



RESUMEN

Los rendimientos de maquinaria pesada en los movimientos de tierras son una base sólida que aporta información valiosa para los procesos de planeación, estimación de costos y control, y así mismo mejora los presupuestos y cotizaciones, ajustará de mejor forma los cronogramas de actividades ligadas a los movimientos de tierra. La tabla de rendimientos de maquinaria pesada tomado en obra es una opción con la que se cuenta a nivel local para estimar de forma precisa, puntual y objetiva los rendimientos de un equipo pesado al momento de realizar el movimiento de tierras.

La investigación realizada es de tipo mixta, debido a que conjugó la investigación documental y la de campo, donde la fuente de información primaria fueron las mediciones directas en obra para cada una de las actividades a las que se sujetó la investigación. Además se realizaron encuestas a las empresas dedicadas a los movimientos de tierra para establecer los criterios actuales con que calculan los rendimientos, para luego tabular y analizar mediante métodos estadísticos y matemáticos los rendimientos en obra y así obtener conclusiones formales sobre ellos.

Las fuentes secundarias consultadas fueron los manuales de los fabricantes de maquinaria pesada tomando como referencia los métodos teóricos para la estimación o cálculo de la producción horaria de cada equipo y los factores que afectan estas estimaciones.

Todo esto permitió obtener como producto final una base de datos de rendimientos para cada equipo y según las actividades propuestas en la investigación y que fueron medidas en obra, con resultados óptimos para cada tipo de maquinaria, lo cual permite enriquecer la literatura actual de rendimientos de maquinaria pesada y deja las bases para futuras investigaciones sobre este tema.

A partir de ahora se podrá obtener información de rendimientos de maquinaria pesada no solo de los fabricantes y de fórmulas teóricas sino que se cuenta con una base de datos que complementara y ayudara a que los presupuestos y cronogramas se puedan establecer con mayor exactitud acercándose a la realidad.



Se podrá Controlar los costos administrativos de los equipos en los avances diarios de obra chequeando los rendimientos de los equipos y optimizando los tiempos operativos de los mismos.

ABSTRACT



Determine the yields of heavy machinery in earthworks are a solid foundation that provides valuable information for planning processes, cost estimation and control, and so it improves estimates and quotes, adjust to better schedules activities linked to earthworks. This tool returns taken into work is a new option that we locally to estimate accurately, timely and objective yields a heavy at time of earthmoving equipment.

The research conducted is of mixed type, because conjugated documentary research and field, where the primary source of information were the direct measurements on site for each of the activities to which the investigation was held. Further surveys were conducted to companies dedicated to earthworks to establish current criteria that calculate yields, then tabulated and analyzed using statistical and mathematical methods yields in work and obtain formal conclusions about them.

The secondary sources were consulted manuals heavy machinery manufacturers with reference to the theoretical methods for calculation estimate or hourly output of each team and the factors that affect these estimates.

All this final product yielded a database of returns for each team and according to the activities proposed in the investigation and were measured on site, with optimum for each type of machinery results, which enriches the current literature yields heavy machinery and leaves the groundwork for future research on this topic.

From now you can get information on yields of heavy machinery not only manufacturers and theoretical formulas but has a database that complement and help budgets and schedules can be established more accurately approaching the reality.

Control may be the administrative costs of the equipment in the daily work progress by checking the performance of systems and optimizing the operating times thereof.

INTRODUCCION



La proporción más importante del capital fijo de una empresa constructora está constituida por la maquinaria y equipo en poder de éstas. La utilización adecuada de este recurso es determinante en la eficiencia con la que la propia constructora realiza la obra civil.

Todo esfuerzo que una empresa constructora dedicada al movimiento de tierras realiza, tiene un cierto grado de dificultad, uno de estos inconvenientes radica en la falta de información respecto a rendimientos de maquinaria pesada.

No es posible esperar utilidades cuando se descuida la utilización adecuada de la maquinaria; es indispensable llevar un control detallado de los avances, parciales y generales, por máquinas y frentes de trabajo.

Una maquinaria disponible durante los tiempos programados requiere también órdenes precisas para su aplicación y máxima eficiencia, evitando desperdicios de tiempo y gastos prematuros de equipo, de ahí la importancia de tener una base sólida en la que se pueda apoyar para mejorar esta problemática pertinente a los rendimientos de maquinaria pesada en los movimientos de tierras. En la actualidad no se han hecho estudios a nivel local sobre este tema, y a nivel internacional se encontraron estudios los cuales no son enfocados directamente con el tema de los rendimientos pero si con la eficiencia y productividad, solo se encontró un estudio sobre el mismo.

En el ámbito internacional, en México, se encontró una tesis sobre “La Maquinaria Pesada en los Movimientos de Tierra - Descripción y Rendimiento” (Vargas, 1999). Este estudio tuvo por objetivo principal exponer los diferentes métodos para rendimiento de maquinaria pesada en los movimientos de tierra. En él se explican los tres métodos para calcular el rendimiento de una máquina en movimientos de tierra como son: mediante gráficas (manual del fabricante), mediante fórmulas y por medición directa.

De estos tres métodos descritos en el estudio, se precisa la manera de calcular los rendimientos, pero no hace mediciones y solo aporta la parte teórica mas no es aplicado en la práctica para calcular estos rendimientos.

El presente estudio realizó las mediciones directas en obra, para obtener así una base de datos local de los rendimientos de maquinaria pesada en los movimientos de tierras,



entregando al mercado local una herramienta que ayudara a mejorar la productividad y eficiencia de los equipos de trabajo, la cual se complementa con toda la información teórica que se encuentra en los manuales de los fabricantes y con los estudios similares que hay del tema enriqueciendo aun más la literatura actual.

Una de las grandes limitaciones a la hora de licitar un proyecto o adjudicarse un contrato de movimiento de tierras (urbanismos, carreteras, adecuaciones de terrenos, aeropuertos, obras hidráulicas, etc.) es el cálculo de los costos y presupuestos para dichas obras; pues se vuelve dispendioso elaborar el cronograma de actividades si no se conocen los rendimientos de maquinaria para dichas actividades. Aunque si existen tablas de rendimiento de maquinarias pesadas en las cuales se pueda establecer un punto de referencia, esta información, que en algunos casos se torna de vital importancia e inclusive en un factor decisivo al momento de elaborar el cronograma y la estructura de costos, sin embargo se convierte en un trabajo dispendioso que requiere demasiado tiempo. En este sentido para no incurrir en pérdidas de dinero a futuro se prefiere ser conservadores a la hora de asignar un valor a estos rendimientos y se opta por valores bastante discretos, como son las tablas de los fabricantes las cuales se basan en el 100% de eficiencia de la máquina lo cual obliga a presentar propuestas alejadas de la realidad y bastante recargadas en costos.

En este sentido se plantea las siguientes preguntas de la investigación:

¿Solo se requiere para estimar el cronograma y los costos de un movimiento de tierras la información sobre rendimientos suministrada por los fabricantes de maquinaria pesada?

¿Cuáles son los parámetros que deben guiar o que base de datos necesitamos para establecer los rendimientos de la Maquinaria Pesada que se utilizan en los movimientos de tierras?

Al contar con un estudio serio respecto al rendimiento de una máquina pesada, ayuda a corregir posibles desviaciones que esta pueda inducir en el cronograma y costo de un proyecto. Al comparar el rendimiento de las bases de datos teóricas con este rendimiento



sería lo ideal. La importancia de esta investigación se centró en brindar una base de datos de estos rendimientos, para la ciudad de Cartagena, tomando como caso de estudio las obras de urbanismo de los proyectos: Coral Lakes ubicado en el kilómetro 13, vía Cartagena a Barranquilla (ánillo vial) y la Zona Franca Parque Central, ubicada en la variante a Cartagena, sector Aguas Prietas. Calle 1 Cra # 2-5, el cual se hizo mediante mediciones directas en obra, identificando las principales actividades en las que la maquinaria pesada realizaba los movimientos de tierras y obteniendo como resultado una tabla de rendimientos, que permite iniciar una base de datos local en proyectos de movimientos de tierras.

Una de las razones que apoyó la decisión de abordar el tema de rendimientos maquinaria pesada en movimientos de tierra, es la importancia de la elaboración de presupuestos y cronogramas ajustados a la realidad.

Esta fue una magnífica oportunidad para iniciar investigaciones en este campo de los rendimientos de maquinaria pesada en proyectos y a la vez es un soporte para futuros estudios sobre el tema dada su importancia y el fin último que obedece a una eficiencia en este tipo de trabajos. En la actualidad no se cuenta con un estudio de estas características, lo cual brinda un aporte a la comunidad de constructores e ingenieros, así como a la comunidad académica, en especial a los investigadores del Grupo de Investigación Ciencia y Sociedad y al programa de Ingeniería Civil de la Universidad de Cartagena, lo cual fue posible gracias a los contenidos vistos en asignaturas como construcciones civiles I y II, siendo este un punto de partida para los estudiantes y futuros investigadores para complementar la información con estudios futuros sobre el tema y así conformar una base de datos sólida y más completa.



1. MARCO DE REFERENCIA

1.1 ESTADO DEL ARTE

En realidad se ha encontrado literatura sobre este tema pero no la suficiente, puesto que los casos para los rendimientos de maquinarias en los movimientos de tierras son puntuales, es decir dependen mucho de la zona en la que se hace el estudio. Los factores como el clima, la topografía, el suelo, las distancias de las zonas de cargue (canteras), hacen diferente los rendimientos de la maquinaria que en otras zonas. Es por esto que se requiere profundizar y ampliar mucho más en este tipo de estudios.

Se encontró dos tesis en el ámbito internacional las cuales son:

En México, se realizó una tesis sobre: “La Maquinaria Pesada en los Movimientos de Tierra - Descripción y Rendimiento” (Vargas, 1999).

Esta Tesis tuvo por objetivo principal exponer los diferentes métodos para rendimiento de maquinaria pesada en los movimientos de tierra. En este estudio se describen tres métodos para calcular el rendimiento de una maquina en movimientos de tierra como son: mediante gráficas, mediante fórmulas y por medición directa.

De estos tres métodos se describe y precisa la manera como calculan los rendimientos, pero no hacen mediciones en obra y solo aporta la parte teórica mas no la práctica para calcular estos rendimientos.

En Ecuador, se realizó una tesis sobre: “Equipo caminero para movimientos de tierras características y cálculo del rendimiento de la maquinaria” (Chiriboga, G. y Rivera, M, 2013).

El objetivo principal de esta tesis es la de calcular los rendimientos de maquinaria pesada para el proyecto en que se estudió, valiéndose de fórmulas teóricas y aplicándolas a las mediciones hechas en campo, es así como calculan los tiempos de ciclo de las máquinas y sus respectivas capacidades para cada máquina es decir los volúmenes de acarreo o cargue



según las dimensiones de las cuchillas, baldes o cucharones y tambores, para así calcular el rendimiento a través de fórmulas teóricas de cada máquina, el cual ajustan a factores de corrección o factores ponderados para estimar el rendimiento real para las máquinas estudiadas en el proyecto.

En Tailandia se llevó a cabo un estudio llamado “Study of Factors Influencing the Efficient Management and Downtime Consequences of Highway Construction Equipment in Thailand” (Prasertrungruang, T. and Hadikusumo, B. 2009).

El objetivo de este trabajo es caracterizar y cuantificar los factores que influyen en el tiempo de inactividad de la máquina y sus consecuencias (problemas consecuentes que resulten del tiempo de inactividad) de equipo de construcción de carreteras basado en el enfoque de modelos de ecuaciones estructurales (SEM). Una encuesta se llevó a cabo para recopilar datos sobre las prácticas de gestión de equipos y consecuencias de inactividad entre los contratistas de carreteras en Tailandia. El modelo propuesto es SEM de valor tanto para los investigadores y profesionales para facilitar una mejor comprensión de las relaciones entre las condiciones de adquisición, la práctica operativa, la calidad de mantenimiento, práctica disposición, y el tiempo de inactividad consecuencia de equipo pesado. El modelo también ayuda a los contratistas para administrar equipos con mayor eficiencia mediante la concentración en varias prácticas que pueden transmitir el mayor beneficio en la reducción de las consecuencias de tiempo de inactividad en cada etapa particular del ciclo de vida de una máquina, en lugar de considerar todas las prácticas de forma simultánea en los beneficios obtenidos quizá no son proporcionales a el esfuerzo.

En Egipto se realizó un estudio titulado: “Evaluating the Performance of Construction Equipment Operators in Egypt” (Elazouni, A. and Basha, I. 1996).

La productividad se considera en este estudio como una dimensión medida que describe suficientemente el rendimiento del operador. Los objetivos de este estudio son para proporcionar un enfoque analítico para identificar las causas de la pérdida de productividad y evaluación de sus efectos, y para evaluar el desempeño de los operadores de equipos. La relación de la capacidad de rendimiento (PAR) compara la productividad real en contra de



la productividad estimada para demostrar la cantidad de pérdida de productividad y por lo tanto, juzgar el nivel de productividad del operador.

El estudio se realizó en 11 puestos de trabajo en relación con 11 piezas de equipos de movimiento de tierra: tres bulldozers, tres raspadores elevadores, tres camiones fuera de carretera, y dos retroexcavadoras hidráulicas. El análisis llevado a conclusiones básicas relativas a la cantidad de tiempo de inactividad y su variación según el tipo de equipo, y los valores medios PAR para los operadores de los cuatro tipos de equipos.

En el país y más exactamente en la costa atlántica, no se han llevado a cabo este tipo de estudios pero cuán importante es ampliar estos conocimientos y enriquecer las bases de datos con lo cual se vuelve interesante conocer estos rendimientos aplicados a la zona.

Indagar si las empresas interesadas en este tema, como lo son las dedicadas al movimiento de tierras optan por establecer rendimientos basados en los manuales de rendimientos de los fabricantes o si por el contrario cuentan con datos basados de su propia experiencia de tal manera que se pueda coadyuvar a que este conocimiento se generalice.

Este estudio está orientado precisamente a suplir la necesidad que tiene este sector de los constructores, para conocer los rendimientos de las maquinarias en movimientos de tierras en la región, logrando enriquecer más el conocimiento en este campo.



1.2 MARCO TEORICO

1.2.1 Movimiento de tierras

Se entiende por Movimiento de Tierras al conjunto de actuaciones a realizarse en un terreno para la ejecución de una obra. Dicho conjunto de actuaciones puede realizarse en forma manual o en forma mecánica.

El movimiento de tierras en la ejecución de un proyecto depende directamente de la topografía que haya en el terreno. El movimiento de tierras también depende del tipo de intervención que se haya proyectado, si es paisajista o de edificación.

Durante el Movimiento de Tierras se puede observar que la capa vegetal del terreno es de aproximadamente de 0.20 a 0.25 m. que se retira y que en ocasiones se utilizan para crear montículos como parte de proyectos paisajistas.

Las tierras al ser excavadas tienen un esponjamiento aumentando su volumen en un 20% aproximadamente, lo cual se debe tener en cuenta a la hora de presupuestar un proyecto.

Entre la maquinaria utilizada para la excavación están la retroexcavadora giratoria de llantas, giratoria de cadenas, cargadores de llantas. Para el retirado de las tierras procedentes de la excavación se utilizan camiones con volcó (volquetas) que tienen una capacidad según su tamaño estos van entre los 15 a 40 m³.

El terreno una vez excavado hay que darle firmeza en la superficie final, por lo que se compacta. Para superficies grandes se utiliza el vibrocompactador. Previo al inicio de cualquier actuación, se deben efectuar los trabajos de replanteo, prever los accesos para maquinaria, camiones, rampas. Es habitual que antes de comenzar el movimiento de tierras se realice una intervención a nivel de la superficie del terreno, limpiando de arbustos, plantas, árboles, maleza y basura que pudiera hallarse en el terreno; a esta operación se la llama despeje y desmonte. Cuando ya se encuentra el terreno limpio y libre, se efectúa el replanteo y se comienza con la excavación.



- **Excavación**

La excavación es el movimiento de tierras realizado a cielo abierto y por medios manuales, utilizando pico y palas, o en forma mecánica con excavadoras, y cuyo objeto consiste en alcanzar el plano o cota de arranque de la edificación, es decir las Cimentaciones. La excavación puede ser:

- **Desmante**

El desmante es el movimiento de todas las tierras que se encuentran por encima de la rasante del plano de arranque de la edificación, generalmente el desmante se lleva a cabo por un bulldozer.

- **Corte**

El corte se realiza cuando el plano de arranque de la obra se encuentra por debajo del terreno.

- **Terraplenado**

El terraplenado se realiza cuando el terreno se encuentra por debajo del plano de arranque del diseño de la obra, cualquiera que esta sea y es necesario llevarlo al mismo nivel.

- **Excavación en zanjas y pozos**

La excavación en Zanjas y Pozos es el movimiento de tierras que se efectúa a través de medios mecánicos o manuales, para llegar al firme a fin de ofrecer el apoyo de las cimentaciones.

En su ejecución se realizan tareas de apertura, refinado y la limpieza del fondo; si se requiere se incluyen los trabajos de entibado y achique o agotamiento del terreno si existe agua.

Se considera zanja a la excavación en el terreno con un ancho o diámetro que no supere los 2 m y una profundidad no mayor de 7 m. Por lo general, los pozos y zanjas son los que se realizan para la construcción de las zapatas, vigas riostras y para instalaciones de saneamiento.



Los trabajos en tierra se realizan por lo general por medios mecánicos con la maquinaria adecuada en cada caso.

Durante los Trabajos de Replanteo se prevee la ubicación de *rampas* para salida y entrada de camiones. Es necesario delimitar el área de nuestra actuación y marcar puntos de referencia externos que nos sirvan para tomar datos topográficos.

Deberá tener en cuenta la *cota final* de la excavación y dejar las tierras a nivel, ya que resultaría muy costoso tener que volver a rellenar lo ejecutado.

Es importante conocer el ángulo de talud natural del terreno, sobre todo los de poca cohesión, conocer la ubicación exacta al excavar dejando paramentos ataluzados.

El talud adecuado a cada terreno no solo se aplica al corte principal sino a todos los frentes de excavación, incluyendo las rampas.

1.2.2 Maquinaria para movimiento de tierra

Son en general equipos autopropulsados utilizados en construcción de caminos, carreteras, ferrocarriles, túneles, aeropuertos, obras hidráulicas, y edificaciones. Están diseñados para llevar a cabo varias funciones, como son: soltar y remover la tierra, elevar y cargar la tierra en vehículos que han de transportarla, distribuir la tierra en tongadas o capas de espesor controlado, y compactar la tierra. Algunas máquinas pueden efectuar más de una de estas operaciones. Entre otras se pueden mencionar las siguientes máquinas para movimiento de tierra:

1.2.2.1 Excavadora

Se denomina excavadora a una máquina autopropulsada, sobre neumáticos u orugas, con una estructura capaz de girar al menos 360° (en un sentido y en otro y de forma ininterrumpida) que excava o carga, eleva, gira y descarga materiales por la acción de la cuchara, fijada a un conjunto formada por pluma y brazo o balancín sin que la estructura portante o chasis se desplace.



FOTOGRAFÍA 1 EXCAVADORA

FUENTE: EL AUTOR, 2008

1.2.2.1.1 Partes

- Chasis: Estructura portante desplazable mediante de cadenas o ruedas neumáticas. En el caso de ser de ruedas llevará unos estabilizadores para constituir bases de apoyo.
- Corona de giro: sirve de apoyo de la estructura sobre el chasis, permitiendo a ésta girar mientras el chasis permanece en estación. De dentado exterior o interior atacado por un piñón con motor independiente y dotada de freno.
- Estructura: sostiene el resto de la excavadora (motores, transmisiones, cabina, contrapeso).
- Cuchara: Fijo o móvil y dispuesta en el extremo de un brazo móvil soportado por una pluma también móvil.
- Energía motriz: Motor diesel o diésel-eléctrico
- Sistemas de accionamiento: Cilindros hidráulicos en su mayoría aunque también existen por cables y cabestrantes, transmisiones mecánicas, cilindros neumáticos.



