

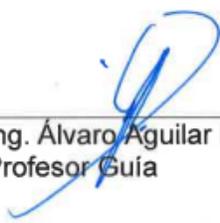
**Estimación de productividad y
costos de operación de equipos de
diferente generación para
movimientos de tierras de la
empresa Macoma S.A**

CONSTANCIA DE DEFENSA PÚBLICA DE PROYECTO DE GRADUACIÓN

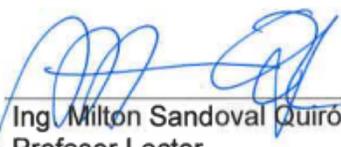
Proyecto de Graduación defendido públicamente ante el Tribunal Evaluador, integrado por los profesores Ing. Gustavo Rojas Moya, Ing. Álvaro Aguilar Dondi, Ing. Milton Sandoval Quirós, Ing. Alejandro Medina Angulo, como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.



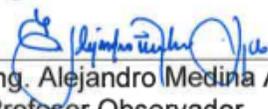
Ing. Gustavo Rojas Moya.
Director



Ing. Álvaro Aguilar Dondi.
Profesor Guía



Ing. Milton Sandoval Quirós.
Profesor Lector



Ing. Alejandro Medina Angulo.
Profesor Observador

Abstract

This project reflects the necessity of the Macoma S.A. company to determine the real costs of their machinery usage per hour in order to obtain profitability parameters and performance of their operations, where the main point is the manner and methods in which the equipment is used as well as the physical and mechanical conditions of the machines, so, this is the reason this study was made comparing equipments of different generations for the company be able to take some decisions about its fleet.

This analysis was carried out with on-site inspection for the following equipment: articulated dump trucks, conventional wagons and tractors considering the measurements were given in similar climatological and soil conditions and types of material among others.

The main target of this project is to estimate the performance and the cost of the operation of the heavy machinery of different generations for the soil movements executed by the Macoma S.A. company.

To meet the goals that were set within this graduation project it is necessary to satisfy all the needs of the type of information to carry out, characteristics and capabilities of the equipment, new control technologies, capacity of the machines operators, their performance, possession and operational costs.

As a result of this study we obtained a tool that involves the operation's valuation factors of the equipment. The report contains the analysis of cost versus benefit through the inspection process applied in the various study sites.

Resumen

El siguiente proyecto responde a la necesidad de la empresa Macoma S.A de determinar los costos reales por hora de su maquinaria, con el fin de obtener parámetros de rentabilidad y rendimientos de sus operaciones. Mucho de esto proviene de la manera en que se utilizan los equipos, así mismo como las condiciones físicas y mecánicas de las máquinas; es por esta razón, que se realiza un estudio en la comparación de equipos de diferentes edades, generando conclusiones para que la empresa tome las decisiones respectivas en su flotilla.

Este análisis se realiza mediante la inspección en sitio para los siguientes equipos: volquetas articuladas, vagonetas convencionales y tractores, tomando en cuenta que las mediciones se dieran en condiciones similares, climatológicamente, condiciones del terreno, tipo de material, entre otros.

El principal objetivo de este proyecto es estimar el rendimiento y costo de operación en equipo pesado de diferentes generaciones para movimiento de tierras de la empresa Macoma S.A.

Para cumplir los objetivos planteados en este proyecto de graduación, es necesario satisfacer todo tipo de información para llevarlo a cabo, características y capacidades de los equipos, nuevas tecnologías de control, destreza de los operadores de las máquinas, rendimientos, costos de posesión y operación.

Finalmente, se logra obtener una herramienta involucrando factores de valuación de operación de equipo de movimientos de tierra. informe con el análisis beneficio/costo mediante el proceso de inspección aplicado en los diversos lugares de estudio.

Palabras claves: vagoneta, articulada, tractor, productividad, costos, movimiento de tierras.

Estimación de productividad y costos de operación de equipos de diferente generación para movimientos de tierras de la empresa Macoma S.A

EMMANUEL HERNÁNDEZ MENA

Proyecto final de graduación para optar por el grado de
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Junio del 2018

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

Contenido

PREFACIO	1
RESUMEN EJECUTIVO	2
INTRODUCCIÓN	3
MARCO TEÓRICO	4
METODOLOGÍA	9
RESULTADOS	15
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	41
CONCLUSIONES	44
RECOMENDACIONES	46
APÉNDICES	47
ANEXOS	52
REFERENCIAS.....	56

Prefacio

La empresa Maquinaria, Construcciones y Materiales (Macoma) realiza, continuamente, trabajos de movimientos de tierra. Posee gran variedad de equipos, desde modernos a años inferiores; la sociedad desconoce la rentabilidad de utilizar una máquina en específico de diferentes edades.

De acuerdo con la actividad enfocada, para la empresa es de suma importancia tomar en cuenta el rendimiento de cada máquina, así como su función, con el fin de generar rentabilidad y obtener la mayor ganancia en todos los proyectos.

El campo de la ingeniería se puede enfocar en muchas ramas; sin embargo, hay características que todo ingeniero debe considerar al dirigir proyectos de construcción. El presente proyecto pretende ejemplificar un panorama real en donde se analizan tres tipos de máquinas de diferente funcionabilidad y año con el fin de evaluar su rentabilidad.

En resumen, se desea realizar un trabajo integral, involucrando todos los aspectos necesarios con el fin de obtener los resultados deseables.

Para la realización de este proyecto, se toma como base el aprendizaje recibido en los cursos de Carreteras, Topografía Aplicada, así mismo como Geología aplicada. Con base en lo aprendido, se lleva a cabo la práctica profesional dirigida.

Se extiende un agradecimiento a la empresa Macoma por el apoyo y la confianza brindada a través de la realización de esta práctica profesional dirigida.

Resumen ejecutivo

El siguiente proyecto responde a la necesidad de la empresa Macoma de determinar parámetros para tomar decisiones en la rentabilidad de sus operaciones. Mucho de esto proviene de la manera en que se operan los equipos, así mismo como sus condiciones físicas y mecánicas de las máquinas; es por esta razón que se realiza un estudio en la comparación de equipos de diferentes edades generando conclusiones para que la empresa tome las decisiones respectivas en su flotilla.

Este análisis se realiza mediante la inspección en sitio para los equipos especiales como las volquetas, vagonetas convencionales excavadores y tractores tomando en cuenta que las operaciones se dieran en condiciones similares tanto, climatológicamente, condiciones del terreno, tipo de material, entre otros.

El principal objetivo de este proyecto es estimar el rendimiento y costo de operación en equipo pesado de diferentes generaciones para movimiento de tierras de la empresa Macoma sometándose a situaciones reales en la planificación, inspección.

Para cumplir los objetivos planteados en este proyecto de graduación, es necesario satisfacer todo tipo de información para llevarlo a cabo, características y capacidades de los equipos, nuevas tecnologías de control, destreza de los operadores de las máquinas, rendimientos, costos de posesión y operación.

Finalmente, se logra obtener una herramienta involucrando factores de valuación de operación de equipo.

Introducción

El presente trabajo nace con el fin de analizar la productividad y los costos de operación de los equipos de diferente generación para movimientos de tierra de la empresa Macoma, aportando información relevante en cuanto a la factibilidad de utilizar los equipos con mayor antigüedad.

Es necesario estudiar la maquinaria a partir de las funciones y capacidades teóricas, que puedan desempeñar; sin embargo, existe variedad de factores, que repercuten en el desempeño de las máquinas, de suma importancia ser contempladas para determinar la productividad real.

La empresa Macoma asume variedad de proyectos a lo largo y ancho del país, donde la productividad es de los ámbitos importantes para lograr satisfacer las necesidades de los clientes alcanzando trabajos de calidad en los tiempos de entrega propuestos. Es por esta razón que es necesario el estudio y análisis sobre la eficiencia que desempeña cada una de las máquinas de diferente generación, estimando el costo operacional de cada una de ellas y obteniendo información, que influya en decisiones correctivas o bien de remplazo.

El estudio es enfocado en vagonetas articuladas o volquetas, vagonetas convencionales, excavadores de orugas y tractores de orugas, las cuales se realizan en distintos sectores bajo condiciones similares, permitiendo simular comparaciones certeras, logrando, así, satisfacer la necesidad del cliente.

Con el pasar de los años, no es posible esperar las mismas utilidades cuando se descuida la utilización adecuada o bien cuando influye el deterioro gradual de la máquina; por lo tanto, es de gran importancia llevar un control detallado del mantenimiento alargando la vida y la productividad eficaz de los equipos.

Es de suma importancia tener el personal con gran conocimiento en el área de movimiento de tierras, donde los operadores de las máquinas reciban órdenes precisas alcanzando trabajos estratégicos procurando la máxima eficiencia al reducir los tiempos de inutilidad.

El costo de posesión es de importancia permitiendo, a la empresa, obtener conocimiento sobre las condiciones actuales de sus equipos; es por esta razón, que se realiza el análisis respectivo de cada uno.

Finalmente, se logra obtener una herramienta útil para realizar análisis de la rentabilidad operacional por hora de cada equipo, permitiendo que la empresa ataque aquellos factores que participen en la disminución de la producción.

Marco teórico

Para comprender cómo se van a estimar la productividad y los costos de operación de equipos de diferente generación para movimientos de tierra, se debe comprender cada una de las variables, que entran en su cálculo, como costo de pertenencia, costo de operación y costo de operador. A continuación, se describe cada uno de los principales factores por utilizar.

Rendimiento

Para alcanzar la producción deseada al costo más bajo posible, los usuarios de maquinaria pesada deben balancear la productividad y los costos para lograr una eficiencia óptima; por lo cual el rendimiento de una máquina debe medirse como el costo por unidad de material movido, esta medida incluye tanto el costo como la producción. (Urdaneta, 2011)

Es necesario tomar en cuenta una serie de factores variables que intervienen en el rendimiento de las máquinas de movimiento de tierra, en la duración de los neumáticos, consumos de combustibles, lubricantes y costo de reparación.

Costos

El término costo se define como la cantidad monetaria, que debe pagarse para adquirir bienes y servicios. También podría definirse como el conjunto de pagos, obligaciones contraídas, consumos, depreciaciones y amortizaciones realizadas con las funciones de producción, distribución, administración y financiamiento. (Horngren, 2007)

Los costos se pueden clasificar de acuerdo con su identificación: costos indirectos, que son los que están asociados a la fabricación de un bien, que no se puede identificar físicamente; y en costos directos, los cuales están relacionados directamente a la

producción de un bien asociado a la operación de la empresa. Para efectos de este proyecto, se hace énfasis en los costos directos.

Costos de pertenencia

El ser propietario de una maquinaria de cualquier tipo representa una erogación continua, independientemente del trabajo que realice el equipo. Este está relacionado con costos iniciales, de depreciación, financiación, impuestos, seguros y bodegaje, factores que afectan al dueño de la máquina, permanentemente, por ser propios al hecho de tener una inversión. (Urdaneta, 2011)

Depreciación

El término depreciación se refiere a la pérdida de valor de un activo tangible por cualquier motivo. En el caso de la maquinaria, el uso genera un desgaste natural sin importar el cuidado que se le dé en cuanto a mantenimiento y reparación; de igual manera, las máquinas se van desvalorizando.

Según Urdaneta (2011), para una máquina de más de tres años de vida útil, la depreciación es del orden del 90% al cabo de su vida útil, con excepción de las máquinas montadas sobre llantas, en las cuales estos elementos se deprecian al 100% en un periodo inferior.

Impuestos al ruedo

El Ministerio de Hacienda afirma que este impuesto recae sobre la propiedad de vehículos inscritos en el Registro Público. Es de carácter obligatorio y el periodo fiscal de este impuesto es anual, por esto para los vehículos no inscritos en sus respectivos registros, el impuesto se establece, proporcionalmente, a los meses por transcurrir para la finalización del periodo anual correspondiente.

En el caso de camiones de carga con un peso bruto igual o superior de 8 toneladas, la tarifa fija es de 8000 colones.

Revisión técnica

El Manual de procedimientos para la revisión técnica de vehículos automotores establece que *“Las revisiones técnicas vehiculares periódicas como requisito obligatorio para la circulación de los vehículos automotores, sus remolques, semirremolques, obligando al estado a establecer un sistema de Revisión Técnica Vehicular adecuado que le permita cumplir con dicho programa”*.

La revisión técnica de los vehículos tiene como objeto comprobar sus estos cumplen en el momento de la inspección y continúan cumpliendo a través de verificaciones periódicas, las condiciones exigidas por la normativa vigente para la circulación por vías públicas.

Costos de operación

La maquinaria accionada por motores de combustión interna requiere, para su funcionamiento, operarios, combustibles y lubricantes, por lo que el costo de operación se define como el costo variable para operar y mantener productiva la máquina. Este tipo de costo va a variar con el número de horas (edad) de la máquina y dependen de la aplicación y del tipo de trabajo que realice. (Sierra y Rincon, 2015)

Combustible

En la obra el consumo de combustible se puede medir con bastante exactitud; sin embargo, si no hay oportunidad de hacerlo, se puede estimar sabiendo el empleo que se le da a la máquina.

La clase de trabajo determina el factor de carga del motor e influye, a su vez, en el consumo de combustible. Según Sandoval (2013), un motor que trabaja en forma continua a plena potencia, función a un factor de carga de 1,0, las máquinas para movimientos de tierra solo alcanzan de modo intermitente factor de carga de 1.0 y, muy rara vez, lo mantienen por un tiempo considerable.

En la actualidad, casi todas las máquinas poseen sistemas electrónicos que pueden generar reportes de consumo por hora, día, mes y hasta por año de las operaciones que generen a diferentes factores de carga. Esto es de suma importancia, ya que, debido al alto costo del diésel y los lubricantes, es indispensable mantener un buen control, porque si no el rendimiento, debido al elevado consumo, genera pérdidas económicas.

