



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

“EVALUACIÓN DE RENDIMIENTOS DE EQUIPOS EN LAS OPERACIONES DE MOVIMIENTO DE TIERRAS EN EL MINADO CERRO NEGRO YANACOCCHA – CAJAMARCA”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniera Civil

Autora:

Cinthy Fiorella Malpica Quijada

Asesor:

Ing. Alejandro Cubas Becerra

Cajamarca – Perú

2014

APROBACIÓN DE LA TESIS

El asesor Ing. Alejandro Cubas Becerra y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis desarrollada por la Bachiller **Cinthy Fiorella Malpica Quijada**, denominada:

“EVALUACIÓN DE RENDIMIENTOS DE EQUIPOS EN LAS OPERACIONES DE MOVIMIENTO DE TIERRAS EN EL MINADO YANACOCCHA – CAJAMARCA”

Ing. Alejandro Cubas Becerra
ASESOR

Ing. Orlando Aguilar Aliaga
JURADO
PRESIDENTE

Ing. Gerson Quispe Rodríguez
JURADO

Ing. Alcibiades Quiroz Cueva
JURADO

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a mis padres, porque creyeron en mí y porque me sacaron adelante, dándome ejemplos dignos de superación y entrega, porque en gran parte gracias a ustedes, hoy puedo ver alcanzada mi meta, ya que siempre estuvieron impulsándome en los momentos más difíciles de mi carrera.

A mi esposo Martin por compartir conmigo el día a día con amor paciencia y cariño apoyándome y motivándome a seguir adelante.

También se la dedico a mi hijo hermoso quien ha sido mi mayor motivación para nunca rendirme en los estudios y poder llegar a ser un ejemplo para él.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Privada del Norte, en donde aprendí muchas cosas para mi formación profesional y humana.

A los docentes de la facultad de ingeniería quienes nos brindaron todos sus conocimientos teóricos y prácticos, sus consejos para desenvolvernos como buenos profesionales.

Con mucha gratitud a mi asesor, Ing. Alejandro Cubas Becerra, quien con su orientación, tiempo y dedicación, permitió la culminación del presente trabajo de investigación.

A la empresa Tolmos Espinoza García, por brindarme el acceso a Yanacocha, con lo cual pude realizar el presente proyecto de investigación.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DE LA TESIS.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE GRÁFICOS	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT	x
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Realidad problemática	1
1.2. Formulación del problema.....	2
1.3. Justificación.....	2
1.4. Limitaciones	2
1.5. Objetivos	3
1.5.1. <i>Objetivo General</i>	3
1.5.2. <i>Objetivos Específicos</i>	3
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. Antecedentes	4
2.2. Bases Teóricas	6
2.3. Definición de términos básicos	31
CAPÍTULO 3. HIPÓTESIS.....	33
3.1. Formulación de la hipótesis	33
3.2. Operacionalización de variables	33
CAPÍTULO 4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	34
4.1. Tipo de diseño de investigación.....	34
4.2. Material de estudio.....	34
4.2.1. <i>Unidad de estudio</i>	34
4.2.2. <i>Población</i>	34
4.2.3. <i>Muestra</i>	34
4.3. Técnicas, procedimientos e instrumentos.....	39
4.3.1. <i>Para recolectar datos</i>	39
4.3.2. <i>Para analizar información</i>	39

CAPÍTULO 5. RESULTADOS	40
CAPÍTULO 6. DISCUSIÓN	69
CONCLUSIONES.....	76
RECOMENDACIONES	77
REFERENCIAS.....	78
ANEXOS	79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 2.1. Porcentajes de abundamiento.....	9
Tabla N° 2.2. Factores de eficiencia E por condiciones de obra.....	10
Tabla N° 2.3. Eficiencia Horaria.....	10
Tabla N° 4.1. Técnicas e instrumentos.....	39
Tabla N° 5.1. Maquinaria Analizada.....	41
Tabla N° 5.2. Característica de la excavadora.....	43
Tabla N° 5.3. Capacidades de los cucharones de Excavadora 320C.....	43
Tabla N° 5.4. Tiempo de ciclo de la Excavadora.....	45
Tabla N° 5.5. Resumen tiempo de ciclo de la excavadora.....	46
Tabla N° 5.6. Calculo de la producción para excavadoras según manual Caterpillar.....	48
Tabla N° 5.7. Bulldozer.....	49
Tabla N° 5.8. Capacidades de Hojas topadoras.....	50
Tabla N° 5.10. Promedio del tiempo de Ciclo de Bulldozer.....	51
Tabla N° 5.11. Características de las cuchillas de Bulldozer.....	53
Tabla N° 5.12. Tipo de tractores.....	54
Tabla N° 5.13. Factores de corrección.....	55
Tabla N° 5.14. Características del cargador frontal.....	56
Tabla N° 5.15. Capacidades de cucharones de cargadora frontal.....	56
Tabla N° 5.16. Tiempo de ciclo del cargador.....	57
Tabla N° 5.17. Resumen tiempo de ciclo del cargador.....	58
Tabla N° 5.18. Tiempo de ciclo de los transportes.....	62
Tabla N° 5.19. Resumen Tiempo de ciclo de los transportes.....	63
Tabla N° 5.20. Características de Volquete.....	64
Tabla N° 5.21. Longitudes de hojas de la motoniveladora Caterpillar 140H.....	65

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N° 2.1. Excavador.....	15
Gráfico N° 2.2. Tractor de orugas.....	18
Gráfico N° 2.3. Hoja universal para tractor de orugas.....	19
Gráfico N° 2.4. Cargador frontal.....	22
Gráfico N° 2.5. Camión Scania 15 m3.....	28
Gráfico N° 2.6. Motoniveladora.....	30
Gráfico N° 2.7. Proceso de operación.....	41
Gráfico N° 2.8. Especificaciones de fabricante.....	54
Gráfico N° 2.9. Rendimiento de Cargador.....	60
Gráfico N° 2.10. Producción Horaria de motoniveladora.....	67

RESUMEN

TEMA.

“EVALUACIÓN DE RENDIMIENTOS DE EQUIPOS EN LAS OPERACIONES DE MOVIMIENTO DE TIERRAS EN EL MINADO CERRO NEGRO YANACOCCHA – CAJAMARCA”

En el presente trabajo se explica el tipo de maquinaria involucrada en trabajos de movimiento de tierra, indicando para cada caso los aspectos que se deben considerar en una maquinaria para trabajar con un material en particular. En el caso de los movimientos de tierra, la maquinaria se detalla de tal forma que el enfoque de su funcionalidad sea exclusivamente aplicado al tipo de material involucrado, nombrando las limitaciones y las características que inciden en la elección de ella, según sean las propiedades del suelo en que se trabaja.

El objetivo de la investigación fue obtener rendimientos reales de movimiento de tierras, usando maquinaria pesada, para las actividades de: carguío con excavadora, empuje con tractor sobre orugas, carguío con cargador frontal, acarreo con volquetes de 15 m³ y perfilado con motoniveladora.

Los rendimientos reales obtenidos han sido comparados con los rendimientos dados por el fabricante, identificando factores adversos propios de un proyecto minero como son: mal clima, fallas mecánicas, etc. De dicha comparación se ha logrado determinar que los rendimientos reales son menores a los indicados por el fabricante.

Con esta información se podrá enfrentar un trabajo de estimación de rendimientos para movimientos de tierra, además de encarar dichos problemas de una forma eficiente y fácil de manejar, consiguiendo finalmente modelar los casos más representativos.

Concluyendo que será una gran herramienta para aquellos ingenieros que se inicien en el área de la construcción que impliquen grandes movimientos de tierras.

ABSTRACT

Theme:

"PERFORMANCE EVALUATION OF EQUIPMENT ON EARTH MOVING OPERATIONS
IN BLACK HILL MINING YANACOCCHA - CAJAMARCA"

In this work, the type of machinery involved in earthmoving work, indicating in each case the aspects that should be considered in a machine to work with a particular material is explained. For earthworks, machinery is detailed so that the focus of its functionality is only applied to the type of material involved, naming the constraints and characteristics that affect the choice of it, depending on the properties of soil in which they work.

The objective of the research was to obtain real returns earthmoving using heavy machinery for activities: carguío bulldozer, push crawler tractor, loading front loader, dump trucks hauling with 15 m³ and profiling with grader.

The actual yields obtained were compared with the yields given by the manufacturer, identifying own adversities as a mining project are: bad weather, mechanical failures, etc. From this comparison it has been determined that the actual yields are lower than those indicated by the manufacturer.

This information may be facing a labor estimating yields for earthworks in addition to addressing those problems in an efficient and easy way to manage, finally getting to model the most representative cases.

Concluding that will be a great tool for those engineers who are initiated in the area of construction involving major earthworks.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Minera Yanacocha es una empresa dedica a la explotación aurífera que realiza sus labores de explotación en un área ubicada aproximadamente a 30km de la ciudad de Cajamarca, en la zona Nor-oriental del Perú a una elevación de 4,100 m.s.n.m.

El acceso de Cajamarca a la mina es por medio de un camino pavimentado y de grava de aproximadamente 37Km. de longitud.

En el proyecto, se realizara la construcción de accesos temporales y las actividades de perforación, voladura, carguío y acarreo de material.

En todos los proyectos de ingeniería, el valor del precio unitario para una actividad está ligado inversamente al rendimiento, en los proyectos de movimiento de tierras, el análisis de precios unitarios está compuesto únicamente por los equipos, ya que no se considera mano de obra ni material, el costo del operador está incluido en la tarifa de los equipos. Es decir, la incidencia en el costo directo depende del rendimiento propuesto y de la tarifa por hora de la maquinaria. Sin embargo se ha podido observar que existen diferencias entre los rendimientos teóricos y los rendimientos reales, lo cual trae como consecuencia variación en el cumplimiento de actividades razón por la cual; tener un rendimiento real nos permite proyectar presupuestos más ajustados a la realidad.

También la falta de información de rendimientos con maquinaria pesada en movimiento de tierras, afecta la etapa de programación, ya que no se puede determinar exactamente la fecha de hitos de entrega del proyecto. Por otro lado en la etapa de ejecución, si ya se tienen fechas de entrega establecidas o estamos atrasados en el proyecto; el no tener un rendimiento real imposibilita el hecho de dimensionar las flotas o cuadrillas a reprogramar para cumplir con plazos ya establecidos.

1.2. Formulación del problema

La pregunta que guía la investigación es:

¿Cuáles son los rendimientos de equipos en las operaciones de movimiento de tierras en el minado Cerro Negro Yanacocha - Cajamarca?

1.3. Justificación

No tener rendimientos en operaciones de equipos de movimiento de tierras para minados, trae consigo el no poder realizar presupuestos reales para los proyectos, lo cual conlleva a que en el proyecto se presenten problemas de no cumplimiento con el cronograma previsto en obra, el cronograma ejecutado no cumple con el programado; incumpliendo en hitos o entregables, perjudicando tanto al contratista (multas, mayores gastos de personal, etc.) y al cliente.

Entonces, con el rendimiento bien definido, en la etapa de ejecución el ingeniero y/o personal de campo encargado podrá controlar sus rendimientos reales de una manera más práctica que puede ser el número de viajes por hora realizados, aumentando así su productividad, cumpliendo con los entregables y sin exceder en costos.

En el presente trabajo de investigación se pretende obtener los rendimientos reales del equipo, que permita una mejor planificación.

1.4. Limitaciones

El escaso tiempo que se dispone para la toma de datos, sin embargo se tratara de obtener el número de datos que nos permitan cumplir con los objetivos del presente trabajo.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Evaluar los rendimientos de equipos en las operaciones de movimiento de tierras en el minado Cerro Negro Yanacocha.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Determinar los ciclos de los equipos en estudio.
- Determinar los rendimientos en las condiciones actuales.
- Comparar los rendimientos obtenidos en campo, con los rendimientos del fabricante.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Internacional

Edgar Palencia de la Universidad de Guatemala en su tesis “CONSIDERACIONES SOBRE LA SELECCIÓN Y CÁLCULO DE PRODUCCIÓN DE MAQUINARIA PESADA PARA EL MOVIMIENTO DE TIERRAS” dice: Cuando se hacen cálculos para un proyecto de movimiento de tierras debe tenerse en cuenta que primero se tienen que conocer las condiciones del lugar antes de proceder a la selección de maquinaria, abarcando el clima y la clase de material de que se compone el suelo ya que en función de estos factores está el tipo de maquinaria a usar.

Al trabajar en proyectos de movimientos de tierras, el renglón más importante con relación a costos es el de ejecución, el cual está influido por dos factores que son: El rendimiento de la maquinaria y el mantenimiento. Un mal mantenimiento produce pérdida de tiempo aumentando así los costos, por lo tanto se debe contar, en el proyecto, con un buen taller de reparación y un buen equipo personal. Si el rendimiento de una maquinaria es bajo, debido a que no trabaja la totalidad de tiempo o de horas adecuadas al día, produce un alza en los costos de ejecución pues llevará más tiempo en terminar la labor asignada, además se debe emplear el equipo adecuado.

Llevando un control de horas trabajadas, se puede saber cuándo se reemplazará una pieza o cuando se deben chequear cada uno de los sistemas. Lo más importante al trabajar con diferentes tipos de maquinaria, en las diferentes fases del movimiento de tierras, es lograr la mejor sincronización entre ellas para obtener así una mayor eficiencia, ahorrando tiempo y obteniendo un mejor rendimiento debido a que cada una posee un tiempo de ciclo diferente.

Rosa Osses y Alejandro Vera de la Universidad de Santiago de Chile en su tesis “FACTORES INCIDENTES EN LA DETERMINACIÓN DE COSTOS DE MOVIMIENTO DE TIERRAS Y ROCAS” expone:

Es necesario analizar las operaciones de manera detallada con el fin de detectar todos los factores que afectan positiva y negativamente. Este análisis no debe regirse al aspecto técnico únicamente sino debe ser global, con el fin de poder identificar errores o fallas en todos los aspectos relacionados con la operación, como puede ser el manejo de la administración, las condiciones laborales del personal, el apoyo logístico, el departamento de equipos, etc..

En el trabajo de movimiento de tierras, los recursos determinantes son los equipos que se utilizan, por lo que hubo que adecuar un método que permita medir la productividad de la operación en función de estos.

El método aplicado se basa en la medición de las operaciones de los equipos, divididas en fases que tienen como parámetro el tiempo en minutos. Este método puede ser aplicado a cualquier proyecto que tenga una partida de movimientos de tierras que incluya la carga y transporte de cualquier tipo de material.

El estudio de movimientos de tierra fue enfocado de tal manera que explica los tipos de maquinaria usados comúnmente dentro de obras de este tipo, para concluir con ejemplos prácticos que abarcan las posibilidades más importantes en cuanto a la inclusión de factores incidentes dentro de los costos unitarios.

