitosamente coordinado ya que los equipos que operan la carga y transporte son utilizados según la disposición de la empresa contratada, es decir esta fase de producción no se realiza con los equipos debidamente dimensionado, de lo cual se deriva pérdida de tiempos ya que la secuencia de trabajo no es eficiente; pérdidas económicas, mayor contaminación, debido a la cantidad de viajes extras improductivos en la actualidad.

El sistema de carga y transporte opera con 2 excavadoras modelo Doosan 500LCV de capacidad de carga de 2 a 3,6 cada una y 4 dumpers de los que uno de ellos posee 24,2 m³ de capacidad y los tres faltantes 40 m³ de capacidad de transporte.

El tiempo improductivo de cada una de las excavadoras supera el 50% del tiempo efectivo de las operaciones

2.2 Justificación del Proyecto.

La minería de materiales áridos y no metálicos posee más del 50% de concesiones inscritas y otorgadas en el país, de aquí la importancia de su tecnicidad y eficiencia, permitiendo aumentar la vida de estos proyectos de tal manera que se disminuyan los impactos negativos al medio y se maximicen los beneficios que de estas operaciones surgen. Ver Tabla 3.

	Materiales de construcción	Metálicos	No metálicos	n/d*	Total
Número de concesiones	897	725	294	137	2.052
	43,7 %	35,3%	14,3%	6,7%	100
Superficie (ha)	33.643	889.608	42.913	46.660	1'012.824
	3,3%	87,8%	4,2%	4,6%	100

Figura 10. Clasificación de las concesiones por mineral.

Fuente: Sacher, W. Base de datos: Elementos estadísticos de la minería en el Ecuador. (2011)

La explotación de caliza representa el 63% de la producción de los principales minerales no metálicos en el año 2014, siendo su producción la más alta desde el año 2005, en el año 2014 se obtuvo 6'319.428,21 tons según ARCOM (2014), Tabla 4.

SECTOR MINERO								
PRODUCCIÓN ANUAL PRINCIPALES PRODUCTOS								
	ORO	PLATA	ANICLA	CALIZA	CAOLIN	FELDSPATO	SEICE	POMEX
	Kilogramos	Kilogramos	Toneladas	Toneladas	Toneladas	Toneladas	Toneladas	Toneladas
2005	5.237,68	281,30	1.218.116,11	4.814.914,36	25.078,28	38.245,69	87.189,55	616.777,24
2006	5.548,20	158,83	1.300.143,56	5.456.546,18	11.556,31	67.861,54	96.308,17	207.868,98
2007	6.187,71	488,96	1.413.418,91	6.316.616,43	18.617,68	61.557,29	21.907,40	961.652,78
2008	4.150,89	504,19	1.577.912,81	5.368.498,39	42.015,98	96.888,86	24.799,13	1.014.896,34
2009	5.591,18	110,80	1.276.526,25	4.998.872,94	28.775,00	111.889,87	71.920,57	914.517,44
2010	4.592,76	1.188,92	1.404.852,88	3.862.307,81	41.085,40	156.888,09	60.058,80	718.567,82
2011	4.925,33	1.389,08	2.016.017,00	5.308.485,09	95.081,80	181.498,39	81.174,68	803.317,31
2012	5.138,94	2.034,24	1.940.506,40	6.283.872,10	42.563,00	151.590,17	136.806,40	911.316,20
2013	8.676,43	1.184,18	1.812.486,66	6.818.291,04	100.194,74	210.161,38	90.564,77	1.715.849,88
2014	7.321,11	577,69	1.730.986,73	6.319.428,21	40.296,26	183.250,13	80.868,95	1.718.944,21

Figura 11. Producción anual de Principales Productos Mineros.

Fuente: ARCOM. (2014)

La discontinuidad de los procesos llevados en esta etapa del sistema de explotación conlleva a realizar una identificación de los puntos donde se

producen tiempos muertos y paradas innecesarias de los equipos, lo cual lleva a pérdidas económicas.

El proyecto se focaliza en presentar un sistema de carga y transporte más eficiente ya que esta fase representa aproximadamente el 45% y el 65% de los costos operativos totales de un proyecto minero a cielo abierto, Ver Gráfico1.

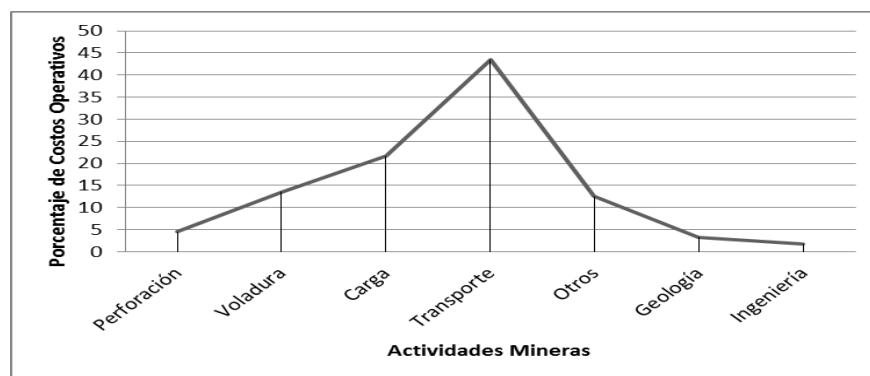


Gráfico 1. Incidencia del sistema de carga y transporte en los costos operativos en minería.
Modificado por Mina, A. (2016) de Cruzat, A. (2008).

Los equipos de carga y transporte utilizados en esta etapa de producción son proporcionados por una empresa de alquiler de maquinarias, es decir los equipos que actualmente desarrollan las actividades de carga y transportan varían según la disposición de los mismos. En respuesta a esta problemática surge la necesidad de dimensionar la maquinaria necesaria para mover el tonelaje requerido, seleccionar los modelos y las marcas convenientes que se ajusten a los cálculos.

2.2.1 Impactos del proyecto.

La realización de este proyecto influirá de diferentes formas al medio local, para analizar los diferentes impactos que de este proyecto se derivan.

Los impactos locales se refieren a todo lo que puede ser afectado y se relaciona a la empresa y a las áreas cercanas que conlindan con la misma, los mismos que pueden ser impactos positivos o impactos negativos de diferente índole. Ver tabla 5.

Tabla 3. Impactos Locales Positivos y Negativos producidos por la ejecución de este proyecto.

Impactos Locales		
	Positivos	Negativos
Tecnicidad de los procesos.	X	
Aumento de la producción.	X	
Correcta secuencia y logística de las actividades.	X	
Seguridad laboral.	X	
Maximización de la vida del Proyecto minero.	X	
Mayor beneficio económico.	X	
Aumento del tiempo de vida de la maquinaria y equipos	X	
Ahorro energético.	X	
Disminución de la pérdida de materiales en la fase de transporte.	X	
Pérdida de cubierta vegetal.		X
Contaminación del aire.		X
Contaminación del agua.		X
Contaminación por vibración y ruido.		X
Contaminación visual.		X

Fuente: Mina, A. (2016).

Los impactos negativos que se derivan de la ejecución de este proyecto son los impactos ambientales que producen todas las actividades mineras a cielo abierto de materiales áridos y no metálicos de los que se conocen que existen diferentes actividades de mitigación y control de estos impactos, es decir de la optimización del sistema de carga y transporte no se originan impactos negativos que no puedan ser controlados. Sin embargo, los impactos positivos que se observan proporcionan grandes beneficios para la empresa de aquí la importancia de la ejecución del proyecto.

2.2.2 Variables independientes y dependientes de los procesos.

Este apartado describe las diferentes variables que se estudiarán y analizarán en este proyecto las mismas que son aquellas características que modificadas nos permitirán cumplir con el objetivo de este proyecto.

Tabla 4. Variables dependientes e independientes del proyecto.

VARIABLES DEPENDIENTES	VARIABLES INDEPENDIENTES
Ancho de la Plataforma de trabajo.	• Ritmo de producción.
Ancho de la vía	• Tamaño máximo de la maquinaria de transporte • Secuencia y logística de Transporte.
Maquinaria cargadora	• Capacidad de la maquinaria de transporte. • Producción por hora. • Secuencia y logística de Trabajo.
Maquinaria de Transporte	• Producción por hora. • Secuencia y logística de trabajo
Almacenamiento	• Producción y Stock. • Topografía del área.

Fuente: Mina, A. (2016).

2.3 Objetivos.

2.3.1 Objetivo general.

- Elaborar una propuesta que permita optimizar el Sistema de Carga y Transporte de una mina de caliza a través del análisis de rendimientos horarios y análisis de costos operativos.

2.3.2 Objetivos específicos.

- Analizar la situación actual del sistema de carga y transporte.
- Proponer combinaciones de maquinarias de carga y transporte
- Calcular y analizar el rendimiento horario de las maquinarias propuestas.
- Calcular y analizar los costos operativos de las maquinarias con rendimientos horarios más altos.

CAPÍTULO 3

3. MARCO TEÓRICO.

3.1. Maquinaria utilizada en el sistema de carga y transporte.

3.1.1. Pala cargadora o cargador frontal.

Es una máquina generalmente emplazada sobre ruedas, está compuesta por una cuchara frontal, su sistema de brazo articulado y su estructura de soporte. El objetivo de esta máquina es cargar y excavar materiales en grandes cantidades, pero poseen baja capacidad selectiva.

3.1.2 Retrocargadora.

Es una máquina emplazada sobre ruedas, que utiliza una cuchara frontal para cargar material y una cuchara trasera de menor capacidad generalmente para fines de excavación.

3.1.3 Excavadora hidráulica.

Es una máquina que puede estar emplazada sobre ruedas u orugas, su estructura de soporte es capaz de girar 360° y descargar el material sin necesidad de desplazar el equipo, posee una cuchara fijada a un brazo.

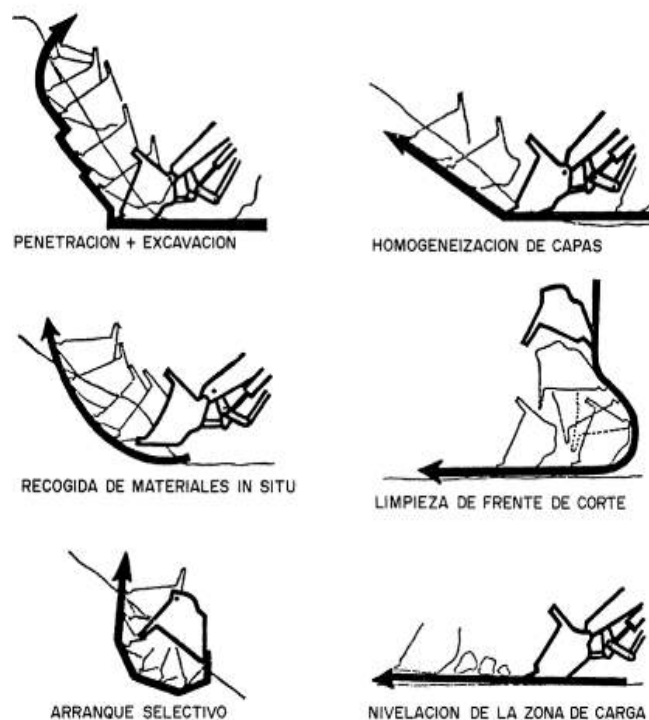


Figura 12. Aplicaciones de las excavadoras.
Fuente: IGME, (1995).

3.2 Comparación de propiedades de maquinaria de carga de interés.

Las maquinas cargadoras que estudiaremos son las cargadoras frontales y las excavadoras hidráulicas de las que tomaremos capacidades de cucharón

que varían en un rango de 1,2 a 5,4 para analizar posteriormente sus rendimientos.

Tabla 5. Propiedades de las excavadoras hidráulicas y las palas cargadoras frontales.

Excavadora	Pala frontal
Inversión media.	Inversión media.
Vida media (5 – 10 años)	Vida media baja (5 años)
Costo de operación medio.	Costo de operación alto.
Valor residual pequeño.	Valor residual pequeño.
Capacidad del balde hasta 26 m3	Capacidad del balde hasta 26 m3
Fuerzas específicas de corte elevadas.	Fuerzas específicas de corte pequeñas.
Adecuada en terrenos compactos.	Adecuada en terrenos blandos o con materiales empujados con tractores de oruga.
Puede operar en terrenos blandos o duros según el ancho de la oruga.	Precisa de plataforma de trabajo firme y dura.
Puede trabajar por encima o por debajo del nivel de la máquina.	No puede operar por debajo del piso.
Alcance de excavación y altura de descarga elevada.	Alcance y altura de descarga medias.
Adecuada a alturas de banco y camiones grandes.	Adecuado a alturas de banco pequeñas y camiones medianos.
Ciclos de trabajo pequeños.	Ciclos de trabajo grandes. Rendimientos medios.
Rendimiento de carga elevado.	Anchura de la frente requerida media-grande.
Anchura de la frente requerida pequeña.	Máquina versátil de alta movilidad (equipo de carga, limpieza de frentes, transporte de material a cortas distancias, etc.).
Máquina de carga ideal en frentes fijas.	

Fuente: IGME. (1995).

Las excavadoras hidráulicas tienen ventajas sobre las palas cargadoras como la capacidad de trabajar en terrenos de difícil maniobrabilidad estos

pueden ser terrenos suaves o duros, el alcance de descarga es mayor, ciclos de trabajo cortos, mayor selectividad de los materiales, pueden trabajar con camiones de transporte de gran tamaño y rendimiento de carga elevado. Ver tabla 5.

Las características que consideraremos son la altura de descarga, el ancho del cucharón, tiempo de ciclo de carga, precio de adquisición, consumo de combustible entre otras.

Retroexcavadoras y Palas Retrocargadoras han sido excluidas de nuestro análisis debido a su baja aplicabilidad en las labores que se llevan a cabo, Ver figura 13.

TIPO DE OBRA	EQUIPO	
	FRONTAL	RETRO
a) Canteras, roca volada	XX	X
Frentes medios	XX	—
Frentes altos	—	—
b) Minas:		
Movimiento de escombros	XX	X
Movimiento de carbón	XX	XX
Arreglo selectivo:		
— Capas horizontales	XX	X
— Capas inclinadas	X	XX
Materiales muy blandos	—	XX
c) Obras Públicas:		
Excavación bajo agua	—	XX
Canales y zanjas	—	XX
Graveros	—	XX
Canchales	XX	X
Túneles	XX	—

LEYENDA:
 — (no recomendada o no posible)
 X (posible)
 XX (recomendada)

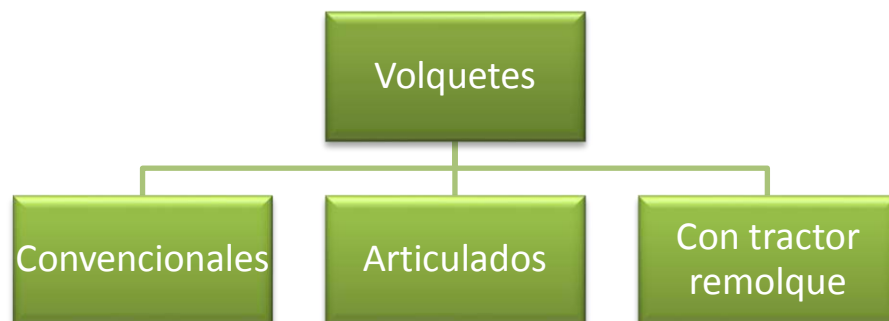
Figura 13. Aplicaciones de Palas Cargadoras vs Retroexcavadoras.

Fuente: IGME. (1995)

Volquetes.

Son unidades de transporte con diferentes aplicaciones según diseño y modo operativo, de los que tenemos:

Gráfico 2. Clasificación de los volquetes según su diseño.



Fuente: Mina, A. (2016).

Volquetes Convencionales.

Es la maquinaria de transporte más utilizada en minería a cielo abierto, esta maquinaria no puede transitar en carreteras debido a que sus grandes dimensiones y pesos superan los límites permisibles.



Figura 14. Volquetes convencionales de dos y tres ejes.

Fuente: IGME. (1995)

Volquete con tractor remolque.

Estas unidades están constituidas por una estructura tractora de uno o dos ejes, poseen alta maniobrabilidad pudiendo girar hasta en 90°, radios de giros pequeños en cualquier dirección, bajo consumo de combustible, baja inversión inicial, son más adecuados para transporte a largas distancias.

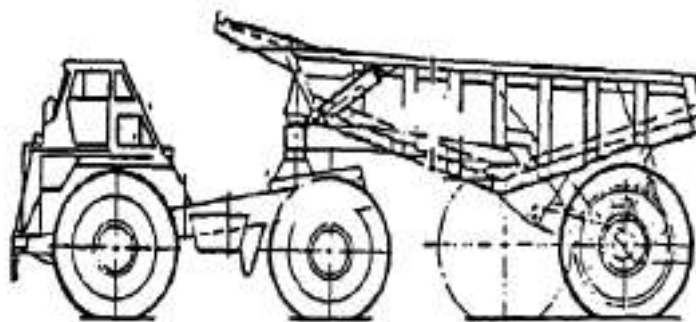


Figura 15. Volquete de tipo tractor con remolque.

Fuente. IGME. (1995).

Volquete Articulado.

Estas unidades se incluyeron en el mercado a partir de la década de los 70, se caracterizan por su gran maniobrabilidad, cortos radios de giro, baja altura de carga con referencia a los volquetes convencionales, generalmente todas las ruedas tienen tracción.

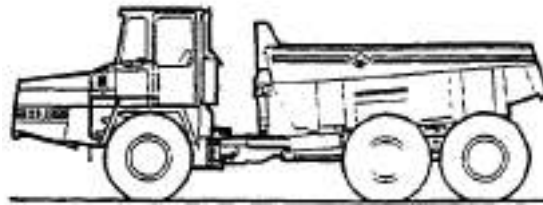


Figura 16. Volquete de tipo articulado.

Fuente. IGME. (1995).

CAPÍTULO 4

4. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.

4.1 Esquema de la Investigación.

La investigación que se presenta en este documento se desarrolló a través de la ejecución de actividades planificadas de campo y de escritorio de los cuales se obtuvo información que permitió identificar la problemática de la situación actual y generar soluciones a la misma.

La metodología implementada en este trabajo se divide en tres fases que se explican en el gráfico 3.

Gráfico 3. Esquema general utilizado en el desarrollo del presente Trabajo.



Fuente. Mina, A. (2016).

4.2 Fase 1.

Las actividades llevadas a cabo en este apartado iniciaron desde el primer día de desarrollo de la investigación a través de la recopilación de información de trabajos realizados relacionados con el tema de estudio, posteriormente se identificaron posibles problemas en el sistema de carga y transporte que disminuyen sus rendimientos y aumentan las pérdidas económicas, su análisis y las posibles soluciones a los mismos, las cuales se desarrollaron en la Fase 1.

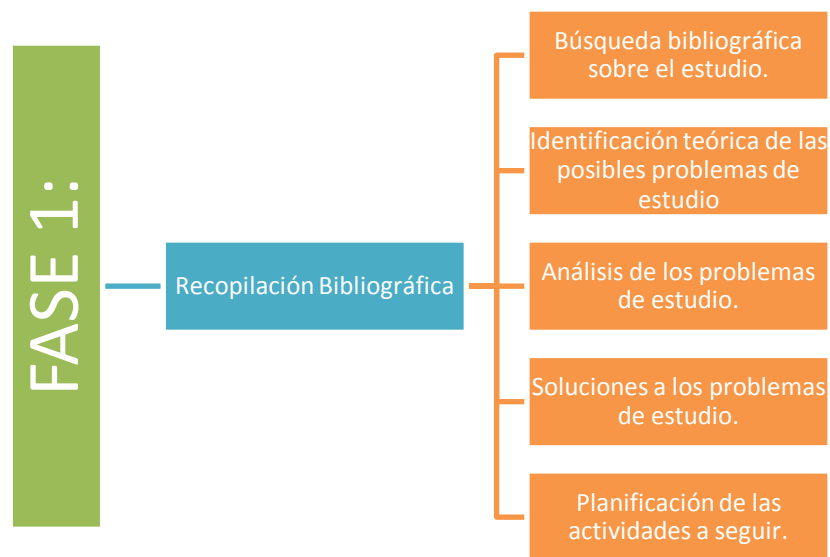


Gráfico 4. Actividades realizadas en el Apartado de Trabajo de Escritorio, Fase 1.
Fuente: Mina, A. (2016).

