

## Análisis de Eficiencia de Máquina retroexcavadora HITACHI 450 LC martillo Modelo 2002. Caso Empresa A&H Ingeniería y Construcciones S.A.S.

Para citar este artículo: Paz- Ortega, W. A. & Beltrán- Rodríguez, I. J. (2021). "Análisis de eficiencia de Máquina retroexcavadora HITACHI 450 LC martillo Modelo 2002. Caso Empresa A&H Ingeniería y Construcciones S.A.S." *In Vestigium Ire*. Vol. 15-1, pp. 154 -170.

Efficiency Analysis of HITACHI 450 LC Hammer Backhoe Loader Model 2002. Case A&H Ingeniería y Construcciones S.A.S. Company.

Analyse de l'efficacité de la chargeuse-pelleteuse à marteau HITACHI 450 LC, modèle 2002. Cas A&H Ingeniería y Construcciones S.A.S. Société.

Análise de Eficiência do Modelo 2002 da Retroexcavadora HITACHI 450 LC Hammer Loader. Processo A&H Ingeniería y Construcciones S.A.S. Company.

**Wilson Andrés Paz Ortega**<sup>1</sup>

**Ingrid Julieth Beltrán Rodríguez**<sup>2</sup>

Fecha de recepción: 31 de agosto de 2020  
Fecha de aprobación: 23 de noviembre de 2020

154



### Resumen

Esta investigación se encuentra enfocada en el análisis de la eficiencia basado en la ISO 14001 y el análisis de ciclo de vida (ACV), aplicado para la obtención de estrategias de minimización de impactos ambientales de la empresa A&H Ingeniería y Construcciones S.A.S, siguiendo el proceso normativo de evaluación de impacto ambiental para toda la cadena productiva de una organización.

En términos de eficiencia, se encontraron aspectos de economías que buscan promover

el crecimiento económico y la mitigación del impacto ambiental, de modo que se cumplan con los objetivos planteados en el desarrollo sostenible. De acuerdo con lo anterior, se realizó una evaluación económica, en términos de consumo y producción, de la máquina retroexcavadora Hitachi 450 LC de martillo de modelo 2002. Como resultado de este estudio, se obtuvo que la eficiencia de la máquina mencionada es de 60% en la escala de efectividad global de la máquina, de acuerdo con el índice de disponibilidad, calidad y rendimiento; consecuentemente, la máquina queda calificada como *inaceptable*,

.....  
1 MBA - Magíster en Discapacidad e Inclusión Social, Universidad Nacional de Colombia. Pregrado en Psicología, Universidad de Nariño. Docente de la Universidad Santo Tomás, sede Bogotá, facultad de Administración de Empresas. Correo electrónico: andres.paz@usantotomas.edu.co Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6418-2358> Bogotá - Colombia.

2 Profesional en Mercadeo y estudiante de Administración de Empresas. Universidad Santo Tomás. Correo electrónico: ingridbeltranr@usantotomas.edu.co Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9811-5313> Bogotá - Colombia.

---

generadora de importantes pérdidas y baja competitividad, por ello se recomienda el cambio del motor de la misma a fin de generar mayor rentabilidad y menor impacto de emisión contaminante al ambiente.

**Palabras clave:** Ciclo de vida, dióxido de carbono, impacto ambiental, rentabilidad, economía verde.

### Abstract

This research work aimed to perform a productivity and efficiency analysis based on ISO 14001 and the life cycle analysis (LCA), which has been applied to obtain strategies for minimizing the environmental impacts generated by the company A&H Ingeniería y Construcciones SAS. To do this, the normative process of environmental impact assessment, for the entire productive chain of an organization, has been followed.

In terms of efficiency, different economic concepts have proposed aspects that seek to promote economic growth and mitigate environmental impact, leading to meet the objectives set in the sustainable plan. Therefore, an economic evaluation has been made, using consumption and production data, for the Hitachi 450 LC Excavator, Model 2002. As a result of this study, it was obtained that the efficiency of the aforementioned machine is 60 % in the global effectiveness scale of the machine, based on the standards of availability, quality and performance index. Subsequently, the machine is classified as Unacceptable, meaning that it is generating significant losses and low competitiveness. For that reason, it is recommended to change its engine to generate greater profitability and less impact of polluting emissions to the environment.

**Keywords:** Life cycle, carbon dioxide, environmental impact, profit, green economy.

### Résumé

Cette recherche est centrée sur l'analyse de l'efficacité basée sur la norme ISO 14001 et l'analyse du cycle de vie (ACV), appliquée pour obtenir des stratégies de minimisation des impacts environnementaux de l'entreprise A&H Ingeniería y Construcciones S.A.S., en suivant le processus réglementaire d'évaluation des impacts environnementaux pour toute la chaîne de production d'une organisation.

En termes d'efficacité, on a trouvé des aspects des économies qui cherchent à promouvoir la croissance économique et l'atténuation de l'impact environnemental, de sorte que les objectifs fixés dans le cadre du développement durable soient atteints. Conformément à ce qui précède, on a procédé à une évaluation économique, en termes de consommation et de production, de la chargeuse-pelleteuse à marteau Hitachi 450 LC, modèle 2002. Comme résultat de cette étude, il a été obtenu que l'efficacité de la machine mentionnée est de 60% dans l'échelle d'efficacité globale de la machine, selon l'indice de disponibilité, de qualité et de performance ; par conséquent, la machine est qualifiée d'inacceptable, générateur de pertes importantes et de faible compétitivité, il est donc recommandé de changer le moteur de la même afin de générer une plus grande rentabilité et moins d'impact d'émission de polluants à l'environnement.

**Mots clés :** cycle de vie, dioxyde de carbone, impact environnemental, rentabilité, économie verte.



## Resumo

Esta investigação está centrada na análise da eficiência baseada na ISO 14001 e na análise do ciclo de vida (ACV), aplicada para obter estratégias de minimização dos impactos ambientais da empresa A&H Ingeniería y Construcciones S.A.S., seguindo o processo regulamentar de avaliação do impacto ambiental para toda a cadeia de produção de uma organização.

