

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**SELECCIÓN DE FLOTA DE CARGUÍO Y ACARREO PARA
LA EXPLOTACIÓN DE MINERAL DEL PROYECTO
MINERO SHAHUINDO**

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

JORGE ALBERTO GONZALEZ ACHA

Lima- Perú

2015

DEDICATORIA

A mis Padres Filiberto e Ysabel por darme la vida, a mi querida esposa Francesca y mis adorables hijos que son la razón de mi existir, de manera especial a mi tía Otilia por todo su apoyo incondicional así como también a mi abuela Manuela quien fue la responsable de inculcarme los valores que me han permitido llegar a esta meta. Y a todos aquellos que me apoyaron a seguir adelante.

	Pág.
RESUMEN	03
LISTA DE CUADROS	05
LISTA DE FIGURAS	07
LISTA DE SÍMBOLOS	09
INTRODUCCIÓN	10
CAPÍTULO I: GENERALIDADES DEL PROYECTO	11
1.1. ANTECEDENTES	11
1.2. UBICACIÓN DEL PROYECTO	12
1.3. DATOS DEL PROYECTO	13
1.4. OBJETIVO DEL ESTUDIO	16
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	17
2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO.	17
2.1.1 Proceso de movimiento de tierras	17
2.2 EQUIPOS INVOLUCRADOS EN EL PROCESO PRODUCTIVO	18
2.2.1 Equipos de carguío	18
2.2.2 Equipos de acarreo	19
2.3 TIEMPO DE CICLO DE CARGUÍO Y TRANSPORTE	19
2.3.1 Ciclo total de transporte	19
2.3.2 Ciclo total de carga	20
2.4 FACTORES QUE AFECTAN LA PRODUCCIÓN	21
2.4.1 Condiciones Externas	21
2.4.2 Condiciones Internas	23
2.5 RENDIMIENTOS.	25
CAPÍTULO III: CÁLCULO DE RENDIMIENTOS	26
3.1 CONSIDERACIONES PREVIAS	26
3.1.1 Producción requerida	26
3.1.2 Velocidad máxima de acarreo	26
3.1.3 Resistencia a la rodadura	26
3.1.4 Densidad del material	26
3.1.5 Horas de operación	27
3.1.6 Altura de banco	27

3.1.7	Características de las rutas	27
3.1.8	Eficiencia del sistema de trabajo	30
3.1.9	Disponibilidad mecánica	30
3.1.10	Eficiencia del operador	30
3.2	SELECCIÓN DEL EQUIPO DE CARGUÍO	30
3.3	SELECCIÓN DEL EQUIPO DE ACARREO	32
3.4	COMPATIBILIDAD DE EQUIPOS	36
3.4.1	Determinación del ciclo total de acarreo y retorno	36
3.4.2	Determinación de los tiempo de acarreo y retorno	36
3.4.3	Determinación del ciclo total de carga	42
3.4.4	Determinación del número de equipos	43
3.4.5	Cálculo del número de palas mineras	43
3.4.6	Cálculo del número de camiones	44
3.5	ANÁLISIS DE PRODUCCIÓN	45
CAPÍTULO IV: CÁLCULO DE COSTOS DE OPERACIÓN Y POSESIÓN		51
4.1	CÁLCULO DE COSTOS DE POSESIÓN	51
4.2	CÁLCULO DE COSTOS DE OPERACIÓN	53
4.2.1	Mantenimiento preventivo y atención en campo	54
4.2.2	Reparaciones	54
4.2.3	Neumáticos	55
4.2.4	Combustible	55
4.2.5	Operador	56
4.2.6	Gestión de Equipos	57
4.2.7	Mantenimiento no Programado	57
4.3	CÁLCULO DEL COSTO ANUAL DE LA FLOTA DE EQUIPOS	58
CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE SELECCIÓN DE EQUIPO		59
5.1	Cálculo de costo anual de flota	59
CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		61
6.1	CONCLUSIONES	61
6.2	RECOMENDACIONES	62
BIBLIOGRAFÍA		63
ANEXOS		

RESUMEN

El Perú es uno de los destinos más atractivos para la inversión minera en el mundo debido a su riqueza geológica, la disponibilidad de información catastral y geológica asegura el Ministerio de Energía y Minas en su página web además de contar con un marco jurídico promotor de la inversión privada.

Según el Ministerio de Energía y Minas para el 2015 el Perú cuenta con una cartera estimada de inversión en minería compuesta por 51 principales proyectos. Incluye proyectos de ampliación de unidades mineras, proyectos en etapa de exploración avanzada, así como proyectos con estudio ambiental aprobado o en proceso de evaluación y que en conjunto ascienden a US\$ 63,114 millones.

El Proyecto Minero Shahuindo con una operación valorizada en aproximadamente US\$ 275 millones, con un tiempo de explotación de 09 años el cual extraerá Oro y Plata como indica en su página web. El presente Informe de Suficiencia describe el desarrollo del análisis para la selección de flota que está comprendido con el equipo de carguío y los camiones mineros los cuales se utilizarán para explotar el mineral y desmonte del Proyecto Minero Shahuindo, con el objetivo de encontrar una alternativa de solución que cumpla con la producción requerida para el Proyecto Minero Shahuindo además de generar un menor costo unitario de producción de carguío y acarreo.

El presente Informe de Suficiencia está comprendido por seis capítulos que se describe a continuación. En el Capítulo I, se describe las características generales así como también contiene la ubicación del Proyecto Minero Shahuindo. El Capítulo II, corresponde al marco teórico, en la cual se describe el proceso producción y los parámetros que se requiere para el desarrollo de la alternativa de solución. El Capítulo III, corresponde al desarrollo del cálculo de rendimiento de los equipos de carguío y camiones. El Capítulo IV, describe el cálculo del Costo de operación y posesión de los equipos tanto para el equipo de carguío como para el acarreo. El Capítulo V, corresponde al análisis para la selección de equipos, donde se estimará el modelo y número de equipos a

utilizar para la explotación del mineral del Proyecto Minero Shahuindo. El Capítulo VI, desarrolla las conclusiones y las recomendaciones después de realizar el análisis a los resultados.

También se presentan documentos en los anexos que contienen información técnica que ayudará a comprender algunos de los tópicos del presente Informe de Suficiencia.

LISTA DE CUADROS

Cuadro 2.1 Proceso de movimiento de tierras	17
Cuadro 2.2 Características de los equipos de carguío	18
Cuadro 2.3 Tipos principales de camiones	19
Cuadro 2.4 Valores de la resistencia a la rodadura	22
Cuadro 2.5 Técnicas de operación	23
Cuadro 3.1 Rutas de acarreo y retorno para el desmonte	28
Cuadro 3.2 Ruta de acarreo y retorno para el mineral	29
Cuadro 3.3 Características de los equipos de carguío	32
Cuadro 3.4 Compatibilidad entre los equipos de carguío y acarreo	32
Cuadro 3.5 Factor de llenado por características del material	33
Cuadro 3.6 Visualización del factor de llenado	34
Cuadro 3.7 Capacidad de carga del camión	34
Cuadro 3.8 Capacidad de carga del camión 777G	35
Cuadro 3.9 Capacidad de carga del camión 785D	35
Cuadro 3.10 Características de la ruta de acarreo y retorno	36
Cuadro 3.11 Tiempos de acarreo y retorno	41
Cuadro 3.12 Ciclos totales de acarreo y retorno	42
Cuadro 3.13 Ciclos totales de carga	43
Cuadro 3.14 Cálculo de la producción	44
Cuadro 3.15. Cálculo del número óptimo de camiones	45

Cuadro 3.16 Cálculo del número de ciclos de acarreo	46
Cuadro 3.17 Cálculo de producción del sistema pala camión	47
Cuadro 3.18 Cálculo del cumplimiento de producción	47
Cuadro 3.19 Cálculo del cumplimiento de producción	48
Cuadro 4.1 Valores para calcular el costo de posesión	52
Cuadro 4.2 Cálculo del costo de Posesión 777G	53
Cuadro 4.3 Cálculo del costo por mantenimiento preventivo	54
Cuadro 4.4 Cálculo del costo de reparaciones 777G	54
Cuadro 4.5 Cálculo del costo de los neumáticos 777G	55
Cuadro 4.6 Ratios de consumo de combustible del camión 777G	55
Cuadro 4.7 Cálculo del costo de consumo de combustible 777G	56
Cuadro 4.8 Cálculo del costo del operador 777G	56
Cuadro 4.9 Costo de gestión de equipos 777G	57
Cuadro 4.10 Costo de mantenimiento no programado 777G	57
Cuadro 4.11 Costo Total de Operación y Posesión 777G	58
Cuadro 4.12 Costo Total de Operación y Posesión	58
Cuadro 5.1 El costo de producción para el primer año	59
Cuadro 5.2 El costo de producción para los 9 años	60

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Avance de los permisos	11
Figura 1.2 Tiempo estimado de la producción	12
Figura 1.3 Ubicación del proyecto	12
Figura 1.4 Ubicación estratégica del proyecto	13
Figura 1.5 Aumento del recurso mineral – Oro	14
Figura 1.6 Zonas sin explotación	14
Figura 1.7 Resultados de estudio de factibilidad	15
Figura 2.1 Ciclo de transporte en un sistema discontinuo	20
Figura 2.2 Esquema de los factores que afectan la producción	21
Figura 2.3 Curva de tracción	24
Figura 2.4 Curva de retardo	24
Figura 3.1 Esquema de la ruta para el primer año	28
Figura 3.2 Altura máxima de posicionamiento de la pala RH90	31
Figura 3.3 Altura máxima de posicionamiento de la pala RH120	31
Figura 3.4 Curva de tracción del camión 777G	37
Figura 3.5 Curva de retardo del camión 777G	38
Figura 3.6 Ingreso de las Rutas de acarreo en el Programa Tallpac	40
Figura 3.7 Ingreso de las características del equipo de acarreo	40
Figura 3.8 Ingreso de los límites máximos de carga del camión	41
Figura 3.9 Requerimiento de camiones 777G en los 9 años de operación	49

Figura 3.10 Requerimiento de camiones 785D en los 9 años de operación	49
Figura 3.11 Cumplimiento de producción al usar los camiones 777G	50
Figura 3.12 Cumplimiento de producción al usar los camiones 778D	50
Figura 4.1 Variación del valor de rescate del 777G	53
Figura 5.1 Costos unitario de producción para los 9 años	60

LISTA DE SÍMBOLOS

Cun	Costo unitario de neumáticos
Dm	Disponibilidad mecánica (%)
Eo	Eficiencia del operador (%)
Et	Eficiencia del sistema de trabajo (%)
fc	frecuencia de cambios
Fs	Factor de costo sobre el salario
lo	Es el valor de desembolso inicial (\$)
MT	Tiempo de mantenimiento (horas)
N	Número de ciclos de pasada
n	Es el número de periodos considerado
N°Rec	Número recomendado de camiones
NCA	Numero de ciclo de acarreo
Nn	Número de neumáticos
NOp	Número de operadores
Peq	Precio del equipo (\$)
Sm	Salario mensual (\$)
T trans	Ciclo total de acarreo y retorno (min)
Ta	Tiempo de acarreo (min)
ta	Número de años
Tcc	Ciclo total de carguío (min)
Tcca	Ciclo total de carga
Tdc	Tiempo de descarga del camión (min)
Tdp	Tiempo de descarga por pasada
TEA	Tasa efectiva anual (%)
TEM	Tasa efectiva mensual (%)
tm	Número de meses
Tmc	Tiempo de maniobra del camión en la zona de carga
Tmd	Tiempo de maniobra del camión en la zona de descarga (min)
Tp	Tiempo de ciclo por pasada
Tr	Tiempo de retorno (min)
TT	Tiempo total programado (horas)
Ttt	Tiempo total de trabajo (min)
VAN	Valor actual neto (\$)
Vt	Representa los flujos de caja en cada periodo

INTRODUCCIÓN

Según el Ministerio de Energía y Minas en su página web el Perú ha firmado 32 acuerdos Internacionales de Inversión que apuntalan su política de liberalización, con países del Pacífico, Europa y América Latina. Con la mira en consolidar un clima de inversión estable y predecible, el Perú ha mejorado sus estándares en la negociación de Acuerdos Internacionales de Inversión. Del mismo modo, el Perú ha suscrito el acuerdo OPIC que facilita operaciones, dando cobertura a las inversiones de Estados Unidos llevadas a cabo en el Perú. A nivel latinoamericano el Perú se ubica entre los primeros productores de diversos metales, (oro, plata, cobre, plomo, zinc, hierro, estaño, molibdeno, telurio, entre otros), lo cual es reflejo no sólo de la abundancia de recursos y la capacidad de producción de la actividad minera peruana, sino de la estabilidad de las políticas económicas del país.

El Proyecto Minero Shahuindo con una inversión inicial de aproximadamente de US\$ 131 millones, será una mina simple a tajo abierto con pilas de lixiviación, el mineral a explotar será oro y plata. Con un periodo de explotación de 10 años incluyendo el cierre de Mina y una proyección de producción de material mineral y desmonte a explotar de 37,000 ton/día como asegura en su página web.

Este Informe de Suficiencia tiene como objetivo seleccionar la flota que cumpla con el requerimiento de producción tanto de mineral como de desmonte a explotar. Los criterios de comparación para las posibles alternativas de solución serán los costos unitarios de producción de carguío y acarreo ya que estos están relacionados con la rentabilidad del Proyecto Minero Shahuindo, esto hace referencia que la alternativa de solución que obtenga el menor costo de unitario de producción de carguío y acarreo será la alternativa de solución recomendada.

