



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“GRADO DE FRAGMENTACIÓN EN LA PRODUCTIVIDAD DE LOS EQUIPOS DE CARGUÍO EN LOS PROYECTOS MINEROS”: una revisión de la literatura científica entre los años 2009 - 2019

Trabajo de investigación para optar al grado de:

Bachiller en Ingeniería de Minas

Autores:

Martin Benito, Cruchaga Cruz
Smiker, Roncal Rios

Asesor:

Mg. Ing. Wilson Gómez Hurtado

Trujillo - Perú

2020

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación va dedicado principalmente a Dios por brindarnos la salud y conocimiento necesario para poder desarrollar cada trabajo con excelencia.

A todos nuestros seres queridos principalmente a nuestros padres, los que nos brindaron la posibilidad de seguir una carrera universitaria, en su afán por convertirnos en profesionales de éxito, con principios y valores, por haber sido nuestro soporte moral y emocional a lo largo de nuestra vida universitaria.

AGRADECIMIENTO

En primero lugar le damos las gracias a Dios, por ser nuestra fortaleza y guía en cada paso de nuestras vidas, y por darnos la dicha de llegar a estas alturas, renovando siempre nuestras fuerzas para seguir adelante.

A nuestros adorados padres y hermanos quienes nos apoyaron en todo momento sin dudarlos, quienes compartieron nuestros éxitos y fracasos. A nuestros docentes los que en su momento nos brindaron todo el conocimiento necesario para salir adelante y realizar trabajos de calidad.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
RESUMEN	6
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	7
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	10
CAPÍTULO III. RESULTADOS	16
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	25
REFERENCIAS.....	28

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Formato de Recolección de Datos.	13
Tabla 2: Matriz de registro de estudios científicos.	16
Tabla 3: Número de publicaciones por tipo de documento.	18
Tabla 4: Distribución de artículos por años.	19
Tabla 5: Distribución de publicaciones por institución científica.....	19
Tabla 6: Distribución de los estudios científicos por categorías según tipo de documento.	20
Tabla 7: Categorización de los estudios.....	21

RESUMEN

La presente revisión sistemática tiene como objetivo comprender cual es el grado de fragmentación óptimo en la productividad de los equipos de carguío en los proyectos mineros, a partir del análisis de artículos y tesis de investigación entre los años 2009 – 2019. Implementándose una metodología para jerarquizar los procesos de selección de la diversa literatura científica dónde consideramos publicaciones que se encontraban en un rango de 10 años. En tal sentido se pudo recopilar y filtrar toda la información posible obtenidas de diferentes fuentes de información tales como: Repositorio de Universidades Nacionales e internacionales, Google Académico, Redalyc, Scielo, entre otros; dónde se aplicó un criterio de selección basado en el contenido de la información donde tenían que estar inmersos nuestros conceptos abordados, y además respondan a nuestra pregunta de investigación.

PALABRAS CLAVES: Grado de fragmentación, Productividad, Equipos de Carguío, Proyectos Mineros.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Las operaciones de Perforación y Voladura son de suma importancia al momento de comenzar con la fase extractiva del mineral, estos tienen como fin la extracción del material rocoso mediante la elaboración de taladros, donde posteriormente se agregarán cargas explosivas.

El confinamiento y detonación de los explosivos permitirán la fragmentación de la roca, debido a la generación de ondas que se esparcen a través del macizo rocoso. (Bernaola, Castilla y Herrera, 2013).

Es indispensable relacionar los resultados obtenidos en la etapa de voladura con los procesos de Carguío y Acarreo, ya que una excelente fragmentación conlleva a un mayor rendimiento de los equipos, de esta forma se logra optimizar este proceso en función de la reducción de costos, lográndose alcanzar así una mayor productividad. (Jethro, Shehu y Kayode, 2016).

La fragmentación de la roca, también conocida como fractura del macizo rocoso, es aquella que, por la acción de la detonación de los explosivos, genera roturas en las zonas de menor resistencia, es decir en el Burden. (Hinostroza, 2014).

Existe un indicador de granulometría llamado P80, que en una muestra de material volado nos puede llegar a indicar si contiene fragmentación gruesa o fina. Este indicador se obtiene del análisis de la curva de distribución granulométrica, el cual simboliza el tamaño de partícula, haciendo referencia a que el 80% de la totalidad de fragmentos son más pequeños a dicho tamaño. El proceso de P80, es idóneo en la minería moderna, debido a que nos ayudará a determinar la eficacia de la operación de voladura. (Untol, 2017).

Actualmente para un adecuado estudio del P80, se utiliza el estudio de imágenes, en el que se necesita contar con un objeto de dimensiones conocidas para realizar el cambio de escala, extrapolando volúmenes. (López y García, 2003).

Los equipos de carguío tienen como fin cargar el material volado del banco, para trasladarlo a sus posibles destinos, ya sea este mineral o estéril. (Apaza, 2017).

Las operaciones unitarias de Carguío y Transporte están fuertemente relacionadas, ya que en la actualidad son usados en la industria minera debido a su alta flexibilidad en la extracción y transporte del material, sin embargo, ello no significa que sean asequibles, la errónea selección de estos equipos y la no adecuada combinación de diferentes factores puede significar un aumento de los costos en dichas operaciones. (Hudson, 2003).

La regla más importante para el diseño de una minería moderna es que la maquinaria (Equipos de Carguío y Acarreo) a emplear determinará el sistema y la geometría del diseño de la explotación. (Ortiz y Herrada, 2002).