Em termos de eficiência, foram encontrados aspectos das economias que procuram promover o crescimento económico e a atenuação do impacto ambiental, de modo a que os objetivos estabelecidos no desenvolvimento sustentável sejam atingidos. Em conformidade com o acima exposto, foi realizada uma avaliação económica, em termos de consumo e produção, da retroexcavadora de martelos Hitachi 450 LC, modelo 2002. Como resultado deste estudo, obteve-se que a eficiência da referida máquina é de 60% na escala de eficácia global da máquina, de acordo com o índice de disponibilidade, qualidade e desempenho; conseqüentemente, a máquina é qualificada como inaceitável, geradora de perdas importantes e de baixa competitividade, pelo que se recomenda a mudança do motor da mesma de modo a gerar maior rentabilidade e menor impacto da emissão de poluentes para o ambiente.

**Palavras-chave:** ciclo de vida, dióxido de carbono, impacto ambiental, rentabilidade, economia verde.

## Introducción

A lo largo del tiempo, la humanidad se ha caracterizado por promover el crecimiento económico enlazado directamente con las

necesidades sociales y culturales, llevando consigo un desenfreno en la explotación de los recursos brindados por la naturaleza. Con esto se busca generar una dependencia económica del consumismo, obteniendo así problemáticas de carácter ambiental, las cuales se encuentran estrechamente ligados a los modelos de desarrollo y a sus estructuras socioeconómicas, donde estas se encuentran en permanente transformación.

Basado en lo anterior, la eficiencia aparece como la principal opción, desde el ámbito energético, para responder a los principales desafíos de la crisis económica, ambiental y energética; donde, a través del ahorro de energía, se permite proteger los escasos recursos económicos, posponer el agotamiento de los recursos fósiles (de los que depende mayoritariamente nuestro suministro) y, por último, parece revelarse como una de las mejores alternativas para reducir las emisiones de derivados de Carbono (CO<sub>x</sub>) (Linares, 2009).

Sin embargo, se puede resaltar que desde las distintas ramas de investigación y crecimiento económico se han desarrollado alternativas que promueven la protección de los recursos naturales y se utilicen de manera más eficientes, es decir que se genere el menor impacto al ambiente.

De modo que, herramientas de desarrollo económico, como la economía verde, o la bioeconomía, han sido factores de tendencia mundial puesto que resaltan la importancia que juega la sostenibilidad en el área administrativa, como lo mencionan los autores Madero y Zárate (2016). Esto implica que las empresas realicen diferentes cambios; "para dejar de ser compañías que buscan la maximización de las utilidades a organizaciones



---

preocupadas por su impacto ambiental y por el desarrollo de la sociedad” (p. 15).

Por consiguiente, la responsabilidad social de las empresas (RES) busca generar regulaciones en cuanto al impacto que se genera social y ambientalmente, y esta se encuentra principalmente orientada a la sostenibilidad de las empresas desde el compromiso de protección y minimización de los impactos. Con el fin de generar procesos de eficiencia, en el contexto global se tiene como referencia normas de carácter evaluativo y de mejora, estas son las ISO 14040 e ISO 14044, enfocadas principalmente a la evaluación del ciclo de vida y de cómo aprovechar de manera eficiente los recursos generando el menor impacto posible.

En este sentido, el artículo se fundamenta en la importancia que representa para las empresas las mediciones de sus indicadores ambientales, congeniando con la sostenibilidad y la responsabilidad social que tienen ellas con su entorno, así como también entender cuáles son las posibles oportunidades que surgen de los resultados que obtienen las compañías en estos indicadores de gestión ambiental.

En este documento se presentan los resultados obtenidos del análisis de eficiencia basado en la ISO 14001 y el estudio de análisis de ciclo de vida (ACV) realizada a la máquina retroexcavadora Hitachi 450 LC de martillo de la empresa A&H Ingeniería y Construcciones S.A.S, desde el punto de vista de rentabilidad vs. Indicador medio ambiental, tomando como punto de partida el consumo de combustible.

Datos importantes han sido obtenidos, como resultado de la investigación, que

son de beneficio para las organizaciones, la sociedad y la comunidad académica, lo que conlleva al fortalecimiento del área de conocimiento de gestión ambiental en las empresas; esto con la finalidad de poder hacer uso de información relevante para futuros estudios en organizaciones de alto impacto ambiental, o bien, en organizaciones que deseen adherirse al marco internacional de la bioeconomía, economía verde, la RSE y la sostenibilidad ambiental.

## Revisión de la Literatura

El concepto de desarrollo sostenible fue descrito por el Informe de la Comisión Brundtland de 1987 como “el desarrollo que satisface las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de satisfacer las necesidades de las futuras generaciones” (Unesco, 2012). De modo que, se enmarca diferentes ejes como lo son la economía mundial, el enfoque normativo sobre el planeta, la sociedad y la ética, entre otros temas. Como dispone Sachs (2014), este concepto parte de la situación actual conocida como la sobrepoblación del planeta, donde cada individuo trata de progresar económicamente a través de una lucha constante por la búsqueda de alimento, agua, atención sanitaria, y cobijo.

De acuerdo con lo anterior, Sachs (2014) propone que el objetivo de desarrollo sostenible que deberían seguir las naciones del mundo para que toda la humanidad pueda aspirar a un futuro sostenible, se encuentre regido por un enfoque normativo en el cual se busque construir un mundo donde el progreso económico esté extendido, la pobreza eliminada, y que existan políticas que aseguren la protección de las comunidades y el medio ambiente. De modo que



sugiere un enfoque holístico en el cual la sociedad trace una línea de igualdad entre la sostenibilidad social, medioambiental y económica.

Ante esta problemática, la economía se abre camino a través de conceptos como economía verde y bioeconomía. El primer concepto surge como respuesta para satisfacer las necesidades de los seres humanos, a través del uso adecuado de los recursos naturales cuando estos son escasos, y por medio de tecnologías e industrias verdes. Esencialmente, se refiere a una economía baja en emisiones de Carbono y eficiente en el uso de los recursos naturales, además del uso de los insumos tradicionales como trabajo, energía fósil y capital (Secretaría Permanente del SELA, 2012).

