

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA,
METALÚRGICO Y GEOGRÁFICA**

E.A.P DE INGENIERÍA DE MINAS

**Criterios de selección y reemplazamiento de equipo
para la construcción de accesos y plataformas en la
zona de san Antonio, provincia de Yauli-Junín**

TESIS

para optar el título profesional de Ingeniero de Minas

AUTOR

Juan Carlos Barreto Huamán

Lima – Perú

2008

Dedicatoria:

Mi tesis lo dedico a ti DIOS que me diste la oportunidad de vivir y de regalarme una familia maravillosa. Gracias a mi abuela, mi mamá, mis parientes y mis amigos por creer en mi y aquellos que no estuvieron conmigo porque me dieron fuerzas para demostrarles que la voluntad de DIOS se hace realidad cuando la decisión del ser humano es firme.

AGRADECIMIENTOS

Esta tesis para obtener la titulación, si bien ha requerido de esfuerzo y mucha dedicación por parte del autor y su asesor de tesis, no hubiese sido posible su finalización sin la cooperación desinteresada de las empresas CN S.A.C. y Minera Perú Copper S.A.

Primero y antes que nada, dar gracias a Dios, por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

Agradecer hoy y siempre a mi familia porque a pesar de estar casi siempre lejos de ellos físicamente, se que procuran mi bienestar, el ánimo, apoyo y alegría que me brindan me dan la fortaleza necesaria para seguir adelante.

De igual manera mi mas sincero agradecimiento al Ing. Enrique Toledo Garay, al Ing. Ángel Álvarez Ángulo “Jefe de Exploraciones del Proyecto Toromocho” a quienes le debo el realizar la tesis en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

CUADRO CONTENIDO

	PAG.
Dedicatoria	II
Agradecimiento	III
Resumen	IV
Introducción	VI
Fundamentación y formulación del problema	X
Objetivo General	XI
Objetivos Específicos	XI
Justificación	XII
Formulación de la hipótesis	XII
Identificación y clasificación de las variables	XIII
CAPITULO I: GENERALIDADES	
1.1 Ubicación y accesibilidad	19
1.2 Geología General	20
1.3 Geomorfología	20
1.4 Mineralización	20
1.5 Petrología	21
1.6 Topografía	22
1.7 Clima y vegetación	22
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	
2.1 Antecedentes de la investigación	23
2.2 Bases teóricas	24
2.2.1 Construcción de accesos y plataformas	25
2.2.2 Características físicas del material	25
2.2.3 Estimación del volumen para el afirmado de los accesos y plataformas	26
2.2.4 Tamaño del equipo a transportar	27
2.2.5 Diseño de la vía a compactar	28

2.3 Glosario	32
CAPITULO III SELECCIÓN DE EQUIPOS DE CARGA Y ACARREO	
3.1 Determinación del ciclo total de las unidades de acarreo	34
3.2 Criterio de Selección	36
3.2.1 Ingeniería Inversa	36
3.2.2 Resistencia Total del equipo	43
3.3 Programación del número de unidades	46
3.4 Optimización del número de unidades de equipos de acarreo y carguío	49
3.4.1 Determinación del punto óptimo para incrementar un equipo de acarreo en al construcción de accesos y plataformas	49
3.4.2 Valorización óptima estimada para realizar accesos y plataformas	50
CAPITULO IV: EVALUACION ECONOMICA PARA TOMA DE DECISIONES EN LA ADQUISICIÓN DE EQUIPO DE ACARREO Y CARGUIO, O LA ALTERNATIVA DE ALQUILER.	
4.1 Evaluación de la alternativa de adquisición de seis volquetes y dos palas.	51
4.2 Evaluación de la alternativa de alquiler de seis volquetes y dos palas.	52
4.3 Toma de decisiones de la opción alquiler y/o compra de seis camiones y dos palas	54
CAPITULO V: REEMPLAZAMIENTO DE MAQUINARIA	
5.1 Aspectos Generales	56
5.2 Causas y factores de reemplazamiento.	57
5.2.1 Causas.	57
5.2.2 Factores.	59
5.2.2.1 Factores internos	59

5.2.2.2 Factores externos	60
5.3 Modelos de reemplazamiento.	61
5.4 Estimación del valor residual del equipo.	62
5.5 Costo de propiedad de un equipo de acarreo	64
5.6 Costo de operación de un equipo de acarreo.	65
5.7 Vida optima de un equipo de acarreo.	67

CAPITULO VI: ANALISIS DE SENSIBILIDAD.

6.1 Análisis de sensibilidad del costo de producción.	70
6.1.1 Influencia de la variación del costo de operación.	70
6.2 Análisis de sensibilidad en el medio ambiente donde se va a construir los accesos y plataformas de perforación.	72
6.2.1 Programa de remediación	73
6.2.2 Impactos negativos	74
6.2.3 Impactos positivos	74

CAPITULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones	75
7.2 Recomendaciones	77
Bibliografía	79
Anexos	81

TABLA DE FIGURAS

1.- Figura 01: Trazo del acceso para perforación	29
2.- Figura 02: Trazo de la plataforma de perforación	30
3.- Figura 03: Forma de compactación de una vía o acceso	30
4.- Figura 04: Diseño de una curva para equipos	31
5.- Figura 05: Curva de rimpull y eficiencia teórica del camión 1	37
6.- Figura 06: Curva de rimpull y eficiencia teórica del camión 2	37
7.- Figura 07: Curva de potencia realizada a diferentes velocidades del camión 1	40
8.- Figura 08: Curva de potencia realizada a diferentes velocidades del camión 2	40
9.- Figura 09: Curva de eficiencia del camión1 realizado a diferentes velocidades	41
10.- Figura 10: Curva de eficiencia del camión2 realizado a diferentes velocidades	42
11.- Figura 11: Fricción Interna	44
12.- Figura 12: Resistencia a la penetración de la llanta	44
13.- Figura 13: Evolución del valor residual de un volquete	64
14.- Figura 14: Evolución de las curvas de costos de un equipo de acarreo	69
15.- Figura 15: Evolución de las curvas del costo de producción variando el costo de operación	72
16.- Figura 16: Trabajos de remediación en la zona de Tunshuruco	73
17.- Figura 17: Plataforma en fase final de remediación	74

TABLA DE CUADROS

1.- Cuadro 01: Características geométricas fundamentales de los equipos	28
2.- Cuadro 02: Datos de la curva de rimpull y velocidad del camión 1	38
3.- Cuadro 03: Datos de la curva de rimpull y velocidad del camión 2	39
4.- Cuadro 04: Resistencia a la rodadura para diferentes tipos de vías	45
5.- Cuadro 05: Parámetros de cálculo de la resistencia a la rodadura y la resistencia total de los camiones.	45
6.- Cuadro 06: Resistencia total de los camiones	46
7.- Cuadro 07: Cuadro de valorización óptima estimada	50
8.- Cuadro 08: Costos de adquisición y costos operativos en la compra de 6 volquetes y 2 palas.	51
9.- Cuadro 09: Costos de adquisición y costos operativos en el alquiler de 6 volquetes y 2 palas.	53
10.- Cuadro 10: Resumen de la opción alquiler y/o compra.	54
11.- Cuadro 11: Resumen de costos parciales de operación	66
12.- Cuadro 12: Costos de operación, propiedad y costo total del camión.	68
13.- Cuadro 13: Influencia de la variación del costo de operación sobre el costo de producción.	71

RESUMEN

El presente trabajo es el resultado de 12 meses de investigación minera en el tema de selección y reemplazamiento de equipo minero en la zona específica de Tunshuruco del distrito de Yauli, provincia de Yauli tiene como fin mantener y/o Incrementar el nivel de exploración, en consecuencia reducir el costo de operación.

A través del presente trabajo se busca dar a conocer los criterios adecuados para la selección óptima y el reemplazamiento oportuno de los equipos de carga y acarreo. Asimismo se realiza un análisis de los factores que influyen sobre estos a fin de obtener la información necesaria que permita el ahorro de tiempo y reducir los costos.

Se parte de un estudio preliminar de las condiciones actuales de exploración y luego se calcula el equipo apropiado a fin de cubrir los requerimientos del avance de perforación. En los modelos de reemplazamiento de la maquinaria se ha tenido en cuenta el historial de los equipos y para su selección se ha considerado las condiciones reales del lugar de trabajo. Una vez elegido la política de reemplazo más óptimo, así como el tamaño de la maquinaria a utilizar, se busca el mínimo costo de operación.

Para la toma de decisiones de opción de compra y/o alquiler de equipos para los trabajos de construcción de accesos y plataformas se consideran factores como años de operación, costo de alquiler, valor de adquisición, la tasa de interés, etc. El ahorro económico por una de las alternativas de compra y/o alquiler de los equipos será decisión de la Empresa.

La influencia del costo de producción sustitución del equipo es una variable sensible para prolongar o acortar el tiempo de sustitución del equipo. Si se incrementa en un 15% anual, la sustitución del equipo se acortara hasta el

año 10, caso contrario ocurre cuando disminuye en un 15% anual, la sustitución del equipo se prolongará hasta el año 12.

La sensibilidad con la comunidad en la construcción de accesos y plataformas en el tema ambiental es de gran importancia en la etapa de exploración ya que una paralización por la comunidad nos genera una pérdida que asciende a 1200US\$/día por máquina diamantina, 240US\$/día por equipo de acarreo y 360US\$/día por equipo de carguío; para evitar esta pérdida se realiza un programa de remediación en el área afectada.

INTRODUCCION

El presente trabajo de investigación en la mina TUNSHURUCO y en Minería Superficial, tiene como fin establecer modelos para seleccionar y reemplazar oportunamente los equipos para mantener e Incrementar la producción. En consecuencia reducir el costo de operación.

La industria minera por la naturaleza de los trabajos, requiere de equipos capaces de trabajar en forma continua durante el ciclo de su vida económica. Con el transcurso del tiempo y uso, además de soportar grandes esfuerzos y de realizar trabajos bajo condiciones severas y adversas, sufren un desgaste prematuro en algunos de sus componentes para cumplir con la demanda de la producción. Considerando que la inoperancia de los equipos siempre genera baja producción para evitar la disminución de la disponibilidad del equipo, se debe realizar una selección con parámetros específicos de las reales condiciones de trabajo.

La gran variedad de maquinaria pesada existente en el mercado, no es una limitante para la selección de maquinarias en un determinado trabajo, según las condiciones requeridas. El especialista realiza el estudio y busca optimizar la operación.

El costo de las unidades puede llegar a millones de dólares para los de mayores tamaños. La adquisición de estas unidades requiere de una gran inversión, debido a esto, es importante planificar adecuadamente la obra y seleccionar el equipo requerido para no exceder los costos estimados. Las ineficiencias en la operación de estos camiones y las pérdidas de tiempo productivo pueden aumentar los costos, asociados a este equipo, debido al alto precio de los mismos.

Es importante conocer el tiempo requerido para que el camión sea cargado, tiempo de viaje cargado, tiempo de vaciado y tiempo de viaje vacío. Los tiempos de viaje, cargado y vacío, presentan gran variabilidad, debido a los factores de la vía, el operador, factores del camión y la distancia de recorrido. La descripción de los tiempos de viaje para camiones es una actividad que demanda mucho tiempo, debido a que hay que observar al camión en la vía, hay que recopilar datos de tiempo de viaje y luego analizarlos para determinar que valores representan mejor las duraciones de estas actividades. Usualmente, estos tiempos de viaje son utilizados en modelos de simulación para el análisis de las operaciones. La precisión de los estudios obtenidos de estos análisis, depende mayormente de los tiempos de viaje que han sido utilizados para alimentar el modelo. Los datos de entrada deben describir las características del equipo.

El presente tema de tesis, demuestra la metodología desarrollada para estimar las características fundamentales del equipo, utilizando la literatura comúnmente publicada por los fabricantes de equipo.

Una vez seleccionado los equipos para la construcción de accesos y plataformas, se desarrolla una evaluación económica de los equipos para tomar la decisión de compra o alquiler de equipos para la construcción de accesos y plataformas, siendo la opción de alquiler la mas ventajosa para la empresa debido al ahorro significativo en US\$.

El reemplazamiento de equipos, trata de casos en que la eficiencia disminuye con el tiempo de uso y que puede restablecerse hasta alcanzar un nivel igual a la inicial, mediante algún tipo de acción correctiva. Se determina los tiempos en los cuales dicha acción correctiva debe efectuarse para alcanzar una medida de efectividad. Entre las causas de reemplazamiento surge la necesidad o conveniencia de reemplazar un equipo que puede deberse a su deterioro físico, o cambios de necesidad que lo hagan inadecuado, o a adelantos tecnológicos incorporados a nuevos modelos,

frente a los cuales el equipo existente resulte en desventaja. Es cierto que no está bien definido el punto necesario u óptimo para reemplazar el equipo, pero está muy relacionado con el costo de operación.

Diversos factores de orden interno o externo afectan a las decisiones de reemplazo del equipo, dentro de ellas se mencionan; el capital disponible, factor de inercia, impuesto sobre el ingreso, inflación, ingeniería, finanzas, estandarización, costo de energía y ventilación, economía y los factores de análisis económico. El reemplazamiento de los equipos mineros se plantean como problemas de reemplazamiento y mantenimiento, ello puede considerarse como determinístico o probabilística (estocásticos), en minería la aplicación para el reemplazamiento de maquinaria es un problema determinístico.

Dentro de algunos modelos podemos mencionar: El Análisis de sensibilidad económica financiero por la vía del riesgo, compuesto por el costo de propiedad y el costo de operación; Modelo de programación dinámica, Modelo de programación estadística basado en la maximización de beneficios o la minimización de costos, modelos matemáticos basados en costos de reemplazamiento y de operación, etc.

El valor residual del equipo depende de dos variables fundamentales: el número de años de servicio y el número de horas totales trabajadas. Normalmente un equipo de acarreo en trabajo normal durante el primer año pierde entre el 20 y 25% de su valor inicial, considerando una depreciación media del 22% en el primer año implica que su valor residual al inicio del segundo año será del 78% de su precio de adquisición. El valor residual del volquete al final de 10 años de operación, con un promedio de 3000 horas de trabajo neto por un año, tiene un valor del 8% de su precio de adquisición.

El modelo aplicado para el reemplazamiento de maquinaria es el “Análisis de sensibilidad económica financiero por la vía del riesgo, compuesto por el costo de propiedad y el costo de operación; en el cual, en el año 11 el equipo tiene el costo más bajo, de modo que si se prolonga el tiempo de servicio del equipo, se puede incurrir en costos operativos crecientes en forma ascendente cada año. Por lo tanto, en este punto el costo de producción se hace mínimo y tiene un valor de 127.54US\$/hora, permitiendo plantear la reposición del equipo en condiciones favorables y ventajosas.

A medida que transcurre el tiempo de servicio, el equipo incrementa el descenso de la eficiencia de operación, aunque las medidas varían dependiendo de las condiciones de trabajo. Este descenso en la eficiencia operativa lleva a un descenso económico, unido a ello el desgaste por el uso del equipo y sus componentes, que obligan a ejecutar programas adecuados de mantenimiento y reparación de piezas dañadas lo que incrementa el costo de operación. Además, surge la necesidad de REEMPLAZAR el equipo en forma total o parcial, en un determinado tiempo de uso en el cual el costo de producción sea mínimo.

La ejecución de obras de ingeniería de cualquier campo, así como la construcción de accesos y plataformas que implique la utilización de equipos, requiere por parte del personal que dirige la operación. Además, de un perfecto conocimiento de la aplicabilidad y capacidad de rendimiento; requiere también, de un criterio real que permita decidir el REEMPLAZAMIENTO a tiempo de dichos equipos, cuando las condiciones de operación, mantenimiento y rentabilidad a niveles óptimos lo exija.

FUNDAMENTACIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Fundamentación del problema

Existe equipo instalado en la zona de Tunshuruco donde se observa la baja eficiencia y el incremento del costo de operación de los equipos de carga y acarreo para la construcción de accesos y plataformas, donde se observa los tiempos de espera de los equipos de acarreo y carguío y el tráfico de los camiones debido a una mala programación, también se tiene el incremento del costo de operación, las reparaciones continuas ocasionan baja eficiencia.

Formulación del problema

¿En qué medida las constantes paralizaciones de equipo de carga y acarreo en la construcción de accesos y plataformas para la exploración en el Proyecto Toromocho influyen en la eficiencia y el costo?

OBJETIVOS

OBJETIVOS GENERALES

- Reducir el costo de operación e incrementar la eficiencia de los equipos de carga y acarreo en la construcción de accesos y plataformas para la exploración en el Proyecto Toromocho.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar los ciclos de operatividad de los equipos de carga y acarreo en la construcción de accesos y plataformas.
- Reducir los tiempos de espera, realizando una buena programación de los equipos de carga y acarreo.
- Evaluar de manera práctica y teórica los equipos a seleccionarse en un mercado amplio de proveedores.
- Determinar el punto óptimo de reemplazo oportuno de los equipos.
- Realizar una simulación de la sensibilidad de los equipos en el costo de operación para el reemplazo oportuno de equipos.
- Evaluar y decidir sobre la compra y alquiler de equipos de carga y acarreo en la construcción de accesos y plataformas

JUSTIFICACION

El presente proyecto de tesis tiene como fin el contribuir a que las empresas cuenten con modelos para la selección y remplazamiento de equipos de tal manera logre operar continuamente, minimizando la pérdida de tiempo, el costo de operación y aumentando la eficiencia del equipo.

La justificación del proyecto de tesis es que una selección óptima del equipo nos permite mejorar la eficiencia de los equipos en la construcción de accesos y plataformas, y este tema está poco tratado en los diversos trabajos técnicos.

FORMULACION DE LA HIPOTESIS

Con la aplicación de la ingeniería inversa, determinando el rimpull y el modelo de análisis de sensibilidad económica financiero por la vía del riesgo, compuesto por el costo de propiedad y el costo de operación, bajo una buena programación de los equipos, lograremos reducir el costo de operación e incrementar la eficiencia de los equipos de acarreo y carguío.

IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LAS VARIABLES

Identificación de variables

El proyecto de tesis presenta las siguientes variables:

La programación, costos y la eficiencia de los equipos de carga y acarreo en la construcción de accesos y plataformas.

Clasificación de las variables

La variable programación, presenta los siguientes indicadores:

El tiempo de espera de acarreo.

El tiempo de espera de carguío

El tráfico de equipos de acarreo.

La variable costos, presenta los siguientes indicadores:

Incremento del costo de operación.

Pérdida económica para la empresa

La variable eficiencia, presenta los siguientes indicadores:

Las reparaciones continuas

Bajo nivel de avance.

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1 Ubicación y accesibilidad.

Tunshuruco se encuentra a más de 4,700 metros de altura, en el distrito de Morococha, provincia de Yauli, departamento de Junín, adyacente a la mina Morococha.

TUNSHURUCO cuenta con una posición geográfica privilegiada ya que la Carretera Central llega prácticamente hasta la zona de trabajo, cuenta con acceso al Ferrocarril Central, con disponibilidad de agua, energía eléctrica y en la zona existe mano de obra especializada en minería.

Así, las principales vías de acceso son:

- Partiendo del puerto del Callao, por una carretera asfaltada y afirmada de 150 Km.; igualmente se llega por ferrocarril siguiendo la misma ruta; y
- Desde la Oroya por 30 Km. de carretera afirmada.

Su cercanía a la Oroya es muy ventajosa, por la posibilidad de abastecimiento de insumos importantes, así como repuestos para los equipos.

