



*Análisis del rendimiento de las bombas hidráulicas de máquinas autopropulsadas dedicadas a movimiento de tierras*

*Performance analysis of hydraulic pumps of self-propelled machines dedicated to earthmoving*

*Análise do desempenho das bombas hidráulicas das máquinas automotoras de terraplanagem*

Alex Mauricio Tipán-Suárez <sup>I</sup>

[alex3000\\_199@hotmail.com](mailto:alex3000_199@hotmail.com)

<https://orcid.org/0000-0003-1825-4837>

Cristian Mauricio Beltran-Chamba <sup>II</sup>

[crislermau@gmail.com](mailto:crislermau@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0001-8127-3913>

Jairo Edison Guasumba-Maila <sup>IV</sup>

[jguasumba@tecnoecuadoriano.edu.ec](mailto:jguasumba@tecnoecuadoriano.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0002-0533-0397>

Juan Carlos Jima-Matailo <sup>III</sup>

[juan.jima@uisek.edu.ec](mailto:juan.jima@uisek.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0001-5496-4073>

William Hernán Vega-Santillán <sup>V</sup>

[wvega.mdm@uisek.edu.ec](mailto:wvega.mdm@uisek.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0003-3893-0919>

**Correspondencia:** [alex3000\\_199@hotmail.com](mailto:alex3000_199@hotmail.com)

Ciencias técnicas y aplicadas

Artículo de revisión

\***Recibido:** 30 de enero de 2021 \***Aceptado:** 27 de febrero de 2021 \* **Publicado:** 14 de marzo de 2021

- I. Magíster en Diseño Mecánico Mención Fabricación de Autopartes de Vehículo, Ingeniero Automotriz, Docente Investigador, Estudiante de Universidad Internacional SEK, Quito, Ecuador.
- II. Ingeniero Automotriz, Docente Investigador Instituto Superior Tecnológico Central Técnico, Quito, Ecuador.
- III. Magíster en Sistemas Automotrices, Ingeniero en Mecánica Automotriz, Programa Desarrollo Tecnológico, Docente de la Carrera de Ingeniería Automotriz en la Universidad Internacional SEK, Quito, Ecuador.
- IV. Magister en Diseño Mecánico, Estudiante de Universidad Internacional SEK, Docente Investigador, Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuadoriano, Quito, Ecuador.
- V. Magíster en Diseño Mecánico Mención Fabricación de Autopartes de Vehículo, Ingeniero Automotriz, Docente Investigador, Programa Desarrollo Tecnológico, Estudiante de Universidad Internacional SEK, Quito, Ecuador.

## Resumen

La bomba toma su fuente de energía por medio del aceite hidráulico con especificaciones según el tipo de bomba y de trabajo, la bomba produce caudal de aceite y está la impulsa hacia varios componentes. El estudio se refiere a la gran importancia de los sistemas y se podrá notar los diferentes rendimientos de tres tipos de series de retroexcavadora y excavadora, en la cual se podrá analizar a qué tipo de trabajo están destinados y según sus esfuerzos al momento de realizar una acción. En retroexcavadora y excavadora pueden utilizar diferentes tipos de bombas, pero la más usada es la bomba hidráulica de pistones axiales, la bomba hidráulica por lo general es accionada por medio del motor de la maquinaria pesada. El rendimiento de la bomba hidráulica, se debe tomar las especificaciones de presión de salida, su caudal generado por la bomba hidráulica, estos valores son importantes para poder realizar la comparación de rendimiento. En conclusión, cabe recalcar que cada maquinaria está destinada a un tipo de trabajo específico, donde sus valores de esfuerzo no pueden superar a las especificadas en fichas técnicas.

**Palabras clave:** Vehículo comercial; rendimiento; bomba hidráulica; retroexcavadora; excavadora.

## Abstract

The pump takes its source of energy through hydraulic oil with specifications according to the type of pump and work, the pump produces oil flow and is driven to various components. The study refers to the great importance of the systems and it will be possible to notice the different performances of three types of series of backhoe and excavator, in which it will be possible to analyze what type of work they are destined for and according to their efforts at the time of carrying out an action. In backhoe and excavator, they can use different types of pumps, but the most used is the axial piston hydraulic pump, the hydraulic pump is usually driven by the motor of heavy machinery. The performance of the hydraulic pump, the output pressure specifications must be taken, its flow generated by the hydraulic pump, these values are important to be able to perform the performance comparison. In conclusion, it should be noted that each machinery is intended for a specific type of work, where its effort values cannot exceed those specified in technical sheets.