1.2.2.1.2 Tipos

Existen dos tipos diferenciadas por el diseño del conjunto cuchara-brazo-pluma y que condiciona su forma de trabajo

- Excavadora frontal o pala de empuje: Con la cuchara hacia arriba. Tiene mayor altura de descarga. Útil en trabajos de minería, cuando se cargan materiales por encima de la cota de trabajo.
- Retroexcavadora: tiene la cuchara hacia abajo. Permite llegar a cotas más bajas. Utilizada sobre todo en construcción para zanjas, cimentaciones y desmontes.

Normalmente se suele referir de forma errónea a la pala mixta como retroexcavadora.



FOTOGRAFÍA 2 EXCAVADORA

FUENTE: EL AUTOR, 2013

1.2.2.2 Topadora o Bulldozer

A menudo conocida por su nombre inglés *bulldozer*. Estas máquinas remueven y empujan la tierra con su cuchilla frontal. La eficiencia de estas máquinas se limitan a desplazamientos de poco más de 100 m en horizontal. Existen dos tipos: *bulldozer* (cuchilla fija) y *angledozer* (su cuchilla puede pivotar sobre un eje vertical). Estas máquinas suelen estar equipadas con dientes de acero en la parte posterior, los que pueden ser hincados en el terreno duro, al avanzar la topadora con los dientes hincados en el suelo lo sueltan para poderlo luego empujar con la cuchilla frontal.



FOTOGRAFÍA 3 BULLDOZER CATERPILLAR D6D

FUENTE: EL AUTOR, 2008

1.2.2.2.1 Partes

La topadora está compuesta por un tractor de orugas o de 2 ejes sobre neumáticos, de chasis rígido o articulado, equipada en la parte delantera con una cuchilla horizontal colocada perpendicularmente al eje principal de la máquina que dispone de movimiento vertical de corto recorrido. Existen varios tipos de cuchilla, los más destacados:

- Recta: típica para corte de terreno.
- Cóncava: Además de cortar el terreno, voltea las tierras que arrastra, facilitando su movimiento.
- En U: Más baja que las anteriores, permite arrastrar mayor cantidad de material.

1.2.2.2.2 Tipos

- **Bulldozer:** cuya hoja de empuje frontal está fija al chasis del tractor mediante unos largueros y unos cilindros hidráulicos, quedando esta perpendicular al movimiento de la máquina. Los movimientos de la hoja son por tanto de *tilt* (inclinación lateral) y *pitch* (inclinación con respecto al eje vertical).
- **Angledozer:** Los largueros son sustituidos por cilindros hidráulicos lo que permite colocar la hoja en ángulo con respecto a la dirección de movimiento de trabajo. La



hoja es más baja y más ancha para mantener el ancho de trabajo aunque esté inclinada.

- **Tiltadozer:** La hoja de esta explanadora se puede girar alrededor del eje longitudinal del tractor y girar, tumbándola, alrededor de un eje horizontal, normal al eje del motor. Si se gira echando la parte superior hacia atrás aumenta la capacidad de corte, si se gira hacia delante, disminuye la capacidad de arrastre. Es el tractor que más usos permite con el movimiento de su hoja.

La diferencia del funcionamiento de trabajo de la cuchilla de cada variante hace para ciertos usos una de ellas sea más idóneo, aunque cualquiera de las tres lo podrían realizar.

1.2.2.2.3 Funcionamiento

El principio de funcionamiento consiste en desplazar la tierra o material a mover mediante una cuchilla u hoja, solidaria con la máquina, que es accionada por el empuje de esta. Las fases de trabajo de las topadoras son:

- Fase productiva: que se compone de excavación y empuje.
- Fase no productiva: que comprende el retorno a la posición inicial.

1.2.2.3 Pala cargadora frontal

Estos equipos se utilizan para remover tierra relativamente suelta y cargarla en vehículos de transporte, como camiones o volquetes. Son generalmente articuladas para permitir maniobras en un espacio reducido.



FOTOGRAFÍA 4 CARGADOR FRONTAL

FUENTE: EL AUTOR, 2014

1.2.2.4 Motoniveladora

También conocida por el nombre inglés *grader*. Se utiliza para mezclar los terrenos, cuando provienen de canteras diferentes, para darles una granulometría uniforme, y disponer las tongadas en un espesor conveniente para ser compactadas, y para perfilar los taludes tanto de rellenos como de cortes.



FOTOGRAFÍA 5 MOTONIVELADORA

FUENTE: EL AUTOR, 2009.



1.2.2.5 Compactadora

Se utiliza en la compactación de materiales sueltos para darle a este la capacidad de soportar cargas pesadas, evitando el hundimiento del suelo así como también evitando la penetración de agua y ayudando a que esta drene.

Los usos típicos incluyen la compactación del trazador de líneas del terraplén, la construcción de carreteras y de calles, la preparación de la instalación industrial, la construcción de aeropuertos, sitios de edificio grandes y operaciones grandes de movimiento de tierras.



FOTOGRAFÍA 6 COMPACTADOR DE RODILLO

FUENTE: EL AUTOR, 2009

1.2.3 Rendimiento de maquinaria

1.2.3.1 Definiciones

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

Producción = unidades de trabajo / hora

Las unidades de trabajo o de obra más comunes empleadas en el movimiento de tierras son m^3 o la tonelada, pero en otras actividades de la construcción se usan otras más adecuadas.

La unidad de tiempo más empleada es la hora, aunque a veces la producción se expresa por día.



Antes de conocer los diferentes rendimientos de máquinas es necesario familiarizarnos con algunos términos como son:

- Factor de Abundamiento: es una propiedad física del terreno de expandirse cuando es removido de su estado natural, se puede calcular a través de la siguiente fórmula:

$$F.V = (B/L - 1) (1)$$

donde:

F.V= % de abundamiento

B= peso de la tierra inalterada

L= peso de la tierra suelta

En la tabla 1 se puede observar algunos factores de expansión o abundamiento.

Tabla 1: Factor de Abundamiento

Clases de tierra	Porcentaje de expansión
Arena o Grava Limpia	de 5 a 15%
Suelo Artificial	de 10 a 25%
Tierra Lama	de 10 a 35%
Tierra Común	de 20 a 45%
Arcilla	de 30 a 60%
Roca Solida	de 50 a 80%

Fuente:Facultadecienciasmatematicasfisicasyquimicas/ingenierfacivil/07/construccionescivilesII/Rendimientodemaquinas
<http://www.sisman.utm.edu.ec/libros>.

- Tiempo de un Ciclo (T): Este concepto está ligado a las diferentes operaciones que emplean algunas máquinas para completar correctamente un trabajo, el tiempo de un ciclo contempla maniobras, carga, descarga, espera, retorno, acarreo, etc.
- Capacidad de los Receptáculos (Q): Se refiere a la capacidad que tienen los diferentes elementos de las máquinas como son cucharones de excavar y cargar, cuchillas de bulldozer, cuchillas de motoniveladoras, etc. Esta viene dada por el fabricante.



- Factor de Eficiencia del Cucharón (K): es la relación que existe entre la cantidad de material que hay en el receptáculo y la capacidad real del mismo.

$K = \text{material cargado por el receptáculo} / \text{capacidad nominal del receptáculo}$.

- Factor de eficiencia de la máquina (E): también conocido como factor de rendimiento de trabajo o eficiencia, básicamente este factor representa las pérdidas de rendimiento del equipo las cuales están en función directa con las condiciones de la máquina, de la adaptación que se tenga para cierto trabajo y las condiciones de la obra.

El factor de eficiencia depende de: las condiciones de administración y las condiciones de la obra

Las condiciones de la obra son: superficie del terreno, topografía, condiciones climáticas, adaptabilidad de la máquina.

Las condiciones de administración son: estado de la máquina, coordinación del trabajo entre equipos. En la tabla 2 se dan los factores de eficiencia en función de estas condiciones.

Tabla 2: Factores de Rendimiento de Trabajo en Función de las Condiciones de la Obra y de la Calidad de la Administración

Condiciones de la obra	Coeficiente de administración o gestión			
	EXCELENTE	BUENA	REGULAR	MALA
EXCELENTES 1.00	0.84	0.81	0.76	0.70
BUENAS 0.95	0.78	0.75	0.71	0.65
REGULAR 0.85	0.72	0.69	0.65	0.60
MALAS 0.75	0.72	0.69	0.65	0.60

Fuente: Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas / Ingeniería Civil / 07 / Construcción de Civiles II / Rendimiento de Máquinas
<http://www.sisman.utm.edu.ec/libros>.

A continuación los rendimientos de algunas máquinas:



- Rendimiento de bulldozer: básicamente el rendimiento de estas máquinas depende del tipo de hoja y su capacidad, así como de la eficiencia del operador y de la clase de material en que trabaja. Su cálculo se hace de la siguiente ecuación :

$$R = 60 * E * Q * K / T * F.V (2)$$

Donde:

R = rendimiento en m³ / hora

E = eficiencia general

Q = capacidad de carga de la cuchilla en m³

K = coeficiente de carga

T = tiempo de un ciclo

F.V = factor de abundamiento

- Rendimiento de cargadores : en función de la siguiente formula, el rendimiento de los diferentes tipos de cargadores es :

$$R = 60 * Q * K * E(0.764) / T * F.V (3)$$

Dónde:

R= rendimiento en m³ / hora

Q= capacidad nominal del cucharon

K= factor de llenado del cucharon

E = factor de rendimiento de trabajo

T = tiempo de un ciclo (minutos)

F.V = factor de abundamiento

- Rendimiento de excavadoras : los factores que deben tomarse para el cálculo del rendimiento son :

- Tipo de material
- Profundidad real del corte
- Angulo de giro



- Dimensión del equipo frontal
- Eficiencia del operador
- Condiciones del equipo y obra
- Capacidad del vehículo

Por lo tanto la formula con que se calcula el rendimiento para estas máquinas es:

$$R = 3600 * Q * E * K(0.764) / T * F.V (4)$$

Dónde:

R = rendimiento en m³ / hora medidos en el banco

Q = capacidad o volumen del cucharón

E = factor de rendimiento de la maquina

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

F.V = factor de abundamiento

T = tiempo del ciclo en segundos

- Rendimiento de motoniveladoras: la forma general de calcular el rendimiento de esta máquina es teniendo en cuenta el tiempo de trabajo y la siguiente formula:

$$T = D * N / V * E (5)$$

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

- Rendimiento de compactadores: la obtención del rendimiento de estas máquinas en general, se mide a través de un promedio en el que se considera el número de pasadas que necesita hacer una máquina, para obtener la compactación deseada.

La fórmula es la siguiente:



$$R = A * V * e * C * 10 / N \quad (6)$$

Dónde:

R = rendimiento en M³/hr

A = ancho compactado por la maquina en m

V = velocidad en km/hr

e = espesor de la capa a compactar en cms

C = coeficiente de reducción (0.6-0.8)

N = número de pasadas para obtener la compactación requerida

1.2.3.2 Factores que afectan el rendimiento de maquinaria pesada en los movimientos de tierras

Se Tendrá en consideración:

- Características del terreno, tales como: cohesión, densidad, compacidad; son factores que influyen en el rendimiento de la maquinaria.
- El tipo de terreno, que condiciona el rendimiento de los equipos empleados, ya que determina variaciones en los costos que dependen de la dureza o grado de compactación. A mayor dureza y compactación menor será el rendimiento de la excavación.
- Factores intrínsecos del terreno, tales como: asentamientos, niveles freáticos, zonas plásticas, que pueden incrementar la medición.
- Tiempo (CICLO, PRODUCCIÓN HORA), costo y eficiencia en condiciones óptimas de la maquina dependen directamente del operador.
- Formas de ejecutar las excavaciones, teniendo en cuenta profundidad, sección, altura, etc.; orientará hacia el tipo de maquinaria más adecuada a emplear.



- Factores externos, tales como factores climáticos, tendidos aéreos o subterráneos, edificaciones vecinas, tráfico, que pueden hacer que se paralice la excavación
- Topografía del terreno, pendiente
- Volúmenes a remover.
- Áreas.
- Distancias a recorrer por máquinas y equipos. Para carga y transporte de tierras se especifican unidades de obra en función a la distancia a vertedero. A mayor distancia, menor rendimiento de la unidad de obra.

Las unidades de obra se clasifican en función de la distancia (km).

1.2.4 Fundamentos de estadística

1.2.4.1 Concepto de población y muestra

El concepto de población en estadística va más allá de lo que comúnmente se conoce como tal. Una población se precisa como un conjunto finito o infinito de personas u objetos que presentan características comunes.

Algunas definiciones de población:

"Una población es un conjunto de todos los elementos que estamos estudiando, acerca de los cuales intentamos sacar conclusiones" (Levin & Rubin, 1996).

"Una población es un conjunto de elementos que presentan una característica común". (Cadenas, 1974).

El tamaño que tiene una población es un factor de suma importancia en el proceso de investigación estadística y en este caso aplica a las mediciones que se realizaron en la investigación de campo. Este tamaño viene dado por el número de elementos que



constituyen la población. Según el número de elementos la población puede ser finita o infinita. Cuando el número de elementos que integra la población es muy grande, se puede considerar a esta como una población infinita, por ejemplo; el conjunto de todos los números positivos.

Una población finita es aquella que está formada por un limitado número de elementos, por ejemplo; el número de habitantes de una comarca.

Cuando la población es muy grande, es obvio que la observación y/o medición de todos los elementos se multiplica dada la complejidad en cuanto al trabajo, tiempo y costos necesarios para hacerlo. Para solucionar este inconveniente se utiliza una muestra estadística.

Es a menudo imposible o poco práctico observar la totalidad de los individuos, sobre todos si estos son muchos. En lugar de examinar el grupo entero llamado población o universo, se examina una pequeña parte del grupo denominada muestra.

1.2.4.2 Muestra

La muestra es una representación significativa de las características de una población, que bajo, la asunción de un error (generalmente no superior al 5%) estudia las características de un conjunto poblacional mucho menor que la población global.

"Se llama muestra a una parte de la población a estudiar que sirve para representarla"
(Murria R. Spiegel, 1991).

"Una muestra es una colección de algunos elementos de la población, pero no de todos"
(Levin & Rubin, 1996).

"Una muestra debe ser definida en base de la población determinada, y las conclusiones que se obtengan de dicha muestra solo podrán referirse a la población en referencia",
(Cadenas, 1974).

Por ejemplo estudiar los valores sociales de una población de 5000 habitantes aproximadamente, sería de gran dificultad poder analizar los valores sociales de todos ellos, por ello, la estadística dota de una herramienta que es la muestra para extraer un conjunto



de población que represente a la globalidad y sobre la muestra realizar el estudio. Una muestra representativa contiene las características relevantes de la población en las mismas proporciones que están incluidas en tal población.

Los expertos en estadística recogen datos de una muestra. Utilizan esta información para hacer referencias sobre la población que está representada por la muestra. En consecuencia muestra y población son conceptos relativos. Una población es un todo y una muestra es una fracción o segmento de ese todo.

1.2.4.3 Técnicas de Muestreo

Esto no es más que el procedimiento empleado para obtener una o más muestras de una población.

Este se realiza una vez que se ha establecido un marco muestral representativo de la población, se procede a la selección de los elementos de la muestra aunque hay muchas formas de diseñar la muestra.

Al tomar varias muestras de una población, las estadísticas que se calculan para cada muestra no necesariamente serían iguales, y lo más probable es que variaran de una muestra a otra.

Existen dos métodos para seleccionar muestras de poblaciones; el muestreo no aleatorio o de juicio y el muestreo aleatorio o de probabilidad. En este último todos los elementos de la población tienen la oportunidad de ser escogidos en la muestra. Una muestra seleccionada por muestreo de juicio se basa en la experiencia de alguien con la población. Algunas veces una muestra de juicio se usa como guía o muestra tentativa para decidir como tomar una muestra aleatoria más adelante. Las muestras de juicio evitan el análisis estadístico necesario para hacer muestras de probabilidad. (freund & simon, 1994)

1.2.4.3.1 Muestreo aleatorio simple

Forman parte de este tipo de muestreo todos aquellos métodos para los que se puede calcular la probabilidad de extracción de cualquiera de las muestras posibles. Este conjunto de técnicas de muestreo es el más aconsejable, aunque en ocasiones no es posible optar por él. En este caso se habla de muestras probabilistas, pues no es correcto hablar en rigor



de *muestras representativas* dado que, al no conocer las características de la población, no es posible tener certeza de que tal característica se haya conseguido.

Dentro de estos están:

- **Muestreo sistemático**

Se utiliza cuando el universo o población es de gran tamaño, o ha de extenderse en el tiempo. Primero hay que identificar las unidades y relacionarlas con el calendario (cuando proceda). Luego hay que calcular una constante, que se denomina coeficiente de elevación:

$$K=N/n$$

Donde **N** es el tamaño del universo y **n** el tamaño de la muestra.

- **Muestreo estratificado**

Consiste en la división previa de la población de estudio en grupos o clases que se suponen homogéneos con respecto a alguna característica de las que se van a estudiar. A cada uno de estos estratos se le asignaría una cuota que determinaría el número de miembros del mismo que compondrán la muestra. Dentro de cada estrato se suele usar la técnica de muestreo sistemático, una de las técnicas de selección más usadas en la práctica.

Según la cantidad de elementos de la muestra que se han de elegir de cada uno de los estratos, existen dos técnicas de muestreo estratificado:

- **Asignación proporcional:** el tamaño de la muestra dentro de cada estrato es proporcional al tamaño del estrato dentro de la población.
- **Asignación óptima:** la muestra recogerá más individuos de aquellos estratos que tengan más variabilidad. Para ello es necesario un conocimiento previo de la población.

- **Muestreo por etapas múltiples**

Esta técnica es la única opción cuando no se dispone de lista completa de la población de referencia o bien cuando por medio de la técnica de muestreo simple o estratificado se obtiene una muestra con unidades distribuidas de tal forma que resultan de difícil acceso. En el muestreo a estadios múltiples se subdivide la población en varios niveles ordenados que se extraen sucesivamente por medio de un procedimiento de embudo. El muestreo se desarrolla en varias fases o extracciones sucesivas para cada nivel.

- **Muestreo por conglomerados**

Se utiliza cuando la población se encuentra dividida, de manera natural, en grupos que se supone que contienen toda la variabilidad de la población, es decir, la representan fielmente



respecto a la característica a elegir, pueden seleccionarse sólo algunos de estos grupos o *conglomerados* para la realización del estudio.

Dentro de los grupos seleccionados se ubicarán las unidades elementales, por ejemplo, las personas a encuestar, y podría aplicársele el instrumento de medición a todas las unidades, es decir, los miembros del grupo, o sólo se le podría aplicar a algunos de ellos, seleccionados al azar. Este método tiene la ventaja de simplificar la recogida de información muestral.

Cuando, dentro de cada conglomerado seleccionado, se extraen algunos individuos para integrar la muestra, el diseño se llama muestreo bietápico.

Las ideas de estratos y conglomerados son, en cierto sentido, opuestas. El primer método funciona mejor cuanto más homogénea es la población respecto del estrato, aunque más diferentes son éstos entre sí. En el segundo, ocurre lo contrario. Los conglomerados deben presentar toda la variabilidad, aunque deben ser muy parecidos entre sí.

1.2.4.3.2 Muestreo no probabilístico

Es aquél para el que no se puede calcular la probabilidad de extracción de una determinada muestra. Por tal motivo, se busca seleccionar a individuos que tienen un conocimiento profundo del tema bajo estudio y se considera que la información aportada por esas personas es vital para la toma de decisiones.

- **Muestreo por cuotas**

Es la técnica más difundida sobre todo en estudios de mercado y sondeos de opinión. En primer lugar es necesario dividir la población de referencia en varios estratos definidos por algunas variables de distribución conocida (como el género o la edad). Posteriormente se calcula el peso proporcional de cada estrato, es decir, la parte proporcional de población que representan. Finalmente se multiplica cada peso por el tamaño de n de la muestra para determinar la cuota precisa en cada estrato. Se diferencia del muestreo estratificado en que una vez determinada la cuota, el investigador es libre de elegir a los sujetos de la muestra dentro de cada estrato.