La economía Verde apuesta a “la inversión en sectores como las tecnologías de eficiencia energética, las energías renovables, el transporte público, la agricultura sostenible y el turismo respetuoso con el medio ambiente” (Secretaría Permanente del SELA, 2012, p. 8), con el fin de generar nuevos sectores de producción orientados a la eficiencia en términos de tiempo, costo y producción, promoviendo así la mitigación de los riesgos ambientales.

El segundo concepto, la bioeconomía, propone soportar y alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible, donde el nuevo orden económico enfoca sus esfuerzos en alinear las políticas de desarrollo de los países asumiendo consigo los costos sociales, ambientales y culturales (Gallego et al., 2016), donde la sostenibilidad se abre campo en el área administrativa, generando consigo que las empresas realicen diferentes cambios, para dejar de ser compañías que

buscan la maximización de las utilidades a organizaciones preocupadas por su impacto ambiental y por el desarrollo de la sociedad.

De tal manera que, económicamente hablando, las naciones se encuentran preocupadas por el impacto ambiental que generan las actividades de producción, por consiguiente, la sociedad ha creado un conjunto de prácticas empresariales, que se conoce teóricamente como la Responsabilidad Social Empresarial (RSE). Estas prácticas parten de un “compromiso consciente y congruente por cumplir integralmente con la finalidad de la empresa, considerando las expectativas económicas, sociales y ambientales de todos los participantes, contribuyendo a la construcción del bien común” (López et al., 2015, p. 56).

Uno de los retos que presenta la implementación de la sostenibilidad y la RSE en las empresas es la medición a través de indicadores, los cuales son necesarios para evaluar el nivel de sostenibilidad tanto por región como por tipo de industria, para así poder fortalecer las políticas internas y evitar impactos negativos de la empresa en su entorno, en conjunto con el establecimiento de procesos de mejora internos (Madero y Zárate, 2016).

En la medición de las prácticas empresariales, enfocadas a una disminución de un impacto negativo ambiental y social en el contexto mundial, existen dos normas técnicas de referencia: la ISO 14040 y la ISO 14044. Estas normas abordan principalmente el ACV, y tratan los aspectos e impactos ambientales potenciales (por ejemplo, el uso de recursos y las consecuencias ambientales de las emisiones) a lo largo de todo el ciclo de vida de un producto desde la adquisición de la



---

materia prima, pasando por la producción, uso, tratamiento final, reciclado, hasta su disposición final (Icontec, 2007).

El ACV abarca fundamentos del campo medioambiental y de sostenibilidad, dentro de los cuales se encuentran: la compra verde, ecodiseño, ecología industrial, huella ambiental, huella de carbono, entre otros. A partir de lo anterior, y teniendo en cuenta que se desarrolló en estudio de eficiencia en términos energéticos, producción, economía y emisión de gases, el fundamento más apropiado es la huella de carbono a lo largo de la cadena de producción de la máquina retroexcavadora Hitachi 450 LC de martillo de modelo 2002, permitiendo analizar las contribuciones a la categoría de impacto de Calentamiento Global a lo largo del ciclo de vida.

## Metodología

El análisis de eficiencia aplicado a la máquina retroexcavadora Hitachi 450 LC de martillo de modelo 2002, de la empresa A&H Ingeniería y Construcciones S.A.S, se desarrolló por medio de una metodología descriptiva con enfoque cuantitativo debido a que se realiza un análisis de comparación de los resultados obtenidos con el indicador de eficiencia industrial (OEE, por sus siglas en inglés).

La elección del método con enfoque cuantitativo se realiza basado en los criterios para el planteamiento del problema de este tipo, dado que el problema puede tener unos límites claros, y puede ser medido (Hernández et al., 2010). En cuanto a la metodología descriptiva, es de gran importancia resaltar que este alcance tiene en cuenta el objetivo a estudiar y sus partes, y la cuantificación y

definición de las variables (Hernández et al., 2010). De una forma específica Hernández et al. (2010) puntualizan que este tipo de enfoque tiene como objetivo definir “las propiedades, las características y los perfiles” (p. 80) de cualquier elemento que sea estudiado. Con esto se busca la evaluación o recolección de datos, individual o conjuntamente, sobre las variables elegidas para el estudio (Hernández et al., 2010).

De modo que se determinó estadísticamente la efectividad de la maquina donde se tuvieron en cuenta los valores medidos in-situ, como el consumo de combustible, la inversión monetaria en cuanto al costo energético de la máquina (ACPM), la capacidad de producción de piedra Rajón y la utilidad económica directamente relacionada con el rendimiento de la máquina retroexcavadora.

Uno de los objetivos es identificar la huella de carbono que contribuye la maquina al medio ambiente, a través de la emisión de dióxido de carbono de acuerdo con la capacidad de producción, de modo que se identifique la viabilidad del cambio de combustible a fin de que se genere un menor impacto sobre el medio ambiente.

La toma de los datos se realizó a través de muestreo aleatorio simple con punto fijo, por 5 días consecutivos, los cuales tuvieron lugar del 06 de mayo de 2019 hasta el 10 de mayo del mismo año, en horario de 8:00 am a 5:00 pm, ajustándose así a los turnos de trabajo establecidos por la empresa, de modo que se seleccionaron 8 horas para el estudio del proceso de producción de la máquina, destacando el hecho que la maquina está en actividad por 16 horas diarias. Durante el periodo de tiempo establecido, se registraron los datos obtenidos



por hora, de cantidad de galones consumidos de ACPM y la producción de piedra Rajón, teniendo en cuenta el precio del galón de ACPM y el precio de venta, por volumen, en metros cúbicos (m<sup>3</sup>) de piedra.

El proceso de estudio que se llevó a cabo responde a un balance de energía (ver figura 1), en cual se propone una equivalencia entre la cantidad de combustible ACPM usado y la producción de piedra, donde además se tuvo en cuenta las emisiones de CO<sub>2</sub>, usando la producción teórica de CO<sub>2</sub> de la máquina encontrada en la base de datos ambiental

openDAP del instituto Eduardo Torroja, CSIC y el ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente del gobierno español (ver tabla 1) (Tecniberia, 2019).

