



# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

**“ANÁLISIS DE PRODUCTIVIDAD POR HORA DEL VOLQUETE FMX EN EL TRANSPORTE DE MINERAL EN UNA EMPRESA MINERA DE LA LIBERTAD 2021”**

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autor:

Edward Ivan Chuquiruna Llanos

Asesor:

Mg. Ing. Oscar Arturo Vásquez Mendoza

Cajamarca - Perú

2021

## DEDICATORIA

Este logro se lo dedico principalmente a mi excelentísimo padre Eduardo Chuquiruna Valdivia a quien admiro, valoro y respeto; ya que para mí es un ejemplo y modelo, por apoyarme cuando no podía seguir, por levantarme cuando caía, por darme las fuerzas para triunfar en la vida, por sus consejos y tengo la suerte de ser tan afortunado de tenerlo como padre, ya que siempre está ahí cuando más lo necesito.

A mi hermosa madre Amelia Llanos Soto, por estar todos los días de mi vida conmigo dándome todo su cariño, toda su atención y su amor verdadero, además me enseñó los mejores valores y principios sin esperar nada a cambio. Aprovecho estas líneas para decirle cuanto la amo.

Por ultimo a mis hermanos Fernando y Thalía, por sacarme una sonrisa en mis peores momentos, por su compañía en este proceso y por ser mis mejores amigos, ya que sin ellos mi vida no sería lo mismo. Estoy seguro que disfrutarán este logro tanto como yo.

Edward Chuquiruna.

## AGRADECIMIENTO

En primera instancia doy gracias a Dios, por darme salud y bienestar, fue mi principal apoyo y motivador para cada día continuar sin tirar la toalla.

Gracias a mi universidad, gracias por haberme permitido formarme y en ella, gracias a todas las personas que fueron participes de este proceso, ya sea de manera directa o indirecta, gracias a mis Ingenieros, fueron ustedes los responsables de realizar su pequeño aporte, que el día de hoy se vería reflejado en la culminación de mi paso por la universidad. Gracias a mis padres, que fueron mis mayores promotores durante este proceso.

Este es un momento muy especial que espero, perdurará en el tiempo, no solo en la mente de las personas a quienes agradecí, sino también a quienes invirtieron su tiempo alentándome para conseguir mis metas.

Edward Chuquiruna.

## Tabla de contenidos

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	6
RESUMEN	7
<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN</b>	8
<b>CAPÍTULO II: METODOLOGÍA</b>	21
<b>CAPÍTULO III: RESULTADOS</b>	25
<b>CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES</b>	31
REFERENCIAS	33
ANEXOS	35

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ruta de transporte.....	24
Tabla 2. Características del volquete FMX 440.....	25
Tabla 3. Parámetros de Resistencia a la rodadura.....	26
Tabla 4. Promedios de tiempos por ciclo de trabajo del volquete Volvo FMX 440.....	28

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proceso de carguío y acarreo.....	23
Figura 2. Pendiente de ruta.....	26
Figura 3. Causas que afectan el ciclo fluido de acarreo.....	29

## RESUMEN

La presente tesis titula análisis de productividad por hora del volquete fmx en el transporte de mineral en una empresa mineral de la Libertad 2021. Tiene como objetivo principal determinar la productividad horaria del volquete fmx para el transporte de mineral en una empresa minera de la Libertad. En el cual se realizó la toma de datos en campo como son los factores que influyen en productividad del volquete, toma de tiempos de ciclos de trabajo del volquete en el acarreo de mineral y finalmente identificar las principales causas que afectan a mantener un adecuado ciclo de trabajo del volquete.

Se concluye que los factores que influyen en la productividad del volquete fmx 440 son los siguientes; longitud de la ruta, pendiente de ruta, resistencia a la rodadura, velocidad media. Asimismo, se determinaron los tiempos de ciclo de trabajo del volquete volvo fmx 440 de 27.5 minutos y una productividad por 39.27 m<sup>3</sup>/h; con un ciclo o recorrido de 3.53 km del banco al pad. y una velocidad máxima a la que pueden transitar los volquetes de 45 kph y finalmente se determinó que las principales causas que afectan a los volquetes en mantener un adecuado ciclo es el mal estado de las vías de transporte, estado de las zonas de descarga y carguío, finalmente fallas mecánicas de los volquetes en las vías de transporte.

**Palabras clave:** análisis, productividad, ciclo, resistencia a la rodadura, falla mecánica.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

En la actualidad la industria minera tanto en la explotación subterránea y a cielo abierto las actividades de carguío y acarreo de mineral / desmonte son actividades vitales para el logro de los objetivos operacionales y son clave para asegurar la continuidad de la empresa y así obtener el beneficio del mineral, por lo tanto, los equipos deben asegurar una alta productividad para el logro de la producción programada a diario en una empresa minera. En tal sentido para que los equipos acarreo operen eficientemente se debe analizar varios factores que afecten el incumplimiento de la producción a diario es el caso el cual se planteó el presente tema de investigación.

(Meza, J. 2011) Desarrollo de un modelo para la aplicación de simulación aun sistema de carguío y acarreo de desmonte en una operación minera a cielo abierto. Esta investigación se enfoca en el desarrollo de un modelo, en el software de simulación Arena 12, que replique un sistema de carguío y acarreo real de una operación minera a tajo abierto el cual ayude planificar escenarios alternativos con el fin de bajar las colas generadas en los frentes de trabajo, bajar las pérdidas asociadas a estos tiempos de espera y aumentar el nivel de producción diario. En este contexto las operaciones unitarias de carguío y acarreo son las que generan el mayor costo de operación. Esto se debe principalmente al consumo de combustible y llantas. Por tal razón, lo que se busca es maximizar la productividad de la flota de equipos y por otro lado minimizar los tiempos muertos e improductivos y finalmente se pueda trasladar la mayor cantidad de material con el menor costo posible.

Christian, S. & Néstor, T. (2016), en su tesis “Diseño, Validación e Implementación de una Aplicación de Acarreo en Minería Superficial”. Tesis de grado. Mencionan que simular los tiempos de acarreo teniendo una alta confiabilidad, facilita el dimensionamiento de los equipos de acarreo. Evitando perdidas en el proceso, aumentando la producción.

Raúl, E. (2016), en su presentación “Consideración de variables dinámicas operativas para el dimensionamiento de flota para mediana minería”. Ponencia PUCP. Menciona que considerar variables dinámicas propias de la operación para el dimensionamiento de flota de acarreo, se tiene un cálculo de producción más cercana a lo planeado y reduce el margen de sobre y/o sub dimensionamiento de equipos de acarreo.