Cabe resaltar que los resultados obtenidos con respecto al rendimiento de los equipos están sujetos a las condiciones planteadas por la empresa Sulliden.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1. Antecedentes

La empresa Sulliden inicia las exploraciones para determinar la ubicación y potencial de yacimientos de oro y plata, luego durante 2011 y 2012 se prosiguió con la exploración, determinándose un incremento en potencias de mineralización del terreno de 13.3 millones de Toneladas de mineral a explotar por año con un potencial de 9años.

La empresa ha avanzado con los trámites legales para la apertura del proyecto, habiendo ya concluido con el Estudio de Factibilidad, Presentación del Estudio de Impacto ambiental, presentación a la Audiencia Pública Final.



Figura 1.1 Avances de los permisos



Figura 1.2. Tiempo estimado para la producción

1.2. Ubicación del proyecto

El Proyecto Shahuindo, de propiedad absoluta, cubre 9,218 hectáreas de concesiones mineras. Se encuentra ubicado en una región históricamente minera, 80 kilómetros al sur de Cajamarca, capital de la región y 15 kilómetros al oeste de la ciudad de Cajabamba. El proyecto se encuentra aproximadamente a 2,900 msnm, en un área con fácil acceso a los servicios de agua y electricidad.

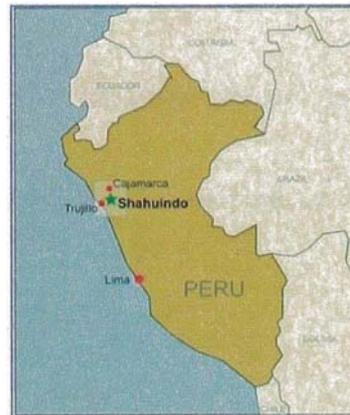


Figura 1.3. Ubicación del proyecto

1.3. Datos del Proyecto

El Proyecto Shahuindo se encuentra ubicado entre un grupo de minas de clase mundial en un cinturón de alta producción aurífera al norte del Perú.



Figura 1.4. Ubicación estratégica del proyecto

Sulliden se encuentra enfocada en la realización de estudios paralelos de ingeniería y crecimiento minero con el objetivo de iniciar el proceso de producción a inicios del 2017.

De acuerdo al informe técnico del National Instrument 43-101 anunció el nuevo estimado de recursos minerales:

Los recursos minerales medidos e indicados de oro en óxidos aumentan a 2.438.000 onzas.

Los recursos minerales medidos e indicados de plata aumentan a 33.370.000 onzas.

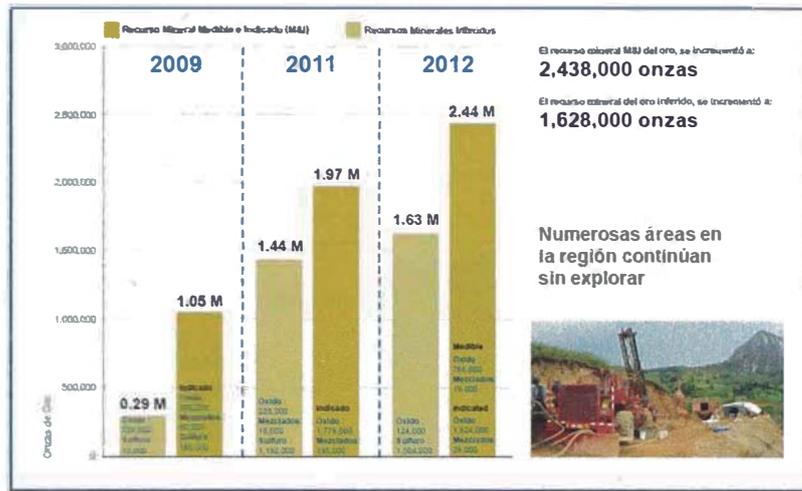


Figura 1.5. Aumento del recurso mineral - Oro

Excelente potencial de crecimiento minero continuo. El actual yacimiento minero sigue abierto en todas las direcciones y en profundidad.

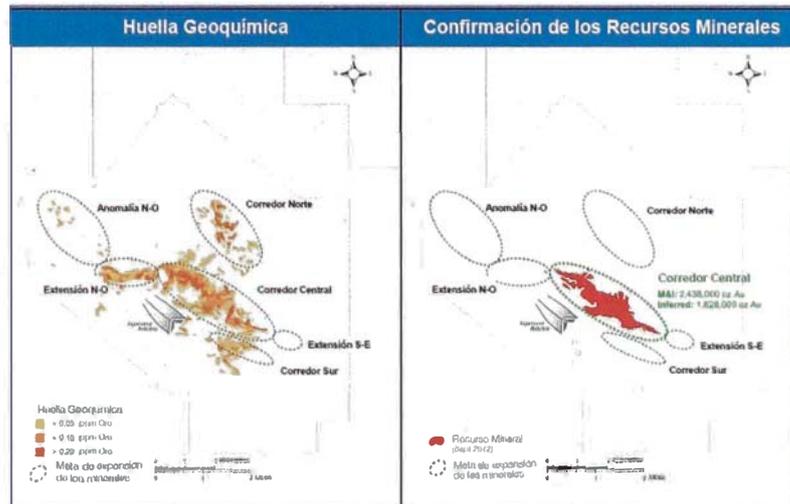


Figura 1.6. Zonas sin explotación

Importante evaluación preliminar culminada en febrero del año 2010:

Producción aurífera anual promedio de 105,000 onzas con un costo operativo en efectivo de \$403/onza.

\$ 875/ onza de oro, valor neto actual (NPV, por sus siglas en inglés) antes de impuestos de \$ 119,102.000 con una tasa de descuento de 8% que genera una tasa de rentabilidad interna (IRR, por sus siglas en inglés) de 43.3%.

Excelentes oportunidades para mejorar el aspecto económico del proyecto para el Estudio de Factibilidad.

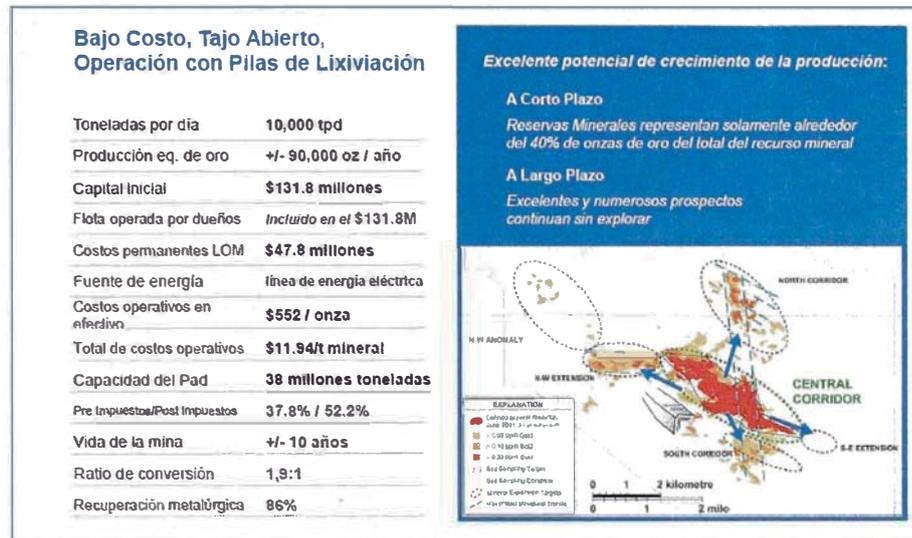


Figura 1.7. Resultados de Estudio de Factibilidad

El proceso para la obtención de permisos de explotación, incluyendo el Estudio de Impacto Ambiental, se encuentra en marcha a cargo de las empresas peruanas de gran prestigio Ausenco Vector y Social Capital Group.

Las características específicas del proyecto como estado de la vía de acarreo, longitud, pendiente, producción requerida y todos los demás factores que afectan la producción serán desarrolladas en el Capítulo III, cálculo de rendimientos.

1.4. Objetivo del estudio

El objetivo principal

- Es seleccionar los equipos apropiados para el carguío y acarreo de los minerales para su procesamiento y que cumplan la demanda del proyecto.

Los objetivos específicos

- Determinar rendimiento de las palas y cargadores frontales.
- Determinar rendimiento de los camiones.
- Determinar los costos de operaciones los costos de operación y posesión de los equipos de carguío y acarreo

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Descripción del proceso producción

2.1.1 Proceso de movimiento de tierras

El proceso de minería a cielo abierto involucra diferentes etapas las cuales son llevadas a cabo para desarrollar un proyecto minero el cual se muestra a continuación en la cuadro 2.1

Cuadro 2.1 Proceso de movimiento de tierras

Actividad	Descripción
Exploración	Consiste en la búsqueda del yacimiento o del terreno, con el propósito de conocer las características cualitativas y cuantitativas del mineral.
Perforación	Se realiza la perforación del suelo (vetas de mineral) para obtener los taladros, se realizan 2 tipos de perforación: Primaria y Secundaria
Disparo	En este subproceso se realiza la carga de los taladros con la mezcla explosiva consistente en Nitrato, Aluminio, Petróleo y fulminantes.
Carguío	Esta actividad es realizada por las palas, y/o cargadores frontales. Las palas se desplazan por medio de orugas y funcionan con energía eléctrica o combustible. Los cargadores se desplazan por medio de ruedas y funcionan con combustible.
Acarreo	En esta actividad se realiza el transporte de material de desmonte hacia los botaderos, mineral de alta ley hacia la chancadora y el mineral de baja ley hacia los depósitos de lixiviación. El acarreo se realiza con camiones que tienen gran capacidad de carga.
Descarga y Chancado	El mineral de alta ley es transportado y descargado en una planta de chancado que están compuestas por una chancadoras primarias y secundarias.
Procesamiento del mineral	El mineral acumulado en las pilas de lixiviación es tratado mediante la aspersión de una solución diluida de cianuro de sodio, esta solución cianurada hace contacto con el oro y la plata disolviéndolas, producto de esta disolución se genera una solución rica en oro y plata que pasa por un proceso conocido como Merrill Crowe, con el que se consigue precipitar el oro y la plata utilizando polvo de zinc, este precipitado es retenido en filtros prensa, para finalmente ser fundido y obtener el producto final.

Fuente: Tópicos de ingeniería a tajo abierto.

2.2 Equipos involucrados en el Proceso Producción.

2.2.1 Equipos de carguío.

El equipo de carguío es aquel que realizará el carguío de camiones, las opciones para desempeñar esta labor tenemos a las palas de carguío y cargadores frontales en la siguiente cuadro 2.2 describe las características más importantes.

Cuadro 2.2. Características de los equipos de carguío.

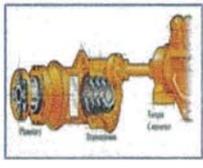
Características	Pala hidráulica	Cargador Frontal
Material	En banco	Suelto
Aplicación	Corte y Carguío	Carguío
Tarifa	Mayor	Menor
Movilidad	Menor	Mayor
Descripción	Se denomina pala excavadora a una máquina autopropulsada, sobre neumáticos u orugas, con una estructura capaz de girar al menos 360° que excava terrenos, o carga, eleva, gira y descarga materiales por la acción de la cuchara.	Se emplea para cargar camiones, se diseñan con tren de rodaje y con neumáticos, siendo estos últimos los más comunes; se utilizan también para transportar materiales a cortas distancias.
Imagen		

Fuente: Manual de rendimientos de Caterpillar.

2.2.2 Equipos de acarreo

Existen dos tipos principales de camiones en la industria minera, los mecánicos y los eléctricos los cuales se detallan en el siguiente cuadro 2.3.

Cuadro 2.3. Tipos principales de camiones.

Equipo	Descripción	Imagen
Eléctrico	Estos son operados mediante motores diesel donde la energía de rotación producida por combustión es transmitida a un alternador que generara energía eléctrica, luego esta energía será es transmitida a los motores armados en los cubos de las ruedas	
Mecánico	Durante varias décadas pasadas, los camiones más grandes utilizados en la industria, han sido del tipo eléctrico, pero los camiones mecánicos han vuelto a este mercado sólo ahora último y con bastante éxito.	

Fuente: Manual de rendimientos de Caterpillar.

2.3 Tiempo de Ciclo de Carguío y Transporte

2.3.1 Ciclo total de transporte

El tiempo de ciclo de un camión corresponde al tiempo promedio que demora el camión en recorrer un circuito de transporte.

$$T_{trans} = T_a + T_r + T_{dc} + T_{md}$$

T_{trans}: Ciclo total de acarreo y retorno

T_a: Tiempo de acarreo

T_r: Tiempo de retorno

T_{dc}: Tiempo de descarga del camión

T_{md}: Tiempo de maniobra del camión en la zona de descarga.

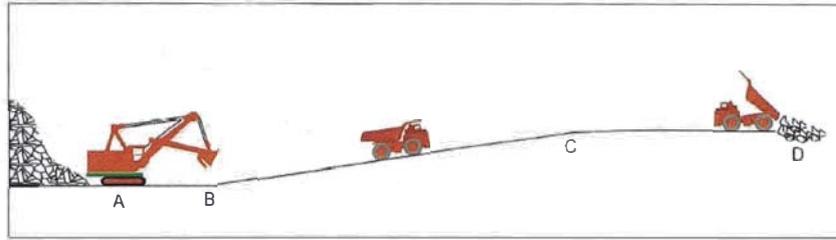


Figura 2.1. Ciclo de transporte en un sistema discontinuo.