- **Muestreo de bola de nieve**

Indicado para estudios de poblaciones clandestinas, minoritarias o muy dispersas pero en contacto entre sí. Consiste en identificar sujetos que se incluirán en la muestra a partir de los propios entrevistados. Partiendo de una pequeña cantidad de individuos que cumplen los requisitos necesarios, servirán como localizadores de otros con características análogas.

- **Muestreo subjetivo por decisión razonada**



En este caso las unidades de la muestra se eligen en función de algunas de sus características de manera racional y no casual. Una variante de esta técnica es el *muestreo compensado o equilibrado*, en el que se seleccionan las unidades de tal forma que la media de la muestra para determinadas variables se acerque a la media de la población. La cual funciona en base a referencias o por recomendación después se reconoce por medio de la estadística.

1.2.4.4 Importancia de determinar el tamaño de una muestra

El determinar el tamaño de una muestra representa una parte esencial del método científico para poder llevar a cabo una investigación. Al muestreo se le define como el conjunto de observaciones necesarias para estudiar la distribución de determinadas características en la totalidad de una población, a partir de la observación de una parte o subconjunto de una población, denominada muestra.

El muestreo debe procurar ser representativo, ya que proporciona ventajas de índole económicas y prácticas, brindando la alternativa de optar por otra alternativa, ya que en lugar de investigar el total de la población, se investiga tan sólo una parte de ella, proporcionando con esto la información en forma más oportuna, eficiente y exacta, eliminando con ello recurrir a encuestar a toda la población.

1.2.4.5 Definir el Tamaño de una Muestra

Al definir el tamaño de la muestra, se debe procurar que ésta información sea representativa, válida y confiable y al mismo tiempo represente un mínimo costo. Por lo tanto, el tamaño de la muestra estará delimitado por los objetivos del estudio y las características de la población, además de los recursos y el tiempo de que se dispone.

1.2.4.6 Etapas para determinar el Tamaño de la Muestra

- Determinar el nivel de confianza con que se desea trabajar. (Z), donde $z = 1.96$ para un 95% de confianza o $z = 1.65$ para el 90% de confianza



Tabla 3: Tabla de Apoyo al Cálculo del Tamaño de una Muestra por Niveles de Confianza.

TABLA DE APOYO AL CALCULO DEL TAMAÑO DE UNA MUESTRA POR NIVELES DE CONFIANZA									
Certeza	95%	94%	93%	92%	91%	90%	80%	62.27%	50%
Z	1.96	1.88	1.81	1.75	1.69	1.65	1.28	1	0.6745
Z^2	3.84	3.53	3.28	3.06	2.86	2.72	1.64	1.00	0.45
e	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.20	0.37	0.50
e^2	0.0025	0.0036	0.0049	0.0064	0.0081	0.01	0.04	0.1369	0.25

Fuente: Mendenhall, W. y Reinmuth, J. (1986).

Para ver como se distribuye algunas de las características de la muestra con respecto a la variable que se está midiendo, se puede recurrir a la famosa campana de Gauss o Student, que refleja la curva normal de distribución cuya característica principal es la de ser unimodal donde la media, mediana y la moda siempre coinciden.

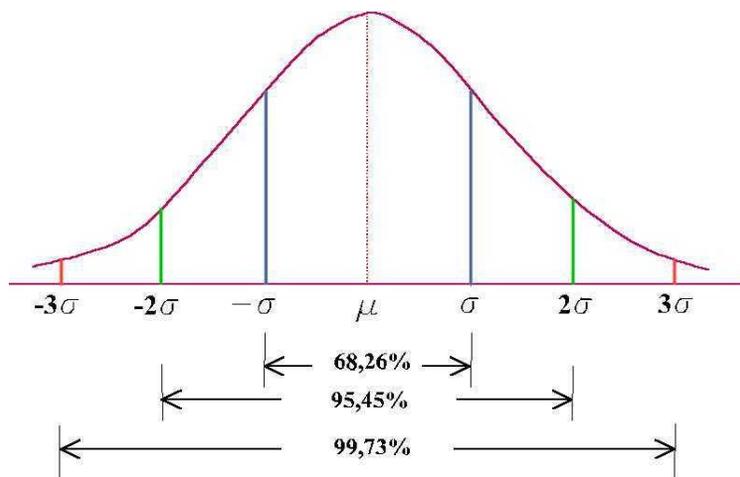


FIGURA 1 CAMPANA DE GAUSS O STUDENT

FUENTE: MENDENHALL, W. Y REINMUTH, J., 1986



Esta distribución normal, permite representar en la estadística muchos fenómenos físicos, biológicos, psicológicos o sociológicos. Ahora bien, se hace necesario el definir los términos Media, Moda y Mediana:

Media: Es el conjunto de n observaciones sumadas y divididas entre n .

Moda: Se define como el valor que más ocurre en un conjunto de observaciones.

Mediana: Es el centro de un conjunto de observaciones ordenadas en forma creciente.

Esta curva esta detallada en todos los libros de estadística y se puede recurrir a ella cuando se desee obtener otros valores de certeza como por ejemplo el 99% de estimación y que da por resultado $z=3.00$ o $z=1.65$ para el 90%.

- Estimar las características del fenómeno investigado. Donde se considera la probabilidad de que ocurra el evento (p) y la de que no se realice (q); siempre tomando en consideración que la suma de ambos valores $p + q$ será invariablemente siempre igual a 1, cuando no se cuente con suficiente información, le asignaremos $p = .50$ $q = .50$.
- Determinar el grado de error máximo aceptable en los resultados de la investigación. Éste puede ser hasta del 10%; ya que variaciones superiores al 10% reducen la validez de la información.
- Se aplica la fórmula del tamaño de la muestra de acuerdo con el tipo de población.

Tabla 4: Estimación de la Muestra según el Tipo de Población

Población infinita	Población Finita
$n = \frac{p \cdot q}{e^2}$	$n = \frac{Z^2 p \cdot q \cdot N}{Ne^2 + Z^2 p \cdot q}$
Cuando no se sabe el número exacto de unidades del que está compuesta la población.	Cuando se conoce cuántos elementos tiene la población
En donde: Z = nivel de confianza. p = Probabilidad a favor. q = Probabilidad en contra.	N = Universo e = error de estimación. n = tamaño de la muestra

Fuente: Mendenhall, W. y Reinmuth, J. (1986).



2. OBJETIVOS Y ALCANCE

2.1 OBJETIVO GENERAL

Se determino el rendimiento de los equipos de maquinaria pesada utilizados en movimientos de tierra en la ciudad de Cartagena, por medio de mediciones directas en obra para así establecer una base de datos de rendimientos plasmados en una tabla que sirva de utilidad a constructores y a la comunidad en general.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.

- Se determinó el rendimiento para una motoniveladora, mediante medición directa en obra para los ítems de extendida y perfilación de material, céreo de vías, céreo de terrazas.
- Se determinó el rendimiento para una excavadora, mediante medición directa en obra para los ítems de excavación de cajas, conformación de talud, cargue de volquetas en canteras, cargue de volquetas en obra, excavación de zanjas, excavación de lagos artificiales.
- Se determinó el rendimiento para un bulldozer, mediante medición directa en obra para los ítems de desmonte, descapote, extendida de material de relleno.
- Se determinó el rendimiento para un cargador de pala frontal, mediante medición directa en obra para el ítem de cargue de volquetas en obra.
- Se determinó el rendimiento para un vibro-compactador, mediante medición directa en obra para los ítems de compactación de subrasante, compactación de bases y compactación de terrazas.
- Se analizaron los datos tomados en obra y compararon con la información recolectada en las encuestas y la revisión de los manuales de los fabricantes, para elaborar una base de datos de rendimientos de maquinaria pesada.



2.3 ALCANCE

El proyecto se limitó única y exclusivamente a obtener los rendimientos de maquinaria pesada en la ciudad de Cartagena tomando como caso de estudio: las obras de urbanismo Coral Lakes en el km 13 vía Barranquilla y Zona Franca Parque Central ubicado en la variante Cartagena, sector aguas prietas. Calle 1 Cra 2-5, con la utilización de maquinarias tales como excavadoras en los ítems: excavación de cajas, conformación de talud, cargue de volquetas en canteras, cargue de volquetas en obra, excavación de zanjas, excavación de lagos artificiales; para bulldozers en los ítems: desmonte, descapote, extendida de material de relleno; para motoniveladoras: en los ítems extendida y perfilacion de material, céreo de vías, céreo de terrazas; para cargadores en el ítem: cargue de volquetas en obra y para compactadores en los ítems: compactación de subrasante, compactación de bases y compactación de terrazas.

Esta medición facilitó el análisis y la obtención de los rendimientos, valiéndose de unas mediciones directas en obra y trabajando en condiciones ideales, es decir, sin tener en cuenta tiempos muertos, daños de los equipos, condiciones climáticas con el fin de que las muestras no se vean afectadas o se sesguen por estos factores. Todos los datos tomados se registraron y tabularon, para realizar finalmente el cálculo de los rendimientos de cada equipo.

3. METODOLOGIA



El estudio que se realizó es una investigación mixta que conjuga la investigación documental con la investigación de campo, documental ya que a través de las diferentes teorías expuestas por el fabricante se identificaron algunos factores y fórmulas para establecer la manera como se calculan teóricamente los rendimientos de los equipos y la investigación de campo ya que se estudió el fenómeno a partir del ambiente en que este se desarrolló, donde la fuente de información fue primaria, obtenida a partir de encuestas y mediciones de campo y secundaria, obtenida de los catálogos de los fabricante.

El método que se utilizó en el presente estudio pertenece al método particular y específico y dentro de este se desarrolló a través del método de observación más específicamente observación directa y observación por encuestas (método de encuestas).

La presente investigación siguió la siguiente metodología:

- A través de la investigación documental se revisó la información teórica que existe respecto al tema de rendimientos de maquinarias, ecuaciones o fórmulas del cálculo de rendimientos dadas por el manual del fabricante y apoyados en el marco referencial, se identificaron los factores que afectan este tipo de rendimientos, dando una explicación detallada de la manera como estos textos (Manual Caterpillar, Ed. 31) ayudan a estimar mediante gráficos y tablas la producción de los equipos pesados obteniendo unos valores teóricos los cuales son asociados a unos factores de corrección para así estimar la producción real teórica sin embargo, el presente estudio se realizó en condiciones ideales es decir con máquinas en buenas condiciones para trabajar, no se tuvo en cuenta el clima o condiciones ambientales pues las muestras o mediciones fueron tomadas cuando la máquina estuvo en operación y se tuvo en cuenta la experiencia del operador para que no afectara la medición tomada.
- Se estableció mediante el método de encuesta (fuente primaria) si las empresas dedicadas al movimiento de tierras en la ciudad de Cartagena cuentan actualmente con una base de datos que representen los rendimientos de maquinaria pesada, lo cual si existiesen podrían ser complemento de este estudio. Las empresas a las que se le hizo esta encuesta son:



- Equipos y Transportes y Cía. Ltda.
- Promotora Montecarlo Vías S.A.
- Laguna Morante S.A.
- Sierra Pérez y Cía. S. en C.
- Arismendy Andrade Multiservicios
- Megamovimientos
- Movicom S.A.
- Herrera y Duran Ltda.

El formato utilizado para realizar estas encuestas se muestra en el anexo 1, se hicieron 5 preguntas a los encuestados (empresas dedicadas al movimiento de tierras) cuyo objeto era determinar los parámetros que utilizan las empresas de la ciudad para estimar los rendimientos de los equipos y si creen que los métodos utilizados para tal fin son los idóneos o por el contrario tienen algún tipo de falencias.

- Mediante el método de observación, observación directa se tomaron los rendimientos en obra de todos y cada uno de los ítems más representativos en los movimientos de tierra para cada una de las máquinas. Es así, que para la excavadora se tomaron ítems de excavación de cajas para conformación de vías, conformación de taludes, cargue de material tanto en canteras como en acarreo dentro de la obra, excavación de zanjas, excavación de lagos. Para el caso de bulldozer, se establecieron los ítems de desmonte, descapote, extendida de material de relleno. Para los cargadores de pala frontal, se establecieron los ítems de cargue de materiales. Para el caso de las motoniveladoras, se establecieron los ítems de extendida de materiales y perfilacion de terrazas, céreo de vías y céreo de terrazas y para el caso de los vibrocompactadores, se establecieron los ítems de compactación de subrasantes y bases al igual que compactación de terrazas. A través del método de muestreo no aleatorio o de juicio, se tomaron las mediciones necesarias según el tamaño de la muestra, es decir para cada ítem se determinó el tamaño de la



población y se calculó el tamaño muestral, para el cual se optó por un nivel de confianza del 95% y 5% de error. Estas mediciones fueron registradas en el formato establecido para ítem o actividad, cada ítem o actividad tiene su formato el cual en la metodología por ítem aparece su respectivo anexo.

3.1 METODOLOGIAS POR ITEM O ACTIVIDAD

3.1.1 Ítem de excavación de cajas en la conformación de vías

La excavación de cajas para conformación de vías consiste en un corte que se la hace al terreno para llevarlo al plano de arranque en este caso a la cota de diseño de la subrasante, cuando la profundidad de corte es mínima (menor a 0,30 m) se puede utilizar otro tipo de maquinaria como es el bulldozer para profundidades mayores optamos por la excavadora de orugas pues el rendimiento es óptimo.

La medición de este ítem se hizo mediante medición directa en obra, se utilizó un área especificada por los abscisados de la vía en cuestión y con base en las cotas de terreno y a las cotas de diseño se establecio una profundidad promedio de corte obteniendo un área y una profundidad se calculó un volumen de extracción, el paso a seguir fue cronometrar el tiempo en que la maquina hace esta operación en condiciones normales, sin afectación por demoras y por último se cubico el balde del equipo para estimar su capacidad ya que de esto depende también el rendimiento. Se consignaron estos datos en un formato (ver anexo 2) y se tomaron un número de mediciones repetitivas de este ítem hasta alcanzar una muestra significativa para calcular el rendimiento de esta operación, se sumaron los valores de los rendimientos promedios de todas las mediciones y se dividieron entre el número total de muestras o mediciones tomadas para así obtener el rendimiento promedio para este ítem el cual fue representado en una tabla de rendimientos. (Tabla 14)

Para este ítem se determinó que el tamaño de la población corresponde al volumen total de material excavado para todas las vías el cual es de 17.679 m³, luego el tamaño de la muestra a estudiar fue de 4.350 m³ es decir se hicieron mediciones hasta alcanzar este



volumen con un nivel de confianza del 95% y un error de estimación de 5%. Las unidades de medida son $m^3/hora$.



Fotografía 7 Excavación de caja para conformación de vías

Fuente: El autor, 2008

3.1.2 Ítem de Conformación de Taludes

La conformación de taludes es muy importante en la construcción de rampas de acceso, zanjas y lagos puesto que son los que van a evitar en gran medida la erosión del terreno en especial en terrenos con poca cohesión, de ahí que hay que trabajar con los ángulos del talud natural del terreno.

La medición de este ítem se hizo directamente en obra por el método de observación, observación directa, se utilizó un área demarcada con anticipación desde el pie del talud hasta su hombro, se hicieron lecturas con un nivel para establecer las alturas de la pared del talud, el cual es de 5 m en promedio y se midieron los anchos de este los cuales siempre serán constantes de 3 m, y por último se hicieron las mediciones con base en las longitudes de trabajo obteniendo un volumen de extraído de la conformación del talud, el cual fue consignando en su respectivo formato al igual que se cubico el balde del equipo para establecer una referencia. Se tomo el número necesario de mediciones hasta alcanzar la muestra calculada y se consignaron en el formato para tal fin (ver anexo 3), luego se calculo los rendimientos por unidad de tiempo hasta alcanzar el tamaño de la muestra. Se



promediaron todos los rendimientos tomados para obtener el rendimiento de la maquina en esta actividad el cual fue consignado en una tabla de rendimientos (Tabla 14). Las unidades de medida son m^3 /hora.

La población total para este ítem corresponde al volumen total de material excavado y perfilado para la conformación de un talud en 4 lagos artificiales, el cual es de $9000 m^3$ y del cual se obtuvo un tamaño muestral de $2183 m^3$ con un nivel de confianza del 95% y un error estimado en 5%, el cual fue consignado en el formato. (Ver anexo 3).



Fotografía 8 Conformación de Talud con Hitachi 330

Fuente: El autor, 2008

3.1.3 Ítem de cargue de volquetas en cantera

El rendimiento de un equipo de cargue en cantera depende de muchos factores, como son la cohesión, la densidad, la topografía, el acceso a la zona de cargue, la dureza del material, a mayor dureza menor el rendimiento, al número de volquetas disponibles para el acarreo, etc. En este sentido se midió el rendimiento de este equipo en el mismo instante en que la volqueta estuvo en la zona de cargue, evitando atrasos por acomodación de la misma, se cubicaron las volquetas las cuales cubican entre 15 y $16 m^3$ y se estimó el tiempo que utiliza el equipo en su llenado, determinando con antelación la capacidad del balde o cucharón de la excavadora para hacer referencia al mismo.



Se repitió el procedimiento hasta obtener un número significativo de mediciones las cuales se consignaron en el formato para tal fin (ver anexo 4) y se calculó su rendimiento promedio consignándolo en una tabla de rendimientos. (Tabla 14).

La población de estudio para esta actividad corresponde al volumen total de material explotado en canteras para su utilización en la obra el cual corresponde a 16.000 m^3 , para el cual su tamaño muestral corresponde a 4230 m^3 es decir se hicieron mediciones en obra hasta alcanzar el tamaño de la muestra con un nivel de confianza de 95% y un error de estimación de 5%. Las unidades de medida son m^3/hora



Fotografía 9 Cargue en Cantera con Hitachi 330

Fuente: El autor, 2008

3.1.4 Ítem de cargue de volquetas en obra

Al igual que en el ítems anterior depende de muchos factores pero se partió del hecho de que se trabajó en condiciones normales con el número adecuado de volquetas de tal manera que no hubo tiempos muertos para los equipos, se cubicaron todas las volquetas las cuales tienen capacidades que oscilan entre 15 y 16 m^3 al igual que los cucharones de los equipos, se estimaron los tiempos de llenado de los vehículos y se consignaron en los formatos para tal fin (ver anexo 5) para el cálculo de su rendimiento.

La población de estudio para este ítem corresponde al volumen total de corte es de 6.000 m^3 de material del sitio y cuya muestra corresponde a 2100 m^3 , es decir, que se hicieron



mediciones hasta alcanzar el volumen del tamaño de la muestra con un nivel de confianza de 95% y un error de 5%. Las unidades de medida son $m^3/hora$.



Fotografía 10 Cargue en obra con Hitachi 330

Fuente: El autor, 2008

3.1.5 Ítem de desmonte

El ítem de desmonte hace referencia al retiro de la tierra que se encuentran por encima de la rasante este retiro es muy superficial más bien es una limpieza que se le hace a la zona que se va a intervenir, generalmente el desmonte se lleva a cabo por un bulldozer.

La forma de medir este ítem fue directamente en obra, mediante el método de observación. Se utilizó una zona demarcada con anterioridad para establecer el área de trabajo en m^2 luego se empleó el equipo para esta labor, se cronometro el tiempo empleado por la maquina en esta labor y se midió también las dimensiones de la cuchilla del bulldozer para establecer una referencia de esta con base en la capacidad, se consignaron en los formatos (ver anexo 6) toda la información y se repitió el proceso hasta obtener una muestra significativa del mismo, después de obtener el número necesario según el tamaño de la muestra se calculó el rendimiento del equipo en esta labor promediando todas las mediciones tomadas según la muestra, el resultado del rendimiento promedio del equipo fue consignado en una tabla de rendimientos. (Tabla 14).