Factor de servicio

El factor de servicio corresponde a un porcentaje de potencia en que se realizan los trabajos, este porcentaje influye directamente en el consumo de combustible, este depende del tipo de material, superficies y distancia con que se trabaja.

Para equipo de corte, se considera un factor de 35% - 50% cuando se trabaja en bancos de tierra suelta o amontonada, es decir un trabajo fácil y liviano.

Se considera un factor de 50% - 65% cuando se trabaja en arcilla, arena y grava, además para desgarramiento de zanjas, arrastre de troncos; es decir, en condiciones de impacto medio.

Entre 65% - 80% se considera un factor de servicio alto y se presenta cuando se trabaja en desgarramiento pesado de suelos rocosos, cargas de impacto pesadas y continuas.

Para equipo de transporte se considera bajo un factor de 20% - 40% en operación continua, acarreo corto, en caminos horizontales con superficies en buenas condiciones.

Para un factor medio de 40% - 60%, se utiliza en condiciones de operación intermitente, con un peso bruto menor y distancias de acarreo entre 1000 metros y 5000 metros.

Entre 60 % - 80% se toma en cuenta como un factor alto, operando el equipo de manera continua, con distancias de transporte mayores a 5000 metros, con caminos en malas condiciones y algunas pendientes pronunciadas.

Costo de reparación

Los costos de reparación son un punto importante que considerar en los costos de operación, pues incluyen piezas y mano de obra. El costo por hora de reparación de una máquina, normalmente, tiene un patrón ascendente de manera que va envejeciendo la unidad. Este costo se ve influenciado por las condiciones de operación, mantenimiento y edad del equipo.

Neumáticos

Los costos de neumáticos son difíciles de predecir porque intervienen diversas variables. La mejor estimación de este punto se basa en la utilización de los precios que el propietario paga. Estimar la vida útil de los neumáticos se determina mediante la información del fabricante o distribuidor, adicionalmente a esto la vida útil del neumático puede aumentar frecuentemente utilizando banda de rodadura extra.

Mantenimiento planificado

Los costos de mantenimiento son tomados mediante el distribuidor Matra de acuerdo con el tipo de máquina, los mismos incluyen el costo de aceite, lubricantes, filtros, grasas y mano de obra. Los periodos de mantenimiento se rigen por horómetro, el cual está sujeto a recomendación del fabricante Caterpillar.

Costos de operador

Salario

El salario de un operador depende de la experiencia, el nivel de cursos técnicos y académicos, el tiempo que tenga de laborar y el tipo de máquina que opera. Este es conformado con respecto a las bases del salario mínimo y las prestaciones laborales, que dicta el Ministerio de Trabajo, y según este, estos salarios contienen un incremento del 2,43% anual.

Cargas sociales

Los patronos, al pagar el salario de sus trabajadores, les deducen las cuotas que estos deban satisfacer a las cargas sociales establecidas por la ley y entregan, a la Caja Costarricense del Seguro Social, el monto de las mismas.

Las cargas sociales se componen de los siguientes porcentajes y rubros, correspondientes al patrono y al trabajador. En cuanto al patrono, el aporte es del 26.33% y un 9,34% corresponde al trabajador

Movimiento de tierras

El movimiento de tierras corresponde al conjunto de intervenciones, que se realizan a los terrenos naturales, con el fin de alterar las formas de la naturaleza o bien de aportar materiales útiles en obras de diversa índole.

Los movimientos de tierras son de gran importancia debido a que su finalidad es construir obras de infraestructura, como caminos, ferrocarriles, presas, aeropuertos, túneles entre otros (Vargas, 99)

Según (Cherné, 2000), las actividades más frecuentes en el movimiento de tierras son:

- Excavación
- Carga
- Acarreo
- Extendido
- Humectación o desecación
- Servicios auxiliares (taludes, saneos)

Equipos de movimiento de tierras

Para la actividad de movimiento de tierras, existen los siguientes equipos:

- Tractor de orugas
- Tractor de llantas
- Compactador autopropulsable
- Compactador manual
- Excavadora de oruga
- Excavadora de llanta
- Cargadores

- Zanjeadores
- Motoniveladoras
- Volquetas articuladas
- Vagonetas convencionales
- Pavimentadoras

Para efectos de este proyecto, se profundiza en las volquetas articuladas, vagonetas convencionales y tractores de oruga.

Tractores de oruga

Su principal función consiste en empujar tierras mediante su hoja topadora, además es capaz de desgarrar material debido a su *ripper* trasero (Vargas, 99).

Como principales funciones, se encuentra el desmonte, trazo de caminos, corte y acarreo de material hasta 100m, rellenos y compactación mediante el bandeó.

Existen variedad de marcas de este tipo de máquina, como por ejemplo Caterpillar, Komatsu, John Deere, entre otros, pero para efectos de este proyecto se profundiza en la marca Caterpillar.

Tractor Caterpillar D6T

El tractor D6T es una máquina de mediana capacidad con respecto a las demás series, posee un motor diésel C9 ACERT con una potencia 200hp, cada componente de los motores se ha diseñado para aumentar al máximo la %durabilidad y fiabilidad proporcionando un avanzado control electrónico.

Los motores C9 ACERT tienen un suministro preciso del combustible, la máquina cuenta con una capacidad de llenado de 424 litros.

Posee un sistema hidráulico de dos bombas mejorando el desempeño y respuesta de levante de los aditamentos y de giros de dirección. Al ser un flujo constante en el circuito de dirección, mejora el enfriamiento evitando calentamientos del sistema, entorpeciendo su rendimiento.

El sistema de dirección diferencial mantiene la potencia plena en ambas cadenas permitiendo realizar mejores giros, especialmente, con cargas grandes en la hoja.

El tractor D6T cuenta con un tren de rodaje SystemOne, que permite disminuir los costos

totales de posesión y operación, debido a que cuenta con cartuchos sellados y lubricados de por vida eliminando los giros de los bujes y ruedas motrices.

Posee una hoja de corte y empuje SU XL con una capacidad de 5,31 m3.

Tractor Caterpillar D6H

El tractor de D6H cuenta con un motor de tecnología C9 ACERT, que permite optimizar el rendimiento proporcionando bajas emisiones de combustión, cuenta con una potencia de 200hp y una capacidad de combustible de 424 litros.

El sistema de dirección diferencial mantiene la potencia en ambas cadenas, permitiendo, al operador, controlar la transmisión simultáneamente.

Posee un tren de rodaje SystemOne, donde las configuraciones con las ruedas motrices elevadas optimizan el equilibrio para obtener el mejor rendimiento posible independientemente de su aplicación. Este sistema permite dar fiabilidad y durabilidad prolongando su duración y reduciendo los costos de posesión y operación.

Posee una hoja de corte y empuje A XL con una capacidad de 3.9 m3.

Volquetas articuladas

Las volquetas articuladas son unidades robustas y potentes, que permiten adaptarse a ciclos de trabajo largos, transportando grandes cantidades de material.

Estos equipos están conformados por tres ejes, trabajan normalmente en tracción 4x4, sin embargo, tiene la capacidad de trabajar en tracción 6x6.

Existe variedad de marcas de este tipo de máquina, como por ejemplo Caterpillar, Komatsu, John Deere, entre otros, pero para efectos de este proyecto, se profundiza en la marca Caterpillar.

Volqueta Articulada 730B

La volqueta articulada 730B posee un motor C13 ACERT, el cual cuenta con una potencia de 385hp,

con una capacidad de combustible de 305 litros. Su avanzado control electrónico permite proporcionar una transmisión con cambios de marchas suaves, permitiendo mejorar la aceleración y la productividad.

Su transmisión posee seis velocidades alcanzado una velocidad máxima de 55km/h, su velocidad de retroceso máxima es de 9km/h.

Su carga útil nominal es de 28 toneladas métricas, posee una capacidad de caja de 13,5 m³ al ras y 15,0 m³ colmada.

Volqueta articulada 740B

La volqueta articulada 740B posee un motor C18 ACERT, el cual cuenta con una potencia de 450hp, con una capacidad de combustible de 532 litros. Su control electrónico ofrece una mayor fiabilidad y productividad con mayor comodidad para el operador.

Este tipo de volqueta posee funciones más actualizadas a las versiones inferiores, como por ejemplo el control automático retardador, permitiendo al operador mantener constante la velocidad del motor en pendientes prolongadas.

Su transmisión posee siete marchas hacia adelante logrando alcanzar una velocidad máxima de 31.5km/h; y para atrás, posee dos llegando a alcanzar una velocidad de 14,6km/h.

Su carga útil nominal es de 38 toneladas métricas, posee una capacidad de caja de 18,5 m³ al ras y 24m³ colmada.

Vagonetas convencionales

Las vagonetas convencionales son, comúnmente, utilizadas en obra civil, son vehículos que poseen un dispositivo hidráulico para volcar la carga, que transportan en un compartimiento que descansa en el chasis.

El tamaño del compartimiento depende precisamente del volumen de material, que se quiera transportar y de la capacidad del camión para lograr transportar.

Las vagonetas son un tipo de maquinaria de carga, que cumple la función de transporte a largas distancias, ya sea fuera o dentro de la obra. Existen variedad de marcas de vagonetas convencionales, pero, para efectos de este

proyecto, se analizan las de marca MACK de la serie Granite.

Mack Granite año 2012

La vagoneta Mack Granite 2012 posee un motor MP8 con una potencia 405hp, tiene una capacidad de llenado de combustible de 250 litros.

Posee un sistema de transmisión Fuller RTO-1421OC manual de 10 velocidades.

Este equipo está conformado por dos ejes traseros, provocando que el transporte de material sea menor al de los años más recientes, su góndola tiene una capacidad de 13,5 m³.

Mack Granite año 2016

La vagoneta Mack Granite 2016 posee un motor MP8 con una potencia 425hp, tiene una capacidad de llenado de combustible de 250 litros.

Posee un sistema de transmisión Mack T310MLR manual de 10 velocidades.

Este equipo está conformado por tres ejes traseros, permitiendo transportar volúmenes mayores sin afectar el pavimento, su góndola tiene la capacidad de transportar de 15m³ a 16 m³.

Metodología

En primer lugar, es importante recalcar que el proyecto se enfoca en determinar los costos de posesión y rendimientos de una serie de máquinas pesadas utilizadas en la actividad de movimiento de tierras para la construcción.

Las máquinas analizadas corresponden a volquetas articuladas, vagonetas convencionales y tractores.

A solicitud de la empresa, se enfoca en el estudio de estas máquinas debido a la escasez de conocimiento en el alquiler y rendimiento real.

Por esta razón, se procede a solicitar información general de las máquinas al ingeniero Pablo Gudiel; se realiza diagnóstico físico y mecánico, además de obtener toda información legal posible.

Específicamente, se estudian dos tipos de volquetas articuladas correspondientes a la marca Caterpillar de la serie 740B y 730B, tractores D6T y D6H de la misma marca, y, finalmente, se analizan las vagonetas convencionales de marca MACK de la serie Granite.

Es necesaria información del fabricante para obtener comparaciones teóricas y, posteriormente, analizar lo recolectado en campo para deducir posibles problemas.

Para la toma de rendimientos, específicamente para el equipo de transporte, es necesario, únicamente, tomar tiempo del ciclo de la actividad, que se realiza; y en cuanto al equipo de corte, es necesario la utilización de equipo topográfico para obtener información real.

En cuanto a los costos de posesión, se contempla incluir los costos de pertenencia, de operación y de operador, tal como lo recomienda el manual de rendimientos de Caterpillar.

Maquinaria

Las máquinas utilizadas para la realización del estudio de rendimiento y costos de posesión son las siguientes:

- Volqueta articulada 740B año 2012: posee una potencia bruta de 450hp, una carga nominal de 39,5 a 45,3 toneladas, su góndola tiene una capacidad máxima de 24.5m³ y al ras de 18.5m³. Su capacidad de combustible es de 532 litros, el precio de mercado ronda aproximadamente los 305.500.000 colones de acuerdo con el distribuidor en Costa Rica (Matra).
- Volqueta articulada 730B año 2011: posee una potencia bruta de 325hp, una carga nominal de 28,1 a 31 toneladas, su góndola tiene una capacidad máxima de 18.5m³ y al ras de 15m³. Su capacidad de combustible es de 305 litros, el precio de mercado ronda aproximadamente los 198.400.000 colones de acuerdo con el distribuidor en Costa Rica (Matra).
- Vagoneta convencional Granite año 2016: posee una potencia bruta de 425hp, una carga nominal de 20 a 22 toneladas, su góndola tiene una al ras de 14.5m³. Su capacidad de combustible es de 250 litros, el precio de mercado ronda aproximadamente los 93.400.000 colones de acuerdo con el distribuidor en Costa Rica (Matra).
- Vagoneta convencional Granite año 2012: posee una potencia bruta de 405hp, una carga nominal de 20 a 22 toneladas, su góndola tiene una al ras de 14.5m³. Su capacidad de combustible es de 250 litros, el precio de mercado ronda aproximadamente los 80.500.000 colones

de acuerdo con el distribuidor en Costa Rica (Matra).

- Tractor D6T 2008; posee una potencia bruta de 200hp, una carga nominal de 20 a 21 toneladas, su capacidad de la cuchilla es de 4.5m³. Su capacidad de combustible es de 424 litros, el precio de mercado ronda aproximadamente los 198.375.000 colones de acuerdo con el distribuidor en Costa Rica (Matra).
- Tractor D6H 2007: posee una potencia bruta de 200hp, una carga nominal de 18 a 21 toneladas, su capacidad de la cuchilla es de 3.7 m³. Su capacidad de combustible es de 322 litros, el precio de mercado ronda aproximadamente los 180.000.000 colones de acuerdo con el distribuidor en Costa Rica (Matra).