El tiempo de ciclo de un camión depende, entre otras cosas, de las esperas requeridas en los puntos de carga y descarga, de interferencias con vehículos más lentos durante el recorrido (los cuales no pueden ser sobrepasados) y de la velocidad que los distintos conductores proceden bajo variadas condiciones.

2.3.2 Ciclo total de carga

Es el tiempo requerido para cargar un camión. Para realizar una descarga las palas, las cuales rotan de manera circular requieren de mucho menos tiempo que los cargadores frontales, los cuales tienen que trasladarse desde el banco de extracción hasta el camión. El tiempo también depende de la compatibilidad entre el equipo de carguío y acarreo, de las condiciones de excavación, y del tamaño de los equipos.

Para nuestros cálculos se considerara la siguiente fórmula:

$$T_{cca} = T_{dc} + (N - 1) * T_p + T_{mc}$$

T_{cca}: Ciclo total de carga

T_{dp}: Tiempo de descarga por pasada

N: Número de ciclos de carguío

T_p: Tiempo de Ciclo por pasada

T_{mc}: Tiempo de maniobra del camión en la zona de carga

2.4 Factores que afectan la producción

Existen distintos factores que afectan la producción estos están agrupados en dos grupos las cuales son condiciones internas y condiciones externas en la siguiente figura 2.2

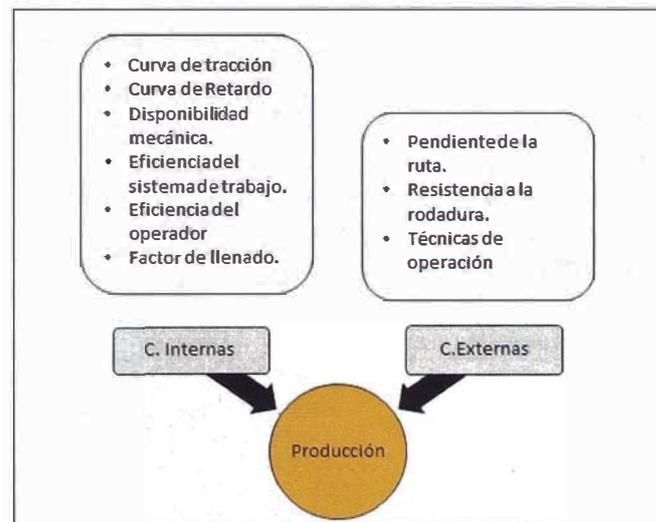


Figura 2.2. Esquema de los factores que afectan la producción

2.4.1 Condiciones Externas

Las condiciones externas son todas aquellas que están inherentes al proceso pero que no tienen una relación directa con el proceso como por ejemplo las condiciones climáticas administrativas, políticas.

➤ Pendiente de la ruta de transporte

Es la diferencia en elevación del eje central de la ruta expresado como porcentaje de la distancia horizontal a lo largo del mismo eje.

➤ **Resistencia a la rodadura:**

La resistencia a la rodadura es el resultado de la fuerza fricción que ocurre entre los neumáticos del camión y la superficie de la ruta de transporte. Esta fuerza friccional es tangente a los neumáticos del camión, es decir paralelo a la superficie de tierra. La resistencia de la rodadura también depende del tipo de superficie, a continuación el cuadro 2.4 muestra los valores de la resistencia a la rodadura en función al tipo de superficie.

Cuadro 2.4 Valores de la resistencia a la rodadura.

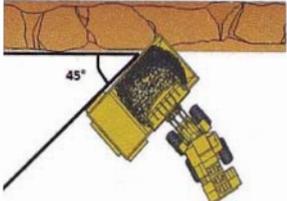
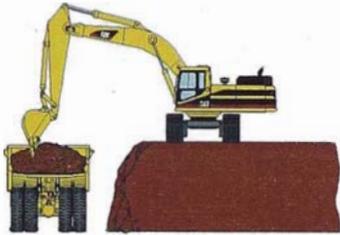
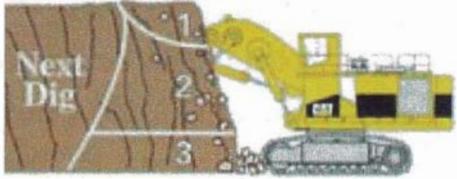
TERRENO	% DE RESISTENCIA A LA RODADURA*			
	Neumáticos Telas	Radiales	Cadena **	Cadena +Neumáticos
Camino muy duro y liso de hormigón, asfalto frío o tierra, sin penetración ni flexión....	1,5 %*	1,2 %	0 %	1,0 %
Camino estabilizado, pavimentado, duro y liso que no cede bajo carga, regado y conservado	2,0 %	1,7 %	0 %	1,2 %
Camino firme y liso, de tierra o capa ligera, que cede un poco bajo carga o irregular, conservado con regularidad, regado	3,0 %	2,5 %	0 %	1,8 %
Camino de tierra, desigual o que flexiona bajo carga, conservado irregularmente, sin regar, flexión o penetración de los neumáticos de 25 mm (1")	4,0 %	4,0 %	0 %	2,4 %
Camino de tierra, desigual o que flexiona bajo carga, conservado irregularmente, sin regar, flexión o penetración de los neumáticos de 50 mm (2")	5,0 %	5,0 %	0 %	3,0 %

Fuente: Manual de rendimiento de Caterpillar.

➤ **Técnicas de operación**

Las técnicas de operación influyen en tiempo de ciclo ya que estas son realizadas por el fabricante para garantizar un rendimiento deseado: A continuación observamos algunas en el siguiente cuadro.

Cuadro 2.5. Técnicas de operación

Equipo	Descripción
<p>Cargador Frontal: Estacionamiento en 45°</p>	
<p>Excavadora: La altura de banco debe tener la misma longitud que el brazo</p>	
<p>Pala Hidráulica: Se debe atacar los bancos de arriba hacia abajo</p>	

Fuente: Manual de rendimiento Caterpillar.

2.4.2 Condiciones Internas

➤ Curva de tracción

La velocidad de un camión desplazándose a lo largo de un tramo ascendente de la ruta de transporte depende de la fuerza de tracción del camión. Esta fuerza es generada por la potencia de tracción del camión durante la aceleración.

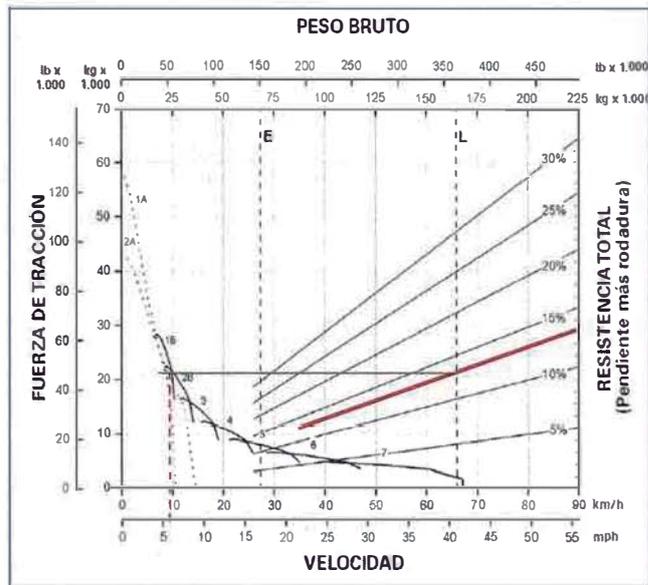


Figura 2.3. Curva de tracción

➤ **Curva de retardo**

La curva de retardo representa la capacidad del sistema de frenos del camión durante la desaceleración. La fuerza del sistema dinámico de frenado dada por el gráfico de retardo representa la fuerza suministrada por el sistema de frenos que actúa a lo largo de la superficie de la ruta para frenar el camión.

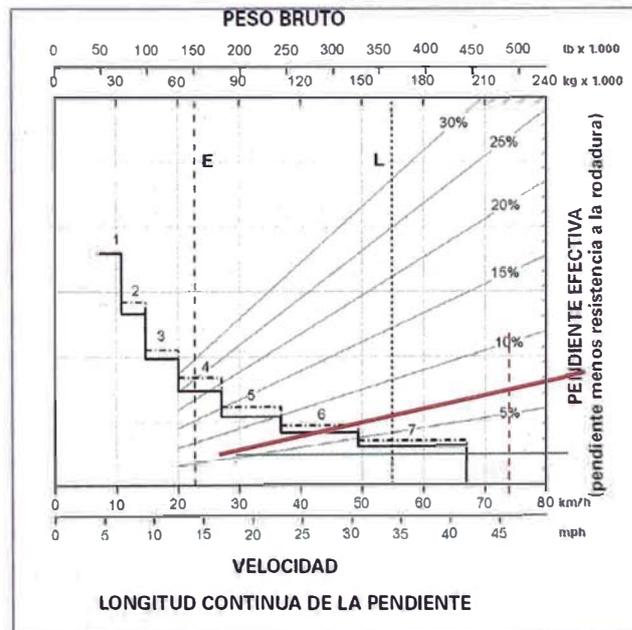


Figura 2.4. Curva de retardo.

➤ **Disponibilidad Mecánica**

Corresponde al porcentaje de tiempo en que el equipo está mecánicamente disponible para operar y realizar la función para la que está diseñada, en relación con el tiempo total.

El tiempo no disponible del equipo es porque se realiza trabajos de mantenimiento preventivo o programado y /o correctivo.

➤ **Eficiencia del sistema de trabajo**

Es el porcentaje de la tasa de producción teórica que se alcanza con la máquina. Reducciones se deben a:

Problemas con la maquina

Personal

Condiciones de trabajo

➤ **Eficiencia del Operador**

Es la experiencia y conocimientos que demuestra el operador, esto se refleja en el cuidado del equipo y en la reducción de los tiempos de ciclo.

➤ **Factor de llenado del cucharon**

La carga útil del cucharón depende del tamaño y forma del cucharón, de la fuerza de plegado y de ciertas características del suelo.

2.5 Rendimientos

Es el tiempo necesario o requerido para ejecutar completamente una unidad determinada. Se encuentra relacionada directamente al avance de un proyecto. Este se puede determinar directamente en campo, se puede estimar a través de cálculos o se puede consultar con el fabricante.

CAPÍTULO III

CÁLCULO DE RENDIMIENTOS

3.1 Consideraciones previas

3.1.1. Producción Requerida

De acuerdo al requerimiento de producción de mina y la relación entre mineral y el desmante de 1:1 las producciones diarias del proyecto son de:

- Mineral : 37,000 ton /día
- Desmante : 37,000 ton /día

3.1.2. Velocidad Máximas de Acarreo

De acuerdo a las normas de seguridad de mina y al cuidado del medio ambiente, en el proyecto se deberá considerar una velocidad máxima igual a 50km/h tanto en acarreo como en retomo, además de considerar los siguiente:

25 Km/h en Bajada Cargado

40 Km/h en recta o Subida Cargado

3.1.3. Resistencia a la Rodadura

Para esta selección se considerara una resistencia a la rodadura de 2 y 3% de acuerdo a las condiciones que se tengas (2% para la vía de acarreo y 3% para las zonas de carga y descarga)

Para un óptimo traslado de material se recomienda que siempre exista una cuadrilla de equipos, conformada por un tractor, cargador frontal, motoniveladora y rodillo, los que harán que la resistencia a la rodadura se mantenga casi constante al valor asumido.

3.1.4. Densidad de material

Para el estudio se considera la densidad del material suelto, en nuestro caso el cliente ya hizo un estudio y determino que la densidad del material es de: 1.8 ton/m³

3.1.5. Horas de operación

Para estas actividad de explotación minera se está considerando trabajar un total de 22 horas por día distribuidas en dos turnos de trabajo.

Esto a razón de considerar 2 horas menos por almuerzo.

Programadas diarias – 22 hrs “2 turnos”

3.1.6. Altura de Banco

Para nuestro caso, de acuerdo a las carteristas del terreno (Macizo Rocos), las que se definen mediante la Mecánica de rocas, Geomecánica y Geología estructural y donde se terminan parámetros como:

Propiedades físicas, propiedades mecánicas, teoría de fallas, teoría de la elasticidad, RQD, Q, etc. Y mediante los estudios de los límites económicos.

Ya obtenidos estos resultados, el cliente determina las técnicas de perforación y voladura, seleccionando el tamaño del equipo que usara para la perforación y de la carga a emplear. Como resultado, nos determinara la altura de banco a formar.

12 – 13 metros

3.1.7. Características de las rutas

Para la planificación del proyecto minero, habiendo ya hecho estudios para ubicación de los yacimientos, botaderos, pads de lixiviación y planta de chancado, el cliente determina las rutas que se usaran durante toda la vida del proyecto. En la siguiente figura 3.1 muestra el esquema de la ruta para el primer año.

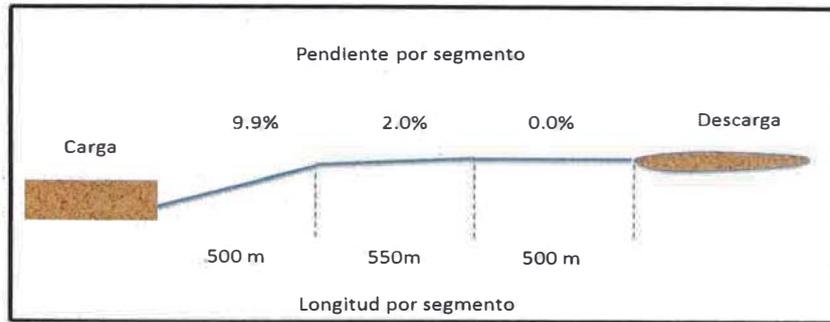


Figura 3.1. Esquema de la ruta para el primer año.