Como se sabe, toda empresa minera busca siempre aumentar la productividad, en función de la disminución de los costos unitarios, las operaciones de Carguío y Acarreo no son económicamente amigables como parecen, en ese sentido la optimización en este proceso integrado sería muy favorable en el tema de reducción de costos, es por ello que determinar el estado geomecánico de la superficie donde se realizará la voladura, asegurará que el material volado tenga la granulometría adecuada (P80), garantizando que el equipo de carguío a emplear opere alcanzando su mayor nivel de rendimiento. (Cruz, 2018).

De este manera podríamos inferir que el rendimiento de los equipos de carguío dependerá del adecuado grado de fragmentación obtenido del proceso de voladura, ya que con la granulometría adecuada de roca en relación con la capacidad de cucharón de la maquinaria de carguío se minimizará los tiempos operativos en esta etapa.

En relación a lo expuesto anteriormente, se puede decir que la presente revisión sistemática tiene como finalidad documentar estudios sobre cuál es el grado de fragmentación en la productividad de los equipos de carguío en los proyectos mineros, en los años 2009 – 2019.

Así mismo la presente revisión tiene como propósito, comprender cual es el indicador granulométrico (P80) adecuado en la productividad de los equipos de carguío, a partir del estudio de diversas publicaciones científicas.

La granulometría de roca procedente las etapas de perforación y voladura tienen gran influencia sobre el rendimiento de la maquinaria de Carguío, ya que al tener en cuenta su evaluación se puede contrastar con las especificaciones técnicas del fabricante, llegándose de ese modo a optimizar la operación de carguío, así mismo se logrará minimizar las demoras en esta operación, y como resultado se incrementará el porcentaje de utilización de dichos equipos, reduciéndose los tiempos improductivos. En el Perú existen pocas investigaciones referente a la influencia de la fragmentación en el rendimiento de los equipos de Carguío, pero si podemos encontrar investigaciones en el ámbito internacional, por eso al realizar esta revisión sistemática se podrá contribuir con las Empresas Mineras que no tienen en consideración la importancia de este factor.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

El presente trabajo de revisión sistemática de literatura científica, según Newell y Burnard (2006) se define como un instrumento de carácter científico que puede ser empleado para recapitular, separar y comunicar los resultados obtenidos de diferentes investigaciones.

Por otra parte, la revisión sistemática es aquella que sintetiza los múltiples resultados encontrados en los diferentes trabajos de investigación, empleando diversas estrategias para minimizar desviamientos y errores fortuitos. (Cook, Mulrow y Haynes, 1997). De este modo la pregunta de investigación planteada para esta revisión sistemática fue: ¿Cuál es el grado de fragmentación en la productividad de los equipos de Carguío en los Proyectos Mineros?

Además se ha ejecutado una manera metódica para priorizar los procesos de elección de la diversa literatura científica, teniendo en cuenta principalmente las fechas de publicación las cuales se encontraban en un rango de 10 años, por otra parte, se tomó la decisión de seleccionar el material científico tanto nacional como internacional que aportó de manera significativa con la disminución de errores, considerando que los estudios seleccionados se encuentren preferentemente en los idiomas español e inglés, para de esa manera facilitar su comprensión. En ese sentido fue factible el compilar y filtrar toda la información posible basándonos en los principios antes mencionados, para así lograr simplificar todos los hallazgos y proporcionar recomendaciones en función de las variables de la pregunta propuesta.

Se estableció como rutas específicas de búsqueda, las que se mencionan a continuación:

- ❖ Repositorios de Universidades Nacionales:
 - Universidad Nacional de Trujillo – Trujillo.

- Universidad Nacional del Centro del Perú – Huancayo.
- Universidad Nacional del Altiplano – Puno.
- Universidad Nacional de San Antonio de Abad del Cusco – Cusco.
- Universidad Nacional de Cajamarca – Cajamarca.
- Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa – Arequipa.
- Universidad Privada del Norte – Cajamarca.
- Universidad Nacional Mayor de San Marcos – Lima.
- ❖ Repositorios de Universidades Internacionales.
 - Universidad Politécnica de Madrid – España.
 - Universidad Nacional Autónoma de México – México.
- ❖ Google Académico.
- ❖ Mining of Mineral Deposits.
- ❖ International Journal of Scientific & Engineering Research.
- ❖ International Journal Engineering Research & Technology (IJERT).
- ❖ Redalyc.
- ❖ Scielo.

Para preservar la calidad de investigación buscada, se emplearon como descriptores las posteriores terminaciones: “Influencia de la fragmentación en las operaciones mina”, “Optimización de la etapa de carguío”, “Influencia de los explosivos en el grado de fragmentación”, “Optimization of Mining Operations”, “Alternativas para aumentar la capacidad de carguío”, “Reducción de tiempos improductivos en la operación Carguío - Acarreo”, “Influence of the degree of fragmentation on the performance of the loading equipment”, “Fragmentación de roca”, “Importancia de la evaluación del rendimiento de los equipos empleados en el movimiento de tierras”, “Optimización de la fragmentación a partir

del cambio de mallas”, “Influencia de los detonadores electrónicos en el grado de fragmentación de roca”, “Importancia de la evaluación real de los equipos de Carguío”.

También se empleó en los criterios de búsqueda los conectores booleanos, tales como: “Fragmentación y Optimización de la Etapa de Carguío”, “Fragmentación y Reducción de Costos Operativos”, “P80 y Rendimiento de Equipos de Carguío”, “Grado de Fragmentación o P80”.