Según Rodríguez, E. (2013), en su trabajo titulado “Modelo analítico para el dimensionamiento de flota de transporte en minería a cielo abierto”, en la cual concluye que en relación a la composición de la flota de camiones, no es posible afirmar que una flota homogénea de camiones sea superior a una flota heterogénea en términos de costos y rendimientos; luego la composición óptima de la flota depende de los tipos de camiones disponibles y de los diversos factores que componen el ciclo de carguío y transporte.

Preciado, (2012), realizó su Tesis para obtener el grado de maestro en ciencias, área administración, en la Universidad de Colima - México, titulada: “Diseño y Aplicación de un Modelo Económico para la Toma de Decisiones en Reemplazo de Equipo de

Acarreo en una Mina a Cielo Abierto”. El presente trabajo propuso un modelo económico para la toma de decisiones en reemplazo de equipo de acarreo en la minería a cielo abierto. En él se define la información necesaria y su evaluación, mediante las técnicas de la ingeniería económica. El proceso concluye que, presentando las bases de comparación, mismas que servirán para que los administradores y accionistas confronten con los criterios establecidos, y opten por la alternativa más viable para la compañía. Como ejemplo de aplicación del modelo, se considera un caso real de la empresa minera Peña Colorada. Peña Colorada tiene planeado en el presente año, desarrollar un estudio económico, con el propósito de determinar si es viable la sustitución de 11 camiones de 120 toneladas de capacidad, utilizados para transportar mineral de los bancos de la mina al proceso de trituración. Estos equipos rebasan en 10,000 horas, su vida útil estimada. Es conveniente aclarar que estos cálculos vienen desde años atrás y no es la intención mostrarlos como una novedad. Sin embargo, los administradores aún con una gran visión en los negocios, pero sin preparación metodológica en la elección de alternativas, tenderán a desaparecer en la complicada economía moderna, es por eso que se ha hecho imprescindible la ingeniería económica en la administración de las organizaciones. (Preciado, 2012)

Riveros, (2016), realizó su Tesis para obtener el título de Ingeniero de Minas, en la Universidad Nacional del Altiplano - Puno, titulada: “Cálculo de la Productividad Máxima por Hora de los Volquetes en el Transporte Minero Subterráneo en la Unidad Minera Arcata 2016”. La investigación consistió en el estudio de tiempos que permitió calcular la productividad horaria de los volquetes, la cual resultó 10.156 TM/h de promedio, equivalente al 77 % de la productividad máxima, (siendo esta 13.038

TM/h). Se tomó como muestra un volquete en forma aleatoria, y se identificaron los parámetros que influyen directamente en esta etapa del ciclo de minado. Para lo cual, se emplearon metodologías de análisis de tiempos, los que involucraron trabajos en gabinete, uso de normas legales de seguridad y trabajos en campo de toma de datos. Con un análisis de costos se pudo determinar nuevas tarifas unitarias, por cada zona de la mina para el transporte minero subterráneo, que en promedio representan 34.63 % de incremento con respecto a las tarifas unitarias actuales.

Según Peralta D. (2017), en trabajo asignado por la modalidad de Suficiencia profesional. “Evaluación del ciclo de Acarreo y Transporte en Mina Subterránea” Con scoop 1yd<sup>3</sup> para distancias de 75-200 m. En labores de desarrollo y preparación en secciones de 2.10 x 2.40 m (7´x8´) con un déficit de 236 Kg. En transporte, con un motor diésel de 68.75 HP, con una producción real que dependerá de la disponibilidad mecánica y eficiencia de trabajo, a un costo horario de 25.05 US\$/h. Con scoop de 1yd<sup>3</sup>, el material es limpiado desde el frente de la labor y acarreado hasta el ore-pass principal con una productividad de 30m<sup>3</sup> /h.

Miranda (2013), en su estudio denominado “Análisis de la productividad de equipos usados en el “Movimiento de tierras en campamento y accesos principales a Conga 1702 – K82” mediante la herramienta IP: Informe de Productividad de Equipos”; el objetivo fue analizar la productividad de la mano de obra y equipos usando la herramienta “Lean Construction” y establecer un método sencillo de control y mejora de la productividad que pueda ser aplicado a cualquier proyecto; su investigación descriptiva, su muestra es no probabilística intencional conformada por 66 equipos y

130 personas en su programa de producción; el proyecto se encuentra en el departamento y provincia de Cajamarca al costado de vía interprovincial Cajamarca – Bambamarca a una altura de 3500msnm; usaron instrumentos de recolección de datos como lista de chequeos; sus resultados muestran en 14 meses la tendencia de la productividad de los equipos, inician con un 48% y culmina con un 104%, la evolución de la productividad de la mano de obra en los 14 meses van desde el 19% hasta el 52%, la evolución del porcentaje del plan completado PPC en 7 meses va desde 26% a un 31%, esto indica la falta de experiencia en el equipo de planificación; se concluye que la aplicación de herramientas de gestión ha sido beneficioso al proyecto estudiado, gracias a ello se maximizó la productividad de los equipos y con eso se mejoró el flujo de producción, este método se aplica de manera iterativa con la finalidad de que las mejoras sean continuas y se logre disminuir los tiempos muertos de las operaciones.

Ordoñez (2013), en su estudio denominado “Análisis de la productividad de equipos usados en el “Movimiento de tierras en campamento y accesos principales a Conga 1702 – K82” mediante la herramienta IP: Informe de Productividad de Equipos”; el objetivo fue determinar la productividad de los equipos en el proyecto minero Conga en movimiento de tierras; es una investigación descriptiva, con muestreo no probabilístico intencional; el proyecto se ubica en el departamento de Cajamarca en la provincia de Celendín a unos 4035msnm de altura; se lograron ganancias de US\$ 723 684.66 en el proyecto desglosándose en la construcción de plataformas con una pérdida de US\$ 627 619.73 y en accesos una ganancia de US\$ 1 351 304.39, mitigando las causas de incumplimiento encontraron que no consideraron el aumento de equipos en controles ambientales y factores climáticos; se concluye con el planteamiento del

procedimiento que permitió calcular la productividad de los equipos en el proyecto, se plantearon posibles causas que provocaron el aumento en el ratio de productividad y las posibles alternativas de solución.

Chiriboga, G. y Rivera, M, (2013). Cuyo 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, 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 maquinas estudiadas en el proyecto.

