

ARTÍCULO ORIGINAL
INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES Y ESTADÍSTICA

Desgaste de la carga abrasiva de un molino de bolas usando el mineral de basalto

Wear of the abrasive load of a ball mill using basalt ore

Anthony Leonardo Zambrano-Solórzano <https://orcid.org/0009-0006-0358-9887>

Neyfe Sablón-Cossío <https://orcid.org/0000-0002-6691-0037>

Carlos García-Mendoza <https://orcid.org/0000-0002-6580-2560>

Universidad Técnica de Manabí, Carrera de Ingeniería Industrial, Portoviejo, Ecuador

*Correo para correspondencia: azambrano4735@utm.edu.ec

RESUMEN

Este estudio evalúa el desgaste de la carga abrasiva en un molino de bolas usando el mineral de basalto en la provincia de Manabí. Dichos molinos muelen los minerales y se les desgasta las esferas de acero e influyen las condiciones operativas del equipo. El mineral basalto fue seleccionado por su dureza y resistencia. Se diseñó una metodología de investigación: exploratoria, cualitativa, descriptiva y experimental; para evaluar el desgaste mediante varios ensayos, tales como: la prueba de pérdida de masa y la prueba de desgaste por abrasión. Los resultados indicaron que tanto las esferas de acero como el mineral de basalto llegaron a experimentar un bajo desgaste durante los ensayos. Se obtiene información valiosa sobre el desgaste de la carga abrasiva del mineral de basalto en los molinos de bolas, al conocer el impacto del desgaste. Estos hallazgos pueden tener implicaciones significativas en la industria minera.

Palabras clave: evaluación; desgaste de la carga abrasiva; mineral de basalto; esferas de acero inoxidable; molienda.

ABSTRACT

This study focuses on the evaluation of wear of the abrasive load in a ball mill using basalt ore in the province of Manabí. These mills grind minerals and wear out steel spheres and influence the operating conditions of the equipment. The basalt mineral was selected for its hardness and resistance. An exploratory, qualitative, descriptive and experimental research methodology was designed to evaluate the wear using several tests, such as mass loss test and abrasive wear test. The results indicated that both the steel spheres and the basalt ore

experienced low wear during the tests. Valuable information on the wear of the abrasive load of basalt ore in ball mills is gained by knowing the impact of wear. These findings may have significant implications in the mining industry.

Keywords: assessment; wear of the abrasive charge; basalt ore; stainless steel spheres; grinding.

Recibido: 17/10/2023

Aprobado: 18/12/2023

Introducción

De acuerdo a Inga (2021), los molinos de bolas son equipos empleados en la industria minera para la trituración y molienda de minerales a granel, utilizando bolas de acero o cerámica [1]. Se encargan de triturar y de moler, en el proceso de molienda las bolas de acero tienden a someterse a medios de un desgaste abrasivo significativo.

El desgaste abrasivo es un fenómeno normal que se puede observar en el proceso de molienda, producidas por el contacto repetitivo del mineral con las esferas de acero. El desgaste causa una consecuencia como el de mayor consumo de energía y reducción de la eficiencia en el proceso (Ortiz et al., 2020) [2].

Un problema que afronta la industria minera en la operación de un molino de bolas es el desgaste de las bolas de acero. Los factores que pueden ocasionar el desgaste son la mala selección de las esferas de acero, velocidad incorrecta de la rotación del molino, la carga abrasiva de una manera inapropiada, entre otros factores, reduciendo la productividad de la industria minera (Correa, 2020) [3].

En la provincia de Manabí la industria minera tiene un potencial significativo, el sector minero en el Ecuador toma parte el Ministerio de Minas y energía, encargada de trazar estrategias para impulsar la industria minera para su formalización y expansión (Chevasco y García, 2023) [4].

Estudios que se han realizado en el tema de desgaste de la carga abrasiva en los molinos de bolas, han llegado a demostrar la falta de investigación sobre el uso del mineral basalto empleado a la carga abrasiva, por lo que existe poca información sobre la evaluación del desgaste de las esferas de acero en el proceso de la molienda.