4.3 Fase 2.

El trabajo de campo tuvo como objetivo principal obtener información referente a las operaciones mineras llevadas a cabo por el sistema de carga y transporte en la actualidad.

Las actividades realizadas, se iniciaron con el reconocimiento del área, posteriormente medición de tiempos para cada etapa del ciclo de carga y del ciclo del transporte, además se realizó un registro de fotos que permitieron visualizar las deficiencias existentes en el sistema.

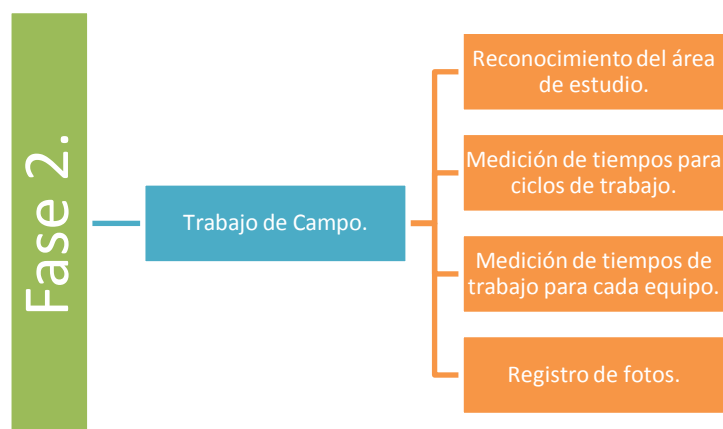


Gráfico 5. Actividades realizadas en el Apartado de Trabajo de Campo.
Fuente: Mina, A. (2016).

4.4 Fase 3.

Se realizaron los cálculos que permitieron conocer el rendimiento de las operaciones actuales, cálculo de rendimientos propuestos, cálculo de costos y selección de la combinación (match) más idóneo, finalmente el análisis de los resultados, las conclusiones y recomendaciones del estudio.

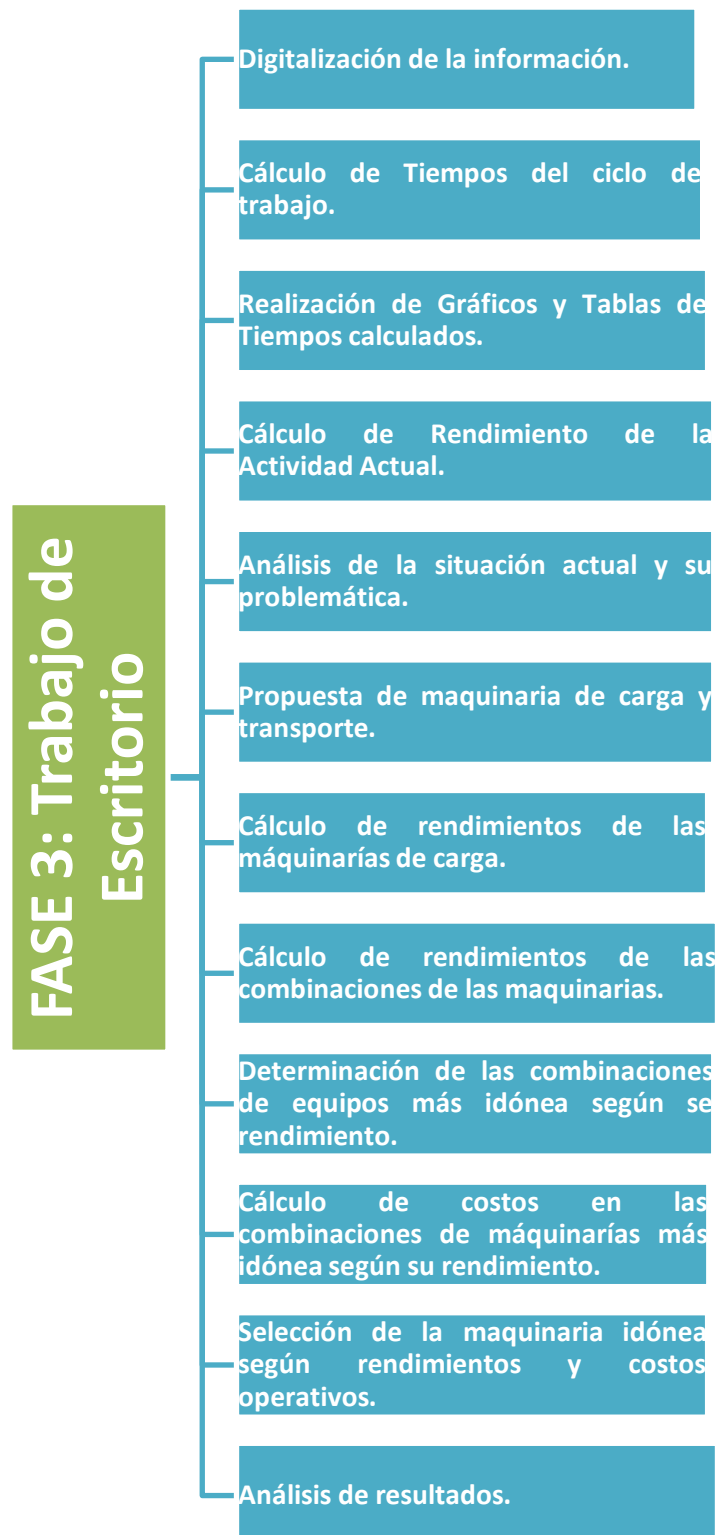


Gráfico 6. Actividades realizadas en la Fase 3.
Fuente: Mina, A. (2016).

CAPÍTULO 5

5. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.

5.1 Análisis de las Operaciones Actuales del Sistema de Carga y Transporte.

La maquinaria utilizada en la carga y transporte de material de caliza, es rentada y varía según la disponibilidad de los equipos en la empresa de alquiler, esta opción genera pérdidas de optimización del trabajo, debido a que las labores no se realizan con los equipos escogidos adecuadamente de tal forma que aseguren la entrega del tonelaje requerido por la labor de trituración. Limitando así el rendimiento eficaz de la trituradora, además de considerarse otros aspectos operativos en las áreas de trabajo.

La extracción del material se realiza en tres niveles de los que se obtienen diferentes materiales y como resultado de esto van a diferentes puntos de entrega.

El nivel 1, es el más superficial y suave posee materiales de tipo arcillosos con baja presencia de calizas color marrón claro, el arranque del material se realiza utilizando la fuerza de penetración de la excavadora, la plataforma de

trabajo es de aproximadamente 2m de ancho y 3 m de alto (ver Figura N° 15), por lo que en este frente de trabajo se utiliza el Dumper de menor capacidad de carga, la máquina CAT769C con capacidad de tolva de $24m^3$.



Figura 17. Frentes de Trabajo, Punto de Inicio del ciclo de Trabajo.
Fuente: Mina, A. (2016).

El nivel 2 y el nivel 3 poseen características geológicas y dimensiones similares, sin embargo, la granulometría de las rocas se diferencia por el gran tamaño del material en el nivel 2.

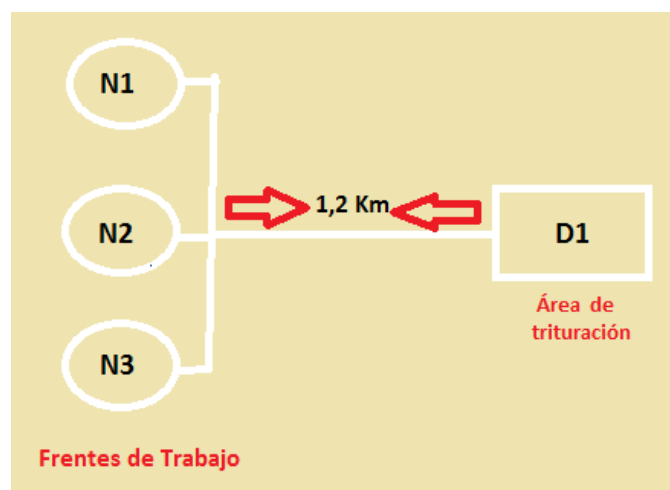


Gráfico 7. Esquema del área donde se realizaron las mediciones.
Fuente: Mina, A. (2016)



Figura 18. Carga de Material en el Nivel 2.
Fuente: Mina, A. (2016).

La caliza después de pasar por el proceso de voladura posee una densidad de 1,8 g/ y un factor de esponjamiento de 33,33%, este material no posee granulometría uniforme, debido a que existe una capa fracturada propia del yacimiento con potencia de 2 metros que limita las operaciones de la voladura, produciendo un 5% de bloques de rocas grandes de hasta 1,5 m de diámetro. Ver figura 16.

Unidades de tiempo de la jornada laboral.

Las labores del sistema de carga y transporte se inician a las 7:00 am, hasta las 4:00 pm y en el caso de extenderse el turno hasta las 6:00 pm las horas adicionales se consideran horas extras. La tabla detalla las unidades de tiempo que componen la jornada laboral diaria, mensual y anual para el

presente año, para esto se consideran días feriados (aquellos que no son días de fines de semana) y fines de semana como días no laborales, el mantenimiento de la maquinaria y los equipos se realizan dos veces al mes en los fines de semana.

Cálculos

Días laborales anuales:

$$Dla = Da - Dfa - Dfs = 365 - 9 - 104 = 252 \quad (\text{Ecuación 1})$$

Horas laborales efectivas mensuales:

$$Hlm = Dlm * Hle = 21 * 6,5 = 136,5 \quad (\text{Ecuación 2})$$

Horas laborales efectivas anuales:

$$Hla = Hlm * 12 = 1638 \quad (\text{Ecuación 3})$$

Tabla 6. Descripción de las unidades de tiempo laboral.

Parámetro	Simbología	Unidad	Valor
Días al año.	Da	Días	365
Días feriado al año.	Dfa	días/año	9
Fines de semana.	Dfs	días/año	104
Días Laborales anuales.	Dla	días/año	252
Días laborales mensuales	Dlm	días/mes	21
Horas laborales al día.	Hl	H	8
Horas laborales efectivas al día.	Hle	H	6,5
Turnos al día.	Ta	Turnos	1
Horas laborales efectivas al mes.	Hlm	h/mes	136,5
Horas laborales efectivas anuales.	Hla	h/año	1638

Fuente: Mina, A. (2016).

5.1.1 Plataforma de Trabajo.

Las actividades de carga y transporte se desarrollan en tres niveles de las cuales el nivel 2 y el nivel 3 poseen dimensiones semejantes, el ancho del banco posee una longitud aproximada de 20 metros y una altura aproximada de 12 metros, mientras que las dimensiones del nivel 1 son de menores longitudes, el ancho del banco es de 10 metros y la altura del banco es de 10 metros aproximadamente, las mismas que permiten que las operaciones se desarrollen sin dificultades ocasionadas por las dimensiones de la plataforma de trabajo. Ver figura 19.



Figura 19. Plataforma de trabajo del nivel 3.

Fuente: Mina, A. (2016).

5.1.2 Parque de máquinas.

El parque de máquinas está constituido por 4 dumpers Caterpillar y 2 excavadoras Doosan las especificaciones y detalles de las mismas se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7. Descripción de la maquinaria utilizado en el Sistema de carga y transporte actualmente.

EQUIPOS					
	Parámetros				
Modelo	Altura	Capacidad del cucharon		Cantidad	Tiempo de ciclo promedio
	M	m3			H
	Dumper				
CAT769C	3,77	17	24,20	1	0,208
CAT 775B	4,41	40		3	
Modelo	Excavadora				
DOOSAN GIANT LCV	6,59	2	3,60	2	0,005

Fuente: Mina, A. (2016).

5.1.3 Tiempos de Ciclo de Trabajo del Sistema de Carga

Los aforos realizados permitieron conocer los tiempos promedios del ciclo de trabajo, tiempos muertos para cada máquina, y el rendimiento horario del sistema implementado. Ver Tabla 8.

El tiempo de espera para cargar mostrado en la tabla 10 se obtuvo a partir de medir el tiempo de llegada a parqueo de los equipos de transporte y medir el tiempo en el que inicio la actividad de carga, se realizó la diferencia de estas mediciones para los 81 viajes realizados por el equipo de transporte y se obtuvo un valor promedio.

El tiempo de carga que se implementa en el ciclo de trabajo fue calculado a partir de la medición del tiempo en el que iniciaba la actividad de carga, y la medición del tiempo cuando culminaba la actividad de carga, se realizó la diferencia de estas mediciones para los 81 viajes realizados en el día y se obtuvo un valor promedio.

El tiempo de recorrido cargado se obtuvo de medir el tiempo en que terminaba la carga del equipo de transporte y medir el tiempo de llegada al área de parqueo, se realizó la diferencia de estas mediciones para los 81 viajes realizados en el día y se calculó el valor promedio.

El tiempo de espera para descargar el material se obtuvo a través de la medición del tiempo de llegada del equipo de transporte al parqueo y el tiempo en el que iniciaba la actividad de descarga, se realizó la diferencia de estas mediciones para los 81 viajes realizados en el día y se calculó un valor promedio, en el cálculo de estos valores inferió la dificultad para visualizar la zona de parqueo en el área de trituración.

El tiempo de descarga se obtuvo a partir de realizar la medición del tiempo en el que iniciaba la actividad de descarga y la medición del tiempo en el que culminaba esta misma actividad, posterior a esto se realizó la diferencia a las mediciones de los 81 viajes realizados en el día, lo que permitió calcular un valor promedio para la actividad de descarga.

Tabla 8. Tiempos promedio del ciclo de trabajo del sistema de carga y transporte.

Actividades	Horas	Minutos	Porcentaje
Tiempo de Espera para cargar	0,0439	2,6313	14,9144
Tiempo de Carga	0,0665	3,9879	22,6038
Tiempo de Recorrido cargado	0,0720	4,3176	24,4726
Tiempo de Espera para Descargar	0,0243	1,4573	8,2601
Tiempo de Descarga	0,0217	1,3015	7,3772
Tiempo de recorrido descargado	0,0658	3,9470	22,3718
Total	0,2940	17,6426	100

Fuente: Mina, A. (2016).

El ciclo de trabajo en conjunto comprende actividades de espera para cargar (se incluye parqueo para cargar), carga del material, transporte del material, descarga del material (se incluye parqueo para la descarga) y transporte con tolva vacía.

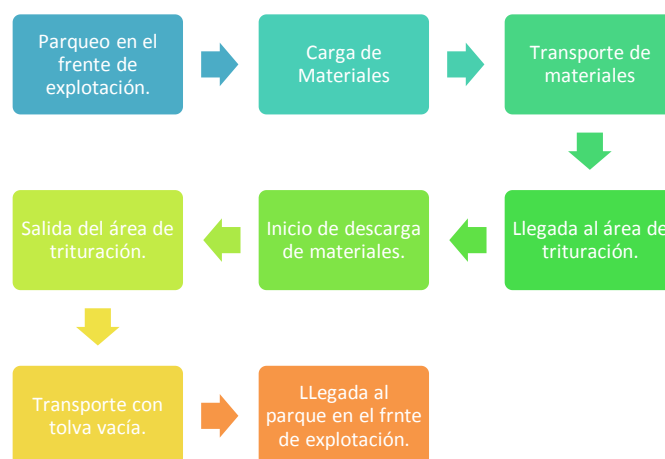


Gráfico 8. Flujo del Sistema de Carga y Transporte.

Fuente: Mina, A. (2016).

Las mediciones de los tiempos se realizaron en los puntos que conforman el flujo del sistema de carga y transporte, ver gráfico 8, los tiempos medidos se observan en el anexo 6.



Figura 20. Carga del material en el nivel 2.
Fuente: Mina, A. (2016).

El tiempo promedio utilizado para realizar un viaje es de 17,64 minutos de los cuales 2,63 min se destinan para actividades de espera en el área de parqueo, 3,98 min para cargar el material, 4,31 min para transportar el

material hasta el área de parqueo de la trituradora, 1,30 min para descargar el material y salir del área de trituración, y 3,94 min para regresar con tolva vacía al área de parqueo de la plataforma de trabajo. Ver figura 20.

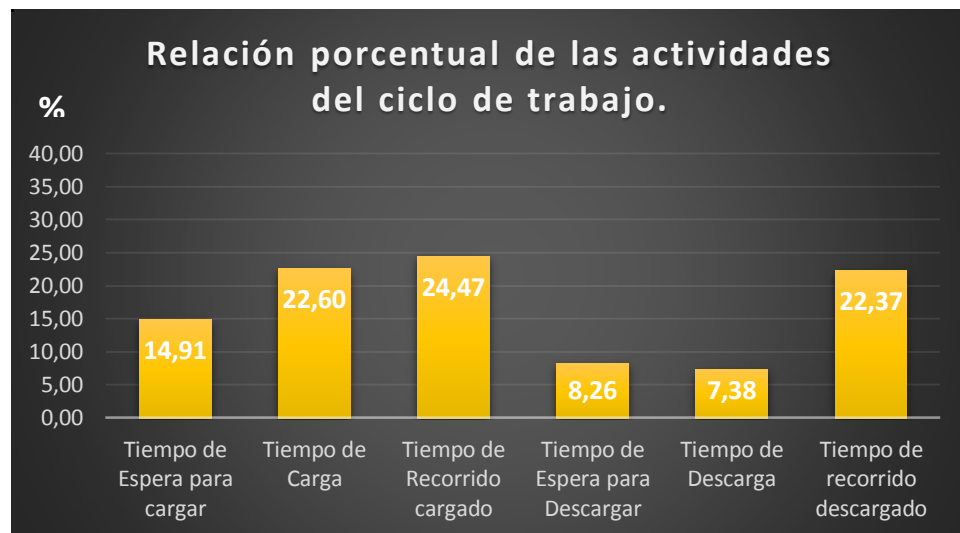


Gráfico 9. Relación porcentual de las actividades del ciclo de trabajo.
Fuente: Mina, A. (2016).

Los datos obtenidos permitieron conocer que el tiempo de carga es de 3,98 minutos lo que representa el 22,60% del total de las actividades siendo este, mayor al tiempo de recorrido con tolva vacía.

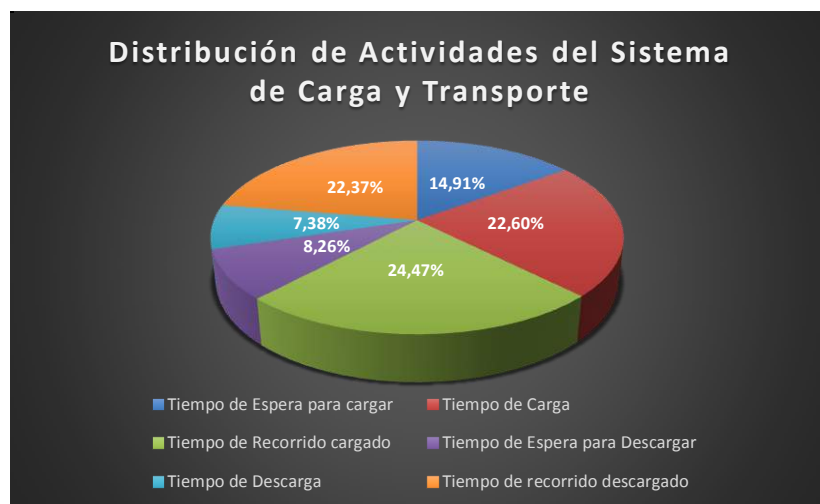


Gráfico 10. Distribución Porcentual de las Actividades que componen el ciclo de trabajo del Sistema de Carga y Transporte.