Para la elaboración de la presente revisión sistemática, sólo se aceptarán las publicaciones científicas difundidas en revistas de índole científica, tesis de grados aprobados tanto nacionales como internacionales, ya se encuentren en español o inglés, que garanticen una respuesta acertada a la pregunta de investigación, siempre asegurándose que se encuentren dentro del rango de los años de estudio, y sobre todo que en su contenido abarque las variables de estudio, con la metodología respectiva, encontrándose un total de 92 publicaciones de las cuales 33 fueron descartadas por ser duplicadas, 25 por no contar con el permiso completo del autor (restringido), 8 por estar fuera del rango de los años de estudio, 6 por encontrarse en el idioma chino haciéndose complicada la traducción, teniendo un total de 72 publicaciones descartadas, de la exclusión quedaron seleccionadas 20 porque desarrollaban los conceptos elegidos para esta revisión y además principalmente porque dichos estudios contestaban a la pregunta de investigación planteada.

Esta etapa se desarrolló después de un arduo proceso de análisis de trabajo de investigación, a partir de ello se seleccionó los que responden correctamente a la pregunta de investigación y que contemplaban dentro de su estructura los conceptos correlativos a nuestro tema de investigación planteado. Además, se escogieron las siguientes fuentes las cuales se presentan de manera ordenada en función de la data más reciente, en la presente tabla:

Tabla 1
Formato de Recolección de Datos.

Título	País	Revista - Repositorio	Tipo de estudio	Años
Effect of blast induced rock fragmentation and muckpile angle on excavator performance in surface mines	India	Mining of Mineral Deposits	Experimental	2019
Incrementar el rendimiento en las excavadoras CAT 336DL reduciendo los tiempos improductivos en mejora de la producción de relleno masivo en Minera Tahoe Perú La Arena S.A.	Perú	Repositorio Universidad Nacional de Trujillo	No Experimental	2019
Mejoramiento de producción del carguío y transporte mediante la teoría de colas en Compañía Minera Los Andes Perú Gold S.A.C.	Perú	Repositorio Universidad Nacional del Centro del Perú	No Experimental	2019
Optimización de la fragmentación y diseño de malla por alteración en perforación y voladura de U.E.A. Valeria - Anabi S.A.C.	Perú	Repositorio Universidad Nacional del Altiplano	Experimental	2019
Optimización de la operación de carguío mediante la evaluación real del rendimiento de la excavadora Volvo 750 DL en la Mina Los Andes Perú Gold-Huamachuco	Perú	Repositorio Universidad Nacional de Trujillo	No Experimental	2019
Optimización de equipos de carguío y transporte para el incremento de producción en la CIA Minera Antapaccay Espinar-Cusco	Perú	Repositorio Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco	No Experimental	2019
Optimización del uso de los equipos de carguío y acarreo en minería superficial en la Compañía Minera Corporación del Centro Gold Mining S.A.C - Región la Libertad	Perú	Repositorio Universidad Nacional del Altiplano	Experimental	2019
The influence of blasting energy	España	International	Experimental	2019

factor on the loading performance		Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)		
Influencia del grado de fragmentación (P80) en el rendimiento de la excavadora Volvo EC750D en la Unidad Isabelita de la Compañía Minera Los Andes Perú Gold S.A.C.	Perú	Repositorio Universidad Nacional de Trujillo	No Experimental	2018
Optimización de la productividad de los equipos de carguío y acarreo en Gold Fields La Cima S.A. mediante la disminución de las demoras operativas más significativas	Perú	Repositorio Universidad Nacional de Cajamarca	No Experimental	2018
Disminución de tiempos improductivos para incrementar la utilización de los equipos de carguío y acarreo en la mejora continua de la productividad en el tajo Chalarina en Minera Shahuindo S.A.C.	Perú	Repositorio Universidad Nacional de Trujillo	Experimental	2017
Drilling rows vis-a-vis rock fragmentation and muckpile parameters in surface blast	India	Department of Mining Engineering, IIT (ISM) Dhanbad, India	Experimental	2017
Efecto del parámetro de fragmentación P80 en la velocidad de excavación de las palas Electro-Mecánicas en Mina Cuajone	Perú	Repositorio Universidad Nacional del Altiplano	No Experimental	2017
Effect of fragmentation on loading at Obajana Cement Company Plc, Nigeria	Nigeria	International Journal of Scientific & Engineering Research	Experimental	2016
Voladura con detonadores electrónicos para optimizar la fragmentación y seguridad en el tajo Toromocho - Minera Chinalco Perú S.A.	Perú	Universidad Nacional del Centro del Perú	No Experimental	2016
Gestión de la operación de equipos de movimiento de tierras para	Perú	Repositorio Universidad	No Experimental	2015

mejorar el rendimiento de carguío y acarreo en la Mina Antapaccay		Nacional de San Agustín de Arequipa		
Evaluación de rendimientos de equipos en las operaciones de movimiento de tierras en el minado Cerro Negro Yanacocha - Cajamarca	Perú	Repositorio Universidad Privada del Norte	No Experimental	2014
Optimización del carguío y acarreo de mineral mediante el uso de indicadores claves de desempeño U.M. CHUCO II de la E.M. UPKAR MINING S.A.C.	Perú	Repositorio Universidad Nacional del Centro del Perú	Experimental	2014
Optimización de la fragmentación en las rocas con la aplicación de la doble iniciación electrónica en la explotación de cobre porfirítico a cielo abierto	Perú	Repositorio Universidad Nacional Mayor de San Marcos	Experimental	2014
On loader productivity, rock strength and explosive energy in metal mining	España		Experimental	2011

Fuente: *Elaboración Propia.*

CAPÍTULO III. RESULTADOS

Efectuando la planificación de la presente revisión sistemática mencionada en la sección anterior, se contó con un total de 20 estudios científicos en los resultados de búsqueda. Referente a estos estudios se obtuvo principalmente la base de datos o revista donde se publicaron, el año de publicación y el tipo de investigación realizada.