Cabe resaltar que las rutas varían cada año según el plan de minado tanto para el mineral como para el desmonte como se muestran en los cuadros 3.1 y 3.2

Cuadro 3.1. Rutas de acarreo y retorno para el desmonte

		Recorrido del desmonte					
		Segmento de ida			Segmento de retorno		
		1	2	3	1	2	3
Año 1	Pendiente (%)	9.9%	2.0%	0.0%	0.0%	2.0%	9.9%
	Longitud Tramo (m)	500	550	500	500	550	500
Año 2	Pendiente (%)	9.9%	2.0%	0.0%	0.0%	2.0%	9.9%
	Longitud Tramo (m)	1,000	550	500	500	550	1000
Año 3	Pendiente (%)	9.9%	4.5%	0.0%	0.0%	4.5%	9.9%
	Longitud Tramo (m)	1,000	700	500	500	700	1000
Año 4	Pendiente (%)	9.9%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	9.9%
	Longitud Tramo (m)	800	400	200	200	400	800
Año 5	Pendiente (%)	9.9%	5.5%	-3.0%	-3.0%	5.5%	9.9%
	Longitud Tramo (m)	700	200	300	300	200	700
Año 6	Pendiente (%)	9.9%	9.9%	0.0%	0.0%	9.9%	9.9%
	Longitud Tramo (m)	1,100	600	500	500	600	1100
Año 7	Pendiente (%)	9.9%	2.0%	0.0%	0.0%	2.0%	9.9%
	Longitud Tramo (m)	900	550	500	500	550	900
Año 8	Pendiente (%)	9.9%	-8.0%	0.0%	0.0%	-8.0%	9.9%
	Longitud Tramo (m)	500	600	500	500	600	500
Año 9	Pendiente (%)	9.9%	-8.0%	0.0%	0.0%	-8.0%	9.9%
	Longitud Tramo (m)	500	300	500	500	300	500

Fuente: Reporte del Proyecto Shahuindo

Cuadro 3.2. Ruta de acarreo y retorno para el mineral

		Recorrido del mineral																	
		Recorrido del mineral									Segmento de retorno								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Año 1	Pendiente (%)	9.9%	-1.5%	9.9%	2.0%						2.0%	9.9%	-1.5%	9.9%					
	Longitud Tramo (m)	500	550	750	350						350	750	550	500					
Año 2	Pendiente (%)	9.9%	-1.5%	9.9%	2.0%						2.0%	9.9%	-1.5%	9.9%					
	Longitud Tramo (m)	1000	550	750	350						350	750	550	1000					
Año 3	Pendiente (%)	9.9%	9.9%	-1.5%	9.9%	2.0%					9.9%	-1.5%	9.9%	9.9%	2.0%				
	Longitud Tramo (m)	1000	400	550	750	350					750	550	400	1000	350				
Año 4	Pendiente (%)	9.9%	-8.0%	9.9%	-1.5%	9.9%	2.0%				-1.5%	9.9%	-8.0%	9.9%	9.9%	2.0%			
	Longitud Tramo (m)	800	1500	400	550	750	350				550	400	1500	800	750	350			
Año 5	Pendiente (%)	9.9%	-8.0%	-8.0%	9.9%	-1.5%	9.9%	2.0%			9.9%	-8.0%	-8.0%	9.9%	-1.5%	9.9%	2.0%		
	Longitud Tramo (m)	700	500	1500	400	550	750	350			400	1500	500	700	550	750	350		
Año 6	Pendiente (%)	9.9%	9.9%	9.9%	2.0%						2.0%	9.9%	9.9%	9.9%					
	Longitud Tramo (m)	1100	450	750	350						350	750	450	1100					
Año 7	Pendiente (%)	9.9%	9.9%	2.0%							2.0%	9.9%	0.099						
	Longitud Tramo (m)	900	750	350							350	750	900						
Año 8	Pendiente (%)	9.9%	9.9%	2.0%	2.0%						2.0%	2.0%	9.9%	9.9%					
	Longitud Tramo (m)	500	1600	400	350						350	400	1600	500					
Año 9	Pendiente (%)	9.9%	8.8%	-7.0%	-8.0%	-8.0%	9.9%	-1.5%	9.9%	2.0%	-8.0%	-7.0%	8.8%	9.9%	9.9%	-1.5%	9.9%	-8.0%	8.8%
	Longitud Tramo (m)	500	200	450	500	1500	400	550	750	350	500	450	200	500	750	550	400	1500	200

Fuente: Reporte del proyecto Shahuindo

3.1.8. Eficiencia del sistema de trabajo:

Para nuestro análisis se está asumiendo una eficiencia del sistema de trabajo de 83%, lo cual nos indica que, el tiempo efectivo trabajado en 1 hora, es de 50 minutos.

$$\begin{array}{l} \textit{Producción al} \\ \textit{83\% de eficiencia} \\ \textit{del ciclo de carga} \\ \textit{del camión.} \end{array} = \begin{array}{l} \textit{Producción al} \\ \textit{100\% de} \\ \textit{eficiencia del} \\ \textit{Ciclo de carga} \\ \textit{del camión.} \end{array} \times \frac{\textit{50 minutos}}{\textit{Tiempo actual}} \\ \textit{de trabajo} \\ \textit{60 min.}$$

3.1.9. Disponibilidad Mecánica:

Para toda la vida útil de la maquina durante los 9 años de operación, Se está considerando una eficiencia mecánica del 87%.

3.1.10. Eficiencia del Operador:

Durante toda la vida del proyecto habrá una rotación permanente de los operadores, además se los estará capacitando para mejorar las técnicas de trabajo y buena respuesta en el cuidado del equipo, por lo que para nuestro caso se asumirá una eficiencia del 90%.

3.2 Selección del equipo de Carguío

El plan de minado indica que la altura de los bancos económicamente viable para el proyecto, será entre 12 y 13 metros, el diseño de voladura del plan de minado se encuentra establecido. Debido al fragmentado las condiciones de carga, no son las óptimas para realizar el carguío con el cargador frontal aumentar la fragmentación de material significaría un aumento del costo de voladura.

El equipo de carguío recomendado por las condiciones de carga es la pala hidráulica, ya que la altura de banco está definida las palas recomendadas por Caterpillar para esta altura de banco son RH 90 y RH 120 como se puede ver en la figura 3.2 y 3.3 respectivamente para cada Pala.

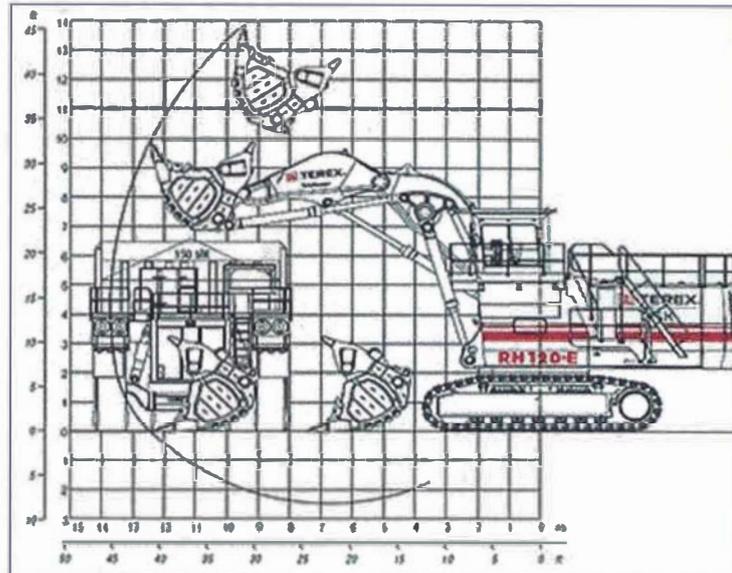


Figura 3.2. Altura máxima de posicionamiento de la pala RH90

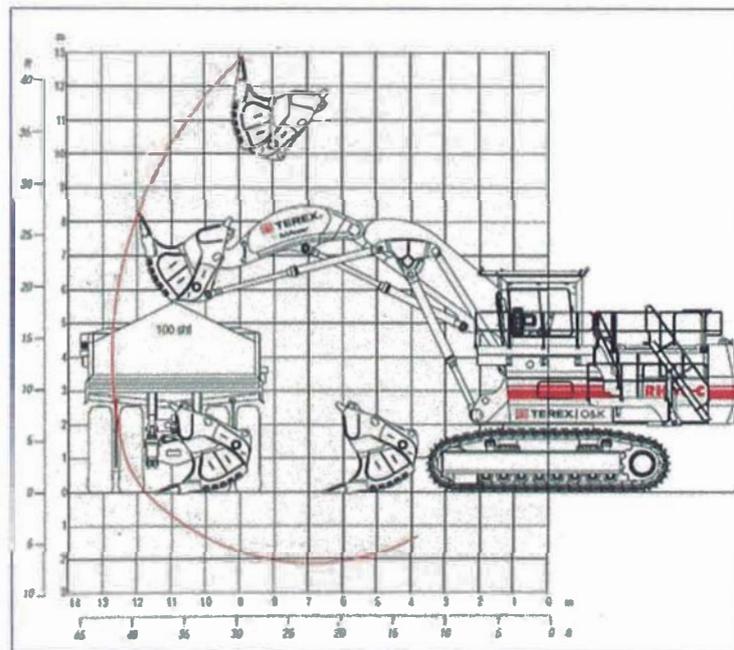


Figura 3.3. Altura máxima reposicionamiento de la pala RH120

Cuadro 3.3. Características de los equipos de carguío

	RH90	RH120
Capacidad del cucharón (m3)	10	15
Densidad de trabajo (Ton/m3)	1.8	1.9
Peso (kg)	17500	27800
Potencia (KW) 2 motores	858	1044
Fuerza de excavación(KN)	870	1370
Max Altura descarga(m)	10.1	10.7
Max Altura de excavación (m)	12.7	13.7

Fuente: Manual de rendimiento Caterpillar

3.3 Selección del Equipo de Acarreo

El manual de rendimiento de Caterpillar recomienda que el número de pasadas deberá estar entre de 3 a 6 para excavadoras o palas hidráulicas. El cuadro 3.4 muestra esta compatibilidad, recomendando los camiones 777 y 785 para este caso.

Cuadro 3.4. Compatibilidad entre los equipos de carguío y acarreo

Toneladas métricas	Tons EE.UU.	Herramienta de carga	Pasadas	Camión
2.270/2.450	2.500/2.700	994F HL	7	793D/F
2.450/2.700	2.700/3.000	994F	5	789C
2.270/2.450	2.500/2.700	994F HL	6	789C
2.450/2.700	2.700/3.000	994F	4	785C/785D
1.800/2.000	2.000/2.200	993K HL	6	785C/785D
1.800/2.000	2.000/2.200	993K	4	777D/777F
1.530/1.710	1.700/1.900	992K	4-5	777D/777F
1.180/1.360	1.300/1.500	990H	3-4	773F
800/1.000	880/1.100	988H	3	770
2.720/2.900	3.000/3.200	5230B ME*	7	793D/F
2.540/2.720	2.800/3.000	5230B FS*	8	793D/F
2.630/2.810	2.900/3.100	5230B ME*	6	789C
2.450/2.630	2.700/2.900	5230B FS*	6	789C
2.540/2.720	2.800/3.000	5230B ME*	5	785C/785D
2.360/2.540	2.600/2.800	5230B FS*	5	785C/785D
1.900/2.100	2.100/2.300	5130B ME*	7	785C/785D
1.700/1.900	1.700/2.100	5130B FS*	7	785C/785D
1.800/2.000	2.000/2.200	5130B ME*	5	777D/777F
1.540/1.810	1.700/2.000	5130B FS*	5	777D/777F

Fuente: Manual de rendimiento Caterpillar

Para nuestro caso estamos usando 2 modelos de palas de la marca Bucyrus que actualmente han sido compradas por la línea Caterpillar. Además para nuestro análisis se está considerando un total de 5 pasadas para manipular un material que tiene una densidad suelta de 1,8 Ton/m³ tanto para la pala RH90 y la RH120 que actualmente son la 5130B y 5230B.

Por ser un material suelto de voladura y a esto se sumamos la buena penetración que tienen las palas hidráulica frontales, se asume un factor de llenado del 97%

Cuadro3.5. Factor de llenado por características del material.

FACTORES DE LLENADO DEL CUCHARÓN	
Material suelto	Factor de llenado
Áridos húmedos mezclados	95-100 %
Áridos uniformes hasta de 3 mm (1/8")	95-100
3 mm-9 mm (1/8"-3/8")	90-95
12 mm-20 mm (1/2"-3/4")	85-90
24 mm (1") y más	85-90
Roca de voladura	
Buena	80-95 %
Media	75-90
Mala	60-75
Otro	
Mezclas de roca y tierra	100-120 %
Marga húmeda	100-110
Tierra vegetal, piedras, raíces	80-100
Materiales cementados	85-95
NOTA: Los factores de llenado del cucharón cargador pueden ser afectados por la penetración del cucharón, la fuerza de desprendimiento, el ángulo de inclinación hacia atrás, el perfil del cucharón y las herramientas de corte tales como los dientes del cucharón o cuchillos empernables reemplazables.	
NOTA: Para obtener los factores de llenado del cucharón de excavadoras hidráulicas, consulte la carga útil de los cucharones en la sección de excavadoras hidráulicas.	