Es importante aclarar y resaltar que la retroexcavadora Hitachi 450LC y la excavadora empleada para los datos teóricos, cuentan con similitud en potencia y en el volumen de producción, por lo cual se encuentra pertinente hacer uso de los datos de la excavadora seleccionada para el estudio.

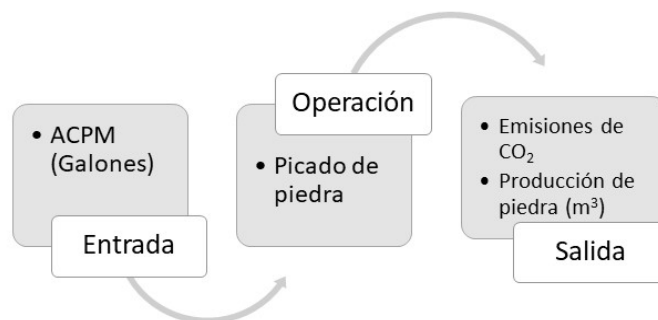


Figura 1. Representación gráfica del proceso estudiado.  
 Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 1.** Emisión de dióxido de carbono para la máquina excavadora.

Denominación	Factor de emisión	Unidades
Excavadora de cadena 213kw (318cv)	74,13	Kg/h CO <sub>2</sub>

Fuente: Tecniberia, 2019.

Para la medición de la eficiencia de la maquinaria se realizó la evaluación del indicador de efectividad global de la máquina (Overall Equipment Effectiveness) el cual es un estándar internacional para medir la productividad de fabricación, donde se

calculan las pérdidas, se evalúa el proceso y se mejora la productividad de los equipos, es decir, se elimina el desperdicio (Álvarez y Sánchez, 2016). Para este estudio se tomaron en cuenta los rangos propuestos por la O.E.E (ver tabla 2).

**Tabla 2. Rangos de eficiencia de O.E.E. (Efectividad global de la máquina).**

Clasificación	
OEE < 65%	Inaceptable, importantes pérdidas, baja competitividad
OEE > 65% U < 75%	Regular, aceptable sólo si está en proceso de mejora Baja competitividad
OEE 75% > U < 85%	Aceptable. Ligeras pérdidas
OEE 85% < U > 95%	Buena competitividad.
OEE > 95%	Excelente competitividad

Fuente: Hernández, 2015.

Este indicador (O.E.E.) es el producto de la disponibilidad, el rendimiento, y la calidad, donde: la disponibilidad de operación es el tiempo de operación real y el tiempo planificado de producción; el rendimiento de la

máquina, es el resultado de la velocidad real sobre la máxima; y la calidad es el número de unidades conformes sobre el total de las mismas (ver tabla 3).

**Tabla 3. Cálculo de O.E.E.**

<b>Cálculo de O.E.E.</b>	$= \text{Disponibilidad} * \text{Rendimiento} * \text{Calidad}$
<b>Disponibilidad</b>	$= \frac{\text{Tiempo de Operación}}{\text{Tiempo Planificado de Producción}}$
<b>Rendimiento</b>	$= \frac{\text{Velocidad Real}}{\text{Velocidad Máxima}}$
<b>Calidad</b>	$= \frac{\text{N}^\circ \text{ de unidades conforme}}{\text{N}^\circ \text{ total de unidades}}$

Fuente: Hernández, 2015.

## Resultados y Discusión

A partir de los datos obtenidos se evidenció que la máquina retroexcavadora Hitachi 450 LC de martillo de modelo 2002 consume en promedio 10 galones de ACPM por hora, para los cuales su producción de piedra rajón varía entre 91,25 m<sup>3</sup>/hora y 97,5 m<sup>3</sup>/hora (ver figura 2), esto debido a factores como la mano de obra directa y/o averías dentro

del proceso completo de producción de la empresa, generando así que la máquina se retrase. Sin embargo, la variación de producción no es mayor al 2% diario, y teniendo en cuenta la cadena de valor que la empresa tiene respecto a los tiempos muertos de producción, se contemplan planes de contingencia para que no se vea afectado su proceso productivo.



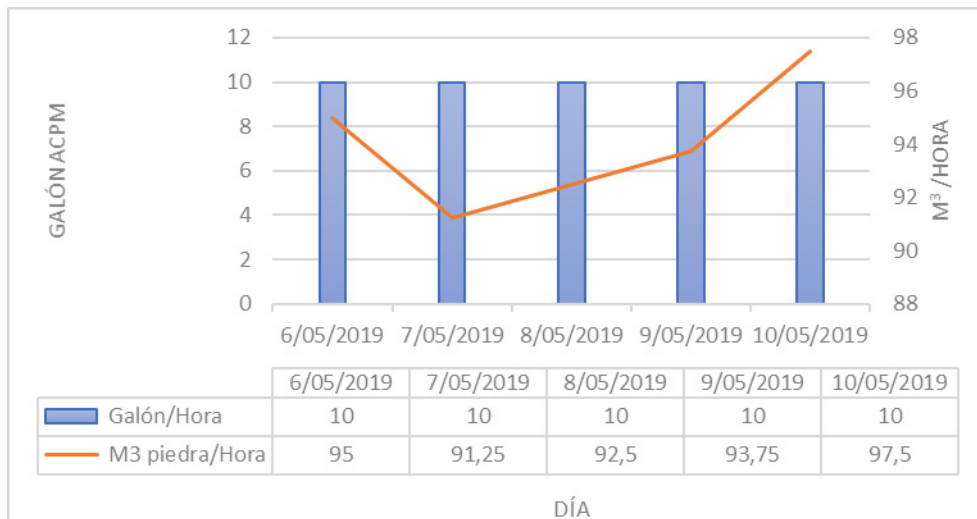


Figura 2. Promedio de consumo y producción horario para los días estudiados.  
Fuente: Elaboración propia.