Tabla 2

Matriz de registro de estudios científicos.

N°	Base de datos	Autor/autores	Año	Título del artículo de investigación
1	Mining of Mineral Deposits	Singh Choudhary, Bhanwar	2019	Effect of blast induced rock fragmentation and muckpile angle on excavator performance in Surface mines
2	Repositorio UNT	Asunción Gómez, Gianmarco	2019	Incrementar el rendimiento en las excavadoras CAT 336DL reduciendo los tiempos improductivos en mejora de la producción de relleno masivo en minera Tahoe Perú La Arena S.A.
3	Repositorio UNCP	Martínez Aguilar, Edwin Edgardo	2019	Mejoramiento de producción del carguío y transporte mediante la teoría de colas en Compañía Minera Los Andes Perú Gold S.A.C.
4	Repositorio UNAP	Mamani Chalco, Percy	2019	Optimización de la fragmentación y diseño de malla por alteración en perforación y voladura de U.E.A. Valeria-Anabi S.A.C.
5	Repositorio UNT	Alva Vallejos, Norma Alexandra	2019	Optimización de la operación de carguío mediante la evaluación real del rendimiento de la excavadora Volvo 750DL en la Mina Los Andes Perú Gold-Huamachuco
6	Repositorio UNSAAC	Amau torres, Gilmer	2019	Optimización de equipos de carguío y transporte para el incremento de producción en la CIA Minera Antapaccay Espinar-Cusco
7	Repositorio UNAP	Santa Cruz, Arturo Cahuari	2019	Optimización del uso de los equipos de carguío y acarreo en minería superficial en la Compañía Minera Corporación del

				Centro Gold Mining S.A.C-Región la Libertad
8	International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)	Couceiro, P. & Santos, B.	2019	The influence of blasting energy factor on the loading performance
9	Repositorio UNT	Cruz Bermúdez, Cristian Daniel	2018	Influencia del grado de fragmentación (P80) en el rendimiento de la excavadora Volvo EC750D en la Unidad Isabelita de la Compañía Minera Los Andes Perú Gold S.A.C.
10	Repositorio UNC	Bustamante Chávez, José Eder	2018	Optimización de la productividad de los equipos de carguío y acarreo en Gold Fields la Cima S.A. mediante la distribución de las demoras operativas más significativas.
11	Repositorio UNT	Apaza Risco, Elmer Danilo	2017	Disminución de tiempos improductivos para incrementar la utilización de los equipos de carguío y acarreo en la mejora continua de la productividad en el tajo Chalarina en Minera Shahuindo S.A.C.
12	Department of Mining Engineering, IIT (ISM) Dhanbad, India	Choudhary, B.; Agrawal, A. & Chandrahas, N.	2017	Drilling Rows Vis-A-Vis Rock Fragmentation and Muckpile Parameters in Surface Blast
13	Repositorio UNAP	Cotrado Cahui, Roni Alexander	2017	Efecto del parámetro de fragmentación P80 en la velocidad de excavación de las palas Electro-Mecánicas en Mina Cuajone
14	International Journal of Scientific & Engineering Research	Jethro, M.; Shehu, S. & Kayode, T.	2016	Effect of fragmentation on loading at obajana cement company Plc Nigeria
15	Repositorio UNCP	Romero Paúcar, Royer	2016	Voladura con detonadores electrónicos para optimizar la fragmentación y seguridad en el tajo Toromocho-Minera Chinalco Perú S.A.
16	Repositorio UNSA	Checya Ttito, Diego	2015	Gestión de la operación de equipos de movimiento de tierras para mejorar el rendimiento de carguío y acarreo en la Mina Antapaccay
17	Repositorio UPN	Malpica Quijada, Cinthya Fiorella	2014	Evaluación de rendimientos de equipos en las operaciones de movimiento de tierras

18	Repositorio UNCP	Huaroc Pabel Marx	Ccanto, 2014	en el Minado Cerro Negro Yanacocha-Cajamarca Optimización del carguío y acarreo del mineral mediante el uso de indicadores claves de desempeño U.M. Chuco II de la E.M. Upkar Mining S.A.C.
19	Repositorio UNMSM	Hinostroza Jaime Roosevelt	Sierra, 2014	Optimización de la fragmentación en las rocas con la aplicación de la doble iniciación electrónica en la explotación de cobre porfirítico a cielo abierto
20	Universidad Politécnica de Madrid, Minas	Sanchidrián, de Segarra, P. ETSI López, L.	J.; & 2011	On loader productivity, rock strength and explosive energy in metal mining

Fuente: *Elaboración Propia.*

Se presenta la Tabla 2 referente a la matriz que contiene los resultados obtenidos luego de la búsqueda de estudios o publicaciones científicas publicadas en distintas bases de datos, para ello se aplicó diversos criterios tanto de inclusión como de exclusión, a fin de quedarnos con los estudios que respondan a nuestra pregunta de investigación.

Tabla 3

Número de publicaciones por tipo de documento.