Recolección de información

Para el desarrollo de los cálculos respectivos, es necesario recolectar información interna de la empresa, por lo que es necesaria la ayuda del departamento de recursos humanos.

Dentro de la información necesaria, es preciso constatar el precio de compra del equipo, los seguros relacionados de acuerdo con al tipo de máquina, como por ejemplo contra todo riesgo, impuesto de ruedo (marchamo), costo de revisión técnica.

Se trata de identificar los efectos de las reparaciones de los equipos mediante la recolección de gastos en cada uno de ellos; sin embargo, no se encuentra alguna información certera, por lo que se toma la fórmula proporcionada por el fabricante para estimar gastos de reparaciones durante los primeros diez años de pertenencia del equipo.

Junto a esto, es necesario determinar el salario de los operadores de las máquinas para involucrar su efecto en el precio por hora.

Manual de Rendimiento Caterpillar

Para rescatar la inversión del equipo y poder reemplazarlo, es necesario contemplar todos los factores necesarios. Para la empresa, es necesario recuperar su inversión durante su vida útil.

Por esta razón, se analizan los costos de posesión, donde se involucran los de pertenencia, de operación y de operador.

Todos los cálculos se realizan por unidad de hora debido a que la finalidad es obtener un valor donde la empresa pueda tener referencia para rentar su máquina.

Inicialmente, se desarrollan los costos de pertenencia contemplando los siguientes aspectos:

- Depreciación: se trata de un método simple y directo de cancelación durante el número de años que el propietario espera utilizar la máquina con ganancias.

$$D = \left(\frac{\text{Vida Útil} - 1}{55} \right) * \left(\frac{\text{costo de compra}}{\text{hrs de Pertenencia}} \right)$$

(Ecuación 01)

- Intereses: se calculan los intereses a un 10% impactando al capital empleado a la compra de la máquina a plazos.

$$I = \left(\frac{\text{costo de compra} * \text{interés}}{\text{hrs de pertenencia}} \right)$$

(Ecuación 02)

- Seguros e impuestos: se logran determinar los costos reales de los seguros e impuestos a nivel nacional, por lo que estos valores necesitan ser fraccionado por las horas de pertenencia al año.

$$S = \left(\frac{\text{seguro todo riesgo}}{\text{hrs de Pertenencia}} \right)$$

(Ecuación 03)

$$IR = \left(\frac{\text{impuesto de ruedo}}{\text{hrs de Pertenencia}} \right)$$

(Ecuación 04)

- Revisión técnica: se determina el valor del servicio, el cual difiere de los vehículos tradicionales, por ser un equipo especial.

$$RT = \left(\frac{\text{revisión técnica}}{\text{hrs de Pertenencia}} \right)$$

(Ecuación 05)

Seguidamente de calcular el costo por pertenencia, se procede a calcular los costos de operación, donde se involucran los siguientes aspectos:

- Combustible: se determina mediante un factor de carga o bien mediante el rendimiento, que pueda tener la máquina de acuerdo su potencia. Según el manual de Caterpillar, se considera un factor de 1,0 si la máquina trabaja continuamente a plena potencia.

$$C = \text{Potencia} * \text{Rendimiento} * C. \text{combustible}$$

(Ecuación 06)

- Servicio: se considera la capacidad con que la máquina opera, ya sea baja, media o alta, perjudicando el consumo de combustible. El dato se selecciona en consideración con lo visto en campo.

$$Serv = \left(\frac{\text{factor de servicio}}{\text{Costo Combustibles}} \right)$$

(Ecuación 07)

- Reparaciones: no se obtienen registros anuales sobre las reparaciones de cada máquina, por lo que se opta por aplicar la ecuación 08, donde se logran obtener estimaciones por año de acuerdo con el año de pertenencia del equipo.

$$Rep = \left(\frac{\text{Año de pert.}}{55} \right) * \left(\frac{\text{costo de compra}}{\text{hrs de operación}} \right)$$

(Ecuación 08)

- Costo de llantas: para el equipo de transporte, es necesario contemplar el

desgaste del juego de llantas de cada máquina. Debido a su peso y la fricción que generan con las superficies, provoca que las llantas tengan deterioros en corto tiempo. Según el equipo de transporte que se analiza, se debe contemplar el precio del juego de llantas necesarias para operar considerando el periodo de su vida útil.

$$CT = 1.15 * \frac{\text{Costo de juego de llantas}}{\text{hrs de vida útil de llantas}}$$

(Ecuación 09)

- Costo de mantenimiento: Caterpillar contempla únicamente el gasto de cambios de aceite, tomando en cuenta cuatro cambios de 250 horas, dos de 500 horas y uno por 1000 y 2000 horas involucrando sus respectivos filtros.

Seguidamente de calcular los costos de operación, se procede a los costos de operador, refiriéndose al gasto necesario para operar la máquina.

Se debe constatar la jornada laboral de los trabajadores de la empresa y su salario promedio debido a la variedad de operadores con salarios diferentes.

Seguidamente, se procede a determinar el porcentaje de cargas sociales, que exige el país, el cual corresponde al 48%.

La supervisión es realizada en el Área Metropolitana, por lo que no es necesario contemplar viáticos; en caso contrario, sí se requiere ajustar el monto de manera más precisa.

Rendimientos

Los rendimientos de las diferentes máquinas estudiadas son realizados en dos sectores correspondientes en San Ramón de Tres Ríos, Turrúcares de Alajuela y Coyol de Alajuela.

Las articuladas 740B y 730B son medidas en un proyecto urbanístico ubicado en San Ramón de Tres Ríos, en un ciclo de 800m, y en el término de una semana.

Posteriormente de obtener la cantidad de viajes diarios realizados por cada máquina, se realiza un promedio diario tomando en cuenta su capacidad de carga, considerando que cada viaje se transporta de forma colmada. Seguidamente se

promedian los cinco días analizados para, finalmente, obtener el rendimiento real por hora de la máquina contemplando la jornada de 10 horas. Los tractores D6T y D6H son analizados durante seis días laborales, las mediciones se realizan mediante equipo topográfico realizados propiamente, con el fin de obtener resultados más certeros de corte de material. Se necesita, inicialmente, realizar levantamiento topográfico de la zona antes de iniciar las labores, posterior a esto y haber realizado los cortes de material, se realiza, nuevamente, un levantamiento topográfico para verificar los metros cúbicos cortados logrando obtener estimaciones reales de su rendimiento. Después de obtener estos resultados, se logra comparar los datos mediante información teórica para realizar las conclusiones

Cuadro 01. Gráfica teórica según CONAVI

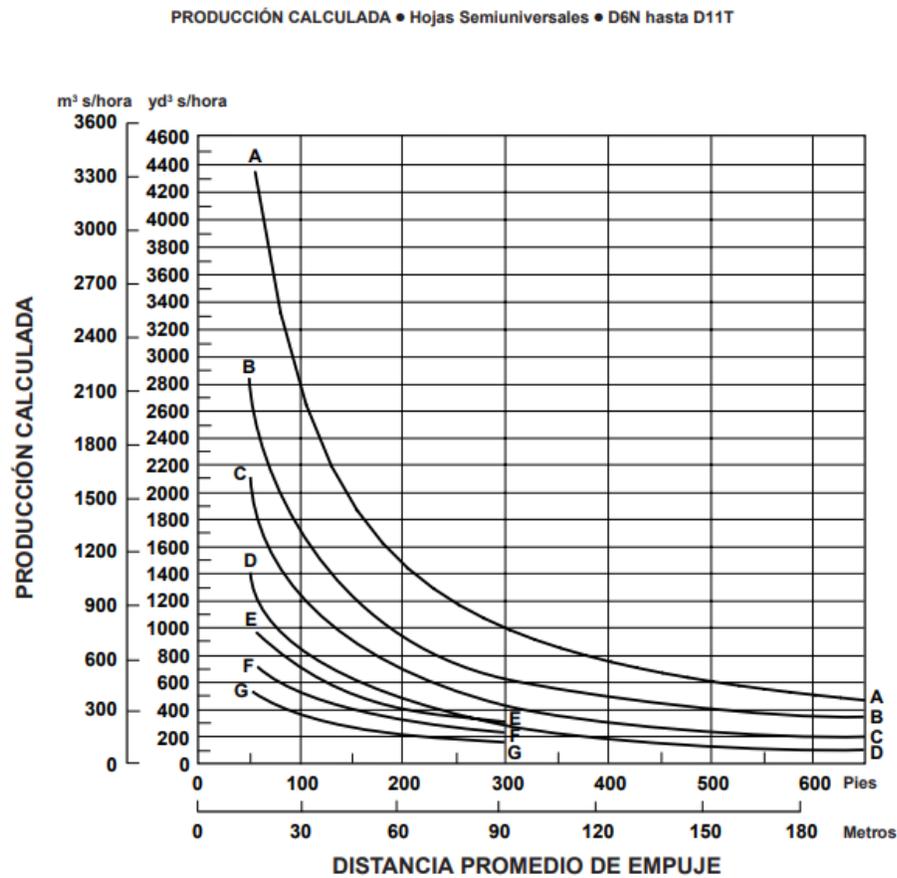
RENDIMIENTO DE EQUIPO

Equipo	Producción
Tractor D6	45 m3/hr
Tractor D7	50 m3/hr
Tractor D8K	90 m3/hr
Excavadora CAT 320L	90 m3/hr
Excavadora PC-200 Komatsu	70 m3/hr
Compactadora vibratoria	60 m3/hr 50ton/hr
Back Hoe	25 m3/hr
Cargador 966	60 m3/hr
Motoniveladora	50 m3/hr
Tanque de agua 19 m3	50 m3/hr
Batidora de concreto 2 sacos	3,6 m3/hr
Quebrador Baber Green	67 m3/hr
Planta de Asfalto	85 Ton/hr
Low Boy	30 Km/hr
Motosierra	1 Arbol/hr
Distribuidor de agregados	25 m3/hr
Distribuidor de Asfalto	1250 lt/hr
Finisher	85 Ton/hr

Fuente: Rendimientos teóricos del CONAVI

De la misma manera, se procede a desarrollar un rendimiento calculado, donde se visualizan los rendimientos respecto a la distancia de desarrollo

y la serie de la máquina como se muestra a continuación:



- CLAVE**
- A — D11R-11SU
 - B — D10T-10SU
 - C — D9R/D9T-9SU
 - D — D8R/D8T-8SU
 - E — D7R Serie 2-7SU
 - F — D6T/D6R Serie 3
 - G — D6N-6SU

NOTA: Esta gráfica se basa en gran número de pruebas y estudios en condiciones y trabajos diversos (consulte los factores de corrección que hay después de estas gráficas).

Figura 01. Gráfica producción calculada
Fuente: Manual de Rendimiento Caterpillar

Posterior a encontrar el valor gráfico, se procede a aplicarle una serie de factores, que pueden lograr minimizar o maximizar el valor gráfico encontrado,

como el de operador, de material, de visibilidad, de eficiencia del trabajo, como se muestra en la siguiente tabla que proporciona Caterpillar:

Cuadro 02. Factores de corrección según condiciones de 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	—
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 MÉTODO DE ZANJA CON DOS TRACTORES JUNTOS	1,20 1,15-1,25	1,20 1,15-1,25
VISIBILIDAD:		
Polvo, 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.		

*NOTA: Las hojas orientables y las amortiguadas no se consideran herramientas de producción. Según las condiciones del trabajo, la hoja A y la C producen por término medio del 50 al 75% de una hoja recta.

Fuente: Manual de Rendimiento Caterpillar

Seguidamente, se realiza el análisis de las vagonetas Granites, las cuales realizan transporte de material de relleno. El trayecto es de aproximadamente 11,3 km, las mediciones son

desarrolladas durante cinco días, obteniendo el rendimiento de transporte diario y, consecuentemente, el rendimiento por hora de acuerdo con la jornada de trabajo.

Resultados

Diseño de la estructura

Estudios preliminares

Para este proyecto en lo correspondiente a analizar los rendimientos en campo, con respecto a los teóricos, junto con determinar los costos de operación, es necesario, inicialmente, indagar cuáles equipos se van a analizar; posteriormente, se investiga información propia de cada máquina, fundamental para los cálculos y establecer el costo de la máquina por hora abarcando información correspondiente a los costos de pertenencia, costos de operación y finalmente costos de operador.

Es necesario inspeccionar las máquinas en el sitio de trabajo, evaluar su estado, condiciones del área de trabajo y las funciones a las cuales están

siendo sometidas. Estos factores son fundamentales para la finalidad del proyecto.

El proyecto es enfocado para las siguientes máquinas:

- Volqueta articulada 730B y 740B.
- Vagonetas convencionales Granites
- Tractores D6T y D6H

Inicialmente, se analizan las volquetas articuladas, las cuales son estudiadas en el proyecto La Estefana, ubicado en San Ramon de Tres Ríos, Cartago. En este proyecto urbanístico, fue necesario mover 24000 m³ de corte y depósito de material de sitio, la cual es trasladada mediante las articuladas en un trayecto de 800 m.

Para determinar el rendimiento de estas máquinas, es necesario realizar mediciones de su ciclo; es decir cargado, traslado de ida, depósito, traslado de vuelta.