De acuerdo al análisis realizado sobre los factores incidentes dentro de los movimientos de tierras se hizo necesario clasificarlos según la forma que afectarán sobre los costos unitarios finales. Así, al enfrentar un problema de estimación de precios para las partidas estudiadas se consideró que muchos de estos factores están sujetos al conocimiento del estimador.

Al investigar acerca de cada uno de estos factores, sólo fuera posible incluir dentro del análisis de precios unitarios aquellos que están sujetos a experiencias previas o a datos estadísticos acerca de cómo los precios se ven afectados de acuerdo a los posibles cambios que estos experimenten dentro de la obra, como es el caso de la calidad o dureza del terreno involucrado.

2.1.2 Nacional

No se tiene referencia de trabajos referentes a la presente tesis.

2.1.3 Local

(Cárdenas, 2011) evaluó rendimiento de movimiento de tierras con maquinaria pesada para la construcción del PAD Yanacocha VII Carachugo, en donde analizó los siguientes equipos: excavadoras, tractores, motoniveladoras y retroexcavadora.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Determinación de rendimientos

2.2.1.1. Definición

En la industria de la construcción se utiliza la palabra “producción” con el mismo significado que “rendimiento”, que el diccionario define como “la cantidad o magnitud producida, en un tiempo determinado”. Quizá una mejor definición de estas palabras puede ser, al usarse en la construcción, “el trabajo útil ejecutado”.

Matemáticamente se lo puede determinar mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Cantidad}}{\text{Tiempo}} \quad (\text{Fórmula 2.1})$$

Donde:

- Cantidad: expresado en volumen, área, longitud, unidad, etc.
- Tiempo: expresado en días, jornal, horas, etc.

2.2.1.2. Factores que intervienen en el rendimiento

Debido a la complejidad del trabajo existen múltiples factores que afectan el rendimiento, entre los más importantes tenemos:

a. Factores que tienen un efecto negativo

Son factores que influyen negativamente en el rendimiento como por ejemplo:

1. Cansancio por sobre tiempos
2. Cambios durante la ejecución del trabajo
3. Complejidad en la ejecución del trabajo
4. Congestionamiento del tránsito debido a la gran cantidad de unidades.
5. Falta de supervisión del trabajo
6. Material a transportar mal volado o en tamaños inadecuados para su transporte.
7. Condiciones climáticas inadecuadas
8. Malas condiciones en la zona de trabajo, como la escasez de iluminación.
9. Excesiva rotación del personal
10. Falta de materiales, equipos, herramientas y repuestos cuando se necesitan.
11. Falta de personal capacitado
12. Falta de motivación
13. Interrupciones no controladas (ida a los servicios, café, etc.)

b. Factores que influyen positivamente en el rendimiento

Algunos de los factores que ayudan a mejorar el rendimiento son los siguientes:

1. Capacitación del personal
2. Innovación de técnicas de operación del equipo
3. Planificación adecuada
4. Programas de motivación del personal
5. Adecuado mantenimiento de los equipos
6. Diseños de vías y zonas donde el trabajo se realiza con mayor comodidad
7. Mejor fragmentación de la roca volada
8. Planificación adecuada del mantenimiento de los equipos
9. Utilización de programas de cómputo para simular los movimientos de los equipos durante la fase de movimiento de tierras y analizar los resultados.

2.2.2. Ciclo de trabajo

Se denomina Ciclo de Trabajo a la serie de operaciones que se repiten una y otra vez para llevar a cabo dicho trabajo. Tiempo del Ciclo será el invertido en realizar toda la serie hasta volver a la posición inicial del ciclo.

Por ejemplo, en las máquinas de movimiento de tierras el tiempo de un ciclo de trabajo es el tiempo total invertido por una máquina en cargar, trasladarse y/o girar, descargar y volver a la posición inicial.

La suma de los tiempos empleados en cada una de estas operaciones por separado determina el tiempo del ciclo. En los capítulos posteriores correspondientes a las máquinas más importantes se llevará a cabo un análisis de las operaciones o fases características de cada una de ellas.

Para un resultado más preciso de la duración de un ciclo suele tomarse un valor medio, obtenido de la medición de un gran número de ciclos, mientras que un número insuficiente puede llevar a resultados erróneos, debido al cambio en las condiciones externas (material, climatología, ...)

2.2.3. Factor de abundamiento

Al excavar el material en banco, resulta removido con lo que se provoca un aumento de volumen. Este hecho ha de ser tenido en cuenta para calcular la producción de excavación y dimensionar adecuadamente los medios de transporte necesarios. En todo momento se debe saber si los volúmenes de material que se manejan corresponden al material en banco (Banco) o al material ya excavado (Suelto).

Se denomina factor de abundamiento a la relación de volúmenes antes y después de la excavación. El factor de abundamiento será tomado de acuerdo al promedio de lo siguiente:

Tabla N° 2.1. Porcentajes de abundamiento

CLASES DE TIERRA	PORCENTAJE DE ABUNDAMIENTO
ARENA O GRAVA LIMPIA	de 5% a 15%
SUELO ARTIFICIAL	de 10% a 25%
MATERIAL SUELTO	de 10% a 35%
TIERRA COMUN	de 20% a 45%
ARCILLA	de 30% a 60%
ROCA SOLIDA	de 50% a 80%

Fuente: Mecánica de suelos. FICM. 1999-2000

2.2.4. Eficiencia Horaria

Se denomina Producción óptima o “Pop” de punta a la mejor producción alcanzable trabajando los 60' de cada hora. En la práctica se trabaja sólo 45' ó 50' a la hora por lo que la producción normal “Pn” será:

$$P_n = 50/60 \times P_{op} = 0,83 P_{op} = E \times P_{op} \quad (\text{Fórmula 2.2})$$

En lo sucesivo P se referirá siempre a la Producción normal Pn.

La relación (E) entre los minutos trabajados y los 60' de una hora es lo que se denomina eficiencia horaria, tiempo productivo o factor operacional (operating factor). Los factores de los que depende la producción determinan la eficiencia horaria, como muestra la tabla 2.2.

Tabla N° 2.2. Factores de eficiencia E por condiciones de obra

CONDICIONES DE TRABAJO	Organización de obra		
	Buena	Promedio	Mala
Buena	0,9	0,75	0,6
Promedio	0,8	0,65	0,5
Mala	0,7	0,6	0,45

Fuente: Manual Caterpillar. Edición 31. (2013)

Si se consideran incentivos a la producción, sobre todo con buenos factores de organización, estos coeficientes se verán incrementados, pero en cualquier caso será difícil que alcancen valores superiores a 0,90. Por otro lado, en condiciones adversas de trabajo y organización, el tiempo real puede llegar solamente a ser el 50% del tiempo disponible.

Tabla N° 2.3. Eficiencia Horaria.

Incentivo	Organización	Min/hora	E
SI	BUENO	50	0,83
SI	MALA	42	0,70
NO	MALA	30	0,50

Fuente: Manual Caterpillar. Edición 31. (2013)

Naturalmente una máquina no trabaja sólo una hora sino varias al día durante el período que dure la obra, que puede ser de muchos meses. Esto hay que tenerlo presente al calcular la eficiencia media, y que las condiciones y la organización pueden ir cambiando con el transcurso de la obra.

2.2.5. Fundamentos de ingeniería en el movimiento de tierras

El término movimiento de tierras incluye una gama de actividades múltiples desde la nivelación para la construcción de un edificio, hasta las operaciones de corte y relleno en la construcción de una carretera, o en la explotación minera, incluso también en la construcción de una presa de grandes dimensiones.

El equipo seleccionado para el movimiento de tierras debe ser capaz de completar el trabajo dentro del tiempo establecido en el contrato. Las unidades de acarreo deben tener la capacidad suficiente tanto en tamaño como en rapidez para mover el material y así poder cumplir con el trabajo requerido dentro del plazo acordado y a la vez obtener las ganancias esperadas. El equipo de carguío deberá ser capaz de excavar y cargar la cantidad requerida para completar el proyecto en el tiempo justo.

2.2.5.1. Operaciones Básicas en el Movimiento de Tierras

Las operaciones en el movimiento de tierras empiezan con la preparación del material que va a ser movido. Esto puede incluir aflojar o soltar el material por medio de una voladura o un escarificado. También puede incluir remover el exceso de humedad, por ejemplo en una carretera esto se realiza después de limpiar la capa vegetal superior.

Luego de aflojar o preparar el material se procede a excavar o cargar. Algunos equipos de construcción pueden hacer simultáneamente el trabajo de soltar y excavar en un solo movimiento integrado. Excavar es el primer paso en el movimiento del material desde su ubicación natural, aunque se haya movido cuando se soltó el material. El material debe tener una forma y tamaño manejable, este debe encajar o entrar en el cucharón del equipo de excavación y en la tolva del equipo de acarreo. En el caso de las voladuras, las mallas de perforación deben estar bien calculadas de manera que el material volado tenga las dimensiones apropiadas para que los camiones puedan trasladarlos correctamente sin sufrir desgastes mayores a los estimados.

Luego de la excavación el material es trasladado desde su punto original de ubicación al lugar donde se almacenará para su posterior uso. La distancia de traslado puede variar desde algunos metros a varios kilómetros, por ejemplo en la excavación para un canal de irrigación, el material excavado se utiliza en la construcción del mismo. En cambio en la construcción de carreteras o presas, el volumen que se maneja es mucho mayor y el traslado del material se realiza a mayores distancias.

El término “cortar” significa remover el material desde su ubicación natural, y el término “rellenar” significa acarrear y descargar el material en el lugar indicado de acuerdo al tipo de obra. Algunas veces también estos términos se utilizan juntos como “corte y relleno” para describir la actividad conjunta de la utilización del mismo material, como se puede distinguir en el caso de construcción de carreteras.

El siguiente paso en la operación del movimiento de tierras es la descarga del material, que por lo general es vaciado para su uso final en un lugar específico. Si el material va a ser desechado, éste se vaciará y no se tocará nuevamente durante la construcción. Por otro lado si el material va a ser usado como relleno será descargado de tal forma que se pueda esparcir de una manera uniforme y compactado por otro equipo.

En resumen, la operación del movimiento de tierras se caracteriza por:

1. Soltar o aflojar el material que va a ser excavado, por medio de voladuras u otros procedimientos.
2. Excavación del material en el lugar de trabajo.
3. Acarreo o transporte del material a su destino final.
4. Descarga del material en el relleno, terraplén o en el lugar indicado de acuerdo a especificaciones de la obra.
5. Provisión del acabado final al material de acuerdo a las especificaciones de la obra.

Algunos trabajos no incluyen las operaciones de esparcimiento y compactación. Y algunos materiales pueden estar listos para la excavación sin necesidad de soltarlos o volarlos.

2.2.5.2. Tipos de equipos en el movimiento de tierras

Los siguientes equipos están diseñados para realizar el trabajo individualmente o contribuir a la realización del trabajo:

1. Tractores con accesorios como hojas de empuje, empujadoras y escarificadores.
2. Moto traíllas, auto propulsadas y remolcadas (de tiro)
3. Cargadores frontales
4. Excavadoras
5. Volquetes y camiones
6. Moto niveladora, posiblemente con escarificadores
7. Compactadora

2.2.6. Equipos utilizados en el movimiento de tierras

En este capítulo se analizarán los diferentes equipos que se utilizan en el movimiento de tierras, pero enfocados al proyecto en estudio, es decir, se analizarán la excavadora hidráulica, Bulldozer, cargador frontal, volquete, motoniveladora.

2.2.6.1. EXCAVADORA HIDRÁULICA

Las excavadoras hidráulicas son utilizadas en la excavación de la tierra y el carguío de camiones o volquetes. Estos equipos son capaces de excavar en todo tipo de terrenos, excepto roca sólida, sin necesidad de encontrarse en estado suelto.

a. Tamaño de la Excavadora Hidráulica

El tamaño de cualquier excavadora hidráulica está indicado por el tamaño del cucharón, el cual está expresado en metros cúbicos; este volumen es medido al ras del cucharón incluyendo su contorno. Este volumen al ras se compara con el volumen colmado de material en estado suelto que el cucharón puede levantar.

Debido al esponjamiento del suelo, el volumen en estado natural del material es un poco menor que el volumen del material en estado suelto. El siguiente ejemplo pertenece a la mayoría de los casos de excavación; si tenemos un cucharón con una capacidad de 8 metros cúbicos y vamos a excavar un suelo con un esponjamiento del 25%, entonces para llenar el cucharón necesitaremos $8 / 1.25 = 6.4$ metros cúbicos de suelo en estado natural. (Manual de Maquinaria de Construcción, Manuel Díaz del Río).

b. Partes Básicas y Operación de la Excavadora Hidráulica

Las partes básicas de una excavadora hidráulica incluyen el montaje (orugas o llantas), la cabina, el brazo del cucharón, el contrapeso y el cucharón.

Con una excavadora en la posición correcta, cerca de la cara del terreno a ser excavado, el cucharón se coloca en el suelo con las uñas o dentadura apuntando hacia la cara. Luego por medio de tensiones ya sea en cables (pala que opera con cables) o en pistones (pala hidráulica) se levanta e introduce el cucharón en la cara del terreno. Si la profundidad de la cara que va a ser excavada es la correcta, considerando las condiciones del terreno y la capacidad del cucharón, el cucharón se va a llenar cuando llegue al extremo superior de la cara del terreno. Si la profundidad de la cara, referida como profundidad de corte, es muy baja, no va a ser posible llenar el cucharón completamente sin el uso de tensiones y fuerzas máximas, es decir, el equipo estaría siendo sobre esforzado. En el caso que la profundidad de corte sea mayor a la que se necesita para llenar el cucharón cuando opera bajo condiciones favorables, será necesario disminuir o acortar la profundidad de penetración del cucharón en la cara del terreno si toda la cara va a ser excavada, o

al comenzar la excavación el equipo será colocado por encima del nivel del suelo a fin de disminuir la profundidad de corte.

c. Selección del Tipo de Excavadora Hidráulica

En la selección del tipo de excavadora hidráulica, debemos considerar la probable concentración de trabajo. Si en el proyecto a realizar van a existir numerosos trabajos pequeños en diferentes zonas, la movilidad de la pala es muy importante por lo que se preferiría utilizar una pala montada sobre ruedas. Si el proyecto va estar concentrado en grandes trabajos, la movilidad del equipo pierde importancia y se podría utilizar una pala montada sobre orugas. La pala montada sobre orugas usualmente es menos costosa que las palas montadas sobre ruedas y pueden operar en superficies que no sean tan firmes.



Gráfico N° 2.1. Excavadora

d. Características Incidentes en la Elección de la Máquina

Es conveniente conocer la dureza o consolidación del material a excavar o extraer para poder realizar una adecuada elección. Las dimensiones de la cuchara a elegir dependerán de diversos factores, siendo los más trascendentales.