Esta investigación tiene como objetivo evaluar el desgaste de la carga abrasiva en un molino de bolas, con el mineral de basalto como material de estudio en la provincia de Manabí. Se busca comprender y analizar los factores que influyen en el desgaste de la molienda con una carga abrasiva. Para lo cual se deben precisar algunos elementos teóricos:

EVALUACIÓN DEL DESGASTE DE LA CARGA ABRASIVA DE UN MOLINO DE BOLAS USANDO EL MINERAL DE BASALTO EN LA PROVINCIA DE MANABÍ

Molino de bolas

Los molinos de bolas son equipos muy utilizados en las industrias mineras para el proceso de molienda de minerales, su funcionamiento se basa en triturar y moler a minerales a medida que el tambor del molino gira, como resultado de este proceso se reduce el tamaño de partículas de los minerales valiosos, siendo la parte principal de la molienda en molinos de bolas (Da Cunha y Romero, 2022) [5].

Tipos de Molino de bolas

Los molinos son herramientas esenciales en la industria de la minería, los tipos de molinos de bolas que se utilizan en el proceso de molienda son:

- 1. Molinos de bolas convencionales.:** Estos molinos permiten la molienda utilizando bolas de acero y el mineral este proceso surge al impacto entre sí y contra las paredes del molino, estos molinos son: Molino de descarga de rejilla, Molinos de descarga periférica, Molinos de Molienda en seco, Molinos con relación especial de longitud a diámetro, Molinos con opciones de molienda a alta temperatura (Rosales, 2020) [6].
- 2. Molinos autógenos o semi autógenos:** Este molino utiliza el mismo mineral como medio de molienda en ocasiones se combina con un porcentaje de bolas que sean semi autógeno, normalmente este tipo de molinos se usan para la trituración y la molienda de minerales de gran tamaño, estos molinos son: Molinos Autógenos (AG) utiliza rocas de tamaño intermedio como medio de molienda, Molinos Semi autógenos (SAG) utiliza minerales y esferas de acero para realizar la molienda (Francisco, 2020) [7].
- 3. Molinos Pebbles:** Este molino utiliza cuerpos no metálicos, naturales como medios de molienda, estos molinos son: Molinos de Pebble de Metso, Molino de Guijarro – Pebbles (Sovero, 2022) [8].

Minerales que usan el molino de bolas

Alguno de minerales que se utilizan para moler y mezclar en el molino de bolas son los minerales ferrosos y no ferrosos, Silicatos. Sin embargo, algunos minerales que el molino de bolas no es la opción más adecuada, estos son los materiales muy viscoso y trozos de gran tamaño (Pretel, 2022) [9].

Mantenimiento debido al desgaste

El costo del mantenimiento en los molinos de bolas puede variar ya sé el tipo de maquinaria, la frecuencia de uso y el tipo de mantenimiento. En la industria minera, por lo general se sitúa entre un 5 % a 10 % del precio total del producto o el orden de un 1% al 1.5 % de la Inversión Media Anual (Cesar, 2023) [10].

Procesos de Molienda

Los procesos de la molienda en molino de bolas es un proceso muy importante en las industrias mineras para el procesamiento de los minerales, esta consiste en reducir el tamaño de las partículas del mineral, por medio de la acción de impacto

y abrasión mientras giran dentro del molino de bolas, esta se va pulverizando hasta el tamaño deseado (Rodríguez y Almonte, 2021) [11].

Tipos de Desgastes producidos

El desgaste en un molino de bolas puede ocurrir en varias áreas, como el revestimiento del molino, rodamiento y engranajes y los medios de molienda, estos desgastes pueden variar dependiendo del tipo de mineral el cual se esté procesado, las condiciones operativas del molino (Mejía et al, 2023) [12].

Desgaste de la carga abrasiva en molino de bolas.

Un desgaste causado por la carga abrasiva en los molinos de bolas, hace referencia a la pérdida de materia en medios de la molienda, como las bolas o barras, las cuales se utilizan para fragmentar y moler el mineral, este desgaste puede tener un impacto significativo en la eficiencia y en el rendimiento de la molienda (Pie et al., 2023) [13].

Los desgastes de la carga abrasiva pueden estar influenciados por diferentes factores, los cuales pueden causar pérdidas de material. Estos pueden ser por la dureza del mineral, la composición mineralógica y el tamaño de las partículas en la parte del molino, son afectadas por la velocidad de rotación del molino, condiciones de operación (López, 2023) [14].

Las propiedades físicas y químicas de los minerales en el proceso de molienda cumplen una parte fundamental en el desgaste de la carga abrasiva, por su dureza, resistencia al impacto, composición química y la microestructura, ya que estas afectan la capacidad para resistir el desgaste (Galindo y Fernández, 2019) [15].