Fuente: Mina, A. (2016).

Las excavadoras presentan tiempos muertos muy altos debido a paras producidas por la trituradora, falta de equipos de transporte, materiales de alta granulometría y por la presencia de materiales de desalojo. Ver tabla 9.

Tabla 9. Tiempos Muertos para el Sistema de Carga.

Excavadoras			
		Excavadora 1	Excavadora 2
		Horas	
Tiempos Muertos para el Sistema de Carga	Horas no productivas	3,49	4,47
	Horas productivas	3,04	2,06
	Porcentaje	53,51	68,43

Fuente: Mina, A. (2016).

El siguiente gráfico nos permite observar la relación de los tiempos productivos versus los tiempos muertos de las excavadoras implementadas.

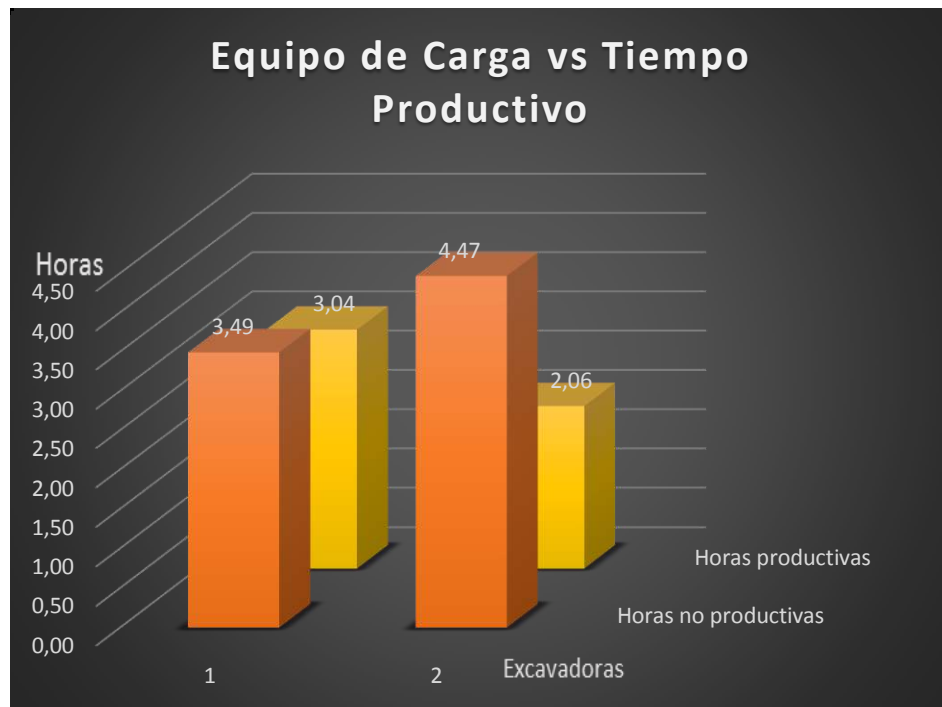


Gráfico 11. Relación de los tiempos productivos versus los tiempos muertos de las excavadoras.

Fuente: Mina, A. (2016).

5.1.4 Tiempos de Ciclo de Trabajo del Sistema de Transporte.

El sistema de transporte inicia sus actividades desde la llegada al frente de explotación lugar en el que se parquea, posterior a esto el equipo es cargado y transporta el material a la trituradora principal de ser el caso, caso contrario se descarga el material en la trituradora auxiliar o en áreas de desalojo.

Tabla 10. Representación en porcentaje de los tiempos no productivos con respecto al tiempo efectivo.

TIEMPO NO PRODUCTIVO		
Dumper	Modelo	Porcentaje (%)
D11	CAT769C	17,34
D19	CAT 775B	27,18
D20	CAT 775B	28,04
D21	CAT 775B	27,42

Fuente: Mina, A. (2016)

5.2 Determinación del Rendimiento de las Operaciones.

El rendimiento real de las operaciones se calculará a través del número de viajes realizado por hora y las capacidades de los equipos de transporte que se implementan, además de esto se consideran factores operacionales que permitirán obtener resultados ajustados a la realidad, los mismos que se han obtenido a partir de consulta a técnicos responsables de esta área.

Tabla 11. Factores operacionales utilizados en el cálculo del rendimiento actual.

Factores Operacionales	Simbología	Valor(%)
Factor de llenado del equipo de transporte.	FLt	85
Disponibilidad física del equipo de transporte.	DFt	95
Factor de utilización del equipo de transporte.	UTt	95
Factor operacional del equipo de transporte.	FOt	95

Fuente: Mina, A. (2016)

Cálculo del Rendimiento de las operaciones

• Dumper 1

Modelo: CAT 769C

Código: D11

Ct= 24,2 ton

HI= 8 h

Hle= 6,53 h (medido en campo)

Nv= 19 Z SZ M

$$R1 = \frac{Ct \cdot Nv \cdot FLt \cdot DFt \cdot UTt \cdot FOf}{HI} \quad \text{(Ecuación 4)}$$

$$R1 = \frac{(24,2 \cdot 19 \cdot 85 \cdot 95 \cdot 95 \cdot 95)}{8} = \frac{75,39 \text{ ton}}{h}$$

$$Re1 = \frac{Ct \cdot Nv \cdot FLt \cdot DFt \cdot UTt \cdot FOf}{Hle} \quad \text{(Ecuación 5)}$$

$$Re1 = \frac{24,2 \cdot 19 \cdot 85 \cdot 95 \cdot 95 \cdot 95}{6,53} = \frac{92,38 \text{ ton}}{h}$$

• Dumper 2

Modelo: CAT 775b

Código: D19

Ct= 40 ton

HI= 8 h

Hle= 6,53 h (medido en campo)

Nv= 22

$$R2 = \frac{(Ct \cdot Nv \cdot FLt \cdot DFt \cdot UTt \cdot FOf)}{HI} \quad \text{(Ecuación 6)}$$

$$R2 = \frac{(40 \cdot 22 \cdot 85 \cdot 95 \cdot 95 \cdot 95)}{8} = \frac{144,30 \text{ ton}}{h}$$

$$Re2 = \frac{(Ct \cdot Nv \cdot FLt \cdot DFt \cdot UTt \cdot FOf)}{Hle} \quad \text{(Ecuación 7)}$$

$$Re2 = \frac{(40 \cdot 22 \cdot 85 \cdot 95 \cdot 95 \cdot 95)}{6,53} = \frac{176,79 \text{ ton}}{h}$$

• Dumper 3

Modelo: CAT 775b

Código: D19

Ct= 40 ton

HI= 8 h

Hle= 6,53 h (medido en campo)

Nv= 19

$$R3 = \frac{(Ct * Nv * FLt * DFt * UTt * F0t)}{HI}$$

$$R3 = \frac{(40 * 19 * 85 * 95 * 95 * 95)}{8} = \frac{124,62 \text{ ton}}{h} \quad (\text{Ecuación 8})$$

$$Re3 = \frac{(Ct * Nv * FLt * DFt * UTt * F0t)}{Hle}$$

$$Re3 = \frac{(40 * 19 * 85 * 95 * 95 * 95)}{6,53} = \frac{152,69 \text{ ton}}{h} \quad (\text{Ecuación 9})$$

- **Dumper 4**

Modelo: CAT 775b

Código: D19

Ct= 40 ton

HI= 8 h

Hle= 6,53 h (medido en campo)

Nv= 20

$$R4 = \frac{(Ct * Nv * FLt * DFt * UTt * F0t)}{HI} \quad (\text{Ecuación 10})$$

$$R4 = \frac{(40 * 20 * 85 * 95 * 95 * 95)}{8} = \frac{131,18 \text{ ton}}{h}$$

$$Re4 = \frac{(Ct * Nv * FLt * DFt * UTt * F0t)}{Hle} \quad (\text{Ecuación 11})$$

$$Re4 = \frac{(40 * 20 * 85 * 95 * 95 * 95)}{6,53} = \frac{160,72 \text{ ton}}{h}$$

$$Rt = R1 + R2 + R3 + R4$$

(Ecuación 12)

$$Rt = 75,39 + 144,30 + 124,62 + 131,18 = \frac{475,49 \text{ ton}}{h}$$

$$Ret = Re1 + Re2 + Re3 + Re4 \quad (\text{Ecuación 13})$$

$$Ret = 92,38 + 176,79 + 152,69 + 160,72 = \frac{582,58 \text{ ton}}{h}$$

Tabla 12. Rendimientos de las operaciones medidas.

RENDIMIENTOS DE EQUIPOS DE TRANSPORTE						
CÓDIGO	Viajes/ Día	Tonelaje	Horas/ Día	Horas Efectiva s/día	Rendimiento Horario (Ton/H)	Rendimien to Efectivo (Ton/H)
CAT 769C COD-D11	19	31,75	8	6,53	75,39	92,38
CAT 775B COD-D19	22	52,47	8	6,53	144,30	176,79
CAT 775B COD-D20	19	52,47	8	6,53	124,62	152,69
CAT 775B COD-D21	20	52,47	8	6,53	131,18	160,72
TOTAL					475,49	582,58

Fuente: Mina, A. (2016).

5.3 Tasas anuales de producción requerida.

La máquina trituradora instalada es la que rige la producción de todo el sistema minero debido a esto, los cálculos de las tasas de producción se realizan considerando el rendimiento de esta máquina.

Cálculo de las tasas de producción requeridas.

$$Rht = \frac{650 \text{ ton}}{h}$$

Producción diaria requerida

$$P_{dr} = R_{ht} * H_{le} \quad (\text{Ecuación 14})$$

$$P_{dr} = \frac{650 \text{ ton}}{h} * \frac{6,5 h}{\text{día}} = \frac{4225 \text{ ton}}{\text{día}}$$

Producción mensual requerida

$$P_{mr} = P_{dr} * d_{lm} \quad (\text{Ecuación 15})$$

$$P_{mr} = \frac{4225 \text{ ton}}{\text{día}} * \frac{21 \text{ día}}{\text{mes}} = \frac{88.725 \text{ ton}}{\text{mes}}$$

Producción anual requerida

$$P_{ar} = P_{mr} * 12 \quad (\text{Ecuación 16})$$

$$P_{ar} = \frac{88.725 \text{ ton}}{\text{mes}} * \frac{12 \text{ mes}}{\text{año}} = \frac{1'064.700 \text{ ton}}{\text{año}}$$

5.4 Propuesta de equipos.

Los equipos que son tema de análisis pertenecen a la marca Caterpillar en su mayoría, debido a que existe mayor accesibilidad a la información técnica, disposición de equipos y repuestos en el mercado comercial del país. Además, se incluye una excavadora hidráulica Doosan, la misma que es utilizada en las operaciones actuales.

La maquinaria que se presenta en la propuesta fue seleccionada según sus capacidades, aplicaciones y requerimientos de la empresa.

Tabla 13. Maquinaria de carga propuesta.

MAQUINARIA DE CARGA				
Equipos de Carga	Altura de descarga del equipo de carga	Capacidad		Tiempo de ciclo
	M	m ³		
Cargadora	Metros	Metros cúbicos		Hora
CATERPILLAR 988B CARGADORA DE RUEDAS.	4.115	4,5	5,4	0,009167
Excavadora				
CATERPILLAR 320DL HYDRAULIC EXCAVATOR	6,94	0,44	1,2	0,006944
Excavadora				
DOOSAN 500LCV	6,59	2	3,6	0,005556

Fuente: Mina, A. (2016)

La maquinaria de transporte propuesta fue seleccionada según la capacidad de la tolva y su acoplamiento con el equipo de carga. En este caso sus capacidades varían desde 24 m³ a 64 m³, son de tipo articulados y no articulados, de transmisión mecánica. Ver figura. La tolva de los equipos es de tipo estándar debido a que el material que se transportará es de dureza media.

TAMAÑO	TIPO	TRANSMISIÓN	ACTIVIDAD
50 t	Convencionales	Mecánica	Movimiento de tierras.
	Articulados	Mecánica	Movimiento de tierras y en terrenos en malas condiciones.
50-85 t	Convencionales	Mecánica	Grandes movimientos de tierras. Operaciones mineras a cielo abierto pequeñas y medias.
	Con tractores remolque	Mecánica	Movimientos de tierra con distancias de transporte grandes.
85-150 t	Convencionales	Mecánica	Minería a cielo abierto media a grande.
	Descarga por el fondo	Mecánica	Minería a cielo abierto de carbón y fosfato.
150-250 t	Convencionales	Eléctrica	Minería a cielo abierto grande.

Figura 21. Clasificación del equipo de transporte según su capacidad y campo de aplicación.
Fuente. IGME. (1995).

La maquinaria de transporte estudiada se describe en la tabla 16, en la cual se observa el modelo, altura de la tolva desde el piso, capacidad de la tolva al ras y colmada.

Tabla 14. Maquinaria de Transporte propuesta.

MAQUINARIA DE TRANSPORTE			
Equipos de Transporte	Altura del equipo de transporte	Capacidad	
Unidades	M	m3	
Camión			
CATERPILLAR 740B DUMP TRUCK ARTICULADO	4,039	18,5	24
Camión			
CATERPILLAR 773B ROCK TRUCK NO ARTICULADO	4,23	26	34,1
Camión			
CATERPILLAR 775D	3,91	31,40	41,50
Camión			
CATERPILLAR 777G NO ARTICULADO	4,38	43,10	64,10

Fuente: Mina, A. (2016)

5.5 Cálculo de rendimientos de la maquinaria de carga propuesta.

El rendimiento de los equipos de carga propuesto se realizará considerando la producción anual requerida por la trituradora, la capacidad de la maquinaria, tiempo de ciclo de trabajo, y factores operacionales.

Unidad 1.

CARGADORA DE RUEDAS

Modelo: CATERPILLAR 988B

Tabla 15. Parámetros Considerados para calcular el rendimiento de la cargadora de ruedas CAT988B.

Parámetro	Simbología	Unidad	Valor
Tonelaje a mover por hora.	T	Toneladas/ hora	650,00
Tonelaje total a mover por periodo.	T	Toneladas/año	1064700,00
Volumen del balde del equipo de carguío.	Vb	Metros cúbicos	5,40
Factor de llenado del equipo de carguío.	FLc	%	95,00
Esponjamiento del material.	E	%	33,33

Factor que castiga el sistema de carguío por la manipulación del material.	FM	%	85,00
Tiempo de ciclo del carguío.	TCc	H	0,009
Disponibilidad física del equipo de carguío.	DFc	%	90
Factor de utilización del equipo de carguío.	Utc	%	90
Factor operacional del equipo de carguío.	Foc	%	90
Horas trabajadas por turno del carguío.	HTc	H	6,5
Turnos trabajados por día para el carguío.	TDC	turnos/día	1
Días por período para el carguío.	DPc	turnos/día	252
Densidad del material.	Δ	toneladas/metro cúbico	2,4

Fuente: Mina, A. (2016).

$$C_c = \frac{(V_b * FLC * \delta)}{(100 + e)} = \frac{(5,40) * (95,00 \%) * (2,4)}{(100 + 33\%)} = 9,23 \text{ ton/cuc} \quad (\text{Ecuación 17})$$

$$RH_t = \frac{(C_c * FM * T * DF_c * UT_c * Foc)}{TC_c} \quad (\text{Ecuación 18})$$

$$RHt = \frac{(9,23 \text{ ton/cuc}) * (85\%) * (90\%) * (90\%) * (90\%)}{(0,009H)} = 624,20 \text{ ton/h}$$

$$RDc = RHt * HTc * TDc \quad (\text{Ecuación 19})$$

$$RDc = (624,20 \text{ ton/h}) * (6,5 \text{ h}) * (1) = 4.057,31 \text{ ton/d}$$

$$RPc = RDc * DPc \quad (\text{Ecuación 20})$$

$$RPc = (4.057,31 \text{ ton/d}) * (252) = 1'022.442,24 \text{ ton/a}$$

$$NEC = \frac{T}{RPc} \quad (\text{Ecuación 21})$$

$$NEC = \frac{(1064700,00 \text{ ton/a})}{(1'022.442,24 \text{ ton/a})} = 1,04 \text{ u} \approx 1 \text{ u}$$

$$RHtt = RHt * NEC \quad (\text{Ecuación 22})$$

$$RHtt = 624,20 \text{ ton/h} * (1 \text{ u}) = 624,20 \text{ ton/h}$$

Tabla 16. Valores obtenidos de los cálculos.

Parámetro	Simbología	Unidad	Valor
Capacidad del equipo de carguío	Cc	toneladas/cucharada	9,23
Rendimiento horario del equipo de carguío	RHc	Toneladas/hora	624,20
Rendimiento diario del equipo de carguío	RDc	Toneladas/día	4057,31
Rendimiento por período del equipo de carguío	RPc	Toneladas/año	1022442,24
Número de Equipos de carguío	NEC		1,04

Fuente: Mina, A. (2016).

Unidad 2.

Excavadora Hidráulica

Modelo: Doosan Giant 500 LCV.

Tabla 17. Parámetros Considerados para calcular el rendimiento de la excavadora hidráulica Doosan Giant 500 LCV.

Parámetro	Simbología	Unidad	Valor
Tonelaje a mover por hora	T	Ton/ hora	650,00
Tonelaje total a mover por periodo	T	Ton/año	1064700,00
Volumen del balde del equipo de carguío	Vb	m3	3,60
Factor de llenado del equipo de carguío	FLc	%	90,00
Esponjamiento del material	E	%	33,33
Factor que castiga el sistema de carguío por la manipulación del material.	FM	%	85,00
Tiempo de ciclo del carguío	TCc	H	0,006
Disponibilidad física del equipo.	DFc	%	85
Factor de utilización del equipo.	Utc	%	85
Factor operacional del equipo.	Foc	%	90
Horas trabajadas por turno del carguío	HTc	H	6,5
Turnos trabajados por día para el carguío	TDc	tur/día	1
Días por período para el carguío	DPc	tur/día	252
Densidad del material	Δ	ton/m3	2,4

Fuente: Mina, A. (2016).

$$C_c = \frac{(Vb * FLC * \delta)}{(100 + e)} \quad (\text{Ecuación 23})$$

$$C_c = (3,60) * (85,00 \%) * ((2,4 \text{ Kg})) / ((100 + 33\%)) = (5,83 \text{ ton}) / \text{cuc}$$

$$RHt = \frac{(C_c * FM * T * DFc * UTC * Foc)}{TCc} \quad (\text{Ecuación 24})$$

$$RHt = \frac{\frac{5,83 \text{ ton}}{\text{cuc}} * (85\%) * (90\%) * (90\%) * (90\%)}{(0,006H)} = \frac{547,98 \text{ ton}}{h}$$

$$RDc = RHt * HTc * TDc \quad (\text{Ecuación 25})$$

$$RDc = \frac{624,20 \text{ ton}}{h} * (6,5 \text{ h}) * (1) = \frac{3.561,88 \text{ ton}}{d}$$

$$RPc = RDc * DPc \quad (\text{Ecuación 26})$$

$$RPc = \frac{4.057,31 \text{ ton}}{d} * (252) = \frac{897.593,34 \text{ ton}}{\text{año}}$$

$$NEC = \frac{T}{RPc} \quad (\text{Ecuación 27})$$

$$NEC = \frac{(1064700,00 \text{ ton/a})}{(897.593,34 \text{ ton/a})} = 1,19 \text{ u} \approx 1 \text{ u}$$

$$RHtt = RHt * NEC \quad (\text{Ecuación 28})$$

$$RHtt = \frac{547,98 \text{ ton}}{h} * (1 \text{ u}) = \frac{547,98 \text{ ton}}{h}$$

Tabla 18. Valores obtenidos de los cálculos.