**Keywords:** Commercial vehicle; performance; hydraulic pump; backhoe; excavator.

## Resumo

A bomba pega sua fonte de energia por meio de óleo hidráulico com especificações de acordo com o tipo de bomba e trabalho, a bomba produz fluxo de óleo e é acionada para vários componentes. O estudo se refere à grande importância dos sistemas e será capaz de perceber os diferentes desempenhos de três tipos de séries de retroescavadeiras e escavadeiras, nas quais será capaz de analisar a que tipo de trabalho estão destinadas e de acordo com seus esforços no momento de realizar uma ação. As retroescavadeiras e escavadeiras podem utilizar diferentes tipos de bombas, mas a mais comumente utilizada é a bomba hidráulica de pistão axial. A bomba hidráulica é normalmente acionada pelo motor do equipamento pesado. O desempenho da bomba hidráulica, você deve tomar as especificações de pressão de saída, seu fluxo gerado pela bomba hidráulica, estes valores são importantes para poder fazer uma comparação de desempenho. Em conclusão, deve-se observar que cada máquina é destinada a um tipo específico de trabalho, onde seus valores de esforço não podem exceder os especificados nas fichas técnicas.

**Palavras-chave:** Veículo comercial; desempenho; bomba hidráulica; retroescavadeira; escavadeira.

## Introducción

La hidráulica es una de las formas más versátiles y flexibles que ha inventado el hombre para transmitir energía. Los sistemas hidráulicos sencillamente, convierten la energía de una forma a otra para realizar trabajos, en la maquinaria pesada esto se traduce en el uso de la energía otorgada por el motor de combustión interna que comúnmente son los motores diésel hacia una potencia hidráulica (Guasumba-Maila et al., 2021). Donde la hidráulica se usa para elevar o descender un cucharón de una excavadora o diferentes movimientos a los cuales están diseñados diferentes dispositivos donde el fluido es transmitido por medio de la bomba hidráulica hacia los válvulas y cilindros. La bomba no genera presión, pero esta trabaja a presión atmosférica y los envía hacia los canales correspondientes. La presión se produce por acción a la resistencia al caudal, donde la resistencia se produce a medida que el flujo pasa por mangueras, orificios, conexiones, cilindros, motores u otro elemento incluido en el sistema hidráulico, estos retornando propiamente hacia el tanque del sistema hidráulico (Ramírez, 2007).

La bomba hidráulica es impulsada por medio del motor de combustión interna, la bomba está conformada de pistones por dos cuerpos que proporcionan un caudal variable con un plato angular que modifica el recorrido de los pistones, donde se obtiene un mejor rendimiento y se optimiza un caudal necesario para un correcto funcionamiento. De igual forma la bomba hidráulica es un sistema mecánico que forma parte de un sistema hidráulico o híbrido que comúnmente existe en la actualidad. El movimiento de la bomba son acciones de regulación y control para la elevación de un caudal (Manrinz y Fales, 2019).

La bomba de engranajes tiene un desplazamiento positivo, es decir una bomba en el cual su caudal se da por revoluciones, pero esta no puede variarse. El fluido es llevado entre los dientes de engranes y la carcasa, los engranes de malla ajustados a la carcasa (Moreno-Zulca et al., 2020). Este tipo de bombas trabajan a una alta velocidad no regulable y a bajas presiones, está constituido por una carcasa de fundición de hierro o de aleación de aluminio, normalmente en las maquinarias pesada la carcasa está compuesta de dos orificios uno de alimentación y otro de salida, en el interior de la carcasa están los engranes que normalmente tienen dientes rectos, el engrane conductor puede estar introducido al eje o mecanizado directamente sobre el mismo. El engrane conducido no siempre es solidario del eje que lo soporta al mismo, puede girar a través del cojinete que normalmente es de bronce o con rodamientos de agujas. Los engranes giran mutuamente en sentido inverso del uno al otro, el aceite llega al orificio de alimentación donde es arrastrado. Durante la rotación los engranes de la carcasa, el aceite no solo se arrastra, si no que este se queda aprisionado entre alojamientos de la carcasa misma y de los orificios formados por los dientes de los engranes. El aceite no se libera hasta que los dientes desengranen en la cámara hacia la salida, entonces el aceite es expulsado en la tubería o canal de distribuidores de sistema hidráulico (Carvajal, 2017).