La proporción de las bolas de acero y la de minerales afecta a la carga abrasiva, mientras mayor sea el tamaño de las bolas de acero que la del mineral, estas diferencias en el proceso generan mayor impacto entre las bolas, provocando un mayor desgaste y si el mineral tiene una carga más elevada, en cambio, puede generar presión mayor sobre las bolas y esto generaría un desgaste aún más rápido (Machaca, 2020) [16].

Esferas de acero Inoxidable

Las esferas de acero Inoxidable están hechas de una aleación de acero que contiene cromo, lo que le proporciona una alta resistencia a la corrosión. Pasan por dos procesos: recocido, en el que se calienta rápidamente y se enfría lentamente, y estabilización, en que se aplica un revestimiento fino de óxido metálico, que las hacen más resistentes a la corrosión (Vélez, 2020) [17].

Esferas de acero no Inoxidable

Las esferas de acero no Inoxidable están compuestas por carbono, están hechas principalmente de hierro y carbono. A diferencia del acero inoxidable, no contienen cromo, por lo que no tienen la misma resistencia a la corrosión. Sin embargo, son más duras y pueden soportar más desgaste antes de deformarse o romperse (Luz, 2022) [18].

Los métodos para evaluar el desgaste se clasifican en:

- **Prueba de pérdida de masa**

EVALUACIÓN DEL DESGASTE DE LA CARGA ABRASIVA DE UN MOLINO DE BOLAS USANDO EL MINERAL DE BASALTO EN LA PROVINCIA DE MANABÍ

El método de evaluación por prueba de pérdida de masa, son los más comunes para evaluar el desgaste de la carga abrasiva, este método tiende a consistir en medir diferentes bolas antes y después de un periodo de operación utilizando el molino (Leyton, 2022) [19].

El procedimiento de la prueba de pérdida de masa se realiza primero seleccionando un lote representativo de bolas, medir la masa antes de la introducción del molino, calcular las bolas que se incluye en el molino y operar por un periodo de tiempo, sacar las bolas del molino y secarlas, calcular la pérdida de la masa, mencionando que este método es una evaluación indirecta del desgaste y es un método ampliamente utilizado por su simplicidad y eficiencia (Pérez et al., 2020) [20].

- **Prueba de desgaste por impacto**

La prueba de desgaste por impacto es un método que se utiliza para la evaluación del desgaste abrasivo, esta se realiza tomando registros y analizando las colisiones entre las bolas del molino y el material a moler (Aguilar, 2020) [21].

La prueba de desgaste por impacto se realiza seleccionando las bolas de prueba, enmarcándolas con la finalidad de identificarlas y se introducen en el molino junto al material a moler, después del proceso se retiran y se examinan visualmente o a un análisis más detallado, esto nos permite evaluar el grado de desgaste de las bolas y determinar la tasa de desgaste por impacto (Tapia y Parra, 2022) [22].

- **Prueba de desgaste por abrasión**

El desgaste por abrasión es un método comúnmente son utilizados en la evaluación del desgaste de la carga abrasiva, este implica exponer las bolas del molino a condiciones controladas, para después examinar el grado de desgaste (Ortiz et al., 2020) [2].

- **Prueba de desgaste por deslizamiento**

Este método implica someter las bolas a ciclos repetitivos de deslizamiento, por condiciones controladas y medir el desgaste que obtengamos como resultado, esta prueba proporciona información importante sobre la resistencia al desgaste de las bolas que son utilizadas en el molino (Contreras y Sequera, 2020) [23].

- **Prueba de desgaste por erosión**

El método de prueba por desgaste por erosión, esta es utilizada para evaluar el desgaste de la carga abrasiva de un molino de bolas, estas ocurren por las partículas sólidas impactan y se desgastan de la superficie de las bolas, esta prueba se realiza por la preparación de las muestras, la prueba de desgaste, análisis del desgaste, interpretación de los resultados permitiendo así nos permite evaluar y cuantificar el desgaste de carga abrasiva del molino de bolas (Amón, 2021) [24].

Métodos

Esta investigación es de carácter: exploratorio, cualitativo, descriptivo y experimental. La revisión bibliográfica permitió explorar diferentes teorías,

permitiéndonos demostrar los diferentes enfoques y metodologías, las mismas que se pueden implementar para la evaluación de desgaste abrasivo en un molino de bolas. El método cualitativo permite una mejor comprensión y un mejor análisis de los aportes de diferentes autores, permitiendo extraer elementos importantes, los cuales aporten a nuestra investigación para un mejor desarrollo. El método descriptivo se centra en proporcionar de una mejor forma el contexto en una manera más detallada de las particularidades inherentes al estudio, las cuales emergen del análisis de la literatura existente. El método experimental incluye la prueba de pérdida de masa y la prueba de desgaste, la cual nos permitirá evaluar y analizar los resultados para demostrar la causa del desgaste en la carga abrasiva en el molino de bolas.