Parámetro	Simbología	Unidad	Valor
Capacidad del equipo de carguío.	Cc	toneladas/cucharada	5,83
Rendimiento horario del equipo de carguío.	RHc	Toneladas/hora	580,22
Rendimiento diario del equipo de carguío.	RDc	Toneladas/día	3771,40
Rendimiento por período del equipo de carguío	RPc	Toneladas/año	950392,95
Número de Equipos de carguío	NEC		1,12

Fuente: Mina, A. (2016).

Unidad 3.

Excavadora Hidráulica

Modelo: CATERPILLAR 320DL.

Tabla 19. Parámetros Considerados para calcular el rendimiento de la excavadora hidráulica CAT 320DL.

Parámetro	Simbología	Unidad	Valor
Tonelaje a mover por hora	t	Ton/hora	650,00
Tonelaje total a mover por periodo	T	Tone/año	1064700,00
Volumen del balde del equipo de carguío	Vb	m3	1,20
Factor de llenado del equipo.	FLc	%	95,00
Esponjamiento del material	e	%	33,33
Factor que castiga el sistema de carguío por la manipulación del material.	FM	%	85,00
Tiempo de ciclo del carguío	TCc	H	0,007
Disponibilidad física del equipo de carguío	DFc	%	90
Factor de utilización del equipo de carguío	Utc	%	90
Factor operacional del equipo	Foc	%	90
Horas trabajadas por turno del carguío	HTc	H	6,5
Turnos trabajados por día para el carguío	TDc	turnos/día	1
Días por período para el carguío	DPc	turnos/día	252
Densidad del material	δ	toneladas/m3	2,4

Fuente: Mina, A. (2016).

$$Cc = \frac{(Vb * FLc * \delta)}{(100 + e)} = \frac{(2,4 \text{ Kg}) * (1,20) * (95,00 \%) }{(100 + 33\%)} = \frac{2,05 \text{ ton}}{\text{cuc}} \quad (\text{Ecuación 29})$$

$$RHt = \frac{(Cc * FM * T * DFc * UTc * Foc)}{TCc} \quad (\text{Ecuación 30})$$

$$RHt = \frac{(2,05 \text{ ton/cuc}) * (85%) * (90%) * (90%) * (90\%)}{(0,007H)} = \frac{183,10 \text{ ton}}{h}$$

$$RDc = RHt * HTc * TDc$$

$$RDc = \frac{624,20 \text{ ton}}{h} * (6,5 \text{ h}) * (1) = \frac{1.190,14 \text{ ton}}{d} \quad (\text{Ecuación 31})$$

$$RPc = RDc * DPc = \frac{4.057,31 \text{ ton}}{d} * (252) = \frac{299.916,39 \text{ ton}}{a}$$

$$NEC = \frac{T}{RPc} \quad (\text{Ecuación 32})$$

$$NEC = \frac{\left(1064700,00 \frac{\text{ton}}{a}\right)}{\left(299.916,39 \frac{\text{ton}}{a}\right)} = 3,55 \text{ u} \approx 3 \text{ u}$$

$$RHtt = RHt * NEC = \frac{183,10 \text{ ton}}{h} * (3 \text{ u}) = \frac{549,29 \text{ ton}}{h}$$

Tabla 20. Valores obtenidos de los cálculos.

Parámetro	Simbología	Unidad	Valor
Capacidad del equipo de carguío	Cc	toneladas/cucharada	2,05
Rendimiento horario del equipo de carguío	RHc	Toneladas/hora	183,10
Rendimiento diario del equipo de carguío	RDc	Toneladas/día	1190,14
Rendimiento por período del equipo de carguío	RPc	Toneladas/año	299916,39
Número de Equipos de carguío	NEC		3,55

Fuente: Mina, A. (2016).

Los rendimientos horarios de las maquinarias de carga dependen principalmente de la capacidad del cucharón y del tiempo de ciclo de cada equipo

Tabla 21. Rendimiento de los equipos de carga propuestos.

Equipos de Carga	Altura del equipo de carga	Capacidad		Tiempo de ciclo	Rendimiento del Equipo de Carga	Número de Equipos	Rendimiento Total del Sistema de Carga
	M			H	Ton/h		Ton/h
Cargadora							
1. CATERPILLAR 988B CARGADORA DE RUEDAS	4,115	4,50	5,40	0,009	624,20	1,04	624,2016
Excavadora							
2.DOOSAN GIANT 500LCV	6,5900	2,000	3,60	0,005	547,98	1,19	547,9813
Excavadora							
3. CATERPILLAR 320DL HYDRAULIC EXCAVATOR	6,940	0,440	1,20	0,006	183,10	3,55	549,2974

Fuente: Mina, A. (2016).

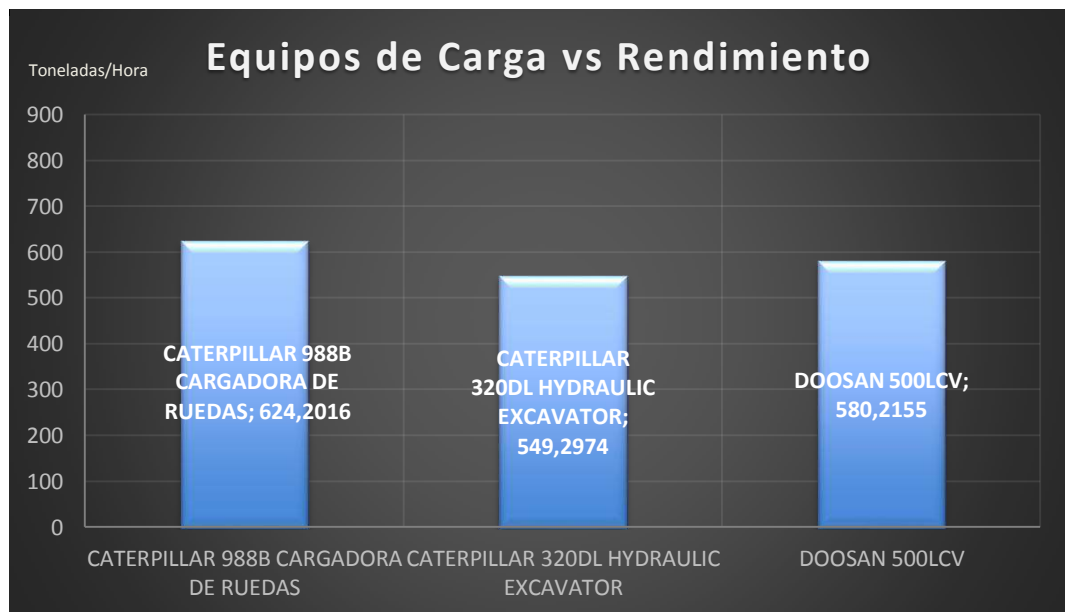


Gráfico 12. Rendimiento horario de la maquinaria de carga propuesta.
Fuente: Mina, A. (2016).

5.6. Cálculo de rendimientos de la maquinaria de transporte propuesta.

El rendimiento de la maquinaria de transporte se calculó realizando combinaciones entre cada equipo de transporte y todos los equipos de carga propuestos, como resultado obtendremos 12 combinaciones de maquinarias (3 equipos de carga y 4 equipos de transporte), esto nos permite conocer que combinación de equipos produce los rendimientos más altos, para posteriormente seleccionar los más idóneos por su rendimiento y realizar el cálculo de los costos operativos y finalmente seleccionar la combinación más conveniente.

El tiempo de ciclo de cada Dumper se ve afectado por el tiempo de ciclo del equipo de carga con el que se encuentre realizando las labores, los factores operativos utilizados para los cálculos son valores teóricos.

Tabla 22. Tiempo de ciclo de trabajo teórico de un equipo de transporte.

Parámetro	Simbología	Unidad	Valor
Velocidad máxima	Vma	Km/h	20
Distancia de ida	Di	Km	1,25
Distancia de regreso	Dr	Km	1,25
Tiempo de Transporte ida y regreso	Tt	H	0,125
Tiempo de Giro y Maniobras	Tmg	H	0,025

Fuente: Mina, A. (2016).

El tiempo de ciclo de trabajo teórico para los equipos de transporte que utilizaremos en los siguientes cálculos lo obtendremos de sumar el tiempo de ciclo de carga de cada equipo de carga y el tiempo de transporte de ida y regreso, adicionalmente el tiempo de giro y maniobras del equipo de transporte.

Combinación 1.

Maquinaria de Carga: Caterpillar 988b, Cargadora de ruedas.

Maquinaria de Transporte: Caterpillar 740b Dumper Articulado.

T=1064700,00 ton/a

Cc=9,23 Ton/cuc

Vet= 24

$$FLt=92,00 \%$$

$$TCc=0,0092 \text{ h}$$

$$TCt=0,1675 \text{ h}$$

$$TMt=0,033 \text{ h}$$

$$TVt=0,125 \text{ h}$$

$$TVct=0,08 \text{ h}$$

$$TVdt=0,05 \text{ h}$$

$$DFt=95,00\%$$

$$UTt=98,00\%$$

$$FOt=95,00\%$$

$$DPt= 252 \text{ d/a}$$

$$HTc=6,50 \text{ h/tur}$$

$$TDc=1,00 \text{ Tur/d}$$

$$TVt= TVct + TVdt = 0,08 + 0,045 = 0,125 \text{ h} \quad (\text{Ecuación 32})$$

$$TCt= TVt + TMt + TCc \quad (\text{Ecuación 33})$$

$$TCt= 0,125 \text{ h} + 0,033 \text{ h} + 0,0092 \text{ h} = 0,1675 \text{ h}$$

$$Ct= Vet * \frac{\delta}{1+\frac{e}{100}} \quad (\text{Ecuación 34})$$

$$Ct = (24) * \frac{2,4}{1 + \frac{33}{100}} = (24) * (1,8) = 43,20 \text{ Ton/vi}$$

$$NP= \frac{Ct}{Cc} = \frac{(43,20 \text{ Ton/vi})}{(9,23 \text{ Ton/cuc})} = \frac{4,68 \text{ cuc}}{vi} \quad (\text{Ecuación 35})$$

$$RHt= \frac{NP * Cc * FOt * HTc * TDc}{TCt} \quad (\text{Ecuación 36})$$

$$RHt = \frac{\frac{4,68 \text{ cuc}}{vi} * \frac{9,23 \text{ Ton}}{cuc} * 95 * 98 * 95}{0,1675 \text{ h}} = \frac{228,11 \text{ ton}}{h}$$

$$RDt = RHt * HTc * TDc \quad (\text{Ecuación 37})$$

$$RDt = \frac{228,11 \text{ ton}}{h} * \frac{6,5 \text{ h}}{\text{tur}} * \frac{1,00 \text{ Tur}}{d} = \frac{1.472,81 \text{ ton}}{d} \quad (\text{Ecuación 38})$$

$$RPt = RDt * DPt = \frac{1.472,81 \text{ ton}}{d} * \frac{252 \text{ d}}{a} = \frac{373.642,37 \text{ ton}}{a} \quad (\text{Ecuación 39})$$

$$Net = \frac{T}{RPt} = \frac{(1064700,00 \text{ ton/a})}{(373.642,37 \text{ ton/a})} = 2,85 \quad (\text{Ecuación 40})$$

Combinación 2.

Maquinaria de Carga: Doosan 500 LCV, Excavadora hidráulica.

Maquinaria de Transporte: Caterpillar 740b Dumper Articulado.

T=1064700,00 ton/a

Cc=5,83 Ton/cuc

Vet= 24

FLt=92,00 %

TCc=0,01 h

TCt=0,1639 h

TMt=0,033 h

TVt=0,125 h

TVct=0,08 h

$$TVdt=0,05 \text{ h}$$

$$DFt=95,00\%$$

$$UTt=98,00\%$$

$$FOt=95,00\%$$

$$DPt= 252 \text{ d/a}$$

$$HTc=6,50 \text{ h/tur}$$

$$TDc=1,00 \text{ Tur/d}$$

$$TVt= TVct + TVdt = 0,08 + 0,045 = 0,125 \text{ h}$$

(Ecuación 41)

$$TCt= TVt + TMt + TCc \quad \text{(Ecuación 42)}$$

$$TCt=0,125 \text{ h} + 0,033 \text{ h} + 0,01 \text{ h} = 0,1639 \text{ h}$$

$$Ct= Vet * \frac{\delta}{1+\frac{e}{100}} = (24) * \frac{2,4}{1+\frac{33}{100}} = (24) * (1,8) = 43,20 \text{ Ton/vi} \quad \text{(Ecuación 43)}$$

$$NP= Ct/Cc = (43,20 \text{ Ton/vi}) / (5,83 \text{ Ton/cuc}) = 7,41 \text{ cuc/vi} \quad \text{(Ecuación 44)}$$

$$RHt= \frac{NP * Cc * FOt * HTc * TDc}{TCt} \quad \text{(Ecuación 45)}$$

$$RHt = \frac{(7,41 \text{ cuc/vi}) * (5,83 \text{ Ton/cuc}) * 95 * 98 * 95}{0,1675 \text{ h}} = 233,14 \text{ ton / h}$$

$$RDt= RHt * HTc * TDc = \frac{233,14 \text{ ton}}{\text{h}} * \frac{6,5 \text{ h}}{\text{tur}} * \frac{1,00 \text{ Tur}}{\text{d}} = \frac{1.515,38 \text{ ton}}{\text{d}} \quad \text{(Ecuación 46)}$$

46)

$$RPt = RDt * DPt \quad (\text{Ecuación 47})$$

$$RPt = (1.515,38 \text{ ton/d}) * (252 \text{ d/a}) = 381.875,17 \text{ ton/a}$$

$$Net = T / RPt = \frac{(1064700,00 \text{ ton/a})}{(381.875,17 \text{ ton/a})} = 2,79 \quad (\text{Ecuación 48})$$

Combinación 3.

Maquinaria de Carga: CAT 320 DL, Excavadora hidráulica.

Maquinaria de Transporte: Caterpillar 740b Dumper Articulado.

$$T = 1064700,00 \text{ ton/a}$$

$$Cc = 2,05 \text{ Ton/cuc}$$

$$Vet = 24$$

$$FLt = 92,00 \%$$

$$TCc = 0,0069 \text{ h}$$

$$TCt = 0,1653 \text{ h}$$

$$TMt = 0,033 \text{ h}$$

$$TVt = 0,125 \text{ h}$$

$$TVct = 0,08 \text{ h}$$

$$TVdt = 0,05 \text{ h}$$

$$DFt = 95,00\%$$

$$UTt = 98,00\%$$

$$FOt=95,00\%$$

$$DPt= 252 \text{ d/a}$$

$$HTc=6,50 \text{ h/tur}$$

$$TDc=1,00 \text{ Tur/d}$$

$$TVt= TVct + TVdt = 0,08 + 0,045 = 0,125 \text{ h}$$

(Ecuación 48)

$$TCt= TVt + TMt + TCc$$

(Ecuación 49)

$$TCt= 0,125 \text{ h} + 0,033 \text{ h} + 0,0069 \text{ h} = 0,1653 \text{ h}$$

(Ecuación 50)

$$Ct= Vet * \frac{\delta}{1+\frac{e}{100}} = (24) * \frac{2,4}{1+\left(\frac{33}{100}\right)} = (24) * (1,8) = 43,20 \frac{\text{Ton}}{\text{vi}} \quad (\text{Ecuación 51})$$

$$NP= \frac{Ct}{Cc} = \frac{(43,20 \text{ Ton/vi})}{(2,05 \text{ Ton/cuc})} = 21,05 \text{ cuc/vi} \quad (\text{Ecuación 52})$$

$$RHt= \frac{NP * Cc * FOt * HTc * TDc}{TCt} \quad (\text{Ecuación 53})$$

$$RHt = \frac{(21,05 \text{ cuc/vi}) * (2,05 \text{ Ton/cuc}) * 95 * 98 * 95}{(0,1653 \text{ h})} = 231,18 \text{ ton/h}$$

$$RDt= RHt * HTc * TDc \quad (\text{Ecuación 54})$$

$$RDt = \frac{231,18 \text{ ton}}{\text{h}} * \frac{6,5 \text{ h}}{\text{tur}} * \frac{1,00 \text{ Tur}}{\text{d}} = 1.502,64 \text{ ton/d} \quad (\text{Ecuación 55})$$

$$RPt = RDt * DPt \quad (\text{Ecuación 56})$$

$$RPt = (1.502,64 \text{ ton/d}) * (252 \text{ d/a}) = 378.666,13 \text{ ton/a}$$

$$Net = \frac{T}{RPt} = \frac{(1064700,00 \text{ ton/a})}{(378.666,13 \text{ ton/a})} = 2,81 \quad (\text{Ecuación 57})$$

Combinación 4.

Maquinaria de Carga: Caterpillar 988b, Cargadora de ruedas.

Maquinaria de Transporte: Caterpillar 773b Rock Truck no articulado.

$$T = 1064700,00 \text{ ton/a}$$

$$Cc = 9,23 \text{ Ton/cuc}$$

$$Vet = 34,1$$

$$FLt = 92,00 \%$$

$$TCc = 0,0092 \text{ h}$$

$$TCt = 0,1675 \text{ h}$$

$$TMt = 0,033 \text{ h}$$

$$TVt = 0,125 \text{ h}$$

$$TVct = 0,08 \text{ h}$$

$$TVdt = 0,05 \text{ h}$$

$$DFt=95,00\%$$

$$UTt=98,00\%$$

$$FOt=95,00\%$$

$$DPt= 252 \text{ d/a}$$

$$HTc=6,50 \text{ h/tur}$$

$$TDc=1,00 \text{ Tur/d}$$

$$TVt= TVct + TVdt = 0,08+ 0,045 =0,125 \text{ h} \quad (\text{Ecuación 58})$$

$$TCt= TVt + TMt + TCc \quad (\text{Ecuación 59})$$

$$TCt= 0,125 \text{ h} + 0,033 \text{ h} + 0,0092 \text{ h} = 0,1675 \text{ h} \quad (\text{Ecuación 60})$$

$$Ct=Vet * \frac{\delta}{1+\frac{e}{100}} = (34,1) * \frac{2,4}{1+\frac{33}{100}} = (34,1) * (1,8) = \frac{61,38 \text{ Ton}}{vi} \quad (\text{Ecuación 61})$$

$$NP= \frac{Ct}{Cc} = \frac{(61,38 \text{ Ton/vi})}{(9,23 \text{ Ton/cuc})} = \frac{6,65 \text{ cuc}}{vi} \quad (\text{Ecuación 62})$$

$$RHt= \frac{NP * Cc * FOt * HTc * TDc}{TCt} \quad (\text{Ecuación 63})$$

$$RHt = \frac{\left(6,65 \frac{\text{cuc}}{vi}\right) * \left(9,23 \frac{\text{Ton}}{\text{cuc}}\right) * 95 * 98 * 95}{(0,1675 \text{ h})} = \frac{324,10 \text{ ton}}{h} \quad (\text{Ecuación 64})$$

$$RDt= RHt * HTc * TDc \quad (\text{Ecuación 65})$$

$$RDt = \frac{228,11 \text{ ton}}{h} * \frac{6,5 \text{ h}}{\text{tur}} * \frac{1,00 \text{ Tur}}{d} = 2.106,68 \frac{\text{ton}}{d}$$

$$RPt= RDt * DPt \quad (\text{Ecuación 66})$$

$$RPt = (1.472,81 \text{ ton/d}) * (252 \text{ d/a}) = 530883,54 \text{ ton/a} \quad (\text{Ecuación 67})$$

$$Net = T / RPt = \frac{(1064700,00 \text{ ton/a})}{(373.642,37 \text{ ton/a})} = 2,01 \quad (\text{Ecuación 68})$$

Combinación 5.

Maquinaria de Carga: Doosan 500 LCV, Excavadora hidráulica.