Fuente: Manual de rendimiento Caterpillar

Cuadro3.6. Visualización del factor de llenado.

Material	Gama de factor de llenado (porcentaje de la capacidad colmada del cucharón)
Marga mojada o arcilla arenosa	A - 100-110 %
Arena y grava	B - 95-110 %
Arcilla dura y compacta	C - 80-90 %
Roca bien fragmentada por voladura	60-75 %
Roca mal fragmentada por voladura	40-50 %

Fuente: Manual de rendimiento Caterpillar

Ya definido el equipo de carguío se procederá a seleccionar el modelo y tamaño del equipo de acarreo, para esto se calculara la posible carga que podrá llevar un camión que es cargado por una Pala RH90 o RH120 con un total de 5 pasadas y un factor de llenado promedio de 97%.

$$Carga\ del\ Camión = N^{\circ}Pasadas * FLL * capacidad\ de\ cucharon$$

FLL: Factor de llenado

Cuadro3.7. Capacidad de carga del camión

	RH90	RH120
Capacidad del Cucharon (m3)	10	15
Numero de Padas	5	5
Factor de llenado	97%	
Capacidad de Carga (Ton)	87.3	130.95

Fuente: Manual de rendimiento Caterpillar

Según la recomendación del manual de rendimiento de Caterpillar los posibles equipos de acarreo serán los camiones 777G 785D que podrán cargar 87.3 Ton y 130.95 Ton respectivamente. La tolva recomendada por Caterpillar para la región de Sudamérica es la tolva de Declive. En los cuadros 3.8 y 3.7 se puede observar sus características respectivamente.

Cuadro 3.8. Capacidad de carga del camión 777G



MODELO	777G	
Tipo de caja	Piso de doble declive	
Peso bruto del vehículo	164.654 kg	363.000 lb
Peso del chasis*	51.848 kg	114.305 lb
Peso de la caja	16.075 kg	5.439 lb
Carga útil sin revestimiento	96.731 kg	213.256 lb
Peso de revestimiento estandar	5.695 kg	12.555 lb
Carga útil ideal**	91.036 kg	200.711 lb
Capacidad:		
A ras (SAE)	42 m ³	54,6 yd ³
Colmada (2:1) (SAE)	60,2 m ³	78,6 yd ³

Fuente: Manual de rendimiento Caterpillar

Cuadro 3.9. Capacidad de carga del camión 785D



MODELO	785D	
Tipo de caja	Piso de doble declive	
Peso bruto objetivo de la máquina §	249.433 kg	550.000 lb
Peso básico de la máquina*	46.921 kg	103.443 lb
Accesorios**	35.144 kg	77.479 lb
Peso de la caja sin revestimiento***	22.997 kg	50.700 lb
Revestimiento completo	8.113 kg	17.886 lb
Peso en orden de trabajo de la máquina	113.175 kg	249.508 lb
Escombros (3 % del peso en orden de trabajo de la máquina)	3.395 kg	7.485 lb
Peso en orden de trabajo vacío	116.570 kg	256.993 lb
Carga útil Ideal §	132,9 tons métricas	146,5 tons EE.UU
Capacidad:		
Colmado (2:1) (SAE), caja básica	78 m ³	102 yd ³
Colmado (2:1) (SAE) con extensiones laterales estándar	91 m ³	119 yd ³

Fuente: Manual de rendimiento Caterpillar

3.4 Compatibilidad de los equipos

3.4.1 Determinación de ciclo total de acarreo y retorno

Para poder determinar el ciclo total de Acarreo y retorno, primero será necesario determinar los tiempos de acarreo y retorno

3.4.2 Determinación de los tiempos de acarreo y retorno

Una vez determinado los posibles equipos de acarreo. Se procederá determinar el tiempo de ciclo teórico, con ayuda de las curvas tracción y retardo que de cada camión, las cuales depende de la resistencia total según el manual de rendimiento de Caterpillar.

La resistencia total para un camión que sube una cuesta será de la siguiente forma:

$$Resistencia\ Total = Pendiente + Resistencia\ a\ la\ rodadura$$

Y para un camión que baja una cuesta será:

$$Resistencia\ Total = Pendiente - Resistencia\ a\ la\ rodadura$$

Para nuestro ejemplo se tomara la ruta de acarreo de desmorte que se usara durante el primer año.

Cuadro3.10. Características de la ruta de acarreo y retorno.

		Recorrido del desmorte					
		Segmento de ida			Segmento de retorno		
		1	2	3	1	2	3
Año 1	Pendiente (%)	9.9%	2.0%	0.0%	0.0%	2.0%	9.9%
	Longitud Tramo (m)	500	550	500	500	550	500

Fuente: Reporte del proyecto minero Shahuindo

Se observa que el primer tramo tiene una pendiente del 9.9%. Por lo que la resistencia total para una resistencia de rodadura del 3%, será de 13% al subir una cuesta y de 7% al bajar la cuesta.

Para determinar la velocidad con la curva de tracción obtenida del catálogo del fabricante, se debe de realizar los siguientes pasos:

Paso 1: Hallar la resistencia total =13%, e identificar la recta que corresponde para esta resistencia en el eje vertical ubicado a la derecha de la figura 3.4.

Paso 2: Seguir la recta hasta interceptar la recta vertical "L" o "E", en la intersección trazar una línea horizontal. Donde "L" significa carga y "E" significa vacío. Para este caso "L".

Paso 3: Identificar la intersección de la línea horizontal con la curva de tracción, luego bajar una línea perpendicular hasta interceptar al eje horizontal de las velocidades.

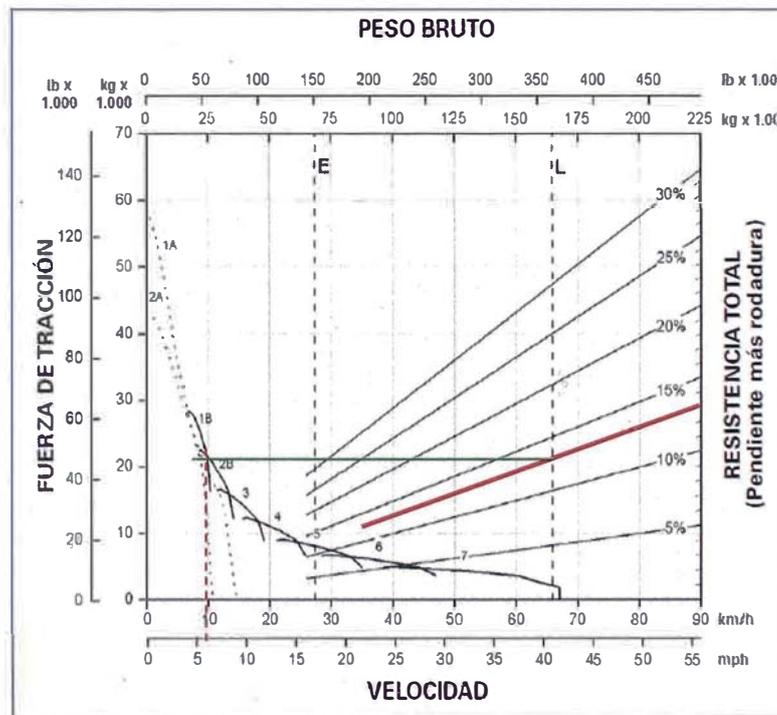


Figura 3.4. Curva de tracción del camión 777G

Para este segmento de resistencia total de 13% la velocidad según la curva de tracción es de 10 km/h.

Para determinar la velocidad con la curva de retardo obtenida del catálogo del fabricante, se debe de realizar los siguientes pasos:

Paso 1: Hallar la resistencia total =7%, e identificar la recta que corresponde para esta resistencia en el eje vertical ubicado a la derecha de la figura 3.5.

Paso 2: Seguir la recta hasta interceptar la recta vertical "L" o "E", en la intersección trazar una línea horizontal. Donde "L" significa carga y "E" significa vacío. Para este caso "E".

Paso 3: Identificar la intersección de la línea horizontal con la curva de retardo, luego bajar una línea perpendicular hasta interceptar al eje de las velocidades.

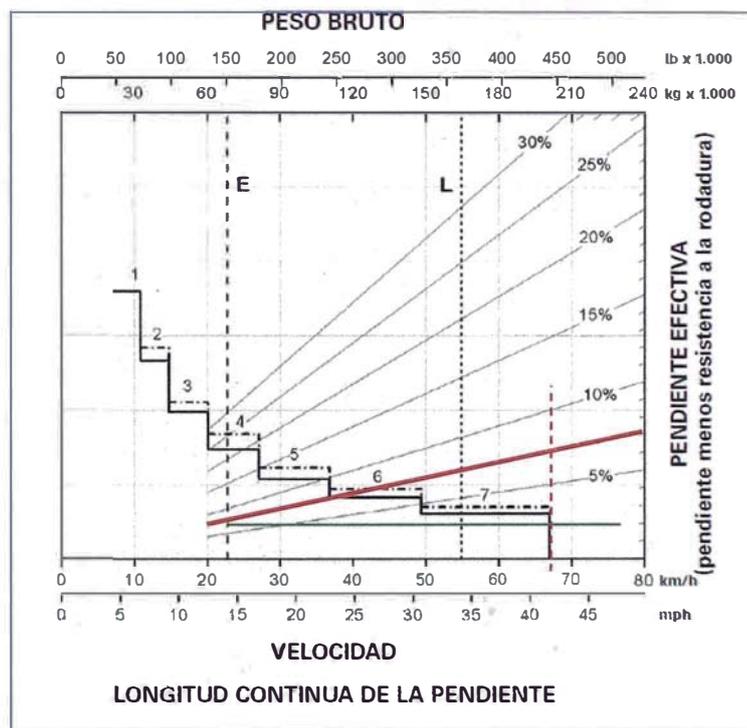


Figura 3.5. Curva de retardo del camión 777G

Para este segmento de resistencia total de 7% la velocidad según la curva de retardo es de 67 km/h.

Analizando los gráficos tracción y retardo se observa que en el primer tramo la velocidad del camión será 10 km/h al subir cargado

con material de desmonte y de 67 km/h al bajar sin material. Con esto podemos determinar el tiempo que tomara en camión en subir y bajar este primer segmento.

Antes de determinar las velocidades en cada tramo, debemos considerar algunas restricciones de seguridad en mina, para nuestro caso el cliente, determino no exceder de 50Km/h.

Lo que nos dice que la velocidad de retorno en vacío y con pendiente a favor no será de 67 Km/h si no será de 50Km/h

Ya determinada las velocidades de acarreo y retorno, se procederá a calcular el tiempo tanto de acarreo como el retorno en el primer segmento.

Para el acarreo cargado con pendiente en contra el camión a una velocidad de 10Km/h demorara 3 minutos y para el retorno en vacío y con pendiente a favor ira a una velocidad de 50Km/h, por lo que demorara 0.6 minutos.

Este análisis se puede realizar de forma manual. Pero debido al número de rutas que varían durante la vida útil del proyecto se usara un programa de computadora llamado TALLPAC, que nos facilitara este cálculo

Para que este programa pueda realizar el cálculo del tiempo de ciclo se introducirán las curvas tracción, retardo, carga útil, peso bruto del camión y las rutas de acarreo con las velocidades límites máximas.