Tipo de documento	F	%
Revistas Científicas	5	25
Tesis profesional	15	75
Total	20	100

Fuente: *Elaboración propia.*

En la Tabla 3 se presenta el número de publicaciones referente a los conceptos de estudio, los cuales se encuentran en mayor medida en las tesis profesionales con un 75% en comparación con las revistas científicas con un 25%.

Tabla 4
Distribución de artículos por años.

Años	F	%
2011	1	5
2014	3	15
2015	1	5
2016	2	10
2017	3	15
2018	2	10
2019	8	40
Total	20	100

Fuente: *Elaboración propia.*

La Tabla 4 nos indica que en el año 2019 con un 40%, se realizó la mayor cantidad de estudios relacionado a nuestro tema de investigación, en comparación con años anteriores dentro del intervalo de estudio (2009-2019) los cuales no sobrepasan el 15%.

Tabla 5
Distribución de publicaciones por institución científica.

Base de datos	F	%
Mining of Mineral Deposits	1	5
International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)	1	5
Universidad Politécnica de Madrid. ETSI Minas	1	5
Department of Mining Engineering, IIT (ISM) Dhanbad, India	1	5
International Journal of Scientific & Engineering Research	1	5
Repositorio UNT	4	20
Repositorio UNCP	3	15
Repositorio UNAP	3	15
Repositorio UNSAAC	1	5
Repositorio UNC	1	5
Repositorio UNSA	1	5
Repositorio UPN	1	5
Repositorio UNMSM	1	5

Total	20	100
--------------	-----------	------------

Fuente: *Elaboración propia.*

La Tabla 5 presenta que la Universidad Nacional de Trujillo (20%) y las Universidades Nacionales del Centro del Perú y del Altiplano ambas con 15 % respectivamente tienen el mayor porcentaje de estudios científicos referente a nuestros conceptos de estudio.

Tabla 6

Distribución de los estudios científicos por categorías según tipo de documento.

Tipo de documento	Rendimiento de las excavadoras mineras	Reducción de costos unitarios	Importancia de malla de perforación y tipo de explosivo	Total
Revista científica	1	0	4	5
Tesis profesional	6	6	3	15
Total	7	6	7	20

Fuente: *Elaboración propia.*

La tabla 6 nos presenta la categorización de los estudios científicos, donde se encontraron la misma cantidad de estudios en cuanto a rendimiento de las excavadoras mineras (7) y la importancia de malla de perforación y tipo de explosivo (7), además 6 investigaciones referente a la categoría de reducción de costos unitarios.

Tabla 7

Categorización de los estudios.

Categorías	Aporte
Rendimiento de las excavadoras mineras	<p>De acuerdo con los estudios científicos revisados se puede deducir que tanto la productividad como el rendimiento de las excavadoras en la operación de carguío, integran indicadores de aceptación en las diversas empresas mineras. (Apaza, 2017). El rendimiento de la excavadora se ve incrementado cuando la fragmentación de roca es mayor, así pues cuando se tienen una fragmentación donde el P80 se encuentra entre los 100 y 300 mm la excavadora carga en promedio 1170 t/h, esta producción se ve afectada en 108 toneladas cuando el P80 aumenta cuyo valor se encuentra entre 300 a 600 mm y la excavadora cargaría en promedio 1062 t/h, la excavadora llega a tener el rendimiento más deficiente cuando el P80 se encuentra entre los 600 y 1000 mm teniendo una producción de 912 t/h lo cual llegaría a ser 258 toneladas menos que la producción inicial. (Cruz, 2018) y (Choudhary, 2019). De ese modo podemos llegar a confirmar que el rendimiento promedio de los equipos de carguío está directamente relacionado con la granulometría: 390.5 m³/hora con granulometría media y 316 m³/hora con granulometría grande. (Alva, 2019).</p> <p>Además, se tiene en consideración la velocidad de excavación evidenciándose que sufren un incremento de velocidad de excavación cuando se reduce el factor P80 del material y de manera contraria la velocidad de excavación se ve reducida cuando el P80 del material incrementa. (Cotrado, 2017) y (Cahuari, 2019). Así mismo se puede confirmar que el rendimiento real de las excavadoras es menor al rendimiento teórico. (Malpica, 2014).</p>

El costo unitario de la operación de carguío se ve reducido cuando se disminuye los tiempos improductivos de 21.79 \$/Tm a 21.05 \$/Tm, de ese modo se logra obtener una mejora económica de la empresa minera. (Martínez, 2019). Así también Asunción (2019) indica que estos costos unitarios dependen principalmente del rendimiento de la excavadora, es decir que al reducir las demoras operativas se observa el incremento de la producción y por consiguiente la reducción de dichos costos.

La operación unitaria de carguío está íntimamente relacionada con la disponibilidad de camiones (Operación de acarreo) ya que se logra una eficiencia en cuanto al costo unitario de carguío si se tiene una flota adecuada de camiones. (Checya, 2015).

Reducción de costos
unitarios

El adecuado manejo de diferentes indicadores tales como: fragmentación, accesibilidad a las zonas de carguío, disponibilidad de equipos; tienen una gran influencia en cuanto a la disminución de costos operativos de carguío, los cuales se redujeron en 0.02 \$/Tn lo que es una disminución económica importante para la empresa. (Amauy, 2019). Igualmente, Huarocc (2014) sostiene que la adecuada gestión de estos indicadores permite una disminución de costos en 0.44 \$/Tn en la operación unitaria de carguío.