1.2 Geología General.

Se trata de un yacimiento de tipo porfirítico (denominado así por presentar un elevado contenido de cobre esparcido en un área muy extensa). Por las características de esparcimiento de mineral (diseminación) se ha determinado que la forma apropiada de explotación debe ser a tajo abierto.

A la fecha, el proyecto Toromocho cuenta con un estudio de prefactibilidad. Según dicho estudio, Toromocho es un yacimiento de cobre, molibdeno y plata económicamente viable para su explotación.

Las reservas se calculan en mas de 1900 millones de toneladas de minerales probados, con 151 millones de toneladas adicionales inferidos.

1.3 Geomorfología.

El distrito de Morococha se encuentra en un área de relieve topográfico abrupto, tipo alpino, con elevaciones entre los 4400 y 5000 m.s.n.m. siendo la cumbre más alta de la zona el Yanashinga con 5480 m.s.n.m. Los valles son en "U", cuyos fondos están ocupados por lagunas escalonadas tales como las lagunas de Huacracocho y Huascacocho; estrías y depósitos morrénicos son evidencias de una fuerte glaciación ocurrida en la zona.

1.4 Mineralización.

La complejidad de la historia geológica del distrito y los diferentes tipos de rocas de diferente composición han dado lugar a la formación de una variedad de depósitos minerales que se extienden ampliamente en el distrito.

Después de la última etapa del plegamiento “Quechua”, y la formación de las fracturas de tensión, vino el periodo de mineralización ; soluciones residuales mineralizantes originadas probablemente de los stocks San Francisco y Gertrudis (Monzonita cuarcífera y pórfido cuarcífero), invadieron el distrito dando lugar a la formación de vetas, cuerpos de contacto, mantos y disseminaciones, sin embargo es necesario aclarar que sin descartar la existencia de mantos por reemplazamiento, se debe poner en tela de juicio el origen de algunos mantos emplazados en las calizas Pucará, congruentes con su estratificación, los cuales podrían ser vulcanogénicos.

1.5 Petrología.

En la actividad ígnea producida se tienen las andesitas y dacitas de las volcánicas catalinas son las rocas ígneas más antiguas. La diorita anticona es la roca más antigua en cuanto a las rocas intrusivas, es una roca de color verde oscuro a gris y textura porfirítica. Diques de monzonita cuarcífera atraviesan la diorita, lo que indica que la intrusión de la monzonita cuarcífera fue posterior a la intrusión de la diorita anticona.

La monzonita cuarcífera, está localizada en la parte central del distrito. La monzonita cuarcífera es de color gris claro, granular de grano grueso y grandes cristales de ortoclasa. En los apófisis presenta textura porfirítica.

El pórfido cuarcífero es la roca intrusiva mas reciente, consiste de fenocristales de cuarzo en una matriz afanítica de cuarzo, sericita y plagioclasas alteradas. El stock de pórfido cuarcífero es particularmente

importante por estar genéticamente mas relacionado con la mineralización de cobre que los otros intrusivos.

1.6 Topografía de la zona.

El área es netamente ambiente de cordillera alta con topografía abrupta y elevaciones entre 4500 y 4750 m.s.n.m. Hay nevados y lagunas que alimentan agua a las quebradas, que drenan hacia las zonas bajas donde crecen pastos para la ganadería.

1.7 Clima y vegetación.

El clima de la zona es en general frío durante todo el año, marcado por dos estaciones bien definidas, fuertes lluvias de noviembre a abril con precipitaciones de nevada y granizo, la temperatura varía de 3°C a 20°C y una más fría (-4°C a 14°C) de mayo a octubre con precipitaciones esporádicas. La velocidad promedio de los vientos es de 45 a 50Km/h.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

La industria minera por la naturaleza de los trabajos, requiere de equipos capaces de trabajar en forma continua durante el ciclo de su vida económica. Con el transcurso del tiempo y uso, además de soportar grandes esfuerzos y de realizar trabajos bajo condiciones severas y adversas, sufren un desgaste prematuro en algunos de sus componentes para cumplir con la demanda de la producción.

La gran variedad de maquinaria pesada existente en el mercado, no es una limitante para la selección de maquinarias en un determinado trabajo, según las condiciones requeridas.

Varias empresas mineras continúan operando con maquinaria que tienen un alto costo de operación y con beneficios muy bajos respecto a otra maquinaria, que puede ser la más adecuada para el tamaño de la operación.

Los grandes avances en nuevas tecnologías y el desarrollo de maquinaria pesada de mayor potencia y componentes modernos, permiten el movimiento de enormes cantidades de materiales, dando como resultado que las operaciones sean menos costosas y opten por estas alternativas.

2.2 Bases Teóricas

Es importante conocer el tiempo requerido para que el camión sea cargado, tiempo de viaje cargado, tiempo de vaciado y tiempo de viaje vacío. Los tiempos de viaje, cargado y vacío, presentan gran variabilidad, debido a los factores de la vía, el operador, factores del camión y la distancia de recorrido. La descripción de los tiempos de viaje para camiones es una actividad que demanda mucho tiempo, debido a que hay que observar al camión en la vía, hay que recopilar datos de tiempo de viaje y luego analizarlos para determinar que valores representan mejor las duraciones de estas actividades.

El reemplazamiento de equipos, trata de casos en que la eficiencia disminuye con el tiempo de uso y que puede restablecerse hasta alcanzar un nivel igual a la inicial, mediante algún tipo de acción correctiva, dentro de algunos modelos podemos mencionar el que se va a estudiar en el proyecto de tesis es el análisis de sensibilidad económica financiero por la vía del riesgo, compuesto por el costo de propiedad y el costo de operación.

El Factor de Acoplamiento nos permite determinar el número de unidades de equipos de carga y acarreo. Si el factor de acoplamiento es mayor que 1 hay déficit de camiones, si es menor que 1 superávit de camiones y si es igual que 1 ensamble es perfecto.

Para el reemplazamiento de equipo por lo general no está bien definido cuando se llega al punto óptimo para sustituir oportunamente la maquinaria, pero está muy relacionado con el incremento y descenso de la función de costo. De allí la importancia de toda empresa de tener la base de datos

reales de los archivos históricos de la maquinaria utilizada durante su ciclo de vida, lo cual muchas empresas carecen de esa información.

Entre las causas de reemplazamiento se debe a su deterioro físico, o a los cambios de necesidad, que lo hagan inadecuado; así como a los adelantos tecnológicos incorporados a nuevos modelos, frente a los cuales el equipo existente resulte obsoleto y de baja eficiencia, por lo que se hace necesario la renovación del equipo minero.

2.2.1 Construcción de accesos y plataformas

Para la construcción de accesos y plataformas se requiere conocer las características físicas del material a compactar, el volumen de material (fragmentos de roca), tamaño máximo del equipo que se va a transportar por el acceso y tener un diseño de la vía a compactar.

2.2.2 Características físicas del material.

El material presenta una gravedad específica de 2.5 con una dureza que es la resistencia ofrecida a la abrasión o al rayado en la escala de mohs es de 6 a 7 siendo la roca intrusiva con contenido de cuarzo y ortosa.

La exfoliación y fractura es el modo de separarse los cristales al aplicarles una fuerza (golpe o caída), diferenciándose en; exfoliación si se rompe en fragmentos con formas geométricas, y fractura (si aparece una superficie de forma irregular como concoidea o astillosa), el material a transportar para el afirmado de la vía es por fractura.

La tenacidad es la resistencia a ser roto, molido, doblado o desgarrado, el material es tenaz debido a que rompe solo por fractura.

2.2.3 Estimación del volumen para el afirmado de los accesos y plataformas.

En la estimación del volumen para el afirmado de los accesos y plataformas se determina el avance de volquete por metro en la zona de trabajo, dependiendo de la capacidad de cada volquete se tendrá el avance propio de cada volquete.

Los factores que influyen en la estimación del volumen para el afirmado de los accesos y plataformas.

- Factor de compactación.- Reducción de índices de vacíos, aumento de peso específico. Disminución de volumen de vacíos, asentamiento instantáneo.
- Factores que influyen en la compactación:- Contenido de humedad inicial, energía específica de compactación (Energía aplicada por unidad de volumen), tipo de suelo
- Material a compactar.- El tamaño del material a compactar mezclado con el tipo de suelo para la compactación de la vía es determinante para la viabilidad de la ruta.
- Equipo de compactación.- El equipo de compactación requerido en el trabajo es el tractor D6N.

La distancia 2.5m es el avance de cada volquete de 12m³ de capacidad como se muestra en el anexo 1.

2.2.4 Tamaño del equipo a transportar por la vía

Para la construcción de accesos y plataformas se debe conocer el máximo tamaño y giro de los equipos a transportarse por la vía.

Las características de los vehículos de diseño condicionan los distintos aspectos del dimensionamiento geométrico y estructural de una carretera.

Así, por ejemplo:

- El ancho del vehículo adoptado incide en el ancho del carril de las bermas y de los ramales.
- La distancia entre los ejes influyen en el ancho y los radios mínimos internos y externos de los carriles en los ramales.
- La relación de peso bruto total/potencia guarda relación con el valor de pendiente admisible e incide en la determinación de la necesidad de una vía adicional para subida y, para los efectos de la capacidad, en la equivalencia en vehículos ligeros.

Los vehículos ya sea ligero o pesado en sus catálogos se tienen parámetros geométricos que nos sirve para determinar el ancho del vehículo en curva. A continuación presentamos el cuadro de cálculo del ancho del vehículo en curva.

Cuadro N°01: Características geométricas fundamentales de los equipos

CARACTERISTICAS		VEHÍCULO DE PROYECTO				
		A	B	C	D	
DIMENSIONES EN CM.	Longitud total del vehículo	L	580	730	915	1525
	Distancia entre ejes extremos del vehículo	DE	335	450	610	1220
	Distancia entre ejes extremos del tractor	DET				397
	Distancia entre ejes del semiremolque	DES				762
	Vuelo delantero	Vd	92	100	122	122
	Vuelo trasero	Vt	153	180	183	183
	Distancias entre ejes tándem tractor	Tt				
	Distancias entre ejes tándem semiremolque	Ts				122
	Distancias entre ejes interiores tractor	Dt				397
	Dist. Entre ejes interiores tractor y semiremolque	Ds				701
	Ancho total del vehículo	A	214	244	259	259
	Entrevía del vehículo	EV	183	244	259	259
	Altura total del vehículo	Ht	167	214-412	214-412	214-412
	Altura de los ojos del conductor	Hc	114	114	114	114
	Altura de los faros delanteros	Hf	61	61	61	61
	Altura de los faros traseros	HI	61	61	61	61
Angulo de desviación del haz de luz de los faros	α	1°	1°	1°	1°	
Radio de giro mínimo (cm)	Rg	732	1040	1281	1220	
Peso Total (Kg)	Vehículo vacío	Wv	2500	4000	7000	11000
	Vehículo cargado	Wc	5000	10000	17000	25000
Relación Peso/Potencia (Kg/Hp)	Wc/Wp	45	90	120	180	

CALCULO DEL ANCHO DEL VEHÍCULO EN CURVA					
Párametros de cálculo	EV+Rg	915	1284	1540	1479
Párametros de cálculo	$Rg^2 - DE^2$	423599	879100	1268861	0
Distancia entre huellas externas	U	264.2	346.4	413.6	1479.0
Desplazamiento de la huella	d	81.2	102.4	154.6	1220.0
Párametros de cálculo	$Rg^2 + Vd(2DE+Vd)$	605928.0	118160 0.0	1804685.0	1800964.0
Párametros de cálculo	R1	778.4	1087.0	1343.4	1342.0
Párametros de cálculo	Fb	15.5	0	0	0
Párametros de cálculo	Fa	61.9	47.0	62.4	122.0
Ancho del vehículo en curva será		3.4	3.9	4.76	16.0

Fuente: Manual de proyecto geométrico de carreteras Pág. 42-45

2.2.5 Diseño de la vía a compactar

Se analiza la vía a compactar para proceder de la manera eficiente en el caso mas crítico se presenta en terreno con capa de cultivo cuyo espesor llega hasta 10m; el procedimiento a seguir es lo siguiente:

- Se traza el acceso que llega al punto de perforación por la cual el equipo va a transitar.
- Cortar una capa de 30 a 50cm, en algunas ocasiones el equipo a realizar dicha actividad por su propio peso aumenta el corte.
- Luego compactar una capa con fragmentos de roca grande según requiera la vía.
- Se continua compactando con fragmentos de menos tamaño y finalmente se cubre con una pequeña capa de material granulado a fino para evitar el desgaste de las ruedas de de los vehículos a transitar y cubrir los vacíos.
- Una vez culminado de compactar la vía y los trabajos técnicos se procede a su respectiva remediación lo cual se indica en el capitulo pagina

A continuación se presenta el dibujo 1 de la vía una vez terminado de compactarse.

Figura 1.- Trazo del acceso para perforación



Figura 2.- Trazo de la plataforma de perforación



Figura 3.- Forma de compactación de una vía o acceso

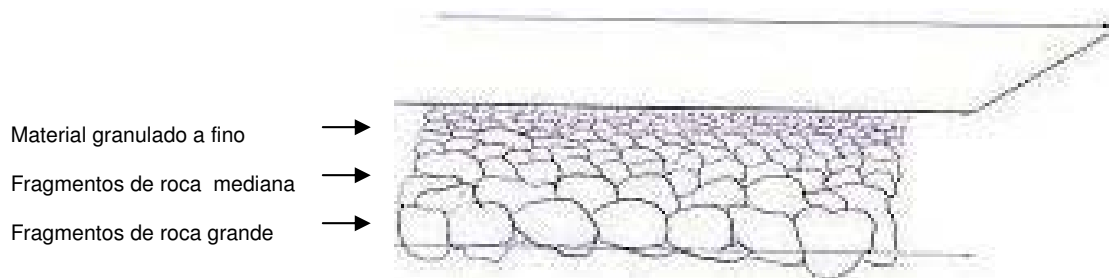
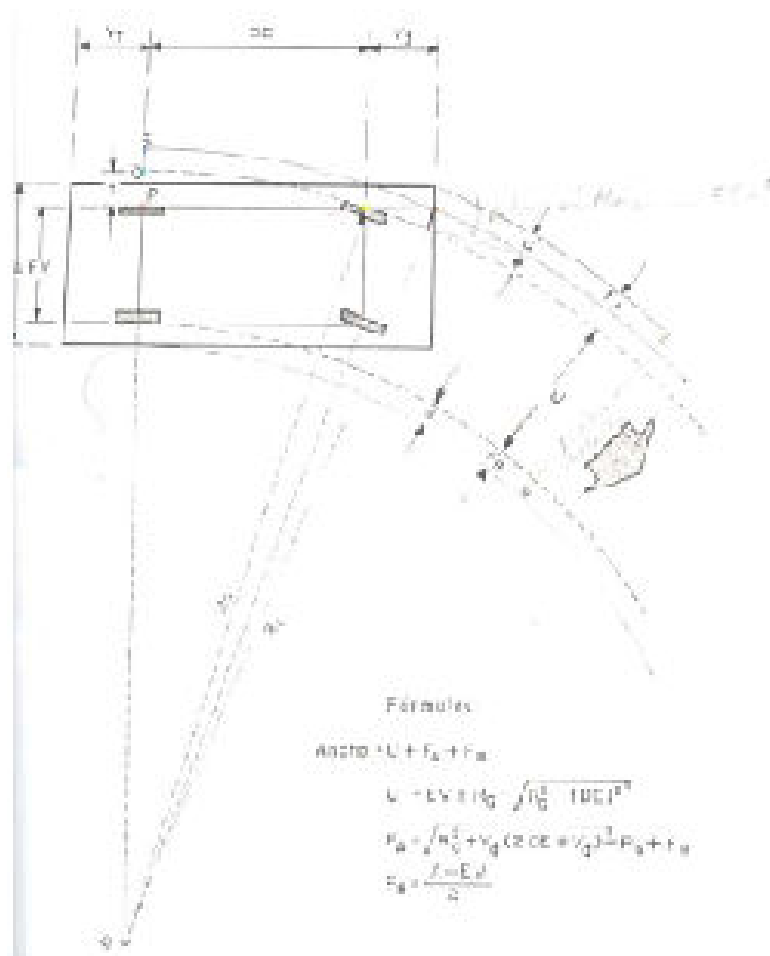


Figura 04: Diseño de una curva para equipos



Fuente: Manual de proyecto geométrico de carreteras Pág. 44

2.3 Glosario

Optimizar: Realizar la actividad a menor costo y de manera eficiente.

Adquisición: Es la compra de equipos

Valor residual: Es el desgaste de los equipos en el tiempo de uso.

Modelo: Data que nos permite procesar toda la información ingresado a la data.

Curvas de Rimpull: Es la figura donde se muestra el comportamiento del equipo en los diferentes cambios.

Factor de acoplamiento: Nos indica la pérdida del equipo de carga o acarreo o sino existiera pérdida.

CAPITULO III

SELECCIÓN DE EQUIPOS DE CARGA Y ACARREO

El proceso básico consiste en escoger el tipo apropiado de equipo y del tamaño y cantidad requerida, los factores que influyen en la selección de equipos son:

- Producción requerida.
- Distancia de recorrido.
- Espacio de operación.
- Disponibilidad.
- Costos de energía.
- Condiciones de clima.
- Tipo carga a transportar.
- Vida económica.
- Capital requerido.
- Propiedades físicas de la tierra.
- Resistencia a la rodadura por tipo de vía y gradiente de vía.

3.1 Determinación del ciclo total de las unidades de acarreo.

El ciclo total está formado por tiempos fijos y variables.

A Ciclo formado por tiempos fijos

El ciclo formado por tiempos fijos se mantiene constante desde el inicio de la operación hasta su culminación y son: el tiempo de cuadrar y cargar y el tiempo de voltear y vaciar.

- Tiempo de cuadrar y cargar.- Sucede cuando el equipo de acarreo llega a su punto de carguío siendo el tiempo que tarda en estacionarse el equipo de acarreo y el tiempo que tarda en cargar el equipo de carguío.
- Tiempo de voltear y vaciar.- Sucede cuando el equipo de acarreo llega a su punto de descarga siendo el tiempo que tarda en estacionarse el equipo de acarreo para la descarga y el tiempo que tarda en voltear la carga dicho equipo.