De igual forma, al analizar el balance de energía propuesto (figura 1) para el caso de estudio, se identificó que la maquina requiere 10 galones de ACPM por hora, para producir en promedio 94 m<sup>3</sup> de piedra Rajón por hora, lo que a su vez genera una emisión a la atmosfera de 74,13 kilogramos por hora

de dióxido de carbono (ver tabla 4). Este dato concuerda con lo planteado por la base de datos ambiental openDAP del Instituto Eduardo Torroja. CSIC y el ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente del gobierno español (Tecniberia, 2019).

**Tabla 4.** Entradas y salidas del balance de energía propuesto.

Horario	Entrada		Salida
Recurso	ACPM	Piedra Rajón	CO <sub>2</sub>
Cantidad	10	94	74,13
Unidad de medida	Galón/Hora (gal/h)	Metro cúbico/Hora (m <sup>3</sup> /h)	Kilogramo/Hora (Kg/h)

Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, se contempló que el consumo neto diario de la máquina es de 80 galones de ACPM, con un costo de \$646.560 pesos, para producir, en promedio, 752 m<sup>3</sup>/hora de piedra rajón, y una utilidad media de \$9.024.000 pesos (ver tabla 5). Durante los días en los cuales se realizaron las mediciones, no hubo variación del valor

del ACPM en el mercado. De esta forma, la relación de consumo vs. Gasto de la maquina corresponde al 7% de la venta, de manera que este valor es equivalente al costo de producción del producto, lo que conlleva a obtener una rentabilidad, para la empresa durante el proceso, de 83%.

Tabla 5. Consumo y producción diaria de la máquina retroexcavadora Hitachi 450 LC de martillo de modelo 2002.

Fecha	Horas diarias	Galones diarios	Costo galón ACPM/diario	m <sup>3</sup> piedra diario	Venta total piedra diario
6/05/2019	8	80	\$ 646.560	760	\$ 9.120.000
7/05/2019	8	80	\$ 646.561	730	\$ 8.760.000
8/05/2019	8	80	\$ 646.562	740	\$ 8.880.000
9/05/2019	8	80	\$ 646.563	750	\$ 9.000.000
10/05/2019	8	80	\$ 646.564	780	\$ 9.360.000
<b>Promedio diario</b>	<b>8</b>	<b>80</b>	<b>\$ 646.564</b>	<b>752</b>	<b>\$ 9.024.000</b>

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a la eficiencia de la operación de la máquina actual (Hitachi 450 LC de modelo 2002) de acuerdo con los indicadores de disponibilidad, calidad y rendimiento, se obtuvo un resultado del 60% en la eficiencia global del equipo, lo cual la sitúa como una

máquina de baja competitividad. Esto se explica en el hecho que la máquina está produciendo tan solo 94 m<sup>3</sup>/h de piedra rajón, es decir, tan solo el 72,3% de capacidad horaria correspondiente a 130 m<sup>3</sup>/h (ver tabla 6).

Tabla 6. Indicador de eficiencia de la máquina retroexcavadora actual Hitachi 450 LC de modelo 2002 de acuerdo a la metodología propuesta por O.E.E, a través de los indicadores de disponibilidad, rendimiento y calidad.

Indicador de disponibilidad		
Tiempo operación (horas diarias)	16	<b>1,00</b>
Tiempo planificado de producción (horas diarias)	16	
Indicador de rendimiento		
Velocidad real	4,6	<b>0,8364</b>
Velocidad máxima (km/h)	5,5	
Indicador de calidad		
No. Unidades conforme (m <sup>3</sup> producidas reales)	130	<b>0,723</b>
No. Total de unidades (m <sup>3</sup> deseadas)	94	
O.E.E (eficiencia global del equipo)		<b>60%</b>

Fuente: Elaboración propia.

Además, se puede observar que la máquina se encuentra operando a una velocidad de 4,6 km/h, presentando así un déficit de su capacidad del 16,37% dado que la velocidad máxima es de 5,5 km/h (Hitachi, 2015). Por consiguiente, esto permite plantear la posibilidad de hacer un cambio, o bien sea en la maquinaria, o en el motor, para que de esta manera, en la escala de efectividad, pueda

ubicarse en el rango de máquina de buena competitividad o excelente competitividad, además de que contribuya con una menor emisión contaminante a la atmosfera.

#### Viabilidad de Cambio de Motor

Actualmente, la compañía cuenta con la máquina retroexcavadora Hitachi 450 LC

de modelo 2002 con un motor apto para ACPM, y según las mediciones de emisiones de CO<sub>2</sub>, se obtiene que esta emite 74,13 kg CO<sub>2</sub> eq/h; por ende, en búsqueda de mitigar este impacto atmosférico, se propone que se realice un cambio en el motor de la máquina,

es decir, que se contemple la posibilidad de invertir en uno que use otro combustible con un factor de emisión contaminante más bajo, como lo es el motor Caterpillar G3408, un motor de combustible a gas natural (ver figura 3 y tabla 7).

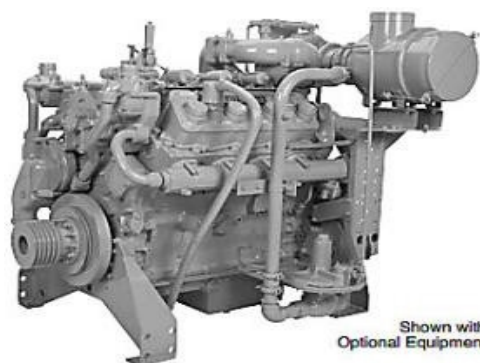


Figura 3. Motor propuesto G3408 Caterpillar.  
 Fuente: Caterpillar, 2020.

Tabla 7. Características del motor propuesto G3408 Caterpillar.

Clasificación de potencia	
Potencia mínima	190,0 bkW
Máxima potencia	317,0 bkW
Frecuencia	1.500 y 180 rev/min
<b>Generalidades</b>	
Calibre	137 mm
Carrea	152 mm
Cilindrada	18 L
Configuración motora	Motor: continuo

Fuente: Caterpillar, 2020.