- Si se trabaja haciendo zanjas el tamaño dependerá del ancho de la zanja que deberá ser igual al ancho de la cuchara; de la profundidad de la zanja que debe ser igual o menor que la máxima profundidad de excavación y, por último, la longitud de la zanja ya que por programación corresponderá cumplir con un metraje diario.
- En otros trabajos dependerá de la producción que tenga por hora.
- El límite del tamaño será aquel que no aumente el tiempo del ciclo de trabajo.
- La cuchara posee dos cortadores laterales los que no influyen en el rendimiento, ya que sólo sirven para excavar una zanja más ancha.
- El rendimiento de la pala varía con la calidad del terreno, siendo la variación más notoria en las palas pequeñas que en las de mayor tamaño. La variación fluctúa dentro de amplios márgenes según el tipo de material a excavar y cargar. Sin embargo, es válido otorgar una regla básica como la siguiente: por cada m³ de capacidad de cuchara, una pala carga por hora 100 m³ de material blando y 70 m³ de material duro o rocoso. Altura óptima de corte. Dependerá del tamaño de la pala y de la clase del material. Se entiende por “profundidad de corte” u “óptima cota de excavación” a aquella con la que se consigue un máximo de rendimiento en volumen excavado y la posibilidad de llenar completa y de una sola vez la cuchara.
- Influencia del ángulo de giro horizontal. La producción con respecto a un ángulo de 90° puede disminuir en un 30% si se cambia el ángulo a 180° o aumentar en un 20% al reducir el giro a 45°. Se recomienda no bajar de los 70° ni aumentar de los 90°.
- El espacio disponible. La capacidad puede quedar limitada por el espacio en que pueda moverse.
- Volumen de trabajo. Considerar el trabajo presente y el futuro, porque según la capacidad serán los años de vida útil que tenga la pala.
- Costo de producción. Es usado como última instancia en caso de no haber determinado el tamaño de la pala con los factores anteriores.

Otra forma de determinar el rendimiento es basándose en la duración del ciclo de trabajo y fijar un coeficiente de eficiencia según condiciones de cada faena. Luego, el volumen excavado por hora será:

$$R = \frac{3600 * Q * E * K}{T * FV} ; \left(\frac{m^3}{Hr} \right) \quad (\text{Fórmula 2.3})$$

Dónde:

R = Rendimiento en m³/hora (medidos en banco)

Q = capacidad o volumen del cucharón en m³

K = factor de llenado del cucharón (depende de las dimensiones y capacidad del Cucharón).

E = factor de eficiencia.

T = Tiempo de un ciclo (minutos).

FV = factor de abundamiento.

Otras tablas, específicamente de eficiencia en el trabajo y factores de llenado del cucharón en palas y dragas, se podrán encontrar en los manuales Caterpillar.

2.2.6.2. BULLDOZER SOBRE ORUGAS

Es una máquina compuesta por dos secciones: la primera, es una estructura de base constituida por un armazón soldado y robusto donde van los dispositivos de sujeción para la hoja, sistemas de rodado y tracción, rodillos para las orugas y los soportes para la estructura superior; la segunda, es la superestructura, y comprende el motor, la transmisión, el sistema hidráulico, la cabina y los controles.

Una barra estabilizadora de gran resistencia mantiene la separación de las orugas y permite su movimiento independiente para una mejor distribución del peso y mejor tracción, cuando la máquina trabaja en suelos de superficie irregular. (Manual Caterpillar).

El Bulldozer posee una hoja, la cual es rígida y de acero soldado fijada al tractor por medio de dos brazos inferiores, denominados brazos de empuje, de longitud no regulable y unida además a los brazos de empuje por medio de dos tirantes de longitud regulable. La hoja puede subir o bajar mediante un dispositivo de mando hidráulico (caso más corriente), o mecánico (caso más particular).

También la hoja se puede levantar de un lado o del otro a una altura determinada, movimiento denominado tilt o de inclinación transversal. Otra opción es colocar su borde superior hacia adelante o hacia atrás, girándose con respecto a su eje longitudinal con el objeto de atacar el terreno con el ángulo más apropiado dependiendo del trabajo a realizar; este movimiento también es llamado pith o tip.

Por otra parte, la marcha del tractor hacia adelante en combinación con el movimiento de subida o bajada de la hoja del dozer proporciona una acción de cavar y empujar que es la característica de este equipo.



Gráfico N° 2.2. Tractor de orugas

a. Herramientas de producción – Hojas Topadoras

Hoja universal U. Sus flancos son de 25 grados aproximadamente, para aumentar su capacidad y disminuir derrames. Se usa para empujar grandes cargas a distancias mayores, trabajos de restauración de terrenos, apilamiento para su posterior carga con maquinarias y alimentación de tolvas. Adecuada para manejar materiales ligeros y sueltos. Sin embargo es inferior en cuanto a producción de las hojas estándar o semiuniversales.

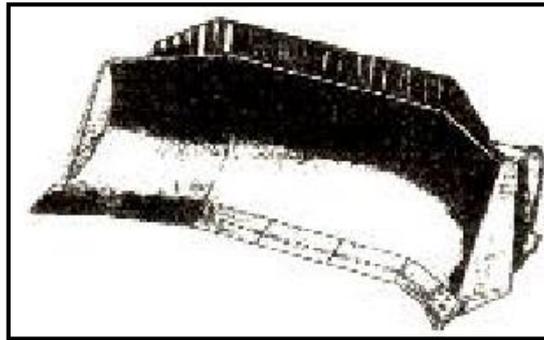


Gráfico N° 2.3. Hoja universal para tractor de orugas

b. Características Incidentes en la Elección de la Máquina

El Bulldozer es elegido por la economía que presenta en su trabajo principal, o sea, la excavación y el transporte de materiales sobre la marcha durante su ciclo de ida y vuelta. Además, el rendimiento es un factor importante al momento de elegir una máquina; por ello a continuación se describen los factores que inciden durante el trabajo de excavación, estos son:

- El tiempo empleado en el ciclo de trabajo. Depende del estado de conservación del equipo, de la distancia de acarreo, de la velocidad de cambio de marcha, de la velocidad de retroceso y principalmente de la pericia del operador.
- Cantidad de tierra que pueda empujar. Depende del tamaño de la hoja y del estado de conservación del motor del tractor.
- Naturaleza del terreno. Estos pueden ser: dureza, facilidad a la rodadura, esponjamiento, densidad, humedad.
- De los tiempos perdidos o empleados en otras actividades que no sean excavar.
- Cabe mencionar que los volúmenes de tierra movidos por el Bulldozer son m³ de tierra suelta; luego, si se quiere obtener los m³ de excavación a que se refieren las especificaciones del proyecto, volumen en sitio, se debe considerar el esponjamiento.

El rendimiento (R) de excavación por hora del Bulldozer se obtiene de:

$$R = \frac{60 * E * Q * K}{T * FV} ; \left(\frac{m^3}{Hr} \right) \quad (\text{Fórmula 2.4})$$

Dónde:

R= Rendimiento en m³/hora (medidos en banco)

E= Eficiencia general

Q=capacidad de carga de la cuchilla en m³

K= coeficiente de carga

FV= factor de abundamiento

T= Tiempo de un ciclo.

El coeficiente de eficiencia es el porcentaje de tiempo efectivo de trabajo de cada jornada. E valor debe ser un promedio obtenido en meses de trabajo en condiciones semejantes. Los factores que intervienen en la determinación de este coeficiente dependen de las condiciones personales (como organización de la faena, eficiencia y responsabilidad del operador, etc.), factores imprevisibles (cambios en la calidad del terreno, deterioro del equipo).

Los Bulldozer también son elegidos por su versatilidad, usándose frecuentemente en desmonte de la capa superficial del suelo, eliminación de la vegetación, excavación de capa poco profunda, mantenimiento de caminos, abrir caminos de acceso, extensión y nivelación, escarificado, entre otras actividades.

c. Actividades varias

Además de los trabajos de excavación el bulldozer puede, bajo ciertas condiciones, ser utilizado en: relleno de zanjas, esparcimiento de material, nivelaciones de terrenos, extracción de los derrumbes de los cortes en camino, construcción de diques bajos, extraer capas superficiales de suelos o depósitos, excavar pozos para almacenar agua.

2.2.6.3. CARGADOR FRONTAL

Conocido también como pala cargadora, existe sobre orugas o ruedas y sólo está diseñado para excavar material desde acopio y cargar a unidades de transporte. Puede ser empleado para la excavación de posición fija y con transporte a pequeñas distancias (10 a 20 m.) en suelos relativamente sueltos.

a. Características Incidentes en la Elección de la Máquina

Las características que marcarán la elección de una cargadora con orugas, se presentarán como ventajas y desventajas de la misma. Estas son:

Ventajas:

- Es considerada como una verdadera excavadora. De hecho está diseñada para hacerlo.
- Ofrece mayor potencia de tracción, por lo tanto, se desenvuelven mejor en condiciones más duras.
- Es estable en superficies blandas y fangosas, lo que se transforma en un mejoramiento de la producción y rendimiento.

Desventajas o limitaciones:

- Poseen capacidades de cucharas hasta de 7 m³.
- Son antieconómicas cuando la distancia entre los puntos de excavación y descarga es mayor a 80 metros.
- Posee una baja velocidad de desplazamiento.

Cargadores sobre ruedas

Son muy distintos a los cargadores sobre orugas, ya que su diseño proviene del tractor agrícola. Este diseño ha evolucionado a una forma que consiste en un chasis articulado con el motor montado sobre las ruedas traseras y la cabina sobre el chasis delantero o sobre el trasero, según lo prefiera el fabricante. Este tipo de máquina posee un dispositivo articulado que otorga a la cargadora buenas condiciones de

maniobrabilidad; lo anterior facilita el giro en planta de 40° del chasis con respecto a la dirección de avance, lo que permite el trabajo de la máquina con un radio de giro relativamente pequeño.

La potencia de este equipo es entregada por el motor diesel a través de un convertidor de torsión y sistema de transmisión para el movimiento de las ruedas. Normalmente se manejan con tracción en las cuatro ruedas, para ello éstas deben ser del mismo tamaño; sin embargo, la mayoría de los modelos trabaja con dos ruedas tractoras. La tracción trasera es apta para cuando se esté excavando (situaciones muy esporádicas); así mismo, la delantera es más adecuada para cuando se esté transportando material a cucharón lleno. La mayoría de estas máquinas tiene el eje delantero fijo, y el eje trasero tiene la posibilidad de oscilar $\pm 15^{\circ}$ respecto a la horizontal, es decir, tiene un total de 30° que permiten sortear de mejor forma los accidentes que pueda presentar el suelo. Tanto los cargadores con orugas o ruedas pueden realizar similares tareas. Son usadas básicamente para cargar material suelto o para excavar a nivel de las orugas o de las ruedas en suelos relativamente sueltos.



Gráfico N° 2.4. Cargador frontal

Algunos de los métodos para cargar son:

- Carga en V. Es un método eficaz adoptado corrientemente cuando camiones o dumpers son capaces de adoptar posiciones adecuadas.

- Carga lateral. No se requiere el giro de la cargadora y se usa principalmente para rellenar zanjas o para descargar en zonas muy próximas. Este tipo de carga no es usada frecuentemente en obras de construcción en general.

Características Incidentes en la Elección de la Máquina

Las características que marcarán la elección de una cargadora con ruedas, se presentarán como ventajas y desventajas de la misma. Estas son ventajas:

- Adecuadas para entregar servicios de acopios y para excavar en suelos sueltos.
- Puede tolerar capacidades de cucharas mayores a 30 m³.
- Desarrolla velocidades más altas que los cargadores sobre orugas, por lo que puede transportar hasta distancias de 200 metros.
- Se desplaza sobre carreteras pavimentadas sin causar daños.
- Es más móvil y manejable.

El rendimiento es calculado con la siguiente fórmula:

$$R = \frac{60 * Q * K * E}{T * FV} ; \left(\frac{m^3}{Hr} \right) \quad (\text{Fórmula 2.5})$$

Dónde:

R = Rendimiento en m³/hora (medidos en banco)

Q = capacidad nominal del cucharón en m³

K = factor de llenado del cucharón.

E = factor de rendimiento de trabajo.

T = Tiempo de un ciclo (minutos).

FV = factor de abundamiento

2.2.6.4. EQUIPOS DE ACARREO Y TRANSPORTE

Los volquetes y camiones son usados para transportar tierra, agregados, roca, y otro tipo de materiales para la realización de proyectos de construcción. También se cuenta como unidades de acarreo los tractores con vagón. El camión de volteo más común es el volquete que por lo general lleva material suelto e hinchado.

Los camiones cumplen una labor eficiente en el transporte de tierra, agregados, roca, mineral y otros materiales. Estas unidades de acarreo cumplen un óptimo trabajo ya que se desplazan a velocidades relativamente altas y a la vez pueden trasladar grandes volúmenes de material.

Los camiones se pueden clasificar por lo siguiente:

- Tamaño y tipo de motor – gasolina, diesel, butano, propano.
- Número de velocidades (cambios de velocidad)
- Tipos de manejo – dos ruedas, cuatro ruedas, seis ruedas, etc.
- Número de ruedas y ejes.
- Métodos de descarga - descarga posterior, descarga lateral
- Tipo de material a transportar – tierra, roca, mineral, etc.
- Capacidad, en toneladas o metros cúbicos

a. Camiones tipo de motor

Además, según la capacidad de tonelaje transportado se puede clasificar en camiones para carreteras y para fuera de carreteras.

Una adecuada combinación de los factores mencionados ayudará a seleccionar al equipo que más se adecue a las condiciones de una faena en específico.

Los camiones que transitan por los caminos tienen velocidades mayores a los 70 km/h, pero los destinados a trabajos pesados en faena de hasta 60 km/h. Los camiones utilizados para el transporte de la tierra excavada, son normalmente del tipo de vertido trasero. Sin embargo, son tres los sistemas de volteo de material.

- Volteo posterior. Se adaptan a cualquier tipo o tamaño de camión, cargando cualquier tipo de material. Los que cargan roca están implementados con una caja más reforzada o de doble fondo y no cuentan con puerta posterior; el fondo se levanta en la última parte para que suelte el material. Puede trabajar en áreas pequeñas y vaciar fácilmente al borde de botaderos o en tolvas. El mecanismo de volteo consiste en un pistón accionado por una presión de aceite, la que es suministrada por una bomba conectada a una toma fuerza que traen los camiones en la caja de cambio. Su única limitación es que no puede vaciar al borde de caminos angostos por no poder estacionarse.
- Volteo lateral. Tiene las mismas aplicaciones que el volteo posterior más la posibilidad de vaciar material en caminos angostos. Uno de los problemas que se presentan es que al vaciar en terrenos planos, el material se escurre bajo las ruedas y las traseras deben transitar sobre él produciendo su deterioro. Su capacidad de acomodarse para vaciar y la descarga propiamente tal, son más rápidas que con el volteo posterior.
- Volcamiento por el fondo (vagones). Utilizado para el carguío de cualquier terreno que no contenga piedras de gran tamaño; no sirven para cargar roca partida, porque el impacto es recibido directamente por el mecanismo de puertas que forman el fondo de la tolva. Se caracterizan porque su vaciamiento es rápido y sobre la marcha.