Maquinaria de Transporte: Caterpillar 773b Rock Truck no articulado

$$T = 1064700,00 \text{ ton/a}$$

$$Cc = 5,83 \text{ Ton/cuc}$$

$$Vet = 34,1$$

$$FLt = 92,00 \%$$

$$TCc = 0,01 \text{ h}$$

$$TCt = 0,1639 \text{ h}$$

$$TMt = 0,033 \text{ h}$$

$$TVt = 0,125 \text{ h}$$

$$TVct = 0,08 \text{ h}$$

$$TVdt = 0,05 \text{ h}$$

$$DFt = 95,00\%$$

$$UTt = 98,00\%$$

$$FOt=95,00\%$$

$$DPt= 252 \text{ d/a}$$

$$HTc=6,50 \text{ h/tur}$$

$$TDc=1,00 \text{ Tur/d}$$

$$TVt= TVct + TVdt = 0,08 + 0,045 = 0,125 \text{ h} \quad (\text{Ecuación 69})$$

$$TCt= TVt + TMt + TCc \quad (\text{Ecuación 70})$$

$$TCt= 0,125 \text{ h} + 0,033 \text{ h} + 0,01 \text{ h} = 0,1639 \text{ h} \quad (\text{Ecuación 71})$$

$$Ct= Vet * \frac{\delta}{1+\frac{e}{100}} \quad (\text{Ecuación 72})$$

$$Ct = (34,1) * \frac{2,4}{1+\frac{33}{100}} = (34,1) * (1,8) = 61,38 \text{ Ton/vi} \quad (\text{Ecuación 73})$$

$$NP= Ct/Cc = (61,38 \text{ Ton/vi}) / (5,83 \text{ Ton/cuc}) = 10,52 \text{ cuc/vi}$$

$$(\text{Ecuación 74})$$

$$RHt= \frac{NP * Cc * FOt * HTc * TDc}{TCt} \quad (\text{Ecuación 75})$$

$$RHt = \frac{\left(10,52 \frac{\text{cuc}}{\text{vi}}\right) * \left(5,83 \frac{\text{Ton}}{\text{cuc}}\right) * 95 * 98 * 95}{(0,1675 \text{ h})} = 331,25 \frac{\text{ton}}{\text{h}}$$

$$RDt= RHt * HTc * TDc \quad RPt= RDt * DPt \quad (\text{Ecuación 76})$$

$$RDt= (2.153,10 \text{ ton/d}) * (252 \text{ d/a}) = 542.580,97 \text{ ton/a}$$

$$\text{Net} = T / \text{RPt} = \frac{(1064700,00 \text{ ton/a})}{(542.580,97 \text{ ton/a})} = 1,96$$

(Ecuación 77)

Combinación 6.

Maquinaria de Carga: CAT 320 DL, Excavadora hidráulica.

Maquinaria de Transporte: Caterpillar 773b Rock Truck no articulado.

T=1064700,00 ton/a

Cc= 2,05 Ton/cuc

Vet= 34,1

FLt=92,00 %

TCc=0,0069 h

TCt=0,1653 h

TMt=0,033 h

TVt=0,125 h

TVct=0,08 h

TVdt=0,05 h

DFt=95,00%

UTt=98,00%

$$FOt=95,00\%$$

$$DPt= 252 \text{ d/a}$$

$$HTc=6,50 \text{ h/tur}$$

$$TDc=1,00 \text{ Tur/d}$$

$$TVt= TVct + TVdt = 0,08 + 0,045 = 0,125 \text{ h}$$

(Ecuación 78)

$$TCt= TVt + TMt + TCc \quad \text{(Ecuación 79)}$$

$$TCt= 0,125 \text{ h} + 0,033 \text{ h} + 0,0069 \text{ h} = 0,1653 \text{ h}$$

$$Ct= Vet * \frac{\delta}{1+\frac{e}{100}} \quad \text{(Ecuación 80)}$$

$$Ct = (34,1) * \frac{2,4}{1 + \frac{33}{100}} = (34,1) * (1,8) = 61,38 \text{ Ton/vi}$$

$$NP= \frac{Ct}{Cc} = \frac{(61,38 \text{ Ton/vi})}{(2,05 \text{ Ton/cuc})} = 29,91 \text{ cuc/vi} \quad \text{(Ecuación 81)}$$

$$RHt= \frac{NP * Cc * FOt * HTc * TDc}{TCt} \quad \text{(Ecuación 82)}$$

$$RHt= \frac{(29,91 \text{ cuc/vi}) * (2,05 \text{ Ton/cuc}) * 95 * 98 * 95}{(0,1653 \text{ h})} = 328,46 \text{ ton/h} \quad \text{(Ecuación 83)}$$

$$RDt= RHt * HTc * TDc \quad \text{(Ecuación 84)}$$

$$RDt = \frac{328,46 \text{ ton}}{h} * \frac{6,5 \text{ h}}{\text{tur}} * \frac{1,00 \text{ Tur}}{d} = 2135,01 \text{ ton/d}$$

$$RPt = RDt * DPt \quad \text{(Ecuación 85)}$$

$$RPt = (2135,01 \text{ ton/d}) * (252 \text{ d/a}) = 538021,47 \text{ ton/a}$$

$$Net = T / RPt = \frac{(1064700,00 \text{ ton/a})}{(538021,47 \text{ ton/a})} = 1,98 \quad \text{(Ecuación 86)}$$

Combinación 7.

Maquinaria de Carga: Caterpillar 988b, Cargadora de ruedas.

Maquinaria de Transporte: Caterpillar 775d Rock Truck no articulado.

$$T = 1064700,00 \text{ ton/a}$$

$$Cc = 9,23 \text{ Ton/cuc}$$

$$Vet = 41,50$$

$$FLt = 92,00 \%$$

$$TCc = 0,0092 \text{ h}$$

$$TCt = 0,1675 \text{ h}$$

$$TMt = 0,033 \text{ h}$$

$$TVt = 0,125 \text{ h}$$

$$TV_{ct}=0,08 \text{ h}$$

$$TV_{dt}=0,05 \text{ h}$$

$$DF_t=95,00\%$$

$$UT_t=98,00\%$$

$$FO_t=95,00\%$$

$$DP_t= 252 \text{ d/a}$$

$$HT_c=6,50 \text{ h/tur}$$

$$TD_c=1,00 \text{ Tur/d}$$

$$TV_t= TV_{ct} + TV_{dt} = 0,08 + 0,045 = 0,125 \text{ h} \quad (\text{Ecuación 87})$$

$$TC_t= TV_t + TM_t + TC_c$$

$$TC_t= 0,125 \text{ h} + 0,033 \text{ h} + 0,0092 \text{ h} = 0,1675 \text{ h}$$

$$(\text{Ecuación 88})$$

$$C_t= V_{et} * \frac{\delta}{1+\frac{e}{100}}$$

$$(\text{Ecuación 89})$$

$$C_t = (41,50) * \frac{2,4}{1 + \frac{33}{100}} = (41,50) * (1,8) = 74,70 \text{ Ton/vi}$$

$$NP= \frac{C_t}{C_c} = \frac{(74,70 \text{ Ton/vi})}{(9,23 \text{ Ton/cuc})} = 8,09 \text{ cuc/vi} \quad (\text{Ecuación 90})$$

$$RH_t= \frac{NP * C_c * FO_t * HT_c * TD_c}{TC_t} \quad (\text{Ecuación 91})$$

$$RDt = RHt * HTc * TDc$$

$$RDt = \frac{394,44 \text{ ton}}{h} * \frac{6,5 \text{ h}}{\text{tur}} * \frac{1,00 \text{ Tur}}{d} = 2.563,85 \text{ ton/d} \quad (\text{Ecuación 92})$$

$$RPt = RDt * DPt$$

$$RPt = (2.563,85 \text{ ton/d}) * (252 \text{ d/a}) = 646089,93 \text{ ton/a}$$

(Ecuación 93)

$$Net = T / RPt = \frac{(1064700,00 \text{ ton/a})}{(646089,93 \text{ ton/a})} = 1,65 \quad (\text{Ecuación 94})$$

Combinación 8.

Maquinaria de Carga: Doosan 500 LCV, Excavadora hidráulica.

Maquinaria de Transporte: Caterpillar 775d Rock Truck no articulado.

$$T = 1064700,00 \text{ ton/a}$$

$$Cc = 5,83 \text{ Ton/cuc}$$

$$Vet = 41,5$$

$$FLt = 92,00 \%$$

$$TCc = 0,01 \text{ h}$$

$$TCt = 0,1639 \text{ h}$$

$$TMt = 0,033 \text{ h}$$

$$TVt = 0,125 \text{ h}$$

$$TV_{ct}=0,08 \text{ h}$$

$$TV_{dt}=0,05 \text{ h}$$

$$DF_t=95,00\%$$

$$UT_t=98,00\%$$

$$FO_t=95,00\%$$

$$DP_t= 252 \text{ d/a}$$

$$HT_c=6,50 \text{ h/tur}$$

$$TD_c=1,00 \text{ Tur/d}$$

$$TV_t= TV_{ct} + TV_{dt} = 0,08 + 0,045 = 0,125 \text{ h}$$

(Ecuación 95)

$$TC_t= TV_t + TM_t + TC_c \quad \text{(Ecuación 96)}$$

$$TC_t= 0,125 \text{ h} + 0,033 \text{ h} + 0,01 \text{ h} = 0,1639 \text{ h}$$

$$C_t= V_{et} * \frac{\delta}{1+\frac{e}{100}} \quad \text{(Ecuación 97)}$$

$$C_t = (41,50) * \frac{2,4}{1+\frac{33}{100}} = (41,50) * (1,8) = 74,70 \text{ Ton/vi}$$

$$NP= \frac{C_t}{C_c} = \frac{(74,70 \text{ ton/vi})}{(5,83 \text{ Ton/cuc})} = 12,81 \text{ cuc/vi} \quad \text{(Ecuación 98)}$$

$$RH_t= \frac{NP * C_c * FO_t * HT_c * TD_c}{TC_t} \quad \text{(Ecuación 99)}$$

$$RH_t = \frac{(12,81 \text{ cuc/vi}) * (5,83 \text{ Ton/cuc}) * 95 * 98 * 95}{(0,1675 \text{ h})} = 403,13 \text{ ton / h}$$

$$RDt= RHt * HTc * TDc \quad (\text{Ecuación 100})$$

$$RDt= \frac{403,13 \text{ ton}}{h} * \frac{6,5 \text{ h}}{\text{tur}} * \frac{1,00 \text{ Tur}}{d} = 2620,34 \text{ ton/d}$$

$$RPt= RDt * DPt \quad (\text{Ecuación 101})$$

$$RPt= (2620,34 \text{ ton/d}) * (252 \text{ d/a}) = 660.325,81 \text{ ton/a}$$

$$Net= \frac{T}{RPt} = \frac{(1064700,00 \text{ ton/a})}{(660.325,81 \text{ ton/a})} = 1,61 \quad (\text{Ecuación 102})$$

Combinación 9.

Maquinaria de Carga: CAT 320 DL, Excavadora hidráulica.

Maquinaria de Transporte: Caterpillar 775d Rock Truck no articulado.

$$T=1064700,00 \text{ ton/a}$$

$$Cc= 2,05 \text{ Ton/cuc}$$

$$Vet= 41,5$$

$$FLt=92,00 \%$$

$$TCc=0,0069 \text{ h}$$

$$TCt=0,1653 \text{ h}$$

$$TMt=0,033 \text{ h}$$

$$TVt=0,125 \text{ h}$$

$$TVct=0,08 \text{ h}$$

$$TVdt=0,05 \text{ h}$$

$$DFt=95,00\%$$

$$UTt=98,00\%$$

$$FOt=95,00\%$$

$$DPt= 252 \text{ d/a}$$

$$HTc=6,50 \text{ h/tur}$$

$$TDc=1,00 \text{ Tur/d}$$

$$TVt= TVct + TVdt = 0,08 + 0,045 = 0,125 \text{ h} \quad (\text{Ecuación 103})$$

$$TCt= TVt + TMt + TCc \quad (\text{Ecuación 104})$$

$$TCt = 0,125 \text{ h} + 0,033 \text{ h} + 0,0069 \text{ h} = 0,1653 \text{ h}$$

$$Ct= Vet * \frac{\delta}{1+\frac{e}{100}} \quad (\text{Ecuación 105})$$

$$Ct= (41,50) * \frac{2,4}{1+\frac{33}{100}} = (41,50) * (1,8) = 74,70 \text{ Ton/vi}$$

$$NP= \frac{Ct}{Cc} = \frac{(74,70 \text{ Ton/vi})}{(2,05 \text{ Ton/cuc})} = 36,40 \text{ cuc/vi} \quad (\text{Ecuación 106})$$

$$RHt= \frac{NP * Cc * FOt * HTc * TDc}{TCt} \quad (\text{Ecuación 107})$$

$$RHt= \frac{(36,40 \text{ cuc/vi}) * (2,05 \text{ Ton/cuc}) * 95 * 98 * 95}{(0,1653 \text{ h})} = 399,74 \text{ ton/h}$$

$$RDt= RHt * HTc * TDc \quad (\text{Ecuación 108})$$

$$RDt= \frac{399,74 \text{ ton}}{\text{h}} * \frac{6,5 \text{ h}}{\text{tur}} * \frac{1,00 \text{ Tur}}{\text{d}} = 2598,32 \text{ ton/d}$$

$$RPt = RDt * DPt \quad (\text{Ecuación 109})$$

$$RPt = (2598,32 \text{ ton/d}) * (252 \text{ d/a}) = 654776,86 \text{ ton/a}$$

$$Net = \frac{T}{RPt} = \frac{(1064700,00 \text{ ton/a})}{(654776,86 \text{ ton/a})} = 1,63 \quad (\text{Ecuación 110})$$

Combinación 10.

Maquinaria de Carga: Caterpillar 988b, Cargadora de ruedas.

Maquinaria de Transporte: Caterpillar 777G Rock Truck no articulado.

$$T = 1064700,00 \text{ ton/a}$$

$$Cc = 9,23 \text{ Ton/cuc}$$

$$Vet = 64,10$$

$$FLt = 92,00 \%$$

$$TCc = 0,0092 \text{ h}$$

$$TCt = 0,1675 \text{ h}$$

$$TMt = 0,033 \text{ h}$$

$$TVt = 0,125 \text{ h}$$

$$TVct = 0,08 \text{ h}$$

$$TVdt = 0,05 \text{ h}$$

$$DFt=95,00\%$$

$$UTt=98,00\%$$

$$FOt=95,00\%$$

$$DPt= 252 \text{ d/a}$$

$$HTc=6,50 \text{ h/tur}$$

$$TDc=1,00 \text{ Tur/d}$$

$$TVt= TVct + TVdt = 0,08 + 0,045 = 0,125 \text{ h} \quad (\text{Ecuación 111})$$

$$TCt= TVt + TMt + TCc \quad (\text{Ecuación 112})$$

$$TCt= 0,125 \text{ h} + 0,033 \text{ h} + 0,0092 \text{ h} = 0,1675 \text{ h}$$

$$Ct= Vet * \frac{\delta}{1+\frac{e}{100}} \quad (\text{Ecuación 113})$$

$$Ct = (64,10) * \frac{2,4}{1 + \frac{33}{100}} = (64,10) * (1,8) = 115,38 \text{ Ton/vi}$$

$$NP= \frac{Ct}{Cc} = \frac{(115,38 \text{ Ton/vi})}{(9,23 \text{ Ton/cuc})} = 12,50 \text{ cuc/vi} \quad (\text{Ecuación 114})$$

$$RHt= \frac{NP * Cc * FOt * HTc * TDc}{TCt} \quad (\text{Ecuación 115})$$

$$RHt= \frac{(12,50 \text{ cuc/vi}) * (9,23 \text{ Ton/cuc}) * 95 * 98 * 95}{(0,1675 \text{ h})} = 609,24 \text{ ton / h}$$

$$RDt= RHt * HTc * TDc \quad (\text{Ecuación 116})$$

$$RDt = \frac{609,24 \text{ ton}}{h} * \frac{6,5 \text{ h}}{\text{tur}} * \frac{1,00 \text{ Tur}}{d} = 3.960,07 \text{ ton/d}$$

$$RPt = RDt * DPt \quad (\text{Ecuación 117})$$

$$RPt = (3.960,07 \text{ ton/d}) * (252 \text{ d/a}) = 997936,50 \text{ ton/a}$$

$$Net = \frac{T}{RPt} = \frac{(1064700,00 \text{ ton/a})}{(997936,50 \text{ ton/a})} = 1,07 \quad (\text{Ecuación 118})$$

Combinación 11.

Maquinaria de Carga: Doosan 500 LCV, Excavadora hidráulica.

Maquinaria de Transporte: Caterpillar 777G Rock Truck no articulado.

$$T = 1064700,00 \text{ ton/a}$$

$$Cc = 5,83 \text{ Ton/cuc}$$

$$Vet = 64,1$$

$$FLt = 92,00 \%$$

$$TCc = 0,01 \text{ h}$$

$$TCt = 0,1639 \text{ h}$$

$$TMt = 0,033 \text{ h}$$

$$TVt = 0,125 \text{ h}$$

$$TVct = 0,08 \text{ h}$$

$$TVdt = 0,05 \text{ h}$$

$$DFt=95,00\%$$

$$UTt=98,00\%$$

$$FOt=95,00\%$$

$$DPt= 252 \text{ d/a}$$

$$HTc=6,50 \text{ h/tur}$$

$$TDc=1,00 \text{ Tur/d}$$

$$TVt= TVct + TVdt = 0,08 + 0,045 = 0,125 \text{ h} \quad (\text{Ecuación 118})$$

$$TCt= TVt + TMt + TCc \quad (\text{Ecuación 119})$$

$$TCt= 0,125 \text{ h} + 0,033 \text{ h} + 0,01 \text{ h} = 0,1639 \text{ h}$$

$$Ct= Vet * \frac{\delta}{1+\frac{e}{100}} \quad (\text{Ecuación 120})$$

$$Ct= (64,10) * \frac{2,4}{1+\frac{33}{100}} = (64,10) * (1,8) = 115,38 \text{ Ton/vi}$$

$$NP= \frac{Ct}{Cc} = \frac{(115,38 \text{ Ton/vi})}{(5,83 \text{ Ton/cuc})} = 19,78 \text{ cuc/vi} \quad (\text{Ecuación 121})$$

$$RHt= \frac{NP * Cc * FOt * HTc * TDc}{TCt} \quad (\text{Ecuación 122})$$

$$RHt= \frac{(19,78 \text{ cuc/vi}) * (5,83 \text{ Ton/cuc}) * 95 * 98 * 95}{(0,1675 \text{ h})} = 622,66 \text{ ton / h}$$

$$RDt= RHt * HTc * TDc \quad (\text{Ecuación 123})$$

$$RDt= \frac{622,66 \text{ ton}}{\text{h}} * \frac{6,5 \text{ h}}{\text{tur}} * \frac{1,00 \text{ Tur}}{\text{d}} = 4047,32 \text{ ton/d}$$

$$RPt= RDt * DPt \quad (\text{Ecuación 124})$$

$$RPt = (4047,32 \text{ ton/d}) * (252 \text{ d/a}) = 1019924,93 \text{ ton/a}$$

$$Net = \frac{T}{RPt} = \frac{(1064700,00 \text{ ton/a})}{(1019924,93 \text{ ton/a})} = 1,04 \quad (\text{Ecuación 125})$$

Combinación 12.

Maquinaria de Carga: CAT 320 DL, Excavadora hidráulica.