La población para esta actividad corresponde al área total de desmonte del proyecto el cual es de 400.000 m² y su correspondiente muestra es de 50400 m², con un nivel de confianza del 95% y un error de 5% Las unidades de medida son m²/hora.



Fotografía 11 desmonte con bulldozer D6

Fuente: El autor, 2008

3.1.6 Ítem de descapote

Se conoce como descapote al retiro de la capa vegetal, arbustos, raíces, basuras, de un terreno el cual es de aproximadamente de 0,20 a 0,25 m de espesor, el rendimiento de este ítems depende directamente del tipo de terreno que se va a remover, de su cohesión, dureza, asentamientos, niveles freáticos, topografía. La forma de medición de este ítem se realizó directamente en obra, mediante observación directa se utilizaron áreas predeterminadas topográficamente y se establecieron profundidades promedios no superiores a 0,25 m, calculando así un volumen a descapotar el cual es consignado, se estimaron los tiempos cronometrados que empleo el equipo para esta labor, el cual también fue consignado, se establece la capacidad de la cuchilla del bulldozer y se consigna.



Se repitió el proceso hasta obtener el número de muestras según el tamaño calculado las cuales se consignaron en los formatos (ver anexo 7) y se calculó el rendimiento promedio de este equipo sumando todas las mediciones hechas y promediando estas. El resultado de estas mediciones fue consignado en una tabla de rendimientos. (Tabla 14).

La población para esta actividad corresponde al volumen total de descapote para el proyecto el cual es de 100.000 m^3 y cuya muestra corresponde a 5447 m^3 , con un nivel de confianza de 95% y un error de 5%. Las unidades de medida son m^3/hora .



Fotografía 12 Descapote con bulldozer D6

Fuente: El autor, 2009

3.1.7 Ítem de extendida de material de relleno

Se conoce como extendida de material al empuje de material clasificado por un equipo en este caso bulldozer el cual trabaja con un espesor de capa dado, el rendimiento de esta máquina está limitado a desplazamientos horizontales no mayores de 100 m hacia delante conocido este movimiento como fase productiva y el movimiento hacia atrás se conoce como fase no productiva o de retorno a la posición inicial.

Este ítem fue medido en obra utilizando un área en m^2 determinada por los abscisados de la vía y sus anchos, el espesor de la capa es constante en su trayecto, aproximadamente 0,20 m para cumplir con los requerimientos técnicos de la vía. Se consignaron estos valores en



sus respectivos formatos al igual que la capacidad de la cuchilla del bulldozer (ver anexo 8) y se calculó este ítem utilizando el tiempo cronometrado que requiere la máquina para extender una cantidad conocida de material seleccionado, este procedimiento se repitió hasta alcanzar el número de mediciones que la muestra requirió, consignando el rendimiento del equipo en una tabla. (Tabla 14)

La población de estudio para esta actividad corresponde al volumen total de relleno con material seleccionado que es de 5333 m³ y la muestra calculada fue de 2760 m³. Las unidades de medida son m³/hora



Fotografía 13 Extendida de Material de Relleno con bulldozer D6

Fuente: El autor, 2009

3.1.8 Ítem de cargue de material con cargador en la obra

El cargue de material con este tipo de equipos cargadores de pala frontal se utiliza mucho en canteras y en obras cuando el material esta suelto y no necesita ser explotados de una cantera, por ser un equipo articulado permite maniobras en espacios reducidos.

Para el cálculo del rendimiento de este equipo se hicieron mediciones directas en obra, se cronometraron los tiempos que emplea el equipo para el llenado de una volqueta la cual fue previamente cubicada al igual que el cucharón del equipo como referencia y se tomaron el número necesario de mediciones según la muestra, las cuales se consignaron en formatos



para tal fin (ver anexo 9) para obtener el cálculo del rendimiento promediando las diferentes mediciones hechas de este equipo, el cual fue consignado en una tabla. (tabla 14)

Para efectos de las mediciones se utiliza el valor total de la población la cual corresponde a 2000 m³ aproximadamente por ser un volumen relativamente bajo.

Las unidades de medida son m³/hora.



Fotografía 14 Cargue de Volquetas con Cargador

Fuente: El autor, 2010

3.1.9 Ítem de excavación de zanjas

Se considera zanja a la excavación no mayor de 4 m en ancho o diámetro y no mayor a 7 m de profundidad, este tipo de excavación se puede hacer de forma mecánica y según el tipo de terreno puede utilizarse entibados o achique, estas zanjas se hacen para la instalaciones de tubería sanitaria, canales, cimentaciones, etc.

En nuestro caso la maquina idónea para hacerlo es la pala excavadora, la forma de medición de este ítem se realizó utilizando una zona de excavación de zanja, una longitud, un ancho y una profundidad, determinando así un volumen a excavar, se cubico el cucharón del equipo y se consignó en el formato y se estimó el tiempo empleado para cada medición, hasta alcanzar el número necesario de medidas según la muestra calculada, los cuales se consignaron en los respectivos formatos para su cálculo (ver anexo 10).



La población para esta actividad corresponde al volumen total de excavación de zanjas que es de 1480 m³, de la cual se estableció como muestra el mismo volumen de la población por ser este un volumen demasiado bajo. Las unidades de medida son m³/hora.



Fotografía 15 Excavación de zanja con Caterpillar 200

Fuente: El autor, 2010

3.1.10 Ítem de excavación de lagos

Este ítem no es muy conocido en la práctica de los movimientos de tierras, pocas son las construcciones que hacen este tipo de inversiones por los altos costos que generan las excavaciones, se utilizan maquinarias como excavadoras de gran capacidad de cargue para construirlos y gran número de volquetas para hacer el acarreo del material explotado, en nuestro caso dicho material ha sido dispuestos en zonas donde por su topografía implicaba rellenos ahorrándonos el transporte de material de otras zonas más alejadas. El rendimiento de este ítem lo da la capacidad de explotación de las máquinas.

Este ítem fue medido en la excavación de 5 lagos artificiales que se hicieron en la urbanización Coral Lakes, los cuales tienen un área de 3,5 ha (35.000 m²) utilizando un número considerable de volquetas, las cuales fueron cubiertas al igual que el balde de las excavadoras, se hizo la medición en horas en la que la producción fue constante y no hubo tiempos muertos o demoras, fueron consignados en los formatos para su cálculo (ver anexo 11), para el cual se tomaron mediciones de tiempo de los equipos llenando las volquetas y



se dividieron entre el número total de medidas para obtener un rendimiento promedio el cual fue consignado en una tabla.(Tabla 14). La población de estudio corresponde al volumen total de material extraído de las excavaciones de estos lagos que fueron de 100.000 m³ y cuya muestra estas 4365 m³. Con un nivel de confianza de 95% y un error de 5%. Las unidades de medida son m³/hora.



Fotografía 16 Excavación de lagos artificiales con Hitachi 330

Fuente: El autor, 2009

3.1.11 Ítem de extendida y perfilación de material en la vía

Este ítem consiste en empujar el material puesto y extenderlo a lo largo de una zona demarcada por la excavación de la caja que conforma la vía, este proceso con esta máquina es más eficiente que con el bulldozer debido a la velocidad de trabajo de la misma, ambas maquinas tienen caras no productivas pero la motoniveladora regresa al punto de inicio mucho más rápido.

Este ítem fue medido teniendo en cuenta áreas en m² de trabajo determinadas por los anchos y las longitudes de la vía y estableciendo las alturas de relleno de 0,20 m, se colocaron cierta cantidad de viajes cubicados en dicha zona y se estimaron los tiempos a través de un cronometro que empleo el equipo tumbando y perfilando este material, se repitió el proceso en otras áreas hasta tener un número significativo según el tamaño de la muestra para ser consignadas en los formatos (ver anexo 12) para el cálculo del rendimiento



del equipo en este ítem. Se calculó un promedio de todas las mediciones y se estableció un rendimiento el cual fue consignado en una tabla.(Tabla 14).

La población de estudio se fijó en el volumen total de material de relleno seleccionado que se extendió con la máquina el cual fue de 10666 m³ y cuya muestra fue calculada en 3735 m³, con un nivel de confianza del 95% y un error de 5%. Las unidades de medida son m³/hora.



Fotografía 17 Perfilacion de Material con Motoniveladora

Fuente: El autor, 2009

3.1.12 Ítem de cereo de vías

Se conoce como cereo al proceso que hace una motoniveladora de nivelar un terreno y llevarlo a la cota de diseño, agregando material de acabado. En este proceso se hace una verificación con un equipo de nivelación para corroborar que las abscisas estén en las cotas de acabado se tiene en cuenta la pendiente longitudinal y transversal de la vía.

Este ítem fue medido utilizando zonas que ameritaban el cereo por parte de la motoniveladora, se demarcaron estas zonas por los abscisados de la vía y se estimó el tiempo cronometrado de la ejecución del proceso con la máquina el cual solo se termina cuando el topógrafo mediante un levantamiento establece que el terreno está en las cotas de diseño para luego consignarlo en su respectivo formato (ver anexo 13) para el cálculo del rendimiento de este equipo en dicha labor. Para calcular este rendimiento se



promediaron las mediciones tomadas en las diferentes áreas cerciadas según el tamaño de la muestra la cual fue de 2760 m³ de una población de 5333 m³, con un nivel de confianza de 95% y un error de 5%. Las unidades de medida son m³/hora



Fotografía 18 cereo de vías con Motoniveladora

Fuente: El autor, 2009

3.1.13 Ítem cereo de terrazas

Al igual que el ítem de cereo de vías, corresponde este ítem a llevar a cota de diseño una franja o área específica dichas áreas tienen por lo general áreas geométricas definidas como cuadrados o rectángulos las cuales pueden tener una misma cota de diseño en toda el área a nivelar o pendientes mínimas transversales o longitudinales.

Para medir este ítem se tuvo en cuenta el área de la terraza que previamente se extendió y perfiló, obteniendo así un volumen dado, el cual se cerció hasta alcanzar los niveles requeridos, se determinó a través de un cronómetro el tiempo ininterrumpido que gastó la motoniveladora en hacer este trabajo, cuyos datos se tomaron directamente en obra y se consignaron en su respectivo formato (ver anexo 14) para su análisis y cálculo. El cual se llevó a cabo promediando todas las mediciones hechas según el tamaño de la muestra calculada y consignada en una tabla de rendimientos.



La población de estudio corresponde al volumen total de material de relleno seleccionado el cual es de 10800 m³ de la cual el tamaño muestral es de 3758 m³, con un nivel de confianza de 95% y un error estimado en 5%. Las unidades de medida son m³/hora.



Fotografía 19 Cerezo de terrazas con Motoniveladora

Fuente: El autor, 2009

3.1.14 Ítem de compactación de subrasante.

Para llegar a la subrasante se ha debido hacer una limpieza de la zona que se va a intervenir ya sea un desmonte o un descapote del terreno garantizando la limpieza del mismo de capa vegetal, raíces, basuras, etc., luego se hace un corte o relleno del terreno hasta alcanzar la cota de terreno o subrasante.

La subrasante en todo proyecto debe estar siempre seca y bien drenada ya que sobre ella se colocaran las diferentes capas de material seleccionado. La compactación será del 90% del proctor estándar.

Este ítem fue medido estimando los tiempos que utiliza el equipo de compactación en la labor o actividad, se hizo una medición de la zona de estudio la cual está delimitada por el ancho de la vía y por el abscisado de la vía (longitud), para obtener un área de estudio dado en m² se cronómetro el tiempo utilizado por la maquina hasta cumplir con los



requerimientos técnicos de la obra los cuales son corroborados cuando las pruebas de densidad en el terreno cumplen con la norma, el número de medidas necesarias fue consignando y recolectado en los formatos (ver anexo 15) para su cálculo, según el tamaño de la muestra para luego promediarlos y así obtener un rendimiento de esta actividad. El tamaño de la muestra es de 25.257 m². Las unidades de medida son en m²/hora



Fotografía 20

subrasante

Compactación de

Fuente: El autor, 2008.

3.1.15 Ítem de compactación de base en una vía

El proceso de compactar un terreno es la acción de presionar el material sobre el terreno a fin de reducir el volumen al más mínimo posible, hasta el punto de poder alcanzar una dureza del material mínima del 98% del proctor, evitando así el hundimiento y la penetración del agua en el terreno y dándole propiedades al terreno de soportar cargas pesadas. Antes de darle la compactación al terreno, otro equipo ha tenido que darle acabado a este tanto de pendientes como de drenaje, al igual que humectación.

Este ítem fue medido utilizando una zona o área de estudio estimada por los anchos y longitud de la vía con un espesor de capa de 0,15 a 0,20 m, calculando así el volumen a



compactar por el equipo, teniendo la zona delimitada se procedió a estimar mediante el cronometro los tiempos que utiliza el equipo en la labor dada, los cuales solo son corroborados cuando las densidades tomadas a la vía cumplen con las especificaciones.

Se hicieron mediciones en los formatos (ver anexo 16) y se tomaron tanta medidas como el tamaño de la muestra indico hasta obtener una muestra para realizar el cálculo del rendimiento de este, el cual se hizo promediando todas las mediciones que se hicieron para esta actividad.

La muestra poblacional corresponde a 2760 m³ de una población de 5333 m³. Las unidades de medida son m³/hora. Las unidades de medida son M3/hora.



Fotografía 21 Compactación de bases con vibro de 10 t

Fuente: El autor, 2009.

3.1.16 Ítem de compactación de terrazas

Este ítem será medido al igual que el anterior estableciendo un área demarcada por las especificaciones las cuales tendrán áreas geométricas definidas, las cuales después de un corte hecho por la motoniveladora serán compactadas hasta alcanzar la compactación requerida por las especificaciones técnicas del proyecto que para estos casos son mínimo el 95 % del proctor, se determinará el tiempo empleado en esta operación por la máquina y se consignará en formatos para tal fin (ver anexo 17) hasta obtener el rendimiento para este ítem. La población de estudio corresponde al volumen total a compactar en las terrazas cuyo



valor es de 10800 m^3 y cuyo tamaño muestral fue de 3758 m^3 . Las unidades de medida son m^3/hora



Fotografía

22

Compactación de terrazas con vibro de 10 t

Fuente: El autor, 2009

- Seguidamente se procesó toda la información recolectada y mediante métodos estadísticos, matemáticos y software de Excel se calcularon los rendimientos para cada máquina los cuales son presentados a través de una base de datos plasmada en tablas en el siguiente capítulo.(Tabla 14)



4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 REVISION TEORICA Y DOCUMENTAL DE LOS RENDIMIENTOS DE MAQUINAS

Según el manual de rendimientos Caterpillar se encontró que para los diferentes equipos de maquinaria pesada como son bulldozer, motoniveladoras, excavadoras, cargadores y compactadores existen una serie de tablas donde se pueden estimar los valores de rendimientos para cada equipo de la siguiente manera:

Rendimientos para un bulldozer según el manual de rendimiento Caterpillar

Para el caso de los rendimientos de bulldozer se encontró unas tablas de los diferentes modelos donde se puede estimar la producción en $m^3/hora$ (sistema métrico) o $yaldas^3/hora$ (sistema ingles), según diferentes distancias de acarreo, estas mediciones arrojan una capacidad máxima de la máquina para luego ser corregida con otra tabla que indica los factores que afectan este tipo de medición.

Estas mediciones se desarrollan bajo ciertas condiciones:

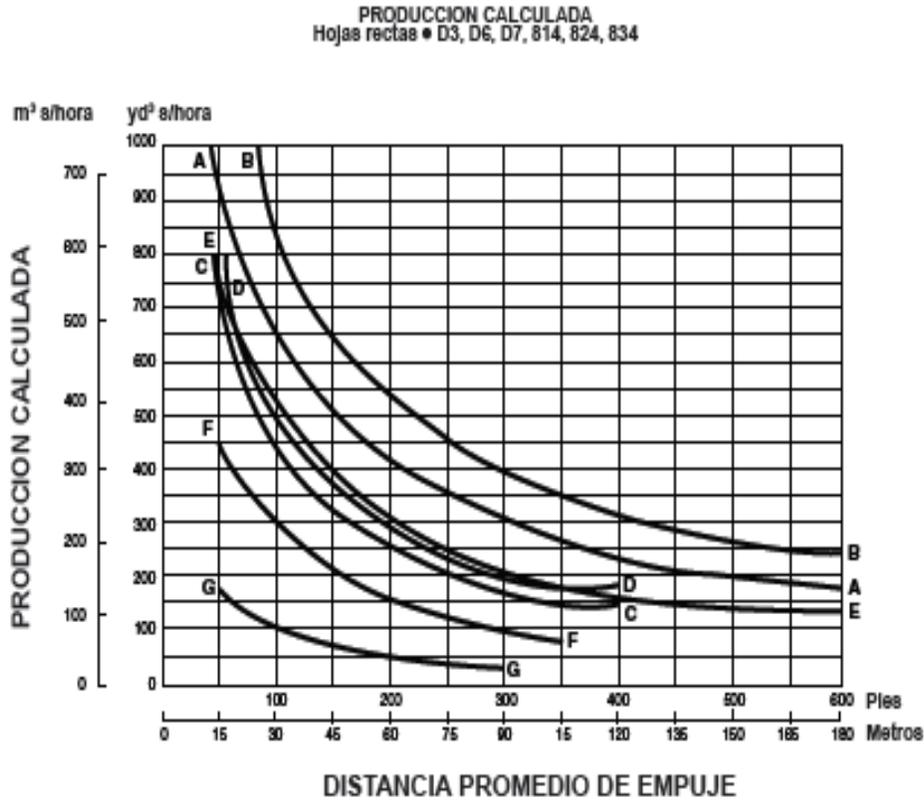
- La eficiencia de la maquina es del 100%
- Los tiempos fijos de las maquinas son de 0,05 min
- La máquina excava 15 m y luego empuja el material
- La densidad del suelo es de $1370Kg/m^3$
- El coeficiente de tracción es de 0,5 o mas
- Se utilizan hojas de control hidráulico
- La velocidad de excavación es primera de avance y acarreo en segunda de avance, el retroceso es en segunda de retroceso

En la figura 2 se muestran graficas representativas de lo expuesto, en ella se identifica el bulldozer al cual se quiere estimar su capacidad máxima y se asume un distancia de acarreo para lo cual arroja un valor de producción expresado en $m^3/hora$, el cual es después sometido a unos ajustes por corrección, estos factores de corrección están contemplados en la tabla 5.



Obteniendo teóricamente el rendimiento de un bulldozer está dado por: (Manual Caterpillar, ed. 31)

Producción (m³/hora)= producción máxima X factores de corrección.



NOTA: Esta gráfica se basa en gran número de pruebas y estudios en condiciones y trabajos diversos. Consulte los factores de corrección que hay en la página siguiente.

* La hoja 3S representada es para el D3C BPS Serie II.

La producción calculada del 834B con hoja "U" está en la sección de Manipulación de carbón.

CLAVE

- A — 824-S
- B — 834-S
- C — D7G-7S
- D — D7R-7S
- E — 814-S
- F — D6R-6S
- G — D3C LGP

Figura 2: Produccion calculada, hojas rectas, D3, D6, D7, 814, 824, 834

Fuente: Manual Caterpillar, Ed. 31



Tabla 5: Factores de corrección

FACTORES DE CORRECCION SEGUN LAS CONDICIONES DEL TRABAJO	TRACTOR DE CADENAS	TRACTOR DE RUEDAS
OPERADOR: —		
Excelente	1,00	1,00
Bueno	0,75	0,60
Deficiente	0,60	0,50
MATERIAL —		
Suelto y amontonado	1,20	1,20
Difícil de cortar; congelado; —		
con cilindro de inclin. lateral	0,80	0,75
sin cilindro de inclin. lateral	0,70	—
hoja con control de cable	0,60	—
Difícil de empujar; se apelmaza (seco, no cohesivo) o material muy pegajoso.	0,80	0,80
Rocas desgarradas o de voladura	0,60-0,80	—
EMPUJE POR METODO DE ZANJA CON DOS TRACTORES JUNTO	1,20	1,20
VISIBILIDAD:	1,15-1,25	1,15-1,25
Poivo, lluvia, nieve, niebla, oscuridad	0,80	0,70
EFICIENCIA DEL TRABAJO: —		
50 min/hr	0,83	0,83
40 min/hr	0,67	0,67
HOJAS*:		
Ajuste según la capacidad SAE de la hoja básica que se usa en las gráficas de los cálculos de producción.		
PENDIENTES: Vea gráfica sig.		