Los camiones preferiblemente deben poseer tracción en las cuatro ruedas, para que sean capaces de vencer condiciones difíciles del terreno y circular con cierta rapidez sobre carreteras pavimentadas.

Los camiones sustentados sobre dos ejes son más aceptados, ya que permiten una mejora en el manejo y reducción el círculo de giro; la carga del eje trasero, cuando la carga es importante, tiende a ser más alta que en los camiones de tres ejes. Sin embargo, en la actualidad, los neumáticos de gran tamaño montados sobre ruedas

gemelas son capaces de soportar esas grandes cargas, lo que hace al camión de dos ejes un vehículo versátil en cualquier circunstancia, excepto cuando el suelo es muy blando.

Los vehículos de tres ejes solamente resultan indispensables cuando la capacidad del suelo es limitada, tal como ocurre en arcillas y suelos de grano fino. Estos camiones son más costosos que los de dos ejes, debido a la dificultad de acoplar las ruedas de un gran diámetro en un chasis relativamente corto.

b. Características Incidentes en la Elección de la Máquina

La elección del sistema de transporte, depende de muchos factores, entre ellos se pueden nombrar:

- Clase de material a transportar.
- Volumen del material a transportar.
- Tiempo disponible.
- Tipo y capacidad del equipo de carguío.
- Forma y amplitud de lugares de carga y descarga.
- Condiciones de operación, ya sea distancia de transporte, calidad y gradientes del camino.

Los camiones representan la unidad de transporte que puede llegar a mayor distancia, sin embargo, en general cada kilómetro adicional a una distancia de 10 km, significa un costo importante en el movimiento y transporte de tierras. Con respecto a la elección del tamaño del camión, se puede decir que este suele estar entre 3 a 10 veces el tamaño de la cuchara cargadora, siendo 5 un valor medio. Pero la elección final del tamaño del camión a utilizar dependerá de la experiencia adquirida de otras obras u obras anteriores, con suelos de características diversas y con distintos tipos de equipos de maquinarias.

Como ya se mencionó, existen distintos tipos de tamaños de camiones, pudiéndose dividir en unidades pequeñas y unidades de gran tamaño. Las unidades pequeñas presentan ventajas y desventajas, las que pueden influir al momento de su elección:

Ventajas:

- Fáciles de maniobrar.
- Desarrollan mayores velocidades.
- Existe una menor pérdida de producción cuando una unidad queda fuera de servicio.
- Facilitan el ajuste del número de vehículos con la producción del equipo de carguío, lo que implica menos cantidad de tiempo ocioso entre equipos de carguío y transporte.

Desventajas:

- Hay más dificultad para cargar unidades pequeñas que grandes, lo que se traduce en un menor rendimiento del equipo de carga.
- Se necesitará un mayor número de operadores.
- Habrá más unidades trabajando, lo que produciría una mayor congestión en lugares de carga y descarga. Además de significar un mayor capital invertido.
- Se incrementarán los gastos de mantenimiento y reparación, así como los gastos por stock de repuestos.

El rendimiento de un camión será igual a la cifra promedio resultante de m³/hrs transportado en un largo período y depende de: la capacidad del camión, esponjamiento del suelo, tiempo empleado en el ciclo de trabajo y de la eficiencia de la administración de la faena. Sera calculado con la siguiente formula.

$$R = \frac{Q * 60 * E}{T} ; \left(\frac{m^3}{h} \right) \quad (\text{Fórmula 2.6})$$

Dónde:

R= Rendimiento en m³/hora (medidos en banco)

Q=capacidad de la máquina en m³

E= factor de rendimiento de Trabajo.

T= Tiempo empleado en un ciclo completo (minutos).

El tiempo de un ciclo completo será.

$$T=T_1+T_2+T_3+T_4 \quad (\text{Fórmula 2.7})$$

Dónde:

T1.- Tiempo empleado en maniobras de acomodo.

T2.- Tiempo de Carga.

T3.- Tiempo Empleado en acarrear el material.

T4.- Tiempo empleado por la maquina vacía durante el regreso.

Las etapas del ciclo de trabajo son: carguío del camión, viaje de ida, descarga, viaje de regreso, colocación.



Gráfico N° 2.5. Camión Scania 15 m³

2.2.6.5. Motoniveladora

La motoniveladora se creó con la finalidad de perfilar explanadas, superficies de la subbase y bases de las carreteras, así como los desmontes y rellenos, para igualar los taludes de las presas de tierra y conservar los caminos de arrastre de las obras.

Últimamente, se está empleando con mayor frecuencia motoniveladoras de tres ejes, ya que se ha demostrado la necesidad de máquinas más robustas y pesadas, debido a que deben soportar un potente motor y proporcionar una mayor tracción.

Las motoniveladoras están compuestas por un bastidor, el cual lleva el motor, la transmisión, la cabina del operario y los controles. En la parte delantera del bastidor, las ruedas soportan una viga puente de donde cuelga la cuchilla. En algunos casos la viga va unida mediante un pivote al chasis trasero, lo que permite girar en un círculo reducido, tener mayor manejabilidad y avanzar con el bastidor en ángulo en relación con el sentido de la marcha. En otros casos, la unión es rígida y el control de dirección sólo es posible en el eje delantero. El diseño de este tipo de máquinas permite dos posiciones de las ruedas delanteras: una en donde ellas se inclinan hasta unos 15° a cada lado de la vertical para resistir los empujes laterales cuando, por ejemplo, la hoja vertedera trabaja en posición inclinada; otra, en que trabajen en diferentes niveles para re perfilar pequeños taludes, excavar cunetas, establecer peraltes, y otras tareas análogas. La combinación de ambas posiciones permite que la dirección pueda controlarse sin necesidad de una concentración excesiva por parte del conductor, liberando así su atención a favor del manejo de la hoja vertedera.

Su función es básicamente nivelar y perfilar ya sea un plano horizontal, un talud o una cara vertical; por otra parte es también utilizado en la construcción de cunetas y relleno de zanjas y desniveles. La nivelación y re perfilado, en un plano horizontal, se hace con la hoja centrada o girada hacia un lado u otro. Si la hoja se coloca horizontal pero con un cierto ángulo respecto a la marcha, el material se amasará hacia el extremo de la hoja y formará un cordón continuo de acopio de material. Por el contrario, con la hoja perpendicular a la marcha sólo se obtiene la extensión o re perfilado del material.

La construcción de cunetas se logra cuando la hoja vertedera se inclina, tanto en planta como respecto a la vertical, y se coloca de forma que sobresalga un poco de las ruedas, por el lado de la cuneta a excavar. Con esto se logra un caballón o cordón a lo largo del borde de la cuneta. En cuanto a la operación de relleno de zanjas o desniveles se logra de forma similar a la confección de un cordón.



Gráfico N° 2.6. Motoniveladora

a. Características Incidentes en la Elección de la Máquina

Es característica en las obras viales ya que es muy eficaz por su rapidez y maniobrabilidad. También por la cuchilla que posee, porque corta el terreno y luego lo nivela, ya sea por capas o pasadas. Por otra parte, al existir la posibilidad de agregar otros dispositivos, es viable el desarrollo de otras actividades.

b. Calculo del rendimiento de la Motoniveladora es:

$$T = \frac{D * N}{V * E} \quad (\text{Fórmula 2.8})$$

Dónde:

- T.- Tiempo requerido para efectuar el trabajo
- D.- Distancia recorrida en cada pasada.
- N.- Número de pasadas que se requiere para realizar el trabajo.
- V.- velocidad de operación (Km/hr)
- E.- factor de rendimiento de trabajo.

2.3. Definición de términos básicos

2.3.1. Carguío

Es la acción de cargar los equipos de acarreo, utilizando equipos de alta capacidad, como excavadoras hidráulicas, cargadores frontales, palas, etc.

2.3.2. Acarreo o transporte

Consiste en transportar diferentes tipos de materiales (desmote, mineral, cobertura orgánica, roca, etc), sobre un camión o volquete por rutas ya establecidas, desde la zona de carguío hasta la zona de descarga.

2.3.3. Empuje

El empuje en el botadero se lo realiza según el diseño establecido en los planos y de acuerdo con los requerimientos descritos en las especificaciones. El empuje se lo realiza con tractor y consiste en esparcir de forma pareja el material dejado por los volquetes en las zonas de descarga, se tendrá en cuenta los límites de descarga dejados por topografía cuando se empuje el material descargado.

2.3.4. Banco de material

Zona donde se encuentra el material hacer cargado y acarreado, ya sea como mineral o desmote, en el cual es necesario conocer las clases de suelos existentes en la zona, así como el volumen aproximado de material o materiales, que pueden ser extraídos, removibles y utilizables.

2.3.5. Material mineral

Material con buena cantidad de mineral, la cual es llevada a las pilas de lixiviación o PAD's, para luego ser procesadas. Es de este material de donde se extraen el oro y plata (DORE).

2.3.6. Material desmonte

Material con poca o ninguna cantidad de mineral, no siendo rentable llevarlos a la etapa de producción. Este material es llevado a depósitos de desmonte, para finalmente hacer los trabajos de cierre de minas – reclamaciones finales.

2.3.7. Talud

Cualquier superficie inclinada respecto a la horizontal que adopten permanentemente las masas de tierra. Estas pendientes pueden ser naturales o construidas según diseño.

2.3.8. Material en banco

Es el estado en que se encuentra un material que no ha tenido ningún tipo de perturbación inherente al proceso.

2.3.9. Material suelto

Es el estado en que se encuentra un material que ha tenido, al menos, una perturbación generada por cualquiera de las actividades propias del proceso.

2.3.10. Rendimiento

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

2.3.11. Movimiento de tierras

El término movimiento de tierras incluye una gama de actividades múltiples desde la nivelación para la construcción de un edificio, hasta las operaciones de corte y relleno en la construcción de una carretera, o en la explotación minera, incluso también en la construcción de una presa de grandes dimensiones.

CAPÍTULO 3. HIPÓTESIS

3.1. Formulación de la hipótesis

Los rendimientos en las operaciones de equipos de movimiento de tierras en el minado Cerro Negro – Yanacocha son menores a las especificaciones del fabricante.

3.2. Operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	INDICADORES	UNIDADES
Rendimiento	El rendimiento puede definirse como una medición de la eficiencia con la que los recursos se administran para completar un trabajo específico, dentro del tiempo establecido y con la calidad acordada. Es decir, el rendimiento comprende tanto la eficiencia como la efectividad, ya que de nada sirve generar y transportar volúmenes de gran tamaño a la maquinaria que se esté usando y que esta se vea afectada y genere atrasos en los transportes en el flujo de camiones hacia la misma y hacia la obra.	Cantidad	M ³
		Tiempo	Horas
Movimiento de tierras	El termino movimiento de tierras con ayuda de maquinaria se refiere a una gama de actividades múltiples que van desde la nivelación para la construcción de un edificio, hasta las operaciones de corte y relleno en la construcción de una carretera, autopista, pasos a desnivel o en la explotación de una cantera; incluso también en la construcción de una presa de grandes dimensiones.	Corte: Excavación general de suelos.	M ³
		Relleno: Transporte de los suelos. Construcción de rellenos o terraplenes.	M ³

CAPÍTULO 4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Tipo de diseño de investigación.

Puede ser:

a. Descriptivo

Ha sido de tipo descriptiva; debido a que se está conociendo las diferentes características a través de una descripción exacta de las actividades que han realizado la maquinaria pesada utilizada.

b. Transversal:

Ha sido de tipo seccional descriptivo, puesto que las variables han sido observadas en sus componentes naturales en el tiempo estipulado, con el propósito de indagar la incidencia que tiene y los valores que manifiestan las variables.

4.2. Material de estudio.

4.2.1. Unidad de estudio.

Equipos para movimiento de tierras

4.2.2. Población.

Se considera a todos los tiempos por ciclo, para el movimiento de tierras ejecutado por la empresa Tolmos Espinoza García en el Yacimiento Minero Yanacocha.

4.2.3. Muestra.

Se tomó como muestra los tiempos por ciclo de cada maquinaria.

4.2.3.1. Determinación del Número de Observaciones para los Equipos

En este punto se analizará cuántas observaciones se necesitan por el método de muestreo aleatorio medio.

1. Excavadora

Tamaño de Muestra (Media)

Con reemplazo

Desviación Estándar: $S = 3.78$

Nivel confianza: $g = 97 \%$

Error de muestreo: $e = 2$

$$n = \left(\frac{ZS}{e} \right)^2 \quad Z = 2.17$$

$$n = 16.87 \rightarrow 17$$

Para saber si la población es finita se aplica la regla: "Si $(n/N) > 10\%$ la Población es Finita.

Población $N = 480$

Muestra $n = 17$

$$\frac{n}{N} (100) = 3.542 \rightarrow \text{Población Infinita}$$

Calculamos primero n_0 . Si $n_0/N < 5\%$, entonces, n_0 es el tamaño óptimo. Si $n_0/N > 5 \%$ se realiza la corrección del valor con la expresión para n

$$\frac{n_0}{N} < 5\% = 0.0354$$

$$n = \frac{n_0}{1 + \frac{n_0}{N}} \quad n = 16.418511 \rightarrow \mathbf{17}$$

2. Tractor de orugas

Tamaño de Muestra (Media)

Con reemplazo

Desviación Estándar: $S = 4.320$

Nivel confianza: $g = 95 \%$

Error de muestreo: $e = 2$

$$n = \left(\frac{ZS}{e} \right)^2 \quad Z = 1.96$$

$$n = 17.92 \rightarrow \mathbf{18}$$

Para saber si la población es finita se aplica la regla: "Si $(n/N) > 10\%$ la Población es Finita.

Población $N = 480$

Muestra $n = 18$

$$\frac{n}{N} (100) = 3.750 \rightarrow \text{Población Infinita}$$

Calculamos primero n_0 . Si $n_0/N < 5\%$, entonces, n_0 es el tamaño óptimo. Si $n_0/N > 5 \%$ se realiza la corrección del valor con la expresión para n

$$\frac{n_0}{N} < 5\% \quad = 0.0375$$

$$n = \frac{n_0}{1 + \frac{n_0}{N}} \quad n = 17.349398 \rightarrow \mathbf{18}$$

3. Cargador Frontal

Tamaño de Muestra (Media)

Con reemplazo

Desviación Estándar: $S = 2.535$

Nivel confianza: $g = 97 \%$

Error de muestreo: $e = 2$

$$n = \left(\frac{ZS}{e} \right)^2 \quad Z = 2.17$$

$$n = 7.57 \rightarrow \mathbf{8}$$

Para saber si la población es finita se aplica la regla: "Si $(n/N) \cdot 100 > 10\%$ la Población es Finita.