Maquinaria de Transporte: Caterpillar 775d Rock Truck no articulado.

$$T=1064700,00 \text{ ton/a}$$

$$Cc= 2,05 \text{ Ton/cuc}$$

$$Vet= 64,10$$

$$FLt=92,00 \%$$

$$TCc=0,0069 \text{ h}$$

$$TCt=0,1653 \text{ h}$$

$$TMt=0,033 \text{ h}$$

$$TVt=0,125 \text{ h}$$

$$TVct=0,08 \text{ h}$$

$$TVdt=0,05 \text{ h}$$

$$DFt=95,00\%$$

$$UTt=98,00\%$$

$$FOt=95,00\%$$

$$DPt= 252 \text{ d/a}$$

$$HTc=6,50 \text{ h/tur}$$

$$TDc=1,00 \text{ Tur/d}$$

$$TVt= TVct + TVdt = 0,08 + 0,045 = 0,125 \text{ h} \quad (\text{Ecuación 126})$$

$$TCt= TVt + TMt + TCc \quad (\text{Ecuación 127})$$

$$TCt = 0,125 \text{ h} + 0,033 \text{ h} + 0,0069 \text{ h} = 0,1653 \text{ h}$$

$$Ct= Vet * \frac{\delta}{1+\frac{e}{100}} \quad (\text{Ecuación 128})$$

$$Ct = (64,10) * \frac{2,4}{1 + \frac{33}{100}} = (64,10) * (1,8 \text{ ton/}) = 115,38 \text{ Ton/vi}$$

$$NP= \frac{Ct}{Cc} = \frac{(115,38 \text{ Ton/vi})}{(2,05 \text{ Ton/cuc})} = 56,22 \text{ cuc/vi} \quad (\text{Ecuación 129})$$

$$RHt= \frac{hNP * Cc * FOt * HTc * TDc}{TCt} \quad (\text{Ecuación 130})$$

$$RHt= \frac{(56,22 \text{ cuc/vi}) * (2,05 \text{ Ton/cuc}) * 95 * 98 * 95}{(0,1653 \text{ h})} = 617,43 \text{ ton/h}$$

$$RDt= RHt * HTc * TDc \quad (\text{Ecuación 131})$$

$$RDt= \frac{617,43 \text{ ton}}{\text{h}} * \frac{6,5 \text{ h}}{\text{tur}} * \frac{1,00 \text{ Tur}}{\text{d}} = 4013,31 \text{ ton/d}$$

$$RPt= RDt * DPt \quad (\text{Ecuación 132})$$

$$RPt= (4013,31 \text{ ton/d}) * (252 \text{ d/a}) = 1011354,13 \text{ ton/a}$$

$$Net= \frac{T}{RPt} = \frac{(1064700,00 \text{ ton/a})}{(1011354,13 \text{ ton/a})} = 1,05 \quad (\text{Ecuación 133})$$

Tabla 23. Resultado de los rendimientos horarios de las 12 combinaciones de maquinarias propuestas.

Equipo de Transporte	Equipo de Carga	Rendimiento del Equipo de Transporte	Número de Equipos	Rendimiento total del Equipo de Transporte
Unidades		Ton/h		Ton/h
Combinación 1				
CATERPILLAR 740B DUMP TRUCK ARTICULADO	CATERPILLAR 988B	228,1089	2,8495	684,3267
Combinación 2				
CATERPILLAR 740B DUMP TRUCK ARTICULADO	DOOSAN GIANT 500LCV	231,1759	2,8117	693,5277
Combinación 3				
CATERPILLAR 740B DUMP TRUCK ARTICULADO	CATERPILLAR 320 DL	233,1350	2,7881	699,4051
Combinación 4				
CATERPILLAR 773B ROCK TRUCK NO ARTICULADO	CATERPILLAR 988B	No existe compatibilidad entre sus dimensiones.		
Combinación 5				
CATERPILLAR 773B ROCK TRUCK NO ARTICULADO	DOOSAN GIANT 500LCV	328,4624	1,9789	656,9249
Combinación 6				
CATERPILLAR 773B ROCK TRUCK NO ARTICULADO	CATERPILLAR 320 DL	331,2460	1,9623	662,4920
Combinación 7				
CATERPILLAR 775D NO ARTICULADO	CATERPILLAR 988B	394,4383	1,6479	788,8766
Combinación 8				
CATERPILLAR 775D NO ARTICULADO	DOOSAN GIANT 500LCV	399,7417	1,6261	799,4833
Combinación 9				
CATERPILLAR 775D NO ARTICULADO	CATERPILLAR 320 DL	403,1293	1,6124	806,2586
Combinación 10				
CATERPILLAR 777G NO ARTICULADO	CATERPILLAR 988B	No existe compatibilidad entre sus dimensiones.		
Combinación 11				
CATERPILLAR 777G NO ARTICULADO	DOOSAN GIANT 500LCV	617,4323	1,0527	617,4323
Combinación 12				
CATERPILLAR 777G NO ARTICULADO	CATERPILLAR 320 DL	622,6648	1,0439	622,6648

Fuente: Mina, A. (2016).

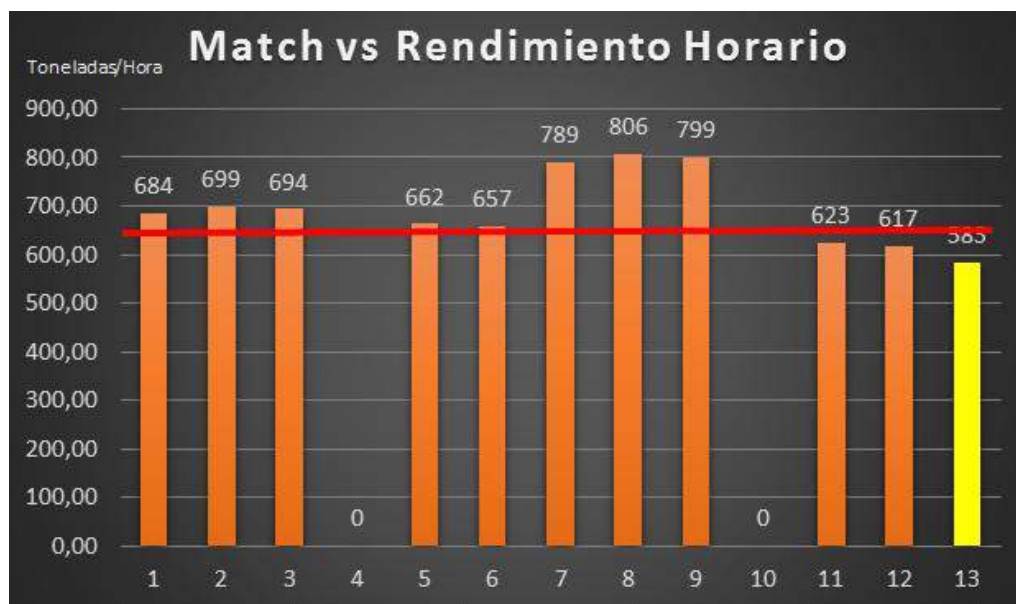


Gráfico 13. Combinaciones de maquinarias propuestas versus rendimientos horarios.
Fuente: Mina, A. (2016).

5.2 Cálculo de costo de las combinaciones idóneas según el rendimiento horario.

El cálculo de los rendimientos de las combinaciones de maquinarias nos permite seleccionar la maquinaria de carga y la maquinaria de transporte que nos generen el mayor rendimiento, en este caso la combinación 1, combinación 2 y la combinación 3 presentan los rendimientos más altos, los mismos que serán objeto del análisis de costos operativos.

CAMIONES ARTICULADOS						
Modelo	Bajo		Medio		Alto	
	litros	gal. E.E.U.U.	litros	gal. E.E.U.U.	litros	gal. E.E.U.U.
725	10,6-14,8	2,8-3,9	14,8-20,8	3,9-5,5	20,8-30,1	5,5-8,0
730 con Expulser	12,3-17,1	3,3-4,5	17,1-24,5	4,5-6,4	24,2-34,9	6,4-9,2
730	11,7-16,3	3,1-4,3	16,3-23,0	4,3-6,1	23,0-33,2	6,1-8,8
735	16,6-23,1	4,4-6,1	23,1-32,4	6,1-8,6	32,4-46,8	8,6-12,4
740	16,7-23,2	4,4-6,1	23,2-32,6	6,1-8,6	32,6-47,1	8,6-12,5
740 con Expulser	17,5-24,4	4,6-6,4	24,4-34,2	6,4-9,6	34,2-49,5	9,0-13,1

Figura 22. Consumo de combustible de camiones articulados.

Fuente: Mina, A. (2016).

Para el análisis de costos operativos se consideran parámetros como el consumo de combustible y energía, desgaste de los neumáticos, sueldo de operadores, consumo de grasas, aceites y lubricantes. Los factores utilizados para realizar los cálculos de los parámetros antes mencionados se presentan en los anexos.

Los valores de compra de los equipos han sido obtenidos a través de consulta a locales oficiales de venta de equipos Caterpillar y a Locales de venta de equipos usados de los cuales se ha considerado un 5% de margen de error aplicado al valor de venta.

Se debe notar que todas las combinaciones escogidas para el análisis de costos integran al mismo equipo de transporte, sin embargo los resultados de los costos operativos para esta maquinaria en cada combinación es diferente ya que el rendimiento de la misma se ve influenciada por la maquinaria de carga con la que trabaje,

Combinación 1.

Maquinaria de Carga: Caterpillar 988b, Cargadora de ruedas.

$$V_{ec}=400000,00 \$$$

$$V_{uc}=12000,00 \text{ h}$$

$$V_{cc}=1,050 \$/\text{Gal}$$

$$C_{cc}=10,60 \text{ Gal/h}$$

$$F_{lc}=20,00 \%$$

$$F_{mc}=80,00 \%$$

$$S_{oc}=457,00 \$/\text{mes}$$

$$N_{oc}=1,00$$

$$V_{nc}=4000,00 \$$$

$$V_{un}=2000 \text{ h}$$

$$R_{Hc}= 624,202 \text{ ton/h}$$

$$R_{Pc}= R_{Hc} * H_{Tc} * D_{Pc} = (624,202 \text{ ton/h}) * (6,5) * (252) = 1022442,239 \text{ ton/a}$$

$$T= 1064700,000 \text{ ton/a}$$

$$C_{Cc}= \frac{V_{ec}}{V_{uc}} = \frac{(400000,00 \$)}{(12000,00 \text{ h})} = 33,33 \$/\text{h} \quad (\text{Ecuación 134})$$

$$C_{CC}= \frac{C_{Cc}}{R_{Hc}} = \frac{(33,33 \$/\text{h})}{(624,202 \text{ ton/h})} = 0,067 \$/\text{ton} \quad (\text{Ecuación 135})$$

$$C_{Ec}= V_{cc} * C_{cc} = (1,050 \$/\text{Gal}) * (10,600 \text{ Gal/h}) = 11,130 \$/\text{h}$$

(Ecuación 136)

$$C_{EC}= \frac{C_{Ec}}{R_{Hc}} = \frac{(11,130 \$/\text{h})}{(624,202 \text{ ton/h})} = 0,018 \$/\text{ton} \quad (\text{Ecuación 137})$$

$$CLC = \frac{CEc * Flc}{100} = \frac{(11,130 \$/h) * (20\%)}{(100\%)} = 2,226 \$/h \quad (\text{Ecuación 138})$$

$$CLC = \frac{CLc}{RHc} = \frac{(2,226 \$/h)}{(624,202 \text{ ton/h})} = 0,004 \$/ton \quad (\text{Ecuación 139})$$

$$CMc = \frac{CCc * Fmc}{100} = \frac{(33,33 \$/h) * (80\%)}{(100\%)} = 26,67 \$/h \quad (\text{Ecuación 140})$$

$$CMC = \frac{CMc}{RHc} = \frac{(26,67 \$/h)}{(624,202 \text{ ton/h})} = 0,040 \$/ton \quad (\text{Ecuación 141})$$

$$CNC = \frac{Vnc}{Vun} = \frac{(4000,00 \$)}{(2000h)} = 2 \$/h \quad (\text{Ecuación 142})$$

$$CNC = \frac{CNc}{RHc} = \frac{2 \$/h}{(624,202 \text{ ton/h})} = 0,003 \$/ton \quad (\text{Ecuación 143})$$

$$MOC = \frac{(Soc * Noc)}{(HTc)(Dlm)} = \frac{(457,00 \$/\text{mes}) * (1,00)}{(6,5)(21)} = 3,348 \$/h \quad (\text{Ecuación 144})$$

$$MOC = \frac{MOC}{RHc} = \frac{3,348 \$/h}{624,202 \text{ ton/h}} = 0,05 \$/ton \quad (\text{Ecuación 145})$$

$$CDc = CEC + CLc + CMc + CNC + MOC \quad (\text{Ecuación 146})$$

$$\begin{aligned} CDc &= 11,130 \$/h + 2,226 \$/h + 26,67 \$/h + 2 \$/h + 3,348 \$/h \\ &= 45,371 \$/h \end{aligned}$$

$$CDC = CEC + CLC + CMC + CNC + MOC \quad (\text{Ecuación 147})$$

$$CDC = 0,018 \$/ton + 0,004 \$/ton + 0,040 \$/ton + 0,003 \$/ton + 0,05 \$/ton$$

$$CDC = 0,070 \$/ton$$

$$CCc + CDc = 45,371 \$/h + 33,33 \$/h = 78,704 \$/h \quad (\text{Ecuación 148})$$

$$CTC = CCC + CDC \quad (\text{Ecuación 149})$$

$$CTC = 0,067 \text{ \$/ton} + 0,070 \text{ \$/ton} = 0,137 \text{ \$/ton}$$

Maquinaria de Transporte: Caterpillar 740b Dumper Articulado.

$$Vet = 570000,00 \text{ \$}$$

$$Vut = 12500,00 \text{ h}$$

$$Vct = 1,050 \text{ \$/Gal}$$

$$Cct = 15,70 \text{ Gal/h}$$

$$Flt = 15,00 \%$$

$$Fmt = 50,00 \%$$

$$Sot = 457,00 \text{ \$/año}$$

$$Not = 1,00$$

$$Vnt = 8000,00 \text{ \$}$$

$$Vun = 2000,00 \text{ h}$$

$$RPt = 1120927,1126 \text{ Ton/a}$$

$$RHt = 684,3267 \text{ Ton/h}$$

$$T = 1064700,0000 \text{ Ton/a}$$

$$CCt = \frac{Vet}{Vut} = \frac{(570000,00 \text{ \$})}{(12500,00 \text{ h})} = 45,60 \text{ \$/h} \quad (\text{Ecuación 150})$$

$$CCT = \frac{CCt}{RHt} = \frac{(45,60 \text{ \$/h})}{(684,3267 \text{ Ton/h})} = 0,0666 \text{ \$/Ton} \quad (\text{Ecuación 151})$$

$$CEt = V_{ct} * C_{ct} = (15,70 \text{ gal/h}) * (1,05 \text{ \$/gal}) = 16,48 \text{ \$/h} \quad (\text{Ecuación 152})$$

$$CET = \frac{CEt}{RHt} = \frac{(16,48 \text{ \$/h})}{(684,3267 \text{ Ton/h})} = 0,0241 \text{ \$/Ton} \quad (\text{Ecuación 153})$$

$$CLt = \frac{CEt * Flt}{100} = \frac{(16,48 \text{ \$/h}) * (20\%)}{(100\%)} = 2,47 \text{ \$/h} \quad (\text{Ecuación 154})$$

$$CLT = \frac{CLt}{RHt} = \frac{(2,47 \text{ \$/h})}{(684,3267 \text{ Ton/h})} = 0,0036 \text{ \$/Ton} \quad (\text{Ecuación 155})$$

$$CMt = \frac{CCt * Fmt}{100} = \frac{(45,60 \text{ \$/h}) * (50\%)}{(100\%)} = 22,8000 \text{ \$/h} \quad (\text{Ecuación 156})$$

$$CMT = \frac{CMt}{RHt} = \frac{(22,8000 \text{ \$/Hora})}{(684,3267 \text{ Ton/h})} = 0,0333 \text{ \$/Ton} \quad (\text{Ecuación 157})$$

$$CNT = \frac{V_{nt}}{V_{un}} = \frac{(8000,00 \text{ \$})}{(2000h)} = 4,00 \text{ \$/h} \quad (\text{Ecuación 158})$$

$$CNT = \frac{CNT}{RHt} = \frac{(4,00 \text{ \$/h})}{(684,3267 \text{ Ton/h})} = 0,0058 \text{ \$/Ton} \quad (\text{Ecuación 159})$$

$$MOt = \frac{(Sot * Not)}{(HTt)(Dlm)} = \frac{(457,00 \text{ \$/mes}) * (1,00)}{(6,5)(21)} = 3,348 \text{ \$/h} \quad (\text{Ecuación 160})$$

$$MOT = \frac{MOt}{RHt} = \frac{(3,348 \text{ \$/h})}{(183,0991 \text{ ton/h})} = 0,0049 \text{ \$/ton} \quad (\text{Ecuación 161})$$

$$CDt = CEt + CLt + CMt + CNT + MOT \quad (\text{Ecuación 162})$$

$$\begin{aligned} CDt &= 16,48 \text{ \$/h} + 2,47 \text{ \$/h} + 22,80 \text{ \$/h} + 4,00 \text{ \$/h} + 3,348 \text{ \$/h} \\ &= 49,105 \text{ \$/h} \end{aligned}$$

$$CDT = CET + CLT + CMT + CNT + MOT \quad (\text{Ecuación 163})$$

$$CDT = 0,0241 \frac{\$}{\text{Ton}} + 0,0036 \frac{\$}{\text{Ton}} + 0,0333 \frac{\$}{\text{Ton}} + 0,0058 \frac{\$}{\text{Ton}} + 0,0049 \frac{\$}{\text{ton}}$$

$$CDT = 0,0718 \text{ \$/Ton}$$

$$CT_t = CC_t + CD_t = 45,60 \text{ \$/h} + 49,105 \text{ \$/h} = 94,7057 \text{ \$/h} \text{ (Ecuación 164)}$$

$$CTT = CCT + CDT = 0,0666 \text{ \$/Ton} + 0,0718 \text{ \$/Ton} \quad \text{(Ecuación 165)}$$

$$CTT = 0,1384 \text{ \$/Ton}$$

Combinación 2.