Requejo, (2016), realizó su Tesis Sistémica para Optar el Grado de: Maestro en Gerencia de Operaciones, en la Universidad Nacional de Trujillo, titulada: “Evaluación, Implementación de Sistema Dispatch: Control de Equipos en Minería a Cielo Abierto, en la Empresa Minera Coripuno S.A.C”. Los trabajos realizados evidencian que el área es positiva, para la ubicación de blancos de interés económico y gracias a las interpretaciones geológicas regionales (estructurales, mineralógicos, etc.) y los estudios locales efectuados han permitido identificar, el modelo y estimar el potencial que se tiene en estas áreas. Se han tomado parámetros y factores conservadores de manera que los resultados de esta evaluación representen lo más confiable en cuanto a cantidades y contenido. En el control de Costos del Área de

Operaciones Mina de cualquier Empresa Minera para las Maquinarias que se encuentran a cargo del área, está basado en las Horas Efectivas, debido a que se realiza una Liquidación o una Valorización en Dólares por Hora Efectiva en Máquina Seca (\$/Hora Efectiva); es éste el motivo por el cual se debe y es necesario Evaluar e Implementar un Sistema de Control de Equipo a Tajo o Cielo Abierto (DISPACHT).

Calixto, (2015), realizó su Tesis para optar el Título de Ingeniero de Minas, en la Pontificia Universidad Católica del Perú, titulada: “Control de Dilución Optimizando los Procesos Unitarios de Perforación, Voladura y Acarreo: Caso Práctico; Una Mina Subterránea del Norte”. El presente trabajo demuestra que tanto la dilución estimada y la sobre dilución son factores principales que originan la disminución en la ley de cabeza, para el cálculo de la sobre dilución, se tuvo en cuenta la diferencia entre dilución operativa real y la dilución operativa de diseño, para lo cual se realizó un seguimiento puntual en campo durante un periodo de tres meses, de tres labores de explotación cuyo método es el de corte y relleno ascendente. Al realizar el cálculo de las leyes y tonelajes tanto de lo planeado y lo ejecutado se nota una gran diferencia entre las leyes de cabeza y tonelaje, esto debido principalmente a la sobre dilución, la cual ha sido medida en campo. Con el objetivo de lograr una mejor ley de cabeza sin alterar el ritmo de producción actual de 1,500 t /día, surge la necesidad de elaborar el presente proyecto, el cual presenta algunas alternativas de mejora puntuales pero muy significativas como realizar un ajuste en la sección de diseño, se propone la sección de 3.5x3.5m con lo cual la explotación sería más selectiva, esto lleva a un nuevo análisis en los equipos de producción, ciclo de minado, estimación de reservas, inversiones y

análisis económico del cual se obtendrá un nuevo Valor Presente Neto que corrobore esta alternativa de mejora que se está proponiendo.

Alvares Huanca (2014 – pág. 135) Cálculo de la productividad de equipos de acarreo y transporte de la Unidad Minera de Arcata. Pregrado de la Universidad Nacional de San Agustín; concluye que con la determinación de los ciclos totales de acarreo y transporte se puede calcular la productividad horaria real de acarreo y transporte; además, el tiempo y la eficacia relacionada al equipo y al personal influyen directamente en cálculo de la productividad horaria.

Según Alva, R. (2006), en el tema “Optimización del Sistema de Carguío y Acarreo” expuesto en el 6to Congreso Nacional de Minería menciona que en la compañía Minera Aurífera Santa Rosa S.A. tienen deficiencias en el sistema de acarreo, bajos rendimientos y elevados costos de operación. Por lo tanto, se tiene que mejorar los ciclos, las actividades unitarias de carguío y acarreo deberán trabajar de forma integrada en la operación y ser vistos como un sistema, involucrando también a los equipos auxiliares propios de la operación que juegan un rol preponderante en el sistema de carguío y acarreo.

Huarocc, P. (2014) Optimización del carguío y acarreo de mineral mediante el uso de indicadores claves de desempeño. Estudia una metodología para la disminuir de costos en las operaciones básicas de carguío y acarreo de mineral con un incremento sustancial del nivel de producción para el beneficio de la empresa minera y una disminución de los costos de carguío y transporte. Metodología que usó para la

demostración de la hipótesis fue descriptiva con la evaluación de indicadores que se fueron evaluando consecutivamente las causas que generaban que este indicador posea un elevado índice cuantitativo, con ello se tomaron las decisiones pertinentes en las operaciones de minado con el objetivo de buscar optimizar y colocar el negocio de las explotaciones mineras en un nivel adecuado de producción. Con esto se proponen soluciones para la reducción de lo que los ingenieros y profesionales evocados a la reducción de los costos dentro de la secuencia de minado y con ello obtener una mayor productividad en la unidad minera.

Según Canturin, R. y Siucho, R. (2004) en su Tesis “Aplicación de Métodos de Productividad en las Operaciones de Equipos de Movimiento de Tierras”, señala que el Tiempo de Acarreo es el tiempo que toma transportar el material desde el punto de carga hasta el punto de descarga y varía de acuerdo a la distancia de acarreo, la condición de la vía, la potencia del equipo, entre otras. Las distancias de acarreo pueden variar indistintamente, las velocidades de viaje varían con la potencia, las condiciones de trabajo, y la condición y perfil de la ruta de acarreo.

Según Cham (2009) en el contexto del problema de su investigación menciona: Dentro de las operaciones mineras la actividad de manejo y gestión de minerales es uno de los más incidentes en el costo de operación en general, principalmente por la gran cantidad y variabilidad de recursos involucrados en ella. En la operación unitaria de transporte mediante palas LHD es necesario mejorar los parámetros de rendimiento, por tal motivo el objetivo es establecer una metodología y Según Cham (2009) en el contexto del problema de su investigación menciona: Dentro de las operaciones mineras la

actividad de manejo y gestión de minerales es uno de los más incidentes en el costo de operación en general, principalmente por la gran cantidad y variabilidad de recursos involucrados en ella. En la operación unitaria de transporte mediante palas LHD es necesario mejorar los parámetros de rendimiento, por tal motivo el objetivo es establecer una metodología.

Según Vidal, L (2017), en su tesis “Estudio de cálculo de flota de camiones para una operación minera”, es un estudio de tipo experimental, donde se afirma que el cálculo correcto de la flota de camiones, ayuda a mantener en óptimas condiciones la relación \$/t para el costo de operaciones mina. El exceso o la falta de camiones incurre directamente en los costos unitarios. El siguiente trabajo es de suma importancia, para poder tener referencia de los costos unitarios.

Productividad: Involucra una regla de conducta fundamental para conseguir la mayor satisfacción con el menor costo o fatiga. Matemáticamente se puede definir a la productividad como el cociente que se obtiene al dividir la producción por uno de los factores de la producción es decir la productividad es la razón entre la cantidad producida y los insumos utilizados. (Calixto, 2015)

Transporte de material: En el sector minero es una actividad del sector terciario, el cual requiere de un vehículo (medio o sistema de transporte) que utiliza una determinada infraestructura (red de transporte). Este transporte puede ser horizontal, inclinado, vertical o combinado. (Preciado, 2012).