La fuente de información que ayudó a esta investigación fueron de tipo secundario, las cuales son de acceso libre, tales como: revistas científicas y proyectos de tesis, las cuales abordan alguna perspectiva al desgaste de carga abrasiva, permitiendo abordar un escenario teórico para este estudio.

El trabajo experimental se efectuó en un molino de bolas usando el mineral de basalto y las esferas de acero Inoxidable y no Inoxidable, las cuales tienen el mismo diámetro y masa como muestra de estudio, en Tabla 1 se puede observar la composición química de las esferas y del mineral de basalto.

Tabla 1. Composición Química

Referencias	Composición
Esferas de acero	Diámetro aproximado de 25 mm y su masa de 39,3 g
Mineral de Basalto	Roca Ígnea volcánica compuesta de minerales oscuros y densos, color negro, dureza entre 5 a 6 Mohs.

Los equipos utilizados para la preparación del basalto antes de introducirlos en el molino de bolas son mostrados en la Tabla 2.

Tabla 2. Equipos Empleados

Equipo	Característica
Balanza	Permite determinar la masa con una precisión de 4,590 mg con un margen de error de 0.001 %.
Horno Humboldt	Mantiene una temperatura uniforme de 110 + 5° C (230 +9° F).
Tamices de Abertura	Son dispositivos utilizados para separar partículas sólidas de diferentes tamaños.
Maquina los Ángeles	Cilindro hueco de acero con una longitud interior de 508 6 5 mm con un diámetro interior de 7116 5 mm, con una placa de acero de espesor entre 12 mm.

La muestra de mineral de basalto se trituró y tamizó para obtener partículas de diferentes tamaños.

En el laboratorio la muestra de mineral de basalto se secó en el horno con una temperatura constante comprendida entre 110 + 5° C (230 +9° F) para

EVALUACIÓN DEL DESGASTE DE LA CARGA ABRASIVA DE UN MOLINO DE BOLAS USANDO EL MINERAL DE BASALTO EN LA PROVINCIA DE MANABÍ

eliminar cualquier contenido de humedad, de acuerdo con la granulometría solo toma una cantidad hasta el requerimiento de la nuestra muestra total de 1 Kg.

Resultados

Se presentan y analiza lo obtenido del ensayo de desgaste de la carga abrasiva de un molino de bolas usando el mineral de basalto en la provincia de Manabí.

El basalto es una roca ígnea volcánica de mucho interés para la industria minera. Algunas de las características y relevancia de este mineral se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Características del mineral de basalto.

Propiedades	Caracterización
Minerales Principales	Plagioclasas ricas en calcio 20 a 50 %, piroxeno 15 a 20 %, anfíboles entre el 10 al 20 %, olivino 30 % del volumen.
Composición química	En un rango del 45 al 52 % de Sílice, óxido de Aluminio en un 15 %, óxido ferroso 7 %, magnesio 6 %, óxido de calcio puede llegar hasta el 9 %.
Dureza	Entre 5 – 9 entre la escala Mohs.
Textura	Afanítica su tamaño es menor a 1 mm.
Color	Gris oscuro o negro.

Para este estudio, se utilizaron esferas de acero inoxidable 304 y mineral de basalto. Las esferas tienen un diámetro de 25 mm y una densidad de $7,9 \text{ g/cm}^3$, con un peso de 39,3 g por esfera. Se usaron 10 esferas por cada ensayo, lo que equivale a una masa total de 393 g. La cantidad de mineral utilizado en el molino es de 1 kg por ensayo.

Prueba de pérdida de masa

Se sometió el mineral a la carga abrasiva mediante la prueba pérdida de masa en el molino durante un periodo de 90 minutos y tomando registro de la masa cada 30 minutos con una velocidad del molino de rotación de 100 rpm. Los resultados de las pruebas de pérdida de masa realizadas en un molino de bolas utilizando esferas de acero inoxidable y no inoxidable se presentan en las Tablas 4 y 5, respectivamente.

Tabla 4. Ensayo de pérdida de Masa con esferas de acero inoxidable.