Figura 02. Articulada 730B



Figura 03. Articulada 740B



Figura 04. Sitio de depósito de material trasladado por las volquetas articuladas

A continuación, se muestra la capacidad de carga, la cual cada articulada puede trasladar:

Cuadro 03. Rendimientos teóricos de las articuladas 740B y 730B

Volqueta	Al ras (m3)	Colmada (m3)
CAT 740B	18,5	24
CAT 730B	15	18,5

Tabla tomada de rendimientos de maquinaria de Caterpillar

A continuación, se presentan los rendimientos tomados durante cinco días para ambas volquetas las cuales se evalúan con las mismas condiciones:

Cuadro 04. Rendimientos diarios tomados en campo para Articulada 740B y 730B

	Día 1	
	740B	730B
Viajes	51,00	50,00
m3 diario	1249.50	925,00
m3/h	156.19	115.63
	Día 2	
	740B	730B
Viajes	49,00	28,00
m3 diario	1200.50	518,00
m3/h	150.06	64,75
	Día 3	
	740B	730B
Viajes	47,00	47,00
m3 diario	1151.50	869.50
m3/h	143.94	108.69
	Día 4	
	740B	730B
Viajes	49,00	21,00
m3 diario	1220.50	388.50
m3/h	150.06	48.56
	Día 5	
	740B	730B
Viajes	49,00	50,00
m3 diario	1200,50	925,00
m3/h	150.06	115.63

Tabla de elaboración propia, mediante el programa Microsoft Excel

Durante los días de mediciones, se encuentran inconvenientes, como por ejemplo, paralizar el proyecto por alto polvo en el traslado del material, presencia de equipo diferenciado en el trayecto, lo cual perjudica los tiempos de manera considerable.

Los datos, que se toman y tienen una diferencia considerable son desechados, debido a que esto no es común.

Durante los cinco días evaluados, se determina el rendimiento promedio mediante la siguiente tabla:

Cuadro 05. Rendimiento promedio durante cinco días tomados en campo para Articulada 740B y 730B

Volqueta	m3/h
CAT 740B	150,06
CAT 730B	90,65

Tabla de elaboración propia, mediante el programa Microsoft Excel

En la figura 5.0, se muestra el lugar de carga, la cual se realiza mediante una retroexcavadora 326D. En la figura 6.0, se muestra el lugar de

depósito de material, donde el tractor es el encargado de conformarlo



Figura 5.0 Cargado de Articuladas mediante retroexcavadora 326D



Figura 6.0. Depósito de material mediante la articulada 740B

Para la volqueta articulada 740B, es necesario recolectar la siguiente información general para realizar los cálculos de costos de posesión, costos de operación y costos de operadores:

Cuadro 06. Información General de la Volqueta Articulada 740B.

Equipo	Articulada
Modelo	CAT 740
Potencia (HP)	450
Costo de compra	₡305 448 000,00
Valor de salvamento	₡10 000 000,00
Vida útil (años)	10
Seguros	
Todo riesgo (año)	₡750 000,00
Impuesto de rueda (año)	₡2 500 000,00
Revisión técnica (año)	₡50 000,00
Interés (%)	10%
Cantidad de tanque de diesel (L)	532
Costo de combustible (L)	₡514
Rendimiento (hp/h)	0,1125
Costo de operador (h)	₡1770,00
Cargas Sociales (%)	48%
Viáticos (día)	₡0,00
Factor de servicio (%)	33%
Costo de reparación (%)	70%
Horas año (pertenencia) h	3600
Horas año (operación) h	1300
Tipo de cambio	₡572

Tabla de elaboración propia, mediante el programa Microsoft Excel

Los costos de pertenencia contemplan aquellas variables necesarias para mantener el equipo en regla, involucrando la depreciación durante una vida útil de 10 años.

Cuadro 07. Cálculo de costo de pertenencia de la volqueta articulada 740B

Depreciación (₡/h)	
D	₡13 884,00
Intereses (₡/h)	
I	₡8 484,67
Seguros (₡/h)	
S	₡208,33
Impuestos (₡/h)	
IR	₡694,44
RT	₡13,89
Cálculo costo pertenencia	
Total ₡ / h	₡23 285,33
Total \$ / h	\$40,71

Tabla de elaboración propia, mediante el programa Microsoft Excel

Para el costo de operación, de acuerdo con el manual de rendimientos de Caterpillar, es necesario determinar el consumo de la máquina por hora, el servicio que puede dar el equipo de acuerdo con las condiciones del sitio, seguidamente de las reparaciones promedio que se le realiza a la máquina de acuerdo con el año de pertenencia posterior a la compra.

Es necesario contemplar el costo y la vida útil del juego de llantas, debido a que se necesitan seis llantas cada 2000 horas.

Se añade el costo de mantenimiento durante las primeras 5000 horas, involucrando el costo de los filtros; los cambios de aceite se hacen según recomendación del distribuidor y de acuerdo con el costo que los mismos brindan.

Cuadro 08. Cálculo de costo de operación de la volqueta Articulada 740B

Combustible (€/h)	
C	€15 946,88
Servicio (€/h)	
Condiciones promedio	
Serv.	€5 262,47
Reparaciones (€/h)	
Año 1-10	
1	€4 272,00
2	€8 544,00
3	€12 816,00
4	€17 088,00
5	€21 360,00
6	€25 632,00
7	€29 904,00
8	€34 176,00
9	€38 448,00
10	€42 720,00
CT (€/h)	
Llantas	€1 725,00

Tabla de elaboración propia, mediante el programa Microsoft Excel

Cuadro 09. Cálculo de costo de mantenimiento operacional de la volqueta Articulada 740B

Mantenimiento	Cantidad	P. Unit	Total
MP 250	4	€480 000	€1 920 000
MP 500	2	€650 000	€1 300 000
MP 1000	1	€900 000	€900 000
MP 2000	1	€2 100 000	€2 100 000
Incluir filtros de aire	1	€400 000	€400 000
Costo mantenimiento (€/h)			
	€/hr		3 310,00
Cálculo costo Comb.-Serv.Rep.			
	Total €/ h		€40 454,44
	Total \$ / h		\$70,72

Tabla de elaboración propia, mediante el programa Microsoft Excel

El costo de operador se refiere al precio necesario para operar la volqueta, el salario semanal de los operadores es de ¢85000, por lo que, al día, gana ¢17.708,33, al ser un proyecto ubicado dentro del Área Metropolitana.

Cuadro 10. Cálculo de costo de operador de la volqueta Articulada 740B

Salario (¢/día)	
Jornada	10
Extras	0
Horas	10
Salario	¢17.708,33
Cargas sociales (¢/día)	
C	¢8.499,99
Viáticos (¢/día)	
V	¢0,00
Cálculo costos operador (¢ / día)	
Total ¢ / día	¢51.308,33
Total \$ / día	\$89,70
Horas laborales	10,00
Cálculo costos operador (¢ / h)	
Total ¢ / h	¢10 360,00
Total \$ / h	\$18,11

Tabla de elaboración propia, mediante el programa Microsoft Excel

Ya obtenidos los costos de pertenencia, costos de operación y costos de operador, se determina el costo real por hora de la máquina, la cual es de referencia para cuantificar rendimientos de producción o bien para tener un estimado para el alquiler de esta.

Cuadro 11. Cálculo de costo por hora de la volqueta Articulada 740B

Cálculo precio por hora	
Costo total	\$116,02
Utilidad (10%)	\$11,60
Precio \$	\$127,62
Precio ¢	¢72.996,66

Tabla de elaboración propia, mediante el programa Microsoft Excel

Para la volqueta articulada 730B, es necesario recolectar la siguiente información general para realizar los cálculos de costos de posesión, costos de operación y costos de operadores:

Cuadro 12. Información general de la Volqueta Articulada 730B

Equipo	Articulada
Modelo	CAT 730
Potencia (HP)	325
Costo de compra	¢198 375 000,00
Valor de salvamento	¢10 000 000,00
Vida útil (años)	10
Seguros	
Todo riesgo (año)	¢750 000,00
Impuesto de ruedo (año)	¢2 500 000,00
Revisión técnica (año)	¢50 000,00
Interés (%)	10%
Cantidad de tanque de Diesel (L)	¢305,00
Costo de combustible (L)	¢514
Rendimiento (hp/h)	0,135
Costo de operador (h)	¢1770,00
Cargas sociales (%)	48%
Viáticos (día)	¢0,00
Factor de servicio (%)	33%
Costo de reparación (%)	70%
Horas año (pertenencia) h	3600
Horas año (operación) h	1300
Tipo de cambio	572

Tabla de elaboración propia, mediante el programa Microsoft Excel

Los costos de pertenencia contemplan aquellas variables necesarias para mantener el equipo en regla, involucrando la depreciación durante una vida útil de 10 años.

Cuadro 13. Cálculo de costo de pertenencia de la volqueta Articulada 730B

Depreciación (¢/h)	
D	¢3.705,64
Intereses (¢/h)	
I	¢2.264,55
Seguros (¢/h)	
S	¢85,62
Impuestos (¢/h)	
IR	¢285,39
RT	¢5,71
Cálculo costo pertenencia	
Total ¢ / h	¢6.346,90
Total \$ / h	\$11.10

Tabla de elaboración propia, mediante el programa Microsoft Excel

El costo de operador se refiere al precio necesario para operar la volqueta. El salario semanal de los operadores es de ¢85000, por lo que al día gana ¢17.708,33; al ser un proyecto ubicado dentro del Área Metropolitana, los operadores no necesitan viáticos, lo cual no se contempla.

La información del salario se recolecta de la planilla de la empresa Macoma S.A, la cual está por arriba del salario mínimo de acuerdo con el Ministerio de Trabajo y Seguridad Social.

Cuadro 14. Cálculo de costo de operador de la volqueta Articulada 730B

Salario (¢/día)	
Jornada	10
Extras	0
Horas	10
Salario	¢17.708,33
Cargas sociales (¢/día)	
C	¢8.500
Viáticos (¢/día)	
V	¢0,00
Cálculo costos operador (¢ / día)	
Total ¢ / día	¢26.205,33
Total \$ / día	\$45,82
Horas laborales	10,00
Cálculo costos operador (¢ / h)	
Total ¢ / h	¢2.620,83
Total \$ / h	\$4,58

Tabla de elaboración propia, mediante el programa Microsoft Excel

Para el costo de operación de acuerdo con el manual de rendimientos de Caterpillar, es necesario determinar el consumo de la máquina por hora, el servicio que puede dar el equipo de acuerdo con las condiciones del sitio, seguidamente de las reparaciones promedio que se realiza a la máquina de acuerdo con el año de pertenencia posterior a la compra.

Es necesario contemplar el costo y la vida útil del juego de llantas, debido a que necesitan seis llantas cada 2000 horas.

Se añade el costo de mantenimiento durante las primeras 5000 horas, involucrando el costo de los filtros; los cambios de aceite se hacen según recomendación del distribuidor y de acuerdo con el costo que los mismos brindan.

Cuadro 15. Cálculo de costo de operación de la volqueta Articulada 730B

Combustible (¢/h)	
C	¢14 411,25
Servicio (¢/h)	
Condiciones promedio	
Serv.	¢4 755,71
Reparaciones (¢/h)	
Año 1-10	
1	¢2 774,48
2	¢5 548,95
3	¢8 323,43
4	¢11 097,90
5	¢13 872,38
6	¢16 646,85
7	¢19 421,33
8	¢22 195,80
9	¢24 970,28
10	¢27 744,76
CT(¢/h)	
Llantas	¢1 725,00

Tabla de elaboración propia, mediante el programa Microsoft Excel

Cuadro 16. Cálculo de costo de mantenimiento operacional de la volqueta Articulada 730B

Mantenimiento	Cantidad	P. Unit	Total
MP 250	4	¢480 000	¢1 920 000
MP 500	2	¢650 000	¢1 300 000
MP 1000	1	¢900 000	¢900 000
MP 2000	1	¢2 100 000	¢2 100 000
Incluir filtros de aire	1	¢400 000	¢400 000
Costo Mantenimiento (¢/h)			
	¢/hr		3 310,00
Cálculo Costo Comb.-Serv.Rep.			
	Total ¢ / h		¢35 957,53
	Total \$ / h		\$62,86

Tabla de elaboración propia, mediante el programa Microsoft Excel

Ya obtenidos los costos de pertenencia, costos de operación y costos de operador, se determina el costo real por hora de la máquina, la cual es de referencia para cuantificar rendimientos de producción o bien para tener un estimado para el alquiler de esta.

Cuadro 17. Cálculo de costo por hora de la volqueta Articulada 730B

Cálculo precio por hora	
Costo Total	\$78,54
Utilidad (10%)	\$7,85
Precio \$	\$86,39
Precio ¢	₡49.417,79

Tabla de elaboración propia, mediante el programa Microsoft Excel

Vagonetas convencionales

Las vagonetas convencionales analizadas corresponden a marca Mack, específicamente del modelo Granite, una es del año 2016 y la otra del 2012.

Ambas son examinadas en un trayecto de 11.3 km, donde su función es trasladar material de relleno de Turrúcares de Alajuela a Coyol de Alajuela.

El camino cantonal, en la cual se traslada el material, es parte de asfalto y parte de lastre por lo que hace que su transporte sea más lento en relación con transitar en la ruta nacional.

A continuación, se muestra el trayecto que recorren las vagonetas convencionales para poder realizar su función.