En las retroexcavadoras y excavadoras es común encontrarse con una bomba hidráulica variable, donde se define como pistones axiales son un ejemplo de la mejora a través del tiempo a un nivel de maquinaria pesada. La bomba de pistones es de tipo volumétrico, donde generan caudal de aceite o fluido por cada rotación de 360° por parte de la bomba, su principio es un movimiento axial paralelo al eje (Jara Segura, 2016). Estas bombas son ocupadas a un nivel mundial por parte de maquinaria pesada, más aún en la retroexcavadora o en mini cargadora y montacargas. La bomba de pistones se caracteriza por ser de tipo volumétrico generando caudal de aceite a cada rotación completa, su movimiento es axial, paralelo al eje que es producido por

un pistón dentro de su cilindro. El desplazamiento es mediante el deslizamiento de la base del pistón sobre una placa, que esta inclinada mientras el pistón se encuentra girando solidario con el eje de la bomba. El fluido llega por el lado de baja presión, donde los pistones hacen la acción de aspirar y lo transporta hacia el circuito de alta presión. Para un aumento de eficiencia en la bomba, la bomba se puede componer de uno o varios pistones que bombean el fluido según su tiempo de trabajo por cada vuelta (Carvajal, 2017). Existe en una inclinación con un ángulo  $\alpha$ , el cual influye en la cilindrada y volumen aportado por la misma bomba hidráulica, cuando mayor es el ángulo, mayor es el volumen desplazado por el pistón donde su carrera es mayor.

Con estos antecedentes, es objetivo de esta investigación mostrar la evaluación de la operación como de la eficiencia de varias bombas como portador de energía utilizado, que se utiliza en los sistemas de accionamiento hidráulico de las excavadoras y retroexcavadoras. Mediante la verificación, así como, potencialmente, diagnosticar los cambios en las propiedades físicas de este tipo de componentes hidráulicos.

## Metodología

Se presenta el protocolo de la evaluación, para obtener las características de comportamiento de las distintas bombas. Se propone la siguiente ruta, la selección de las bombas como objeto de estudio, a los cuales son sometidos al proceso analítico, bajo parámetros preestablecido y planteados, se obtienen datos experimentales como los resultados que muestren las condiciones de funcionamiento de estos elementos.

La investigación busca identificar la creación del flujo que es creada por medio de la cámara de aspiración que está conectada al depósito del aceite. Cuando los engranes de la bomba hidráulica giran, el volumen de la cámara aumenta ligeramente cada vez más que un diente deja un espacio. Esto crea un vacío parcialmente dentro de la cámara de aspiración, el cual obliga al aceite a salir del depósito. El aceite es transportado entre los dientes del engranaje a lo largo de las paredes de la bomba hidráulica hasta una cámara de impulsión. El caudal de la bomba depende del tamaño de los engranes en lo que transporta el fluido. La cantidad de aceite que suministra la bomba hidráulica por vuelta recibe el nombre de volumen desplazado, donde va

multiplicado por el número de vueltas por minutos que produce el caudal nominal (Guamán et al., 2019).

En la tabla 1, se puede observar valores típicos de una bomba y sistema hidráulica de una retroexcavadora, tanto para tracción en las dos ruedas y tracción en las cuatro ruedas.

**Tabla 1:** Propiedades y especificaciones Bomba Hidráulica Retroexcavadora

| Propiedades                     | Unidades     |
|---------------------------------|--------------|
| Capacidad de la bomba a 2500rpm | 132 L/min    |
| Presión del sistema             | 22700 kPa    |
| Tipo de bomba                   | F. variable  |
| Servodirección                  | Hidrostática |
| Cilindro 2WD, calibre           | 65 mm        |
| Cilindro 2WD, carrera           | 120 mm       |
| Cilindro 2WD, diámetro          | 36 mm        |
| Cilindro 4WD, calibre           | 65 mm        |
| Cilindro 4WD, carrera           | 120 mm       |
| Cilindro 4WD, diámetro          | 36 mm        |

Fuente: Autores, 2020

Estos valores de presiones como se muestra en la figura 1, se obtuvieron gracias a medidores de presión entre un rango de 0 a 6000 kPa o 0 a 870 psi, para cada conjunto de mangueras del circuito hidráulico. Este proceso tiene fluctuaciones mayores a 1200 rpm.