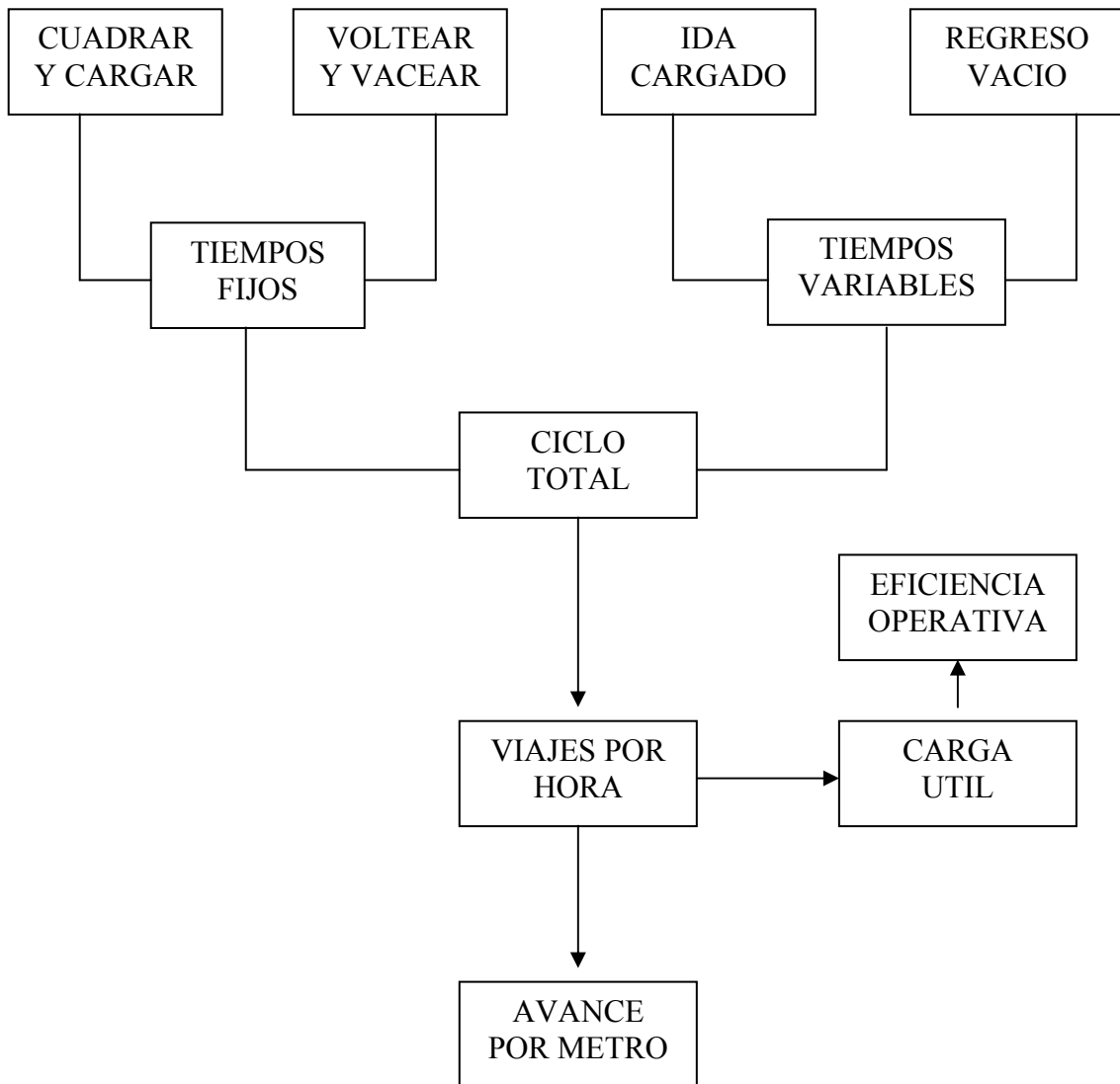
B Ciclo formado por tiempos variables

El ciclo formado por tiempos variables no se mantiene constante debido a que la distancia entre el punto de carguío y el punto de descarga se va incrementando hasta el final de la obra, los tiempos variables son: el tiempo de ida cargado y el tiempo de regreso vacío.

- Tiempo de ida cargado.- Es el tiempo de acarreo de la carga desde el punto de carguío hasta el punto de descarga, este tiempo varía en función a la distancia.

- Tiempo de regreso vacío.- Es el tiempo de acarreo de la carga desde el punto de descarga hasta el punto de carguío, este tiempo varía en función a la distancia.

Diagrama de flujo del ciclo total de Volquetes



La descripción de los tiempos de viaje es una actividad que consume mucho tiempo debido a que hay que observar el camión en la ruta, hay que recopilar datos de tiempo de viaje y luego analizarlos para determinar qué valores representan mejor las duraciones de estas actividades. Usualmente, estos tiempos de viaje son utilizados en modelos de simulación para el

análisis de las operaciones. La precisión de los resultados obtenidos de estos análisis depende grandemente de los tiempos de viaje que han sido utilizados para alimentar el modelo.

3.2 Criterio de Selección

El criterio que se aplica es la evaluación de los equipos de los proveedores y/o contrata determinando la eficiencia y reducción hidráulica de la maquinaria, así como el comportamiento de la maquinaria en la zona de trabajo.

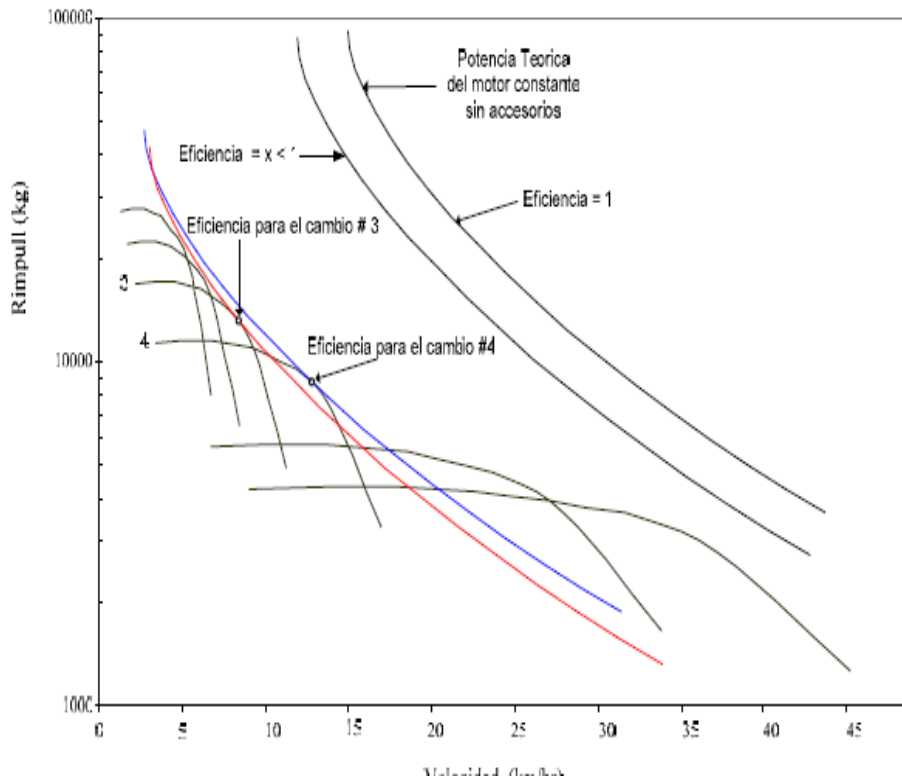
3.2.1 Ingeniería Inversa

Metodología para determinar las características fundamentales del equipo

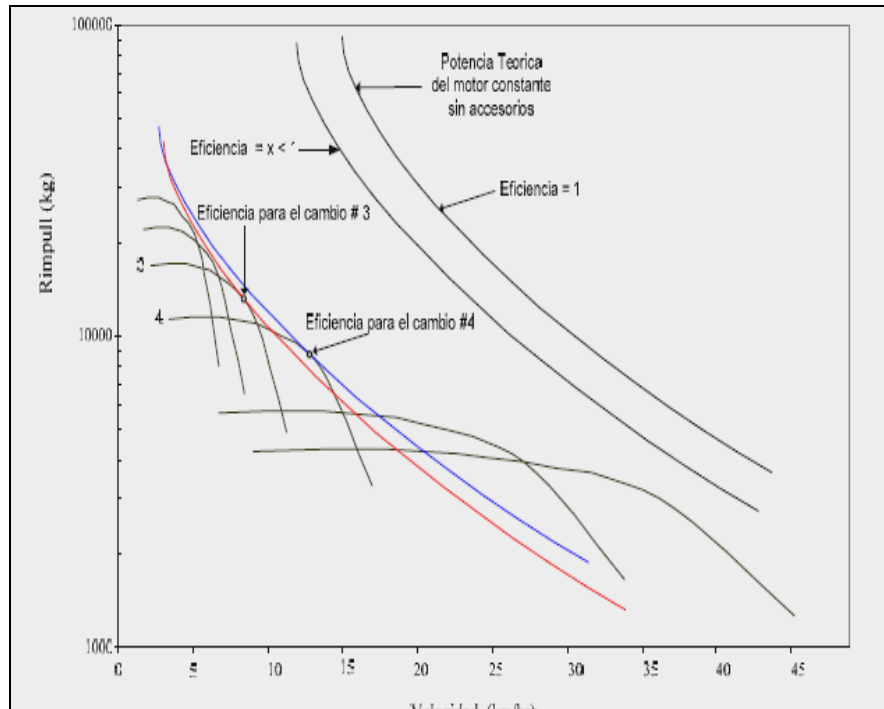
Los datos fundamentales necesarios como insumo para el modelo pueden ser medidos en el campo usando procedimientos mecánicos o en un laboratorio usando dinamómetros. Los fabricantes de equipo miden estos parámetros, pero no los publican y los utilizan para generar las curvas de rimpull, las cuales pueden ser ajustadas antes de ser publicadas. El no publicar los datos fundamentales se debe al alto nivel de competitividad de la industria. Los fabricantes buscan crear el equipo mas eficiente sin darles detalles a la competencia. Sin embargo estos parámetros se pueden estimar haciendo algunas presunciones y por medio de ingeniería inversa.

Típicamente, el fabricante especifica la potencia que un camión puede generar a cierto número de revoluciones por minuto (RPM). El fabricante también provee la potencia teórica del motor sin implementos. Un ejemplo de estas curvas se muestra en la figura 1. Los datos necesarios para calcular la eficiencia es la curva de rimpull, las revoluciones por minuto certificadas (rated RPM) y la potencia máxima a ese valor RPM, datos que usualmente publica el fabricante. El RPM es el valor al cual se obtiene la máxima potencia que el motor puede generar.

A continuación se analizan la curva de Rimpull de dos equipos.
 Figura 5: Curva de rimpull y eficiencia teórica del camión 1



Fuente: Rev. Int. de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil
 Figura 2 Curva de rimpull y eficiencia teórica del camión 2



Fuente: Rev. Int. de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil

En ambos casos la potencia que el camión puede generar es menor que el valor máximo que el motor puede generar siendo esta diferencia la eficiencia. Para calcular la eficiencia, la curva de potencia teórica puede ser multiplicada por un valor menor de 1, lo que disminuye el valor de potencia teórica y acerca ambas curvas.

La multiplicación por el factor menor de 1 se debe a pérdidas de potencia una vez que se añaden implementos al motor. La curva puede ser multiplicada por varios factores menores que 1 hasta que toque la curva de rimpull. Cuando esta curva toca la curva de rimpull, en un cambio en particular, es indicativo de que se ha encontrado valor de eficiencia para ese cambio.

Por ejemplo, la figura 1 ilustra la eficiencia para los cambios 3 y 4. En esos puntos, el camión está trabajando a máximo torque en el RPM correspondiente. El proceso se debe repetir en todos los cambios para así encontrar todas las eficiencias del camión.

A continuación presentamos un ejemplo de cómo se usa la metodología.

El primer paso es obtener datos de velocidad y rimpull directamente de las curvas rimpull que provee el fabricante para el cálculo de eficiencias.

Cuadro 02: Datos de las curvas de rimpull y velocidad del camión 1

Velocidad (Km/Hr)	Rimpull (Kg*1000)
2.00	24.320
2.92	19.350
4.10	15.950
5.14	13.380
6.83	11.830
8.38	10.200
8.79	7.756

Fuente: Rev. Int. de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil

Cuadro 03: Datos de las curvas de rimpull y velocidad del camión 2

Velocidad (Km/Hr)	Rimpull (Kg*1000)
2.00	24.000
2.70	18.950
4.05	15.020
5.00	12.980
6.50	11.420
8.20	10.050
8.60	7.240

Fuente: Rev. Int. de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil

Es importante mencionar que no se obtuvo datos en el área en la cual se utiliza el convertidor de torque. Esto es debido a que en esta área, las reducciones son hidráulicas y no mecánicas. Los valores de reducción hidráulicas son mayores que los valores de reducción mecánica, además de que cambian constantemente.

Una vez los datos de velocidad y rimpull han sido recopilados, se puede obtener la potencia que se está desarrollando a esa velocidad usando la siguiente fórmula:

$$\text{Potencia} = \text{Velocidad} * \text{Rimpull}$$

Reemplazando el valor de la velocidad al rimpull que realiza el camión 1 se tiene de la figura 1 la potencia que es:

$$\text{Potencia} = ((2) * (24.32 * 1000) * (9.8)) / (3.6 * 1000)$$

$$\text{Potencia} = 132.41 \text{Kw}$$

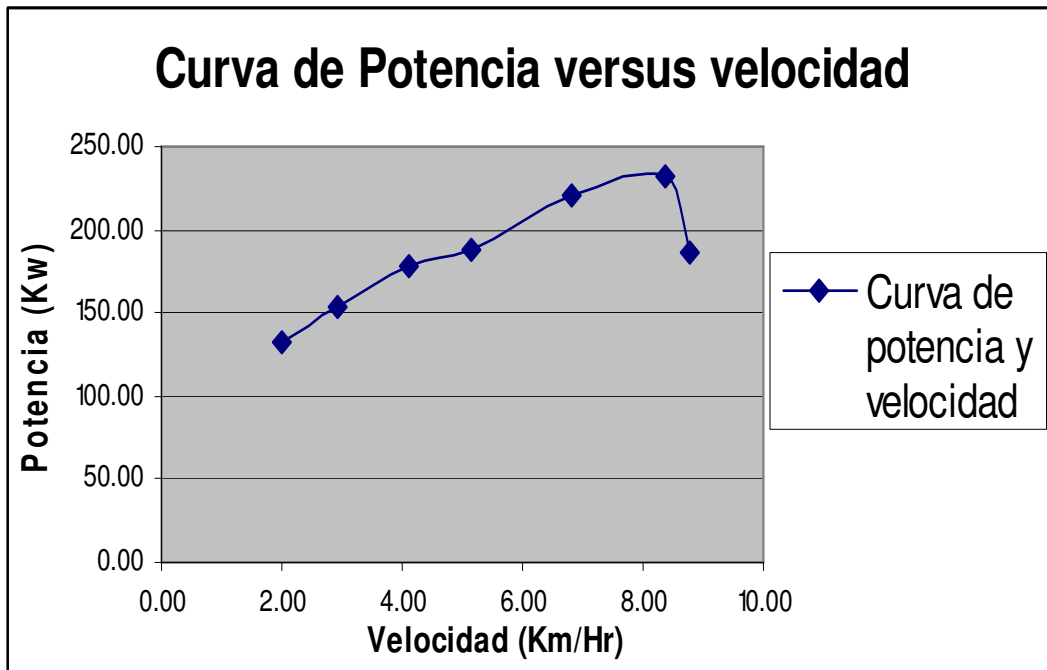
Reemplazando el valor de la velocidad al rimpull que realiza el camión 2 se tiene de la figura 2 la potencia que es:

$$\text{Potencia} = ((2) * (24.32 * 1000) * (9.8)) / (3.6 * 1000)$$

$$\text{Potencia} = 130.67 \text{Kw}$$

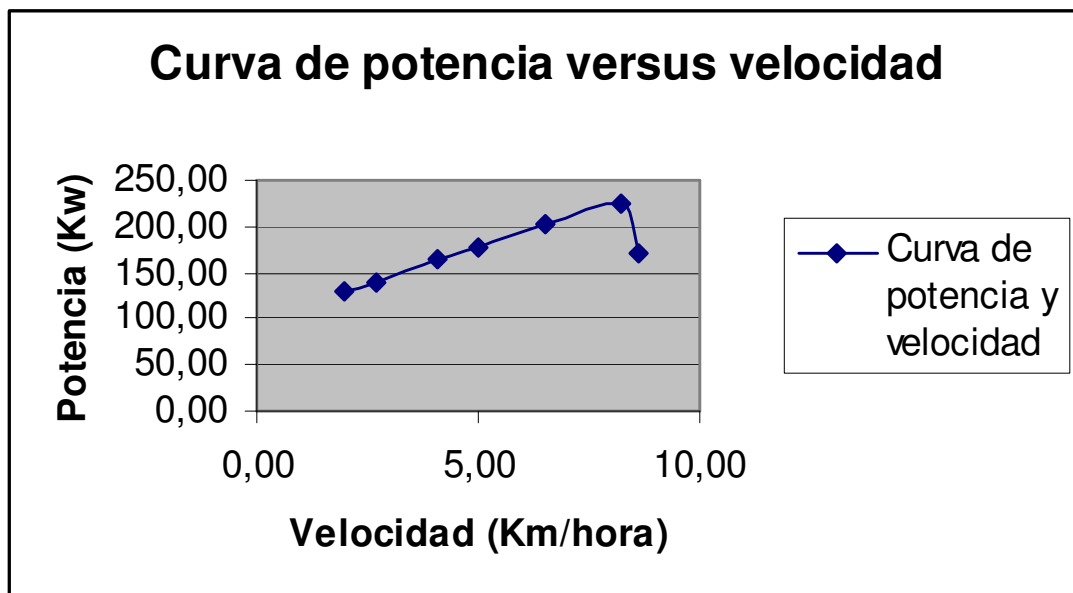
El 3.6 se utiliza para cambiar de km/hr a m/s, el 1000 para cambiar de kilogramos a gramos, el 9.8 para cambiar de gramos a Newtons y se divide por 1000 para cambiar de watts a kilowatts.

Figura 07: Curva de potencia realizado a diferentes velocidades del camión 1



Fuente: Rev. Int. de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil

Figura 08: Curva de potencia realizado a diferentes velocidades del camión 2



Fuente: Rev. Int. de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil

En el anexo 2, tabla 1 se calcula las potencias a diferentes velocidades y rimpull correspondiente que desarrolla el camión 1.

En el anexo 2, la tabla 2 se calcula las potencias a diferentes velocidades y rimpull correspondiente que desarrolla el camión 2.