Población $N = 480$

Muestra $n = 8$

$$\frac{n}{N} (100) = 1.667 \rightarrow \text{Población Infinita}$$

Calculamos primero n_0 . Si $n_0/N < 5\%$, entonces, n_0 es el tamaño óptimo. Si $n_0/N > 5 \%$ se realiza la corrección del valor con la expresión para n

$$\frac{n_0}{N} < 5\% = 0.0167$$

$$n = \frac{n_0}{1 + \frac{n_0}{N}} \quad n = 7.868852 \rightarrow \mathbf{8}$$

4. Volquete

Tamaño de Muestra (Media)

Con reemplazo

Desviación Estándar: $S = 4.305$

Nivel confianza: $g = 95 \%$

Error de muestreo: $e = 2$

$$n = \left(\frac{ZS}{e} \right)^2 \quad Z = 1.96$$

$$n = 17.80 \rightarrow \mathbf{18}$$

Para saber si la población es finita se aplica la regla: "Si $(n/N) \cdot 100 > 10\%$ la Población es Finita.

Población $N = 480$

Muestra $n = 18$

$$\frac{n}{N} (100) = 3.750 \rightarrow \text{Población Infinita}$$

Calculamos primero n_0 . Si $n_0/N < 5\%$, entonces, n_0 es el tamaño óptimo. Si $n_0/N > 5 \%$ se realiza la corrección del valor con la expresión para n

$$\frac{n_0}{N} < 5\% = 0.0375$$

$$n = \frac{n_0}{1 + \frac{n_0}{N}} \quad n = 17.349398 \rightarrow \mathbf{18}$$

4.3. Técnicas, procedimientos e instrumentos.

4.3.1. Para recolectar datos.

La técnica aplicada fue la observación directa y datos obtenidos en el campo, el instrumento utilizado fue la Ficha de Campo.

Tabla N° 4.1. Técnicas e instrumentos

TÉCNICAS	INSTRUMENTOS
Observación directa y la toma de datos obtenidos en campo.	Tablas para toma de tiempos de ciclo.
	Cuaderno de Notas.
	Registro fotográfico.

Fuente: Elaboración Propia

Obtenidos los datos generales se realizaron los cálculos que reflejan los resultados del estudio.

4.3.2. Para analizar información.

- Visita y recorrido respectivo al sector en estudio.
- Investigación de campo con fichas de observación y fotografías.
- Tabulación de los datos de tiempo de procesos constructivos de las maquinarias en estudio y determinación del tiempo de ciclo.
- Análisis e interpretación de resultados relacionados con las diferentes partes de la investigación, especialmente con los objetivos y la hipótesis.

CAPÍTULO 5. RESULTADOS

5.1. PROCESO DE OPERACIÓN

5.1.1. Excavación y carguío de volquetes

Esta actividad consiste en la excavación y carguío del material que se encuentra en la zona del proyecto, empleando para ello una excavadora CAT 320 C, según los metrados descritos en el presupuesto. Esta actividad considera los trabajos de conformación de plataforma de carguío para los equipos y todas las facilidades necesarias para efectuar la tarea.

5.1.2. Acarreo

Esta actividad consiste en el transporte del material (mineral, desmonte, relleno, Soil Liner, Protection Liner (PL), Drenaje Liner (DL), Roca, Excedentes, Lastre, Topsoil, Material Común, etc) desde el punto de origen (plataforma de carguío) hasta el punto de destino (descarga).

5.1.3. Descarga

Esta actividad consiste en descargar el material en los puntos de descarga. (Botadero o Pad).

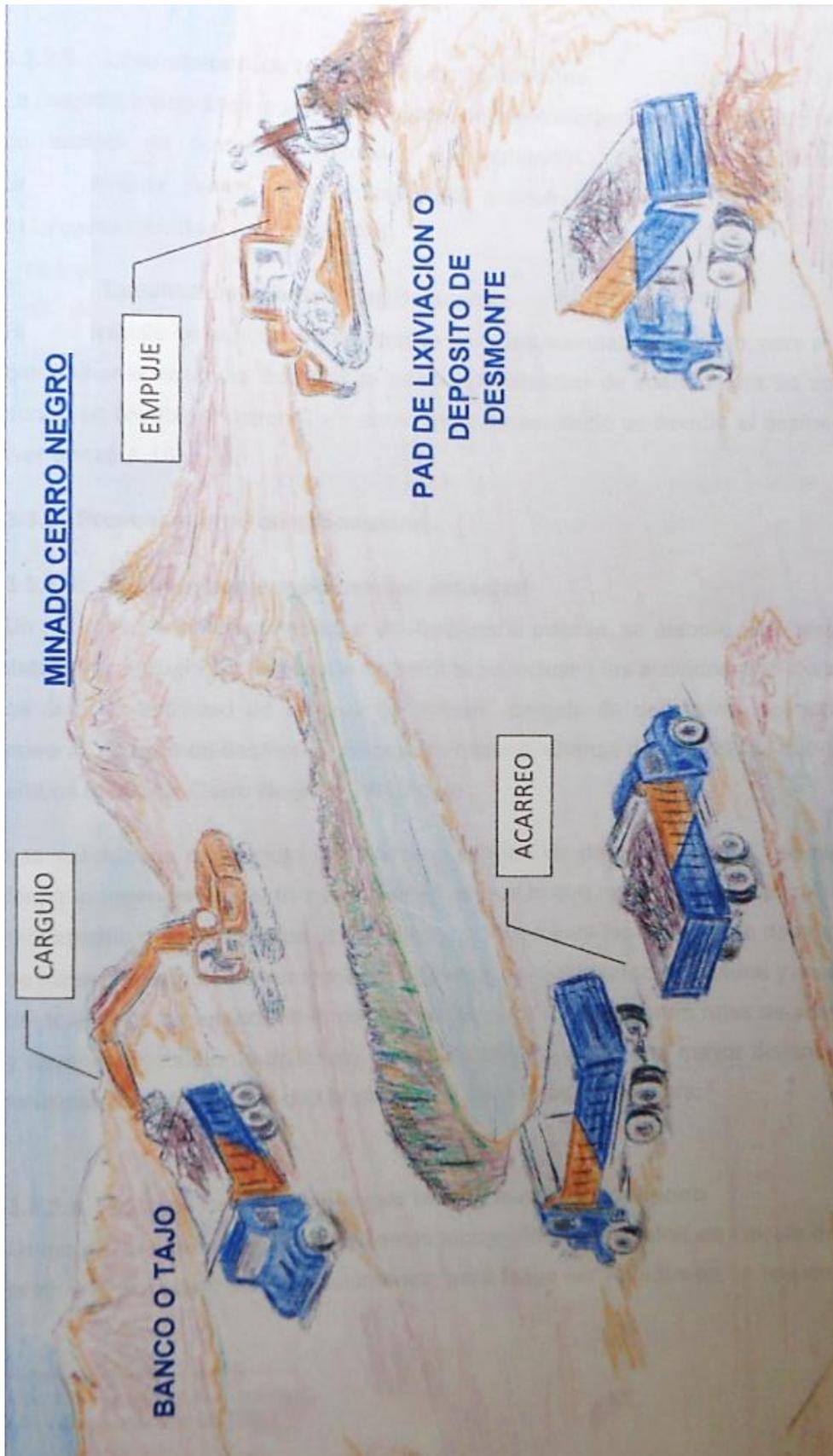
5.1.4. Empuje

El empuje en el botadero se lo realiza según el diseño establecido en los planos y de acuerdo con los requerimientos descritos en las especificaciones. El empuje se lo realiza con tractor y consiste en esparcir de forma pareja el material dejado por los volquetes en las zonas de descarga, se tendrá en cuenta los límites de descarga dejados por topografía cuando se empuje el material descargado.

5.1.5. Corte y Nivelación

En esta actividad se realiza el corte y nivelación de las rasantes y subrasantes.

Gráfico N ° 2.7. Proceso de operación



5.2. EQUIPO A UTILIZAR

El análisis de este proceso constructivo está enfocado específicamente al análisis de los tiempos que le lleva a cabo a la maquinaria realizar los trabajos encomendados para los cual tenemos el siguiente listado de maquinaria en obra.

Tabla N° 5.1. Maquinaria Analizada.

N ° Equipo	Maquinaria	Características
1	Bulldozer	Cat D8R
1	Cargador Frontal	Cat 950H C7 con capacidad de 3.5 m ³
1	Excavadora	Cat 320C con capacidad de 1.3 m ³
1	Volquete	Volvo 15 m ³
1	Motoniveladora	Cat 140H

Autor: Malpica C. Ingeniería Civil. (2014)

Rendimientos de las principales máquinas

A.- Rendimiento de excavadora.

Únicamente se les incluyen para este estudio a los equipos que trabajan con cucharón. Los factores que se toman en cuenta para el cálculo del rendimiento son el tipo de material, altura del corte, dimensiones del equipo.

Por lo tanto, según la fórmula 2.3, el rendimiento de esta máquina es:

$$R = \frac{3600 * Q * E * K}{T * FV} ; \left(\frac{m^3}{Hr} \right)$$

Dónde:

R = Rendimiento en m³/hora (medidos en banco)

Q = capacidad o volumen del cucharón en m³

K = factor de llenado del cucharón (depende de las dimensiones y capacidad del Cucharón).

E = factor de rendimiento de la máquina.

T = Tiempo de un ciclo (segundos).

FV= factor de abundamiento.

Capacidad o Volumen del Cucharón (Q).-Será tomada del manual de rendimientos de maquinaria Caterpillar.

Tabla N° 5.2. Característica de la excavadora

N° Equipo	Maquinaria	Características	Capacidad del cucharón. (m ³)
1	Excavadora	Cat 320 C	1.3

Autor: Malpica C. Ingeniería Civil. (2014)

A continuación se muestra las capacidades de los cucharones:

Tabla N° 5.3. Capacidades de los cucharones de Excavadora 320C

Cucharones de Excavadora Hidráulica 320C/320CL	
Profundidad máxima de excavación	Capacidad de la excavación
7,66 m	1,00 m ³
5,84 m	1,30 m ³
11,88 m	0,45 m ³

Fuente: Manual Caterpillar. Edición 31. (2013)

Factor de llenado del cucharón (K).-Será considerado debido al material que en este caso es un conglomerado. Entonces el valor será calculado de la siguiente forma:

$$k = \frac{1}{1 + \%Esponjamiento}$$

$$k = \frac{1}{1 + 0.20}$$

$$K= 0.83$$

Eficiencia: tomaremos el valor regular debido a los tiempos efectivos de trabajo.

$$E=50 \text{ mín. } /60 \text{ mín.}$$

$$E=0.83$$

El factor de abundamiento es $FV=20\%$

Tiempo de Ciclo en minutos (T): Se tomaron tiempos del ciclo de la excavadora para cuando ésta explota el terreno y a la vez llena las volquetas (tiempo de carga con maniobra):

A continuación se muestra los tiempos recolectados desde el 21 de julio hasta 25 de julio del año 2014.

Tabla N° 5.4. Tiempo de ciclo de la Excavadora

Equipo	Carga del cucharón	Giro con carga	Descarga del cucharón	Giro sin carga	Tiempo de Ciclo (seg.)	Tipo de material
1	0.10	0.11	0.08	0.11	0.40	Mineral
2	0.12	0.09	0.07	0.09	0.37	Mineral
3	0.10	0.09	0.06	0.09	0.34	Mineral
4	0.08	0.11	0.08	0.08	0.35	Mineral
5	0.09	0.08	0.09	0.05	0.31	Mineral
6	0.07	0.08	0.05	0.10	0.3	Mineral
7	0.10	0.09	0.08	0.10	0.37	Mineral
8	0.08	0.07	0.09	0.09	0.33	Mineral
9	0.09	0.06	0.07	0.08	0.3	Mineral
10	0.08	0.07	0.09	0.05	0.29	Mineral
11	0.08	0.09	0.08	0.08	0.33	Mineral
12	0.12	0.07	0.09	0.07	0.35	Mineral
13	0.11	0.10	0.10	0.08	0.39	Mineral
14	0.09	0.10	0.06	0.05	0.3	Mineral
15	0.08	0.11	0.08	0.10	0.37	Mineral
16	0.09	0.09	0.07	0.06	0.31	Mineral
17	0.07	0.06	0.08	0.05	0.26	Mineral
18	0.10	0.09	0.08	0.08	0.35	Mineral

Autor: Malpica C. Ingeniería Civil. (2014)

Tabla N° 5.5. Resumen tiempo de ciclo de la excavadora

N° Datos	Tiempo de Ciclo (seg.)
1	0.4
2	0.37
3	0.34
4	0.35
5	0.31
6	0.3
7	0.37
8	0.33
9	0.3
10	0.29
11	0.33
12	0.35
13	0.39
14	0.3
15	0.37
16	0.31
17	0.26
18	0.35
Promedio =	0.33

Autor: Malpica C. Ingeniería Civil. (2014)

Con este tiempo se calcula el rendimiento de la excavadora

$$R = \frac{3600 * Q * E * K}{T * FV} ; \left(\frac{m^3}{Hr} \right)$$

$$R = \frac{3600 * 1.3 * 0.83 * 0.83}{33.10 * 1.20} ; \left(\frac{m^3}{Hr} \right)$$

$$R = 81.17 ; \left(\frac{m^3}{Hr} \right)$$

Según el manual Caterpillar: Las zonas de trabajo que hay en las tablas de cálculo de producción muestran las capacidades productivas de las excavadoras hidráulicas en las categorías de tamaños de la 307 a la 5230 ME. El límite superior de cada una de estas categorías corresponde a los tiempos de ciclo más rápidos y prácticos de las máquinas, y el ancho de cada zona indica la escala de capacidades (carga útil) de los cucharones que se pueden utilizar con cada una de las máquinas.

Los valores óptimos de rendimiento en la zona sombreada de arriba, se basan en condiciones favorables de trabajo: facilidad de excavación, zanjas de poco fondo, buen operador, etc. Para ingresar a la tabla siguiente tomaremos el valor del tiempo de ciclo= 33.10 seg. y la carga útil del cucharón con lo cual obtenemos:

Tabla N° 5.6. Calculo de la producción para excavadoras según manual Caterpillar.