Acarreo: Se denomina acarreo al traslado corto de material roto en la mina, es decir que este transporte tiene limitaciones, o tiene un determinado radio de acción, y estarán ubicados en los frentes de operación. (Pérez Porto 2015).

Volquete: Un vehículo para transportar tierra u otros materiales con un dispositivo mecánico para volcarla; o volquete, un carruaje con un cajón que se vuelca para depositar la carga de materiales. (Preciado, 2012)

Productividad teórica: La producción teórica estará definida como el volumen o peso producido por unidad de operación, rigiéndose con los siguientes aspectos (Calixto, 2015):

$$Productividad\ teórica\left(\frac{TM}{H}\right) = \frac{Q}{ciclo} * \frac{ciclo}{hora}$$

Donde:

Q: Capacidad nominal del equipo (TM).

Ciclo: Tiempo de ciclo de acarreo (min).

Productividad máxima por hora: La productividad máxima corresponde al peso o volumen por hora producida por una unidad en operación, considerando los retrasos variables. Esta tasa de producción debe aplicarse para determinar el número de unidades de transporte asignadas a un scoop, para lograr cierta producción requerida.

Esta se determina de la siguiente manera (Calixto, 2015):

$$Productividad\ máxima\left(\frac{TM}{H}\right) = 60 * \frac{(e * Q)}{(Tc)}$$

Donde:

e: Eficiencia de trabajo (retrasos variables en %).

Q: Capacidad nominal del equipo (TM).

Tc: Tiempo de ciclo de transporte (min).

Ciclo total de acarreo y transporte: El ciclo total de acarreo y transporte es el periodo de tiempo que demore el volquete en realizar todo un ciclo completo de trabajo considerando además los tiempos mencionados anteriormente, así como los tiempos de demora que se generan en el proceso. Entonces se puede indicar que el ciclo total de acarreo y transporte será la sumatoria de los tiempos variables generados en el trabajo de transporte y los tiempos fijos que estos producen multiplicado con el factor de eficiencia de trabajo del volquete.

Ciclo Total de transporte = (tiempos variables + tiempos fijos) \* %Eff

Los tiempos variables estarán constituidos por el tiempo de acarreo con carga, tiempo de retorno, las cuales variarán de acuerdo a la distancia y condiciones de la rampa.

Los tiempos fijos estarán constituidos por el tiempo de giro y posicionamiento para el carguío, carga y descarga determinados, así como los tiempos de demora que se generan en el proceso; los cuales son constantes independientemente de la distancia.

(Preciado, 2012).

## 1.2. Formulación del problema

¿Cómo influye la productividad horaria del volquete fmx en el transporte de mineral en una empresa minera de la Libertad 2021?

## 1.3. Objetivos

### 1.3.1. Objetivo general

Determinar la productividad horaria del volquete fmx para el transporte de mineral en una empresa minera de la Libertad 2021.

### 1.3.2. Objetivos específicos

- ✓ Determinar los factores que influyen en la productividad del volquete FMX.
- ✓ Calcular la productividad por hora del volquete FMX.
- ✓ Identificar las causas que afectan el ciclo fluido de acarreo

## 1.4. Hipótesis

### 1.4.1. Hipótesis general

Incrementará la productividad horaria del volquete fmx 440 mediante el análisis de productividad en el transporte de mineral de una empresa minera de la Libertad 2021

### 1.4.2. Hipótesis específicas

- ✓ Se incrementará la productividad del volquete volvo FMX 440 si se determinan los factores que influyen en la productividad
- ✓ Se incrementará la productividad horaria si se determina la productividad por hora de volquete FMX 440.
- ✓ Se tendrá un ciclo fluido de trabajo del volquete si se identifican y mejoran las causas que afectan en ciclo fluido de acarreo.

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

### 2.1. Tipo de investigación

**Según el propósito:** Es Aplicada, porque está enfocada a un ámbito específico y aborda a resolver problemas.

**Según el enfoque:** Es Cuantitativo, porque se basa en el estudio y análisis de la realidad a través de diferentes procedimientos basados en la medición.

**Según el grado de manipulación de las variables:** La investigación fue no experimental, ya que no se interviene en el comportamiento de las variables, es decir que estas no se van a manipular.

### 2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

#### 2.2.1. Población:

La población involucrada para la presente investigación es toda la flota de acarreo de la empresa minera de la Libertad, que consta de 6 unidades vehiculares de volquetes volvo FMX.

#### 2.2.2. Muestra:

La muestra para la presente investigación es el volquete volvo FMM - 440.

### 2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

#### 2.3.1. Técnicas.

Observación

Análisis documental.

Revisión de fuentes bibliográficas referidas al tema de investigación (libros, informe de tesis, revistas, publicaciones, etc.)

Comparaciones con otros resultados.

### **2.3.2. Instrumentos**

Los instrumentos que se utilizaron para la recolección de datos son.

- Tabla de toma de tiempo de ciclo
- Cuaderno de notas
- Registro fotográfico

## **2.4. Procedimiento**

El procedimiento para el desarrollo de la investigación se realizó mediante 3 etapas: las cuales se detallan a continuación. etapa de pre campo, etapa de campo y etapa de post campo.

### **2.4.1. Etapa de pre campo**

Inicialmente se realiza la revisión de antecedentes, estudios previos, con referencia al tema en estudio el cual se da en diferentes ámbitos, tanto local, nacional como internacional, para lo cual se recurrió a los repositorios virtuales de las distintas universidades, lo cual nos permita tener referencia con respecto al tema de análisis de productividad por hora del volquete fmx en el transporte de mineral.

### **2.4.2. Etapa de Campo**

En esta etapa se realizó el análisis de productividad por hora del volquete fmx para el transporte de mineral