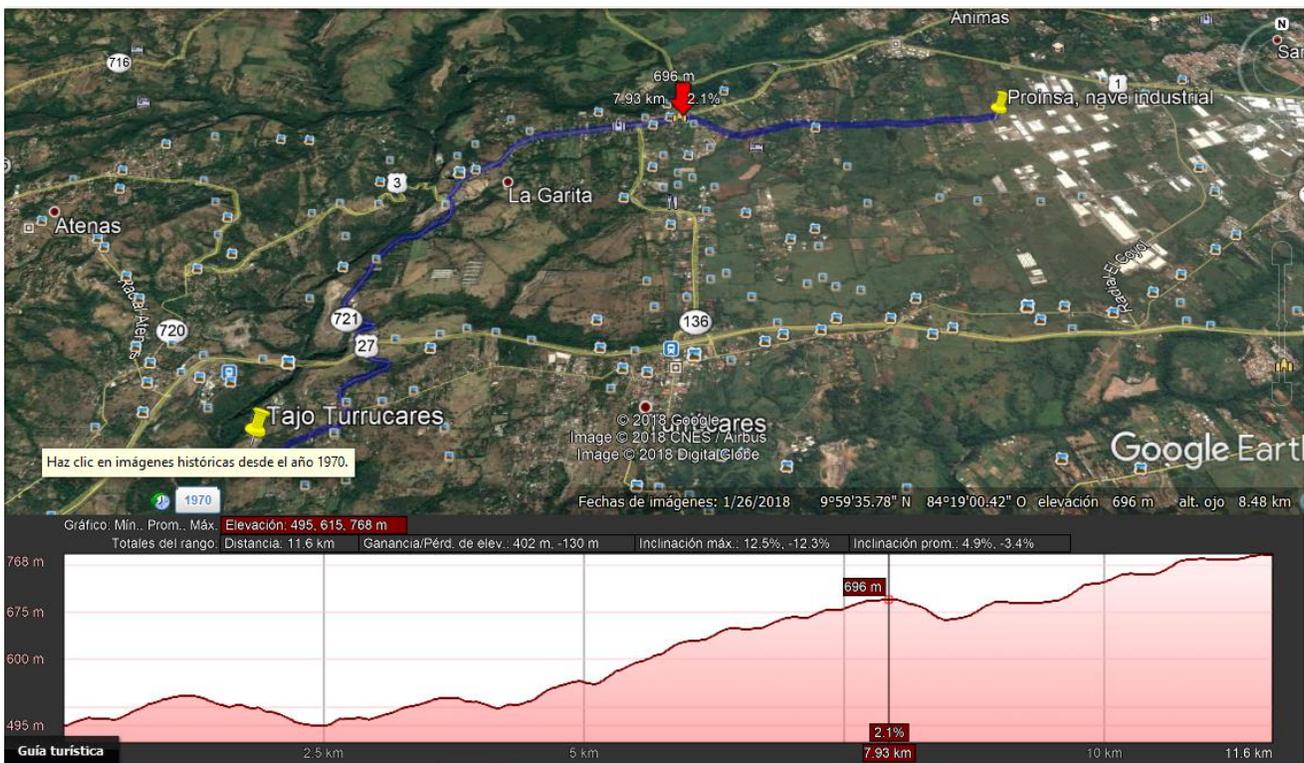


Figura 6.0 Trayecto de transporte de material de las vagonetas convencionales.

Fuente: Tomada de Google Earth

A continuación, se presentan los rendimientos tomados durante cinco días para ambas vagonetas, las cuales se evalúan con las mismas condiciones.

Cuadro 18. Rendimientos diarios tomados en campo para vagoneta Granite 2012 y 2016

	Día 1	
	Vag 2016	Vag 2012
Viajes	7,00	7,00
m3 diario	105,00	94,50
m3/h	13,13	11,81
	Día 2	
Viajes	7,00	7,00
m3 diario	105,00	94,50
m3/h	13,13	11,81
	Día 3	
Viajes	7,00	7,00
m3 diario	105,00	94,50
m3/h	13,13	11,81
	Día 4	
Viajes	7,00	7,00
m3 diario	105,00	94,50
m3/h	13,13	11,81
	Día 5	
Viajes	7,00	7,00
m3 diario	105,00	94,50
m3/h	13,13	11,81

Tabla de elaboración propia, mediante el programa Microsoft Excel

Cuadro 19. Rendimiento promedio durante cinco días tomados en campo para las vagonetas 2012 y 2016

Vagoneta	m3/h
2016	13,13
2012	11,81

Tabla de elaboración propia, mediante el programa Microsoft Excel

Para la vagoneta convencional Granite año 2016, es necesario recolectar la siguiente información general para realizar los cálculos de costos de posesión, costos de operación y costos de operadores.

Cuadro 20. Información general de la vagoneta Granite 2016

Equipo	Vagoneta
Modelo	Granite 2016
Potencia (HP) MP8	425
Costo de compra	Ø93 399 000,00
Valor de salvamento	Ø10 000 000,00
Vida útil (años)	10
Seguros	
Todo riesgo (año)	Ø750 000,00
Impuesto de ruedo (año)	Ø2 500 000,00
Revisión técnica (año)	Ø16 000,00
Interés (%)	10%
Tanque de diésel (L)	250
Costo de combustible (L)	Ø514,00
Rendimiento (hp/h)	0,1011
Costo de operador (h)	Ø1 600,00
Cargas sociales (%)	48%
Viáticos (día)	Ø0,00
Costo de reparación (%)	70%
Horas año (pertenencia) h	3600
Horas año (operación) h	1300
Tipo de cambio	572

Tabla de elaboración propia, mediante el programa Microsoft Excel

Los costos de pertenencia contemplan aquellas variables necesarias para mantener el equipo en regla, involucrando la depreciación durante una vida útil de 10 años.

Cuadro 21. Cálculo de costo de pertenencia de la vagoneta Granite 2016

Depreciación	
D	¢4 245,41
Intereses (¢/h)	
I	¢2 594,42
Seguros (¢/h)	
S	¢208,33
Impuestos (¢/h)	
IR	¢694,44
RT	¢4,44
Cálculo costo pertenencia	
Total ¢ / h	¢7 747,05
Total \$ / h	\$13,54

Tabla de elaboración propia, mediante el programa Microsoft Excel

El costo de operador se refiere al precio necesario para operar la volqueta. El salario semanal de los operadores es de ¢95000, por lo que al día gana ¢15000; al ser un proyecto ubicado dentro del Área Metropolitana, los operadores no necesitan viáticos, lo cual no se contempla.

La información del salario se recolecta de la planilla de la empresa Macoma S.A, la cual está por arriba del salario mínimo de acuerdo con el Ministerio de Trabajo y Seguridad Social.

Cuadro 22. Cálculo de costo de operador de la vagoneta Granite 2016.

Salario (¢/día)	
Jornada	10
Extras	0
Horas	10
Salario	¢15 000,00
Cargas sociales (¢/día)	
C	¢7 200,00
Viáticos (¢/día)	
V	¢0,00
Cálculo costos operador (¢ / día)	
Total ¢ / día	¢22 200,00
Total \$ / día	\$38,81

Horas Laborales	10,00
Cálculo Costos Operador (¢ / h)	
Total ¢ / h	¢2 220,00
Total \$ / h	\$3,88

Tabla de elaboración propia, mediante el programa Microsoft Excel

Para el costo de operación, es necesario determinar el consumo de la máquina por hora, el servicio que puede dar el equipo de acuerdo con las condiciones del sitio, seguidamente de las reparaciones promedio de la máquina de acuerdo con el año de pertenencia posterior a la compra. Es necesario contemplar el costo y la vida útil del juego de llantas, debido a que necesitan 10 llantas cada 2000 horas.

Cuadro 23. Cálculo de costo de operación de la vagoneta Granite 2016

Combustible (¢/h)	
C	¢22 085,30
Servicio (¢/h)	
Condiciones promedio	
Serv.	¢5 399,63
Reparaciones (¢/h)	
Año 1-10	
1	¢1 306,28
2	¢2 612,56
3	¢3 918,84
4	¢5 225,12
5	¢6 531,40
6	¢7 837,68
7	¢9 143,96
8	¢10 450,24
9	¢11 756,52
10	¢13 062,80
CT (¢/h)	
Llantas	¢862,50
Cálculo costo Comb.-Serv.Rep.	
Total ¢ / h	¢23 930,90

Tabla de elaboración propia, mediante el programa Microsoft Excel.

Ya obtenidos los costos de pertenencia, costos de operación y costos de operador, se determina el costo real por hora de la máquina, la cual es de referencia para cuantificar rendimientos de producción o bien para tener un estimado para el alquiler de esta.

Cuadro 24. Cálculo de costo por hora de la vagoneta Granite 2016

Cálculo precio por hora	
Costo total	\$59,26
Utilidad (10%)	\$5,93
Precio \$	\$65,19
Precio ¢	¢37.287,75

Tabla de elaboración propia, mediante el programa Microsoft Excel

Para la vagoneta convencional 2012, es necesario recolectar la siguiente información general para realizar los cálculos de costos de posesión, costos de operación y costos de operadores.

Cuadro 25. Información general de la vagoneta Granite 2012

Equipo	Vagoneta
Modelo	Granite
Potencia (HP)	405
Costo de compra	¢80 500 000,00
Valor de salvamento	¢10 000 000,00
Vida útil (años)	10
Seguros	
Todo riesgo (año)	¢750 000,00
Impuesto de rueda (año)	¢1 250 000,00
Revisión técnica (año)	¢16 000,00
Interés (%)	10%
Tanque de diésel (L)	250
Costo de combustible (L)	¢514,00
Rendimiento (hp/h)	0,115
Costo de operador (h)	¢4 350,00
Cargas sociales (%)	48%
Viáticos (día)	¢0,00
Factor de servicio (%)	33%

Costo de reparación (%)	70%
Horas año (pertenencia) h	3600
Horas año (operación) h	1300
Tipo de cambio	572

Tabla de elaboración propia, mediante el programa Microsoft Excel.

Los costos de pertenencia contemplan aquellas variables necesarias para mantener el equipo en regla, involucrando la depreciación durante una vida útil de 10 años.

Cuadro 26. Cálculo de costo de pertenencia de la vagoneta Granite 2012

Depreciación (¢/h)	
D	¢3 659,09
Intereses (¢/h)	
I	¢2 236,11
Seguros (¢/h)	
S	¢208,33
Impuestos (¢/h)	
IR	¢347,22
RT	¢4,44
Cálculo costo pertenencia	
Total ¢ / h	¢6 455,20
Total \$ / h	\$11,29

Tabla de elaboración propia, mediante el programa Microsoft Excel.

Para el costo de operación, es necesario determinar el consumo de la máquina por hora, el servicio que puede dar el equipo de acuerdo con las condiciones del sitio, seguidamente de las reparaciones promedio que se realiza a la máquina de acuerdo con el año de pertenencia posterior a la compra.

Es necesario contemplar el costo y la vida útil del juego de llantas, debido a que se necesitan 10 llantas cada 2000 horas.

Cuadro 27. Cálculo de costo de operación de la vagoneta Granite 2012

Combustible (C/h)	
C	¢23 939,55
Servicio (C/h)	
Condiciones promedio	
Serv.	¢7 900,05
Reparaciones (C/h)	
Año 1-10	
1	¢1 125,87
2	¢8 544,00
3	¢12 816,00
4	¢17 088,00
5	¢21 360,00
6	¢25 632,00
7	¢29 904,00
8	¢34 176,00
9	¢38 448,00
10	¢42 720,00
CT (C/h)	
Llantas	¢862,50
Cálculo costo Comb.-Serv.Rep.	
Total C / h	¢33 827,98
Total \$ / h	\$59,14

Tabla de elaboración propia, mediante el programa Microsoft Excel.

El costo de operador se refiere al precio necesario para operar la volqueta, el salario semanal de los operadores es de ¢95000, por lo que al día gana ¢15000; al ser un proyecto ubicado dentro del Área Metropolitana, no necesitan viáticos, lo cual no se contempla.

La información del salario se recolecta de la planilla de la empresa Macoma S.A, la cual está por arriba del salario mínimo de acuerdo con el Ministerio de Trabajo y Seguridad Social.

Cuadro 28. Cálculo de costo de operador de la vagoneta Granite 2012.

Salario (C/día)	
Jornada	10
Extras	0
Horas	10
Salario	¢15 000,00
Cargas sociales (C/día)	
C	¢7 200,00
Viáticos (C/día)	
V	¢0,00
Cálculo costos operador (C / día)	
Total C / día	¢22 200,00
Total \$ / día	\$38,81
Horas Laborales	10,00
Cálculo costos operador (C / h)	
Total C / h	¢2 220,00
Total \$ / h	\$3,88

Tabla de elaboración propia, mediante el programa Microsoft Excel.

Cuadro 29. Cálculo de costo por hora de la vagoneta Granite 2012

Cálculo precio por hora	
Costo total	\$74,31
Utilidad (10%)	\$7,43
Precio \$	\$81,74
Precio C	¢46.753,50

Tabla de elaboración propia, mediante el programa Microsoft Excel

Tractores o bulldozer

Para analizar los tractores D6T y D6H, es necesario visitar dos localidades. El D6T está ubicado en el proyecto urbanístico La Estefana en San Ramón de Tres Ríos, Cartago; y el D6H, en Turrúcares de Alajuela; ambos equipos realizan labores similares por lo que existe un buen parámetro para comparar.



Figura 7.0 Tractor D6T



Figura 8.0 Tractor D6H

Tractor D6T

Para estimar el rendimiento por hora de esta máquina, es necesario realizar dos mediciones durante dos semanas, logrando estimar el rendimiento diario de la máquina, lo cual es posible compararlo con el rendimiento teórico dado por el fabricante.

Es importante considerar que, para el tractor D6T, el rendimiento por hora teórico dado por el fabricante es de 50m³/h.

Las mediciones son realizadas mediante equipo topográfico; es decir, con estación total, con el fin de obtener volúmenes reales y tener resultados más certeros.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos mediante los levantamientos realizados durante las dos semanas evaluadas.