Maquinaria de Carga: Doosan 500 LCV, Excavadora hidráulica.

$$Vec = 200000,00 \text{ \$}$$

$$Vuc = 10000,00 \text{ h}$$

$$Vcc = 1,050 \text{ \$/Gal}$$

$$Ccc = 5,00 \text{ Gal/h}$$

$$Flc = 25,00 \%$$

$$Fmc = 80,00 \%$$

$$Soc = 457,00 \text{ \$/mes}$$

$$Noc = 1,00$$

$$Vac = (20\%) * Vec = (20\%) * 200000,00 \$ = 36000,00 \$ \text{ (Ecuación 166)}$$

$$Vua = 3500 \text{ h}$$

$$RHc = 580,2155 \text{ ton/h}$$

$$RPc = RHc * HTc * DPc$$

$$RPc = (580,2155 \text{ ton/h}) * (6,5) * (252) = 950392,95 \text{ ton/a} \text{ (Ecuación 167)}$$

$$T = 1064700,000 \text{ ton/a}$$

$$CCc = \frac{Vec}{Vuc} = \frac{(200000,00 \$)}{(10000,00 h)} = 20 \$/h \quad (\text{Ecuación 168})$$

$$CCC = \frac{CCc}{RHc} = \frac{(20 \$/h)}{(580,2155 \text{ton/h})} = 0,034470 \$/ton \quad (\text{Ecuación 169})$$

$$CEc = Vcc * Ccc = (1,050 \$/Gal) * (5 Gal/h) = 5,250 \$/h \quad (\text{Ecuación 170})$$

$$CEC = \frac{CEc}{RHc} = \frac{(5,250 \$/h)}{(580,2155 \text{ton/h})} = 0,009 \$/ton \quad (\text{Ecuación 171})$$

$$CLc = \frac{CEc * Flc}{100} = \frac{(5,250 \$/h) * (20\%)}{(100\%)} = 1,3125 \$/h \quad (\text{Ecuación 172})$$

$$CLC = \frac{CLc}{RHc} = \frac{(2,226 \$/h)}{(580,2155 \text{ton/h})} = 0,0023 \$/ton \quad (\text{Ecuación 173})$$

$$CMc = \frac{CCc * Fmc}{100} = \frac{(20 \$/h) * (80\%)}{(100\%)} = 16 \$/h \quad (\text{Ecuación 174})$$

$$CMC = \frac{CMc}{RHc} = \frac{(26,67 \$/h)}{(580,2155 \text{ton/h})} = 0,0276 \$/ton \quad (\text{Ecuación 175})$$

$$CAc = \frac{Vnc}{Vun} = \frac{(36000,00 \$)}{(10000h)} = 3,6 \$/h \quad (\text{Ecuación 176})$$

$$CAC = \frac{CNc}{RHc} = \frac{(3,6 \$/h)}{(580,2155 \text{ton/h})} = 0,0062 \$/ton \quad (\text{Ecuación 177})$$

$$MOc = \frac{(Soc * Noc)}{(HTc)(Dlm)} = \frac{(457,00 \$/mes) * (1,00)}{(6,5)(21)} = 3,348 \$/h \quad (\text{Ecuación 178})$$

$$MOC = \frac{MOc}{RHc} = \frac{(3,348 \$/h)}{(580,2155 \text{ton/h})} = 0,05 \$/ton \quad (\text{Ecuación 179})$$

$$CDc = CEc + CLc + CMc + MOc + CAc \quad (\text{Ecuación 180})$$

$$CDc = 5,25 \$/h + 1,312 \$/h + 16 \$/h + 3,34 \$/h + 3,6 \$/h = 29,51 \$/h$$

$$CDC = CEC + CLC + CMC + MOC + CAC \quad (\text{Ecuación 181})$$

$$CDC = 0,009 \text{ \$/ton} + 0,0023 \text{ \$/ton} + 0,0276 \text{ \$/ton} + 0,0062 \text{ \$/ton} \\ + 0,05 \text{ \$/ton}$$

$$CDC = 0,0509 \text{ \$/ton}$$

$$CTc = CCc + CDc = 20 \text{ \$/h} + 29,51 \text{ \$/h} = 49,51 \text{ \$/h} \quad (\text{Ecuación 182})$$

$$CTC = CCC + CDC$$

$$CTC = 0,034470 \text{ \$/ton} + 0,0509 \text{ \$/ton} = 0,0853 \text{ \$/ton} \quad (\text{Ecuación 183})$$

Maquinaria de Transporte: Caterpillar 740b Dumper Articulado.

$$Vet = 570000,00 \text{ \$}$$

$$Vut = 12500,00 \text{ h}$$

$$Vct = 1,050 \text{ \$/Gal}$$

$$Cct = 15,70 \text{ Gal/h}$$

$$Flt = 15,00 \%$$

$$Fmt = 50,00 \%$$

$$Sot = 457,00 \text{ \$/año}$$

$$Not = 1,00$$

$$Vnt = 8000,00 \text{ \$}$$

$$Vun = 2000,00 \text{ h}$$

$$RPt=1145625,506 \text{ Ton/a}$$

$$RHt=699,40 \text{ Ton/h}$$

$$T=1064700,0000 \text{ Ton/a}$$

$$CCt = \frac{V_{et}}{V_{ut}} = \frac{(570000,00 \$)}{(12500,00 \text{ h})} = 45,60 \$/\text{h} \quad (\text{Ecuación 184})$$

$$CCT = \frac{CCt}{RHt} = \frac{(45,60 \$/\text{h})}{(699,40 \text{ Ton/h})} = 0,0652 \$/\text{Ton} \quad \text{Ecuación 185)}$$

$$CEt = V_{ct} * C_{ct} = (15,70 \text{ gal/h}) * (1,05 \$/\text{gal}) = 16,48 \$/\text{h} \quad (\text{Ecuación 186})$$

$$CET = \frac{CEt}{RHt} = \frac{(16,48 \$/\text{h})}{(699,40 \text{ Ton/h})} = 0,0236 \$/\text{Ton} \quad (\text{Ecuación 187})$$

$$CLt = \frac{CEt * Flt}{100} = \frac{(16,48 \$/\text{h}) * (20\%)}{(100\%)} = 2,47 \$/\text{h} \quad (\text{Ecuación 188})$$

$$CLT = \frac{CLt}{RHt} = \frac{(2,47 \$/\text{h})}{(699,40 \text{ Ton/h})} = 0,003 \$/\text{Ton} \quad (\text{Ecuación 189})$$

$$CMt = \frac{CCt * Fmt}{100} = \frac{(45,60 \$/\text{h}) * (50\%)}{(100\%)} = 22,8000 \$/\text{h} \quad (\text{Ecuación 190})$$

$$CMT = \frac{CMt}{RHt} = \frac{(22,8000 \$/\text{Hora})}{(699,40 \text{ Ton/h})} = 0,0326 \$/\text{Ton} \quad (\text{Ecuación 191})$$

$$CNT = \frac{V_{nt}}{V_{un}} = \frac{(8000,00 \$)}{(2000\text{h})} = 4,00 \$/\text{h} \quad (\text{Ecuación 192})$$

$$CNT = \frac{CNT}{RHt} = \frac{(4,00 \$/\text{h})}{(699,40 \text{ Ton/h})} = 0,0057 \$/\text{Ton} \quad (\text{Ecuación 193})$$

$$MOt = \frac{(Sot * Not)}{(HTt)(Dlm)} = \frac{(457,00 \$/\text{mes}) * (1,00)}{(6,5)(21)} = 3,348 \$/\text{h} \quad (\text{Ecuación 194})$$

$$MOT = \frac{MOt}{RHt} = \frac{(3,348 \$/\text{h})}{(183,0991 \text{ ton/h})} = 0,0048 \$/\text{ton} \quad (\text{Ecuación 195})$$

$$CDt = CEt + CLt + CMt + CNt + MOt \quad (\text{Ecuación 196})$$

$$CDt = 16,48 \$/h + 2,47 \$/h + 22,80 \$/h + 4,00 \$/h + 3,348 \$/h$$

$$CDt = 49,105 \$/h$$

$$CDT = CET + CLT + CMT + CNT + MOT \quad (\text{Ecuación 197})$$

$$CDT = 0,0236 \frac{\$}{\text{Ton}} + 0,003 \frac{\$}{\text{Ton}} + 0,0326 \frac{\$}{\text{Ton}} + 0,0057 \frac{\$}{\text{Ton}} + 0,0485 \frac{\$}{\text{Ton}}$$

$$CDT = 0,0702 \frac{\$}{\text{Ton}}$$

$$CTt = CCt + CDt = 45,60 \$/h + 49,105 \$/h = 94,7057 \$/h \quad (\text{Ecuación 198})$$

$$CTT = CCT + CDT \quad (\text{Ecuación 199})$$

$$CTT = 0,0652 \$/\text{Ton} + 0,0702 \$/\text{Ton} = 0,1354 \$/\text{Ton}$$

Combinación 3.

Maquinaria de Carga: CAT 320 DL, Excavadora hidráulica.

$$Vec = 250000,00 \$$$

$$Vuc = 10000,00 h$$

$$Vcc = 1,050 \$/\text{Gal}$$

$$Ccc = 5,300 \text{ Gal/h}$$

$$Flc = 25,00 \%$$

$$Fmc = 80,00 \%$$

$$Soc = 457,00 \$/\text{mes}$$

$$Noc=1,00$$

$$Vac= (20\%) * Vec = (20\%) * 250000,00 \$ = 50000,00 \$ \quad (\text{Ecuación 200})$$

$$Vua=10000 \text{ h}$$

$$RHc= 183,0991 \text{ ton/h}$$

$$RPc= RHc * HTc * DPc \quad (\text{Ecuación 201})$$

$$RPc= (183,0991 \text{ ton/h}) * (6,5) * (252) = 399888,5200 \text{ ton/a}$$

$$T= 1064700,000 \text{ ton/a}$$

$$CCc= \frac{Vec}{Vuc} = \frac{(250000,00 \$)}{(10000,00 \text{ h})} = 25 \$/\text{h} \quad (\text{Ecuación 202})$$

$$CCC= \frac{CCc}{RHc} = \frac{(25 \$/\text{h})}{(183,0991 \text{ ton/h})} = 0,1365 \$/\text{ton} \quad (\text{Ecuación 203})$$

$$CEc= Vcc * Ccc = (1,050 \$/\text{Gal}) * (5,3 \text{ Gal/h}) = 5,565 \$/\text{h} \quad (\text{Ecuación 204})$$

$$CEC= \frac{CEc}{RHc} = \frac{(5,565 \$/\text{h})}{(183,0991 \text{ ton/h})} = 0,009 \$/\text{ton} \quad (\text{Ecuación 205})$$

$$CLc= \frac{CEc * Flc}{100} = \frac{(5,565 \$/\text{h}) * (20\%)}{(100\%)} = 1,3913 \$/\text{h} \quad (\text{Ecuación 206})$$

$$CLC= \frac{CLc}{RHc} = \frac{(1,3913 \$/\text{h})}{(183,0991 \text{ ton/h})} = 0,0076 \$/\text{ton} \quad (\text{Ecuación 207})$$

$$CMc= \frac{CCc * Fmc}{100} = \frac{(25 \$/\text{h}) * (80\%)}{(100\%)} = 20 \$/\text{h} \quad (\text{Ecuación 208})$$

$$CMC= \frac{CMc}{RHc} = \frac{(20 \$/\text{h})}{(183,0991 \text{ ton/h})} = 0,1092 \$/\text{ton} \quad (\text{Ecuación 209})$$

$$CAC= \frac{Vnc}{Vun} = \frac{(50000,00 \$)}{(10000 \text{ h})} = 5 \$/\text{h} \quad (\text{Ecuación 210})$$

$$CAC= \frac{CNc}{RHc} = \frac{(5 \$/\text{h})}{(183,0991 \text{ ton/h})} = 0,0273 \$/\text{ton} \quad (\text{Ecuación 211})$$

$$MOc= \frac{(Soc * Noc)}{(HTc)(Dlm)} = \frac{(457,00 \$/\text{mes}) * (1,00)}{(6,5)(21)} = 3,348 \$/\text{h} \quad (\text{Ecuación 212})$$

$$MOC= \frac{MOc}{RHc} = \frac{(3,348 \$/\text{h})}{(183,0991 \text{ ton/h})} = 0,05 \$/\text{ton} \quad (\text{Ecuación 213})$$

$$CDc= CEC + CLc + CMc + CAC + MOc \quad (\text{Ecuación 214})$$

$$CDc= 5,565 \$/\text{h} + 1,3913 \$/\text{h} + 20 \$/\text{h} + 5 \$/\text{h} + 3,348 \$/\text{h} = 31,70 \$/\text{h}$$

$$CDC= CEC + CLC + CMC + CAC + MOC \quad (\text{Ecuación 215})$$

$$CDC = 0,009 \$/\text{ton} + 0,0076 \$/\text{ton} + 0,1092 \$/\text{ton} + 0,0273 \$/\text{ton} + 0,05 \$/\text{ton}$$

$$CDC = 0,1928 \text{ \$/ton}$$

$$CTc = CCc + CDc = 25 \text{ \$/h} + 31,70 \text{ \$/h} = 56,70 \text{ \$/h} \quad (\text{Ecuación 216})$$

$$CTC = CCC + CDC \quad (\text{Ecuación 217})$$

$$CTC = 0,1365 \text{ \$/ton} + 0,1928 \text{ \$/ton} = 0,3294 \text{ \$/ton}$$

Maquinaria de Transporte: Caterpillar 740b Dumper Articulado.

$$Vet = 570000,00 \text{ \$}$$

$$Vut = 12500,00 \text{ h}$$

$$Vct = 1,050 \text{ \$/Gal}$$

$$Cct = 15,70 \text{ Gal/h}$$

$$Flt = 15,00 \%$$

$$Fmt = 50,00 \%$$

$$Sot = 457,00 \text{ \$/año}$$

$$Not = 1,00$$

$$Vnt = 8000,00 \text{ \$}$$

$$Vun = 2000,00 \text{ h}$$

$$RPt = 399888,52 \text{ Ton/a}$$

$$RHt = 183,099 \text{ Ton/h}$$

$$T = 1064700,0000 \text{ Ton/a}$$

$$CCt = \frac{Vet}{Vut} = \frac{(570000,00 \$)}{(12500,00 h)} = 45,60 \$/h \quad (\text{Ecuación 218})$$

$$CCT = \frac{CCt}{RHt} = \frac{(45,60 \$/h)}{(183,099 \text{ Ton/h})} = 0,2490 \$/Ton \quad (\text{Ecuación 219})$$

$$CEt = Vct * Cct = (15,70 \text{ gal/h}) * (1,05 \$/\text{gal}) = 16,48 \$/h \quad (\text{Ecuación 220})$$

$$CET = \frac{CEt}{RHt} = \frac{(16,48 \$/h)}{(183,099 \text{ Ton/h})} = 0,0900 \$/Ton \quad (\text{Ecuación 221})$$

$$CLt = \frac{CEt * Flt}{100} = \frac{(16,48 \$/h) * (20\%)}{(100\%)} = 2,47 \$/h \quad (\text{Ecuación 222})$$

$$CLT = \frac{CLt}{RHt} = \frac{(2,47 \$/h)}{(183,099 \text{ Ton/h})} = 0,0135 \$/Ton \quad (\text{Ecuación 223})$$

$$CMt = \frac{CCt * Fmt}{100} = \frac{(45,60 \$/h) * (50\%)}{(100\%)} = 22,8000 \$/h \quad (\text{Ecuación 224})$$

$$CMT = \frac{CMt}{RHt} = \frac{(22,8000 \$/\text{Hora})}{(183,099 \text{ Ton/h})} = 0,1245 \$/Ton \quad (\text{Ecuación 225})$$

$$CNT = \frac{Vnt}{Vun} = \frac{(8000,00 \$)}{(2000h)} = 4,00 \$/h \quad (\text{Ecuación 226})$$

$$CNT = \frac{CNT}{RHt} = \frac{(4,00 \$/h)}{(183,099 \text{ Ton/h})} = 0,0273 \$/Ton \quad (\text{Ecuación 227})$$

$$MOt = \frac{(Sot * Not)}{(HTt)(Dlm)} = \frac{(457,00 \$/\text{mes}) * (1,00)}{(6,5)(21)} = 3,348 \$/h \quad (\text{Ecuación 228})$$

$$MOT = \frac{MOt}{RHt} = \frac{(3,348 \$/h)}{(183,0991 \text{ ton/h})} = 0,0183 \$/ton \quad (\text{Ecuación 229})$$

$$CDt = CEt + CLt + CMt + CNT + MOT \quad (\text{Ecuación 230})$$

$$CDt = 16,48 \$/h + 2,47 \$/h + 22,80 \$/h + 4,00 \$/h + 3,348 \$/h \\ = 49,105 \$/h$$

$$CDT = CET + CLT + CMT + CNT + MOT \quad (\text{Ecuación 231})$$

$$CDT = 0,0900 \frac{\$}{Ton} + 0,0135 \frac{\$}{Ton} + 0,1245 \frac{\$}{Ton} + 0,0273 \frac{\$}{Ton} + 0,018 \$/ton$$

$$CDT = 0,2737 \$/ton$$

$$CTt = CCt + CDt = 45,60 \$/h + 49,105 \$/h = 94,7057 \$/h \quad (\text{Ecuación 232})$$

$$CTT = CCT + CDT \quad (\text{Ecuación 233})$$

$$CTT = 0,2490 \$/Ton + 0,2737 \$/ton = 0,5227 Ton/h$$

CAPÍTULO 6

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

- La cargadora de ruedas CAT 988B produce el rendimiento más alto sin embargo su baja capacidad selectiva, los altos costos operativos y la nula oferta en el mercado de esta maquinaria, aminoran su ventaja con respecto a las excavadoras.
- El Dumper 775D no articulado de capacidad de tolva 41,5 necesita un número de equipos 1,6, este valor ha sido redondeado a 2 en lo que deriva rendimientos de hasta 806,25 ton/h produciendo sobredimensionamiento teórico de las maquinarias.
- La excavadora hidráulica CAT 320 DL de capacidad de cucharón 1,2 necesita 3,55 máquinas para conseguir la producción requerida por la trituradora 549,3 ton/h, se debe considerar que el número de equipos de carga requeridos es un número difícil de redondear, de lo cual deriva subdimensionamiento o sobredimensionamientos dependiendo de la decisión que se tome.

- Los costos operativos al utilizar la combinación 3 se ven disparados por el número de equipos que se requieren para cumplir con el rendimiento requerido.

CAPÍTULO 7

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

7.1. Conclusiones

- La combinación de maquinarias 2 constituida por la excavadora hidráulica Doosan Giant 500LCV y el Dumper articulado CAT 740B presentan los rendimientos más altos y los costos operativos más bajos, por esto se concluye que es la combinación que permitirá optimizar el Sistema de Carga y Transporte.
- El Dumper articulado CAT 740B de capacidad 24 produce los rendimientos horarios más altos.
- La cargadora de ruedas 988b produce los rendimientos más alto con respecto a las excavadoras hidráulicas de capacidades de cucharón más bajas.

- La excavadora hidráulica CAT 320DL de capacidad 1,2 produce los rendimientos más bajos y requiere la mayor cantidad de equipos para operar.
- Los costos operativos son afectados principalmente por el costo de capital y por los costos de mantenimiento.
- Las operaciones actuales producen rendimientos por debajo de la producción efectiva de la trituradora 650 ton/h, es decir las combinaciones de maquinarias utilizadas no trabajan efectivamente.
- Los materiales producto de la voladura que poseen diámetro superior a 1,5 m inciden en el rendimiento de las operaciones del sistema de carga y transporte.
- El ciclo de trabajo del sistema de carga y transporte actual dura 17,64 min, del cual la actividad de transporte del material es la que utiliza más tiempo representando el 24,47 %.
- El tiempo no productivo de las excavadoras es superior al 50% de su tiempo efectivo medido 6,54 h, representando grandes pérdidas económicas para la empresa.
- Los Dumpers presentan pérdidas de tiempos similares, en promedio 1,25 h, representando aproximadamente el 20% de las horas efectivas de producción.

7.2 Recomendaciones.

- La medición del tiempo de ciclo de las operaciones debe realizarse de manera imprevista, para que los valores de la medición no sean afectados por el comportamiento inhabitual de los operadores de las maquinarias y trabajadores en general.
- La medición de tiempo de ciclo de las operaciones debe realizarse desde puntos de ubicación que permitan visualizar el correcto desarrollo de cada una de las actividades que se ven involucradas en el ciclo de trabajo.
- El costo de adquisición de la maquinaria debe ser obtenida a través de consulta a locales comerciales oficiales de las marcas de los equipos que se requiere conocer, para evitar distorsiones en los precios de adquisición.
- La cantidad de equipos seleccionados para cumplir con la producción requerida, debe ser escogido considerando el número entero al que más se aproxime este valor, para evitar sobredimensionamiento o subdimensionamiento del parque de máquinas.

- La maquinaria objeto de análisis debe pertenecer a una marca que tenga apertura a la divulgación de especificaciones técnicas referente a los equipos, para facilitar la obtención de información necesaria, exacta y precisa.