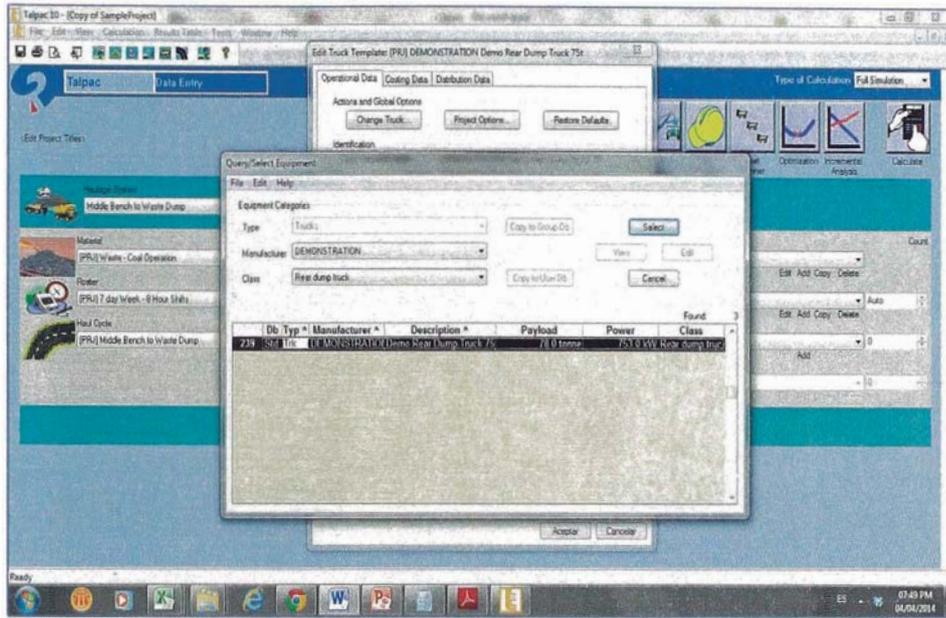


Figura 3.6. Ingreso de las Rutas de acarreo en el Programa Talpac

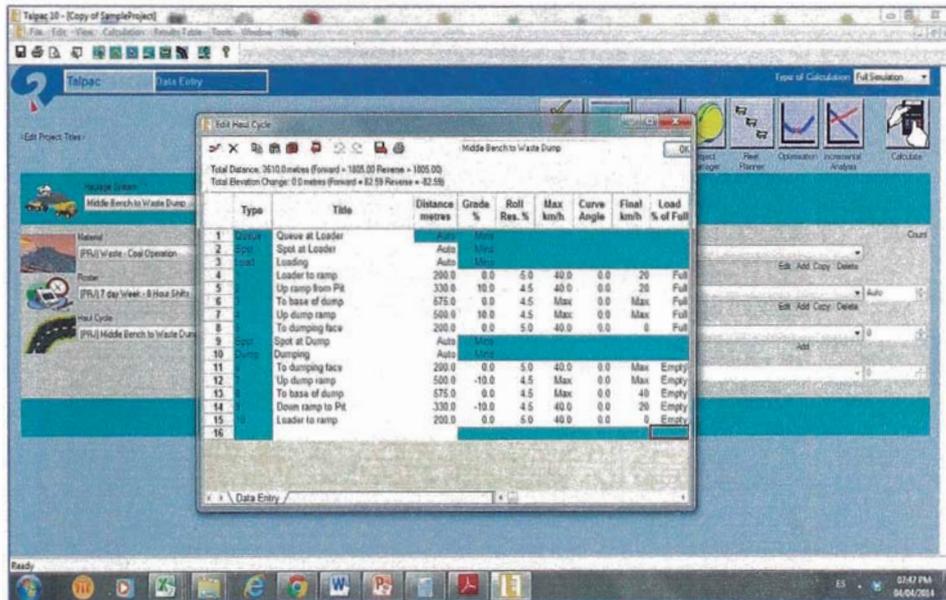


Figura 3.7. Ingreso de las características del equipo de acarreo

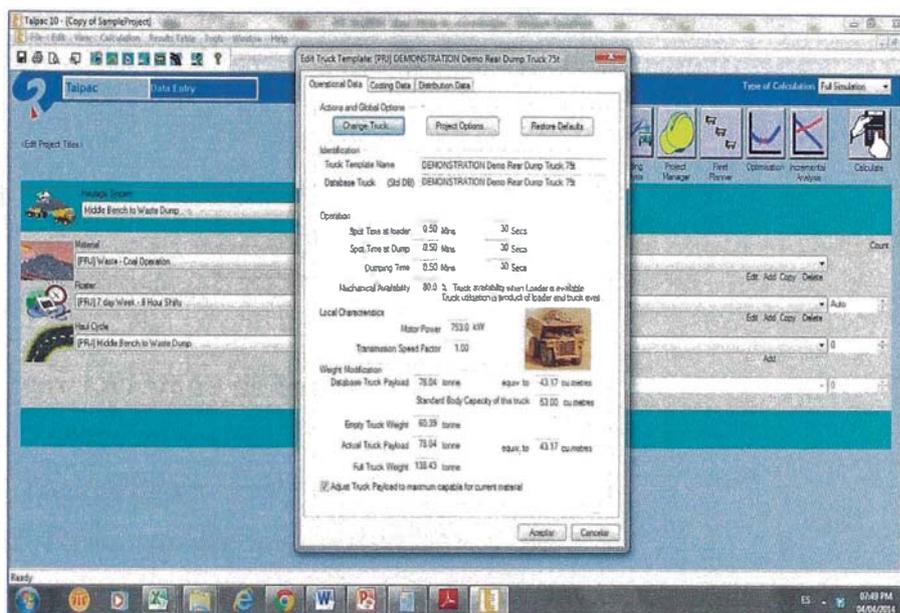


Figura 3.8. Ingreso de los límites máximos de carga del camión

Cuadro 3.11. Tiempos en minutos de acarreo y retorno.

AÑO	777 G		7785D	
	MINERAL	DESMONTE	MINERAL	DESMONTE
1	13.27	7.46	13.66	7.78
2	17.11	11.29	17.60	11.72
3	19.74	12.89	20.29	13.07
4	26.97	8.29	27.34	8.54
5	28.98	7.87	29.30	8.17
6	19.30	14.93	19.86	15.37
7	14.32	10.52	14.74	10.93
8	19.05	8.76	19.65	8.85
9	30.82	7.09	31.38	7.20

Fuente: Software Tallpac

Ya determinados los tiempos de acarreo y retorno, se procede a hallar el ciclo total de Acarreo y Retorno, se considerara al tiempo de descarga y maniobra del camión igual a 1 minuto para esto se recurrió a la base de datos históricos que maneja el área de departamento de productividad de la empresa Ferreyros SA.

Para calcular el ciclo se utilizara la siguiente formula recomendada por el manual de rendimiento de Caterpillar.

$$T_{trans} = T_a + T_r + T_d + T_{md}$$

T_{trans}: Ciclo total de acarreo y retorno

T_a: Tiempo de acarreo

T_r: Tiempo de retorno

T_d: Tiempo de descarga del camión

T_{md}: Tiempo de maniobra del camion en la zona de descarga

Al remplazar estos datos en la formula indicada se podrá terminar el ciclo Total de Acarreo y Retorno para cada una de las rutas proyectadas en los 9 años de operación.

Cuadro 3.12. Ciclos totales de acarreo y retorno.

Equipo de Acarreo	AÑO 1	AÑO 1
	777G	785D
Distancia de acarreo (km)	2.150	2.150
Ciclo de acarreo (min)	9.361	9.714
Ciclo de maniobra y descarga (min)	1.000	1.000
Ciclo de retorno (min)	3.910	3.948
Ciclo de acarreo, retorno y maniobra (min)	14.27	14.66

Fuente: Software Tallpac

3.4.3 Determinación de ciclo total de carga

Para poder determinar el ciclo Total de Carga de la pala se utilizó el recomendado por el manual de rendimiento el cual difiere con el real hasta en un 10% según las condiciones en la cual se realice el trabajo, la empresa Ferreyros SA. Maneja algunos datos históricos, los cuales han sido recolectados en campo, en base a trabajos típicos que se realizan en las mina.

$$Tcca = Tdc + (N - 1) * Tp + Tmc$$

Tcca: Ciclo total de carga

Tdp: Tiempo de descarga por pasada

N: Numero de ciclos de pasada

Tp: Tiempo de ciclo por pasada

Tmc: Tiempo de maniobra del camion en la zona de carga

De acuerdo a la formula mostrada, podemos determinar el ciclo total de carga asumiendo algunos datos como: Tiempo de descarga del cucharon, Tiempo de ciclo por pasada y Tiempo de maniobra del camión.

Cuadro3.13.Ciclos totales de carga.

Equipo de Carguío	AÑO 1	AÑO 1
	RH90-C	RH120-E
Tiempo de descarga del cucharón (seg)	7.0	7.0
Tiempo de ciclo de pasada (seg)	25.0	26.0
Número de ciclos de carguío por ciclo de carga	5	5
Tiempo de maniobra del camión (seg)	10.0	10.0
Ciclo total de carga (min)	1.95	2.00

Fuente: Manual de rendimiento de Caterpillar.

3.4.4 Determinación del número de equipos.

Ya determinado el ciclos total de carga y ciclo total de acarreo y retorno se procederá a determinar la cantidad de palas y camiones que se requiere en el proyecto.

3.4.5 Cálculo del número de palas mineras.

Para poder calcular el número de palas que puedan cumplir con la producción, se deberá saber cuánto puede producir una al cargar un camión. Para ello se dividirá la capacidad de carga del camión, entre el ciclo total de carga correspondiente a cada pala compatible y se multiplicara por las eficiencia de operación, eficiencia del

sistema de trabajo y por la disponibilidad mecánica. Con esto tendremos la producción horaria de cada sistema pala camión la cual proyectaremos al requerimiento diario de producción tanto para mineral como para desmante.

Cuadro3.14. Cálculo de la producción.

Equipos	RH90 y 777G	RH120 y 785D
Tiempo de Carga (min)	1.95	2.02
Capacidad de Carga del Camión (Ton)	87.3	130.95
Producción equipo 100% eficiencia (TM/h)	2686.2	3889.6
Eficiencia del operador (%)	90%	
Eficiencia del sistema de trabajo (%)	83%	
Disponibilidad mecánica (%)	87%	
Producción equipo (TM/hr)	1745.7	2527.8
Horas trabajadas	11	
Turnos	2	
Producción(TM/día)	38405	55611

Fuente: Software Tallpac

En el cuadro se observa que la producción diaria de la pala RH90 con el camión 777G es de 38 305 TM/día, lo cual nos indica que solo una pala RH90 podrá cumplir con los 37000Ton/día de mineral y otra para los 37000Ton/día de desmante.

Al igual, una pala RH120 podrá cumplir con el requerimiento de mineral y otra para el requerimiento de desmante.

3.4.6 Cálculo del número de camiones

El número de camiones recomendado según el manual de rendimiento de Caterpillar se define como la cantidad de camiones que no genere cola de camiones y que el equipo de carguío no tenga tiempos de espera. Si el número de camiones reales es menor al número recomendado, habrán tiempos no productivos del equipo de carguío y si el número de camiones reales excede al número recomendado se produce colas de camiones.

$$N^{\circ}Rec. = \frac{T_{trans} + T_{cca}}{T_{cca}}$$

Tcca: Ciclo total de carga

Ttrans: Ciclo total de acarreo y retorno

N°Rec: Numero recomendado de camiones

Para nuestro caso el número de camiones durante el primer año que acarrearan mineral será de:

Cuadro3.15.Cálculo del número óptimo de camiones.

Equipo de Carguío	AÑO 1	AÑO 1
	RH90-C y 777G	RH120-E y 785D
Ciclo total de carga (min)	1.95	2.02
Ciclo de acarreo, retorno y maniobra (min)	14.27	14.66
Número de Camiones Óptimos	8.3	8.3

Fuente: Software Tallpac

Del cuadro se observa que el número de camiones óptimos para transportar mineral durante el primer año es de 8.3 camiones, pero este dato no será solución, se tendrá que redondear a un número entero menor o mayor a 8.3. Para esto se hará un análisis de producción que nos determinara el valor adecuado para el cumplimiento de la producción y ahorro de costos.

3.5 Análisis de la Producción

Para poder determinar la producción, se debe de conocer cuántos ciclos de acarreo realiza el camión en una hora tomando como referencia el manual de rendimiento de Caterpillar. Para lo cual lo define de la siguiente forma.

$$NCA. = \frac{60}{Tcca + Ttrans}$$

Cuadro 3.16. Cálculo del número de ciclos de acarreo.

Equipo de Carguío	AÑO 1	AÑO 1
	RH90-C y 777G	RH120-E 785D
Ciclo total de carga (min)	1.95	2.02
Ciclo de Total acarreo y retorno (min)	14.27	14.66
Ciclos de acarreo por camión (Ciclos/h)	3.7	3.6
Ciclos de acarreo por camión (Ciclos/turno)	40.7	39.6
Ciclos real de acarreo por camión (Ciclos/turno)	40.0	39.0

Fuente: Software Tallpac

Del cuadro se observa que un camión 777G realiza 3.7 ciclos por hora y proyectados a un jornal de trabajo de 11 horas, se obtendrán 40.7 ciclos, lo cual en la vida real no puede ser posible por esto lo redondeamos al menor mínimo entero obteniendo 40 ciclos por turno para el 777G y 39 ciclos para el camión 785D.

Ahora para obtener el la producción total del sistema se multiplicara el número de ciclos de acarreo del camión en un día por el número total de camiones los cuales para nuestro caso puede ser de 8 o 9, a esto sumamos el efecto que producen la eficiencia del sistema de trabajo, disponibilidad mecánica y eficiencia del operador.

$$\text{Producción dia}(100\%) = \text{Ciclos de acarreo por camión} * N^{\circ} \text{de camiones}$$

$$\text{Producción del sistema} = \text{Producción}(100\%) * Et * Eo * Dm$$

Et: Eficiencia del sistema de trabajo

Eo: Eficiencia del operador

Dm: Dismponibilidad mecánica

Cuadro 3.17. Cálculo de producción del sistema pala camión.

Equipo de Carguío	AÑO 1	AÑO 1
	RH90-C y 777G	RH120-E y 785D
Ciclos real de acarreo por camión (Ciclos/turno)	40.0	39.0
Capacidad de Carga (Ton)	87.3	131.0
Número de camiones 1	8	8
Número de camiones 2	9	9
Numero de Turnos	2	2
Eficiencia del operador (%)	90%	90%
Eficiencia del sistema de trabajo (%)	83%	83%
Disponibilidad mecánica (%)	87%	87%
Producción del sistema (8 camiones) (TM/día)	36311	53104
Producción del sistema (9 camiones) (TM/día)	40849	59742

Fuente: Software Tallpac

Ya determinada la producción del sistema, se verifica que el sistema pala camiones llega a cumplir con la producción requerida por la mina.

$$\text{Cumplimiento}(\%) = \frac{\text{Producción del sistema}}{\text{Producción requerida}}$$

Del cuadro 3.18 se observa que el cumplimiento del sistema Pala RH90 con 8 camión 777G será de 98% y del sistema Pala RH90 con 9 camiones será de 110%.

Cuadro3.18. Cálculo del cumplimiento de producción.

Equipo de Carguío	AÑO 1	AÑO 1
	RH90-C y 777G	RH120-E y 785D
Producción del sistema (8 camiones) (TM/día)	36,311	53,104
Producción del sistema (9 camiones) (TM/día)	40,849	59,742
Producción Requerida(TM/día)	37,000	37,000
Cumplimiento de Producción % (8 camiones)	98%	144%
Cumplimiento de Producción %(9 camiones)	110%	161%

Fuente: Software Tallpac

Del cuadro 3.18 se observa que para la opción de la Pala RH90 el cumplimiento está por encima del 110% por lo cual se decide disminuir la cantidad de camiones. Como se muestra en el cuadro 3.19

Cuadro3.19.Cálculo del cumplimiento de producción.