De los beneficios que tiene este cambio de motor se destaca que las emisiones cumplen con la normativa de desempeño de nuevas fuentes (NSPS), ya que posee una capacidad para quemar una amplia variedad de combustibles gaseosos, y una amplia gama de velocidades de funcionamiento (Caterpillar, 2020). Para saber si realmente es viable para la compañía el cambio del motor, se realizaron análisis de viabilidad con el

rendimiento de los dos motores y análisis de indicadores financieros de rentabilidad.

La relación de consumo vs. Producción de la máquina para el motor actual (Hitachi 450 LC de modelo 2002), se realizó con los datos obtenidos en el proceso de la investigación, donde se tomó como base las 16 horas que es empleada la máquina para realizar el trabajo y la producción promedio diaria, tanto

de piedra rajón como el ingreso económico. El uso de lo mencionado anteriormente, conlleva a la realización de una proyección mensual y anual, con el fin de evaluar el beneficio financiero (ver tabla 8).

En cuanto a la proyección realizada para el motor propuesto (motor G3408 Caterpillar) se empleó un promedio diario de 24 horas debido a que este motor cuenta con esta capacidad para trabajar, además de que de esa manera se cumpliría la meta diaria que actualmente maneja la empresa (ver tabla 9).

**Tabla 8.** *Proyección de consumo Vs producción, mensual y anual de la máquina retroexcavadora Hitachi 450 LC de modelo 2002.*

<b>Datos con motor actual de la máquina</b>							
<b>Consumo (ACPM) vs. Producción (m<sup>3</sup>) diario total de retroexcavadora Hitachi 450 LC de martillo</b>							
Horas trabaja- das diarias	Total galones día	Valor ACPM	galón	Total valor gal/ día	m <sup>3</sup> producido total día	Valor producido en volqueta	m <sup>3</sup> en Venta m <sup>3</sup> pro- medio x día
16	160	\$8.082		\$1.293.120	752	\$12.000	\$9.024.000
<b>Consumo (ACPM) vs. Producción (m<sup>3</sup>) mensuales (prom. 30 días) de retroexcavadora Hitachi 450 LC de martillo</b>							
Horas trabaja- das mensuales	Total galones mensuales	Valor ACPM	galón	Total valor gal/ mes	m <sup>3</sup> producido total mes	Valor producido en volqueta	m <sup>3</sup> en Venta m <sup>3</sup> pro- medio x mes
480	4.800	\$8.082		\$38.793.600	22.560	\$12.000	\$270.720.000
<b>Consumo (ACPM) vs. Producción (m<sup>3</sup>) anual de retroexcavadora Hitachi 450 LC de martillo</b>							
Horas trabaja- das anuales	Total, galones anuales	Valor ACPM	galón	Total valor gal/ año	m <sup>3</sup> producido total día	Valor producido en volqueta	m <sup>3</sup> en Venta m <sup>3</sup> pro- medio x año
5.760	57.600	\$8.082		\$465.523.200	270.720	\$12.000	\$3.248.640.000

*Fuente: Elaboración propia.*

**Tabla 9.** *Proyección de consumo Vs producción, mensual y anual de la máquina retroexcavadora con el motor G3408 Caterpillar propuesto para la máquina.*

<b>Datos con motor g3408 Caterpillar propuesto para la máquina</b>							
<b>Consumo (gas m<sup>3</sup>) vs. Producción (m<sup>3</sup>) diario total de retroexcavadora Hitachi 450 LC de martillo</b>							
Horas trabaja- das diarias	Total m <sup>3</sup> gas/ día	Valor gas/m <sup>3</sup>	Total, valor gas día	m <sup>3</sup> producido total día	Valor producido en volqueta	m <sup>3</sup> en Venta m <sup>3</sup> prome- dio x día	
24	3.120	\$ 499	\$1.556.880	3.120	\$12.000	\$37.440.000	
<b>Consumo (gas m<sup>3</sup>) vs. Producción (m<sup>3</sup>) mensuales (prom. 30 días) de retroexcavadora Hitachi 450 LC de martillo</b>							
Horas trabaja- das mensuales	Total m <sup>3</sup> gases mensuales	Valor gas/m <sup>3</sup>	Total valor gas mensual	M <sup>3</sup> producido total mes	Valor producido en volqueta	m <sup>3</sup> en Venta m <sup>3</sup> prome- dio x mes	
720	93.600	\$499	\$46.706.400	93.600	\$12.000	\$1.123.200.000	
<b>Consumo (gas m<sup>3</sup>) vs. Producción (m<sup>3</sup>) anual de retroexcavadora Hitachi 450 LC de martillo</b>							
Horas trabaja- das mensuales	Total m <sup>3</sup> gas anuales	Valor gas/m <sup>3</sup>	Total valor gas año	M <sup>3</sup> producido total año	Valor producido en volqueta	m <sup>3</sup> en Venta m <sup>3</sup> prome- dio x año	
8.640	1.123.200	\$499	\$560.476.800	1.123.200	\$12.000	\$13.478.400.000	

*Fuente: Elaboración propia.*

De acuerdo a los resultados de viabilidad de compra en cuanto a los rendimientos de cada motor, se obtiene que con el motor nuevo G3408 Caterpillar se podría operar en turnos de 8 horas para un total de 3, de modo que no solo se cumpliría la meta propuesta por la empresa en cuanto a indicadores de producción se refiere, sino que se podría generar 4 veces más la producción actual. Además, se estarían generando ventas brutas de piedra rajón con un valor aproximado de \$10.229.760.000 pesos adicional a lo que

actualmente está vendiendo la compañía, lo que representaría un incremento del 75,89%.

Por otro lado, se debe tener en cuenta que el gasto en combustible es mayor con el motor propuesto, sin embargo, esto se debe a que presentaría un aumento en las horas trabajadas, lo cual se puede comprobar en la figura 4, donde se evidencia que el costo de combustible propuesto es menor al utilizado actualmente.