**Figura 1:** Presiones del sistema hidráulico Retroexcavadora Caterpillar

| Hydraulic Circuit | 416E  |
|-------------------|---|
| Loader Circuit    | 19700 kPa to 21700 kPa (2860 psi to 3150 psi) |
| Backhoe Circuit   | 21800 kPa to 23800 kPa (3160 psi to 3450 psi) |

Fuente: (Jara, 2016)

### Cálculos de la bomba hidráulica

El rendimiento de una bomba  $n_b$  viene dado por el cociente entre la potencia hidráulica producida y la potencia mecánica absorbida: Siendo: P: La presión de aceite a la salida de la bomba (Pascuales); Q: El caudal que produce la bomba ( $m^3/s$ ); M: El par de accionamiento (N.m);  $\omega$ : Velocidad de giro de su eje ( $rad/s$ ) (Tkáč et al., 2018).

$$n_b = \frac{P*Q}{M*\omega} * 100 \quad (1)$$

En caso el rendimiento puede oscilar entre 70% y 95%, según sea el tipo de bomba hidráulica utilizada. Donde  $c$  es igual a la cilindrada del caudal impulsado por cada revolución.

$$Q = c * \omega \quad (2)$$

El rendimiento de la bomba hidráulica tanto de retroexcavadora como excavadora se debe tomar en cuenta los parámetros presentados en la ecuación (1), donde se tomarán valores reales obtenidos en fichas técnicas de maquinaria pesada, en lo que corresponde a especificaciones de la bomba hidráulica de cada serie comparada. En la tabla 2 y 3, se puede observar los valores de las propiedades para reemplazar en la ecuación, tanto de la retroexcavadora como la excavadora. Las unidades están dadas en el sistema internacional.

**Tabla 2:** Especificaciones Bomba Hidráulica Retroexcavadora diferentes series

| Propiedades                | 910M     | 908M      | 914M     |
|----------------------------|----------|-----------|----------|
| Presión de salida $kPa$    | 230      | 220       | 280      |
| Caudal de la Bomba $m^3/s$ | 0,00203  | 0,002     | 0,002466 |
| Par de accionamiento $N.m$ | 445      | 441       | 446      |
| Cilindrada Caudal $m^3/s$  | 0,001583 | 0,0014166 | 0,0015   |

Fuente: (Caterpillar, 2020)

**Tabla 3:** Especificaciones Bomba Hidráulica Excavadora diferentes series

| Propiedades                | 336D2L   | 336D2XE  | 340D2L   |
|----------------------------|----------|----------|----------|
| Presión de salida $kPa$    | 350      | 350      | 450      |
| Caudal de la Bomba $m^3/s$ | 0,009366 | 0,008833 | 0,00975  |
| Par de accionamiento $N.m$ | 545      | 530      | 580      |
| Cilindrada Caudal $m^3/s$  | 0,004416 | 0,004416 | 0,004416 |

Fuente: (Caterpillar, 2020)

En la tabla 4 y 5, se observa el resultado de la velocidad angular que se calcula por medio de la ecuación que tiene como principio el caudal de la bomba hidráulica y su cilindrada respecto al caudal. Con todos los datos obtenidos se puede analizar el rendimiento de la bomba hidráulica en la parte de resultados.



**Tabla 4:** Velocidad angular de Retroexcavadora diferentes series

| Propiedades       | 910M   | 908M   | 914M  |
|-------------------|--------|--------|-------|
| Velocidad angular | 1,2823 | 1,4118 | 1,644 |

Fuente: (Caterpillar, 2020)