Equipo de Carguío	AÑO 1	
	RH120-E y 785D	
Capacidad de Carga (Ton)	131.0	
Número de camiones 1	5	
Número de camiones 1	6	
Numero de Turnos	2	
Eficiencia del operador (%)	90%	
Eficiencia del sistema de trabajo (%)	83%	
Disponibilidad mecánica (%)	87%	
Producción del sistema (8 camiones) (TM/día)	33,190	
Producción equipo (9 camiones) (TM/día)	39,828	
Producción Requerida(TM/día)	37,000	
Cumplimiento de Producción (5 camiones)	90%	
Cumplimiento de Producción (6 camiones)	108%	

Fuente: Software Tallpac

Entonces para poder cumplir con los 37000 Ton diarias de producción se tendrá que utilizar un total de 6 camiones con un 108% de cumplimiento para la Pala RH90.

Calculando el número de camiones durante los 9 años de Operación, se determina que la cantidad camiones el cual varía cada año llegando a un máximo de 22 camiones 777G, como se puede observar en la figura 3.9

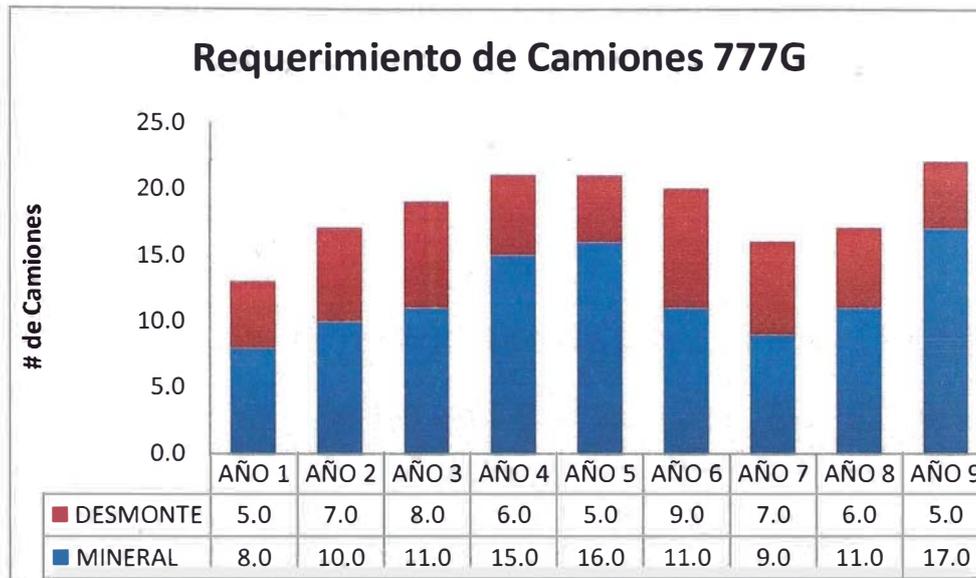


Figura 3.9. Requerimiento de camiones 777G en los 9 años de operación

Calculando el número de camiones durante los 9 años de Operación, se determina que la cantidad camiones, el cual varía cada año llegando a un máximo de 16 camiones 785D, como se puede observar en la figura 3.10.

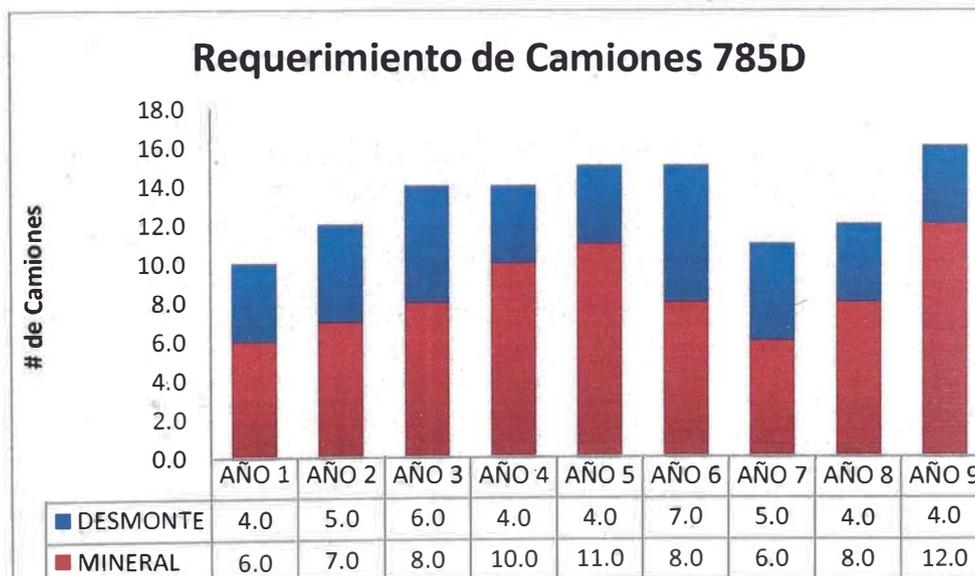


Figura 3.10. Requerimiento de camiones 785D en los 9 años de operación

- Calculando el cumplimiento se determina que habrá un 99% de cumplimiento en promedio al usar los camiones 777G y 106% de cumplimiento en promedio al usar los camiones 785D

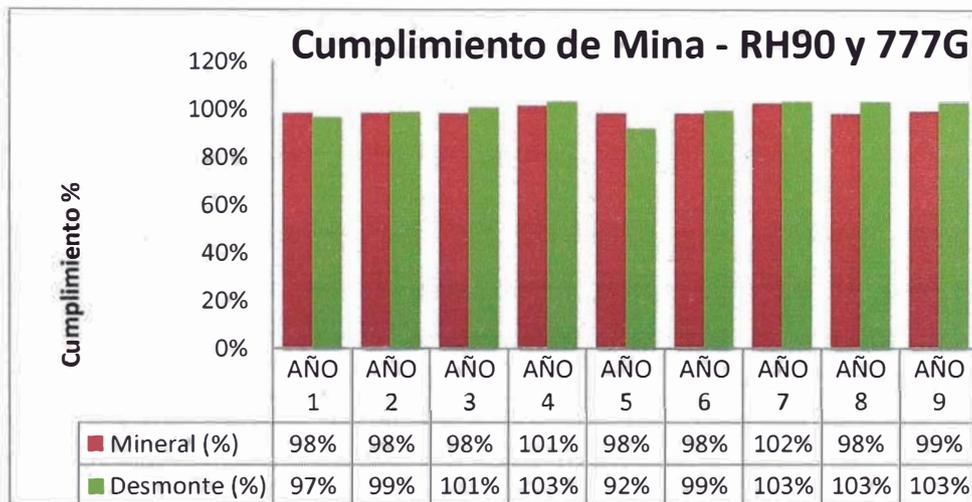


Figura 3.11. Cumplimiento de producción al usar los camiones 777G

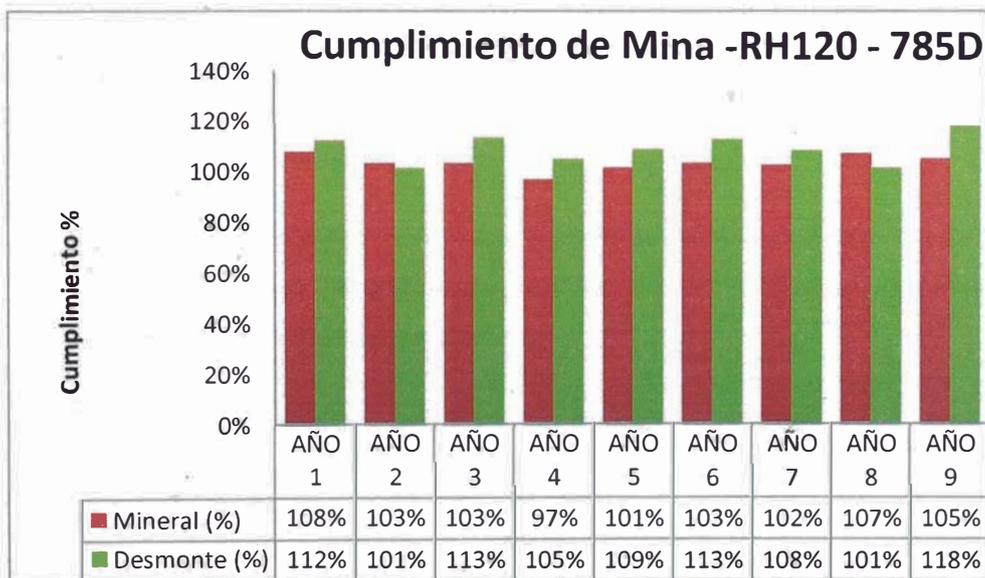


Figura 3.12. Cumplimiento de producción al usar los camiones 785D

CAPÍTULO IV

CÁLCULO DE COSTOS DE OPERACIÓN Y POSESIÓN

4.1 Cálculo de los costos de posesión

Según el manual de rendimiento de Caterpillar el costo de posesión incluye al costo de inversión más el costo de financiamiento.

Para calcular el costo de inversión se considera lo siguiente:

- **Valor de Rescate:** Se calcula mediante la siguiente fórmula recomendada por el área de contratos CSA de la empresa Ferreyros S.A el cual se determinó utilizando un muestreo en el mercado peruano.

$$\% \text{ de Rescate} = 66.429 * Tt^{-0.603}$$

$$\text{Valor de Rescate} = \% \text{ de Rescate} * Peq$$

Ttt : Tiempo total de trabajo (Horas totales)

Peq : Precio del Equipo (\$)

- **Costo Financiero:** Son los costos asociados a una operación de préstamo, que se encuentra definido por las entidades bancarias mediante la siguiente expresión.

$$\text{Costo Financiero} = Vt * Duracion - I_0$$

Donde el costo financiero está en función de los flujos de caja la duración y el valor de desembolso inicial.

$$I_0 = \text{Deuda a Financiar}(\%) * Peq$$

El valor de desembolso iniciales un porcentaje del precio del equipo.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{Vt}{(1 + TEM)^{t_M}} - I_0$$

El valor actual neto se determina a través de la ecuación anterior.

En la siguiente expresión se observa la relación en la "TA" y la "TM".

$$(1 + TEA)^{t_A} = (1 + TEM)^{t_M}$$

VAN : Valor Actual Neto (haremos que el van sea iguala 0)

Vt : Representa los flujos de caja en cada periodo *t*.

n : Es el número de períodos considerado

I₀ : Es el valor del desembolso inicial de la inversión

TEA : Tasa efectiva anual

TEM : Tasa efectiva mensual

t_A : Número de años

t_M : Número de meses

Consideraciones:

Cuadro 4.1. Valores para calcular el costo de posesión

777G		
Tiempo (Hrs totales)	26500	
Costo financiero:		
A	Deuda a Financiar (%)	50%
B	TEA (%)	12%
C	Duración (Años)	5

Fuente: Departamento de financiamiento de Ferreyros S.A

Considerando las formulas del valor de rescate y los datos asumidos en la figura 4.1. Se calculara el porcentaje y valor de rescate. El cual será de 14%.

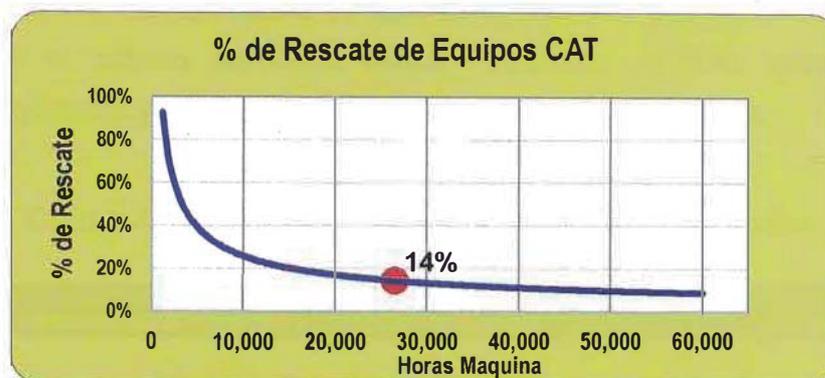


Figura 4.1 Variación del valor de rescate del 777G

Cuadro 4.2. Cálculo del costo de posesión del camión 777G

Costo de Posesión	777G
Inversión	Total
Inversión Inicial Equivalente (USD)	1,371,045.00
Inversión Residual Equivalente (USD)	195,971.16
Total Inversión (USD/h)	44.34
Costo Financiero (USD/h)	9.21
Costo de Posesión (USD/h)	53.55

Fuente: Departamento de contratos CSA de Ferreyros S.A

4.2 Cálculo de Costo de Operación

De acuerdo al manual de rendimiento Caterpillar los costos de operación son aquellos destinados a mantener un activo en su condición existente o a modificarlo para que vuelva a estar en condiciones apropiadas de trabajo, Manual de rendimiento de Caterpillar nos brindará las pautas para calcular los costos de Operación que está comprendido por los siguientes elementos.

4.2.1 Mantenimiento preventivo y atención en campo

Para poder determinar todos los costos del mantenimiento preventivo, se usara una base de datos, donde se registran los costos de mantenimiento ya sea para intervenir mantenimientos para el cambio de filtros sellos, empaques, aceites, grasas, refrigerantes y análisis SOS, sin considerar la mano de obra.