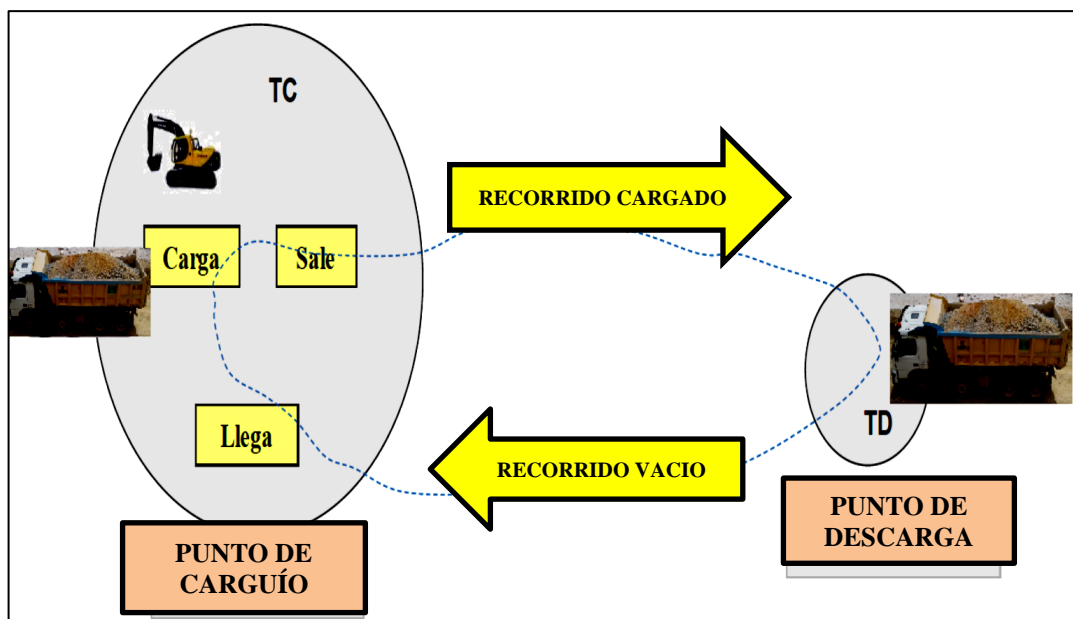


Figura 1. Proceso de carguío y acarreo

Para realizar el cálculo del tiempo de ciclo total, el sistema calcula los datos haciendo uso de la siguiente fórmula:

$$T_{tc} = TC + Trc + TD + Trv$$

Dónde: TC (tiempo de carguío), Trc (tiempo de recorrido cargado), TD (tiempo de descarga) y Trv (tiempo de recorrido vacío).

Se trabajó en el acarreo con un volquete de la marca volvo serie FMX 440. Estos volquetes recorren 3.53 km de distancia cuando trasladan mineral desde el tajo hacia el Pad con una velocidad máxima a la que pueden transitar los volquetes es de 40 kph.

Tabla 1.

*Ruta de transporte*

<b>Origen</b>	<b>Destino</b>	<b>Dist. Km</b>	<b>Pendiente Promedio (%)</b>
Banco	PAD	3.53	10

Fuente: Elaboración propia

### 2.4.3. Etapa de pos campo

Se procesaron y tabularon de forma digital los datos obtenidos en campo con ayuda de los programas programas Microsoft Word y Microsoft Excel, en el cual se elaboraron cuadros de los resultados obtenidos del análisis de productividad por hora del volquete volvo fmx en el transporte de mineral de una empresa minera de la Libertad 2021.

## CAPÍTULO III. RESULTADOS

### 3.1. Equipo a estudiar

El estudio de análisis de productividad por hora del equipo volquete fmx está enfocado específicamente al análisis de los tiempos también llamados ciclos de trabajo en el acarreo de mineral de un lugar determinado a otro lugar determinado, en la siguiente tabla se detalla las características del equipo en estudio.

Tabla 2.

*Características del volquete fmx*

Equipo	Maquinaria	Características
1	Volquete	Volvo FMX 440 Modelo : D13K460 Potencia :(460Cv @ 1800 r.p.m.) Tipo : 6 Cilindros en línea con turbo e intercooler Cilindrada total: 12.8 cc.

### 3.2. Determinar los factores que influyen en la productividad del volquete FMX.

Se determinaron los factores que influyen en la productividad del volquete FMX del cual se determinó siguientes factores.

#### 3.2.1 Características de las rutas de acarreo.

**Longitud de la Ruta:** Es la medida lineal en metros de la distancia de la ruta o segmentos de la ruta a evaluar. La longitud de una ruta es la sumatoria de la longitud de sus segmentos. Es trazada desde el frente de carguío hacia la zona de descarga.

**Pendiente de Ruta:** Es la medida expresada en porcentaje de la inclinación del terreno de la ruta o segmento a describir. Como resultado de la pendiente, una componente de la

fuerza gravitacional estará a favor o en contra del movimiento del volquete.

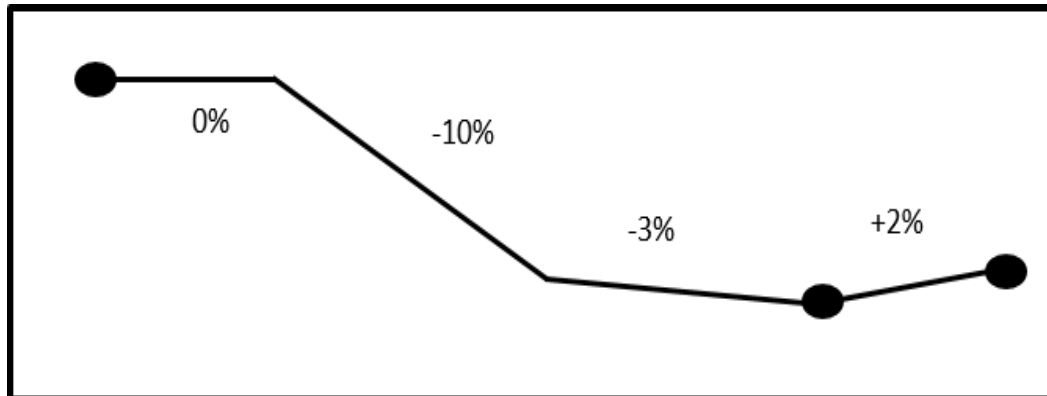


Figura 2. Pendiente de ruta

Fuente: Elaboración propia

**Resistencia a la rodadura:** Es la oposición al movimiento debido al contacto entre superficies con movimiento relativo, la fricción interna, la deformación de las llantas y la penetración de las llantas en el terreno que resulta en una fuerza de oposición al desplazamiento.

Para una asignación rápida y sencilla de los valores de resistencia a la rodadura se toma los valores hallados en los recursos bibliográficos.

Tabla 3.

*Parámetros de Resistencia a la rodadura*

RR %	Condición de Ruta
2	Superficie dura y estable - No hay penetración de neumáticos
2-3	Superficie firme y frecuentemente mantenida - Leve flexión bajo carga. Penetración de neumático mínima (<25mm)

3-5	Mantenimiento pobre. Presencia de huella (25-50 mm)
5-8	Superficie débil. Pobrementemente mantenida. Presencia de huella (50-100mm).

---

Fuente: THOMSON, Roger 2012.

**Velocidad media:** Varían entre modelos debido a que el motor posee una capacidad de potencia característica. Las velocidades que se pueden alcanzar son indicadas en las cartillas características “rimpull” y “retarding”. La velocidad depende del peso total del vehículo y la resistencia total a la rodadura.