Cuadro 30. Rendimiento semana 1 del tractor D6T

Semana 1	
m ³ /semana	2068
m ³ /día	345
m ³ /h	43

Tabla de elaboración propia, mediante el programa Microsoft Excel.

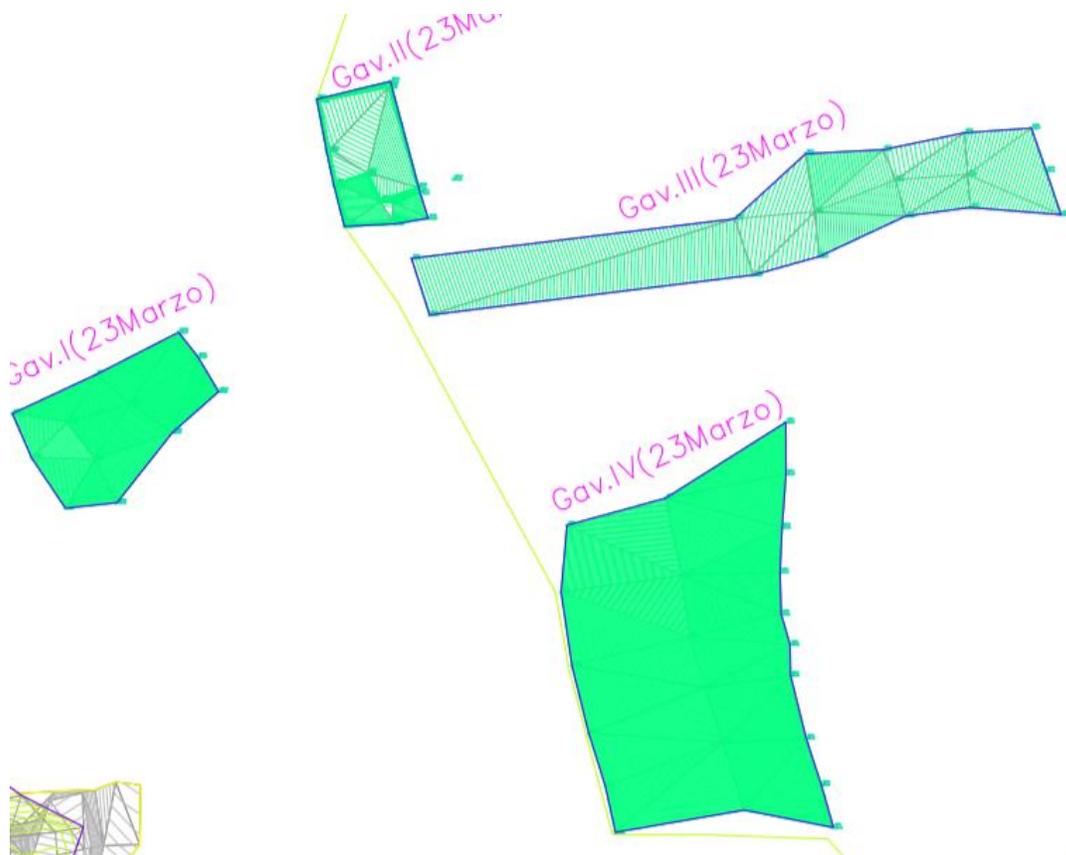


Figura 9.0 Levantamiento topográfico de la semana 1

Cuadro 31. Rendimiento semana 2 del tractor D6T

Semana 2	
m3/semana	1887
m3/día	314,5
m3/h	39,31

Tabla de elaboración propia, mediante el programa Microsoft Excel

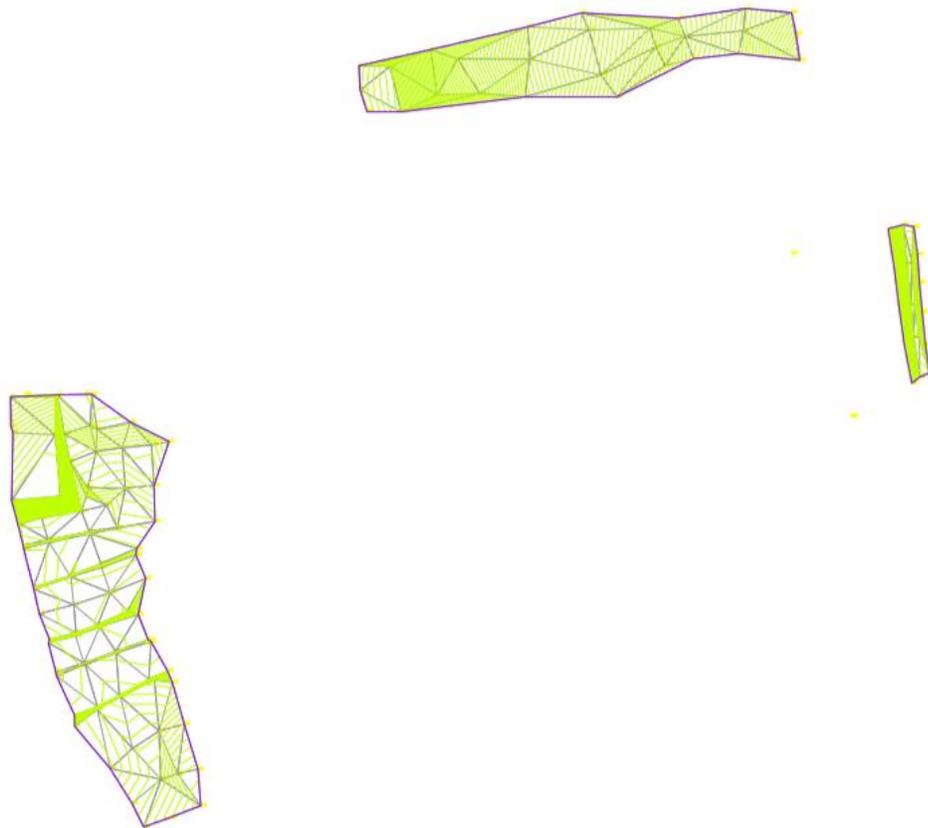


Figura 10. Levantamiento topográfico de la semana 2

De acuerdo con los datos obtenidos durante las dos semanas, se puede reflejar el aprovechamiento de la máquina con respecto al rendimiento teórico, el cual se muestra a continuación.

Cuadro 32. Rendimiento global del tractor D6T

Rendimiento por hora medido tractor D6T	
Volumen teórico (m3/hr)	45
Volumen semana 1 (m3/hr)	43
Volumen semana 2 (m3/hr)	39,31

Tabla de elaboración propia, mediante el programa Microsoft Excel

Se determina el rendimiento calculado mediante las gráficas de Caterpillar. A este valor, se le

aplican los factores de mayoración o minoración de acuerdo con las condiciones de trabajo

Cuadro 33. Rendimiento calculado del tractor D6T

Rendimiento calculado D6T	
Rendimiento gráfico a 70 m (m3/h)	150
Factores	
operador	0,75
material	0,7
visibilidad	0,8
eficiencia	0,67
m3/h calculado	42,21

Tabla de elaboración propia, mediante el programa Microsoft Excel



Figura 11. Rendimiento medido del tractor D6T.



Figura 12. Rendimientos del tractor D6T

Tractor D6H

Para estimar el rendimiento por hora de esta máquina, es necesario realizar dos mediciones durante dos semanas, logrando estimar el rendimiento diario de la máquina, lo cual es posible compararlo con el rendimiento teórico dado por el fabricante.

Es importante considerar que, para el tractor D6H, el rendimiento por hora teórico dado por el fabricante es de 50m³/h.

Las mediciones son realizadas mediante equipo topográfico; es decir, con estación total, con el fin de obtener volúmenes reales y tener resultados más certeros.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos mediante los levantamientos realizados durante las dos semanas evaluadas.

Cuadro 34. Rendimiento semana 1 del tractor D6H

Semana 1	
m3 en 6 días	1320
m3 diario	220
m3 por hora	27.5

Tabla de elaboración propia, mediante el programa Microsoft Excel

Cuadro 35. Rendimiento semana 1 del tractor D6H.

Semana 2	
m3 en 6 días	1227
m3 diario	204,5
m3 por hora	25,56

Tabla de elaboración propia, mediante el programa Microsoft Excel



Figura 12 Levantamiento topográfico de las semanas 1 y 2

De acuerdo con los datos obtenidos durante las dos semanas, se puede reflejar el aprovechamiento de la máquina con respecto al rendimiento teórico, el cual se muestra a continuación.

Cuadro 36. Rendimiento global del tractor D6H

Rendimiento por hora tractor D6H	
Volumen teórico (m3/hr)	45
Volumen semana 1 (m3/hr)	27,5
Volumen semana 2 (m3/hr)	25,56

Tabla de elaboración propia, mediante el programa Microsoft Excel

Se determina el rendimiento calculado mediante las gráficas de Caterpillar. A este valor, se le aplican los factores de mayoración o minoración de acuerdo con las condiciones de trabajo.

Cuadro 37. Rendimiento calculado del tractor D6H

Rendimiento calculado D6H	
Rendimiento gráfico a 70 m (m3/h)	150
Factores	
operador	0,75
material	0,7
visibilidad	0,8
eficiencia	0,67
m3/h Calculado	42,21

Tabla de elaboración propia, mediante el programa Microsoft Excel

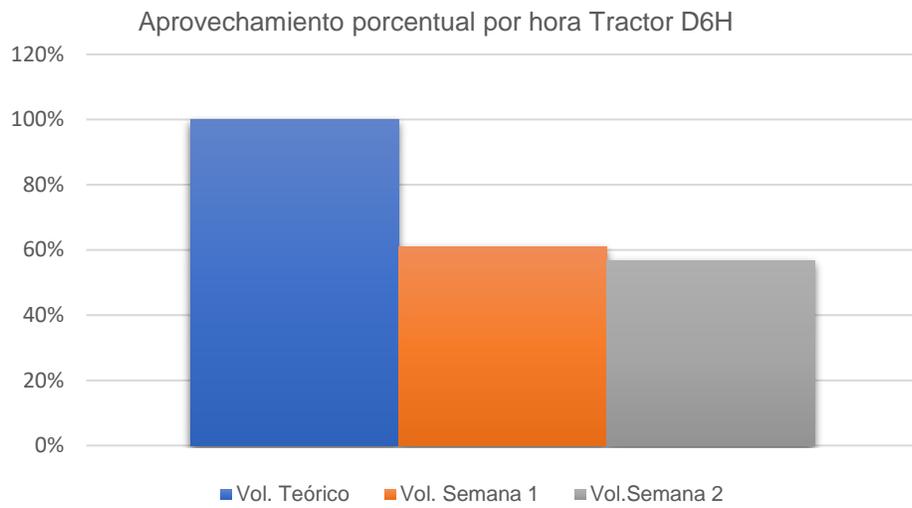


Figura 13. Rendimientos medidos del tractor D6H

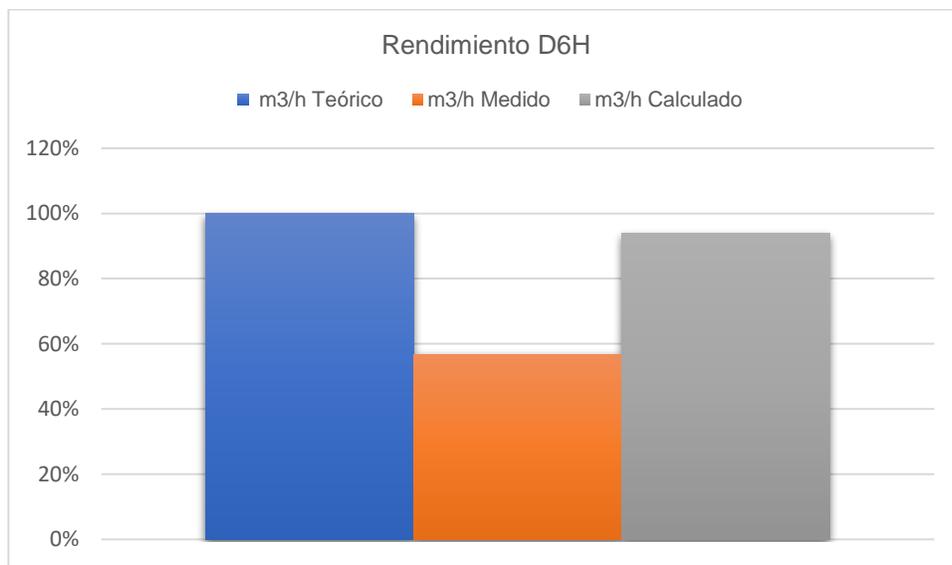


Figura 14. Rendimientos del tractor D6H

Para el tractor D6T, es necesario recolectar la siguiente información general para realizar los cálculos de costos de posesión, costos de operación y costos de operarios.

Cuadro 38. Información general del tractor D6T

Equipo	Tractor
Modelo	CAT D6T
Potencia (HP)	200
Costo de compra	Ø198.375.000
Valor de salvamiento	Ø10 000 000,00
Vida útil (años)	10
Seguros	
Todo riesgo (año)	Ø1.636.838
Impuesto de ruedo (año)	Ø0
Revisión técnica (año)	Ø16 000,00
Interés (%)	10%
Tanque de diésel (L)	424
Costo de combustible (L)	Ø514,00
Rendimiento (hp/h)	0,1125
Costo de operador (h)	Ø1 600
Cargas sociales (%)	48%
Viáticos (día)	Ø0,00
Costo de reparación (%)	70%
Horas año (pertenencia) h	3600
Horas año (operación) h	1300
Tipo de cambio	572

Tabla de elaboración propia, mediante el programa Microsoft Excel

Los costos de pertenencia contemplan aquellas variables necesarias para mantener el equipo en regla, involucrando la depreciación durante una vida útil de 10 años.