Cuadro 4.3. Cálculo del costo por mantenimiento preventivo.

Mantenimiento preventivo y atención en campo	Total
Mantenimiento Preventivo sin fluidos (Filtros, sellos, empaquetaduras) (USD/h)	3.84
Fluidos (Aceites, grasas y refrigerantes) (USD/h)	4.89
SOS (Análisis de fluidos) (USD/h)	0.22
Mantenimiento preventivo y atención en campo (USD/h)	8.95

Fuente: Departamento de contratos CSA de Ferreyros S.A

4.2.2 Reparaciones

Al igual que el mantenimiento preventivo se usara una base de datos que involucra los mantenimientos totales (Overhaul), mantenimientos generales y eventuales no programados, a los que también no se les considerara la mano de obra.

Cuadro 4.4. Cálculo del costo de reparaciones 777G

Reparaciones	Total
Overhaul - Componentes Mayores	12.88
Overhaul - Componentes Media vida	1.18
Overhaul - Componentes Menores	3.41
Overhaul - Cilindros hidráulicos	1.63
Mantenimiento General	0.85
Reparaciones de chasis/tolvas/bulldozer/cucharón/varillajes	
Eventualidades (No programados)	5.56
Reparaciones (USD/h)	25.51

Fuente: Departamento de contratos CSA de Ferreyros S.A

4.2.3 Neumáticos

Los neumáticos son los elementos de desgaste de mayor costo en un camión minero, es por esto que en toda mina debe existir una cuadrilla de equipos que realicen el mantenimiento de la vía para evitar cortes y desgaste, así aumentar la vida útil del neumático.

Para nuestro cálculo de costos se considerara:

$$\text{Costo de neumáticos} : \frac{Nn * CU}{f}$$

Nn: Número de neumáticos

Cun: Costo unitario de los neumáticos

fc: Frecuencia de cambio

Cuadro 4.5. Cálculo del costo de los neumáticos 777G

Neumáticos	Total
Frecuencia	4,500.00
Costo Unitario	15,000.00
# de Neumáticos	6.00
Neumáticos (USD/h)	20.00

Fuente: Departamento de contratos CSA de Ferreyros S.A

4.2.4 Combustible

Caterpillar maneja ratios de consumo de combustible para cada uno de sus equipos, al revisar su manual observamos que en el rango medio alto habrá un consumo de combustible de 19.8 gal/h.

Cuadro 4.6. Ratios de consumo de combustible del camión 777G

Modelo	Bajo		Media		Alto	
	litros (L)	gal EE.UU.	litros (L)	gal EE.UU.	litros (L)	gal EE.UU.
777D	37,5-56,3	9,9-14,9	56,3-75,0	14,9-19,8	75,0-93,8	19,8-24,8
777G	37,5-56,2	9,9-14,8	56,2-75,0	14,8-19,8	75,0-93,7	19,8-24,8

Fuente: Manual de rendimientos de Caterpillar

Cuadro 4.7. Cálculo del costo de consumo de combustible 777G

Combustible	Total
Consumo de Combustible (gal/h)	19.80
Costo de Combustible (USD/gal)	4.09
Combustible (USD/h)	80.90

Fuente: Departamento de contratos CSA de Ferreyros S.A

4.2.5 Operador

Es el costo de los operadores está en función a la experiencia y la calificación que se tenga.

$$\text{Costo de operación} = S_m * N_{Op} * F_s$$

S_m: Salario mensual

N_{Op}: Número de operadores

F_s: Factor de costo sobre el salario

Cuadro 4.8. Cálculo del costo del operador 777G

Operador	Total
Salario Mensual/Operador (USD/mes)	1,153.85
Operadores Requeridos/Máquina	3.00
Factor de costo sobre el salario	1.45
Operación/Mes (USD)	5,019.23
Horas Máquina Trabajadas (h/mes)	441.67
Operador (USD/h)	11.36

Fuente: Departamento de contratos CSA de Ferreyros S.A

4.2.6 Gestión de Equipos

Corresponde a todos los gastos producidos por el servicio de mantenimiento, como mano de obra y inspecciones realizadas por especialistas.

Cuadro 4.9. Costo de gestión de equipos 777G

Gestión de Equipos	Total
Servicio en campo (M.O para Mto Preventivo e Inspecciones)	5.11
Gestión de Equipos (USD/h)	5.11

Fuente: Departamento de contratos CSA de Ferreyros S.A

4.2.7 Mantenimiento no Programado

Se refiere a todas las actividades de mantenimiento que no se han programado.

Cuadro 4.10. Costo de mantenimiento no programado 777G

Mantenimiento no Programado	Total
Servicio en campo (R&I y atención de eventualidades no programados)	10.37
Mantenimiento no Programado (USD/h)	10.37

Fuente: Departamento de contratos CSA de Ferreyros S.A.

Sumando todos los costos relacionados a la operación se obtiene el costo total de operación para el camión 777G.

Costo Total de Operación (USD/h): 162.21

Para poder determinar el costo total de operación y posesión, basta sumar el costo total de posesión más el costo total de operación.

Cuadro 4.11. Costo Total de Operación y Posesión 777G

Costo Total de Posesión (USD/h)	53.55
Costo Total de Operación (USD/h)	162.21
Costo Total de Operación y Posesión (USD/h)	215.76

Fuente: Departamento de contratos CSA de Ferreyros S.A.

4.3 Cálculo del costo anual de la flota de equipos

Se realiza el siguiente cuadro 4.12 un resumen en donde nos muestra los costos totales de operación y posesión de las posibles alternativas de solución es decir las Palas RH90-C y RH120-E así como también de los camiones 777G y 785D.

Cuadro 4.12. Costo Total de Operación y Posesión

	Camión 777G	Pala RH90-C	Camión 785D	Pala RH120-E
Costo de Posesión (USD/h)	53.55	102.3	77.5	127.8
Costo de Operación (USD/h)	162.21	309.7	234.6	387.0
Costo Total de Operación y Posesión (USD/h)	215.76	411.98	312.08	514.77

Fuente: Departamento de contratos CSA de Ferreyros S.A

CAPÍTULO V

ANÁLISIS DE SELECCIÓN DE LOS EQUIPOS

5.1 Cálculo de los costos anual de la flota de equipos

Para poder determinar el costo anual de la flota de equipos primero se necesita conocer el costo unitario, para esto usaremos la siguiente relación según el manual de rendimiento de Caterpillar.

$$\text{Costo Unitario } \left(\frac{\$}{\text{ton}} \right) = \frac{\text{Costo total de Operación y Posesión } \left(\frac{\$}{\text{h}} \right)}{\text{Producción } \left(\frac{\text{Ton}}{\text{h}} \right)}$$

El costo unitario multiplicado por la cantidad de material a mover se obtendrá como resultado el costo total de la producción de carguío y acarreo. Realizando este cálculo para el primer año como se muestra en el cuadro 5.1.

Cuadro 5.1. El costo de producción para el primer año.

	Primer año			
	Camión 777G	Pala RH90-C	Camión 785D	Pala RH120-E
Costo Total de Operación y Posesión (USD/h)	215.76	411.99	312.08	514.77
Producción por equipo (TM/h)	325.07	1624.70	471.94	1887.74
Costo Unitario (USD/TM)	0.66	0.25	0.66	0.27
Total de material a extraer (TM)	13320000	13320000	13320000	13320000
Costo por Proceso de Producción (USD)	8840808	3377652	8808209	3632248
Costo Total de Producción (USD)	12218461.2		12440458.1	

Fuente: Departamento de contratos CSA de Ferreyros S.A

- Calculando los costos para los 9 años de operación, se estima que usar camiones 785D aumenta los costos de producción en \$ 5.01 millones en comparación a usar camiones 777G, con \$ 2.15 millones para la explotación del mineral y con \$ 2.86 millones para la explotación del

desmante. El detalle de los costos de operación de carguío y acarreo por cada año, se muestra en el siguiente cuadro 5.2

Cuadro 5.2. El costo de producción para los 9 años.

AÑO	777G + RH90 - C ME		785C + RH120 - E ME	
	COSTO MINERAL	COSTO DESMONTE	COSTO MINERAL	COSTO DESMONTE
AÑO 1	17,249,151	12,218,461	17,564,416	12,440,458
AÑO 2	20,730,219	15,412,289	20,747,206	16,239,875
AÑO 3	22,541,194	16,828,440	23,145,871	16,707,615
AÑO 4	28,540,984	13,112,459	29,806,079	13,313,473
AÑO 5	31,173,424	12,829,384	30,893,534	12,862,169
AÑO 6	22,541,194	18,755,244	23,145,871	18,968,874
AÑO 7	18,248,346	14,770,111	18,513,844	15,203,288
AÑO 8	22,541,194	13,112,459	22,347,737	13,797,599
AÑO 9	32,608,256	11,489,001	32,166,133	11,857,312
TOTAL (\$)	216,173,964	128,527,849	218,330,690	131,390,663
PRODUCTIVIDAD (\$/Ton)	1.80	1.07	1.82	1.10

Fuente: Software Tallpac y departamento de contratos CSA de Ferreyros.

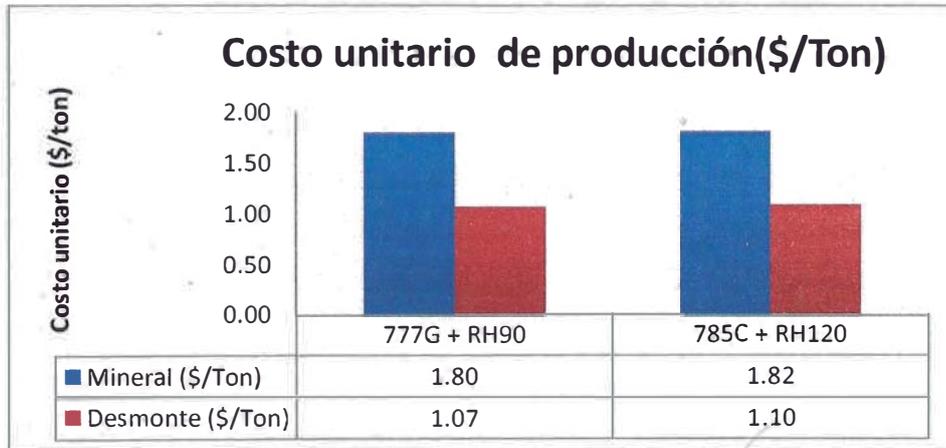


Figura 5.1. Costos unitario de producción para los 9 años.

En la figura 5.1 se puede apreciar los costos unitarios tanto para el mineral como para el desmante. En el cual se puede apreciar que tanto para el mineral como para el desmante la flota de camiones 777G y la Pala RH90 genera un menor costo unitario.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones:

- Los rendimientos calculados de los equipos está en función a las condiciones internas y externas, estas condiciones están sujetas a la información proporcionada por la empresa Sulliden para el Proyecto Minero Shahuindo.
- Los costos de operación y posesión son todos los costos asociados a los equipos tanto por la adquisición como por el mantenimiento y la reparación, estos costos pueden variar a raíz del cambio de la localidad y el modelo, ya que los costos están afectados por muchos factores los cuales se detallada en el Capítulo IV.
- El comparativo entre alternativas de solución, se realiza en función del costo unitario del proceso de carguío y acarreo, ya que esta unidad está relacionada con la rentabilidad de la ejecución del Proyecto Minero Shahuindo
- De las posibles alternativas de solución que cumplen con la demanda se recomienda la opción de utilizar la pala RH90 de capacidad de cucharón de 10 m³ y la flota de 13 camiones 777G con capacidad de tolva de 60 m³, ya que con esta alternativa se genera un menor costo unitario de carguío y acarreo tanto para el mineral y como para el desmonte.
Se estima que usar camiones 785D aumenta los costos de producción de carguío y acarreo en \$ 5.01 millones en comparación a usar camiones 777G, con \$ 2.15 millones para la explotación del mineral y con \$ 2.86 millones para la explotación del desmonte

6.2 Recomendaciones

- Dada que la cantidad de camiones mineros varía cada año durante la vida del proyecto, se recomienda comprar la flota mínima y trabajar subcontratar las temporadas con mayor movimiento.
- Se recomienda tener una buena fragmentación del terreno para mejorar los factores de llenado del cucharón de la pala cada vez que se realice la carga de los camiones.
- Para poder mantener los ciclos total de acarreo y retorno se recomienda hacer un mantenimiento constante de las vías, para de esta manera disminuir o mantener la resistencia a la rodadura.
- Se recomienda monitorear los tiempos de ciclo acarreo y retorno así como también los tiempos de ciclo de carga del camión, esto para verificar la cantidad de camiones que se debe colocar en la ruta.
- Para un mejor control de la flota de camiones, se debe contar con el historial de carga, así verificar que el camión está transportando como mínimo la carga objetivo, y que no esté sobrecargado el camión.

BIBLIOGRAFÍA

1. Caterpillar, 2013, Performance Hand book, Edición 42
2. D. Tadeus Golosnski, 2013, Criterios de Selección de Equipos de Carguío. Edición 01.
3. Ferreyros, 2014, Brochure (Disponible en <http://www.ferreyros.com.pe>)
4. Peter N. Calder, 2010, Tópicos de Ingeniería en minas a Tajo Abierto, Edición 03.
5. Sulliden, 2012, Reporte del proyecto (Disponible en <http://www.sulliden.com>)