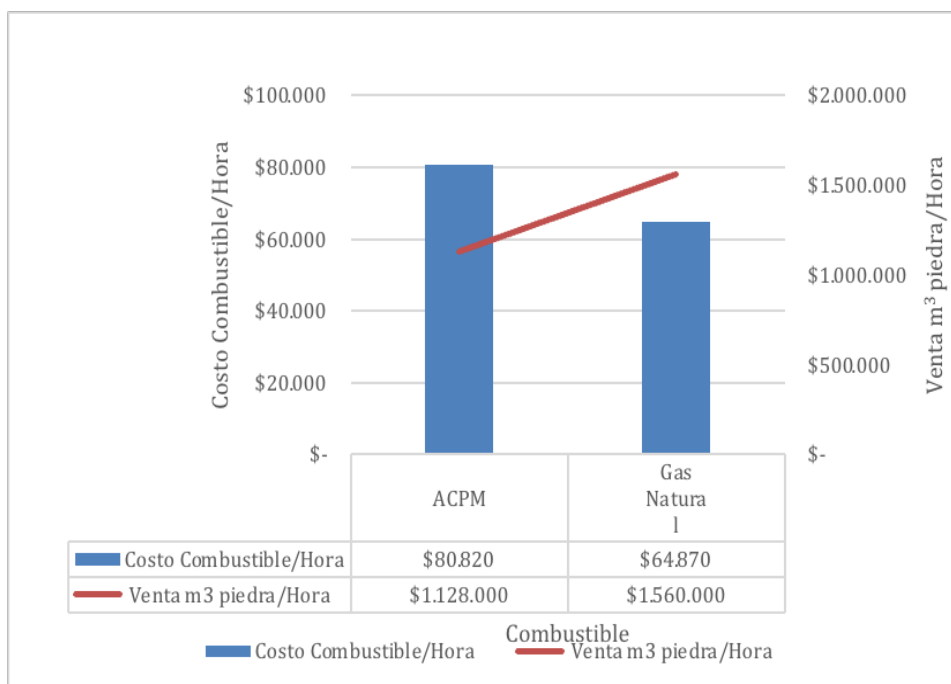


Figura 4. Consumo vs producción en términos económicos de los dos tipos de combustibles en estudio.  
 Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, se encontró que el cambio de motor no solo traería consigo el beneficio económico, sino que respondería a un compromiso social y ambiental, mejorando consigo su ciclo de vida, pues al realizar el cambio de motor automáticamente sería

el del combustible y con el ello el aporte de contaminación atmosférica, pues las emisiones de CO<sub>2</sub> se reducirían en un 73%, ya que el factor de emisión de gas natural es del 0,202 kg CO<sub>2</sub> eq/h (ver tabla 10).

**Tabla 10.** Factor de emisión de máquina excavadora a gas natural.

Denominación	Factor de emisión	Unidades
Excavador con gas natural	0,202	Kg CO <sub>2</sub> eq / h

Fuente: Tecniberia, 2019.

### Viabilidad Financiera

Para el análisis de la viabilidad financiera que representa para la compañía esta compra se tomaron en cuenta los indicadores

financieros de VPN (valor presente neto), TIO (tasa interna de oportunidad), TIR (tasa interna de retorno), y el período de recuperación de la inversión de cada motor (ver tablas 11 y 12).

**Tabla 11.** Indicadores financieros de rentabilidad del motor actual de la unidad funcional.

Motor actual	
VPN	\$9.585.283.694
TIO	10%
TIR	560%
Período recuperación	0,17

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 11.** Indicadores financieros de rentabilidad del motor propuesto para la unidad funcional.

Motor actual	
VPN	\$ 44.020.756.910
TIO	10%
TIR	1.168%
Período recuperación	0,079643247

Fuente: Elaboración propia.

Con base a los indicadores de viabilidad financiera de compra del nuevo motor, se halló que la máquina actual, con el motor para ACPM, es viable ya que el indicador TIR es mayor que TIO, y en los 3 años que lleva la máquina trabajando ya se recuperó el valor de inversión inicial el cual corresponde a \$ 340.000.000.

De igual forma, se encontró que si la empresa decidiera realizar la compra del nuevo motor, cuyo valor inicial de inversión es de \$ 878.280.000, sería viable para la

compañía ya que el indicador TIR > TIO; a diferencia del motor de la máquina actual, el período de recuperación de la inversión es más rápido con un costo de margen de retorno de 2 veces más que el actual, de manera que ambos motores son viables para la compañía; y, teniendo en cuenta el valor de responsabilidad social y empresarial, se haría un menor aporte a la huella de carbono ya que se estarían reduciendo las emisiones de dióxido de carbono, resultado en un incentivo para los proyectos de desempeño de la empresa.



## Conclusiones

Teniendo en cuenta los diferentes análisis realizados a nuestra unidad funcional y los impactos derivados del uso de esta en cuenta a huella de carbono, emisiones de CO<sub>2</sub> y las eficiencias relacionadas en este documento en términos de consumos, gastos y producción nos permitimos hacer las siguientes afirmaciones:

La máquina correspondiente a la unidad funcional de nuestro estudio no es eficiente, debido a que, a pesar de estar es un máximo nivel de producción, sus resultados en cuenta a disponibilidad, calidad y rendimiento arrojaron como resultado un 60% en la escala de efectividad global de la máquina, y dicho resultado está involucrado con calificativos para la máquina como Inaceptable, generadora de importantes pérdidas y baja competitividad.

La máquina Hitachi 450 LC de martillo, dentro de las limitaciones de nuestro sistema, es la opción más rentable, ya que está aportando a la compañía las cantidades de producción requeridas por la misma, basado en las necesidades actuales.

La unidad funcional no puede denominarse sostenible, puesto que sus emisiones de Dióxido de Carbono son mucho más elevadas, comparadas a los resultados que podrá llegar a alcanzar si la empresa decidiera realizar la compra del motor a gas.

De acuerdo con la viabilidad financiera y la notable reducción en la generación de Dióxido de Carbono de la unidad funcional, si aplicáramos y ejecutáramos nuestra hipótesis de la mejor manera, consideramos más

que pertinente que la empresa adquiera el motor a gas. Esta alternativa sería totalmente viable, en razón a que, según los factores de viabilidad y su análisis, el retorno de la inversión sería en un tiempo de 0,7 años.