ANEXOS

EQUIPO	CONDICIONES DE TRABAJO		
	BUENAS	MEDIAS	DURAS
Excavadoras de cables	120.000	100.000	60.000
Dragalinas de zancas	120.000	100.000	60.000
Apladores	120.000	100.000	60.000
Picopalas	120.000	100.000	60.000
Excavadoras hidráulicas	40.000	30.000	20.000
Palas cargadoras diesel	15.000	12.000	8.000
Palas cargadoras diesel-eléctricas	25.000	15.000	12.000
Tractores de orugas	20.000	15.000	10.000
Tractores de ruedas	15.000	12.000	8.000
Mototráilias	16.000	12.000	8.000
Volquetes pequeños	25.000	20.000	15.000
Volquetes grandes	40.000	30.000	20.000
Camiones de descarga por el fondo	50.000	40.000	30.000
Motoniveladoras	20.000	16.000	12.000

Anexo 1. Vida útil de la maquinaria de carga y transporte, según las condiciones de trabajo.
Fuente: IGME. (1995)

EQUIPO	Coste de lubricantes, grasas y filtros, en función del coste de combustible (%)
Excavadoras hidráulicas	20 - 25
Tractores de cadenas	10 - 20
Palas de ruedas	15 - 20
Mototráilias autocargables	15 - 20
Mototráilias empujadoras	10 - 15
Volquetes	10 - 15

Anexo 2. Factores del Coste de Lubricantes y Grasas en función de combustible.
Fuente: IGME. (1995)

CARGADORES DE RUEDAS Y PORTAVEHICULOS INTEGRALES						
Modelo	Bajo		Medio		Alto	
	litros	gal. EE.UU.	litros	gal. EE.UU.	litros	gal. EE.UU.
Q32	3,0	0,79	4,0-5,0	1,05-1,32	5,0-7,0	1,32-1,80
Q38	4,0	1,06	5,0-7,0	1,32-1,80	7,0-9,0	1,80-2,38
Q42	5,0	1,32	7,0-9,0	1,80-2,38	9,0-11,0	2,38-2,97
Q42H (T140)	5,0-6,0	1,32-1,59	6,0-10,0	1,59-2,64	11,0-12,0	2,97-3,18
Q44G	5,5-7,5	1,46-1,98	8,5-12,0	2,25-3,18	10,0-15,0	2,64-3,96
Q44G (T340)	7,5-11,0	1,98-2,92	11,0-16,0	2,92-4,24	15,0-19,0	3,96-5,00
Q55D	7,5-11,0	1,98-2,92	11,0-16,0	2,92-4,24	15,0-19,0	3,96-5,00
Q55D (T340)	9,0-12,0	2,38-3,18	13,0-17,0	3,41-4,45	18,0-22,0	4,75-5,89
Q55D Serie 3	9,0-12,0	2,38-3,18	14,0-18,0	3,70-4,74	19,0-24,0	5,00-6,25
Q55H Tor 3	9,0-12,0	2,38-3,18	14,0-18,0	3,70-4,74	19,0-24,0	5,00-6,25
Q60H (T60) Serie 3	10,0-13,0	2,64-3,41	15,0-18,0	4,00-4,74	20,0-24,0	5,30-6,25
Q60H Serie 3	14,0-18,0	3,70-4,74	18,0-22,0	4,74-5,89	24,0-30,0	6,25-7,87
Q60H Tor 3	14,0-18,0	3,70-4,74	18,0-22,0	4,74-5,89	24,0-30,0	6,25-7,87
Q72D Serie 3	18,0-19,0	4,74-5,00	21,0-25,0	5,50-6,64	28,0-35,0	7,38-9,09
Q72H Tor 3	18,0-19,0	4,74-5,00	21,0-25,0	5,50-6,64	28,0-35,0	7,38-9,09
Q80H	19,0-22,0	5,00-5,89	25,0-30,0	6,64-7,97	35,0-45,0	9,09-11,78
Q80H	19,0-22,0	5,00-5,89	25,0-30,0	6,64-7,97	35,0-45,0	9,09-11,78
Q80H	27,0-30,0	7,14-7,97	30,0-35,0	7,97-9,24	40,0-50,0	10,44-12,70
Q80H	27,0-30,0	7,14-7,97	30,0-35,0	7,97-9,24	40,0-50,0	10,44-12,70
Q90H	28,0-30,0	7,41-7,97	33,0-40,0	8,74-10,64	45,0-55,0	11,78-14,09
Q90H	28,0-30,0	7,41-7,97	33,0-40,0	8,74-10,64	45,0-55,0	11,78-14,09

Anexo 3. Consumo de combustible por hora de maquinaria de carga Caterpillar.

CAMIONES Y TRACTORES DE OBRAS Y MINERÍA						
Modelo	Diesel		Modelo	Gás		Modelo
	litros	gal. EE.UU.		litros	gal. EE.UU.	
TT80	20.5-22.7	5.4-6.1	81.7-40.8	8.1-10.8	40.8-11.2	18.8-13.8
TT10	22.2-28.7	5.8-7.6	30.7-40.8	8.1-10.8	40.8-11.2	18.8-13.8
TT15	27.4-41.2	7.2-10.8	41.2-64.3	10.8-14.3	54.3-18.8	14.3-18.1
TT20	20.3-42.5	7.5-11.2	42.5-55.5	11.2-15.8	55.5-17.8	15.5-18.7
TT25	29.8-44.7	7.8-11.8	44.7-55.5	11.8-15.7	55.5-17.4	15.7-18.7
TT30	30.2-71.8	12.3-18.0	71.8-93.5	18.0-25.7	93.5-11.1	25.7-28.4
TT40	30.2-73.6	14.6-18.5	73.6-96.3	18.5-25.8	96.3-11.7	25.8-29.6
TT50	37.3-54.3	9.8-14.8	54.3-75.2	14.8-19.8	75.2-14.8	18.8-24.8
TT60	52.9-79.3	14.0-21.0	79.3-100.8	21.0-25.8	100.8-14.5	25.8-28.5
TT80	53.7-69.8	14.2-21.8	69.8-117.5	21.8-28.4	117.5-14.4	28.4-35.5
TT90	70.8-102.8	18.7-28.0	102.8-141.2	28.0-37.2	141.2-17.8	37.2-46.8
TT100	80.8-138.2	21.8-38.0	138.2-181.8	38.0-46.8	181.8-22.7	46.8-55.5
TT120	100.5-200.2	26.4-52.9	200.2-280.8	52.9-70.5	280.8-33.6	70.5-88.4

Anexo 4. Consumo de combustible por hora de maquinaria de transporte Caterpillar.

Compresoras	80
Martillos neumáticos	30
Perforadoras sobre orugas	80
Rippers	30
Pala	80
Compactadora vibratoria	50
Rodillo vibratorio autopropulsado	75
Rodillo vibratorio de tiro	50
Rodillo neumático	50
Rodillo pala de cable autopropulsado	75
Rodillo pala de cable de tiro	50
Rodillo tandem estático y vibratorio autopropulsado	75
Rodillo 3 ruedas	50
Tractores de tiro	80
Chanzadros	60
Zanadoras	65
Mezcladora de concreto	80
Amanuados de asfalto	80
Barridora mecánica	60
Calentador de aceite	75
Cocina de asfalto	80
Planta de asfalto	70
Secadoras	70
Pavimentadoras	70
Faja transportadora	50
Grupos electrogenos	70
montacargas	75
Motopistas hidráulicas y sobre camión	80
Motosombras	40
Volquetes	50
Camionetas	50
Camiones	50
Dumpers	50

Anexo 5. Factores de Coste de Mantenimiento de Maquinaria de Carga y Transporte.

Fuente: Ramos, J. (2011).

Tiempo de Espera para cargar		Tiempo de Carga	Tiempo de Recorrido cargado	Tiempo de Espera para Descargar	Tiempo de Descarga	Tiempo de recorrido descargado
HORAS DECIMALES						
0,0311		0,0572	0,0883	0,013	0,0108	
0,0028		0,0453	0,0961	0,014	0,0250	
0,0106		0,0572	0,0672	0,015	0,0489	
0,0117		0,0497	0,0481	0,041	0,0592	
0,0089		0,0497	0,0814	0,002	0,0969	0,0633
0,0128		0,0864	0,0914	0,007	0,0253	0,0689
0,0164		0,0650	0,0850	0,035	0,0158	0,0514

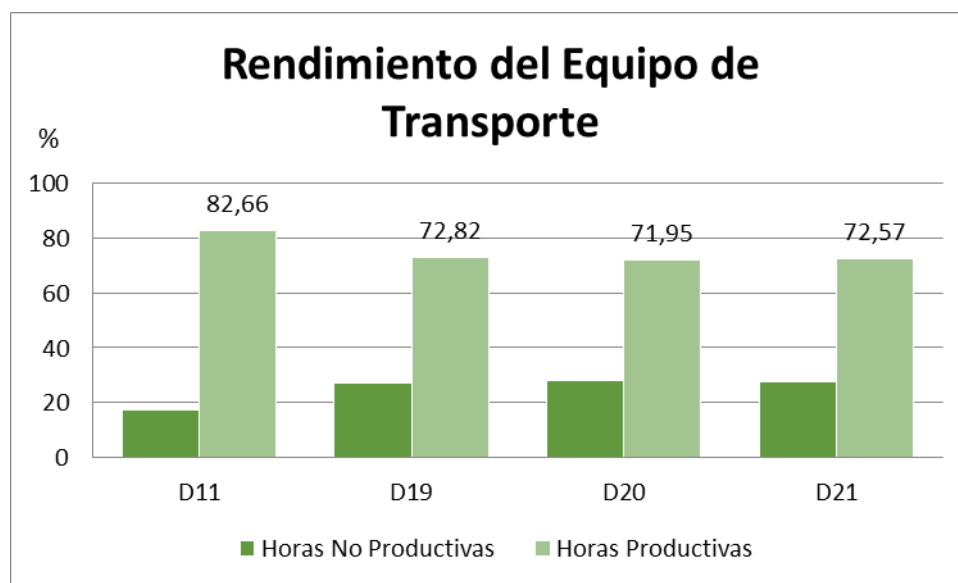
0,0158		0,0608	0,0886	0,000	0,0153	0,0400
0,0289		0,0667	0,0644	0,025	0,0108	0,0353
0,0608		0,0956	0,0622	0,003	0,0036	0,0661
0,0206		0,0428	0,1036	0,170	0,0408	0,0397
0,0450		0,0189	0,0550	0,091	0,0039	0,0503
0,0025		0,0822	0,1189	0,002	0,0075	0,2025
0,0097		0,0392	0,0508	0,010	0,0175	0,0392
0,0122		0,2275	0,0667	0,004	0,0167	0,1681
0,0122		0,0514	0,0894	0,006	0,0100	0,0494
0,0186		0,0447	0,0719	0,003	0,0100	0,0672
0,1275		0,0450	0,1192	0,011	0,0147	0,0814
0,0014		0,0472	0,0683	0,009	0,0164	0,0647
0,0336		0,0372	0,0647	0,013	0,0381	0,0531
0,0189		0,1103	0,1275	0,084	0,0639	0,0447
0,0083		0,0403	0,0861	0,015	0,0469	0,0747
0,0117		0,0458	0,1328	0,069	0,0086	0,0406
0,0972		0,0722	0,0842	0,669	0,0133	0,0531
0,0208		0,0531	0,6747	0,019	0,0683	0,0500
0,0308		0,0908	0,6819	0,007	0,0469	0,0028
0,0122		0,0347	0,7242	0,013	0,0389	0,0625
0,2081		0,3133	0,075	0,024	0,0217	0,087
0,0469		0,1258	0,075	0,024	0,0217	0,069
0,1408		0,1175	0,075	0,024	0,0217	0,053
0,2025		0,0692	0,075	0,024	0,0217	0,103
0,0389		0,1322	0,075	0,024	0,0217	0,107
0,0861		0,0792	0,075	0,024	0,0217	0,079
0,0261		0,1306	0,075	0,024	0,0217	0,099
0,0383		0,1131	0,0667	0,020	0,0144	0,0850
0,1097		0,1408	0,0547	0,004	0,0158	0,2470
0,2053		0,1364	0,0797	0,001	0,0067	0,1056
0,1989		0,0867	0,0647	0,004	0,0197	0,0286
0,1658		0,0833	0,0733	0,001	0,0069	0,0683
0,1181		0,0992	0,0856	0,003	0,0058	0,0472
0,1056		0,0942	0,0536	0,003	0,0189	0,0433
0,0611		0,0644	0,075	0,024	0,0217	0,606
0,0914		0,0728	0,0472	0,001	0,0133	0,0706
0,0025		0,0842	0,1469	0,014	0,0114	0,0758
0,0431		0,1619	0,0661	0,007	0,0192	0,053
0,0186		0,0417	0,075	0,0243	0,0217	0,042

0,1225		0,0556	0,0786	0,010	0,0081	0,0686
0,0742		0,0842	0,0467	0,001	0,0111	0,0500
0,0731		0,0392	0,0754	0,024	0,0217	0,0525
0,0197		0,0553	0,1011	0,019	0,0100	1,7797
0,0117		0,1483	0,0697	0,004	0,0111	1,6350
0,0875		0,0806	0,0619	0,002	0,0214	1,6500
0,0181		0,0744	0,0754	0,024	0,0217	1,5400
0,1089		0,0625	0,0647	0,002	0,0039	0,0578
0,1311		0,0403	0,0697	0,002	0,0136	0,0897
0,1056		0,0464	0,0744	0,007	0,0103	0,0656
0,0350		0,0556	0,0754	0,024	0,0217	0,1309
0,0833		0,0497	0,0664	0,008	0,0094	0,0500
0,0203		0,0456	0,0681	0,009	0,0114	0,0714
0,0356		0,0608	0,0772	0,007	0,0053	0,0547
0,0242		0,0769	0,075	0,024	0,0217	0,068
0,0281		0,0578	0,0697	0,000	0,0147	0,0719
0,0169		0,0469	0,0667	0,008	0,0100	0,0806
0,0267		0,0661	0,0772	0,005	0,0156	0,0600
0,0583		0,0478	0,0883	0,001	0,0203	0,0542
0,1164		0,1244	0,0625	0,005	0,0089	0,0892
0,2267		0,0614	0,0536	0,004	0,0072	0,1934
0,1853		0,0725	0,0792	0,005	0,0047	0,0558
0,1967		0,0419	0,0781	0,001	0,0186	0,0525
0,0347		0,0656	0,0803	0,003	0,0092	0,0606
0,0114		0,0897	0,0708	0,002	0,0689	0,0775
0,0247		0,0786	0,0869	0,011	0,0092	0,0600
0,1825		0,0361	0,0719	0,002	0,0194	0,0528
0,0564		0,0553	0,0944	0,009	0,0233	0,0636
0,0483		0,0647	0,0686	0,020	0,0781	0,0428
0,0389		0,0603	0,0586	0,010	0,0375	0,0392
0,0514		0,0222	0,0986	0,003	0,0097	0,0511
0,0261		0,0778	0,0522	0,002	0,0111	0,0669
0,0492		0,0481	0,0425	0,003	0,0158	0,0508
0,0972		0,0642	0,0439	0,019	0,0211	0,0502

Anexo 6. Medición del tiempo de ciclo de Carga y Transporte.

Referencia	Equipo responsable	Actividad
	Excavadoras DOOSAN GIANT LCV	Ruptura de rocas de gran tamaño, selección y apilamiento de material idóneo.
	Dumpers CAT769C CAT 775B	Bajas velocidades debido a altos volúmenes transportados.
	Dumpers CAT769C CAT 775B	La medición del tiempo en el punto medido posee ambigüedad debido a que la trituradora dejó de funcionar.
	Dumpers CAT769C CAT 775B	Transporte de material de desalojo.
	Tituradora BT-38DD	Baja operatividad de la trituradora.
	Dumpers CAT769C CAT 775B	Ambigüedad en la medición del punto debido a que es el tiempo de retirada para el almuerzo.

Anexo 7. Valores no considerados en los cálculos y su justificación.



Anexo 8. Equipos de Transporte vs Tiempo productivo.

Parámetro	Simbología	Unidad	Valor
Valor de compra del equipo de carga.	Vec	Dólares	400000,000
Vida útil del equipo de carga en horas.	Vuc	Horas	12000,000
Valor del combustible por unidad de consumo por el equipo de carga.	Vcc	Dólares/Galones	1,050

Consumo de combustible por hora	Ccc	Galones/hora	10,600
Factor de lubricantes respecto a consumo de combustible.	Flc	%	20,000
Factor de equivalencia entre el costo de mantención y reposición del equipo.	Fmc	%	80,000
Sueldo de operadores por período.	Soc	Dólares/año	457,000
Número de operadores del equipo de carga por período.	Noc		1,000
Valor de neumático del equipo de carga	Vnc	Dólares/neumático	4000,000
Vida útil de los neumáticos.	Vun	Horas	2000,000
Rendimiento del equipo de carguío en el período.	RPc	Toneldas/año	1022442,239
Rendimiento Horario del equipo de carga.	RHc	Toneladas/hora	624,202
Toneladas por período	T	Toneldas/año	1064700,000
Costo de capital por hora.	CCc	Dòlares/Hora	33,333
Costo de capital por tonelada	CCC	Dólares/Tonelada	0,053
Costo de energía por hora.	CEc	Dòlares/Hora	11,130
Costo de energía por tonelada.	CEc	Dólares/Tonelada	0,018

Costo de Lubricantes por Hora.	CLc		2,226
Costo de lubricantes por Tonelada.	CLC	Dólares/Tonelada	0,004
Costo de Mantenición y de Repuestos por Hora.	CMc	Dòlares/Hora	26,667
Costo de Mantenición y de Repuestos por Tonelada.	CMC	Dólares/Tonelada	0,043
Costo de Neumáticos por Hora.	CNc	Dòlares/Hora	2,000
Costo de Neumáticos por Tonelada.	CNC	Dólares/Tonelada	0,003
Costo de Mano de Obra por Hora.	MOc	Dòlares/Hora	3,348
Costo de Mano de Obra por Tonelada	MOC	Dólares/Tonelada	0,005
Costos Directos por hora.	CDc	Dólares/Hora	45,371
Costos Directos por tonelada	CDC	Dólares/Tonelada	0,073
Costos Totales por Hora.	CTc	Dólares/Hora	78,704
Costos Totales por Tonelada.	CTC	Dólares/Tonelada	0,126

Anexo 9. Cálculo de Costo Operativo de la Cargadora de ruedas frontal CAT 988B.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Almgren, G. (1974). Proceedings. Conference on Productivity in Mining. Extension Division School of Mines Missouri.

[2] Bermudez, J y Paredes, C. (2006). Elaboración de un manual para la implementación de un sistema de Gestión ambiental basado en la norma ISO14001 para una industria de calizas y agregados. Escuela Superior Politécnica del Litoral.

[3] Campoverde, K. (2013). Impacto ambiental al recurso aire generado por las actividades mineras en la zona urbana desde el km 10 al km 14 del sector noroeste del cantón Guayaquil.

[4] CATERPILLAR INC. (1998). Manual 775D Quarry Truck.

[5] CATERPILLAR INC. (2011). Manual 740B Articulated Truck.

[6] CATERPILLAR INC. (2012). Manual 777G off highway Truck.

[7] Cruzat, A. (2008). Carguío y Transporte. Dpto. Ingeniería de Minas. Facultad de Ingeniería. Universidad de la Serena.

[8] EHRICH, G. (1982.). Tecnología de las Excavadoras Hidráulicas Demag de Gran Tamaño. Mannesmann Demag.

[9] IGME. (1995). Manual de arranque, carga y transporte en minería a cielo abierto.

[10] Herrera, J. (2006). Métodos de minería a cielo abierto. Escuela Superior Técnica de Ingeniería de Minas. Universidad Politécnica de Madrid.

[11] Montesinos, A., Coello, F., y Chica, D. (2009). Estudio de coordinación de protecciones eléctricas usando métodos computarizados aplicados a Calizas El Huayco S.A. Escuela Superior Politécnica.

[12] Peirano, F. (2011). Definición de pit final capacitado bajo incertidumbre. Departamento de Ingeniería de Minas. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile.

[13] Ramos, J. (2011). Cámara Peruano de la construcción. El equipo y sus costos de operación. COPECO.

[14] Rzhevskig, V. (1979). Tecnología y Mecanización Integral para los trabajos mineros a cielo abierto, M. Nedra.

[15] Singhal, R.K. y Fytas, K.(1986). "Optimizing Loading and Hauling Productivity in Surface Mining". SME-AIME Fall Meeting. St. Louis. Missouri.