Una vez se obtiene los valores de la potencia, se pueden calcular el valor de la eficiencia usando la potencia máxima que el motor puede generar y la potencia calculada. La ecuación es:

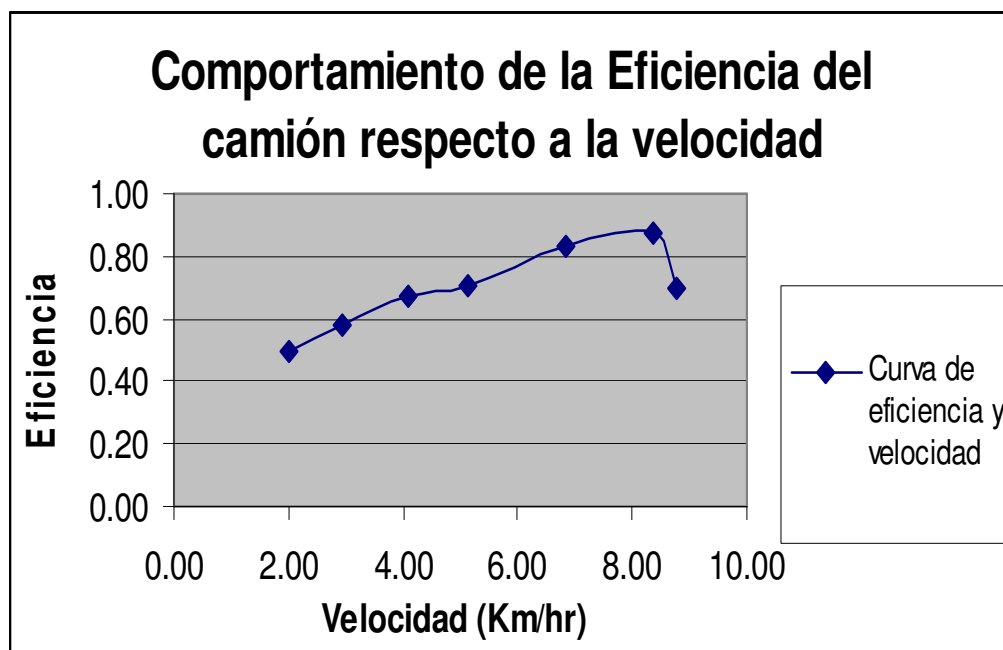
$$\text{Eficiencia} = (\text{Potencia a velocidad actual}) / (\text{Potencia máxima del motor})$$

Para el camión 1 especifica que la potencia máxima es de 265 Kw. Por lo tanto el valor de eficiencia para una velocidad actual es:

$$\text{Eficiencia} = (132.41 / 265.00)$$

$$\text{Eficiencia} = 0.50$$

Fig. 09: Curva de eficiencia del camión 1 realizando diferentes velocidades



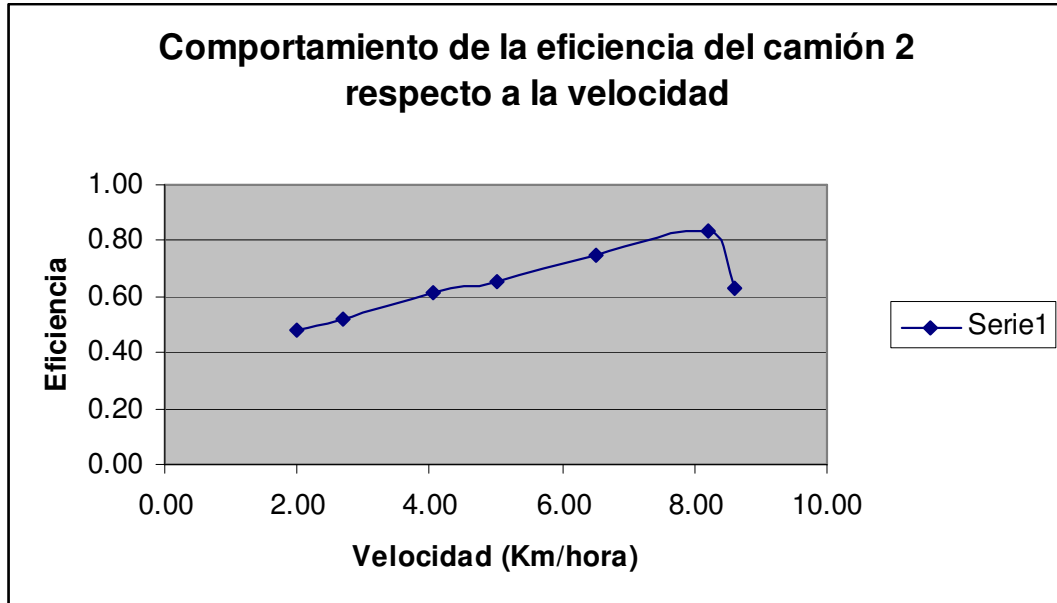
Fuente: Rev. Int. de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil

Para el camión 2 especifica que la potencia máxima es de 270 Kw. Por lo tanto el valor de eficiencia para una velocidad actual es:

$$\text{Eficiencia} = (130.67/270.00)$$

$$\text{Eficiencia} = 0.48$$

Fig. 10: Curva de eficiencia del camión 2 realizando diferentes velocidades.



Fuente: Rev. Int. de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil

El valor más alto obtenido de la eficiencia para el cambio 1 en el camión 1, es la eficiencia en este cambio siendo la eficiencia 0.88 a una velocidad de 8.38Km/hora y el valor más alto obtenido de la eficiencia para el cambio 1 en el camión 2, es también la eficiencia en este cambio siendo la eficiencia 0.83 a una velocidad de 8.20Km/hora.

El resto de valores de eficiencia menores a 0.88 y menores a 0.83 es debido a que a esas velocidades y con el correspondiente RPM puede ser que los camiones no estén trabajando a torque máximo.

En el anexo 2, tabla3 se muestra el cálculo de las diferentes eficiencias para el cambio 1 del camión 1.

En el anexo 2, tabla4 se muestra el cálculo de las diferentes eficiencias para el cambio 1 del camión 2.

Una vez calculado los valores de eficiencia, se toma la decisión por seleccionar el equipo más eficiente siendo el camión 1 con la más alta eficiencia de 0.88.

3.2.2 Resistencia total del equipo

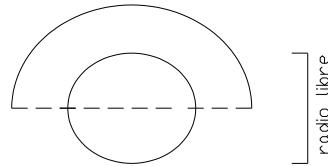
Resistencia a la rodadura por tipo de vía y gradiente de vía de los camiones.

Las fuerzas de resistencia para que se mueva el vehículo son las siguientes:

- Aire.- Vehículos fuera de carretera no se toma en cuenta el aire porque el vehículo se mueve a baja velocidad.
- Inercia.- La inercia no influye porque está considerado en la fabricación.
- Resistencia al rodamiento (RR).- En el rodamiento el elemento que actúa es el piso, desempeña doble función, es un medio para las fuerzas que impulsan al vehículo y es una fuente de resistencia al movimiento; el término RR (Resistencia a la rodadura) para indicar fuerzas que se oponen al avance se puede expresar en dos formas; una fuerza que proviene del diseño, es decir una fuerza interna de fricción y otra es la penetración de la llanta en el piso.

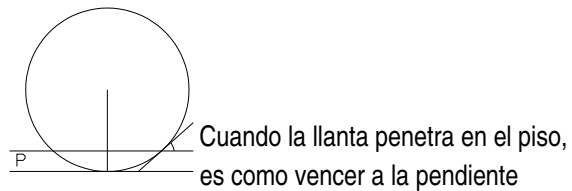
a.- Fricción interna (I_f).- Conforme un vehículo se mueve debe vencer una fuerza interna que los origina el rozamiento de las rodaduras de la chumaceras, y además de la deflexión de las paredes de la llanta.

Figura 11: Fricción interna



La llanta penetra en el piso, por ello se usa un equivalente de 20Kg/Ton o 40Lb/Ton por el peso del vehículo.

Figura 12: Resistencia a la penetración de la llanta



Cuando la llanta penetra en el piso, es como vencer a la pendiente

b.- Resistencia a la penetración de la llanta (R_p).- En el sistema métrico es 5.9Kg/Tn (0.59%Wr)/ 1cm de penetración y en unidades inglesas 30Lbs/Tn (11/2%Wr)/ 1 pulgada de penetración.

$$RR = I_f + R_p$$

RR cambia con el tiempo, en la práctica RR se estima para cada lugar.

Cuadro 04: Resistencia a la rodadura para diferentes tipos de vías.

VIA	%	UI (lb/Tc)	UM
Concreto	2	40	20
Afirmado	3-5	60-100	30-50
Esponjada	10-16	200-320	100-160

Fuente: Promoviendo un sector público energéticamente eficiente.

Los elementos que influyen en la penetración del piso son la cocada de la llanta, peso del vehículo, carga, tamaño de la llanta e inflación de la llanta.

La resistencia total viene a ser la suma algebraica de la resistencia a la rodadura con la resistencia a la pendiente.

- Resistencia a la pendiente (Rg).- Es la resistencia a la gravedad para movilizar el vehículo hacia arriba o abajo.

Gradiente favorable (-) ↘
 Gradiente adversa (+) ↗

$$\% \text{ Pendiente} = (\text{Altura}/\text{distancia que se recorre})$$

$$R_g = (W \times \% \text{gradiente})/100$$

Cuadro 05: Parámetros de cálculo de la resistencia a la rodadura y la resistencia total de los camiones.

Equipo	Camión 1	Camión 2
Peso del camión (Kg)	34000	34500
Peso de la carga (Tn)	30	30
Penetración de la llanta (cm)	2,54	2,96
Pendiente adversa (%)	8	8

Fuente: Promoviendo un sector público energéticamente eficiente.

En el sistema métrico (Kg/Tn)/1cm de penetración 5,9

En la siguiente tabla resumen se determina la resistencia a la rodadura y la resistencia total de ambos camiones, por lo cual el camión 1 resulta la más ventajosa a seleccionarse debido a que tiene menor resistencia a la rodadura de 177.33Kg respecto al camión 2.

Cuadro 06: Resistencia total de los camiones.

Equipo	If (Kg/Tn)	Rp (Kg/Tn)	W (Tn)	RR (Kg)	Rg (Kg)	RT (Kg)	RT (%)
Camión 1	20	15	64	2239,10	5120,00	7359,10	11,50
Camión 2	20	17	64,5	2416,43	5160,00	7576,43	11,75

Fuente: Elaboración propia en base a los parámetros de cálculo de la resistencia a la rodadura y la resistencia total de los camiones de la tabla 4.

3.3 Programación del número de unidades de equipo de carga y acarreo.

Para la optimización del número de unidades se va a desarrollar el método de los mínimos cuadrados.

a. Método de los mínimos cuadrados

Consiste en ajustar una recta de un conjunto de datos presentados como la distancia y el tiempo para la construcción de accesos y plataformas.

El tiempo (Y) es el ciclo de la construcción de accesos y plataformas en la cual presentamos a continuación.

En el anexo 3, tabla 1 se tiene la base de datos tomado en campo del ciclo del equipo de carga y acarreo.

En el anexo 3, Figura 1 se tiene la curva de la base de datos del ciclo total del equipo de carga y acarreo.

Como se observa el comportamiento de la curva distancia/ciclo del equipo de acarreo y carga se asemeja al de una recta, por lo tanto ajustamos a una recta por el método de los mínimos cuadrados.

\hat{Y} : Es el ciclo estimado.

X: Es la distancia de acarreo

El objetivo es determinar "a" y "b"

$$\hat{Y} = a + bX$$

$$\sum C_i^2 = \sum (Y^o - \hat{Y})^2$$

Y^o : Es el ciclo real

Reemplazando \hat{Y} tenemos:

$$\sum C_i^2 = \sum (Y^o - (a + bX))^2$$

La obtención de los valores de a y b que minimizan esta función es un problema que se puede resolver recurriendo a la derivación parcial de la función en términos de a y b: llamemos G a la función que se va a minimizar:

$$G = \sum (Y^o - a - bX)^2$$

Derivamos parcialmente la ecuación respecto de "a"

$$dG/da = 2\sum (Y^o - a - bX) (-1) = 0$$

$$\sum Y^o = na + b\sum X \quad \dots\dots \text{Primera ecuación normal}$$

Derivamos parcialmente la ecuación respecto de "b"

$$dG/db = 2\sum (Y^o - a - bX) (-X) = 0$$

$$\sum XY^o = a\sum X + b\sum X^2 \quad \dots\dots \text{Segunda ecuación normal}$$

Para determinar los valores de a y b, se tiene que determinar los valores de $\sum Y^o$, $\sum X$, $\sum XY^o$ y $\sum X^2$.

En el Anexo 3, tabla 2 se tiene los valores de $\sum Y^o$, $\sum X$, $\sum XY^o$ y $\sum X^2$ siendo:

$n = 20$ cantidad de muestras procesadas

$$\sum Y^o = 14.9833$$

$$\sum X = 60475$$

$$\sum X Y^o = 45307.1621$$

$$\sum X^2 = 182865437.50$$

Reemplazando en las dos ecuaciones normales tenemos:

$$n = 20$$

$$14.9833 = 20a + b60475 \quad \dots\dots (1)$$

$$45307.1621 = a60475 + b182865437.50 \quad \dots\dots (2)$$

Desarrollando las dos ecuaciones tenemos:

$$a = -0.20236729$$

$$b = 0.000314687$$

Por lo tanto

El ciclo estimado (\hat{Y}) es:

$$\hat{Y} = a + bX$$

$$\hat{Y} = -0.20236729 + 0.000314687X$$

En el Anexo 3, tabla 3 se encuentran los cálculos del ciclo estimado (\hat{Y}) para los tramos que faltan en la construcción de accesos y plataformas.

En el anexo 3, figura 2 se tiene la curva del ciclo estimado para los tramos que faltan en la construcción de accesos y plataformas.

3.4 Optimización del número de unidades de equipos de acarreo y carguío

En la construcción de accesos y plataformas se requiere de equipos de carga, acarreo y de compactación que permita obtener una vía accesible al menor costo y al menor tiempo con la condición de obtener la mínima pérdida por dichas maquinarias.

3.4.1 Determinación del punto óptimo para incrementar un equipo de acarreo en la construcción de accesos y plataformas.

El factor de acoplamiento entre los equipos de carga y acarreo que optimiza una operación es igual 1 de tal manera que ni el equipo de carga y acarreo tenga pérdida de tiempo (tiempo de espera), si existe tiempo de espera por algún equipo de carga y/o acarreo se determina la menor pérdida para el bien de la empresa.

Con los costos unitarios de los equipos de carga y acarreo y asumiendo una cantidad mínima y máxima de volquetes requeridos determinamos la pérdida en tiempo y dinero en cada unidad dividida en diez partes, para finalmente determinar el punto en el cual se debe incrementar un equipo de acarreo al menor tiempo y costo.

El costo unitario del cargador frontal es 45US\$/hora y del volquete 30US\$/hora ambos no incluyen IGV.

En el anexo 4, tabla 1 se tiene el cálculo del punto óptimo para el incremento del equipo de acarreo.

En el anexo 4, figura 1 se tiene la curva del punto óptimo del incremento del equipo de acarreo.

3.4.2 Valorización óptima estimada para realizar accesos y plataformas.

El factor de acoplamiento nos indica si tenemos déficit de volquetes o superávit de volquetes en ambos casos hay pérdida de tiempo, según el punto óptimo se toma la decisión de incrementar un volquete a la obra para lograr la menor pérdida económica.

En el Anexo 4, tabla 2 se tiene el cálculo del factor de acoplamiento y el número de volquete óptimo según el avance en la construcción de accesos y plataformas.

Cuadro 07: Cuadro de valorización óptima estimada

EQUIPO	NUMERO DE UNIDADES	HORAS DE TRABAJO	COSTO UNITARIO (US\$/HORA)	VALORIZACION SIN IGV (US\$)	IGV (US\$)	VALORIZACION CON IGV (US\$)
VOLQUETE (12m ³)	9	4,56	30	1230,13	233,73	1463,86
VOLQUETE (12m ³)	10	9,06	30	2717,59	516,34	3233,93
VOLQUETE (12m ³)	11	9,12	30	3008,62	571,64	3580,26
CARGADOR FRONTAL	1	22,73	45	1022,93	194,36	1217,28
TRACTOR ORUGA	1	22,73	49	1113,85	211,63	1325,49
VALORIZACION OPTIMA ESTIMADA (US\$)						10820,81

Fuente: Elaboración propia en base a la tabla 1 del anexo 3 de la base de datos del equipo de carga y acarreo.

El costo estimado para el afirmado de los accesos y plataformas para la exploración es de 10820.81 US\$.

CAPITULO IV

EVALUACIÓN ECONÓMICA PARA TOMA DE DECISIONES EN LA ADQUISICIÓN DE EQUIPOS DE ACARREO Y CARGUÍO, O LA ALTERNATIVA DE ALQUILER

4.1 Evaluación de la alternativa de Adquisición de 6 volquetes y 2 palas

En esta alternativa se desprende realizar una Evaluación de costos y gastos por la adquisición de estos equipos mediante un financiamiento tipo Leasing, las cuotas mensuales incluyen amortización de la deuda, intereses, y pago de IGV en un horizonte de 5 años (60 meses).

En el siguiente cuadro se detallan los costos de adquisición, y costos Operativos que incluyen combustible, lubricantes, mano de obra, mantenimiento y reposición de neumáticos, para el mismo periodo.

Tabla 7 Costos de adquisición y costos operativos en la compra de 6 volquetes y 2 palas.

ADQUISICIÓN VOLQUETE		ADQUISICIÓN PALA	
VALOR DEL BIEN	10920000	VALOR DEL BIEN	4200000
IGV 19%	2074800	IGV 19%	798000
PRECIO DEL BIEN	12994800	PRECIO DEL BIEN	4998000
TASA ANUAL LEASING	14%	TASA ANUAL LEASING	14%
CUOTA INICIAL 20%	2598960	CUOTA INICIAL 20%	999600
PLAZO (meses)	60	PLAZO (meses)	60
CUOTA MENSUAL		CUOTA MENSUAL	

AÑOS	PERIODOS						TOTAL
	0	1	2	3	4	5	
Adquisición							
Amortización	2598960.00	1258836.4400	1435073.55	1635983.84	1865021.58	2126124.59	10920000.00
Intereses		1022050.20	845813.10	644902.81	415865.07	154762.05	3083393.23
IGV	493802.40	433368.46	433368.46	433368.46	433368.46	433368.46	2660644.71
6 volquetes-Total	3092762.40	2714255.10	2714255.11	2714255.11	2714255.11	2714255.10	16664037.94
Amortización	999600.00	484167.86	551951.36	629224.55	717315.99	817740.24	4200000.00

Intereses		393096.23	325312.73	248039.54	159948.10	59523.87	1185920.47
IGV	189924.00	166680.18	166680.18	166680.18	166680.18	166680.18	1023324.89
2 palas-Total	1189524.00	1043944.27	1043944.27	1043944.27	1043944.27	1043944.29	6409245.36
Sub Total	4282286.40	3758199.37	3758199.38	3758199.38	3758199.38	3758199.39	23073283.30

Costos Operativos							
Consumo combustible	0.00	191980.80	191980.80	191980.80	191980.80	191980.80	959904.00
Mantenimiento	0.00	639748.80	639748.80	639748.80	639748.80	639748.80	3198744.00
Neumáticos	0.00	0.00	0.00	430557.12	0.00	0.00	430557.12
Mano de obra	0.00	146880.00	146880.00	146880.00	146880.00	146880.00	734400.00
Sub Total	0.00	978609.60	978609.60	1409166.72	978609.60	978609.60	5323605.12

Totales	4282286.40	4736808.97	4736808.98	5167366.10	4736808.98	4736808.99	28396888.42
---------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	-------------

Fuente: Aplicación de la simulación para la optimización del acarreo de mineral.

- La vida útil de un camión minero y de una pala eléctrica son 40000 horas para ambos (tabla 1).
- El valor residual del equipo al final de su vida útil se da entre 15 y 20%.
- La duración de los neumáticos es de 5000 horas o 80000 km. (se debe hacer el cambio aproximado al año y medio de uso).
- El costo de un neumático marca Michelin tipo 33.0R51 especificado para el camión de 120 toneladas es de US\$ 11959.92.
- Se necesitan 6 neumáticos por camión.
- Costo aproximado de lubricantes 10% del costo horario por consumo combustible (tabla 2).
- Costo de Mant/hora = (Precio de Adquisición – Precio de Neumáticos x Factor de Reparación*)/Horas de vida x 100 (tabla 3).

4.2 Evaluación de la alternativa de Alquiler de 6 volquetes y 2 palas

La opción correspondiente al alquiler de x volquetes y z palas, costos operativos (Combustible, mano de obra) para un periodo de n años.

Ambos resultados son comparados para obtener conclusiones que deben ser analizadas para una toma de decisiones que convengan más la empresa, tomando en consideración los siguientes aspectos:

- Los equipos mediante la opción alquiler pueden ser reemplazados por otros de mayor capacidad o tecnología según convenga por la cantidad de material que se va rpiar.
- Periodo de rpiado de los accesos y las plataformas de acuerdo al tiempo requerido.
- Vida útil de los equipos adquiridos dentro de la duración del periodo de rpiado.
- Capacidad de financiamiento de la empresa para cubrir los desembolsos iniciales (cuota inicial, gastos de comisión por Opción de Compra).

A continuación se muestra las dos alternativas; la opción compra y la opción alquiler evaluadas técnica y económicamente cuyo resultado influirá en la decisión de la empresa la opción a tomar.

Cuadro 09: Costos de adquisición y costos operativos en el alquiler de 6 volquetes y 2 palas.