**Tabla 5:** Velocidad angular de Retroexcavadora diferentes series

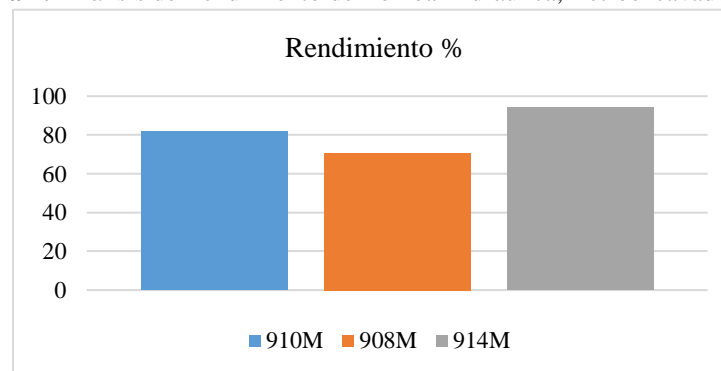
| Propiedades       | 336D2L | 336D2XE | 340D2L |
|-------------------|--------|---------|--------|
| Velocidad angular | 2,12   | 2       | 2,2    |

Fuente: (Caterpillar, 2020)

## Resultados y discusión

En los resultados se podrá observar los factores de rendimiento en porcentaje de la bomba hidráulica de cada maquinaria pesada descritas con anterioridad, y de igual forma se analizará su comportamiento según sea su clase asignada. En la figura 2, se puede observar el comportamiento de rendimiento de la bomba hidráulica para tres diferentes tipos de excavadora, y realizan diferentes tipos de trabajo como esfuerzos. Una característica que sobresale es que la retroexcavadora 914M tiene un rendimiento de 94.17 %, que es superior a las otras dos comparadas. Esto se da por varios parámetros y especificaciones por parte de la bomba hidráulica utilizada en la retroexcavadora, que tiene valores superiores en lo que es referente al caudal y su presión de salida a las retroexcavadoras 910M y 908M. Por otro lado, la retroexcavadora serie 908M, tiene un rendimiento inferior a las otras dos series de retroexcavadora, con un valor de 70.670947 %., esta retroexcavadora tiene como principio menos esfuerzo y trabajo a la hora de ejecutarse su objetivo, con una bomba que tiene un caudal en menor proporción (Benavides, 2009).

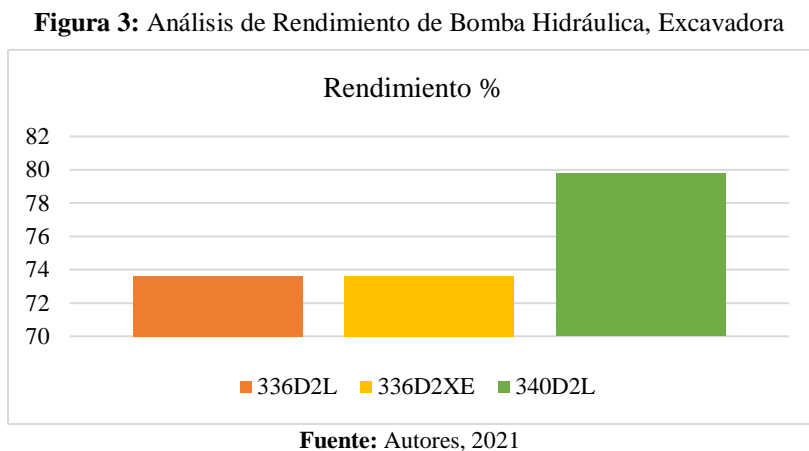
**Figura 2:** Análisis de Rendimiento de Bomba Hidráulica, Retroexcavadora



Fuente: Autores, 2021



En la figura 3, se realiza la comparación de rendimiento de bomba hidráulica de tres diferentes tipos de excavadoras. Donde se observa que la excavadora 340D2L es superior en su porcentaje de rendimiento por parte de la bomba hidráulica con un valor de 79.77%, esta excavadora es una de las más grandes que existen en el campo de maquinaria pesada (Wang et al., 2012). La bomba hidráulica de esta excavadora proporciona un caudal superior a las otra dos comparadas y de igual forma en su presión de salida está por encima de los valores obtenidos en sus comparaciones. Las dos restantes excavadoras, tiene un rendimiento bastante semejante en ambos casos, ya que tanto su presión de salida y su par de accionamiento tiene valores similares, en lo que respecta a las especificaciones de la bomba hidráulica (Ledesma Mercado, 2015).



Al seleccionar una bomba hidráulica, es muy importante considerar la presión de funcionamiento necesaria para que el sistema funcione correctamente, la presión depende de igual forma de los actuadores y de la fuerza requerida para un trabajo. La bomba debe estar diseñada de tal forma que la presión requerida normalmente sea menor que la presión nominal de la bomba hidráulica instalada.