Metros cúbicos por hora de 60 minutos*

Tiempo de Ciclo Calculados		CARGA ÚTIL CALCULADA DEL CUCHARÓN** — METROS CÚBICOS SUELTOS																			
Tiempo en																					
Seg.	Min.	0,2	0,3	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3	1,5	1,7	1,9	2,1	2,3	2,5	2,7	2,9	3,1	3,3	3,5	4,0	
10,0	0,17																				
11,0	0,18																				
12,0	0,20	60	90	150	210	270															
13,3	0,22	54	81	135	189	243	297	351	405	459	513	567	621	675	729	783	837	891	945	1080	
15,0	0,25	48	72	120	168	216	264	312	360	408	456	504	552	600	648	696	744	792	840	960	
17,1	0,29	42	63	105	147	189	231	273	315	357	399	441	483	525	567	609	651	693	735	840	
20,0	0,33	36	54	90	126	162	198	234	270	306	342	378	414	450	486	522	558	594	630	720	
24,0	0,40	30	45	75	105	135	165	195	225	255	285	315	345	375	405	435	465	495	525	600	
30,0	0,50	24	36	60	84	108	132	156	180	204	228	252	276	300	324	348	372	396	420	480	
35,0	0,58	20	31	51	71	92	112	133	153	173	194	214	235	255	275	296	316	337	357	408	
40,0	0,67					81	99	177	135	153	171	189	207	225	243	261	279	297	315	360	
45,0	0,75									133	148	164	179	195	211	226	242	257	273	312	
50,0	0,83																				

Fuente: Manual Caterpillar. Edición 31. (2013)

El valor de rendimiento máximo es: $R_{max} = 156 \text{ m}^3/\text{hr}$

La eficiencia de trabajo es 50 min/hrs por lo tanto: $E = 0.83$

Entonces:

$$\text{Rendimiento} = R_{max} * E$$

$$\text{Rendimiento} = 156 \text{ m}^3/\text{hr} * 0.83$$

$$\text{Rendimiento} = 129.48 \text{ m}^3/\text{hr}$$

B.-Rendimiento del Bulldozer.- Básicamente el rendimiento de estas máquinas está en función del tipo de hoja y de su capacidad, así como de la eficiencia del operador y de la clase de material en que trabaja la máquina. Su cálculo se efectúa de la siguiente forma.

Por lo tanto, según la fórmula 2.4, el rendimiento de esta máquina es:

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

Dónde:

R= Rendimiento en m³/hora (medidos en banco)

E= Eficiencia general

Q=capacidad de carga de la cuchilla en m³

K= coeficiente de carga

FV= factor de abundamiento

T= Tiempo de un ciclo.

Eficiencia: Se toma el valor de 50 min/hr en condiciones de obra regular. Entonces:

$$E = 50 \text{ min} / 60 \text{ min}$$

$$E=0.83$$

Capacidad de carga de la cuchilla Tipo 8U en m³. Será tomada del manual de rendimientos de maquinaria Caterpillar.

Tabla N° 5.7. Bulldozer

N° Equipo	Maquinaria	Características	Capacidad del cucharón. (m ³)
1	Bulldozer	Cat D8R	11.7

Autor: Malpica C. Ingeniería Civil. (2014)

A continuación se muestra una tabla con la capacidad de las hojas del tractor.

Tabla N° 5.8. Capacidades de Hojas topadoras.

Hojas de Tractor de cadenas D8R	
Tipo	Capacidad m3
8SU	8,7
8U	11,7
8A	4,7

Fuente: Manual Caterpillar. Edición 31. (2013)

Coeficiente de carga.- el valor (K) será considerado debido al material en este caso el material es un conglomerado. Entonces el valor será calculado de la siguiente forma:

$$k = \frac{1}{1 + \%Esponjamiento}$$

$$k = \frac{1}{1 + 0.20}$$

$$K= 0.83$$

Pero al ser un tractor sobre oruga con especificaciones distintas de trabajo se toma este valor como K=1 debido a que no se está cargando el material sino rpiando entonces tenemos:

$$K = 1$$

Por lo tanto las maquinarias que no poseen coeficiente de carga para el presente estudio son: Bulldozer, Motoniveladora.

El factor de esponjamiento será tomado de acuerdo al promedio de lo siguiente:

Despejando de la fórmula del coeficiente de carga y utilizando un factor de esponjamiento de 20% de la tabla anterior se llega al siguiente valor:

$$k = \frac{1}{1 + \%Esponjamiento}$$

$$\% Esponjamiento = \frac{1}{k} - 1$$

$$\% Esponjamiento = \frac{1}{0.83} - 1$$

Entonces: FV= 1.18

Tiempo de ciclo.- Los datos fueron tomados desde el 4 de agosto hasta 9 de agosto del año 2014.

Tabla N° 5.9. Tiempo de ciclo del Bulldozer

N° Datos	Tiempo de Ciclo (min.)	Tipo de Material
1	1.5	Desmante
2	1.65	Desmante
3	1.75	Desmante
4	1.45	Desmante
5	2.5	Desmante
6	2.7	Desmante
7	3.1	Desmante
8	2.8	Desmante
9	2.5	Desmante
10	1.89	Desmante
11	2.5	Desmante

N° Datos	Tiempo de Ciclo (min.)	Tipo de Material
12	2	Desmante
13	2.3	Desmante
14	2.45	Desmante
15	2.7	Desmante
16	2.15	Desmante
17	2.1	Desmante
18	2.4	Desmante
19	2.3	Desmante
20	2.17	Desmante
21	2.17	Desmante
Promedio =	2.25	

Autor: Malpica C. Ingeniería Civil. (2014)

El trabajo que realiza un tractor (Bulldozer) marca Caterpillar D8R es el desgarrar de material con característica de conglomerado. La maquinaria presenta el siguiente ciclo de trabajo medido en promedio de mediciones diarias en minutos.

Tabla N° 5.10. Promedio del tiempo de Ciclo de Bulldozer

Equipo	Distancia alcance por ciclo (m)	Prom. Tiempo de ciclo (min.)
Tractor	65	2.25

Autor: Malpica C. Ingeniería Civil. (2014)

Una vez que se conoce los datos para la utilización de la fórmula se procede a verificar que rendimiento "R" está presentando la maquinaria en obra.

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

E=0.83; Q=11.70 m³; K=0.83; T=2.25 min; FV=18%.

$$R = \frac{60 * 0.83 * 11.7 * 0.83}{2.25 * 1.18} ; \left(\frac{m^3}{Hr} \right) = 182.15 ; \left(\frac{m^3}{Hr} \right)$$

Según el manual Caterpillar.- Utilizaremos los datos de la investigación para generar las curvas características de igual manera utilizaremos las gráficas de los fabricantes para realizar la comparación respectiva.

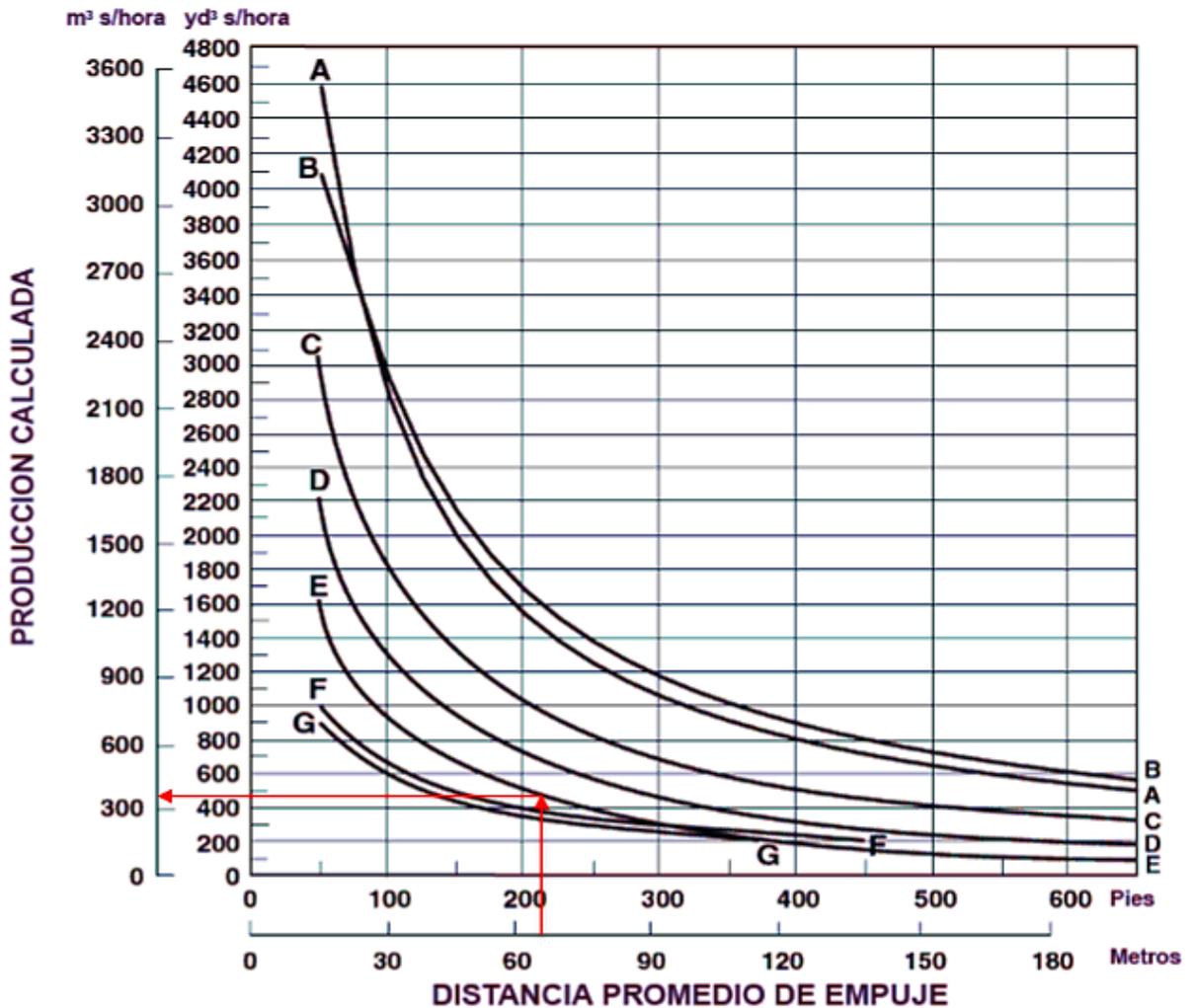
Tabla N° 5.11. Características de las cuchillas de Bulldozer

CUCHILLAS	8SU	8U	8A
Q(m ³)	8,7	11,7	4,7
Tc(min.)	R	R	R
0,5	624,19	839,43	337,21
1	312,09	419,71	168,60
1,5	208,06	279,81	112,40
2	156,05	209,86	84,30
2,5	124,84	167,89	67,44
3	104,03	139,90	56,20
3,5	89,17	119,92	48,17
4	78,02	104,93	42,15
4,5	69,35	93,27	37,47
5	62,42	83,94	33,72

R: rendimiento

Tc: Tiempo ciclo

Gráfico N° 2.8. Especificaciones de fabricante.



Fuente: Manual Caterpillar. Edición 31. (2013)

$$R_{\max} = 366,67$$

Tabla N° 5.12. Tipo de tractores

TIPO DE TRACTORES
A - D11R - 11U
B - D11R - CD
C - D10R - 10U
E - D8R - 8U
F - D7R - 7U
G - D7G - 7U

Tabla N° 5.13. Factores de corrección

Factores de corrección aplicables	
Difícil de empujar; (seco no cohesivo)	0,8
Corrección por pendiente	1,2
Empuje por método de zanja	1,2
Operador mediano	0,75
Eficiencia del Trabajo (50 min/hr)	0,83
Corrección de la densidad	0,87

Fuente: Manual Caterpillar. Edición 31. (2013)

R= Rmax* Factores de corrección

R=366,67*(0,80*1,20*1,20*0,75*0,83*0,87)

R= 228,76 (m3/hora)

C.- Rendimiento de los cargadores frontales.- En función de la fórmula 2.5, el rendimiento de los diferentes tipos de cargadores utilizados en la obra es:

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

Dónde:

R= Rendimiento en m3/hora (medidos en banco)

Q=capacidad nominal del cucharón en m3

K= factor de llenado del cucharón.

E= factor de rendimiento de trabajo.

T= Tiempo de un ciclo (minutos).

FV= factor de abundamiento.

Capacidad nominal de cucharón.- Será tomada del manual de rendimientos de maquinaria Caterpillar.

Tabla N° 5.14. Características de la cargadora frontal.

N° Equipo	Maquinaria	Características	Capacidad del cucharón. (m3)
1	Cargador Frontal	Cat 950H C7	3.5

Autor: Malpica C. Ingeniería Civil. (2014)

Capacidades de los cucharones.

Tabla N° 5.15. Capacidades de cucharones de cargadora frontal

Cucharones Cargador 950 H	
Capacidad de los cucharones	2,5 - 3,5 m3
Capacidad máxima	3,5 m3

Fuente: Manual Caterpillar. Edición 31. (2013)

Factor de Llenado.- El valor (K) será considerado debido al material que en este caso es un conglomerado. Entonces el valor será calculado de la siguiente forma.

$$k = \frac{1}{1 + \%Esponjamiento}$$

$$k = \frac{1}{1 + 0.10}$$

$$K= 0.90$$

Eficiencia: Se toma el valor de 50 min/hora debido a las condiciones de la obra entonces E=0.83

El factor de abundamiento es FV=10%.

Tiempo de ciclo.- Ya obtenidos los promedios generales se procedió a realizar los cálculos que reflejan los resultados del estudio.

Los datos fueron tomados desde el 15 de julio hasta 19 de julio del año 2014.

Tabla N° 5.16. Tiempo de ciclo del cargador

Equipo	Carga	Transporte	Descarga	Retorno	Tiempo Total(min.)	Tipo de material
1	0.35	0.90	0.10	0.70	2.05	Protection Liner
2	0.25	0.8	0.07	0.83	1.95	Protection Liner
3	0.2	1.5	0.13	0.95	2.78	Protection Liner
4	0.32	0.75	0.11	0.65	1.83	Protection Liner
5	0.33	0.95	0.09	0.74	2.11	Protection Liner
6	0.25	1.1	0.11	0.62	2.08	Protection Liner
7	0.23	0.79	0.12	0.45	1.59	Protection Liner
8	0.34	0.93	0.13	0.64	2.04	Protection Liner
9	0.4	0.96	0.1	0.8	2.26	Protection Liner
10	0.35	1.13	0.09	0.6	2.17	Protection Liner
11	0.33	1.15	0.15	0.73	2.36	Protection Liner
12	0.25	0.85	0.17	0.70	1.97	Protection Liner
13	0.23	0.95	0.14	0.65	1.97	Protection Liner
14	0.21	1.1	0.09	0.95	2.35	Protection Liner
15	0.36	0.75	0.11	0.65	1.87	Protection Liner
16	0.32	0.92	0.12	0.72	2.08	Protection Liner
17	0.45	0.97	0.13	0.69	2.24	Protection Liner
18	0.27	1.1	0.08	0.62	2.07	Protection Liner

Autor: Malpica C. Ingeniería Civil. (2014)

Tabla N° 5.17. Resumen tiempo de ciclo del cargador

N° Datos	Tiempo de Ciclo (min.)
1	2.05
2	1.95
3	2.78
4	1.83
5	2.11
6	2.08
7	1.59
8	2.04
9	2.26
10	2.17
11	2.36
12	1.97
13	1.97
14	2.35
15	1.87
16	2.08
17	2.24
18	2.07
Promedio =	2.10

Autor: Malpica C. Ingeniería Civil. (2014)

Para el cálculo del rendimiento se necesita pasar el plazo medio de segundos a minutos, dividiendo entre 60 segundos.