Fuente: Manual Caterpillar, Ed. 31.

Este tipo de gráficas y factores de corrección sirven para hacer una estimación aproximada de la producción de estos equipos sin embargo son valores sobreestimados por cuanto se amarra a un sinnúmero de condiciones que en el campo real no se cumplen, se basan en factores teóricos que en muchos casos no reflejan lo real.

Las mediciones del presente estudio contemplaron estos factores los cuales al momento de hacer la medición son intrínsecos a esta y reflejan la realidad de las mismas, sin necesidad de suponer diferentes escenarios.

Es así como al calcular el rendimiento de un bulldozer D6, con las figuras y tablas anteriores se encontró que arrojan un valor de 480 m³/hora, asumiendo distancias de acarreo de material de 30 m que comparados con el rendimiento estimado en obra según la tabla 14 del presente estudio la cual es de 294 m³/hora está muy por encima del valor estimado real.



Rendimiento para una motoniveladora según el manual de rendimientos Caterpillar

Según el manual Caterpillar el rendimiento de una motoniveladora está dado por la fórmula: $A = S \times (L_e - L_o) \times 1000 \times E$ (sistema métrico). (7)

Dónde:

A: área de operación horaria ($m^2/hora$)

S: velocidad de operación ($km/hora$),

L_e : longitud efectiva de la hoja (m)

L_o : ancho de superposición (m)

E: eficiencia del trabajo

El manual Caterpillar da unas tablas en la cual se estima las velocidades de operación de la maquina según la actividad que haga (Ver Tabla 6), la longitud efectiva de la hoja de la motoniveladora según el ángulo de trabajo de la cuchilla (ver Tabla 7).

Especifica que el ancho de superposición que aparece en la formula tiene un valor de 0,6 m el cual corresponde este valor a garantizar que los neumáticos estén fuera del camellón en la pasada de retorno

La eficiencia dado en la formula como E, tiene una estimación que varía entre 0,7 a 0,85; Con estos valores identificados se calcula una producción horaria.

Tabla 6: Velocidades de operación

Velocidades de operación:

Velocidades de operación típicas por aplicación:

Nivelación de acabado:	0-4 km/h	(0-2,5 mph)
Trabajo pesado con la hoja:	0-9 km/h	(0-6 mph)
Reparación de zanjas:	0-5 km/h	(0-3 mph)
Desgarramiento:	0-5 km/h	(0-3 mph)
Mantenimiento de carreteras:	5-16 km/h	(3-9.5 mph)
Mantenimiento de caminos de acarreo:	5-16 km/h	(3-9,5 mph)
Movimiento de nieve:	7-21 km/h	(4-13 mph)
Limpieza de nieve:	15-28 km/h	(9-17 mph)

Fuente: Manual Caterpillar, Ed.31



Tabla 7: Longitud efectiva de la hoja

		Longitud efectiva de la hoja*							
		Vertedera							
		3,66 m (12')		4,27 m (14')		4,88 m (16')		7,32 m (24')	
Angulo°		m	pies	m	pies	m	pies	m	pies
	0°	3,66	12,00	4,27	14,00	4,88	16,00	7,32	24,00
	5°	3,64	11,95	4,25	13,95	4,86	15,94	7,29	23,91
	10°	3,60	11,82	4,20	13,79	4,80	15,76	7,21	23,64
	15°	3,53	11,59	4,12	13,52	4,71	15,45	7,07	23,18
	20°	3,44	11,28	4,01	13,16	4,58	15,04	6,87	22,55
	25°	3,32	10,88	3,87	12,69	4,42	14,50	6,63	21,75
	30°	3,17	10,39	3,69	12,12	4,22	13,86	6,33	20,78
	35°	3,00	9,83	3,50	11,47	4,00	13,11	5,99	19,66
	40°	2,80	9,19	3,27	10,72	3,74	12,26	5,61	18,39
45°	2,59	8,49	3,02	9,90	3,45	11,31	5,17	16,97	

*La longitud efectiva de la hoja es la cobertura de la hoja que se puede obtener cuando la hoja está a un ángulo determinado.

Fuente: manual Caterpillar. Ed. 31

Es importante decir que las velocidades de operación de las motoniveladoras no son constantes en la elaboración de la actividad, no se puede estimar teóricamente un valor aproximado por cuanto este factor depende de otros como son el tipo de material, la habilidad del operador de mantener una misma velocidad en el trayecto descuidando la eficiencia de su trabajo y sacrificando la calidad del mismo.

Aplicar esta fórmula para determinar la producción de la maquina nos arrojará diferentes valores para una misma actividad por cuanto la estimación de la velocidad se mueve en un rango, se vuelve un poco subjetiva y queda sujeta al pensar y decidir de la persona encargada de dicho cálculo.

Sin embargo se utilizó la fórmula para determinar el rendimiento de una motoniveladora cat 120 H, en la actividad de acabado, la cual es semejante a la actividad de cereo en nuestro estudio, utilizando valores bajos en la velocidad del equipo como lo es 2km/hora que es uno de los más bajos en la tabla 6 (velocidades de operación) y estimando una eficiencia del operador en 0.775 la cual es el promedio de la recomendada en el manual Caterpillar, se estableció un rendimiento de 3983,5 m²/hora el cual al pasarlo a volumen sería de 398,3 m³/hora y al compararlo con el valor arrojado en el presente estudio en el ítem de cereo de vías está muy por encima de lo calculado en obra, la diferencia radica sustancialmente en los valores asignados a la velocidad de operación del equipo pues no es práctico utilizar una velocidad constante puesto que este tipo de actividades es de mucha precisión y no de



rapidez, además asumen que el acabado del terreno queda con la primera pasada caso que no es así en la realidad.

Rendimiento para una excavadora según el manual de rendimiento Caterpillar

El manual Caterpillar especifica unas tablas donde se identifican los tiempos de ciclo de la máquina, es una guía que suministra el fabricante pero que recomienda establecer una correlación con los tiempos de ciclo de la maquina en la obra para determinar cuál es el tiempo apropiado.

Aquí algunas de las condiciones a las que se sujetan estas mediciones:

Condiciones de trabajo más que favorables

Operador con habilidad normal

Angulo de giro entre 60 a 90 grados

Sin obstáculos en la ruta de circulación

Tabla 8: Tabla para calcular tiempos de ciclo



Tabla para calcular tiempos de ciclo

Modelo	307B	311B	312B, 312B L	316B, 316B L	317B L, 317B LN	318B L, 318B LN	320B	322B	326B	330B	345B*	366B	375
Tamaño del cucharón L (yd³)	280 0,37	450 0,69	520 0,88	520 0,88	520 0,88	800 1,06	800 1,06	1000 1,31	1100 1,44	1400 1,83		1900 2,6	2800 3,68
Tipo de suelo	Tierra Compactada						Arcilla dura						
Profund. de excavación (m) (pies)	1,5 5	1,5 5	1,8 8	3,0 10	3,0 10	3,0 10	2,3 8	3,2 10	3,2 10	3,4 11		4,2 14	5,2 17
Carga del cucharón (min)	0,08	0,07	0,07	0,10	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09		0,10	0,11
Giro con carga (min)	0,05	0,06	0,06	0,04	0,04	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07		0,09	0,10
Descarga del cucharón (min)	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,04	0,03	0,04	0,04	0,04		0,04	0,04
Giro sin carga (min)	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	0,06	0,06	0,07		0,07	0,09
Tiempo total de ciclo (min)	0,22	0,21	0,21	0,21	0,21	0,25	0,23	0,25	0,25	0,27		0,30	0,34

*No se dispone de información en el momento de imprimir.

Tiempo de ciclo	TAMAÑO DE MAQUINA											Tiempo de ciclo	
	307	311B	312B	316B L 317B L	318B L	320C	322B	326B	330B	345B Serie II	366B L		375
10 SEG.													0,17 min.
15													0,25 min.
20 SEG.													0,33 min.
25													0,42 min.
30 SEG.													0,60 min.
35													0,68 min.
40 SEG.													0,87 min.
45													0,75 min.
60 SEG.													0,83 min.
65													0,82 min.
80 SEG.													1,0 min.

Fuente: Manual Caterpillar, Ed. 31.

Con el tiempo de ciclo estimado en la anterior tabla y estimando el cubicaje del balde de la excavadora se puede obtener un la producción en m³/hora la cual será sometida a una corrección por eficiencia de la maquina en la obra dado por:

Tabla 9: Metros cúbicos por hora de 60 min



Metros cúbicos por hora de 60 minutos*

Tiempos de Ciclo Caloulados		CARGA UTIL CALCULADA DEL CUCHARON** — METROS CUBICOS SUELTOS																		Tiempos de Ciclo Caloulados			
Tiempo en																				Ciclos por min.	Ciclos por seg.		
Seg.	Min.	0,2	0,3	0,6	0,7	0,8	1,1	1,3	1,6	1,7	1,8	2,1	2,3	2,6	2,7	2,8	3,1	3,3	3,6			4,0	
10,0	0,17																					6,0	360
11,0	0,18																					5,5	330
12,0	0,20	60	90	150	210	270																5,0	300
13,3	0,22	54	81	135	189	243	297	351	405	459	513	567	621	675	729	783	837	891	945	1080	4,5	270	
15,0	0,25	48	72	120	168	216	264	312	360	408	456	504	552	600	648	696	744	792	840	960	4,0	240	
17,1	0,29	42	63	105	147	189	231	273	315	357	399	441	483	525	567	609	651	693	735	840	3,5	210	
20,0	0,33	36	54	90	126	162	198	234	270	306	342	378	414	450	486	522	558	544	630	720	3,0	180	
24,0	0,40	30	45	75	105	135	165	195	225	255	285	315	345	375	405	435	465	495	525	600	2,5	150	
30,0	0,50	24	36	60	84	108	132	156	180	204	228	252	276	300	324	348	372	396	420	480	2,0	120	
35,0	0,58	20	31	51	71	92	112	133	153	173	194	214	235	255	275	296	316	337	357	408	1,7	102	
40,0	0,67					81	99	177	135	153	171	189	207	225	243	261	279	297	315	360	1,5	90	
45,0	0,75									133	148	164	179	195	211	226	242	257	273	312	1,3	78	
50,0	0,83																				1,2	72	

Fuente: Manual Caterpillar, Ed. 31.

Tabla 10: Estimador de eficiencia en la obra

Estimador de Eficiencia en la Obra	
Tiempo de trab./h	Eficiencia
60 Min	100%
55	91%
50	83%
45	75%
40	67%

Fuente: Manual Caterpillar, Ed. 31

Establecer tiempos de ciclo teóricos lleva a cometer errores a la hora de calcular los rendimientos teóricos de esta máquina, es indispensable tomar en obra estos ciclos para poder ajustar de una manera más confiable estos parámetros.

Se tomaron en cuenta todas las condiciones expuestas anteriormente para calcular el rendimiento de una excavadora 320 c con capacidad del valde de 1,5 m³ de este equipo bajo parámetros teóricos arrojó un rendimiento de 315 m³/hora, el cual al compararlo con



el valor obtenido en el presente estudio que es de 220 m³/hora, esta muy por encima debido precisamente a todas las condiciones ideales teóricas en la que la maquina trabajo.

Las mediciones directas en obra que se hicieron en este estudio son la mejor opción para determinar los rendimientos de estos equipos pues contienen intrínsecos los tiempos exactos de los ciclos de la maquinas obteniendo valores en la producción reales.

Rendimiento para un cargador de pala frontal según el manual de rendimiento Caterpillar

Al igual que para el caso de las excavadoras, para hallar la producción de un cargador debe estimarse primero los tiempos de ciclo, en teoría estos tiempos se mueven entre 0,35 a 0,70 minutos según el manual Caterpillar, siendo un referente general el valor de 0,45 a 0,50 min. Estimando también la capacidad del cucharón se puede estimar la producción en m³/hora mediante la siguiente tabla.

Tabla 11: Producción en m³/hora de un Cargador según el Tamaño de la Cuchara



Tamaño de cuch. (m³ o yd³)	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0		
Tiempo de ciclo (min.)	Los números en fondo blanco indican producción media																				
Ciclos por hora																					
0,35	171																				
0,40	150	150	225	330	375	450	525														
0,45	133	135	200	268	332	400	466	530	600	665	730	800	865								
0,50	120	120	180	240	300	360	420	480	540	600	660	720	780	840	900	960	1003	1080	1140	1200	
0,55	109	109	164	218	272	328	382	436	490	545	600	655	705	765	820	870	925	980	1008	1090	
0,60	100	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	
0,65	92	92	138	184	230	276	322	368	416	460	505	555	600	645	690	735	780	830	875	920	
0,70	86							342	386	430	474	515	560	600	645	690	730	775	815	860	
0,75	80												560	600	640	680	720	760	800		

Tamaño de cuch. (m³ o yd³)	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	17,0	18,0	19,0	20,0	21,0	22,0	23,0	24,0	25,0	26,0	
Tiempo de ciclo (min.)	Los números en fondo blanco indican producción media																
Ciclos por hora																	
0,35	171																
0,40	150																
0,45	133																
0,50	120	1320	1440														
0,55	109	1200	1310	1420	1520	1635	1740	1850	1960	2070	2180	2285	2395	2505	2615	2725	2830
0,60	100	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400	2500	2600
0,65	92	1010	1105	1195	1285	1380	1470	1560	1655	1745	1840	1930	2020	2115	2205	2300	2390
0,70	86	945	1030	1120	1200	1290	1375	1460	1545	1630	1720	1805	1890	1975	2060	2150	2235
0,75	80	880	960	1040	1120	1200	1280	1360	1440	1520	1600	1680	1760	1840	1920	2000	2080
0,80	75			975	1050	1125	1200	1275	1350	1425	1500	1575	1650	1725	1800	1875	1950

Fuente: Manual Caterpillar, Ed. 31.

Este valor se ajusta al factor de eficiencia que es:

Tabla 12: Factor de eficiencia

Eficiencia del trabajo	Factor de	Factor de carga
Tiempo de trabajo por hora	Eficiencia	del cucharón
60 min./hora	100%	Tamaño del cuch. × 1,00
55	91%	0,95
50	83%	0,90
45	75%	0,85
40	69%	0,80
—	—	0,75

Fuente: Manual Caterpillar, Ed. 31.

Al igual que para el caso de las excavadoras estimar teóricamente los tiempos de ciclo de estas máquinas nos inducirán a cometer errores en la estimación final de la producción o rendimiento horario. Calculamos el valor del rendimiento teórico para un cargador de capacidad de 3 m³ del balde para compáralo con el estudiado en la presente investigación



arrojando un valor teórico de 400 m³/hora que al compararlo con el rendimiento real calculado en el estudio que es 319 m³/hora nos da un valor alejado de este por cuanto, los tiempos de ciclo teórico de la maquina se asumen o estiman según la experiencia del calculador, se vuelve subjetivo el criterio pues se basa en parámetros tales como demoras, operatividad, etc. mientras que conocer de primera mano estos valores como se hizo en el presente estudio arrojará valores reales de rendimiento.

Rendimiento para un compactador según el manual de rendimiento Caterpillar

Para determinar la producción o rendimiento según el manual se debe ingresar en la tabla (tabla 13), conociendo algunos datos como son el número de pasadas necesarias para dejar el área lo suficientemente densa, este dato solo puede hallarse en la obra comprobando la densidad del material compactado a través de pruebas de densidad, luego estimando la velocidad media de operación del equipo y el espesor de la capa compactada se puede establecer un rendimiento estimado. La siguiente tabla muestra la producción de estos equipos.

Tabla 13: Tabla de Producción



TABLA DE PRODUCCION

MODELO Y PASADAS DE LA MAQUINA*	VELOCIDAD MEDIA		ESPESOR DE LA CAPA COMPACTADA									
	km/h	mph	100 mm m ³ /h	4 pulg yd ³ /hr	150 mm m ³ /h	6 pulg yd ³ /hr	200 mm m ³ /h	8 pulg yd ³ /hr	250 mm m ³ /h	10 pulg yd ³ /hr		
815F	3	6,5	4	419	548	628	822	837	1095	—		
		9,5	6	628	822	942	1232	1256	1643	—		
		13,0	8	837	1095	1256	1643	1675	2191	—		
	4	6,5	4	314	411	471	616	628	822	—		
		9,5	6	471	616	706	924	942	1232	—		
		13,0	8	628	822	942	1232	1256	1643	—		
	5	6,5	4	251	329	377	493	502	657	—		
		9,5	6	377	493	565	739	754	986	—		
		13,0	8	502	657	754	986	1005	1314	—		
	6	6,5	4	286	274	314	411	419	548	—		
		9,5	6	314	411	471	616	628	822	—		
		13,0	8	419	548	628	822	837	1095	—		
	825G	3	6,5	4	488	642	731	962	975	1283	1219	1604
			9,5	6	713	962	1069	1444	1425	1925	1781	2406
			13,0	8	975	1283	1463	1925	1950	2566	2438	3208
		4	6,5	4	366	481	534	722	731	962	914	1203
			9,5	6	534	722	802	1083	1069	1444	1336	1804
			13,0	8	731	962	1097	1444	1463	1925	1828	2406
5		6,5	4	293	385	439	577	585	770	731	962	
		9,5	6	428	577	641	866	855	1155	1069	1444	
		13,0	8	585	770	878	1155	1170	1540	1463	1925	
6		6,5	4	244	321	366	481	488	642	609	802	
		9,5	6	356	481	534	722	713	962	891	1203	
		13,0	8	488	642	731	962	975	1283	1219	1604	

*El número requerido de pasadas de la máquina depende del tipo de suelo, así como del contenido de humedad, la compactación deseada y el peso de la máquina.

Fuente: Manual Caterpillar, Ed. 31.

Al igual que para el caso de las motoniveladoras, estimar los valores de velocidad para este equipo en unos rangos tan amplios dará como resultado diferentes valores de rendimientos para una misma actividad y conocer que el número de pasadas necesarias dadas al área de estudio para densificar el terreno depende de las tomas de pruebas de densidad son pruebas irrefutables de que obtener los rendimientos a través de mediciones directas en campo son la mejor forma de establecer estos valores. Es así como se calculó el rendimiento teórico para un compactador de 7 t arrojando un valor de 502 m³/hora, el cual discrepa mucho del obtenido en el presente estudio que es de 217m³/hora todo esto debido a lo expuesto en el inicio del párrafo.

4.2 RESULTADOS DE ENCUESTAS A EMPRESAS PRIVADAS DEDICADAS AL MOVIMIENTO DE TIERRAS EN LA CIUDAD DE CARTAGENA



Con la utilización del formato para encuestas presentado en los anexos nos dispusimos a preguntarles a las empresas privadas dedicadas al movimiento de tierras en la ciudad de Cartagena cuales son los parámetros que utilizan para determinar los rendimientos de maquinaria pesada y estos son los resultados:

Se le preguntaron a 8 empresas privadas dedicadas al movimiento de tierras las siguientes preguntas. Algunas de empresas optaron por 2 respuestas a una misma pregunta.

A la pregunta ¿Qué método utilizan en la empresa para determinar el rendimiento de una maquina?