ALQUILER VOLQUETE		ALQUILER PALA	
COSTO ALQUILER/HORA	152.6	COSTO ALQUILER/HORA	216.5
COSTO MENSUAL	27475	COSTO MENSUAL	38970
TOTAL UNIDADES	6	TOTAL UNIDADES	2

AÑOS	PERIODOS						TOTAL
	0	1	2	3	4	5	
Alquiler							
Pala (2)	0	935280	935280	935280	935280	935280	4676400
Volquetes (6)	0	1978214	1978214	1978214	1978214	1978214	9891072
Sub Total	0	2913494	2913494	2913494	2913494	2913494	14567472

Costos Operativos							
Consumo combustible	0	174528	174528	174528	174528	174528	872640
Mantenimiento	0	0	0	0	0	0	0
Neumáticos	0	0	0	0	0	0	0

Mano de obra	0	146880	146880	146880	146880	146880	734400
Sub Total	0	321408	321408	321408	321408	321408	1607040

Totales	0	3234902	3234902	3234902	3234902	3234902	16174512
---------	---	---------	---------	---------	---------	---------	-----------------

Fuente: Aplicación de la simulación para la optimización del acarreo de mineral.

- El costo de alquiler incluye los costos de lubricantes, neumáticos y mantenimiento.
- Turno operativo diario de 6 horas.
- El costo de alquiler incluye IGV.

4.3 Toma de decisión de la opción alquiler y/o compra de 6 camiones y 2 palas.

Luego de haber realizado la evaluación económica de las dos alternativas de la opción alquiler y/o compra se observa que la opción compra incluye los costos de mantenimiento y de neumáticos, en la opción alquiler no incluye debido a que los propietarios asumen dichos costos.

Cuadro 10: Resumen de la opción alquiler y/o compra

Descripción	Opción Compra	Opción Alquiler	Diferencia
Adquisición			
6 Volquetes-Total	16664037.94	9891072	6772965.94
2 Palas-Total	6409245.36	4676400	1732845.36
Sub Total US\$	23073283.30	14567472.00	8505811.30
Costos Operativos			
Consumo (Combustible, Lubricantes)	959904.00	872640	87264.00
Mantenimiento	3198744.00	0	3198744.00
Neumáticos	430557.12	0	430557.12
Mano de obra	734400.00	734400	0.00
Sub Total US\$	5323605.12	1607040.00	3716565.12
Totales US\$	28396888.42	16174512.00	1222376.42

Fuente: Aplicación de la simulación para la optimización del acarreo de mineral.

Se concluye entonces y debido también a las consideraciones anteriores que, la opción de Alquiler se muestra como la más ventajosa para la empresa debido al ahorro de 12222376.42 US\$.

CAPITULO V

REEMPLAZAMIENTO DE MAQUINARIA

5.1 Aspectos Generales

El reemplazamiento de los equipos mineros se plantean como problemas de reemplazamiento y mantenimiento, ello puede considerarse como determinístico o probabilística (estocásticos).

Los problemas determinísticos son aquellos donde el tiempo y la consecuencia de la acción de reemplazamiento se asume en forma precisa; por ejemplo, podemos tener equipo en lo cual no está propenso a fallas, pero cuyo costo de operación aumenta con el uso. Para reducir este costo el equipo puede ser reemplazado, después del reemplazamiento los costos de operación se tiende a conocerse.

Los problemas probabilísticas son aquellos en donde el tiempo y la consecuencia de la acción de reemplazo dependen de la ocasión o en forma casual (probable); en este caso el equipo es calificado como bueno o averiado (fallado). La ley de probabilidad que describe los cambios de bueno o fallado puede ser descrito por la distribución de tiempos entre la conclusión de la acción de reemplazo y averiado.

La determinación en las decisiones de reemplazo para equipos con fallas probabilísticas incide en la forma de decisión bajo la modalidad de incertidumbre principalmente; es imposible entonces predecir con certeza cuando ocurrirá la falla o más genéricamente cuando ocurrirá la transición desde un estado a otro en el equipo. Además a causa de la incertidumbre es imposible determinar el estado del equipo, como bueno, averiado o algunas

veces entre ellas, a no ser que se conozca el mantenimiento en programa definido, así como la inspección.

En los problemas probabilísticos se asume solo dos posibles condiciones del equipo, bueno y averiado y la condición siempre es conocido.

Para determinar en que momento se realiza el reemplazo, entonces estamos interesado en la secuencia de tiempos, para lo cual la acción de reemplazo tomará lugar; cualquier secuencia de tiempo en acción se considera como política de reemplazo, esto es, uno de los cuales maximizar o minimizar el criterio, tales como beneficios, costo total, pérdida de tiempo, etc.

En muchos de los modelos de problemas de reemplazamiento se asume, sin exagerar, que la acción de reemplazo lo retoma al equipo en estado nuevo; para así que continúe los mismos servicios del equipo reemplazado o mejor que ella. Por tomar este criterio estamos asumiendo varios costos del equipo, distribución de fallas, etc., usados en el análisis, son los mismos. La excepción de esta suposición serán los problemas donde la tecnología recientemente incorporadas a los equipos serán considerados en los modelos.

En casos donde se tenga vida ilimitada, mas o menos, y la tendencia de reemplazo sean idénticas, entonces el intervalo entre los reemplazos será constante. Este caso es conocido como política de reemplazo periódica.

5.2 Causas y factores de reemplazamiento

5.2.1. Causas

La necesidad o conveniencia de reemplazar un equipo puede deberse a su deterioro físico, o cambios de necesidad que lo hagan inadecuado, o a adelantos tecnológicos incorporados a nuevos modelos, frente a los cuales el equipo existente resulte en desventaja. Es cierto que no está bien definido

el punto necesario u óptimo para reemplazar el equipo, pero está muy relacionado con el costo de operación.

El incremento del costo de operación está en función al descenso de la eficiencia o rendimiento del equipo, como consecuencia del desgaste experimentado y el respectivo incremento del costo de mantenimiento a medida que aumenta la vida del equipo, favoreciendo la decisión de un reemplazamiento.

En general la necesidad de reposición de un equipo no es lo misma que para el resto de la flota, también varía de una empresa minera a otra, de acuerdo a las condiciones de trabajo, volumen de producción, características del producto y del equipo, mantenimiento asignado, etc. Se puede considerar las siguientes causas para reemplazar un equipo:

- a. Deterioro Físico.- Es causado por el uso y/o acción de agentes externos y se traduce en desventaja económica por el descenso del servicio prestado, incrementando los costos de operación y mantenimiento principalmente. El desgaste físico se corrige mediante reparaciones parciales o totales, que a veces no dan buenos resultados, por lo que incrementan el número de horas de paradas para este fin, disminuyendo la eficiencia de operación; como esta situación no se puede mantener en tiempo indefinido, entonces se optará por reemplazar el equipo en un determinado periodo.
- b. Inadecuado e insuficiente.- Un equipo se vuelve inadecuado cuando al cambiar los requerimientos de la demanda o incrementar la mecanización y lograr mayor seguridad, resulta demasiado pequeño y con muchas horas de trabajo, siendo incapaz de producir lo planificado en el plan de operaciones. Por lo cual existe la necesidad de sustituirlas con unidades de mayor capacidad y adecuado a las

condiciones de trabajo a que serán sometidas según los requerimientos que se desea obtener.

- c. **Obsolescencia.**- Se traduce como desventaja económica de una máquina con respecto a otra más avanzada tecnológicamente con el fin de brindar mejores condiciones de operatividad a fin de incrementar su rendimiento. Una máquina no es obsoleta en sí misma sino en comparación con otra más moderna y eficiente disponible en el mercado y apta para el mismo servicio. En este caso la reposición es necesaria aunque funcione bien, debido a las múltiples ventajas introducidas en los nuevos equipos ofertados.

5.2.2. Factores

Diversos factores de orden interno o externo afectan a las decisiones de reemplazo de equipo, dentro de ellas podemos citar:

5.2.2.1 Factores internos

- a. **Capital Disponible.**- Cuando una empresa se encuentra en desarrollo, las inversiones de expansión tienen a menudo prioridad sobre las de mantenimiento y reemplazo de equipos, pero en esta etapa es la que se debe aprovechar para reemplazar los equipos necesarios; contrario sucede cuando la empresa alcanza estabilidad y madurez. En cada etapa de su existencia, la empresa debe buscar el equilibrio óptimo entre tipos de inversiones.
- b. **Factor de Inercia.**- Es la demora injustificada de reemplazo de un equipo, ya que en las empresas existen propensión a dejarse vencer por la inercia, posponiendo las decisiones de cambios necesarios.
- c. **Ingeniería.**- Se debe a los cambios en diseño de los métodos y las técnicas de producción, ampliaciones, acceso a los tajeos, etc. Pueden propiciar el reemplazamiento de equipos en el año de vida

en que se encuentren, si además el valor de reventa justifica la operación.

- d. Finanzas.- Modificaciones importantes del estado financiero de una empresa debido a factores. Entre los factores internos están la disminución o incremento de reservas, aumento o reducción en la producción, etc.
- e. Costo de Energía y Ventilación.- Es un factor que puede incidir en el reemplazamiento de un equipo por otro similar accionado por una fuente de energía distinta que resulte más ventajosa económicamente y ambientalmente para la Empresa Minera.

5.2.2.2 Factores externos

- a. Inflación.- En todos los problemas de reemplazo de equipo es muy importante considerar la tasa probable de inflación. La inflación afectará a los costos de inversión, a los de operación y a los ingresos. El aumento o disminución real de los costos de ingresos respecto a tiempo, sólo puede conocerse corrigiéndose las estadísticas respectivas por medio de índices de costos, de manera que todas las cifras queden expresadas en unidades constantes.
- b. Finanzas.- Modificaciones importantes del estado financiero de una empresa debido a factores. Entre los factores externos están los cambios de las tasas de venta del producto mineral, incremento o reducción del número de venta, etc.
- c. Estandarización.- La adquisición de nuevas unidades de una marca seleccionada pueden determinar el reemplazamiento de un equipo con fines de estandarizar sobre la base de una optimización de la logística en los repuestos, programas de mantenimiento y/o servicios. Aquí obviamente interviene el precio potencial de reventa que puede

inclinan la balanza hacia la conservación del equipo existen hasta el fin de su vida útil.

5.3 Modelos de Reemplazamiento

Existen varios modelos para evaluar el reemplazamiento de equipos, la mayoría de los cuales se basan en los costos que el equipo genera. Dentro de algunos modelos podemos mencionar: Análisis de sensibilidad económica financiero por la vía del riesgo, compuesto por el costo de propiedad y el costo de operación; Modelo de programación dinámica, Modelo de programación estadística basado en la maximización de beneficios o la minimización de costos, Modelos matemáticos basados en costos de reemplazamiento y de operación, etc.

Antes de proceder con el desarrollo de reemplazo, es necesario evaluar las acciones de reemplazo preventivo, esto es, una acción tomada antes de que el equipo llegue al estado de falla, para lo cual se requiere analizar dos condiciones necesarias:

- a. El costo total de reemplazo es mucho mayor después de la falla, que el reemplazo se realice antes que ocurra la falla (si el costo es considerado como el criterio apropiado se toma al tiempo). Esto causaría gran pérdida de producción, ya que el reemplazo después de la falla no se planifica; así mismo la falla de una de las piezas del equipo puede afectar al conjunto y su costo sería menor si se hubiera reemplazado la pieza antes de la falla.
- b. La causa de fallas de equipo incrementa; cuando los equipos o algún equipo tiene fallas constante; esto es cuando la falla ocurre de acuerdo a una distribución exponencial negativa. Cuando este es el caso, el reemplazo antes de la falla no afecta la probabilidad de que el equipo fallará próximamente, dado que el equipo se considera como bueno. Consecuentemente el dinero se desperdicia si el reemplazo

preventivo es aplicado al equipo con fallas de acuerdo a la distribución exponencial negativa. Obviamente, cuando el equipo falla de acuerdo a la distribución hiper-exponencial su tasa de falla disminuye y otra vez el reemplazo preventivo no sería aplicado.

Se sabe que la tasa de fallas de equipos se incrementa antes de realizar el reemplazo preventivo. Cuando el equipo frecuentemente falla, la acción del Ingeniero de Mantenimiento debe ser, que el nivel de reemplazo preventivo se incremente.

5.4 Estimación del Valor Residual de un Equipo

En la práctica es difícil determinar el valor residual real y exacto de cada equipo, una idea aproximada nos lo da el mercado de segunda mano, en donde el valor de un equipo es tanto menor cuanto más antiguo sea y cuantas más horas haya trabajado. Así pues, las dos variables fundamentales de que depende el valor residual serán:

- a. El número de años de servicio n .
- b. El número de horas totales trabajadas H .

Considerando una misma marca y modelo del equipo, el valor residual V_r es función decreciente del número de años de servicio y del número de horas de trabajo, pudiéndose emplear la siguiente relación.

$$V_r = f(n, H)$$

Ajustando estadísticamente la relación anterior, según una función de forma exponencial:

$$V_r = K \cdot a^n \cdot B^H$$

Donde a y b son constantes que se pueden estimar mediante un ajuste por mínimos cuadrados, a partir de una estadística de precios en el mercado de segunda mano.

El valor de K debería ser igual o muy aproximado al valor inicial o precio de adquisición del equipo nuevo V_0 . Si se supone que una máquina nueva recién comprada vale exactamente su precio como nueva se ha de verificar:

$$V_r = K \cdot a^0 \cdot B^0 = K = V_0$$

Si un equipo trabaja un número normal de horas asignadas al año h y siendo éstas constantes, se puede afirmar que $H = h \cdot n$; lo que simplifica el ajuste estadístico y sustituyendo se tiene:

$$V_r = K \cdot a \cdot B^{h \cdot n} = K (a \cdot B^h)^n$$

Considerando $b = a \cdot B^h$; resulta en definitiva:

$$V_r = K \cdot b^n$$

Un equipo de acarreo en minería de superficie, en trabajo normal durante el primer año pierde entre el 20 y 25% de su valor inicial, si se considera una depreciación media del 22% en el primer año implica que su valor residual al inicio del segundo año será del 78% de su precio de adquisición. Por tanto, se puede determinar el valor de “b” para una función exponencial, mediante logaritmo del mismo.

$$\text{Log}(b) = \text{Log}(0.78) - 0.2485 = -0.25$$

$$b = e^{-0.25}$$

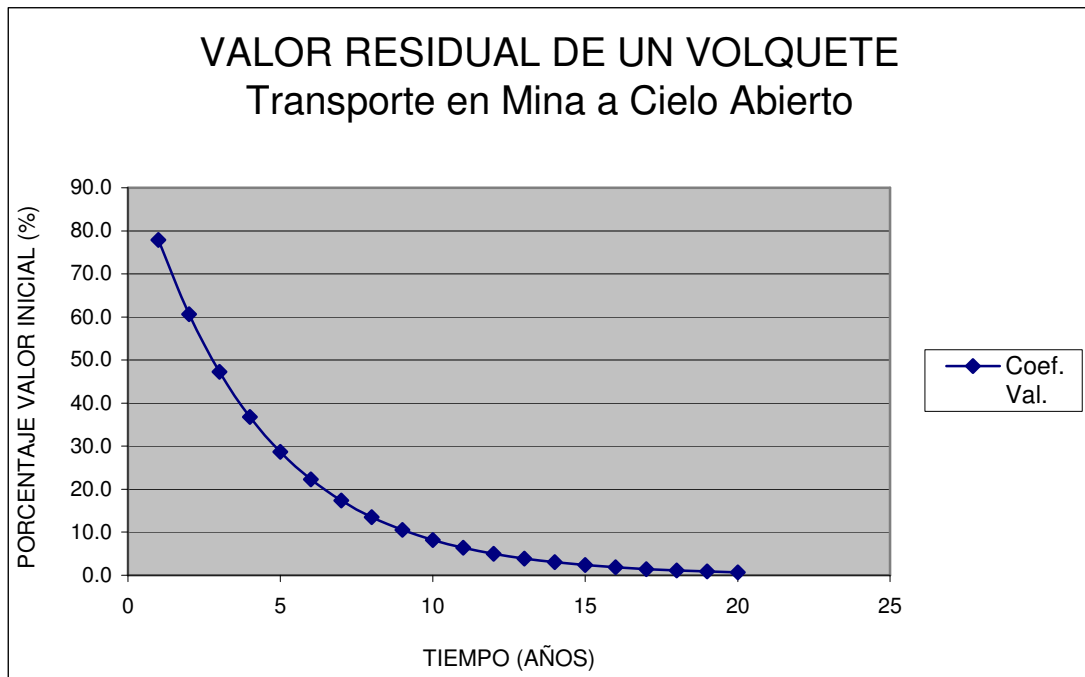
Resultando una ecuación que permite determinar el valor residual de un equipo de acarreo en minería a cielo abierto en función de la edad del equipo expresado en número de años de servicio u horas de trabajo neto acumulado. Su representación se refleja en la figura 1, del respectivo cuadro N° 1 cuya ecuación es la siguiente:

$$V_r = K (e^{-0.25n})$$

En nuestro caso el valor residual de un volquete al final de los diez años de operación, con un promedio de 3000 horas de trabajo neto por año, tiene un valor del 8% de su precio de adquisición, naturalmente este valor debe variar según la edad, las horas de trabajo, las condiciones climáticas y de operación a que será sometido, así como la cantidad y calidad de mantenimiento recibido.

En el Anexo 5, tabla1 se tiene el cálculo del valor residual del camión durante 20 años de operación.

Figura 13: Evolución del valor residual de un volquete



Fuente: Unidad de docentes de Proyectos de Ingeniería del departamento de Explotación de Minas de la ETSIM

5.5 Costo de Propiedad de un equipo de acarreo

El costo de propiedad (CPR), está en función directa del valor de adquisición de un volquete nuevo V_0 , más el costo financiero del capital generados por los intereses I a una tasa anual i del 15%, menos el valor residual de un volquete después de n años de servicio V_r .

Si $A = V_0 + I$, donde A es un capital asignado para cubrir la compra del equipo nuevo y sus costos financieros, se tiene:

$$\mathbf{CPR = A - Vr}$$

Reemplazando $Vr = K.e^{-0.25n}$ y haciendo $A = K$, se tiene una expresión en función del total de las horas posibles TTP a trabajar con el equipo en cada año.

$$\mathbf{CPR = \frac{A.i((1+i)^n - Vr)}{TTP((1+i)^n - 1)}}$$

Para el tiempo de utilización del equipo se han considerado dos relevos por día de ocho horas cada uno, seis días laborables por semana y cincuenta y dos semanas por año, restándole los doce días festivos por año, resulta un tiempo total posible de 4800 horas por año.

$$\mathbf{TTP = 50 \times 8 \times 6 \times 2 = 4800}$$

$$\mathbf{TTP = 4800 \text{ horas/año}}$$

5.6 Costo de operación de un equipo de acarreo

Para estimar el costo horario de operación COP se han considerado los datos de costos reales en que ha incurrido en el volquete, durante un periodo de ocho años.

Estos Costos se han agrupado por partidas o conceptos de la siguiente manera:

- **CMA** : El costo de mantenimiento que resulta sumando los del mantenimiento correctivo y mantenimiento preventivo, incluyendo los trabajos considerados como mantenimiento predictivo.

- **CNE** : El costo por desgaste o destrucción de neumáticos.
- **CEN** : El costo de energía por consumo de gas-oil.
- **CMO** : El costo de mano de obra o personal.
- **CMV** : El costo de materiales varios.
- **CSE** : El costo por servicios.