Cuadro 39. Cálculo de costo de pertenencia del tractor D6T

Depreciación	
D	Ø9.017,05
Intereses (Ø/h)	
I	Ø5.510,42
Seguros (Ø/h)	
S	Ø451,68
Impuestos (Ø/h)	
IR	Ø0
RT	Ø4,44
Cálculo costo pertenencia	
Total Ø / h	Ø14.986,58
Total \$ / h	\$26,20

Tabla de elaboración propia, mediante el programa Microsoft Excel

Cuadro 40. Cálculo de costo de operador del tractor D6T

Salario (Ø/día)	
Jornada	10
Extras	0
Horas	10
Salario	Ø17.000
Cargas sociales (Ø/día)	
C	Ø6.233,90
Viáticos (Ø/día)	
V	Ø0,00
Cálculo costos operador (Ø / día)	
Total Ø / día	Ø23.233,90
Total \$ / día	\$40,62
Horas laborales	10,00
Cálculo costos operador (Ø / h)	
Total Ø / h	Ø2 323,39
Total \$ / h	\$4,06

Tabla de elaboración propia, mediante el programa Microsoft Excel.

Cuadro 41. Cálculo de costo de operación del tractor D6T

Combustible (¢/h)	
C	¢23.419,13
Servicio (¢/h)	
Condiciones Promedio	
Serv.	¢7.728,31
Reparaciones (¢/h)	
Año 1-10	
1	¢2 774,48
2	¢5 548,95
3	¢8 323,43
4	¢11 097,90
5	¢13 872,38
6	¢16 646,85
7	¢19 421,33
8	¢22 195,80
9	¢24 970,28
10	¢27 744,76
CT (¢/h)	
Llantas	¢0

Tabla de elaboración propia, mediante el programa Microsoft Excel

Cuadro 42. Cálculo de costo de mantenimiento operacional del tractor D6T

Mantenimiento	Cantidad	P. Unit	Total
MP 250	4	¢400.000	¢1.600.000
MP 500	2	¢505.000	¢1.010.000
MP 1000	1	¢1.100.000	¢1.100.000
MP 2000	1	¢1.560.000	¢1.560.000
Incluir filtros de aire	4	¢100.000	¢400 000
Costo mantenimiento (¢/h)			
¢/hr		2.835,00	
Cálculo costo Comb.-Serv.Rep.			
Total ¢ / h		¢33.982,44	
Total \$ / h		\$59,41	

Tabla de elaboración propia, mediante el programa Microsoft Excel

Ya obtenidos los costos de pertenencia, costos de operación y costos de operador, se determina el costo real por hora de la máquina, lo cual es de referencia para cuantificar rendimientos de producción o bien para tener un estimado para el alquiler de esta.

Cuadro 43. Cálculo de costo por hora de tractor D6T

Cálculo precio por hora	
Costo total	\$89,67
Utilidad (10%)	\$8,97
Precio \$	\$98,64
Precio ¢	¢56.421,65

Tabla de elaboración propia, mediante el programa Microsoft Excel

Para el tractor D6H, es necesario recolectar la siguiente información general para realizar los cálculos de costos de posesión, costos de operación y costos de operarios.

Cuadro 44. Información general del tractor D6H

Equipo	Tractor
Modelo	CAT D6H
Potencia (HP)	200
Costo de compra	¢180.000.000
Valor de salvamento	¢10 000 000,00
Vida útil (años)	10
Seguros	
Todo riesgo (año)	¢122.137,00
Impuesto de rueda (año)	¢0
Revisión técnica (año)	¢16 000,00
Interés (%)	10%
Tanque de diésel (L)	322
Costo de combustible (L)	¢514,00
Rendimiento (hp/h)	0,1125
Costo de operador (h)	¢1 600
Cargas sociales (%)	48%
Viáticos (día)	¢0,00
Costo de reparación (%)	70%

Horas año (pertenencia) h	3600
Horas año (operación) h	1300
Tipo de cambio	572

Tabla de elaboración propia, mediante el programa Microsoft Excel

Los costos de pertenencia contemplan aquellas variables necesarias para mantener el equipo en regla, involucrando la depreciación durante una vida útil de 10 años.

Cuadro 45. Cálculo de costo de pertenencia del tractor D6H

Depreciación	
D	¢8.181,82
Intereses (¢/h)	
I	¢5.000,00
Seguros (¢/h)	
S	¢33,93
Impuestos (¢/h)	
IR	¢0
RT	¢5,56
Cálculo costo pertenencia	
Total ¢ / h	¢13.221,30
Total \$ / h	\$24,48

Tabla de elaboración propia, mediante el programa Microsoft Excel

El costo de operador se refiere al precio necesario para operar la volqueta. El salario semanal de los operadores es de ¢105000, por lo que al día gana ¢17000; al ser un proyecto ubicado dentro del Área Metropolitana, los operadores no necesitan viáticos, lo cual no se contempla.

La información del salario se recolecta de la planilla de la empresa Macoma S.A, la cual está por arriba del salario mínimo de acuerdo con el Ministerio de Trabajo y Seguridad Social.

Cuadro 46. Cálculo de costo de operador del tractor D6H

Salario (C/día)	
Jornada	10
Extras	0
Horas	10
Salario	₺17.000
Cargas sociales (C/día)	
C	₺6.233,90
Viáticos (C/día)	
V	₺0,00
Cálculo costos operador (C / día)	
Total C / día	₺23.233,90
Total \$ / día	\$40,62
Horas Laborales	10,00
Cálculo costos operador (C / h)	
Total C / h	₺2 323,39
Total \$ / h	\$4,06

Tabla de elaboración propia, mediante el programa Microsoft Excel.

Cuadro 47. Cálculo de costo de operación del tractor D6T

Combustible (C/h)	
C	₺14.411,25
Servicio (C/h)	
Condiciones promedio	
Serv.	₺4.755,71
Reparaciones (C/h)	
Año 1-10	
1	₺2 774,48
2	₺5 548,95
3	₺8 323,43
4	₺11 097,90
5	₺13 872,38
6	₺16 646,85
7	₺19 421,33
8	₺22 195,80
9	₺24 970,28
10	₺27 744,76
Costo llantas (C/h)	
Llantas	₺0

Cuadro 48. Cálculo de costo de mantenimiento operacional del tractor D6T

Mantenimiento	Cantidad	P. Unit	Total
MP 250	4	₺400.000	₺1.600.000
MP 500	2	₺505.000	₺1.010.000
MP 1000	1	₺1.100.000	₺1.100.000
MP 2000	1	₺1.560.000	₺1.560.000
Incluir filtros de aire	4	₺100.000	₺400 000
Costo mantenimiento (C/h)			
c/hr		2.835,00	
Cálculo costo Comb.-Serv.Rep.			
Total C / h		₺24.519,45	
Total \$ / h		\$45,41	

Tabla de elaboración propia, mediante el programa Microsoft Excel

Ya obtenidos los costos de pertenencia, costos de operación y costos de operador, se determina el costo real por hora de la máquina, el cual es de referencia para cuantificar rendimientos de producción o bien para tener un estimado para el alquiler de esta.

Cuadro 49. Cálculo de costo por hora de tractor D6H

Cálculo precio por hora	
Costo total	\$74,19
Utilidad (10%)	\$7,42
Precio \$	\$81,61
Precio ¢	¢44.070,55

Tabla de elaboración propia, mediante el programa Microsoft Excel

Finalmente se obtiene una comparación con los precios de acuerdo a la oferta y demanda del mercado contra las obtenidos con la herramienta desarrollada.

Cuadro 50. Cálculo de costo por hora de tractor D6H

Maquinaria	Precios Reales	Precios Calculados	Diferencia
Vagoneta CAT Articulada 740B	70000	72302	-3,2
Vagoneta CAT Articulada 730B	50000	49132	1,8
Tractor CAT D6T	55000	56422	-2,5
Tractor CAT D6H	45000	44071	2,1
Vagoneta Mack Granite 2016	45000	45660	-1,4
Vagoneta Mack Granite 2012	45000	46754	-3,8

Análisis de los resultados

muestra en la (Cuadro 05). La diferencia de estos valores refiere a las diferencias de cubicaje y además que la

Volquetas articuladas

En cuanto a la primera sección de los resultados, el primer enfoque es recolectar toda la información existente de los equipos por estudiar, identificar sus características físicas y mecánicas, para definir posibles problemas durante su periodo laboral.

Inicialmente, se realiza el análisis del equipo de transporte, específicamente las volquetas articuladas 740B y 730B, las cuales se encuentran laborando en el proyecto ubicado en San Ramón de Tres Ríos.

Como se muestra en la (Cuadro 03), la volqueta articulada puede llegar a transportar 24 m³ cargada en su totalidad y al ras logra transportar 18.5 m³. En el caso de la volqueta 730B, cargada en su totalidad, puede llegar a transportar 18.5 m³ y al ras 15 m³.

Para cuantificar sus rendimientos, es necesario medir su ciclo de trabajo, el cual ronda entre los 800 metros ida y vuelta. En la (Cuadro 04), se observan los rendimientos medidos durante cinco días, donde, para la 740B, el día más provechoso es el uno, alcanzando a transportar 117.94 m³/h; y el más bajo es de 108.69 m³/h.

En cuanto a la volqueta 730B, el día más productivo es el primero y el quinto, logrando transportar 78.3 m³/h; mientras que el más deficiente es el día cuatro al transportar 48.56 m³/h.

De acuerdo con los datos durante los cinco días de medición, se obtiene un rendimiento promedio de 150,06 m³/h para la volqueta 740B; y 90.65 m³/h para la volqueta 730B, tal como se

volqueta 730B presenta avería el día cuatro, reduciendo su rendimiento diario casi a un 50%. Como parte de las diferencias entre cubicajes, otro factor influyente es el operador de la máquina, pues se observa por su forma de utilizar el equipo que el operador de la 730B tiene más experiencia que el de la 740B.

Posteriormente de analizar sus rendimientos, se procede a realizar los cálculos de costos de posesión, subdividiendo este en costos de pertenencia, costos de operación y costos de operador.

En la información general de la volqueta 740B mostrada en la (Cuadro 06), es importante destacar su costo de 305.448.000 colones, además que posee 405 hp, una capacidad de combustible de 532 litros, siendo esta la más costosa y con más consumo de las distintas volquetas articuladas existentes por Caterpillar.

En la (Cuadro 07), se detallan los cálculos del costo de pertenencia de la volqueta 740B, cuyo valor resulta 23.285,33 colones por hora. En esta tabla, se involucran los costos por depreciación, interés, seguros, impuestos de ruedo y revisión técnica, es decir costos de índole legal para poder poner a funcionar la máquina.

Posterior a realizar el costo de pertenencia, se procede a calcular el costo de operación de la articulada 740B, como se presenta en la (Cuadro 08), obteniendo un costo de 40.454,44 colones. Este valor incluye costos de combustible, factor de servicio, reparaciones, costo de llantas y mantenimiento, tal como lo recomienda el Manual de Rendimiento de Caterpillar.

Los costos de operación refieren a los costos necesarios para mantener al equipo en buenas condiciones para laborar.

Seguidamente, se calcula el costo de operador, refiriéndose al costo necesario para poner a funcionar la máquina, donde el salario diario de maquinista ronda por los 10.708,33 colones; a este valor, es necesario aplicarle el 48% de las cargas sociales correspondientes a la Caja Costarricense de Seguro Social.

En este caso, no es necesario tomar en cuenta costo por viáticos debido a que los trabajos se realizan dentro del Gran Área Metropolitana; por lo tanto, se obtiene un costo de operador de 10.360 colones tal como se muestra en (Cuadro 10).

La suma de costo de pertenencia, costo de operación y costo de operador se refleja en la (Cuadro 11), donde se obtiene el costo por hora del equipo que es de 72.996,66 colones.

Para calcular el costo de posesión de la volqueta articulada 730B, se toman las mismas consideraciones de cálculo de la 740B, sin embargo, es importante destacar que esta máquina tiene un costo de compra de 198.375.000 colones, posee una potencia de 325hp, con una capacidad de combustible de 305 litros presentado en la (Cuadro 12).

La articulada 730B posee un costo de pertenencia de 6.346,90 colones mostrado en la (Cuadro 13), además se obtiene que el costo de operación es de 35.957,53 colones mostrado en la (Cuadro 16) y un costo de operador de 2.620,83 colones según la (Cuadro 14), sumando es un costo por hora de 49.417,79 colones (Cuadro 17).

Al ser la 730B de menores capacidades que la 740B, es de esperarse que existieran diferencias considerables en el costo de posesión, esto se debe a que existen variables de peso como el precio de compra, excediendo casi el doble con una suma de 198.374.695 colones.

Otro punto que afecta dichas diferencias es la capacidad del tanque de combustible con respecto a su potencia, pues la 740B tiende a consumir más combustible debido a sus exigencias de capacidades.

Vagonetas convencionales

Las vagonetas convencionales marca Mack son medidas transportando material en un trayecto de 11,3 kilómetros, específicamente de Coyoil de Alajuela a Turrúcares de Alajuela.

Las vagonetas analizadas corresponden al año 2012, la cual tiene una capacidad de transportar 13.5 m³, y la otra al año 2016 logrando transportar 15 m³.

Durante cinco días se realizan las mediciones, obteniendo que las dos vagonetas realizan siete viajes por día, como se detalla en la (Cuadro 18), obteniendo un rendimiento de 13,13 m³/h para la vagoneta 2016, y 11,81 m³/h para la vagoneta 2012, como se muestra en la (Cuadro 19).