Si no se considera las mejoras necesarias en la operación unitaria de carguío, se puede reducir la producción llegando a observar que se dejó de mover 426,284 toneladas de mineral y 475,843 toneladas de desmonte los cuales conjuntamente se valorizan en \$ 13,445,975.8 lo que significa una gran pérdida para la empresa. (Bustamante, 2018).

Importancia de malla
de perforación y tipo
de explosivo

Al tener un mayor control en cuanto al diseño de malla y a la cuantía adecuada de explosivos adecuados se logra una mejor granulometría de roca, de esa forma se entiende que al tener una correcto P80 se mejora tanto el rendimiento de los equipos de carguío como el porcentaje de recuperación de mineral. (Mamani, 2019). Además, teniendo las consideraciones anteriores se obtuvo un P80 de 32.5 cm y 17.9 cm en los niveles 2920 y 2905 respectivamente, teniéndose así una disminución del tiempo de carguío del 17%. (Hinostroza, 2014).

El empleo de dispositivos de iniciación tales como el detonador electrónico permiten mejorar el P80; en el lado Oeste se mejoró en 5.4% , mientras que en el lado Este se mejoró en 16.7% lográndose así un aumento de productividad de equipo de carguío en la zona Oeste de 2.1% y en la zona Este de 7% . (Romero, 2016). Sin embargo, los dispositivos de iniciación por sí solos no garantizan una correcta fragmentación, sino también dependerá del tipo de explosivo que se emplea; al usar emulsión tradicional se redujo el tiempo promedio de llenado de cucharón de 58.31 s a 45.3 s con Hidrogel, siendo una reducción del 22.4%. (Couceiro, P. & Santos, B., 2019). Además, se debe considerar las características técnicas de la roca principalmente la resistencia y densidad, para a partir de ello elegir el adecuado tipo de explosivo y así lograr el rendimiento de las excavadoras en relación a la fragmentación. (Sanchidrián, J.; Segarra, P. & López, L., 2011).

Para obtener un adecuado tamaño de fragmento de roca debemos considerar los diferentes parámetros de diseño de malla tales como: espaciado, diseño de perforación, tipo de disparo y retardo entre hileras, de esa forma se logrará formar una uniformidad en cuanto al grado de fragmentación. (Jethro, M.; Shehu, S. & Kayode, T., 2016). En relación a los parámetros mencionado anteriormente se obtendría una distribución correcta de los índices P20, P50, P80 y P100 para las diferentes explosiones. (Choudhary, B.; Agrawal, A. & Chandrahas, N., 2017).

Fuente: *Elaboración propia.*

Al analizar los estudios científicos contemplamos que el adecuado grado de fragmentación mejora el rendimiento de las excavadoras mineras, reduciéndose de ese modo los tiempos improductivos.

Por otra parte el tamaño de roca adecuado influye en la disminución de costos unitarios en la etapa de carguío, así pues se logra mejorar la economía de la empresa minera.

Además, se hace notar la importancia del diseño de malla de perforación y tipo de explosivo, para la obtención de un adecuado grado de fragmentación, de esa forma entendiéndose que al lograr una correcta granulometría (P80) se mejora el rendimiento de los equipos empleados en la etapa de carguío.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La presente revisión sistemática estudio las diferentes literaturas científicas publicadas tanto en revistas científicas: Mining of Mineral Deposits, International Journal of Scientific & Engineering Research, International Journal Engineering Research & Technology (IJERT); Así como en repositorios de universidades nacionales e internacionales, referente al tema de investigación: Grado de fragmentación en la productividad de los equipos de carguío en los proyectos mineros entre los años 2009 y 2019. De esa forma se tuvo que recolectar información de dicho tema en la base de datos antes mencionadas.

Comparando los aportes de la primera categoría de los diferentes estudios científicos se detectó que el rendimiento de las excavadoras mineras incrementan cuando la fragmentación de la roca (P80) es mayor, ya que al comprar diversos tipos de granulometrías (de 100 a 300 mm, de 300 a 600 mm y de 600 a 1000 mm) se constata que la producción se ve afectada en la medida que el grado de fragmentación va aumentando: Producción inicial 1170 t/h, 1062 t/h y 912 t/h respectivamente. (Cruz, 2018) y (Choudhary, 2019). De ese modo se comprende que el grado de fragmentación se debe tener muy presente si es que se quiere incrementar el rendimiento de las excavadoras, aprovechando así el máximo porcentaje del factor de utilización de dicho equipo de carguío. Esto se logra confirmar con el estudio realizado por Alva (2019) nos menciona que los rendimiento promedio de los equipos de carguío se relaciona directamente con la granulometría teniendo 390.5 m³/h con granulometría media y 316 m³/h con granulometría grande.

Además, Apaza (2017) menciona que de acuerdo con los estudios científicos antes revisados se deduce que la productividad y el rendimiento de las excavadoras son indicadores de éxito en las diferentes empresas mineras.

Todas las empresas mineras buscan reducir el costo de sus operaciones unitarias, ya que al reducirlo esto generará mayores utilidades, esta reducción está estrechamente ligada a la granulometría obtenida y a la disposición oportuna de camiones. Estos costos unitarios dependen primordialmente del rendimiento de las excavadoras, es decir que se tendrá una mayor producción y por ende se disminuirán dichos costos. (Asunción, 2019). También Checya (2015) complementa que la etapa de carguío está íntimamente relaciona con la disponibilidad

de camiones, ya que de esa manera se logra una eficiencia en cuanto al costo unitario de carguío.