El costo de operación será la suma total de las partidas, dividido por la disponibilidad D:

$$\text{COP} = 1/D (\sum^n (\text{CMA}_n + \text{CNE}_n + \text{CEN}_n + \text{CMO}_n + \text{CMV}_n + \text{CSE}_n))$$

Los datos tomados de los archivos históricos del volquete de mina se ajustan a una función rectilínea mediante un análisis de mínimos cuadrados para cada concepto, luego se suman y se obtiene la ecuación de la función del costo total de operación COP de un volquete de ocho años después de su adquisición.

Cuadro 11: Resumen de costos parciales de operación.

CONCEPTOS	ECUACION
Costo de Mantenimiento	3.77 + 2.97t
Costo de Neumáticos	0.29 + 0.47t
Costo de Energía	22.46 + 0.28t
Costo de Personal	16.96 + 0.39t
Costo de Material Varios	0.23 + 0.01t
Costo de Servicios	0.95+ 0.02t
COSTO DE OPERACIÓN	44.66 + 4.14t

Fuente: Unidad de docentes de Proyectos de Ingeniería del departamento de Explotación de Minas de la ETSIM

Integrando la ecuación del costo de operación según la variable tiempo t en función del número de años n de servicio u operación del equipo se tiene:

$$\text{COP} = 1/n(5579.6n + \frac{1}{2}(517.82)n^2)$$

5.7 Vida óptima de un equipo de acarreo

Al comenzar un año n cualquiera, es interesante preguntarse si será rentable o no mantener en funcionamiento la flota de volquetes durante dicho año. Esta cuestión solo puede contestarse adecuadamente con un modelo de cálculo, en donde intervengan de modo comparativo, la rentabilidad de un equipo nuevo respecto del que está en uso, naturalmente dependerá de las características y el precio del nuevo equipo y de los costos de mantenimiento y el valor residual del equipo usado.

El tiempo necesario y óptimo hasta donde utilizar el equipo, puede estar dada por el costo horario de producción por año CMP, que está compuesto por el costo de propiedad CPR y el costo de operación COP.

Sumando las funciones de los costos de propiedad y operación se obtiene el costo horario de producción.

$$\text{CMP} = \text{CPR} + \text{COP}$$

$$\text{CMP} = \frac{A \cdot i \cdot ((1+i)^n - V_r)}{\text{TTP}((1+i)^n - 1)} + (5579.6 + 258.91n)$$

Sustituyendo valores en la ecuación del costo horario de producción así obtenida, se construye la tabla 8, en base a datos reales tomados en mina para los 8 primeros años y considerando la misma tendencia en su comportamiento de los costos hasta el año 20.

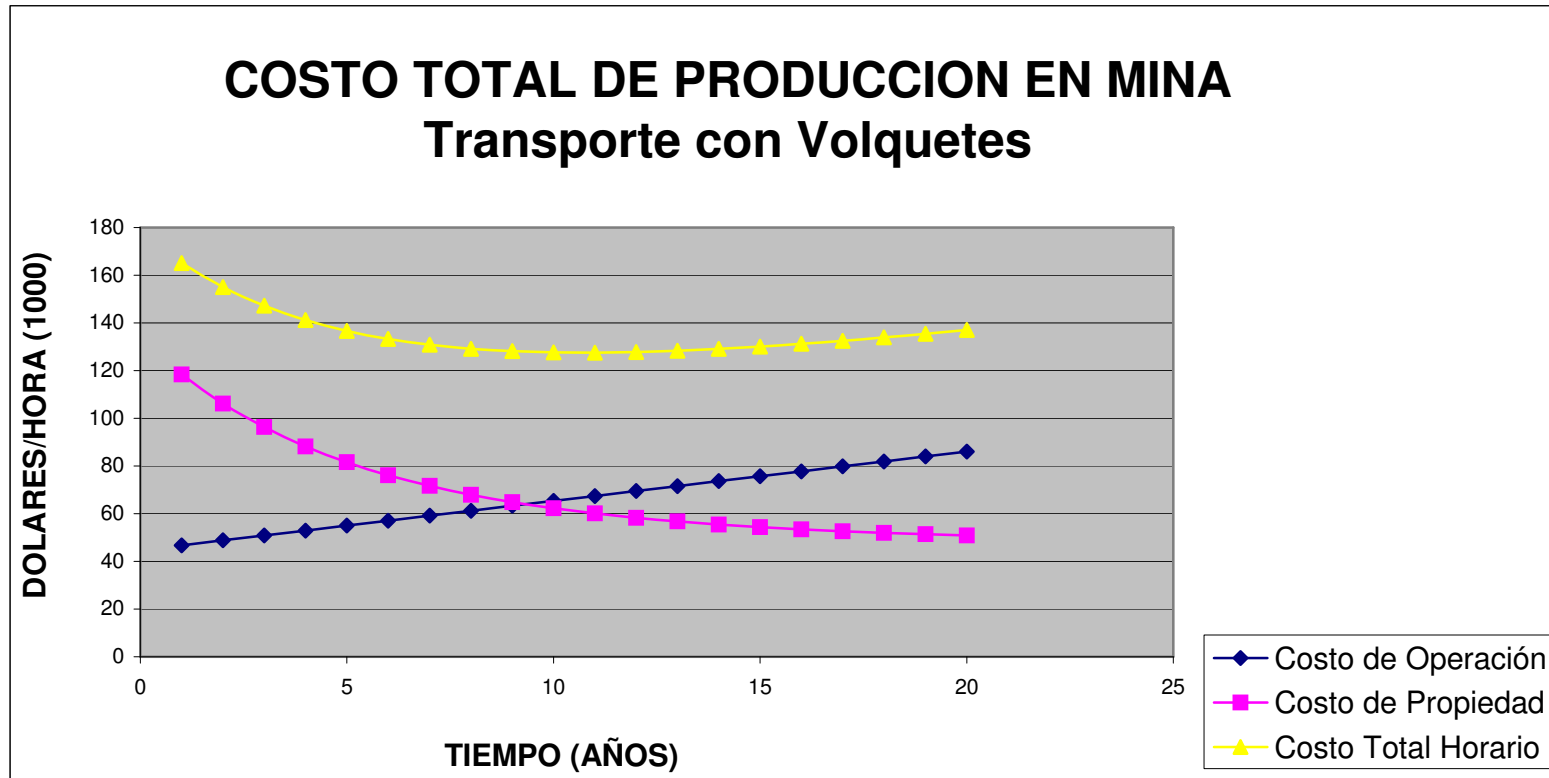
Cuadro 12: Costos de operación, propiedad y costo total del camión

Número de años	Costo de Operación	Costo de Propiedad	Costo Total Horario
1	46.73	118.40	165.13
2	48.80	106.22	155.02
3	50.87	96.31	147.18
4	52.94	88.23	141.17
5	55.01	81.60	136.61
6	57.08	76.15	133.23
7	59.15	71.66	130.81
8	61.22	67.94	129.16
9	63.29	64.85	128.14
10	65.36	62.27	127.63
11	67.43	60.11	127.54
12	69.50	58.30	127.80
13	71.57	56.77	128.34
14	73.64	55.48	129.12
15	75.71	54.39	130.10
16	77.78	53.47	131.25
17	79.85	52.68	132.53
18	81.92	52.01	133.93
19	83.99	51.43	135.42
20	86.06	50.94	137.00

Fuente: Unidad de docentes de Proyectos de Ingeniería del departamento de Explotación de Minas de la ETSIM

El costo de propiedad va decreciendo con los años de servicio debido a la depreciación, lo que puede inducir a prolongar indefinidamente la vida del equipo. Mientras que el costo de operación se incrementa con la edad del equipo, propiciando un proceso de sustitución temprano del mismo. La vida óptima del tiempo de utilización de un equipo se obtiene representando las curvas de costos en la figura 2. Donde se refleja el costo de producción compuestos por los costos de operación y propiedad para los diferentes de vida del equipo. Analizando la figura 8 se deduce que la pendiente de la curva del costo de producción se hace cero en el año 11. Por lo tanto en este punto el costo de producción se hace mínimo y tiene un valor de 127.54US\$/hora, permitiendo plantear la reposición del equipo en condiciones favorables y ventajosas, ya que si se prolonga el tiempo de servicio del equipo, se puede incurrir en costos operativos crecientes en forma ascendente cada año.

Figura 14: Evolución de las curvas de costos de un equipo de acarreo de mina a cielo abierto.



Fuente: Unidad de docentes de Proyectos de Ingeniería del departamento de Explotación de Minas de la ETSIM

CAPITULO VI

ANALISIS DE SENSIBILIDAD

6.1 Análisis de sensibilidad del costo de producción

El costo de propiedad de un equipo de acarreo es el menos sensible a los efectos de variaciones del tiempo de trabajo de la maquinaria y del volumen de producción, ya que los costos financieros como la amortización y los intereses se mantienen constantes y no varían al trabajar mas o menos el equipo.

En cambio las partidas que componen el costo de operación del equipo de acarreo si son susceptibles a las variaciones, según se incremente o no en el tiempo de trabajo y el volumen de producción. De todas las partidas el costo de operación a la que más varía es la correspondiente al costo de mantenimiento correctivo. Ello incide directamente en el comportamiento del costo total de mantenimiento, que se incrementa con la edad del equipo y el número de años en servicio, llegando a afectar seriamente el costo de operación a partir del año 11 dado en el ejemplo, en donde la curva de costo de producción toma un sentido ascendente con incrementos mayores según transcurren los años de uso del equipo, limitando la utilización de estos por sus elevados costos y favoreciendo su reemplazo por nuevas unidades.

6.1.1 Influencia de la variación del costo de operación

En la tabla 9 se puede ver que cuando se incrementa en un 15% anual la pendiente del costo de operación, se incrementará en el mismo sentido el costo de producción, desplazando hacia el año 10 el punto más bajo de la curva del costo de producción en donde se hace mínimo, reduciendo el periodo de la vida óptima del equipo de acarreo en un año.

De igual forma se adelantará este punto mínimo en dos años, respecto al cálculo inicial del costo de producción, si el costo de producción se incrementa en un 30% anual. Ver la figura 9.

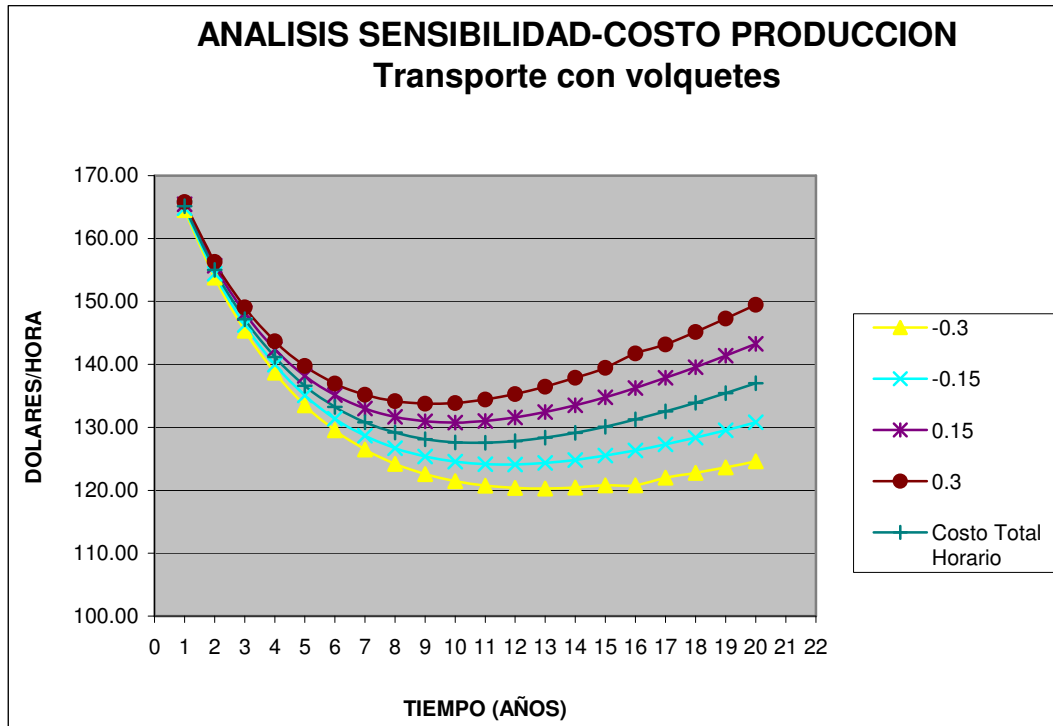
Sucedirá lo contrario, si se logra reducir el costo de operación del equipo de acarreo en un 15 o 30% anual, ya que el costo de producción también se verá reducido, prolongando el periodo de la vida óptima y de sustitución del equipo en uno o dos años respectivamente.

Cuadro 13: Influencia de la variación del costo de operación sobre el costo de producción

Número de años	Costo de Operación	Costo de Propiedad	Costo Total Horario	Variación del Costo de Operación			
				-0.3	-0.15	0.15	0.3
1	46.73	118.40	165.13	164.51	164.82	165.45	165.76
2	48.8	106.22	155.02	153.78	154.40	155.65	156.27
3	50.87	96.31	147.18	145.33	146.26	148.12	149.06
4	52.94	88.23	141.17	138.69	139.93	142.42	143.66
5	55.01	81.60	136.61	133.51	135.07	138.18	139.73
6	57.08	76.15	133.23	129.52	131.38	135.11	136.98
7	59.15	71.66	130.81	126.48	128.65	133.00	135.18
8	61.22	67.94	129.16	124.20	126.69	131.66	134.15
9	63.29	64.85	128.14	122.56	125.36	130.96	133.75
10	65.36	62.27	127.63	121.43	124.54	130.76	133.87
11	67.43	60.11	127.54	120.73	124.15	130.98	134.40
12	69.5	58.30	127.80	120.37	124.10	131.56	135.29
13	71.57	56.77	128.34	120.29	124.33	132.41	136.46
14	73.64	55.48	129.12	120.45	124.80	133.51	137.86
15	75.71	54.39	130.10	120.81	125.50	134.78	139.46
16	77.78	53.47	131.25	120.81	126.31	136.26	141.76
17	79.85	52.68	132.53	122.00	127.28	137.85	143.14
18	81.92	52.01	133.93	122.78	128.37	139.56	145.16
19	83.99	51.43	135.42	123.65	129.56	141.37	147.28
20	86.06	50.94	137.00	124.61	130.83	143.26	149.48

Fuente: Unidad de docentes de Proyectos de Ingeniería del departamento de Explotación de Minas de la ETSIM

Figura N° 7: Evolución de las curvas del costo de producción variando el costo de operación



F

Fuente: Unidad de docentes de Proyectos de Ingeniería del departamento de Explotación de Minas de la ETSIM

6.2 Análisis de sensibilidad en el medio ambiente donde se va a construir los accesos y plataformas de perforación

Debido a las constantes labores que viene realizando el área de Exploraciones, se muestran la actividad que viene realizando y las actividades que realizará con previa supervisión de Asuntos Ambientales.

Para la elaboración de plataformas se verifica desde la entrada al proyecto hasta el punto donde va a llegar la máquina diamantina.

Existe un programa de remediación de los accesos y plataformas en la cual la empresa en conjuntamente con las comunidades viene realizando desde

el 2005 cuando el Proyecto Toromocho se encontraba en la etapa de exploración.

6.2.1 Programa de remediación

Minera Perú Copper-Chinalco viene realizando un programa de remediación desde sus inicios de la etapa de exploración cuyo objetivo es:

- Generar una educación ambiental entre la empresa, trabajadores y comunidad.
- Reducir los daños ocasionados con responsabilidad ambiental.
- Generar trabajo con responsabilidad social.

En la foto A se aprecia el inicio de una remediación de un acceso, donde se reconstruye la topografía afectada.

En la foto B se observa la fase final de remediación, donde se ha revegetado la zona afectada.

Es de gran importancia para la comunidad y para la empresa la forma como se viene trabajando con responsabilidad social y ambiental.

Figura 16: Trabajos de remediación en la zona de Tunshuruco



Foto A

Figura 17: Plataforma en fase final de remediación



Foto B

6.2.2 Impactos Negativos

- Se altera la topografía del acceso.
- Disconformidad de la comunidad.
- Se aleja algunas especies en la zona afectada.

6.2.3 Impactos Positivos

- Se restaura la topografía del acceso.
- Capacitación de la comunidad para los trabajos de remediación.
- El retorno de las especies nos indica q la zona ha sido correctamente remediada.

CAPITULO VII

CONCLUSIONES

El criterio de Ingeniería Inversa para la selección de equipos nos da una mejor eficiencia en el camión 1 siendo la eficiencia 0.88 respecto al camión 2 cuya eficiencia es 0.83; por lo tanto teóricamente el equipo a seleccionar es el camión 1.

El factor de acoplamiento de los equipos de acarreo y carguío determinado por el ciclo en la construcción de accesos plataformas nos permite programar para el funcionamiento eficiente de los equipos.

El modelo de análisis de sensibilidad económica financiero por la vía del riesgo, compuesto por el costo de propiedad y el costo de operación nos determina el reemplazo oportuno en el año 11 del camión siendo el costo total es de 127.54\$/hora, a partir del año 11 incrementa el costo.

El criterio práctico de selección por lo cual el camión 1 resulta la más ventajosa a seleccionarse debido a que tiene menor resistencia total de 217.33 Kg. respecto al camión 2.

El periodo de recuperación del capital invertido en las unidades a reemplazar debe ser menor que la vida óptima y de sustitución, a fin de lograr una utilización potencial del equipo según el volumen de avance asignado.

El punto óptimo para incrementar un camión en el ciclo de operaciones es 0.4 en referencia al factor de acoplamiento donde la pérdida económica es mínima según los costos unitarios de 30US\$/Hora y 45US\$/Hora del camión y la pala respectivamente.

Para la toma de decisión de la alternativa de alquiler o compra de equipo se realiza la evaluación económica, resultando la opción alquiler la más ventajosa debido al ahorro de 12222376.420US\$.

El modelo de reemplazamiento de maquinaria es el Análisis de sensibilidad económica financiero por la vía del riesgo, compuesto por el costo de propiedad y el costo de operación donde en el año 11 tiene el costo mínimo de 127.54US\$/Hora permitiendo plantear la reposición del equipo en condiciones favorables y ventajosas.

El costo de operación es la variable más sensible para prolongar y/o reducir la sustitución del equipo, cuando aumenta el costo de operación en un 15% anual la sustitución del equipo se reducirá hasta el año 10 caso contrario si se reduce el en un 15% anual donde el equipo prolongará su sustitución al año 12.

Con el reemplazamiento de la maquinaria se obtiene el mejor desempeño del motor, aumenta la seguridad del operador y reduce el número de accidentes.

El reemplazo es adecuado cuando se busca equilibrar la estructura de la flotilla por clase de edad, es eficaz cuando permite homogeneizar la flotilla en torno a uno o dos modelos de vehículos, es oportuna cuando se apoya en instrumentos de predicción de los periodos de renovación y exitosa cuando conduce a seleccionar el vehículo el más adaptado a la actividad de la empresa.

Antes de preguntarse que vehículo comprar, es necesario preguntarse como vender la unidad obsoleta.

El vehículo ideal no existe, pero existen criterios técnicos para seleccionar la unidad más apta al uso promedio que se le quiere dar.