Plazo medio =2.10 minutos.

Entonces el rendimiento de una cargadora va ser de:

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

E=0.83; Q= 3.5 m³; K=0.90; T=2.10 min; FV=10%

$$R = \frac{60 * 0.83 * 3.5 * 0.9}{2.10 * 1.10} ; \left(\frac{m^3}{Hr} \right)$$

$$R = 67.91 ; \left(\frac{m^3}{Hr} \right)$$

Según el manual Caterpillar.- El tipo de cargador frontal es 950 H con una capacidad del cucharón de 3.5 m³, para conocer el valor de productividad utilizaremos el gráfico N°12 para el cual ingresaremos con el valor de capacidad del cucharón y el número de ciclos por hora especificado en la gráfica columna E, A respectivamente. Con el valor del tiempo promedio en ciclo se calculara los ciclos por hora de la siguiente forma:

Ciclos/hora = minutos efectivos/tiempo del ciclo por hora (en minutos)

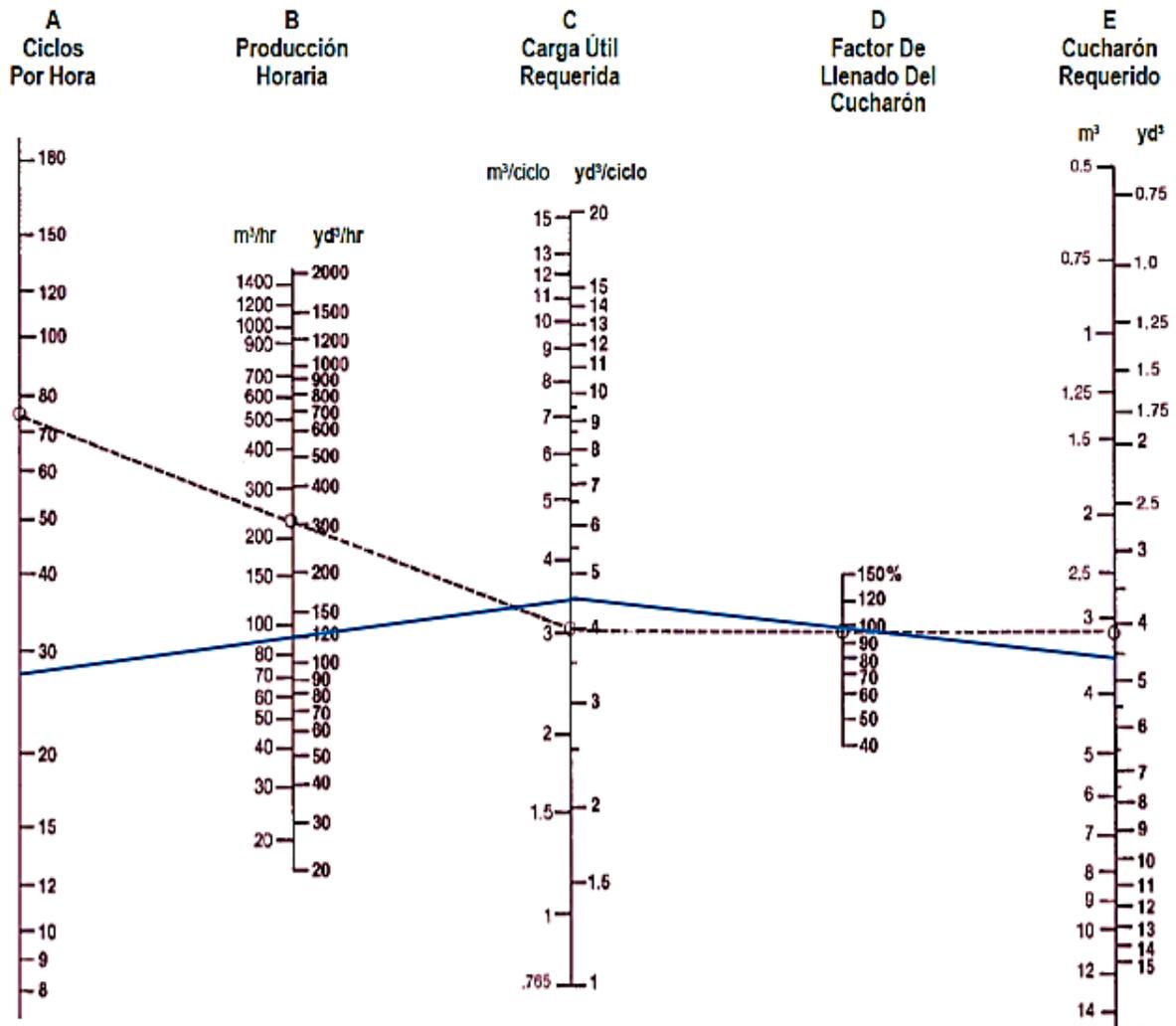
Lo que presenta un valor de 28 ciclos/hr. El factor de llenado del cucharón será del 95%.

Pasos para obtener el rendimiento.

- 1.- Ubicar el valor del cucharón requerido columna E, ubicar el valor del factor de llenado del cucharón columna D, trazar una línea que llegue a la columna C (carga útil Requerida).

2.- Ubicar el valor en la columna A (ciclos por Hora) y unir los puntos C (Carga Útil Requerida) y A (Ciclos por hora), con ello encontraremos la producción horaria o rendimiento.

Gráfico N° 2.9. Rendimiento de Cargador.



Fuente: Manual Caterpillar. Edición 31. (2013)

Una vez realizadas las indicaciones pertinentes tenemos:

Cargador sobre ruedas Caterpillar 950H

Rendimiento Requerido = 93 m³/hr

Tiempo del ciclo = 2.10 min

Ciclos por hora	=	28 ciclos/hr
Carga Útil requerida	=	3.5 m3/ciclo
Factor de llenado del cucharón	=	0.95
Capacidad del cucharón	=	3.5 m3

D.- Rendimientos de volquete.

El rendimiento de los transportes, incluye en forma general a los camiones dentro y fuera de las carreteras, serán calculados con la fórmula 2.6:

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

Dónde:

- R= Rendimiento en m3/hora (medidos en banco)
- Q=capacidad de la máquina en m3
- E= factor de rendimiento de Trabajo.
- T= Tiempo empleado en un ciclo completo (minutos).

El tiempo de un ciclo completo según fórmula 2.7:

$$T=T1+T2+T3+T4$$

Dónde:

- T1.- Tiempo empleado en maniobras de acomodo.
- T2.- Tiempo de Carga.
- T3.- Tiempo Empleado en acarrear el material.
- T4.- Tiempo empleado por la maquina vacía durante el regreso.

La capacidad de la máquina está dada por las dimensiones de la tolva en donde se transporta el material excavado, para nuestro estudio se tomó como referencia el grupo de volquetes de 15 m³, que transportan el material, al lugar de descarga. El factor de rendimiento de trabajo está especificado de acuerdo al chofer y las condiciones que presenta la obra se tomará E=0.85.

Los tiempos recolectados desde el 28 de julio hasta 01 de agosto del año 2013.

Tabla N° 5.18. Tiempo de ciclo de los transportes

Volquete	Posicionamiento del camión para carguío	Tiempo de ida	Tiempo de descarga	Tiempo de vuelta	Tiempo total (min.)	Tipo de material
1	0.48	9.2	2.13	4.5	16.31	Mineral
2	0.50	8.5	1.4	5.13	15.53	Mineral
3	0.54	8.3	1.56	5.4	15.80	Mineral
4	0.41	9.3	1.46	4.4	15.57	Mineral
5	0.68	8.2	2.2	5.1	16.18	Mineral
6	0.69	7.5	1.57	5.2	14.96	Mineral
7	0.52	9.5	2.15	4.3	16.47	Mineral
8	0.46	8.4	2.14	4.1	15.10	Mineral
9	0.50	8.5	1.5	5.2	15.70	Mineral
10	0.54	7.4	1.7	5.4	15.04	Mineral
11	0.43	9.1	2.1	3.8	15.43	Mineral
12	0.68	7.4	2.2	5.5	15.78	Mineral
13	0.54	8.5	1.54	5.3	15.88	Mineral
14	0.66	9.5	2.15	4.2	16.51	Mineral
15	0.46	9.3	2.13	3.8	15.69	Mineral
16	0.59	8.1	1.4	5.13	15.22	Mineral
17	0.56	8.2	1.56	5.4	15.72	Mineral
18	0.41	9.6	1.46	4.4	15.87	Mineral
19	0.68	7.5	2.4	5.1	15.68	Mineral
20	0.69	8.4	1.57	5.2	15.86	Mineral
21	0.54	9.3	1.6	4.5	15.94	Mineral

Autor: Malpica C. Ingeniería Civil. (2014)

Tabla N° 5.19. Resumen Tiempo de ciclo de los transportes

N° Datos	Tiempo de Ciclo (min.)
1	16.31
2	15.53
3	15.80
4	15.57
5	16.18
6	14.96
7	16.47
8	15.10
9	15.70
10	15.04
11	15.43
12	15.78
13	15.88
14	16.51
15	15.69
16	15.22
17	15.72
18	15.87
19	15.68
20	15.86
21	15.94
Promedio =	15.83

Autor: Malpica C. Ingeniería Civil. (2014)

Tabla N° 5.20. Características de Volquete

N° Equipo	Maquinaria	Características	Capacidad (m ³)
1	Volquete	Volvo FM 440	15

Autor: Malpica C. Ingeniería Civil. (2014)

Con este tiempo se calcula el rendimiento.

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

$$R = \frac{15 * 60 * 0.83}{15.83} ; \left(\frac{m^3}{h} \right)$$

$$R = 47.18 ; \left(\frac{m^3}{h} \right)$$

E. Rendimiento de las motoniveladora

El trabajo a realizar es conformación de la plataforma y mantenimiento de la vía. La forma general de calcular el rendimiento de estas máquinas se realiza en base al tiempo de trabajo y de acuerdo a la fórmula 2.8:

$$T = \frac{D * N}{V * E}$$

Dónde:

T = Tiempo requerido para efectuar el trabajo

D = Distancia recorrida en cada pasada.

N = Número de pasadas que se requiere para realizar el trabajo.

V = Velocidad de operación (Km/hr)

E = Factor de eficiencia de trabajo.

A continuación se muestra una tabla con las longitudes de hojas.

Tabla N° 5.21. Longitudes de hojas de la motoniveladora Caterpillar 140H

Motoniveladora Caterpillar 140H
Longitud de Hoja
3,60 m
4,27 m
4,88 m
7,32 m

Fuente: Manual Caterpillar. Edición 31. (2013)

Se necesita cortar y nivelar 2 km. de carretera mediante una motoniveladora Caterpillar de 3.60 mts de longitud de cuchilla. Se precisan seis pasadas para completar la operación de rastreo y nivelado. La clase de material permite efectuar las pasadas primera y segunda a 4.5 km/hr, las pasadas tercera y cuarta a 5.4 km/hr y la quinta y sexta a 8.6 km/hr, el factor de eficiencia E=0.60. 4.5 km/hr)

Sustituyendo en la fórmula (1)

$$T = \frac{(2)(2km)}{(4.5km/hr)(0.60)} + \frac{(2)(2km)}{(5.4 km/hr)(0.60)} + \frac{(2)(2km)}{(8.6 km/hr)(0.60)}$$

Tiempo requerido = 3.49 hrs.

Cálculo en hectáreas de producción.

Área de trabajo.

$$A = (2000m) * 3.6 m = 7200 m^2$$

$$A = 0.72 Ha$$

Promedio de las velocidades.

$$V=(4.5+5.4+8.6)\text{Km/hr} / 3$$

$$V=6.17 \text{ Km/hrs}$$

Entonces el rendimiento es:

$$R = \left(\frac{A}{T} \right) ; (\text{Há}/\text{hrs})$$

$$R= (0.72/3.49)$$

$$R= 0.21 \text{ Ha/hrs}$$

Según el manual Caterpillar: A continuación mostraremos los resultados de la gráfica, con un 50% de eficiencia.