Así también Amauy (2019) considera que los indicadores tales como: fragmentación, accesibilidad a la zona de carguío y disponibilidad de quipos reducen los costos operativos de carguío, ya que en su estudio realizado estos costos disminuyeron en 0.02 \$/Tn cuando se manejaron correctamente dichos indicadores.

De forma contraria al no tomar las medidas adecuadas para manejar los indicadores antes mencionados, Bustamente (2018) nos menciona que se puede reducir la producción ya que en su estudio se dejó de mover 426,284 toneladas de mineral y 475,843 toneladas de desmonte los cuales se valorizan en \$ 13,445,975.8 lo que significa una enorme pérdida para la empresa.

Por otra parte Mamani (2019) comenta que la fragmentación depende netamente de la etapa de perforación y voladura, para ello se debe tener en cuenta principalmente el diseño de malla y tipo de explosivos a emplear, así pues, al tener una buena granulometría se mejora tanto el rendimiento de los equipos de carguío como el porcentaje de recuperación del mineral.

Según el estudio de Romero (2016) nos indica que el uso de dispositivos de iniciación como el detonador electrónico permite mejorar el P80; como nos muestra en el lado Oeste se mejoró 5.4%, mientras que en lado Este se mejoró 16.7% lográndose así que el equipo de carguío aumente su productividad en ambas zonas. Además, Couceiro & Santos (2019) sostienen que los dispositivos de iniciación no siempre garantizan una correcta fragmentación, pues también depende del tipo de explosivo que se emplea, ya que en su estudio realizado el tiempo promedio de llenado de cucharón se redujo en un 22.4% cuando se usó Hidrogel con respecto a la emulsión tradicional.

CONCLUSIONES

- A partir de la revisión de los diferentes aportes de los estudios científicos, se concluye que para mejorar el rendimiento de las excavadoras mineras se debe tener muy presente el grado de fragmentación de roca, encontrándose este entre los 100 y 300 mm, es decir cuando esta sea una granulometría media ya que al aumentar este indicador, la producción disminuiría.

- Se concluye que teniendo en cuenta la granulometría media, los costos unitarios en la etapa de carguío se reducen entre 1.5 % a 3.4 % aproximadamente, según la revisión esto conlleva a una mejora significativa en cuanto a la economía de diversas empresas mineras.
- El diseño de malla de perforación y tipo de explosivo desempeñan un rol vital en cuanto al grado de fragmentación obtenido, puesto que si se hace un correcto manejo de sus principales parámetros tales como: Dispositivos de iniciación, diseño de perforación, tipo de disparo, espaciado y retardo entre hileras se puede lograr un correcto P80, encontrándose este entre 100 y 300 mm, sin embargo estos parámetros dependerán de la geología del yacimiento, es decir del tipo y calidad de roca.
- Al finalizar la elaboración de la presente revisión sistemática, se pudo conocer que la fragmentación de roca (P80) no sólo determina la eficiencia de los equipos de carguío, sino también está directamente relacionado con el manejo de costos.
- Durante la elaboración del presente trabajo de investigación se presentaron dos principales limitaciones: La primera fue la poca información accesible referente a nuestro tema de estudio; se pudo encontrar estudios de muy buena calidad sin embargo, estos no contaban con el permiso completo del autor y la segunda fue el idioma en el que se encontraban los estudios (Ruso, Chino) los cuales hacían imposible su traducción.
- Se sugiere reunir más información referente a cuál es el grado de fragmentación en la productividad de los equipos de carguío en los diferentes proyectos mineros, para así poder conocer la estrecha relación que tiene la fragmentación de roca (P80) con la productividad de los equipos de carguío.

REFERENCIAS

- Alonso, J.; Gómez, J. & Herbert, J. (2013). *Perforación y voladura de rocas en minería*. Universidad Politécnica de Madrid, España, Madrid.
- Alva, N. (2019). “*Optimización de la operación de carguío mediante la evaluación real del rendimiento de la excavadora Volvo 750 DL en la Mina Los Andes Perú Gold-Huamachuco*”. (Tesis título universitario). Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú. Recuperado el 18 de abril de 2020 de: <http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/14726/ALVA%20VALLEJO%20NORMA%20ALEXANDRA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Amáu, G. (2019). “*Optimización de equipos de carguío y transporte para el incremento de producción en la CIA Minera Antapaccay Espinar-Cusco*.” (Tesis título universitario). Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco, Perú. Recuperado el 18 de abril de 2020 de: http://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/UNSAAC/4644/253T20190604_TC.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Apaza, R. (2017). “*Disminución de tiempos improductivos para incrementar la utilización de los equipos de carguío y acarreo en la mejora continua de la productividad en el tajo Chalarina en Minera Shahuindo S.A.C.*” (Tesis título universitario). Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú. Recuperado el 18 de abril del 2020 de: <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/9400>
- Asunción, G. (2019). “*Incrementar el rendimiento en las excavadoras CAT 336DL reduciendo los tiempos improductivos en mejora de la producción de relleno masivo en Minera*