RECOMENDACIONES

- 7.2.1 La aplicación de la Ingeniería Inversa para elegir el equipo más eficiente y también de ser capaz de soportar mayores esfuerzos se tiene en cuenta la resistencia total opuesta al equipo.
- 7.2.2 Comprometer a los operadores en el cumplimiento del ciclo programado para evitar pérdida de tiempo, así como la consecuente pérdida económica para la empresa.
- 7.2.3 En el proceso de evaluación de la opción alquiler o compra de equipo, para la construcción de accesos y plataformas. Se tiene que considerar, los costos actuales, así como también los costos proyectados de la maquinaria; para tomar la decisión adecuada que resulte ventajosa para la empresa, hasta el final de su operación.
- 7.2.4 Se recomienda la sustitución de la maquinaria en una operación continua, como es en la etapa de producción; caso contrario, podría ocurrir en la etapa de exploración.
- 7.2.5 Registrar una base de datos de la maquinaria durante su periodo de vida es fundamental para determinar el reemplazo oportuno de la maquinaria por el modelo de costo de propiedad y operación.
- 7.2.6 Considerar las condiciones climáticas más severas en la selección y optimización de los equipos de carga y acarreo, para que puedan operar con eficiencia.

- 7.2.7 Reemplazar oportunamente la maquinaria con una aplicación adecuada del modelo a utilizarse nos permite lograr una operación continua.
- 7.2.8 En la etapa de exploración se utiliza las maquinarias por la opción de alquiler debido a que no se tiene un trabajo continuo y permanente hasta la etapa final de la mina en caso de llegar a la etapa de explotación del yacimiento.
- 7.2.9 La incertidumbre de un proyecto en su etapa de exploración es una dificultad para adquirir equipos por la gran inversión que se requiere.

BIBLIOGRAFIA

Annon, "How much repairs really cost".
Rev. Minig Eng. Vol. 22 nº, July 1970
Pag. 110-111

Watson W. "Equipment problems and their resolutions" .
CIM Bulletin, Vol. 8,1 N°913, May 1988
Pag. 21-35

Carlos López Jimeno
"Manual de diseño de explotación superficial"

Moreno Guerrero, Lionel
El arrendamiento financiero en México y Venezuela, Corporación venezolana de fomento y la institución de servicios industriales y arrendamiento de México S.A. (SIAMSA) 1971.

Laszlo, Orban
Evaluación Financiera del Arrendamiento de equipos, Administración de empresas, Buenos Aires, 807 – 823, diciembre 1970.

Guisado Tato, Manuel
La evaluación del Leasing. Nuevas consideraciones en el contrato de un esquema financiero mixto como alternativa, alta dirección, Barcelona, 263 – 271, julio-agosto 1986.

Páginas de Internet:

www.conae.gob.mx

IV Seminario Nacional

Autor: Ing. Adrián Fernandez R.

www.runge.com

Análisis de productividad de camiones

www.google.com.pe/search?hl=es&q=modelo+para+estimar+la+productividad+de+camiones&meta=

Modelo para estimar la productividad de camiones

www.google.com.pe/search?hl=es&q=modelo+estocastico+para+la+simulacion+para+camiones&meta=

CAPITULO III “Modelo de la Simulación”

www.mtc.gob.pe/portal/transportes/caminos_ferro/manual/DG-2001/volumen1/cap2/seccion202.htm

Manual de diseño geométrico

ANEXO 1

Cuadro 1: Volumen por metro de avance en accesos y plataformas

Zona	Altura	Ancho	Avance	Factor de Compactación	Volumen (m ³ /m de avance)
Accesos	0.4	8	1	1.5	4.8
Plataformas	0.5	20	12	1.5	180

Cuadro 2: Avance por volquete

Zona	Capacidad del Volquete (m ³ /volquete)	Volumen (m ³ /m de avance)	Avance (m/volquete)
Accesos	12	4.8	2.5
Plataformas	12	180	0.067

ANEXO 2

Tabla 1 Potencia del camión 1 para cada velocidad y rimpull.

Velocidad (Km/Hr)	Rimpull (Kg*1000)	Potencia (Kw)
2.00	24.320	132.41
2.92	19.350	153.81
4.10	15.950	178.02
5.14	13.380	187.22
6.83	11.830	219.95
8.38	10.200	232.68
8.79	7.756	185.59

Tabla 2 Potencia del camión 2 para cada velocidad y rimpull.

Velocidad (Km/Hr)	Rimpull (Kg*1000)	Potencia (Kw)
2.00	24.000	130.67
2.70	18.950	139.28
4.05	15.020	165.60
5.00	12.980	176.67
6.50	11.420	202.07
8.20	10.050	224.34
8.60	7.240	169.50

Tabla 3 Eficiencia del camión 1 para cada velocidad y rimpull correspondiente.

Cambio	Velocidad (Km/Hr)	Rimpull (Kg*1000)	Eficiencia
1.00	2.00	24.320	0.50
1.00	2.92	19.350	0.58
1.00	4.10	15.950	0.67
1.00	5.14	13.380	0.71
1.00	6.83	11.830	0.83
1.00	8.38	10.200	0.88
1.00	8.79	7.756	0.70

Tabla 4 Eficiencia del camión 2 para cada velocidad y rimpull correspondiente.

Cambio	Velocidad (Km/Hr)	Rimpull (Kg*1000)	Eficiencia
1.00	2.00	24.000	0.48
1.00	2.70	18.950	0.52
1.00	4.05	15.020	0.61
1.00	5.00	12.980	0.65
1.00	6.50	11.420	0.75
1.00	8.20	10.050	0.83
1.00	8.60	7.240	0.63

ANEXO 3

Tabla 1 Base de datos del ciclo del equipo de carga y acarreo

DISTANCIA (X) (m)	TIEMPO				CICLO (Y) (hora)
	Cuadrar y cargar (min.)	Ida Cargado (min.)	Voltear y vaciar (min.)	Regreso vacío (min.)	
3000.0	6	20.00	3.5	15.00	0.7417
3002.5	6	20.03	3.5	15.03	0.7427
3005.0	6	20.05	3.5	15.04	0.7432
3007.5	6	20.07	3.5	15.06	0.7438
3010.0	6	20.10	3.5	15.09	0.7448
3012.5	6	20.12	3.5	15.12	0.7457
3015.0	6	20.14	3.5	15.14	0.7463
3017.5	6	20.16	3.5	15.16	0.7470
3020.0	6	20.18	3.5	15.19	0.7478
3022.5	6	20.21	3.5	15.21	0.7487
3025.0	6	20.24	3.5	15.24	0.7497
3027.5	6	20.27	3.5	15.27	0.7507
3030.0	6	20.29	3.5	15.30	0.7515
3032.5	6	20.30	3.5	15.33	0.7522
3035.0	6	20.32	3.5	15.35	0.7528
3037.5	6	20.33	3.5	15.38	0.7535
3040.0	6	20.35	3.5	15.41	0.7543
3042.5	6	20.38	3.5	15.42	0.7550
3045.0	6	20.40	3.5	15.44	0.7557
3047.5	6	20.41	3.5	15.47	0.7563

Figura 1 Curva de la base de datos del ciclo total del equipo de carga y acarreo.

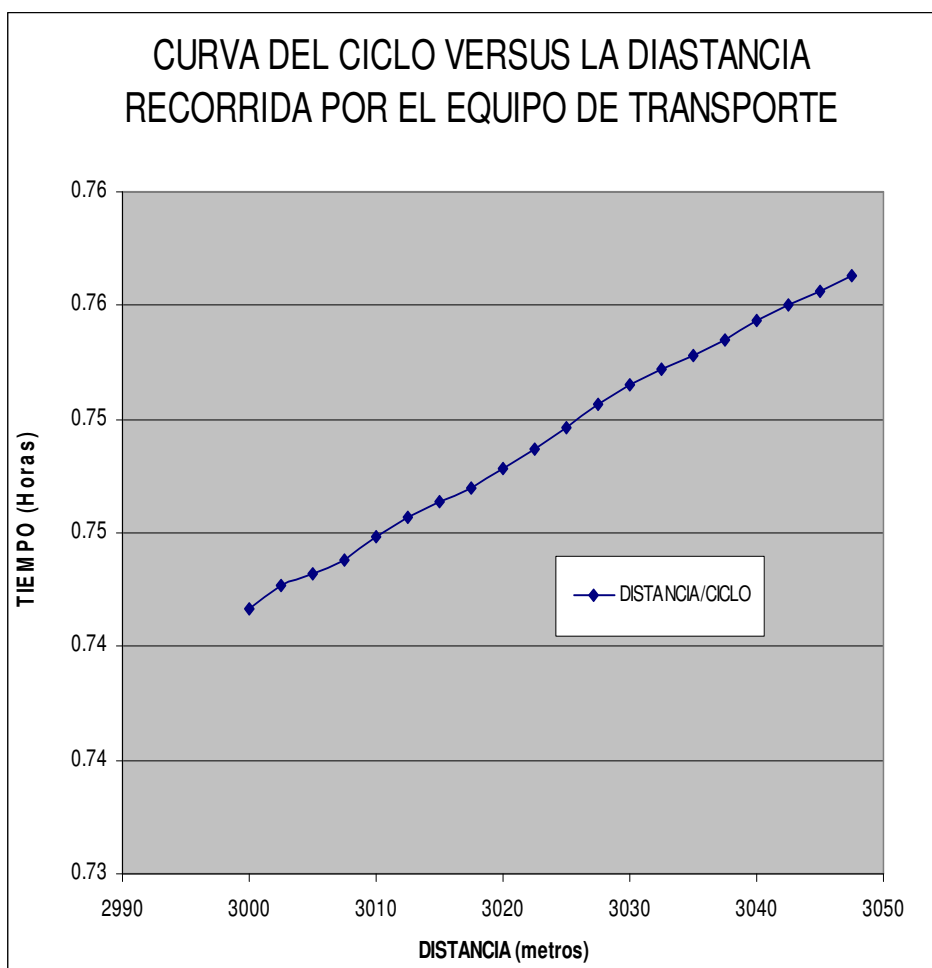


Tabla 2 Tabla de cálculo para determinar los valores $\sum Y^{\circ}$, $\sum X$, $\sum XY^{\circ}$ y $\sum X^2$.

n	Y	X	XY	X ²
1	0.7417	3000.0	2225.0000	9000000.00
2	0.7427	3002.5	2229.8567	9015006.25
3	0.7432	3005.0	2233.2158	9030025.00
4	0.7438	3007.5	2237.0788	9045056.25
5	0.7448	3010.0	2241.9483	9060100.00
6	0.7457	3012.5	2246.3208	9075156.25
7	0.7463	3015.0	2250.1950	9090225.00
8	0.7470	3017.5	2254.0725	9105306.25
9	0.7478	3020.0	2258.4567	9120400.00
10	0.7487	3022.5	2262.8450	9135506.25
11	0.7497	3025.0	2267.7417	9150625.00
12	0.7507	3027.5	2272.6433	9165756.25
13	0.7515	3030.0	2277.0450	9180900.00
14	0.7522	3032.5	2280.9454	9196056.25
15	0.7528	3035.0	2284.8492	9211225.00
16	0.7535	3037.5	2288.7563	9226406.25
17	0.7543	3040.0	2293.1733	9241600.00
18	0.7550	3042.5	2297.0875	9256806.25
19	0.7557	3045.0	2301.0050	9272025.00
20	0.7563	3047.5	2304.9258	9287256.25
Σ	14.9833	60475	45307.1621	182865437.50

Figura 2 Curva del ciclo estimado para los tramos que faltan en la construcción de accesos y plataformas.

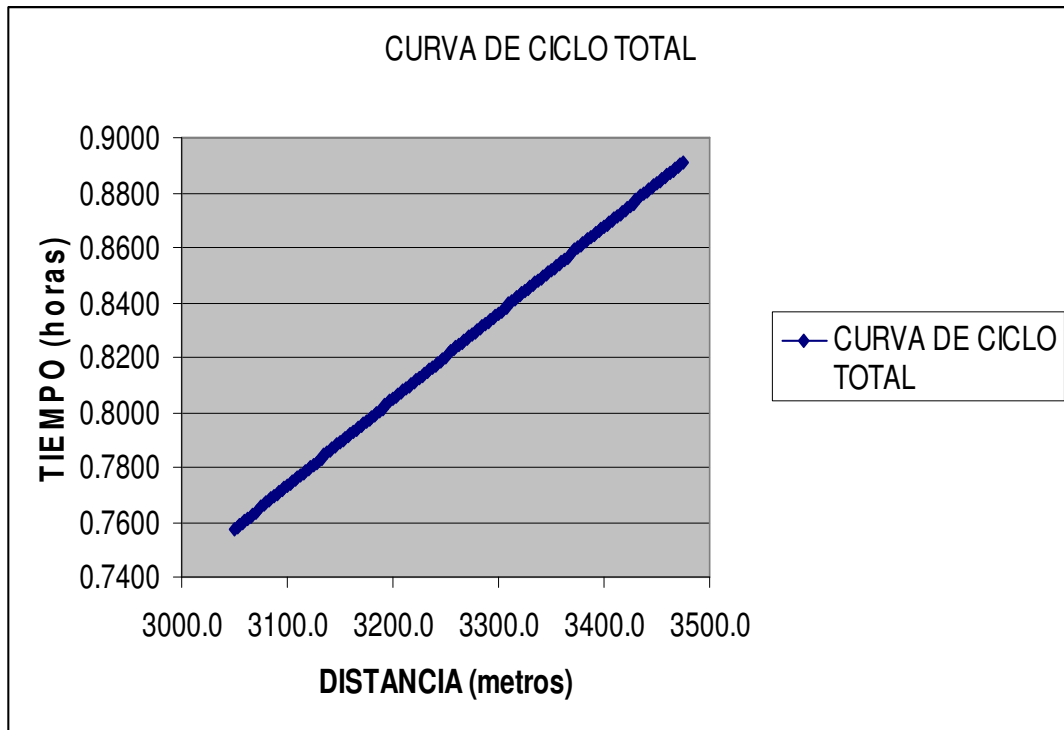


Tabla 3 Cálculo del ciclo estimado en la construcción de accesos y plataformas.

DISTANCIA (X)	CICLO (Y)		
		3152.5	0.7897
		3155.0	0.7905
		3157.5	0.7913
		3160.0	0.7920
		3162.5	0.7928
		3165.0	0.7936
		3167.5	0.7944
		3170.0	0.7952
		3172.5	0.7960
		3175.0	0.7968
		3177.5	0.7975
		3180.0	0.7983
		3182.5	0.7991
		3185.0	0.7999
		3187.5	0.8007
		3190.0	0.8015
		3192.5	0.8023
		3195.0	0.8031
		3197.5	0.8038
		3200.0	0.8046
		3202.5	0.8054
		3205.0	0.8062
		3207.5	0.8070
		3210.0	0.8078
		3212.5	0.8086
		3215.0	0.8094
		3217.5	0.8101
		3220.0	0.8109
		3222.5	0.8117
		3225.0	0.8125
		3227.5	0.8133
		3230.0	0.8141
		3232.5	0.8149
		3235.0	0.8156
		3237.5	0.8164
		3240.0	0.8172
		3242.5	0.8180
		3245.0	0.8188
		3247.5	0.8196
		3250.0	0.8204
		3252.5	0.8212
		3255.0	0.8219
		3257.5	0.8227
		3260.0	0.8235
3050.0	0.7574		
3052.5	0.7582		
3055.0	0.7590		
3057.5	0.7598		
3060.0	0.7606		
3062.5	0.7614		
3065.0	0.7621		
3067.5	0.7629		
3070.0	0.7637		
3072.5	0.7645		
3075.0	0.7653		
3077.5	0.7661		
3080.0	0.7669		
3082.5	0.7677		
3085.0	0.7684		
3087.5	0.7692		
3090.0	0.7700		
3092.5	0.7708		
3095.0	0.7716		
3097.5	0.7724		
3100.0	0.7732		
3102.5	0.7739		
3105.0	0.7747		
3107.5	0.7755		
3110.0	0.7763		
3112.5	0.7771		
3115.0	0.7779		
3117.5	0.7787		
3120.0	0.7795		
3122.5	0.7802		
3125.0	0.7810		
3127.5	0.7818		
3130.0	0.7826		
3132.5	0.7834		
3135.0	0.7842		
3137.5	0.7850		
3140.0	0.7857		
3142.5	0.7865		
3145.0	0.7873		
3147.5	0.7881		
3150.0	0.7889		

3372.5	0.8589	3482.5	0.8935
3375.0	0.8597	3485.0	0.8943
3377.5	0.8605	3487.5	0.8951
3380.0	0.8613	3490.0	0.8959
3382.5	0.8621	3492.5	0.8967
3385.0	0.8628	3495.0	0.8975
3387.5	0.8636	3497.5	0.8982
3390.0	0.8644	3500.0	0.8990
3392.5	0.8652	3502.5	0.8998
3395.0	0.8660	3505.0	0.9006
3397.5	0.8668	3507.5	0.9014
3400.0	0.8676	3510.0	0.9022
3402.5	0.8684	3512.5	0.9030
3405.0	0.8691	3515.0	0.9038
3407.5	0.8699	3517.5	0.9045
3410.0	0.8707	3520.0	0.9053
3412.5	0.8715	3522.5	0.9061
3415.0	0.8723	3525.0	0.9069
3417.5	0.8731	3527.5	0.9077
3420.0	0.8739	3530.0	0.9085
3422.5	0.8746	3532.5	0.9093
3425.0	0.8754	3535.0	0.9101
3427.5	0.8762	3537.5	0.9108
3430.0	0.8770	3540.0	0.9116
3432.5	0.8778	3542.5	0.9124
3435.0	0.8786	3545.0	0.9132
3437.5	0.8794	3547.5	0.9140
3440.0	0.8802	3550.0	0.9148
3442.5	0.8809	3552.5	0.9156
3445.0	0.8817	3555.0	0.9163
3447.5	0.8825	3557.5	0.9171
3450.0	0.8833	3560.0	0.9179
3452.5	0.8841	3562.5	0.9187
3455.0	0.8849	3565.0	0.9195
3457.5	0.8857	3567.5	0.9203
3460.0	0.8864	3570.0	0.9211
3462.5	0.8872	3572.5	0.9219
3465.0	0.8880	3575.0	0.9226
3467.5	0.8888	3577.5	0.9234
3470.0	0.8896	3580.0	0.9242
3472.5	0.8904	3582.5	0.9250
3475.0	0.8912	3585.0	0.9258
3477.5	0.8920	3587.5	0.9266
3480.0	0.8927	3590.0	0.9274

3592.5	0.9281
3595.0	0.9289
3597.5	0.9297
3600.0	0.9305
3602.5	0.9313
3605.0	0.9321
3607.5	0.9329
3610.0	0.9337
3612.5	0.9344
3615.0	0.9352
3617.5	0.9360
3620.0	0.9368
3622.5	0.9376
3625.0	0.9384
3627.5	0.9392
3630.0	0.9399
3632.5	0.9407
3635.0	0.9415
3637.5	0.9423
3640.0	0.9431
3642.5	0.9439
3645.0	0.9447
3647.5	0.9455
3650.0	0.9462
3652.5	0.9470
3655.0	0.9478
3657.5	0.9486
3660.0	0.9494
3662.5	0.9502
3665.0	0.9510
3667.5	0.9517
3670.0	0.9525
3672.5	0.9533
3675.0	0.9541
3677.5	0.9549
3680.0	0.9557
3682.5	0.9565
3685.0	0.9573
3687.5	0.9580

ANEXO 4

Tabla 1 Cálculo del punto óptimo para el incremento del equipo de acarreo.