Velocidades restrictivas son las velocidades máximas del camión que son asignadas por motivos de seguridad. Estas son establecidas para que garanticen que el operador pueda mantener el control del vehículo, gestionar el tránsito o castigar la velocidad a la que puede trabajar el motor frente a una resistencia total desfavorable.

### 3.3. Calcular la productividad por hora del volquete FMX.

Para determinar la productividad horaria del volquete Volvo fmx 440 utilizaremos la siguiente formula.

$$R = \frac{60 * Q * E}{T}$$

Donde.

R: Rendimiento medidos en el banco, m<sup>3</sup>/h

Q: Capacidad o volumen de la tolva de volquete, 20 m<sup>3</sup>

E: Factor de eficiencia de trabajo (54 min/60 min) = 0,9

T: Tiempo de un ciclo completo, en minutos

Con los datos recolectados en campo se realizaron los promedios para cada uno de los ciclos de trabajo del volquete fmx 440, para el cual se tomaron 22 ciclos completos de trabajo como se detalla en la tabla 3, los cuales nos ayudaran a determinar la productividad por hora del volquete.

Tabla 4.

*Promedios de tiempos por ciclo de trabajo del volquete Volvo FMX 440*

<b>Tiempo empleado (en minutos)</b>						
<b>N°</b>	<b>Posicionamiento para carguío de material</b>	<b>Ida cargado</b>	<b>Descarga del material</b>	<b>Regreso vacío</b>	<b>Tiempo total/ciclo</b>	<b>Material</b>
1	0.55	17	1.58	8.4	27.53	Mineral
2	0.56	17	1.56	8	27.12	Mineral
3	0.57	17.1	2	8.2	27.76	Mineral
4	0.56	17.1	1.58	9	28.24	Mineral
5	0.57	17.2	1.56	8.8	28.13	Mineral
6	0.55	16.8	1.54	7.8	26.69	Mineral
7	0.56	16.9	1.59	8.2	27.25	Mineral
8	0.57	17	2.02	8	27.59	Mineral
9	0.56	16.5	2.05	7.9	27.01	Mineral
10	0.56	16.1	2.1	7.9	26.66	Mineral
11	0.59	17.5	1.59	8.1	27.78	Mineral
12	0.57	18	1.56	7.8	27.93	Mineral
13	0.56	17	1.55	7.3	26.41	Mineral
14	0.55	17.5	2	7.4	27.45	Mineral
15	0.58	18	2.01	8.5	29.09	Mineral
16	0.55	16	2.03	7.9	26.48	Mineral
17	0.58	17.5	2.01	8.5	28.59	Mineral
18	0.59	18	1.53	8	28.32	Mineral
19	0.58	18	1.58	8.2	28.36	Mineral
20	0.56	17	1.55	7.9	27.01	Mineral
21	0.58	17.5	1.55	7.3	26.93	Mineral
22	0.59	17.5	1.56	7.2	26.85	Mineral

Pro.	0.56	17.19	1.73	8.01	27.5
------	------	-------	------	------	------

Con los promedios obtenidos se determinó la productividad del volquete volvo fmx 440 para el cual usamos la siguiente formula.

$$R = \frac{60 * Q * E}{T}$$

$$R = (60 * Q * E) / T$$

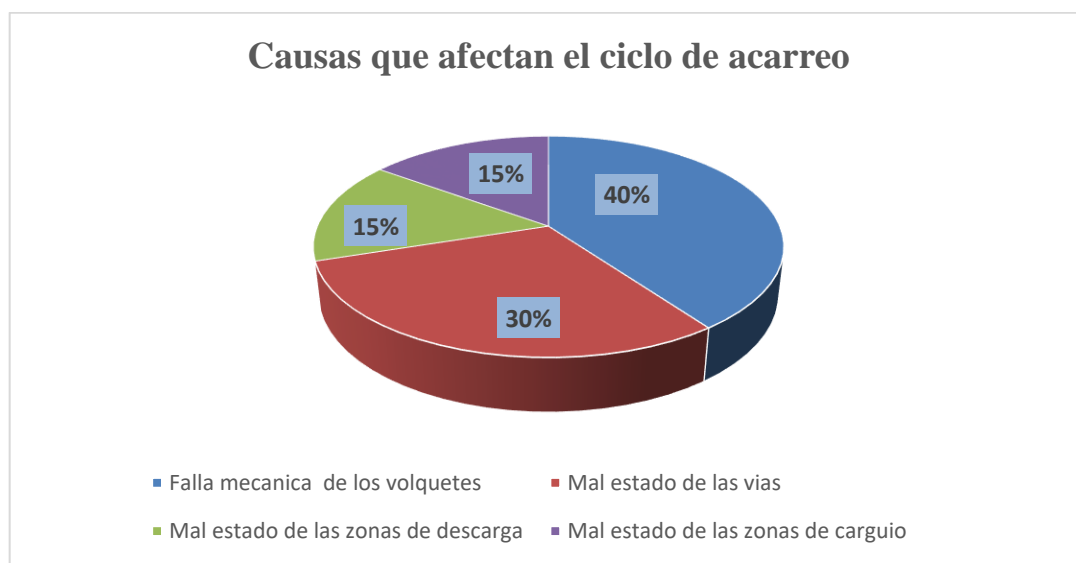
$$R = (60 * 20 * 0,9) / 27,5 = 39,27m^3/h$$

$$R = 39,27m^3/h.$$

La productividad por hora del volquete volvo FMX 440 es de 39,27m<sup>3</sup>/h con un ciclo o recorrido de 3.53 km.

### 3.4. Causas que afectan el ciclo fluido de acarreo

Las principales causas que afectan a los volquetes en mantener un adecuado ciclo es el mal estado de las vías de transporte, estado de las zonas de descarga y carguío, finalmente fallas mecánicas de los volquetes en las vías de transporte tal y como se puede apreciar en el siguiente gráfico.



*Figura 3.* Causas que afectan el ciclo fluido de acarreo

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al grafico 3. Para evitar que estas causas afecten al ciclo y que los volquetes puedan mantener el desarrollo continuo del ciclo, se da énfasis en el mantenimiento de vías con la Motoniveladora, Rodillo y Cisterna de agua, de igual manera los frentes de carguío y descarga están en constante mantenimiento por los tractores de orugas; asimismo un punto que escapa de nuestras manos y afecta al ciclo es la falla mecánica que presentan los volquetes en plena vía de transporte interrumpiendo la fluidez del tránsito.