Respondieron:

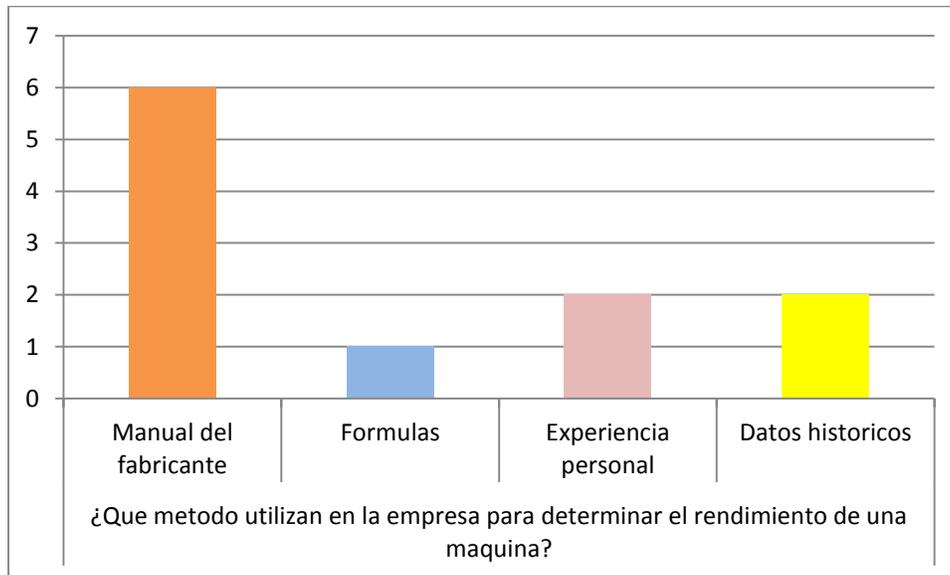


Figura 3: ¿Qué método utilizan en la empresa para determinar el rendimiento de una maquina?

Fuente: El Autor, 2014.

A la pregunta: ¿piensa que el método que utiliza es el mas idóneo?

Respondieron:

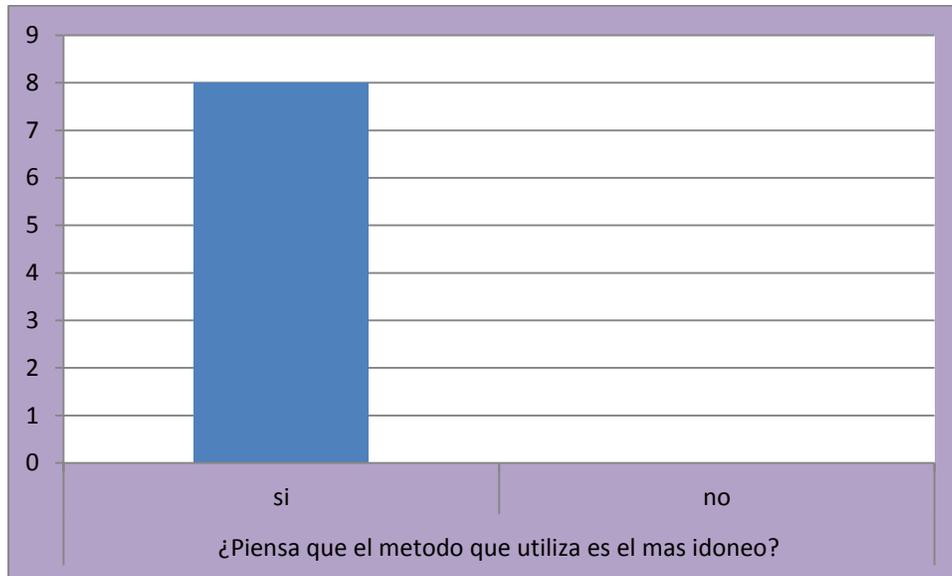


Figura 4: ¿piensa que el método que utiliza es el más idóneo?

Fuente: El Autor, 2014.

A la pregunta: con el método utilizado para estimar los rendimientos de las máquinas siente que sus presupuestos son:

Respondieron:

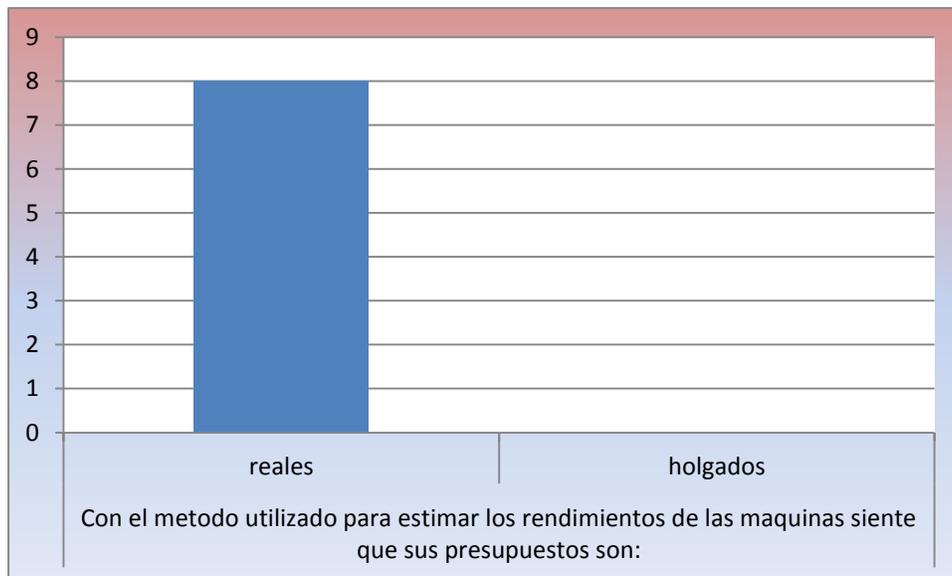


Figura 5: con el método utilizado para estimar los rendimientos de las máquinas siente que sus presupuestos son:

Fuente: El Autor, 2014.



A la pregunta: al momento de licitar, presupuestar o cotizar un trabajo con maquinaria pesada ¿ qué unidades de medida utilizan? Respondieron:

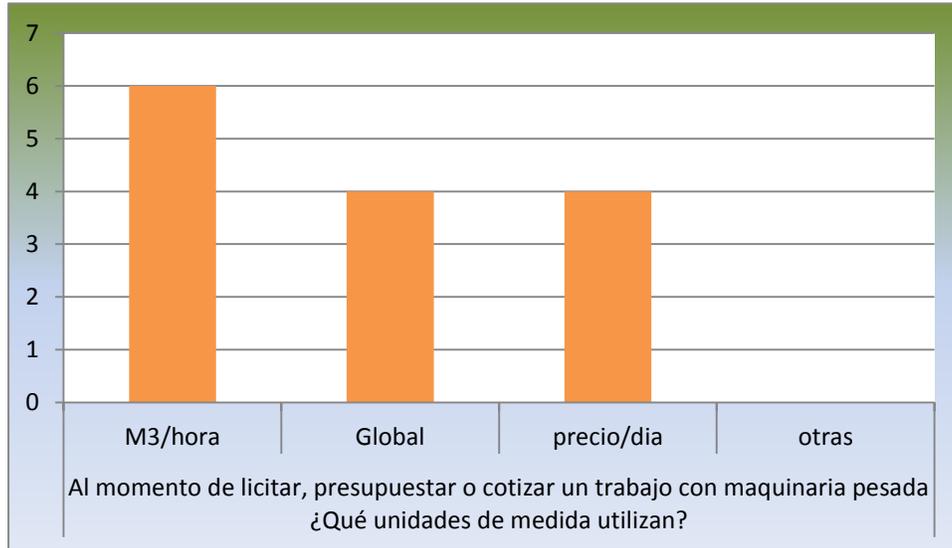


Figura 6: Al momento de licitar, presupuestar o cotizar un trabajo con maquinaria pesada ¿ qué unidades de medida utilizan?

Fuente: El Autor, 2014.

A la pregunta: si tuviese una base de datos con los rendimientos de maquinaria por actividad ¿la utilizaría? Respondieron:

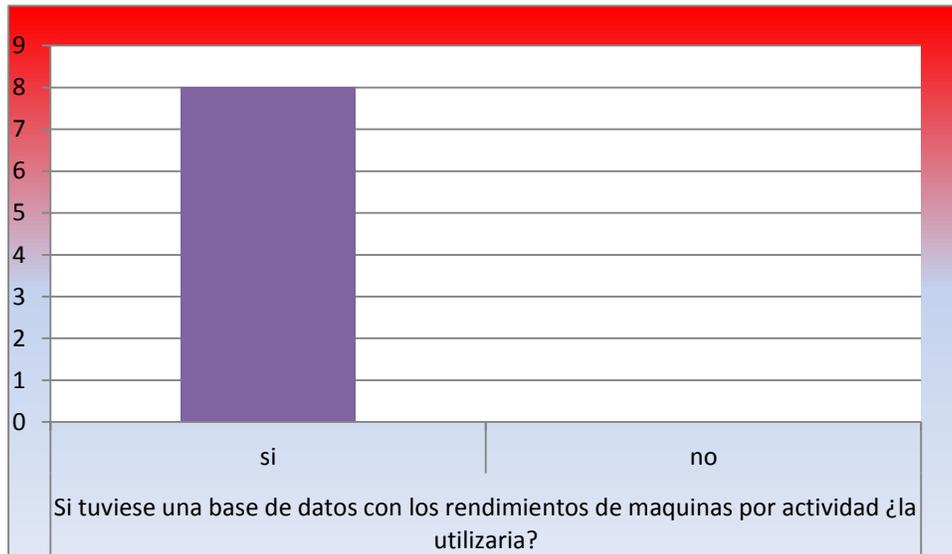


Figura 7: si tuviese una base de datos con los rendimientos de máquinas por actividad ¿la utilizaría?

Fuente: El Autor, 2014



A la incógnita general de si las empresas dedicadas al movimiento de tierras en la ciudad de Cartagena utilizan tablas de rendimientos de máquinas, se puede concluir que la gran mayoría de estas se sujetan a los manuales del fabricante para tener una estimación de estos rendimientos, solo dos de las ocho empresas encuestadas respondieron que aparte del manual del fabricante utilizan controles diarios en obra y datos históricos para determinar la producción o rendimientos de sus equipos, utilizan diferentes unidades de medida al establecer los rendimientos, y consideran que al presupuestar o cotizar con estas unidades sus rendimientos son reales. Sin embargo todas respondieron que si tuvieran una base de datos de rendimientos por actividad la utilizarían pues estarían trabajando con datos reales y no estimados.

4.3 TABLA DE LOS RENDIMIENTOS DE MAQUINARIA PESADA EN LOS MOVIMIENTOS DE TIERRAS EN LA CIUDAD DE CARTAGENA CASO DE ESTUDIO: URBANISMO CORAL LAKE Y ZONA FRANCA PARQUE CENTRAL



A continuación se presenta la tabla de rendimientos de maquinaria pesada según los diferentes ítems o actividades que se estudiaron.

La tabla de rendimientos consta de:

Un encabezado que referencia el tipo de máquina y su capacidad.

Debajo tres columnas que representan el ítem que se estudió según la metodología propuesta, las unidades de medida y su respectivo rendimiento o producción.

Es importante decir que de este estudio no se encontraron antecedentes o estudios previos, poca literatura frente al estudio realizado, solo se encontraron estudios teóricos de como calcular estos rendimientos a través de fórmulas y tablas pero ninguno relacionado con mediciones directas en obra. Solo a través de los manuales de los fabricantes se encontraron datos expresados en graficas donde se estima un valor cercano el cual es ajustado a diferentes factores de corrección como son eficiencia de la máquina, destreza del operador, tipo de material, condiciones de trabajo favorables, tiempos de ciclo predeterminados teóricamente, velocidades de movimiento de los equipos constante, etc, los cuales arrojan valores sobreestimados.

En el presente estudio las mediciones se tomaron en condiciones ideales solo cuando el equipo estuvo en operación evitando tomar mediciones que hayan sido afectadas por condiciones externas tales como demoras rutinarias, restricciones en la operación optima de los equipos, condiciones físicas tales como topografía, condiciones climáticas, etc. Sin embargo estos resultados pueden ser ajustados y complementarlo con la tabla 2, del capítulo 1 del presente documento, la cual contempla factores de ajuste no solo por condiciones de la obra sino también por calidad de la administración.

Acorde a los objetivos específicos se determinó para cada máquina los rendimientos de los siguientes ítems:

Tabla 14: Tabla de Rendimientos de Maquinaria Pesada



**ESTUDIO DE LOS RENDIMIENTOS DE MAQUINARIA PESADA EN LOS MOVIMIENTOS DE TIERRAS EN LA CIUDAD DE CARTAGENA.
CASO DE ESTUDIO: URBANSIMO EN CORAL LAKES Y ZONA FRANCA PARQUE CENTRAL**

TABLA DE RENDIMIENTOS

EQUIPO	EXCAVADORA CATERPILLAR 320 CL	CAPACIDAD DEL CUCHARON	1,5 M3
ITEM		UNIDAD	RENDIMIENTO
EXCAVACION DE CAJAS EN LA CONFORMACION DE VIAS (INCLUYE CARGUE EN VOLQUETAS)		M3/HORA	180
CONFORMACION DE TALUD		M3/HORA	112,5
CARGUE DE VOLQUETAS EN CANTERAS (ZAHORRA)		M3/HORA	150
CARGUE DE VOLQUETAS EN OBRA (ACOPPIO SUELTO)		M3/HORA	220
EXCAVACION DE ZANJAS (INCLUYE CARGUE)		M3/HORA	93
EQUIPO	EXCAVADORA HITACHI 330	CAPACIDAD DEL CUCHARON	2,5 M3
ITEM		UNIDAD	RENDIMIENTO
EXCAVACION DE CAJAS EN LA CONFORMACION DE VIAS (INCLUYE CARGUE EN VOLQUETAS)		M3/HORA	285
CONFORMACION DE TALUD		M3/HORA	145
CARGUE DE VOLQUETAS EN CANTERAS (ZAHORRA)		M3/HORA	228
CARGUE DE VOLQUETAS EN OBRA (ACOPPIO SUELTO)		M3/HORA	300
EXCAVACION DE LAGOS ARTIFICIALES		M3/HORA	228
EQUIPO	BULLDOZER CATERPILLAR D6	CAPACIDAD DE LA CUCHILLA	5,5 M3
ITEM		UNIDAD	RENDIMIENTO
DESMONTE		M2/HORA	1950
DESCAPOTE (PROFUNDIDAD DE DESCAPOTE=0,25MTS)		M3/HORA	294
EXTENDIDA DE MATERIAL SELECCINADO (ESPESOR CAPA=0,20 MTS)		M3/HORA	368
EQUIPO	CARGADOR LIUNGONG 856	CAPACIDAD DE LA CUCHARA	3 M3
ITEM		UNIDAD	RENDIMIENTO
CARGUE DE VOLQUETAS		M3/HORA	319
EQUIPO	MOTONIVELADORAS CAT 120 H	LONGITUD DE LA CUCHILLA	3,6 MTS
ITEM		UNIDAD	RENDIMIENTO
EXTENDIDA Y PERFILACION DE MATERIAL SELECCIONADO (SUBBASE Y BASES)		M3/HORA	304
CEREO DE VIAS (0,20MTS)		M3/HORA	184
CEREO DE TERRAZAS (0,20MTS)		M3/HORA	230
EQUIPO	COMPACTADOR INGERSOLL RAND	CAPACIDAD DEL CILINDRO	7 TONELADAS
ITEM		UNIDAD	RENDIMIENTO
COMPACTACION DE SUBRASANTE		M2/HORA	2300
COMPACTACION DE SUBBASES Y BASES (ESPESOR DE CAPA=0,20MTS)		M3/HORA	151
COMPACTACION DE TERRAZAS		M3/HORA	217
EQUIPO	COMPACTADOR INGERSOLL RAND	CAPACIDAD DEL CILINDRO	10 TONELADAS
ITEM		UNIDAD	RENDIMIENTO
COMPACTACION DE SUBRASANTE		M2/HORA	3000
COMPACTACION DE SUBBASES Y BASES (ESPESOR DE CAPA=0,20MTS)		M3/HORA	198
COMPACTACION DE TERRAZAS		M3/HORA	260

Fuente: El Autor, 2014

La tabla de rendimientos de maquinaria pesada solo es aplicable para los ítem estudiados en el presente documento ya que según el tipo de trabajo al que se someta la maquina así variara su rendimiento o productividad, sin embargo puede ser un punto de referencia para actividades similares a las expuestas en el estudio.

5. CONCLUSIONES



A la pregunta de investigación:

¿solo se requiere para estimar los costos de un movimiento de tierras y el cronograma, la información sobre rendimientos suministrada por los fabricantes de maquinaria pesada?

El presente estudio permitió establecer bases sólidas para determinar los valores de rendimientos de maquinaria pesada en los movimientos de tierra ampliando la literatura sobre el tema para tener un referente más exacto y real, con este estudio ya no se depende solo de los manuales de los fabricantes y ni de las formulas teóricas que permiten calcular la producción horaria de un equipo pero bajo ciertas condiciones invariables. Ahora se podrá obtener de primera mano referentes reales para los ítem medidos incentivando a que futuros investigadores amplíen mucho más y profundicen en este campo de los rendimientos de máquinas, ampliando el espectro con la medición de nuevos ítem e incluyendo otros equipos que se utilizan no solo en los movimientos de tierras sino en la construcción en general, ya que a lo largo del estudio no se identificaron estudios similares que se hallan desarrollado a nivel local, solo se identificaron proyectos que ayudaban a estimar estos rendimientos pero de forma teórica como es el caso del estudio que se llevó a cabo en Mexico llamado “La maquinaria pesada en los movimientos de tierras-descripción y rendimiento” (Vargas, 1999). Y utilizando mediciones en campo sobre los tiempos de los ciclos de las maquinas y según la información de las capacidades de estas en Ecuador “equipo caminero para movimientos de tierra características y calculo del rendimiento de la maquinaria” (Chiriboga, G y Rivera, M, 2013). Los estudios incrementan la literatura actual del tema y junto con el presente documento aportan más datos y referencias para enriquecer las futuras investigaciones.

A la pregunta ¿ cuáles son los parámetros que deben guiar o que base de datos se necesitan para establecer los rendimientos de la maquinaria pesada que se utilizan en los movimientos de tierras?

Con este estudio se pudo determinar que los rendimientos o la producción de los equipos arrojan datos puntuales o particulares según la actividad a la que se somete la máquina, datos o rendimientos diferentes toda vez que algunas actividades discrepan de otras en su manera de ejecutarlas, es decir que una máquina que desarrolla actividades distintas una



con mayor grado de concentración que la otra nunca arrojará valores iguales a la hora de estimar dichos rendimientos, como si lo hacen los métodos que utilizan formulas y gráficas.

A partir de ahora se podrá presupuestar y hacer cronogramas teniendo un punto de referencia en esta tabla ajustando a la realidad los tiempos, recursos humanos y equipos para volverlos más eficientes en su labor optimizando costos operativos, evitando desperdicios de tiempo y gastos prematuros de los equipos. Se podrá establecer controles diarios de avance de obra más rigurosos esperando mayores utilidades.

6. RECOMENDACIONES

Es de vital importancia que este estudio siga ampliando el conocimiento particular de los rendimientos de maquinarias pesada, abarcar más actividades o ítem para ser medidos,



abarcando más equipos no solo en los movimientos de tierras sino también en la construcción y urbanismo en general, integrándose a los rendimientos de mano de obra calificada, ampliándolo a equipos industriales como pueden ser los utilizados en mantenimientos de plantas industriales, es decir generalizarlo a todas las ramas de la construcción y obtener una base de datos completa y si se quiere incluir o contemplar algunas variables que pueden afectar los rendimientos en un obra como pueden ser las condiciones de la obra entre las cuales se puede citar: la topografía y el clima, para este caso se decidió no incluirlos pues se quería tomar mediciones limpias sin embargo los rendimientos calculados en el presente estudio se pueden complementar con tablas de ajustes que existen como es el caso de la tabla 2 del presente documento la cual contempla no solo las condiciones de la obra sino también las condiciones de administración como son: estado de la máquina, coordinación del trabajo entre equipos.