- Tahoe Perú la Arena S.A.*” (Tesis título universitario). Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú. Recuperado el 18 de abril de 2020 de: [http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/13397/ASUNCI%
c3%93N%20G%
c3%93MEZ%20GIANMARCO.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/13397/ASUNCI%c3%93N%20G%c3%93MEZ%20GIANMARCO.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Bustamante, J. (2018). “*Optimización de la productividad de los equipos de carguío y acarreo en Gold Fields La Cima S.A. mediante la disminución de las demoras operativas más significativas*”. (Tesis título universiotario). Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú. Recuperado el 18 de abril de 2020 de: [http://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/2603/TESIS%
20PROFESIONA
L.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/2603/TESIS%20PROFESIONA
L.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Cahuari, A. (2019). “*Optimización del uso de los equipos de carguío y acarreo en minería superficial en la Compañía Minera Corporación del Centro Gold Mining S.A.C - Región la Libertad*”. (Tesis título universitario). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú. Recuperado el 18 de abril de 2020 de: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/12152>
- Checya, D. (2015). “*Gestión de la operación de equipos de movimiento de tierras para mejorar el rendimiento de carguío y acarreo en la Mina Antapaccay*” (Tesis título universitario). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú. Recuperado el 18 de abril del 2020 de: <http://bibliotecas.unsa.edu.pe/handle/UNSA/204>
- Choudhary, B. (2019). *Effect of blast induced rock fragmentation and muckpile angle on excavator performance in surface mines*. Mining of Mineral Deposits.
- Choudhary, B.; Agrawal, A. & Chandrahas, N. “*Drilling Rows Vis-A-Vis Rock Fragmentation and Muckpile Parameters in Surface Blast*”.

Cook, D.; Mulrow, C. & Haynes, R. (1997). *Systematic reviews: synthesis of best evidence for clinical decisions*. Ann Intern Med;126(5):376-80.

Cotrado, R. (2017). “*Efecto del Parámetro de Fragmentación P80 en la Velocidad de Excavación de las Palas Electro-Mecánicas en Mina Cuacone*” (Tesis Título Universitario). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú. Recuperado el 18 de abril del 2020 de: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/9014>

Couceiro, P. & Santos, B. *The Influence of Blasting Energy Factor on the Loading Performance*. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)

Cruz, C. (2018). “*Influencia del grado de fragmentación (P80) en el Rendimiento de la excavadora volvo EC750D en la unidad Isabelita de la Compañía Minera los Andes Perú Gold S.A.C*”. (Tesis título universitario). Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú. Recuperado el 18 de abril de 2020 de: <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/11055>

Hinostroza, J. (2014). “*Optimización de la fragmentación en las rocas con la aplicación de la doble iniciación electrónica en la explotación de cobre porfirítico a cielo abierto*” (Tesis título universitario). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú. Recuperado el 18 de abril del 2020 de: <http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/cybertesis/4039>

Huaroc, P. (2014). “*Optimización del carguío y acarreo de mineral mediante el uso de indicadores claves de desempeño U.M.Chuco II de la E.M. Upkar Mining S.A.C*.” (Tesis título Universitario). Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú. Recuperado el 18 de abril del 2020 de: <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/1337/%e2%80%9cOPTIMIZ>

ACION%20DEL%20CARGUIO%20Y%20ACARREO.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Hudson, P. (2003). *Factores que afectan la productividad y costo en el carguío y transporte*. USA: Runge Latin America Ltda.

Jethro, M.; Shehu, S. & Kayode, T. (2016). *Effect of Fragmentation on Loading at Obajana Cement Company Plc, Nigeria*. International Journal of Scientific & Engineering Research, 7(4).

López, E. & García, P. (2003). *Manual de perforación y voladura de rocas*. España: Instituto Tecnológico Geominero.

Malpica, C. (2014). “*Evaluación de rendimientos de equipos en las operaciones de movimiento de tierras en el minado cerro negro Yanacocha – Cajamarca*”. (Tesis título Universitario). Universidad Privada del Norte, Trujillo, Perú. Recuperado el 18 de abril del 2020 de: <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/6653>

Mamani, P. (2019). “*Optimización de la fragmentación y diseño de malla por alteración en perforación y voladura de U.E.A. Valeria - Anabi S.A.C.*” (Tesis título universitario). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú. Recuperado el 18 abril de 2020 de: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/11737>

Martinez, E. (2019). “*Mejoramiento de producción del carguío y transporte mediante la teoría de colas en Compañía Minera Los Andes Perú Gold SAC*”. (Tesis título universitario). Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú. Recuperado el 18 de abril de 2020 de:

[http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/4941/T010_47479449_T.pdf?
sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/4941/T010_47479449_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Newell, R. & Burnard P. (2006). *Vital Notes for Nurses: Research for evidence-based practice*.
New Jersey: Wiley Blackwell.

Ortiz y Herrada. (2002). *Introducción a los fundamentos de la tecnología minera*. España:
España.

Romero, R. (2016). “*Voladura con Detonadores Electrónicos para Optimizar la
Fragmentación y Seguridad en el Tajo Toromocho – Minera Chinalco Perú S.A.*”
(Tesis título Universitario). Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo,
Perú. Recuperado el 18 de abril del 2020 de:
<http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/3897>

Sanchidrián, J.; Segarra, P. & López, L. (2011). “*On loader productivity, rock strength and
explosive energy in metal mining*”. In 6th EFEE world conference on explosives and
blasting, Portugal.

Untol, W. (2017). “*Influencia del P80 en la recuperación de oro en el proceso de lixiviación
en pads dinámicos mediante la optimización de los parámetros geométricos de
perforación y voladura en taladros de producción en Compañía Minera San
Simón*” (Tesis título universitario). Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú.
Recuperado el 18 de abril del 2020 de:
[http://www.dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/9322/UNTOL%20CRU
Z%20WILDER%20EDUARDO.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://www.dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/9322/UNTOL%20CRUZ%20WILDER%20EDUARDO.pdf?sequence=1&isAllowed=y)