$$R_{\text{max}}=0.64$$

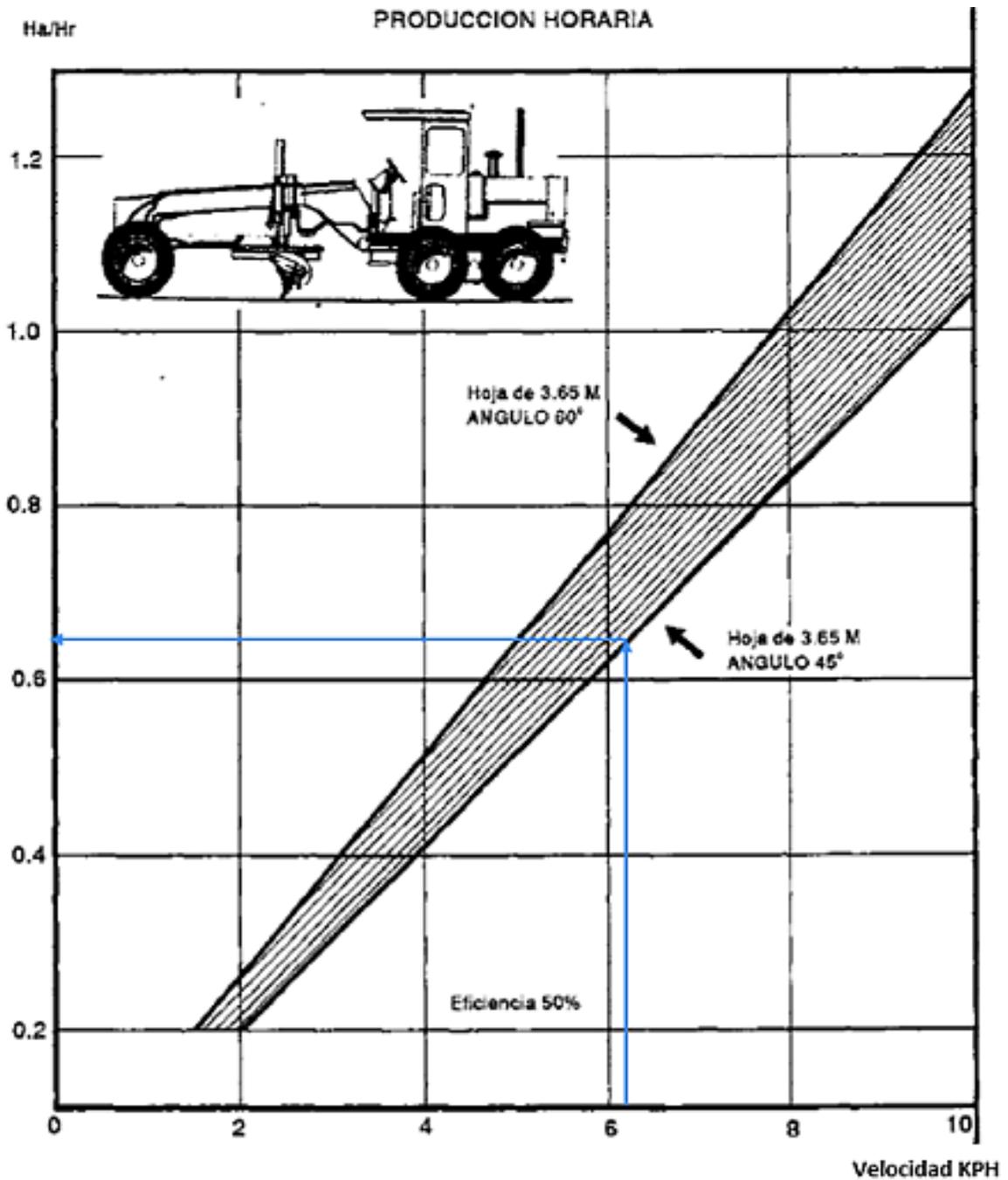
$$\text{Eficiencia}=50\%$$

$$R= R_{\text{max}}*E; (\text{Ha}/\text{hrs})$$

$$R=0.64*0.5; (\text{Ha}/\text{hrs})$$

$$R=0.32 \text{ Ha/hrs}$$

Gráfico N° 2.10. Producción Horaria de motoniveladora.



Fuente: Manual Caterpillar. Edición 31. (2013)

A continuación se dará las razones por la cual los equipos tuvieron horas no trabajadas

- Tiempo no trabajado por voladura: la empresa encargada de la perforación y voladura prohíbe el ingreso a las zonas donde trabajan, reduciendo de esta manera el área de trabajo y la libre circulación de los equipos.
Treinta (30) minutos antes de la hora del disparo los equipos y el personal en su totalidad se retiran de la zona; los equipos a un mínimo de 300 metros y el personal a un mínimo de 500 metros.
- Tiempo no trabajado por mal clima: por seguridad y cuando el mal clima es muy intenso, como tormentas eléctricas o neblina muy densa, se opta por paralizar los trabajos.
- Tiempo no trabajado por interferencia de vías: debido a que los volquetes cruzan la ruta de acarreo de la flota gigante, el área de operaciones de Minera Yanacocha exige que se paralizen las actividades de la flota menor para el cambio de guardia de la flota gigante que dura entre 30 a 60 min., la cual ocurre a las 8:00 am y 8:00 pm.

CAPÍTULO 6. DISCUSIÓN

6.1. Excavadora

Discusión

Como el rendimiento teórico del equipo es de 129.48 m³/hr, y el rendimiento real es de 81.17 m³/hr., se verifica la hipótesis de que el rendimiento real es menor al rendimiento teórico (37.31%.)

De lo observado, los motivos por lo que el rendimiento teórico diferencia del real, son los que a continuación se detallan.

1. Ingreso y salida de volquetes

- El fabricante considera que la excavadora carga continuamente sin interrupciones.
- En el minado los volquetes entran de retroceso a estacionarse para ser cargados luego se retiran. En este tiempo la excavadora no trabaja, se tiene un tiempo medido de 30 seg. a 1 minuto por volquete cargado.

2. Voladura inadecuada

- Debido a la dureza del material y/o también a una mala voladura, hacen que el material no sea el más óptimo. Teniendo exceso de rocas que dificultan el carguío de las excavadoras, los camiones cargan menor capacidad en sus tolvas debido a que el factor de carga es mayor. Por lo tanto se tiene un mayor esponjamiento.

3. Trabajos adicionales

- El fabricante no considera trabajos adicionales.
- La excavadora realiza trabajos adicionales propios de la operación, como son la construcción de una plataforma para poder situarse a una mayor

altura y realizar un mejor carguío. Otro trabajo adicional es el perfilado de taludes, el cual consiste en darle un mejor terminado a la pared final del talud.

Desquinche de taludes debido a su gran altura por la voladura y presencia de piedras en las crestas de los mismos.

4. Calentamiento de la maquina

- El fabricante no considera.
- Para cuidar los equipos y alargar su tiempo de vida, es recomendable calentar la maquina antes de trabajar y al finalizar, se recomienda de 5 minutos.

5. Altitud de la zona de trabajo

- El fabricante considera a nivel del mar.
- La altura del minado es de 4000 m.s.n.m. a mayor altura, menor presión atmosférica, consecuentemente la potencia en los motores de aspiración natural también disminuye; por tanto la fuerza de tracción del vehículo también disminuye.

6. Antigüedad del equipo

- El fabricante considera equipos nuevos.
- Los equipos con los que se realizó el trabajo son relativamente antiguos, ya que registran actividad de 7 u 8 años. Este motivo es relevante ya que un equipo se considera 100% efectivo, hasta los 5 años de antigüedad.

6.2. Bulldozer

Discusión

Como el rendimiento teórico del equipo es de 228.76 m³/hr, y el rendimiento real es de 182.15 m³/hr, se verifica la hipótesis de que el rendimiento real es menor al rendimiento teórico (20.38%).

De lo observado, los motivos por lo que el rendimiento teórico diferencia del real, son los que a continuación se detallan.

1. Trabajos adicionales

- El fabricante no considera.
- El tractor realiza otras actividades propias del trabajo, como son la de habilitar su zona de trabajo, limpieza de accesos y plataformas.

2. Calentamiento de la maquina

- El fabricante no considera.
- Para cuidar los equipos y alargar su tiempo de vida, es recomendable calentar la maquina antes de trabajar y al finalizar, se recomienda de 5 minutos.

3. Altitud de la zona de trabajo

- El fabricante considera a nivel del mar.
- La altura del minado es de 4000 m.s.n.m. a mayor altura, menor presión atmosférica, consecuentemente la potencia en los motores de aspiración natural también disminuye; por tanto la fuerza de tracción del vehículo también disminuye.

4. Antigüedad del equipo

- El fabricante considera equipos nuevos.
- Los equipos con los que se realizó el trabajo son relativamente antiguos, ya que registran actividad de 7 u 8 años. Este motivo es relevante ya que un equipo se considera 100% efectivo, hasta los 5 años de antigüedad.

6.3. Cargador Frontal

Discusión

Como el rendimiento teórico del equipo es de 93 m³/hr, y el rendimiento real es de 67.91 m³/hr, se verifica la hipótesis de que el rendimiento real es menor al rendimiento teórico (26.98%).

De lo observado, los motivos por lo que el rendimiento teórico se diferencia del real, son los que a continuación se detallan.

1. Ingreso y salida de volquetes

- El fabricante considera que el cargador frontal carga continuamente sin interrupciones
- En el minado los volquetes entran de retroceso a estacionarse para ser cargados luego se retiran. En este tiempo el cargador no trabaja, se tiene un tiempo medido de 30 seg. a 1 minuto por volquete cargado.

2. Condiciones del material

- El cargador debido a que es un equipo sobre neumáticos tiene que trabajar en materiales sueltos y/o apilados, teniendo dificultades para trabajar en un frente amarrado o duro debido a que el equipo patina.

3. Trabajos adicionales

- El fabricante no considera.
- El cargador realiza otras actividades propias del trabajo, limpieza de accesos y plataformas.

4. Calentamiento de la maquina

- El fabricante no considera.

- Para cuidar los equipos y alargar su tiempo de vida, es recomendable calentar la maquina antes de trabajar y al finalizar, se recomienda de 10 a 15 minutos.

5. Altitud de la zona de trabajo

- El fabricante considera a nivel del mar.
- La altura del minado es de 4000 m.s.n.m. a mayor altura, menor presión atmosférica, consecuentemente la potencia en los motores de aspiración natural también disminuye; por tanto la fuerza de tracción del vehículo también disminuye.

6. Antigüedad el equipo

- El fabricante considera equipos nuevos.
- Los equipos con los que se realizó el trabajo son relativamente antiguos, ya que registran actividad de 7 u 8 años. Este motivo es relevante ya que un equipo se considera 100% efectivo, hasta los 5 años de antigüedad.

6.4. Volquetes

Discusión

1. Dimensionamiento de flotas

- El fabricante considera bien dimensionadas y de flujo constante.
- Por falta de una buena programación, inoperatividad de los equipos u otras causas, las flotas no son bien dimensionadas, lo cual afecta el rendimiento.

2. Otros contratistas

- El fabricante no considera.
- Existió interferencia con otros equipos de otras contratistas, ya que las vías son de uso común, este problema generó, que los equipos no se desplacen libremente.

3. Vías en mal estado

- Vías en mal estado debido a fuertes lluvias (baches, encalaminados y acolchonamientos), dificultan el traslado de los volquetes aumentando el tiempo del ciclo de acarreo y por lo tanto menor productividad.

4. Calentamiento de la maquina

- El fabricante no considera.
- Para cuidar los equipos y alargar su tiempo de vida, es recomendable calentar la maquina antes de trabajar y al finalizar, se recomienda de 5 minutos.

5. Altitud de la zona de trabajo

- El fabricante considera a nivel del mar.
- La altura del minado es de 4000 m.s.n.m. a mayor altura, menor presión atmosférica, consecuentemente la potencia en los motores de aspiración natural también disminuye; por tanto la fuerza de tracción del vehículo también disminuye.

6.5. Motoniveladora

Discusión

Como el rendimiento teórico del equipo es de 0.32 Ha/hr, y el rendimiento real es de 0.21 Ha/hr, se verifica la hipótesis de que el rendimiento real es menor al rendimiento teórico (34.38%.)

De lo observado, los motivos por lo que el rendimiento teórico diferencia del real, son los que a continuación se detallan.

1. Otros contratistas

- El fabricante no considera la interferencia con otros equipos. que hacen que este equipo se detenga para dar pase a los demás.

2. Uso de material con presencia de roca de mediano tamaño.

- El material que será utilizado como lastre, hace que la motoniveladora retrase su trabajo.

3. Calentamiento de la maquina

- El fabricante no considera.
- Para cuidar los equipos y alargar su tiempo de vida, es recomendable calentar la maquina antes de trabajar y al finalizar, se recomienda de 5 minutos.

4. Altitud de la zona de trabajo

- El fabricante considera a nivel del mar.
- La altura del minado es de 4000 m.s.n.m. a mayor altura, menor presión atmosférica, consecuentemente la potencia en los motores de aspiración natural también disminuye; por tanto la fuerza de tracción del vehículo también disminuye.

CONCLUSIONES

- Los rendimientos reales alcanzados en la ejecución, son menores a los dados por el fabricante lo cual valida la hipótesis de la investigación, para las actividades de carguío, empuje, acarreo, corte y nivelación.
- En la presente investigación se logró determinar los rendimientos alcanzados por los diferentes equipos analizados.

El rendimiento real de los equipos es:

Excavadora: 81.17 m³/hr

Tractor: 163.93 m³/hr

Cargador Frontal: 67.91 m³/hr

Volquete: 47.18 m³/hr

Motoniveladora: 0.21 Ha/hr

- Se determinó el tiempo de duración de los ciclos de los equipos, siendo los siguientes:

Excavadora: 0.33 segundo/ciclo

Tractor: 2.5 minutos/ciclo

Cargador Frontal: 2.10 minutos/ciclo

Volquete: 15.83 minutos/ciclo

Motoniveladora: 3.49 horas/ciclo

- Existen otros factores que afectan los rendimientos tales como:
Factores imputables al cliente como son: la demora en la voladura, zona de trabajo reducida, falta de frente de trabajo, interferencias en la ruta de acarreo; las cuales disminuyen la productividad.
Factores imputables al contratista como son: fallas mecánicas, equipos no disponibles, etc.

RECOMENDACIONES

- Los resultados que se presentan en el estudio deben ser tomados como referencia para la elaboración de los futuros proyectos de movimiento de tierras en proyectos similares.
- Para la evaluación de los rendimientos, tomar en cuenta todos los factores que influyen en un proyecto, como son: los equipos con los que se dispone, el acceso al proyecto, la distancia de acarreo, la zona de descarga, tipos de suelo, etc.
- Tener en cuenta que hay factores humanos que influyen en gran medida a los rendimientos, como son: el operador de la maquinaria pesada y el ingeniero de campo y/o capataz, los cuales en el presente estudio no han sido analizados.
- A los estudiantes de ingeniería civil, investigar mucho más sobre rendimientos para los diferentes proyectos de movimiento de tierras.

REFERENCIAS

- Ander-Egg, E. (1995). *Técnicas de Investigación Social* (24° ed.). Buenos Aires: LUMEN.
- Hernández, R., Baptista, P., & Fernández, C. (1997). *Metodología de la Investigación*. Bogotá: MCGRAW- HILL.
- Díaz R. M. (1996) *Maquinaria de Construcción*. Publicación de la E.U. Ingeniería Técnica de Obras Públicas de Madrid.
- Kraemer C, Mac G. H. Volumen I. (2009) *Ingeniería en Carreteras, Volumen I Rendimiento de equipo caminero*.
- Osses R.M. (2008). *Factores incidentes en la determinación de costos de Movimiento de Tierras*. Tesis de la Universidad de Chile.
- Palencia E., (1984). *Consideraciones sobre la selección y cálculo de producción de maquinaria pesada para el movimiento de tierras*.
- Peurifoy R. L. (1971). *Planeamiento y Equipos de Construcción*.

Linkografía

- [Manual-rendimiento-maquinaria-pesada-caterpillar.pdf](#)
- [Maquinarias y Rendimientos.pdf](#)
- [Rendimiento-tractores.pdf](#)
- [Tractor Calculo Del Rendimiento.pdf](#)
- [Vargas_Sanchez_Roberto_44683.pdf](#)

ANEXOS

ANEXO n.º 1. Fotos



Foto 01: Carguío de volquete en minado



Foto 02: Acarreo de material



Foto 03: Retorno de la descarga



Foto 04: Volquetes parqueados



Foto 05: Corte y nivelación de vía



Foto 0.6: Empuje de Materia