Cuán importante es inducir a que los futuros investigadores se inclinen por este tipo de estudios que aportarían literatura y hallazgos nuevos a las teorías encontradas en el presente documento ampliándolas y complementándolas, invitar a las empresas privadas que tienen estos equipos a que participen en estos estudios ya sea permitiendo que los investigadores tomen mediciones de sus equipos o máquinas.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS



Arredondo. (25 de Mayo de 2010). Compactación de terrenos. Obtenido de: http://www.construmatica.com/libros/l/compactacion_de_terrenos_terrapienes_y_pedregales/32728

Bobbie, E. (2000). Fundamento de la investigación social. 1ª. Ed. Buenos aires: international Thompson editors.

Caterpillar. (2000). Manual de Rendimientos Caterpillar. Edición 31.

Chiriboga, G y Rivera, M. (2013). Equipo caminero para movimientos de tierra características y calculo del rendimiento de la maquina. Escuela superior politécnica del litoral. Ecuador.

Elazouni, A. and Basha, I. (1996). "Evaluating the Performance of Construction Equipment Operators in Egypt." J. Constr. Eng. Manage., 122(2), 109–114.

Electronic reference formats recommended by the American Psychological Association. (1999, 19 de noviembre). Washington, DC: American Psychological Association. Revisado el 25 de enero de 2000 desde Internet: <http://www.apa.org/journals/webref.html>

Facultad de ciencias matemáticas físicas y químicas/ingeniería civil/07/construcciones civiles II/Rendimiento de maquinas <http://www.sisman.utm.edu.ec/libros>.

Freund, j. y Simon, g. (1994). *estadística elemental*. Mexico: nick romanelli.

Fundación Wikipedia, Inc. (11 de junio de 2010). Maquinaria de movimiento de tierras. Obtenido de: http://www.wikipedia.org/wiki/maquinaria_de_movimiento_de_tierras

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS. Normas colombianas para la presentación de trabajos. Edición actualizada. Santafé de Bogotá D.C.: ICONTEC, 2008. NTC 1486.

Mendenhall, W. y Reinmuth, J. (1986). Estadística para administración y Economía. México: grupo Editorial Iberoamérica.

Munich, L. y Ángeles, E. (1990). Métodos y técnicas de investigación. 2ª. ed. México: Trillas.



Nichols., H. (1985). Movimientos de tierras. México: Compañía editorial continental.

Prasertrunguang, T. and Hadikusumo, B. (2009). "Study of Factors Influencing the Efficient Management and Downtime Consequences of Highway Construction Equipment in Thailand." J. Constr. Eng. Manage., 135(1), 2–11

Yepes, V. (25 de mayo de 2010). Equipo de movimiento de tierras y compactación. Obtenido de: <http://www.construmatica.com/libros/movimientosde tierra>.

Vargas, R. (1999). La maquinaria pesada en movimientos de tierras (descripción y rendimientos), Licenciatura en ingeniería de construcción, Instituto tecnológico de la construcción, México.

8. ANEXOS

Anexo 1: Formato para Encuesta.....	86
Anexo 2: Formato para medir el ítem de excavación de cajas para vías.....	87
Anexo 3: Formato para Medir el Item de Conformacion de Talud.....	88



Anexo 4: Formato para Medir el Ítem de Cargue de Material en Cantera.....	89
Anexo 5: Formato para Medir el Ítem de Cargue de Material en Obra.....	90
Anexo 6: Formato para Medir el Ítem de Desmonte.....	91
Anexo 7: Formato para Medir el Ítem de Descapote.....	92
Anexo 8: Formato para Medir el Ítem de Extendida de Material.....	93
Anexo 9: Formato para Medir el Ítem de Cargue de Material Suelto con Cargador.....	94
Anexo 10: Formato para Medir el Ítem de Excavación de Zanjas.....	95
Anexo 11: Formato para Medir el Ítem de Excavación de Lagos.....	96
Anexo 12: Formato para Medir el Ítem de Extendida y Perfilacion de Material.....	97
Anexo 13: Formato para Medir el Ítem de Céreo de Vías.....	98
Anexo 14: Formato para Medir el Ítem de céreo de Terrazas.....	99
Anexo 15: Formato para Medir el Ítem de Compactación de Subrasantes.....	100
Anexo 16: Formato para Medir el Ítem de Compactación de Bases.....	101
Anexo 17: Formato para Medir el Ítem de Compactación de Terrazas.....	102
Anexo 18: Encuesta.....	104
Anexo 19: Excavación de Cajas para Conformación de Vías con Caterpillar 320 CL.....	112
Anexo 20: Excavación de Cajas para Conformación de Vías con Hitachi 330.....	113
Anexo 21: Conformacion de Talud con Excavadora Caterpillar 320 CL.....	114
Anexo 22: Conformacion de Talud con Excavadora Hitachi 330.....	115
Anexo 23: Cargue de Material en Cantera con Excavadora Caterpilla 320 CL	116
Anexo 24: Cargue de Material en Cantera con Excavadora Hitachi 330.....	133
Anexo 25: Cargue de Material en obra con Excavadora Caterpilla 320 CL	149
Anexo 26: Cargue de Material en obra con Excavadora Hitachi 330.....	158
Anexo 27: Desmonte con Bulldozer Caterpillar D6.....	167
Anexo 28: Descapota con Bulldozer Caterpillar D6.....	168
Anexo 29: Extendida de Material con Bulldozer Caterpillar D6.....	169



Anexo 30: Cargue de Material Suelto con Cargador.....	170
Anexo 31: Excavación de Zanjas con Excavadora Caterpillar 320 CL.....	179
Anexo 31: Excavación de Lagos con Excavadora Hitachi 330.....	180
Anexo 32: Extendida y Perfilación de Material Seleccionado con Motoniveladora Caterpillar 120H.....	198
Anexo 33: Cerezo de Vias con Motoniveladora Caterpillar 120H.....	199
Anexo 34: Cerezo de Terrazas con Motoniveladora Caterpillar 120 H.....	200
Anexo 35: Compactacion de Subrasante con Compactador Ingersoll Rand de 7 ton.....	201
Anexo 36: Compactacion de Subrasante con Compactador Ingersoll Rand de 10 ton.....	201
Anexo 37: Compactacion de Subbases y Bases en Vias con Compactador Ingersoll Rand de 7 ton.....	203
Anexo 38: Compactacion de Subbases y Bases en Vias con Compactador Ingersoll Rand de 10 ton.....	204
Anexo 39: Compactacion de Terrazas con Compactador Ingersoll Rand de 7 ton.....	205
Anexo 40: Compactacion de terrazas con Compactador Ingersoll Rand de 10 ton.....	206

Anexo 1: Formato para Encuesta

Nombre de la empresa: _____	Año de fundada: ____
Nombre del encuestado: _____	Cargo: _____
	Fecha __ __ __

Propósito de la encuesta

Esta encuesta va encaminada a determinar que parámetros utilizan las empresas dedicadas a los movimientos de tierras en la ciudad de Cartagena para determinar los rendimientos de maquinaria



pesada en sus proyectos en ejecución o por ejecutar.

Preguntas

1.- ¿Qué método utilizan en la empresa para determinar el rendimiento de una maquina?

- Manual del fabricante Formulas Experiencia personal Otras cuales

2.- ¿piensa que el método que utiliza es el más idóneo?

- Si No

3.- Con el método utilizado para estimar los rendimientos de las maquinas siente que sus presupuestos son

- reales Holgados

4.- Al momento de licitar, presupuestar o cotizar un trabajo con maquinaria pesada ¿Qué unidades de medida utilizan?

- M3/hr Global Precio/día Otras cuales

5.- si tuviese una base de datos con los rendimientos de máquinas por actividad ¿la utilizaría?

- si no



Anexo 2: Formato para medir el ítem de excavación de cajas para vías

ESTUDIO DE LOS RENDIMIENTOS DE MAQUINARIA PESADA EN LOS MOVIMIENTOS DE TIERRAS EN LA CIUDAD DE CARTAGENA.									
CASO DE ESTUDIO: URBANSIMO EN CORAL LAKES Y ZONA FRANCA PARQUE CENTRAL									
MEDICION DE CAMPO									
TIPO DE MAQUINARIA:									
OPERADOR:					EXPERIENCIA EN AÑOS:				
ITEM:		EXCAVACION DE CAJAS PARA CONFORMACION DE VIAS			UNIDAD:				
FECHA DE MEDICION									
AREA DE ESTUDIO (M2):									
PROFUNDIDAD PROMEDIO (MTS):									
VOLUMEN EXCAVADO (M3)									
TIEMPO ESTIMADO(HORAS):									
FACTORES QUE AFECTARON LA MEDICION:									
RENDIMIENTO (M3/HORA)									
FECHA DE MEDICION									
AREA DE ESTUDIO (M2):									
PROFUNDIDAD PROMEDIO (MTS):									
VOLUMEN EXCAVADO (M3)									
TIEMPO ESTIMADO(HORAS):									
FACTORES QUE AFECTARON LA MEDICION:									
RENDIMIENTO (M3/HORA)									
FECHA DE MEDICION									
AREA DE ESTUDIO (M2):									
PROFUNDIDAD PROMEDIO (MTS):									
VOLUMEN EXCAVADO (M3)									
TIEMPO ESTIMADO(HORAS):									
FACTORES QUE AFECTARON LA MEDICION:									
RENDIMIENTO (M3/HORA)									
FECHA DE MEDICION									
AREA DE ESTUDIO (M2):									
PROFUNDIDAD PROMEDIO (MTS):									
VOLUMEN EXCAVADO (M3)									
TIEMPO ESTIMADO(HORAS):									
FACTORES QUE AFECTARON LA MEDICION:									
RENDIMIENTO (M3/HORA)									
FECHA DE MEDICION									
AREA DE ESTUDIO (M2):									
PROFUNDIDAD PROMEDIO (MTS):									
VOLUMEN EXCAVADO (M3)									
TIEMPO ESTIMADO(HORAS):									
FACTORES QUE AFECTARON LA MEDICION:									
RENDIMIENTO (M3/HORA)									





Anexo 3: Formato para Medir el Item de Conformacion de Talud

ESTUDIO DE LOS RENDIMIENTOS DE MAQUINARIA PESADA EN LOS MOVIMIENTOS DE TIERRAS EN LA CIUDAD DE CARTAGENA.									
CASO DE ESTUDIO: URBANSIMO EN CORAL LAKES Y ZONA FRANCA PARQUE CENTRAL									
MEDICION DE CAMPO									
TIPO DE MAQUINARIA:									
OPERADOR:					EXPERIENCIA EN AÑOS:				
ITEM:	CONFORMACION DE TALUD				UNIDAD:				
LONGITUD DEL TALUD(MTS)									
AREA DEL TALUD(M2)									
TIEMPO ESTIMADO(HORAS):									
RENDIMIENTO(M3/HORA):									
FACTORES QUE AFECTARON LA MEDICION:									
LONGITUD DEL TALUD(MTS)									
AREA DEL TALUD(M2)									
TIEMPO ESTIMADO(HORAS):									
RENDIMIENTO(M3/HORA):									
FACTORES QUE AFECTARON LA MEDICION:									
LONGITUD DEL TALUD(MTS)									
AREA DEL TALUD(M2)									
TIEMPO ESTIMADO(HORAS):									
RENDIMIENTO(M3/HORA):									
FACTORES QUE AFECTARON LA MEDICION:									
LONGITUD DEL TALUD(MTS)									
AREA DEL TALUD(M2)									
TIEMPO ESTIMADO(HORAS):									
RENDIMIENTO(M3/HORA):									
FACTORES QUE AFECTARON LA MEDICION:									
LONGITUD DEL TALUD(MTS)									
AREA DEL TALUD(M2)									
TIEMPO ESTIMADO(HORAS):									
RENDIMIENTO(M3/HORA):									
FACTORES QUE AFECTARON LA MEDICION:									
LONGITUD DEL TALUD(MTS)									
AREA DEL TALUD(M2)									
TIEMPO ESTIMADO(HORAS):									
RENDIMIENTO(M3/HORA):									
FACTORES QUE AFECTARON LA MEDICION:									



Anexo 4: Formato para Medir el Ítem de Cargue de Material en Cantera

ESTUDIO DE LOS RENDIMIENTOS DE MAQUINARIA PESADA EN LOS MOVIMIENTOS DE TIERRAS EN LA CIUDAD DE CARTAGENA.			
CASO DE ESTUDIO: URBANSIMO EN CORAL LAKES Y ZONA FRANCA PARQUE CENTRAL			
MEDICION DE CAMPO			
TIPO DE MAQUINARIA:			
CAPACIDAD DEL CUCHARON:			
OPERADOR:		EXPERIENCIA EN AÑOS:	
ITEM:	CARGUE DE MATERIAL EN CANTERA (ZAHORRA)	UNIDAD:	
MEDICION EN UNA HORA			
PLACA VOLQUETA:		CAPACIDAD DE VOLQUETA (M3):	
TIEMPO ESTIMADO DE CARGUE(MINUTOS):			
FACTORES QUE AFECTARON LA MEDICION:			
RENDIMIENTO (M3/HORA)			
PLACA VOLQUETA:		CAPACIDAD DE VOLQUETA (M3):	
TIEMPO ESTIMADO DE CARGUE(MINUTOS):			
FACTORES QUE AFECTARON LA MEDICION:			
RENDIMIENTO (M3/HORA)			
PLACA VOLQUETA:		CAPACIDAD DE VOLQUETA (M3):	
TIEMPO ESTIMADO DE CARGUE(MINUTOS):			
FACTORES QUE AFECTARON LA MEDICION:			
RENDIMIENTO (M3/HORA)			
PLACA VOLQUETA:		CAPACIDAD DE VOLQUETA (M3):	
TIEMPO ESTIMADO DE CARGUE(MINUTOS):			
FACTORES QUE AFECTARON LA MEDICION:			
RENDIMIENTO (M3/HORA)			
PLACA VOLQUETA:		CAPACIDAD DE VOLQUETA (M3):	
TIEMPO ESTIMADO DE CARGUE(MINUTOS):			
FACTORES QUE AFECTARON LA MEDICION:			
RENDIMIENTO (M3/HORA)			
PLACA VOLQUETA:		CAPACIDAD DE VOLQUETA (M3):	
TIEMPO ESTIMADO DE CARGUE(MINUTOS):			
FACTORES QUE AFECTARON LA MEDICION:			
RENDIMIENTO (M3/HORA)			



Anexo 5: Formato para Medir el Ítem de Cargue de Material en Obra

ESTUDIO DE LOS RENDIMIENTOS DE MAQUINARIA PESADA EN LOS MOVIMIENTOS DE TIERRAS EN LA CIUDAD DE CARTAGENA.									
CASO DE ESTUDIO: URBANSIMO EN CORAL LAKES Y ZONA FRANCA PARQUE CENTRAL									
MEDICION DE CAMPO									
CAPACIDAD DEL CUCHARON:									
OPERADOR:									
EXPERIENCIA EN AÑOS:									
ITEM:									
CARGUE DE MATERIAL EN OBRA (ACARREO)									
UNIDAD:									
MEDICION EN CAMPO									
PLACA VOLQUETA:									
CAPACIDAD DE VOLQUETA (M3):									
TIEMPO ESTIMADO DE CARGUE(MINUTOS):									
FACTORES QUE AFECTARON LA MEDICION:									
RENDIMIENTO (M3/HORA)									
PLACA VOLQUETA:									
CAPACIDAD DE VOLQUETA (M3):									
TIEMPO ESTIMADO DE CARGUE(MINUTOS):									
FACTORES QUE AFECTARON LA MEDICION:									
RENDIMIENTO (M3/HORA)									
PLACA VOLQUETA:									
CAPACIDAD DE VOLQUETA (M3):									
TIEMPO ESTIMADO DE CARGUE(MINUTOS):									
FACTORES QUE AFECTARON LA MEDICION:									
RENDIMIENTO (M3/HORA)									
PLACA VOLQUETA:									
CAPACIDAD DE VOLQUETA (M3):									
TIEMPO ESTIMADO DE CARGUE(MINUTOS):									
FACTORES QUE AFECTARON LA MEDICION:									
RENDIMIENTO (M3/HORA)									
PLACA VOLQUETA:									
CAPACIDAD DE VOLQUETA (M3):									
TIEMPO ESTIMADO DE CARGUE(MINUTOS):									
FACTORES QUE AFECTARON LA MEDICION:									
RENDIMIENTO (M3/HORA)									



Anexo 6: Formato para Medir el Ítem de Desmante

ESTUDIO DE LOS RENDIMIENTOS DE MAQUINARIA PESADA EN LOS MOVIMIENTOS DE TIERRAS EN LA CIUDAD DE CARTAGENA.									
CASO DE ESTUDIO: URBANSIMO EN CORAL LAKES Y ZONA FRANCA PARQUE CENTRAL									
MEDICION DE CAMPO									
TIPO DE MAQUINARIA:									
DIMENSIONES DE LA CUCHILLA:		ANCHO:			ALTO:				
OPERADOR:					EXPERIENCIA EN AÑOS:				
ITEM:		DESMONTE			UNIDAD:				
FECHA DE MEDICION									
AREA DE ESTUDIO (M2):									
TIEMPO ESTIMADO (HORA):									
FACTORES QUE AFECTARON LA MEDICION:									
RENDIMIENTO (M2/HORA)									
FECHA DE MEDICION									
AREA DE ESTUDIO (M2):									
TIEMPO ESTIMADO (HORA):									
FACTORES QUE AFECTARON LA MEDICION:									
RENDIMIENTO (M2/HORA)									
FECHA DE MEDICION									
AREA DE ESTUDIO (M2):									
TIEMPO ESTIMADO (HORA):									
FACTORES QUE AFECTARON LA MEDICION:									
RENDIMIENTO (M2/HORA)									
FECHA DE MEDICION									
AREA DE ESTUDIO (M2):									
TIEMPO ESTIMADO (HORA):									
FACTORES QUE AFECTARON LA MEDICION:									
RENDIMIENTO (M2/HORA)									
FECHA DE MEDICION									
AREA DE ESTUDIO (M2):									
TIEMPO ESTIMADO (HORA):									
FACTORES QUE AFECTARON LA MEDICION:									
RENDIMIENTO (M2/HORA)									



Anexo 7: Formato para Medir el Ítem de Descapote

ESTUDIO DE LOS RENDIMIENTOS DE MAQUINARIA PESADA EN LOS MOVIMIENTOS DE TIERRAS EN LA CIUDAD DE CARTAGENA.									
CASO DE ESTUDIO: URBANSIMO EN CORAL LAKES Y ZONA FRANCA PARQUE CENTRAL									
MEDICION DE CAMPO									
TIPO DE MAQUINARIA:									
DIMENSIONES DE LA CUCHILLA:		ANCHO:			ALTO:				
OPERADOR:					EXPERIENCIA EN AÑOS:				
ITEM:		DESCAPOTE			UNIDAD:				
FECHA DE MEDICION									
AREA DE ESTUDIO (M2):									
PROFUNDIDAD PROMEDIO (MTS):									
TIEMPO ESTIMADO(HORAS):									
FACTORES QUE AFECTARON LA MEDICION:									
RENDIMIENTO (M3/HORA)									
FECHA DE MEDICION									
AREA DE ESTUDIO (M2):									
PROFUNDIDAD PROMEDIO (MTS):									
TIEMPO ESTIMADO(HORAS):									
FACTORES QUE AFECTARON LA MEDICION:									
RENDIMIENTO (M3/HORA)									
FECHA DE MEDICION									
AREA DE ESTUDIO (M2):									
PROFUNDIDAD PROMEDIO (MTS):									
TIEMPO ESTIMADO(HORAS):									
FACTORES QUE AFECTARON LA MEDICION:									
RENDIMIENTO (M3/HORA)									
FECHA DE MEDICION									
AREA DE ESTUDIO (M2):									
PROFUNDIDAD PROMEDIO (MTS):									
TIEMPO ESTIMADO(HORAS):									
FACTORES QUE AFECTARON LA MEDICION:									
RENDIMIENTO (M3/HORA)									