### Conclusiones y recomendaciones

Los beneficios de este proyecto es de fundamental importancia ya que la productividad y eficiencia del proceso, así las bombas hidráulicas se caracterizan de igual forma por presentar

una variación en su caudal al momento de compararlas con distintas series tanto de retroexcavadora como excavadora, una característica que se debe notar es el caudal que producen para que funcionen distintos componentes del sistema hidráulico.

El rendimiento de la bomba hidráulica está dado por especificaciones de la bomba misma, que estaba presentes como la presión de salida, el caudal al que trabaja, su cilindra respecto al caudal, su par de accionamiento y su velocidad angular. Estos valores además de proporcionarnos información, ayuda al cálculo del rendimiento presenta cada serie de retroexcavadora y excavadora.

En las presentes retroexcavadora y excavadora, existen maquinarias que son superiores a las demás en este caso se realizó tres diferentes comparaciones de cada con el fin de saber que bomba hidráulica tiene más rendimiento en el momento del trabajo ejercido, al momento de analizar las diferentes comparaciones cabe recalcar que cada maquinaria está destinada a un tipo de trabajo específico, donde sus valores de esfuerzo no pueden superar a las especificadas en fichas técnicas.

## Referencias

1. Benavides, J. (2011, March 29). Repositorio de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE: Elaboración de un manual interactivo de operación, mantenimiento y pruebas hidráulicas para la excavadora Caterpillar 320c. ESPE. <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/2884>
2. Carvajal Barrera, J. E. (2017). “Análisis del proceso de prueba y diagnóstico de bomba hidráulica de caudal variable en retroexcavadora caterpillar modelo 416e y su incidencia en la productividad, en talleres para maquinaria industrial agrícola sa (talleres pmiasa)” (Bachelor's thesis, Universidad Tecnológica Indoamérica).
3. Caterpillar (2020). Wheel Loaders, Compare Models, [https://www.cat.com/en\\_US/products/product-comparison.html?productId=1000024618&type=new](https://www.cat.com/en_US/products/product-comparison.html?productId=1000024618&type=new)
4. Guamán, E. R., Llanes-Cedeño, E. A., Celi-Ortega, S. F., & Rocha-Hoyos, J. C. (2019). Parámetros del Múltiple de Escape para su Diseño Computacional: una revisión. Información tecnológica, 30(6), 255-268.

5. Guasumba-Maila, J. E., Garay-Cisneros, V. A., Solís-Santamaria, J. M., & Jima-Matailo, J. C. (2021). Análisis del sistema de inyección electrónica de combustible para motor de combustión interna respecto a sus fallas y mantenimiento. *Polo del Conocimiento*, 6(1), 603-621.
6. Jara Segura, E. M. (2016). Diseño de un banco de pruebas para bombas de pistones axiales con sensor de carga de hasta 140 CC/REV.
7. Ledesma Mercado, M. A. (2015). Análisis de aceite hidráulico para identificar componentes de desgaste en el sistema de implementos de excavadoras 336DL CAT.
8. Manring, N. D., & Fales, R. C. (2019). *Hydraulic control systems*. John Wiley & Sons.
9. Moreno-Zulca, P. A., Llanes-Cedeño, E. A., Guaña-Fernández, W. V., & Jima-Matailo, J. C. (2020). Análisis estructural de un bus por el método de elementos finitos. *Polo del Conocimiento*, 5(01), 799-837.
10. Ramírez Hernández, J. F. (2007). Plan de lubricación para el mantenimiento mecánico para la maquinaria pesada utilizada en movimiento de tierra, en la industria de la construcción, por Topsa Construcciones SA (Doctoral dissertation, Universidad de San Carlos de Guatemala).
11. Tkáč, Z., Kosiba, J., Hujo, L., Jablonický, J., & Nosian, J. (2018). Experimental Hydraulic Device for the Testing of Hydraulic Pumps and Liquids. *Tribology in Industry*, 40(1).
12. Wang, F. Y., Zhang, J., Sun, R. F., & Yu, F. (2012). Analysis on the Performance of Wheel Loader in Typical Work Cycle. In *Applied Mechanics and Materials* (Vol. 148, pp. 526-529). Trans Tech Publications Ltd.

©2020 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons

Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)

(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).