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1 Discusión

En contraste a lo descrito por Alvares (2014) respecto al cálculo de la productividad de equipos de acarreo y transporte de la Unidad Minera de Arcata. concluye que con la determinación de los ciclos totales de acarreo y transporte se puede calcular la productividad horaria real de acarreo y transporte; además, el tiempo y la eficacia relacionada al equipo y al personal influyen directamente en cálculo de la productividad horaria. En la presente investigación se determinó el ciclo y la productividad horaria del volquete volvo fmx 440 en el cual se determinó un ciclo de 27.5 minutos y una productividad por hora de  $39.27 \text{ m}^3 / \text{h}$ . Con un desplazamiento de 3.53 km y una velocidad máxima a la que pueden transitar los volquetes de 45 kph.

las principales causas que afectan a los volquetes en mantener un adecuado ciclo de trabajo es el mal estado de las vías de transporte, estado de las zonas de descarga y carguío, finalmente fallas mecánicas de los volquetes en las vías de transporte. De acuerdo con Canturin y Siucho (2004) en su investigación titulada. Aplicación de Métodos de Productividad en las Operaciones de Equipos de Movimiento de Tierras, señala que el tiempo de Acarreo es el tiempo que toma transportar el material desde el punto de carga hasta el punto de descarga y varía de acuerdo a la distancia de acarreo, la condición de la vía, la potencia del equipo, entre otras. Las distancias de acarreo pueden variar indistintamente, las velocidades de viaje varían con la potencia, las condiciones de trabajo, y la condición y perfil de la ruta de acarreo.

## 4.2 Conclusiones

Se determinaron los factores que influyen en la productividad del volquete fmx 440 de los cuales se determinaron los siguientes factores longitud de la ruta, pendiente de ruta, resistencia a la rodadura, velocidad media.

Se determinó tiempo de ciclo de trabajo del volquete volvo fmx 440 de 27.5 minutos y una productividad por 39.27 m<sup>3</sup>/h; con un ciclo o recorrido de 3.53 km del banco al pad. y una velocidad máxima a la que pueden transitar los volquetes de 45 kph.

Se concluye que las principales causas que afectan a los volquetes en mantener un adecuado ciclo es el mal estado de las vías de transporte, estado de las zonas de descarga y carguío, finalmente fallas mecánicas de los volquetes en las vías de transporte.

## REFERENCIAS

- Alva, R. (2006). *Optimización del Sistema de Carguío y Acarreo en Comarsa, 6to Congreso Nacional de Minería (2006)*, Trujillo – Perú.
- Calixto, C. (2015). *Control de Dilución Optimizando los Procesos Unitarios de Perforación, Voladura y Acarreo: Caso Práctico; Una Mina Subterránea del Norte*. Tesis Profesional. Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Calderón, N. (2014). *Mejora del Tiempo de Operatividad de Camiones Volquetes en Proyectos de Mantenimiento Vial, utilizando Teoría de Confiabilidad en un Sistema Simulado. Tesis para optar el Título Profesional de Licenciada en Investigación Operativa*. Lima, Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Canturín, R. y Siucho, R. (2004), *Aplicación de Métodos de Productividad en las Operaciones de Equipos de Movimiento de Tierras (2004)*, Lima – Perú.
- CHAM, K. (2009) “*Diseño y Evaluación Técnico Económica de un nuevo Sistema de Carguío y Transporte para la Minería de Hundimiento*” Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Barrientos, Víctor. (2014). *Análisis de factores operacionales en detenciones y productividad del sistema carguío y transporte en minería a cielo abierto*. Tesis de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería de Minas, Universidad de Chile
- Preciado, J. (2012). *Diseño y Aplicación de un Modelo Económico para la Toma de Decisiones en Reemplazo de Equipo de Acarreo en una Mina a Cielo Abierto*. Tesis de Maestría. Manzanillo, México: Universidad de Colima.

- Requejo, P. (2016). *Evaluación, Implementación de Sistema Dispatch: Control de Equipos en Minería a Cielo Abierto, en la Empresa Minera Coripuno S.A.C. Tesis Sistémica para Optar el Grado de Maestro en Gerencia de Operaciones.* Trujillo, La Libertad, Perú: Universidad Nacional de Trujillo.
- Malimba, A. (2019). *Cálculo de la Flota de Carguío y Transporte para Optimizar la Producción Diaria en el Tajo Ciénaga Norte - Coimolache.* Universidad Nacional de Cajamarca.
- Malpica, C. (2014). *Evaluación de rendimientos de equipos en las operaciones de movimiento de tierras en el minado cerro negro Yanacocha.* (tesis pregrado). Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú
- Maxera, Carlos. (2013). *Aplicación de simulación para la optimización del acarreo de mineral.* Tesis digital de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera Metalúrgica y Geográfica, E.A.P. de Ingeniería de Minas, Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Riveros, J. (2016). *Cálculo de la Productividad Máxima por Hora de los Volquetes en el Transporte Minero Subterráneo en la Unidad Minera Arcata 2016.* Tesis profesional. Puno, Perú: Universidad Nacional del Altiplano.
- Rivera, R. (2018). *Mejoramiento de la flota de carguío y acarreo en operaciones mina, para el incremento de la producción, Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A.* Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.

## ANEXOS

### Anexo 1. Instrumento de recolección de datos

---

**Tiempo empleado (en minutos)**

<b>N°</b>	<b>Posicionamiento para carguío de material</b>	<b>Ida cargado</b>	<b>Descarga del material</b>	<b>Regreso vacío</b>	<b>Tiempo total/ciclo</b>	<b>Material</b>
-----------	---	--------------------	------------------------------	----------------------	---------------------------	-----------------

---

**Pro.**

---

Fuente: elaboración propia

Anexo 2: Ficha técnica del volquete volvo fmx 440



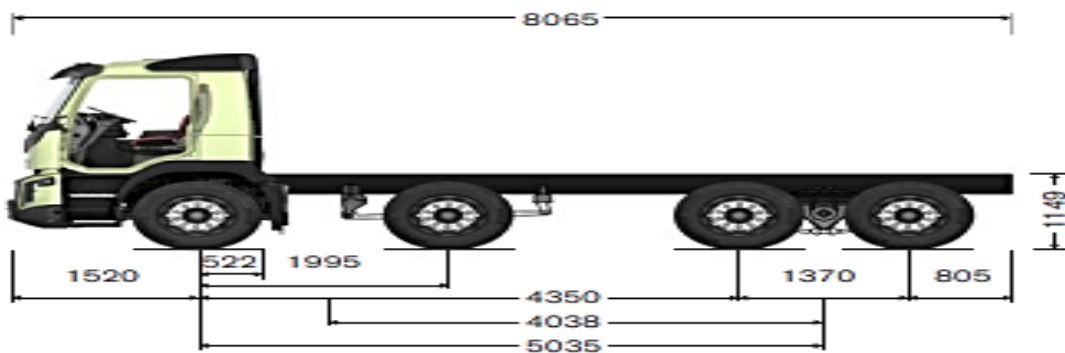
**PESOS Y CAPACIDADES (Kg)**

FMX 8X4R	Eje delantero	Eje trasero	Total
Capacidad técnica	18.000	32.000	50.000
Límite legal	10.000	18.000	28.000
Peso del chasis*	7.133	3.771	10.905

\*Pesos estimados con 100 lbs de combustible, sin chofer y con rueda de auxilio. Llantas de acero, frenos a tambor y cabina extendida techo normal. eje RTH3210F. Distancia entre ejes 4350 mm. Motor 13 lts.