Determinando los costos de posesión se obtiene que la vagoneta convencional 2016 tuvo un costo de compra de 93.399.000 colones, el cual posee un motor MP8 con 425 hp y un tanque de combustible de 250 litros (Cuadro 20).

Por otro lado, la vagoneta 2012 tiene un precio de compra de 80.500.000 colones, con un motor de 405 hp y una capacidad de combustible de 250 litros (Cuadro 25).

Dicha información permite determinar el costo de pertenencia, el cual corresponde a 7.747,05 colones por hora para la vagoneta 2016 (Cuadro 21), superando a la 2012 pues se obtiene un costo de 6.455,20 colones por hora.

Seguidamente se calcula el costo de operación obteniendo un valor de 23.930,90 colones por hora para la vagoneta 2016 (Cuadro 23); y 33.827,98 colones por hora para la vagoneta 2012 (Cuadro 27). La operación de esta última tiende a ser mayor debido a que posee más años de antigüedad, lo cual provoca que sus reparaciones aumenten año con año.

Los costos de operación para ambas máquinas es el mismo, debido a que ambos operadores tienen el mismo salario obteniendo un costo por hora de 2.220 colones.

Para cada vagoneta, tomando en cuenta los costos de pertenencia, costos de operación, costos de operador, el costo por hora es de 46.753,50 colones para la vagoneta 2012 y 37.287,75 para la 2016.

Los datos anteriores hacen referencia que es más caro mantener un equipo con mayor antigüedad debido a que sus reparaciones son más altas.

Tractores

Para determinar los rendimientos de los tractores, se requiere la utilización de equipo topográfico, con el fin de obtener resultados más certeros.

Para el tractor D6T, se realizan dos mediciones durante dos semanas, donde en la semana uno se logra remover 2068 m³, resultando 43 m³ por hora laborada como se muestra en la (Cuadro 30). En la semana dos, se logra remover 1887 m³, resultando 39,31 m³ por hora laborada como se muestra en la (Cuadro 31).

Con la información anterior, se determina que el rendimiento promedio del D6T es de 41,2 m³.

Para obtener parámetros de comparación, se realiza el rendimiento calculado donde se utiliza la gráfica 14 con un recorrido de 70 m, obteniendo un rendimiento gráfico de 150m³/h.

Según las condiciones observadas en campo, al rendimiento grafico se le aplican los factores de corrección (Cuadro 01), donde se considera el operador bueno, el material difícil de cortar y la eficiencia de trabajo de 40min/h. Por lo tanto, se obtiene que el rendimiento calculado es de 42,21 m³ (tabla 33).

Comparando el valor medido y el valor calculado, se puede determinar que son muy similares, existiendo un error de 2,6% según el gráfico 03.

Con el caso de tractor D6H, se realiza el mismo procedimiento, mediciones durante dos semanas. Se obtienen, en la semana uno, 1320m³ removidos; mientras que, en la semana dos, se logra remover 1227 m³, obteniendo un rendimiento promedio por hora de 26,5 m³/h.

Comparando con el rendimiento calculado de 42,21 m³/h (Cuadro 37), existe una diferencia porcentual del 37,22%, evidenciando la mala utilización de la máquina, junto al mal estado del equipo.

Realizados los rendimientos, se procede a calcular los costos de posesión de ambos tractores. El D6T posee un costo de compra de 198.375.000 colones con un motor de 200hp y un tanque de combustible de 424 litros (Cuadro 38); mientras que el tractor D6H posee un costo de compra de 180.000.000 colones, con un motor de 200hp y un tanque de combustible de 322 litros (tabla 44).

Como en los equipos anteriores, se determinan los costos de pertenencia, costos de operación y costos de operador, se concluye que el tractor D6T posee un costo por hora de 56.421,65 colones;

mientras que el tractor D6H, un costo por hora de 44.070,55 colones.

Estas diferencias de costo por hora se deben, inicialmente, a los precios de compra, pues el tractor D6T es una versión más moderna con mayores capacidades provocando el incrementando del costo.

A pesar del costo, el tractor D6T posee mejor rendimiento, por lo que es considerable la diferencia de precios.

Conclusiones

Se logra recolectar toda la información de la flotilla de la empresa Macoma S.A, y se realiza la selección del equipo de acuerdo con solicitud de los gerentes, los cuales corresponden a las vagonetas articuladas Caterpillar 740B y 730B, los tractores Caterpillar D6T y D6H y las vagonetas convencionales Mack de la serie Granite de los años 2012 y 2016.

Posterior a la selección de las máquinas mediante el ingeniero Pablo Gudiel, se logra ubicar la posición geográfica, donde se encuentran laborando dichas máquinas, se visitan todos los sitios y se procede a diagnosticar el estado de las mismas, logrando determinar posibles fallos durante la jornada laboral.

Durante la jornada laboral, se logra visualizar las funciones, que realizan los equipos, se verifica si los trabajos realizados son los correctos respecto a los cuales son fabricados. Evidentemente, se determina que sus funciones son las correctas.

Se procede a investigar sobre los insumos necesarios para que una máquina opere, se trata de recaudar algún historial de mantenimiento preventivo y correctivo; sin embargo, la empresa no posee dicha información, por lo que se maneja de forma teórica.

Se logran calcular los costos de posesión de cada una de las máquinas, donde se involucran los costos de pertenencia, costos de operación y costos de operador, tal como lo recomienda el Manual de Rendimiento de Caterpillar en su última versión 39 y Matra distribuidor oficial de Caterpillar y Mack.

Se determinan los precios de posesión por hora de las volquetas articuladas 740B y 730B: corresponden a 72.996,66 colones y 49.417,79 colones respectivamente.

Los precios de posesión por hora de las vagonetas Mack Granites corresponden a 37.287,75 colones para los 2016 y 46.753,50 colones para la 2012.

Los costos de posesión para los tractores Caterpillar D6T y D6H corresponden a 56.421.65 colones y 44.070,55 colones respectivamente.

Al determinar los rendimientos de las máquinas, se refleja el aprovechamiento del equipo, tomando mediciones por ciclos para el equipo de transporte y mediciones topográficos para el equipo de corte.

Se determinan los siguientes rendimientos. Para los tractores D6T y D6H, se obtiene un rendimiento de 39,31 m³/h y 25,56 m³/h respectivamente, por lo cual se determina que las máquinas no son bien aprovechadas pues se encuentran por debajo del valor teórico de 50 m³/h.

Para el equipo de transporte de material, no se logra encontrar algún valor teórico para comparar, debido a los diferentes factores, a las cuales pueden estar sometidas las máquinas. Para las volquetas articuladas, se obtiene un rendimiento de 150,66 m³/h; para las 740B Y 90,66 m³/h para la 730B.

Para las vagonetas convencionales, se logra determinar su rendimiento de acuerdo con su distancia de 11,3 kilómetros correspondiente a 13.13 m³/h para la vagoneta de año 2016, y 11,81 m³/h para la del año 2012.

Se logra desarrollar una herramienta de evaluación de operación de máquinas, permitiendo calcular el costo por metro cúbico hora. Esta herramienta sirve, principalmente, para equipo de movimiento de tierras, permitiendo obtener estimaciones certeras con respecto a información propia de la máquina e información interna de la empresa.

Los precios obtenidos se asemejan a los precios actuales que maneja la empresa, sin embargo existe un sobrevalor que trasciende principalmente por la antigüedad de la máquina ,

por lo que los dueños de la empresa consideran que son aceptables.

Recomendaciones

- Se recomienda procurar que los trabajos se realicen de manera constante; es decir, que no existan periodos muertos durante la jornada laboral, generando un ciclo constante, que permita maximizar la utilización de las máquinas, y, por ende, se logra obtener mayor producción.
- De acuerdo con el proyecto que se ejecute, seleccionar los equipos adecuados conforme sea más grande el volumen de trabajo.
- Para obtener resultados más certeros en los costos de posesión, se recomienda, a la empresa, tener un registro de las reparaciones preventivas y correctivas.
- Se recomienda, a la empresa, contratar operadores con mayor experiencia o bien proporcionarles alguna capacitación de eficiencia para obtener la mayor rentabilidad posible.
- Se recomienda, a la empresa, dar uso a la hoja de cálculo desarrollada en este proyecto.

Apéndices

En este capítulo se incluyen los materiales necesarios para la realización de este proyecto:

1. Apéndice N°1. Mediciones de los equipos de transporte
2. Apéndice N°2. Reportes topográficos de equipo de corte

MACOMA S.A
San Miguel
Santo Domingo
Heredia, Costa Rica 506

VOL.CORTE AL 22 MARZO

KIREBE

Project Name: C:\PROYECTOS MACOMA\KirebeSabanilla.dwt

SABANILLA

Report Date: 23/03/2018 04:48p.m.

Prepared by: Emmanuel H

Linear Units: meter

Area Units: squareMeter

Volume Units: cubicMeter

Vol .7 MarzoCasaClub: 1132,03m³.

VolCorteGavetaCalle: 935.97 m³.

Vol.Corte: 2068m³.

MACOMA S.A
San Miguel
Santo Domingo
Heredia, Costa Rica 506

VOL.CORTE AL 29 MARZO

Project Name: C:\PROYECTOS MACOMA\KirebeSabanilla.dwt

Report Date: 30/03/2018 09:37a.m.

KIREBE

SABANILLA

Prepared by: Emmanuel H

Linear Units: meter	Area Units: squareMeter	Volume Units: cubicMeter
----------------------------	--------------------------------	---------------------------------

Vol .7 Terrazas : 1249,46m³.

VolCorteGavetaCalle: 637.54 m³.

Vol.Corte: 1887m³.

MACOMA S.A
San Miguel
Santo Domingo
Heredia, Costa Rica 506

VOL.CORTE AL 02 de ABRIL

Project Name: C:\PROYECTOS MACOMA\Turrucares.dwt

TURRUCARES

Report Date: 03/04/2018 07:40a.m.

Prepared by: Emmanuel H

Linear Units: meter	Area Units: squareMeter	Volume Units: cubicMeter
----------------------------	--------------------------------	---------------------------------

Vol .7 Terraza : 1320m³.

Vol.Corte: 1320m³.

MACOMA S.A
San Miguel
Santo Domingo
Heredia, Costa Rica 506

VOL.CORTE AL 09 de ABRIL

Project Name: C:\PROYECTOS MACOMA\Turrucares.dwt

TURRUCARES

Report Date: 10/04/2018 03:11p.m.

Prepared by: Emmanuel H

Linear Units: meter

Area Units: squareMeter

Volume Units: cubicMeter

Vol .7 Terraza : 1227m³.

Vol.Corte: 1227m³.

Anexos

- 1) Anexo N°1. Fotografías de los equipos laborando
- 2) Anexo N°2. Información propia de cada equipo.

Anexo N°1. Fotografías de los quipos laborando







Referencias

Redacción de las Referencias

Caterpillar Performance. (2009). Manual de Rendimiento (trigésima novena ed.). Estados Unidos. Recuperado el 05 de marzo, 2018 de <https://erods.files.wordpress.com/2010/09/49502978-manual-de-rendimiento-caterpillar-edicion-39-en-espanol.pdf>

Cámara de Comercio de Costa Rica. (2017). *Guía básica para el empresario sobre el derecho laboral costarricense*. Recuperado de: <http://camara-comercio.com/wp-content/uploads/2017/01/Gu%C3%ADa-B%C3%A1sica-de-Regulaci%C3%B3n-Laboral-en-CR.pdf>

Consejo de Seguridad Vial. (2012). *Manual de procedimientos para la revisión técnica de vehículos automotores en las estaciones de rtv*. Recuperado de: <https://www.csv.go.cr/documents/10179/20401/MANUAL+DE+PROCEDIMIENTOS+PARA+LA+REVISI%C3%93N+T%C3%89CNICA+DE+VEHICULOS+AUTOMOTORES+EN+LAS+ESTACIONES+DE+RTV.pdf/7ee764f8-eb21-4eef-971a-db2a9549cbfe>

Horngrén, C. (12ª ed). (2007). *Contabilidad de costos. Un enfoque gerencial*. Juárez, México: PEARSON.

Ministerio de Hacienda de Costa Rica (6 de diciembre de 2017). *Impuesto a la propiedad de vehículos automotores, aeronaves y embarcaciones*. Recuperado de: <http://www.hacienda.go.cr/contenido/12436-impuesto-a-la-propiedad-de-vehiculos-automotores-aeronaves-y-embarcaciones>

Ministerio de Trabajo. (2018). *Lista de ocupaciones clasificada por el personal técnico del Departamento*. Recuperado de: http://www.mtss.go.cr/temas-laborales/salarios/Documentos-Salarios/lista_ocupacion_2018.pdf

Restrepo, L. (2015). *Tasación de equipos y maquinarias*. Medellín: Colombia

Rincón, J. y Sierra, Y. (2015). *Determinación de los costos de propiedad de la maquinaria de construcción para la realización de obras viales por parte del ejército nacional de Colombia*. (Tesis doctoral). Recuperado de: <http://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/685/Determinacion%20de%20los%20costos%20de%20propiedad%20de%20la%20maquinaria%20de%20construccion%20para%20la%20realizacion%20de%20obras%20viales%20por%20parte%20del%20ejercito%20nacional%20de%20Colombia.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Sandoval, J. (2013). *Valuación de costos de operación de maquinaria pesada de última generación*. (Tesis doctoral). Recuperado de: http://www.biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3594_C.pdf

Urdaneta, G. (2011). *Costos de equipo de construcción*. Recuperado de: <https://es.scribd.com/doc/60172702/Costo-de-Equipos-de-Construccion>