Nº DE VOLQUETES REQUERIDOS	MÍNIMO Nº DE VOLQUETES	CARGADOR FRONTAL	PERDIDA DEL CARGADOR FRONTAL	MÁXIMO Nº DE VOLQUETES	VOLQUETES	PERDIDA DEL VOLQUETES
6.00						
6.10	6	0.1	4.5	7	0.9	27
6.20	6	0.2	9	7	0.8	24
6.30	6	0.3	13.5	7	0.7	21
6.40	6	0.4	18	7	0.6	18
6.50	6	0.5	22.5	7	0.5	15
6.60	6	0.6	27	7	0.4	12
6.70	6	0.7	31.5	7	0.3	9
6.80	6	0.8	36	7	0.2	6
6.90	6	0.9	40.5	7	0.1	3
7.00						

Tabla 2 Cálculo del factor de acoplamiento y el número de volquete óptimo según el avance en la construcción de accesos y plataformas.

DISTANCIA (X) (metros)	TIEMPO					INCREMENTO DE VOLQUETES	Nº DE VOLQUETES	FACTOR DE ACOPLAMIENTO	Nº DE VOLQUETES OPTIMOS (Y)	
	Cuadrar y cargar (min)	Ida Cargado (min)	Voltear y vaciar (min)	Regreso vacío (min)	CICLO (Y) (hora)					
3000.0	6	20.00	3.5	15.00	0.7417	1 ^{er}				
3002.5	6	20.03	3.5	15.03	0.7427	2 ^{do}				
3005.0	6	20.05	3.5	15.04	0.7432	3 ^{er}				
3007.5	6	20.07	3.5	15.06	0.7438	4 ^{to}				
3010.0	6	20.10	3.5	15.09	0.7448	5 ^{to}				
3012.5	6	20.12	3.5	15.12	0.7457	6 ^{to}				
3015.0	6	20.14	3.5	15.14	0.7463	7 ^{mo}				
3017.5	6	20.16	3.5	15.16	0.7470	8 ^{vo}				
3020.0	6	20.18	3.5	15.19	0.7478	9 ^{no}	8.90	0.99	9	Superávit de volquetes
3022.5	6	20.21	3.5	15.21	0.7487	1 ^{er}				
3025.0	6	20.24	3.5	15.24	0.7497	2 ^{do}				
3027.5	6	20.27	3.5	15.27	0.7507	3 ^{ro}				
3030.0	6	20.29	3.5	15.30	0.7515	4 ^{to}				
3032.5	6	20.30	3.5	15.33	0.7522	5 ^{to}				
3035.0	6	20.32	3.5	15.35	0.7528	6 ^{to}				
3037.5	6	20.33	3.5	15.38	0.7535	7 ^{mo}				
3040.0	6	20.35	3.5	15.41	0.7543	8 ^{vo}				
3042.5	6	20.38	3.5	15.42	0.7550	9 ^{no}	8.98	1.00	9	Ensamble Perfecto
3045.0	6	20.40	3.5	15.44	0.7557	1 ^{er}				
3047.5	6	20.41	3.5	15.47	0.7563	2 ^{do}				

DISTANCIA (X)	CICLO (Y)	INCREMENTO DE VOLQUETE (Y)	Nº DE VOLQUETES (Y)	FACTOR DE ACOPLAMIENTO	Nº DE VOLQUETES (Y)	
3050.0	0.7574	3 ^{ro}				
3052.5	0.7582	4 ^{to}				
3055.0	0.7590	5 ^{to}				
3057.5	0.7598	6 ^{to}				
3060.0	0.7606	7 ^{mo}				
3062.5	0.7614	8 ^{vo}				Déficit de volquetes
3065.0	0.7621	9 ^{no}	9.07	1.01	9	
3067.5	0.7629	1 ^{er}				
3070.0	0.7637	2 ^{do}				
3072.5	0.7645	3 ^{ro}				
3075.0	0.7653	4 ^{to}				
3077.5	0.7661	5 ^{to}				
3080.0	0.7669	6 ^{to}				
3082.5	0.7677	7 ^{mo}				Déficit de volquetes
3085.0	0.7684	8 ^{vo}				
3087.5	0.7692	9 ^{no}	9.16	1.02	9	
3090.0	0.7700	1 ^{er}				
3092.5	0.7708	2 ^{do}				
3095.0	0.7716	3 ^{ro}				
3097.5	0.7724	4 ^{to}				
3100.0	0.7732	5 ^{to}				
3102.5	0.7739	6 ^{to}				
3105.0	0.7747	7 ^{mo}				Déficit de volquetes
3107.5	0.7755	8 ^{vo}				
3110.0	0.7763	9 ^{no}	9.24	1.03	9	
3112.5	0.7771	1 ^{er}				
3115.0	0.7779	2 ^{do}				
3117.5	0.7787	3 ^{ro}				
3120.0	0.7795	4 ^{to}				
3122.5	0.7802	5 ^{to}				
3125.0	0.7810	6 ^{to}				
3127.5	0.7818	7 ^{mo}				Déficit de volquetes
3130.0	0.7826	8 ^{vo}				
3132.5	0.7834	9 ^{no}	9.33	1.04	9	

3135.0	0.7842	1 ^{er}			
3137.5	0.7850	2 ^{do}			
3140.0	0.7857	3 ^{ro}			
3142.5	0.7865	4 ^{to}			
3145.0	0.7873	5 ^{to}			
3147.5	0.7881	6 ^{to}			
3150.0	0.7889	7 ^{mo}			
3152.5	0.7897	8 ^{vo}			
3155.0	0.7905	9 ^{no}			
3157.5	0.7913	10 ^{mo}	9.41	0.94	10
3160.0	0.7920	1 ^{er}			
3162.5	0.7928	2 ^{do}			
3165.0	0.7936	3 ^{ro}			
3167.5	0.7944	4 ^{to}			
3170.0	0.7952	5 ^{to}			
3172.5	0.7960	6 ^{to}			
3175.0	0.7968	7 ^{mo}			
3177.5	0.7975	8 ^{vo}			
3180.0	0.7983	9 ^{no}			
3182.5	0.7991	10 ^{mo}	9.50	0.95	10
3185.0	0.7999	1 ^{er}			
3187.5	0.8007	2 ^{do}			
3190.0	0.8015	3 ^{ro}			
3192.5	0.8023	4 ^{to}			
3195.0	0.8031	5 ^{to}			
3197.5	0.8038	6 ^{to}			
3200.0	0.8046	7 ^{mo}			
3202.5	0.8054	8 ^{vo}			
3205.0	0.8062	9 ^{no}			
3207.5	0.8070	10 ^{mo}	9.60	0.96	10
3210.0	0.8078	1 ^{er}			
3212.5	0.8086	2 ^{do}			
3215.0	0.8094	3 ^{ro}			
3217.5	0.8101	4 ^{to}			
3220.0	0.8109	5 ^{to}			
3222.5	0.8117	6 ^{to}			
3225.0	0.8125	7 ^{mo}			
3227.5	0.8133	8 ^{vo}			
3230.0	0.8141	9 ^{no}			
3232.5	0.8149	10 ^{mo}	9.69	0.97	10

Superávit
de
volquetes

Superávit
de
volquetes

Superávit
de
volquetes

Superávit
de
volquetes

3235.0	0.8156	1 ^{er}			
3237.5	0.8164	2 ^{do}			
3240.0	0.8172	3 ^{ro}			
3242.5	0.8180	4 ^{to}			
3245.0	0.8188	5 ^{to}			
3247.5	0.8196	6 ^{to}			
3250.0	0.8204	7 ^{mo}			
3252.5	0.8212	8 ^{vo}			
3255.0	0.8219	9 ^{no}			
3257.5	0.8227	10 ^{mo}	9.79	0.98	10
3260.0	0.8235	1 ^{er}			
3262.5	0.8243	2 ^{do}			
3265.0	0.8251	3 ^{er}			
3267.5	0.8259	4 ^{to}			
3270.0	0.8267	5 ^{to}			
3272.5	0.8274	6 ^{to}			
3275.0	0.8282	7 ^{mo}			
3277.5	0.8290	8 ^{vo}			
3280.0	0.8298	9 ^{no}			
3282.5	0.8306	10 ^{mo}	9.88	0.99	10
3285.0	0.8314	1 ^{er}			
3287.5	0.8322	2 ^{do}			
3290.0	0.8330	3 ^{er}			
3292.5	0.8337	4 ^{to}			
3295.0	0.8345	5 ^{to}			
3297.5	0.8353	6 ^{to}			
3300.0	0.8361	7 ^{mo}			
3302.5	0.8369	8 ^{vo}			
3305.0	0.8377	9 ^{no}			
3307.5	0.8385	10 ^{mo}	9.98	1.00	10
3310.0	0.8392	1 ^{er}			
3312.5	0.8400	2 ^{do}			
3315.0	0.8408	3 ^{er}			
3317.5	0.8416	4 ^{to}			
3320.0	0.8424	5 ^{to}			
3322.5	0.8432	6 ^{to}			
3325.0	0.8440	7 ^{mo}			
3327.5	0.8448	8 ^{vo}			
3330.0	0.8455	9 ^{no}			
3332.5	0.8463	10 ^{mo}	10.07	1.01	10

Superávit de volquetes

Superávit de volquetes

Ensamble Perfecto

Déficit de volquetes

3335.0	0.8471	1 ^{er}			
3337.5	0.8479	2 ^{do}			
3340.0	0.8487	3 ^{er}			
3342.5	0.8495	4 ^{to}			
3345.0	0.8503	5 ^{to}			
3347.5	0.8510	6 ^{to}			
3350.0	0.8518	7 ^{mo}			
3352.5	0.8526	8 ^{vo}			
3355.0	0.8534	9 ^{no}			
3357.5	0.8542	10 ^{mo}	10.17	1.02	10
3360.0	0.8550	1 ^{er}			
3362.5	0.8558	2 ^{do}			
3365.0	0.8566	3 ^{ro}			
3367.5	0.8573	4 ^{to}			
3370.0	0.8581	5 ^{to}			
3372.5	0.8589	6 ^{to}			
3375.0	0.8597	7 ^{mo}			
3377.5	0.8605	8 ^{vo}			
3380.0	0.8613	9 ^{no}			
3382.5	0.8621	10 ^{mo}	10.26	1.03	10
3385.0	0.8628	1 ^{er}			
3387.5	0.8636	2 ^{do}			
3390.0	0.8644	3 ^{ro}			
3392.5	0.8652	4 ^{to}			
3395.0	0.8660	5 ^{to}			
3397.5	0.8668	6 ^{to}			
3400.0	0.8676	7 ^{mo}			
3402.5	0.8684	8 ^{vo}			
3405.0	0.8691	9 ^{no}			
3407.5	0.8699	10 ^{mo}	10.35	1.04	10
3410.0	0.8707	1 ^{er}			
3412.5	0.8715	2 ^{do}			
3415.0	0.8723	3 ^{er}			
3417.5	0.8731	4 ^{to}			
3420.0	0.8739	5 ^{to}			
3422.5	0.8746	6 ^{to}			
3425.0	0.8754	7 ^{mo}			
3427.5	0.8762	8 ^{vo}			
3430.0	0.8770	9 ^{no}			
3432.5	0.8778	10 ^{mo}			
3435.0	0.8786	11 ^{mo}	10.45	0.95	11

Déficit de volquetes

Déficit de volquetes

Déficit de volquetes

Superávit de volquetes

3437.5	0.8794	1 ^{er}			
3440.0	0.8802	2 ^{do}			
3442.5	0.8809	3 ^{ro}			
3445.0	0.8817	4 ^{to}			
3447.5	0.8825	5 ^{to}			
3450.0	0.8833	6 ^{to}			
3452.5	0.8841	7 ^{mo}			
3455.0	0.8849	8 ^{vo}			
3457.5	0.8857	9 ^{no}			
3460.0	0.8864	10 ^{mo}			
3462.5	0.8872	11 ^{mo}	10.55	0.96	11
3465.0	0.8880	9 ^{no}			
3467.5	0.8888	10 ^{mo}			
3470.0	0.8896	1 ^{er}			
3472.5	0.8904	2 ^{do}			
3475.0	0.8912	3 ^{ro}			
3477.5	0.8920	4 ^{to}			
3480.0	0.8927	5 ^{to}			
3482.5	0.8935	6 ^{to}			
3485.0	0.8943	7 ^{mo}			
3487.5	0.8951	8 ^{vo}			
3490.0	0.8959	9 ^{no}			
3492.5	0.8967	10 ^{mo}			
3495.0	0.8975	11 ^{mo}	10.68	0.97	11
3497.5	0.8982	1 ^{er}			
3500.0	0.8990	2 ^{do}			
3502.5	0.8998	3 ^{ro}			
3505.0	0.9006	4 ^{to}			
3507.5	0.9014	5 ^{to}			
3510.0	0.9022	6 ^{to}			
3512.5	0.9030	7 ^{mo}			
3515.0	0.9038	8 ^{vo}			
3517.5	0.9045	9 ^{no}			
3520.0	0.9053	10 ^{mo}			
3522.5	0.9061	11 ^{mo}	10.78	0.98	11
3525.0	0.9069	1 ^{er}			
3527.5	0.9077	2 ^{do}			
3530.0	0.9085	3 ^{ro}			
3532.5	0.9093	4 ^{to}			
3535.0	0.9101	5 ^{to}			
3537.5	0.9108	6 ^{to}			
3540.0	0.9116	7 ^{mo}			
3542.5	0.9124	8 ^{vo}			
3545.0	0.9132	9 ^{no}			

Superávit
de
volquetes

Superávit
de
volquetes

Superávit
de
volquetes

Superávit

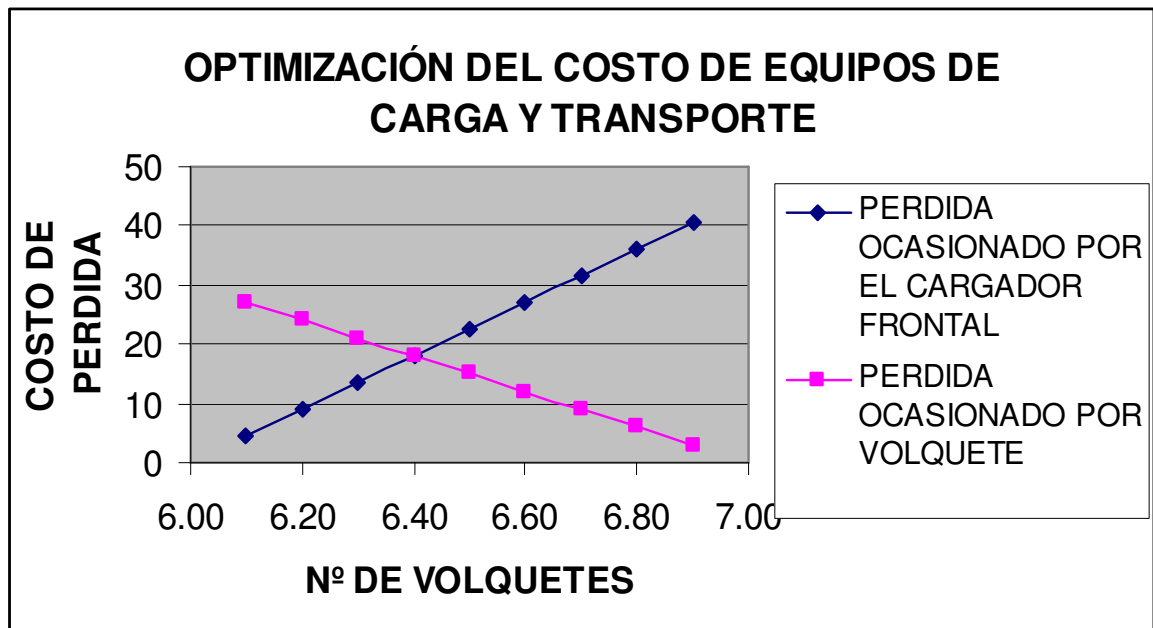
3547.5	0.9140	10 ^{mo}				de volquetes
3550.0	0.9148	11 ^{mo}	10.88	0.99	11	
3552.5	0.9156	1 ^{er}				
3555.0	0.9163	2 ^{do}				
3557.5	0.9171	3 ^{ro}				
3560.0	0.9179	4 ^{to}				
3562.5	0.9187	5 ^{to}				
3565.0	0.9195	6 ^{to}				
3567.5	0.9203	7 ^{mo}				
3570.0	0.9211	8 ^{vo}				
3572.5	0.9219	9 ^{no}				
3575.0	0.9226	10 ^{mo}				Ensamble Perfecto
3577.5	0.9234	11 ^{mo}	10.99	1.00	11	
3580.0	0.9242	1 ^{er}				
3582.5	0.9250	2 ^{do}				
3585.0	0.9258	3 ^{ro}				
3587.5	0.9266	4 ^{to}				
3590.0	0.9274	5 ^{to}				
3592.5	0.9281	6 ^{to}				
3595.0	0.9289	7 ^{mo}				
3597.5	0.9297	8 ^{vo}				
3600.0	0.9305	9 ^{no}				
3602.5	0.9313	10 ^{mo}				Déficit de volquetes
3605.0	0.9321	11 ^{mo}	11.09	1.01	11	
3607.5	0.9329	1 ^{er}				
3610.0	0.9337	2 ^{do}				
3612.5	0.9344	3 ^{ro}				
3615.0	0.9352	4 ^{to}				
3617.5	0.9360	5 ^{to}				
3620.0	0.9368	6 ^{to}				
3622.5	0.9376	7 ^{mo}				
3625.0	0.9384	8 ^{vo}				
3627.5	0.9392	9 ^{no}				
3630.0	0.9399	10 ^{mo}				Déficit de volquetes
3632.5	0.9407	11 ^{mo}	11.19	1.02	11	

3635.0	0.9415	1 ^{er}			
3637.5	0.9423	2 ^{do}			
3640.0	0.9431	3 ^{ro}			
3642.5	0.9439	4 ^{to}			
3645.0	0.9447	5 ^{to}			
3647.5	0.9455	6 ^{to}			
3650.0	0.9462	7 ^{mo}			
3652.5	0.9470	8 ^{vo}			
3655.0	0.9478	9 ^{no}			
3657.5	0.9486	10 ^{mo}			
3660.0	0.9494	11 ^{mo}	11.30	1.03	11
3662.5	0.9502	1 ^{er}			
3665.0	0.9510	2 ^{do}			
3667.5	0.9517	3 ^{ro}			
3670.0	0.9525	4 ^{to}			
3672.5	0.9533	5 ^{to}			
3675.0	0.9541	6 ^{to}			
3677.5	0.9549	7 ^{mo}			
3680.0	0.9557	8 ^{vo}			
3682.5	0.9565	9 ^{no}			
3685.0	0.9573	10 ^{mo}			
3687.5	0.9580	11 ^{mo}	11.40	1.04	11

Déficit de volquetes

Déficit de volquetes

Figura 1 Curva del punto óptimo del incremento del equipo de acarreo



ANEXO 5

Tabla1 Cálculo del valor residual del camión durante 20 años de operación.

Número años	Coef. Val. Res.	Val. Res. (%)	Val. Res. US\$
1	0.7788	77.9	598438
2	0.6065	60.7	466064
3	0.4724	47.2	362971
4	0.3679	36.8	282682
5	0.2865	28.7	220153
6	0.2231	22.3	171455
7	0.1738	17.4	133529
8	0.1353	13.5	103993
9	0.1054	10.5	80990
10	0.0821	8.2	63075
11	0.0639	6.4	49123
12	0.0498	5.0	38257
13	0.0388	3.9	29794
14	0.0302	3.0	23204
15	0.0235	2.4	18071
16	0.0183	1.8	14074
17	0.0143	1.4	10961
18	0.0111	1.1	8536
19	0.0087	0.9	6648
20	0.0067	0.7	5177