Si se adquiere el motor a gas, la empresa estaría en la capacidad de aumentar su producción, reducir los impactos ambientales, disminuir sus gastos y consumos para la máquina, así como favorecer y optimizar mejor sus horas de trabajo al día y, sobre todo, mejoraría su puntuación en las relaciones de eficiencias, alcanzando con facilidad una puntuación superior o igual a 85% según la escala de eficiencia global para la máquina.

## Referencias

A&H Ingeniería y Construcciones S.A.S. (s.f). *Homepage*. Recuperado el 05 de junio de 2020, de <https://ayhingenieria.com>

Álvarez Laverde, H. R., y Sánchez Silva, R. A. (2016). Modelo estocástico para la eficiencia global de los equipos (OEE): Consideraciones prácticas para su utilización. *Revista Ontare*, 53-85. 10.21158/23823399.v3.n2.2015.1441

Caterpillar. (2020). *Productos: Motores industriales Diesel*. [https://www.cat.com/es\\_ES/products/new/power-systems/industrial/industrial-diesel-engines/18377764.html](https://www.cat.com/es_ES/products/new/power-systems/industrial/industrial-diesel-engines/18377764.html)

Gallego Marín, A. A., Ramírez Galvis, M. A., Arana Gutiérrez, A. D., Giraldo Alzate, O. M., Cabrera Otálora, M. I., Nieto Gómez, L. E., y Giraldo Díaz, R. (2016). Bioeconomía y derechos humanos en América Latina. *Revista Libre Empresa*, 13(2), 131-141. <https://doi.org/10.18041/libemp.2016.v13n2.26209>



- Girón Milián, E. H. (2012). *La tasa interna de retorno y el valor actual neto como herramientas de evaluación financiera, en proyectos para plantaciones de madera teca* (Trabajo de Grado). Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Grupo Banco Mundial. (1 de diciembre de 2017). *Eficiencia energética*. <https://www.bancomundial.org/es/results/2017/12/01/energy-efficiency>
- Haya Leiva, E. (2016). *Análisis de ciclo de vida*. Madrid: Fundación EOI Escuela de Organización Industrial. <https://www.eoi.es/es/savia/publicaciones/25482/analisis-de-ciclo-de-vida>
- Hernández Marchante, P. (2015). *Sistema de control y gestión de la eficiencia de una recan-teadora en una línea de producción* (Trabajo de Grado). Universidad Carlos III de Madrid.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., y Baptista Lucio, M. (2010). *Metodología de la investigación* (5ª ed.). México: McGraw Hill.
- Hitachi. (2015). *Productos de construcción: Hitachi ZX450LC*. <https://www.hitachicons-struction.com/wp-content/uploads/2015/11/ZX450LC.pdf>
- Hueso González, A., y Cascant i Sempere, M. J. (28 de julio de 2012). *Metodología y técnicas cuantitativas de investigación*. España: Universitat Politècnica de València. <http://hdl.handle.net/10251/17004>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas (Icontec). (26 de septiembre de 2007). *Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 14040*. [http://files.control-ambiental5.webnode.com.co/200000127-a0991a28c5/NTC-ISO14040-2007%20Análisis\\_CicloVida.pdf](http://files.control-ambiental5.webnode.com.co/200000127-a0991a28c5/NTC-ISO14040-2007%20Análisis_CicloVida.pdf)
- Linares Llamas, P. (2009, marzo-abril). Eficiencia energética y medio ambiente. *Economía y Medio Ambiente*, (847), 75-92.
- López Regalado, M. E., Perusquía Velasco, J. M., Vallares Icedo, O., Villalón Cañas, R., y Ramírez Torres, M. (2015, julio-diciembre). La responsabilidad social empresarial, compromiso con la comunidad y el cuidado del medio ambiente. *Sotavento M.B.A.*, (26), 54-60. <https://doi.org/10.18601/01233734.n26.06>
- Madero Gómez, S. M., y Zárata Solís, I. A. (2016). La sostenibilidad desde una perspectiva de las áreas de negocios. *Cuadernos de Administración*, 32(56), 7-19.
- O.E.E. (s.f.). *¿Qué es la Eficiencia Global del Equipo?: OEE*. Recuperado el 14 de julio de 2020, de <https://www.oee.com/>
- Olaya, D. (2008, julio-diciembre). La tasa interna de oportunidad -TIO- y la creación de empresas. *Revista del Instituto Internacional de Costos*, (3), 89-101.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (Unesco). (2012). *Educación para el desarrollo sostenible: Libro de consulta*. París: Unesco. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000216756?>
- Organización Internacional para la Estandarización (ISO). (2006a). *Norma Internacional ISO 14044*. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14044:ed-1:v1:es>

Organización Internacional para la Estandarización (ISO). (2006b). *Norma Internacional ISO 14040*. <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14040:ed-2:v1:es>

Organización Internacional para la Estandarización (ISO). (2015). *Norma Internacional ISO 14001*. <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14001:ed-3:v1:es>

Quintero Beltrán, L. C. (09 de marzo de 2018). *La Responsabilidad Social Empresarial, una estrategia de Gerencia*. Portafolio. <https://www.portafolio.co/economia/la-responsabilidad-social-empresarial-una-estrategia-de-gerencia-515003>

Ruiz, Y. I. (26 de marzo de 2017). *¿Qué es el valor presente neto y por qué es relevante en finanzas?* La Prensa. <https://www.laprensa.com.ni/2017/03/26/economia/2205653-que-es-el-valor-presente-neto-y-por-que-es-relevante-en-finanzas>

Sachs, J. (2014). *La era del desarrollo sostenible* (Trad. R Vilá.) Nueva York: Deusto. [https://www.planetadelibros.com/libros\\_contenido\\_extra/31/30978\\_La\\_era\\_del\\_desarrollo\\_sostenible.pdf](https://www.planetadelibros.com/libros_contenido_extra/31/30978_La_era_del_desarrollo_sostenible.pdf)

Schneider, H., y Samaniego, J. (marzo de 2010). *La huella del carbono en la producción, distribución y consumo de bienes y servicios*. Santiago de Chile: Cepal. [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/3753/S2009834\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/3753/S2009834_es.pdf)