...e especialmente diseñado para trabajos pesados.

**FMX 8X4R**



## FMX 370 6X4R/8X4R

### MOTOR

**Modelo:** VOLVO D11A Euro 3

**Cilindrada:** 10,8 lts, 6 cilindros en línea y 4 válvulas por cilindro. Unidades individuales de inyector bomba. Sistema de inyección con gerenciamiento electrónico.

**Potencia:** 370 cv entre 1.600 -1.900 rpm

**Torque:** 1.770 Nm entre 1.000-1.400 rpm

### CAJA DE VELOCIDADES

**Modelo:** Volvo VT2214B

**Tipo:** Manual sincronizada.

**Marchas:** 14 (12+2) velocidades

**Opcional:** Automatizada (I-Shift)/12 velocidades.

### SUSPENSIÓN DELANTERA

**Tipo:** Ballestas parabólicas con amortiguadores y barra estabilizadora.

**Capacidad:** -7.500 - 8.000 Kg (6x4R)  
-16.000 Kg (8x4R)

### FRENOS

**Tipo:** Frenos a tambor con ABS.

**Freno auxiliar:** Freno de motor VEB a través de las válvulas de 390 cv.

### DIFERENCIAL

**Modelo:** RS2370

**Relación de reducción:** 3,09 / 3,40 / 3,78 / 4,50.

**Capacidad de arrastre:** 60 Tn

**Opcional:** Ejes con reductores de cubo RTH 2610 o RTH3210F.

### SUSPENSIÓN TRASERA

**Tipo:** Ballestas parabólicas con amortiguadores y barra estabilizadora (RTS 2370)

**Capacidad:** 20.000 Kg

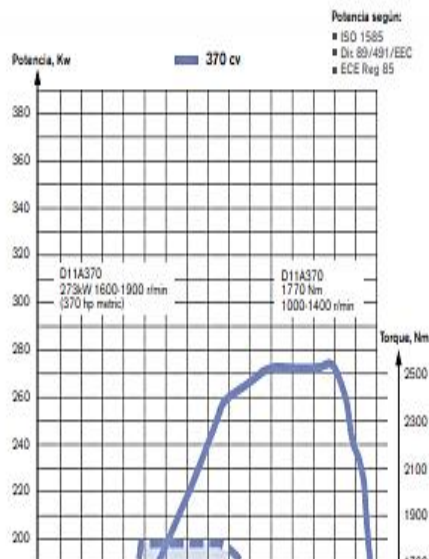
**Opcional:** Ballestas semi-elípticas (RTH2610F o RTH 3210) con capacidad 26.000 Kg

### CHASIS

**Material:** Acero especial LNE60 de alta resistencia y bajo peso, con refuerzo interno.

**Altura:** 300 mm

**Ala:** 90 mm





## FMX 440/480 6X4R/8X4R

### MOTOR

**Modelo:** VOLVO D13A Euro 3  
**Cilindrada:** 12,8 lts, 6 cilindros en línea y 4 válvulas por cilindro. Unidades individuales de inyector bomba. Sistema de inyección con gerenciamiento electrónico.  
**Potencia:** 440/480cv entre 1.400 -1.800 rpm  
**Torque:** 2.200/2.400 Nm entre 1.050-1.450 rpm

### CAJA DE VELOCIDADES

**Modelo:** Volvo VT2514B  
**Tipo:** Manual sincronizada.  
**Marchas:** 14 (12+2) velocidades  
**Opcional:** Automatizada (I-Shift)/12 velocidades

### DIFERENCIAL

**Modelo:** RTH3210F  
**Relación de reducción:** 3,33/3,46/3,61/3,76/  
 3,97/4,12/4,55/5,41/6,18/7,21  
**Capacidad de arrastre:** 100\* Ton  
 (\* )130 Ton para rat 4,12 o mas corto.

### SUSPENSIÓN DELANTERA

**Tipo:** Ballestas parabólicas con amortiguadores y barra estabilizadora.  
**Capacidad:** -7.500-8.000-9.000 Kg (6x4R)  
 -16.000-18.000 Kg (8x4R)

### SUSPENSIÓN TRASERA

**Tipo:** Ballestas semielípticas con amortiguadores y barra estabilizadora.  
**Capacidad:** 32.000 Kg  
**Opcional:** Suspensión neumática (bajo consulta).

### FRENOS

**Tipo:** Frenos a tambor con ABS.  
**Freno auxiliar:** Freno de motor VEB a través de las válvulas de 410 cv.

### CHASIS

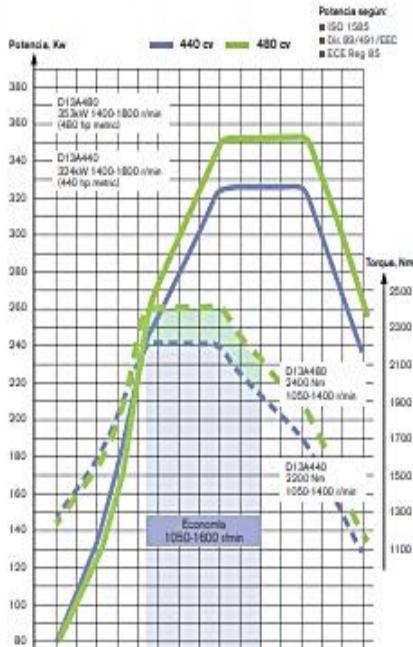
**Material:** Acero especial LNE60 de alta resistencia y bajo peso, con refuerzo interno.  
**Altura:** 300 mm  
**Ala:** 90 mm  
**Espesor + refuerzo:** 9 + 5 mm  
**Gancho delantero para remolque de 32 Ton.**

### TANQUES DE COMBUSTIBLE

**Tipo:** Rectangular  
**Material:** Plástico  
**Capacidad:** ~420 lts 6x4R entre ejes 3.700 mm

### NEUMÁTICOS Y LLANTAS

**Neumáticos:** 12R20  
**Llantas:** Acero  
**Opcional:** 11R20-11R22,5-325/95R24-



Anexo 3: Galería fotográfica