Anexo 8: Formato para Medir el Ítem de Extendida de Material

ESTUDIO DE LOS RENDIMIENTOS DE MAQUINARIA PESADA EN LOS MOVIMIENTOS DE TIERRAS EN LA CIUDAD DE CARTAGENA.									
CASO DE ESTUDIO: URBANSIMO EN CORAL LAKES Y ZONA FRANCA PARQUE CENTRAL									
MEDICION DE CAMPO									
TIPO DE MAQUINARIA:									
DIMENSIONES DE LA CUCHILLA:			ANCHO:		ALTO:				
OPERADOR:					EXPERIENCIA EN AÑOS:				
ITEM:	EXTENDIDA DE MATERIAL				UNIDAD:				
FECHA DE MEDICION									
AREA DE ESTUDIO (M2):									
ALTURA PROMEDIO (MTS):									
TIEMPO ESTIMADO(HORAS):									
VOLUMEN M3/HORA									
FACTORES QUE AFECTARON LA MEDICION:									
FECHA DE MEDICION									
AREA DE ESTUDIO (M2):									
ALTURA PROMEDIO (MTS):									
TIEMPO ESTIMADO(HORAS):									
VOLUMEN M3/HORA									
FACTORES QUE AFECTARON LA MEDICION:									
FECHA DE MEDICION									
AREA DE ESTUDIO (M2):									
ALTURA PROMEDIO (MTS):									
TIEMPO ESTIMADO(HORAS):									
VOLUMEN M3/HORA									
FACTORES QUE AFECTARON LA MEDICION:									
FECHA DE MEDICION									
AREA DE ESTUDIO (M2):									
ALTURA PROMEDIO (MTS):									
TIEMPO ESTIMADO(HORAS):									
VOLUMEN M3/HORA									
FACTORES QUE AFECTARON LA MEDICION:									
FECHA DE MEDICION									
AREA DE ESTUDIO (M2):									
ALTURA PROMEDIO (MTS):									
TIEMPO ESTIMADO(HORAS):									
VOLUMEN M3/HORA									
FACTORES QUE AFECTARON LA MEDICION:									
FECHA DE MEDICION									
AREA DE ESTUDIO (M2):									
ALTURA PROMEDIO (MTS):									
TIEMPO ESTIMADO(HORAS):									
VOLUMEN M3/HORA									
FACTORES QUE AFECTARON LA MEDICION:									



Anexo 9: Formato para Medir el Item de Cargue de Material Suelto con Cargador



ESTUDIO DE LOS RENDIMIENTOS DE MAQUINARIA PESADA EN LOS MOVIMIENTOS DE TIERRAS EN LA CIUDAD DE CARTAGENA.			
CASO DE ESTUDIO: URBANSIMO EN CORAL LAKES Y ZONA FRANCA PARQUE CENTRAL			
MEDICION DE CAMPO			
TIPO DE MAQUINARIA:			
CAPACIDAD DEL CUCHARON:			
OPERADOR:			EXPERIENCIA EN AÑOS:
ITEM:	CARGUE DE MATERIAL SUELTO CON CARGADOR	UNIDAD:	
PLACA VOLQUETA:		CAPACIDAD DE VOLQUETA:	
TIEMPO ESTIMADO DE CARGUE(MINUTOS):			
FACTORES QUE AFECTARON LA MEDICION:			
RENDIMIENTO (M3/HORA)			
PLACA VOLQUETA:		CAPACIDAD DE VOLQUETA:	
TIEMPO ESTIMADO DE CARGUE(MINUTOS):			
FACTORES QUE AFECTARON LA MEDICION:			
RENDIMIENTO (M3/HORA)			
PLACA VOLQUETA:		CAPACIDAD DE VOLQUETA:	
TIEMPO ESTIMADO DE CARGUE(MINUTOS):			
FACTORES QUE AFECTARON LA MEDICION:			
RENDIMIENTO (M3/HORA)			
PLACA VOLQUETA:		CAPACIDAD DE VOLQUETA:	
TIEMPO ESTIMADO DE CARGUE(MINUTOS):			
FACTORES QUE AFECTARON LA MEDICION:			
RENDIMIENTO (M3/HORA)			
PLACA VOLQUETA:		CAPACIDAD DE VOLQUETA:	
TIEMPO ESTIMADO DE CARGUE(MINUTOS):			
FACTORES QUE AFECTARON LA MEDICION:			
RENDIMIENTO (M3/HORA)			
PLACA VOLQUETA:		CAPACIDAD DE VOLQUETA:	
TIEMPO ESTIMADO DE CARGUE(MINUTOS):			
FACTORES QUE AFECTARON LA MEDICION:			
RENDIMIENTO (M3/HORA)			

Anexo 10: Formato para Medir el Ítem de Excavación de Zanjas



ESTUDIO DE LOS RENDIMIENTOS DE MAQUINARIA PESADA EN LOS MOVIMIENTOS DE TIERRAS EN LA CIUDAD DE CARTAGENA.									
CASO DE ESTUDIO: URBANSIMO EN CORAL LAKES Y ZONA FRANCA PARQUE CENTRAL									
MEDICION DE CAMPO									
TIPO DE MAQUINARIA:									
CAPACIDAD DEL CUCHARON (M3):									
OPERADOR:					EXPERIENCIA EN AÑOS:				
ITEM:		EXCAVACION DE ZANJAS				UNIDAD:			
ANCHO PROMEDIO (MTS):									
LARGO DE LA EXCAVACION (MTS):									
PROFUNDIDAD PROMEDIO (MTS):									
VOLUMEN M3									
TIEMPO ESTIMADO (HORAS):									
RENDIMIENTO M3/HORA									
FACTORES QUE AFECTARON LA MEDICION:									
ANCHO PROMEDIO (MTS):									
LARGO DE LA EXCAVACION (MTS):									
PROFUNDIDAD PROMEDIO (MTS):									
VOLUMEN M3									
TIEMPO ESTIMADO (HORAS):									
RENDIMIENTO M3/HORA									
FACTORES QUE AFECTARON LA MEDICION:									
ANCHO PROMEDIO (MTS):									
LARGO DE LA EXCAVACION (MTS):									
PROFUNDIDAD PROMEDIO (MTS):									
VOLUMEN M3									
TIEMPO ESTIMADO (HORAS):									
RENDIMIENTO M3/HORA									
FACTORES QUE AFECTARON LA MEDICION:									
ANCHO PROMEDIO (MTS):									
LARGO DE LA EXCAVACION (MTS):									
PROFUNDIDAD PROMEDIO (MTS):									
VOLUMEN M3									
TIEMPO ESTIMADO (HORAS):									
RENDIMIENTO M3/HORA									
FACTORES QUE AFECTARON LA MEDICION:									
ANCHO PROMEDIO (MTS):									
LARGO DE LA EXCAVACION (MTS):									
PROFUNDIDAD PROMEDIO (MTS):									
VOLUMEN M3									
TIEMPO ESTIMADO (HORAS):									
RENDIMIENTO M3/HORA									
FACTORES QUE AFECTARON LA MEDICION:									
ANCHO PROMEDIO (MTS):									
LARGO DE LA EXCAVACION (MTS):									
PROFUNDIDAD PROMEDIO (MTS):									
VOLUMEN M3									
TIEMPO ESTIMADO (HORAS):									
RENDIMIENTO M3/HORA									
FACTORES QUE AFECTARON LA MEDICION:									

Anexo 11: Formato para Medir el Ítem de Excavación de Lagos



ESTUDIO DE LOS RENDIMIENTOS DE MAQUINARIA PESADA EN LOS MOVIMIENTOS DE TIERRAS EN LA CIUDAD DE CARTAGENA.

CASO DE ESTUDIO: URBANSIMO EN CORAL LAKES Y ZONA FRANCA PARQUE CENTRAL



MEDICION DE CAMPO

TIPO DE MAQUINARIA:			
CAPACIDAD DEL CUCHARON (M3):			
OPERADOR:			EXPERIENCIA EN AÑOS:
ITEM:	EXCAVACION DE LAGOS	UNIDAD:	
FECHA DE MEDICION			
PLACA VOLQUETA:		CAPACIDAD DE VOLQUETA (M3):	
TIEMPO ESTIMADO DE CARGUE(MINUTOS):			
FACTORES QUE AFECTARON LA MEDICION:			
RENDIMIENTO (M3/HORA)			
FECHA DE MEDICION			
PLACA VOLQUETA:		CAPACIDAD DE VOLQUETA (M3):	
TIEMPO ESTIMADO DE CARGUE(MINUTOS):			
FACTORES QUE AFECTARON LA MEDICION:			
RENDIMIENTO (M3/HORA)			
FECHA DE MEDICION			
PLACA VOLQUETA:		CAPACIDAD DE VOLQUETA (M3):	
TIEMPO ESTIMADO DE CARGUE(MINUTOS):			
FACTORES QUE AFECTARON LA MEDICION:			
RENDIMIENTO (M3/HORA)			
FECHA DE MEDICION			
PLACA VOLQUETA:		CAPACIDAD DE VOLQUETA (M3):	
TIEMPO ESTIMADO DE CARGUE(MINUTOS):			
FACTORES QUE AFECTARON LA MEDICION:			
RENDIMIENTO (M3/HORA)			
FECHA DE MEDICION			
PLACA VOLQUETA:		CAPACIDAD DE VOLQUETA (M3):	
TIEMPO ESTIMADO DE CARGUE(MINUTOS):			
FACTORES QUE AFECTARON LA MEDICION:			
RENDIMIENTO (M3/HORA)			

Anexo 12: Formato para Medir el Ítem de Extendida y Perfilacion de Material



ESTUDIO DE LOS RENDIMIENTOS DE MAQUINARIA PESADA EN LOS MOVIMIENTOS DE TIERRAS EN LA CIUDAD DE CARTAGENA.

CASO DE ESTUDIO: URBANSIMO EN CORAL LAKES Y ZONA FRANCA PARQUE CENTRAL.



MEDICION DE CAMPO

TIPO DE MAQUINARIA:			
OPERADOR:			EXPERIENCIA EN AÑOS:
ITEM:	EXTENDIDA Y PERFILACION DE MATERIAL SELECCIONADO	UNIDAD:	
AREA DE ESTUDIO (M2):		ESPESOR CAPA(MTS)	
TIEMPO ESTIMADO(HORAS):			
RENDIMIENTO (M3/HORA)			
FACTORES QUE AFECTARON LA MEDICION:			
AREA DE ESTUDIO (M2):		ESPESOR CAPA(MTS)	
TIEMPO ESTIMADO(HORAS):			
RENDIMIENTO (M3/HORA)			
FACTORES QUE AFECTARON LA MEDICION:			
AREA DE ESTUDIO (M2):		ESPESOR CAPA(MTS)	
TIEMPO ESTIMADO(HORAS):			
RENDIMIENTO (M3/HORA)			
FACTORES QUE AFECTARON LA MEDICION:			
AREA DE ESTUDIO (M2):		ESPESOR CAPA(MTS)	
TIEMPO ESTIMADO(HORAS):			
RENDIMIENTO (M3/HORA)			
FACTORES QUE AFECTARON LA MEDICION:			
AREA DE ESTUDIO (M2):		ESPESOR CAPA(MTS)	
TIEMPO ESTIMADO(HORAS):			
RENDIMIENTO (M3/HORA)			
FACTORES QUE AFECTARON LA MEDICION:			
AREA DE ESTUDIO (M2):		ESPESOR CAPA(MTS)	
TIEMPO ESTIMADO(HORAS):			
RENDIMIENTO (M3/HORA)			
FACTORES QUE AFECTARON LA MEDICION:			

Anexo 13: Formato para Medir el Ítem de Céreo de Vías



ESTUDIO DE LOS RENDIMIENTOS DE MAQUINARIA PESADA EN LOS MOVIMIENTOS DE TIERRAS EN LA CIUDAD DE CARTAGENA.

CASO DE ESTUDIO: URBANSIMO EN CORAL LAKES Y ZONA FRANCA PARQUE CENTRAL.



MEDICION DE CAMPO

TIPO DE MAQUINARIA:			
OPERADOR:			EXPERIENCIA EN AÑOS:
ITEM:	SEREO DE VIAS	UNIDAD:	
AREA DE ESTUDIO (M2):		ESPESOR CAPA(MTS)	
TIEMPO ESTIMADO(HORAS):			
RENDIMIENTO (M3/HORA)			
FACTORES QUE AFECTARON LA MEDICION:			
AREA DE ESTUDIO (M2):		ESPESOR CAPA(MTS)	
TIEMPO ESTIMADO(HORAS):			
RENDIMIENTO (M3/HORA)			
FACTORES QUE AFECTARON LA MEDICION:			
AREA DE ESTUDIO (M2):		ESPESOR CAPA(MTS)	
TIEMPO ESTIMADO(HORAS):			
RENDIMIENTO (M3/HORA)			
FACTORES QUE AFECTARON LA MEDICION:			
AREA DE ESTUDIO (M2):		ESPESOR CAPA(MTS)	
TIEMPO ESTIMADO(HORAS):			
RENDIMIENTO (M3/HORA)			
FACTORES QUE AFECTARON LA MEDICION:			
AREA DE ESTUDIO (M2):		ESPESOR CAPA(MTS)	
TIEMPO ESTIMADO(HORAS):			
RENDIMIENTO (M3/HORA)			
FACTORES QUE AFECTARON LA MEDICION:			
AREA DE ESTUDIO (M2):		ESPESOR CAPA(MTS)	
TIEMPO ESTIMADO(HORAS):			
RENDIMIENTO (M3/HORA)			
FACTORES QUE AFECTARON LA MEDICION:			

Anexo 14: Formato para Medir el Ítem de céreo de Terrazas



ESTUDIO DE LOS RENDIMIENTOS DE MAQUINARIA PESADA EN LOS MOVIMIENTOS DE TIERRAS EN LA CIUDAD DE CARTAGENA.

CASO DE ESTUDIO: URBANSIMO EN CORAL LAKES Y ZONA FRANCA PARQUE CENTRAL



MEDICION DE CAMPO

TIPO DE MAQUINARIA:			
OPERADOR:			EXPERIENCIA EN AÑOS:
ITEM:	SEREO DE TERRAZAS	UNIDAD:	
AREA DE ESTUDIO (M2):		ESPESOR CAPA(MTS)	
TIEMPO ESTIMADO(HORAS):			
RENDIMIENTO (M3/HORA)			
FACTORES QUE AFECTARON LA MEDICION:			
AREA DE ESTUDIO (M2):		ESPESOR CAPA(MTS)	
TIEMPO ESTIMADO(HORAS):			
RENDIMIENTO (M3/HORA)			
FACTORES QUE AFECTARON LA MEDICION:			
AREA DE ESTUDIO (M2):		ESPESOR CAPA(MTS)	
TIEMPO ESTIMADO(HORAS):			
RENDIMIENTO (M3/HORA)			
FACTORES QUE AFECTARON LA MEDICION:			
AREA DE ESTUDIO (M2):		ESPESOR CAPA(MTS)	
TIEMPO ESTIMADO(HORAS):			
RENDIMIENTO (M3/HORA)			
FACTORES QUE AFECTARON LA MEDICION:			
AREA DE ESTUDIO (M2):		ESPESOR CAPA(MTS)	
TIEMPO ESTIMADO(HORAS):			
RENDIMIENTO (M3/HORA)			
FACTORES QUE AFECTARON LA MEDICION:			
AREA DE ESTUDIO (M2):		ESPESOR CAPA(MTS)	
TIEMPO ESTIMADO(HORAS):			
RENDIMIENTO (M3/HORA)			
FACTORES QUE AFECTARON LA MEDICION:			
AREA DE ESTUDIO (M2):		ESPESOR CAPA(MTS)	
TIEMPO ESTIMADO(HORAS):			
RENDIMIENTO (M3/HORA)			
FACTORES QUE AFECTARON LA MEDICION:			



Anexo 16: Formato para Medir el Ítem de Compactación de Bases

ESTUDIO DE LOS RENDIMIENTOS DE MAQUINARIA PESADA EN LOS MOVIMIENTOS DE TIERRAS EN LA CIUDAD DE CARTAGENA.			
CASO DE ESTUDIO: URBANSIMO EN CORAL LAKES Y ZONA FRANCA PARQUE CENTRAL			
MEDICION DE CAMPO			
TIPO DE MAQUINARIA:			
OPERADOR:		EXPERIENCIA EN AÑOS:	
ITEM:	COMPACTACION DE BASES	UNIDAD:	
AREA DE ESTUDIO (M2):		ESPEJOR CAPA (MTS)	
VOLUMEN (M3)		TIEMPO (HORA)	
RENDIMIENTO (M3C/HORA)			
AREA DE ESTUDIO (M2):		ESPEJOR CAPA (M)	
VOLUMEN (M3)		TIEMPO (HORA)	
RENDIMIENTO (M3C/HORA)			
AREA DE ESTUDIO (M2):		ESPEJOR CAPA (M)	
VOLUMEN (M3)		TIEMPO (HORA)	
RENDIMIENTO (M3C/HORA)			
AREA DE ESTUDIO (M2):		ESPEJOR CAPA (M)	
VOLUMEN (M3)		TIEMPO (HORA)	
RENDIMIENTO (M3C/HORA)			
AREA DE ESTUDIO (M2):		ESPEJOR CAPA (M)	
VOLUMEN (M3)		TIEMPO (HORA)	
RENDIMIENTO (M3C/HORA)			
AREA DE ESTUDIO (M2):		ESPEJOR CAPA (M)	
VOLUMEN (M3)		TIEMPO (HORA)	
RENDIMIENTO (M3C/HORA)			
AREA DE ESTUDIO (M2):		ESPEJOR CAPA (M)	
VOLUMEN (M3)		TIEMPO (HORA)	
RENDIMIENTO (M3C/HORA)			
AREA DE ESTUDIO (M2):		ESPEJOR CAPA (M)	
VOLUMEN (M3)		TIEMPO (HORA)	
RENDIMIENTO (M3C/HORA)			



Anexo 17: Formato para Medir el Ítem de Compactación de Terrazas

ESTUDIO DE LOS RENDIMIENTOS DE MAQUINARIA PESADA EN LOS MOVIMIENTOS DE TIERRAS EN LA CIUDAD DE CARTAGENA.			
CASO DE ESTUDIO: URBANISMO EN CORAL LAKES Y ZONA FRANCA PARQUE CENTRAL			
MEDICION DE CAMPO			
TIPO DE MAQUINARIA:			
OPERADOR:		EXPERIENCIA EN AÑOS:	
ITEM:	COMPACTACION DE TERRAZAS	UNIDAD:	
AREA DE ESTUDIO (M2):		ESPEJOR CAPA (MTS)	
VOLUMEN (M3)		TIEMPO (HORA)	
RENDIMIENTO (M3C/HORA)			
AREA DE ESTUDIO (M2):		ESPEJOR CAPA (M)	
VOLUMEN (M3)		TIEMPO (HORA)	
RENDIMIENTO (M3C/HORA)			
AREA DE ESTUDIO (M2):		ESPEJOR CAPA (M)	
VOLUMEN (M3)		TIEMPO (HORA)	
RENDIMIENTO (M3C/HORA)			
AREA DE ESTUDIO (M2):		ESPEJOR CAPA (M)	
VOLUMEN (M3)		TIEMPO (HORA)	
RENDIMIENTO (M3C/HORA)			
AREA DE ESTUDIO (M2):		ESPEJOR CAPA (M)	
VOLUMEN (M3)		TIEMPO (HORA)	
RENDIMIENTO (M3C/HORA)			
AREA DE ESTUDIO (M2):		ESPEJOR CAPA (M)	
VOLUMEN (M3)		TIEMPO (HORA)	
RENDIMIENTO (M3C/HORA)			
AREA DE ESTUDIO (M2):		ESPEJOR CAPA (M)	
VOLUMEN (M3)		TIEMPO (HORA)	
RENDIMIENTO (M3C/HORA)			
AREA DE ESTUDIO (M2):		ESPEJOR CAPA (M)	
VOLUMEN (M3)		TIEMPO (HORA)	
RENDIMIENTO (M3C/HORA)			



MEDICIONES DE CAMPO