Tiempo (minutos)	Masa inicial (g)	Masa final (g)	Pérdida de masa %
0	1000	1000	0
30	1000	900	10
60	900	810	10
90	810	729	10

Tabla 5. Ensayo de pérdida de masa con esferas de acero no Inoxidable.

Tiempo (minutos)	Masa inicial (g)	Masa final (g)	Pérdida de masa %
0	1000	1000	0
30	1000	920	9
60	910	828	9
90	828	753	9

En la Tabla 4, se observa que la pérdida de masa del mineral de basalto es constante a lo largo del tiempo, con una tasa del 10% cada 30 minutos cuando se utilizan esferas de acero inoxidable. Esto indica que el desgaste es predecible y constante durante el proceso de molienda con esferas de acero inoxidable.

En contraste, los resultados presentados en la Tabla 5 muestran una tasa ligeramente menor de pérdida de masa del 9% cada 30 minutos cuando se utilizan esferas de acero no inoxidable. Aunque la tasa de pérdida de masa sigue siendo constante, es notablemente menor en comparación con la tasa observada cuando se utilizan esferas de acero inoxidable.

Prueba de Desgaste

Se realizó el ensayo de desgaste por abrasión utilizando la máquina de los ángeles, se aplicó una velocidad de rotación de 100 rpm y un tiempo de molienda de 30 minutos. Se tomó medidas del peso al inicio y al final del ensayo de las esferas. Los resultados del desgaste con esferas inoxidables se muestran en la tabla 6 y los resultados del ensayo de desgaste con esferas no Inoxidable en la tabla 7.

Tabla 6. Resultados del ensayo de desgaste por abrasión con esferas inoxidables.

Ensayo	Peso Inicial de las esferas (g)	Peso final de las esferas (g)	Perdidas de peso de Esferas (g)	Peso Inicial del Mineral (g)	Peso final del Mineral (g)	Pérdida de Peso Mineral (g)
1	393	391,2	1,8	1000	998,4	1,6
2	393	390,2	2,1	1000	998,2	1,8
3	393	391,4	1,6	1000	998,7	1,3

EVALUACIÓN DEL DESGASTE DE LA CARGA ABRASIVA DE UN MOLINO DE BOLAS USANDO EL MINERAL DE BASALTO EN LA PROVINCIA DE MANABÍ

Tabla 7. Resultados del ensayo de desgaste por abrasión con esferas no Inoxidable.

Ensayo	Peso Inicial de las esferas (g)	Peso final de las esferas (g)	Perdidas de peso de Esferas (g)	Peso Inicial del Mineral (g)	Peso final del Mineral (g)	Pérdida de Peso Mineral (g)
1	393	391	2	1000	998	2
2	393	390	3	1000	997	3
3	393	389	4	1000	996	4

En la Tabla 6, se observa que el uso de esferas inoxidable resultó en pérdidas de peso tanto para las esferas como para el mineral. Las pérdidas de peso de las esferas variaron entre 1,6 g y 2,1 g, mientras que las pérdidas de peso del mineral oscilaron entre 1,3 g y 1,8 g.

Por otro lado, la Tabla 7 muestra los resultados obtenidos con esferas no inoxidables. En este caso, las pérdidas de peso fueron consistentemente mayores tanto para las esferas como para el mineral. Las pérdidas de peso de las esferas variaron entre 2 g y 4 g, mientras que las pérdidas de peso del mineral oscilaron entre 2 g y 4 g.

Comparando los resultados obtenidos con esferas inoxidables y no inoxidables, se puede observar que el uso de esferas no inoxidables resultó en una mayor pérdida de peso tanto para las esferas como para el mineral. Esto sugiere que las esferas no inoxidables pueden ser más susceptibles al desgaste por abrasión y pueden causar un mayor desgaste del mineral durante el proceso de molienda. Sin embargo, se necesitan más investigaciones para confirmar estos hallazgos y entender mejor los mecanismos subyacentes.

Discusión

Los resultados obtenidos en este estudio muestran que tanto las esferas de acero inoxidable como las no inoxidables experimentan desgaste durante el proceso de molienda, aunque a diferentes grados. En particular, se observó que las esferas de acero inoxidable presentan una pérdida de peso constante a lo largo del tiempo, lo que sugiere un desgaste predecible y constante durante el proceso de molienda.

Este hallazgo está en línea con estudios previos de (Bareño et al., 2021), (Gualteros y Gutiérrez, 2020) que han demostrado que las esferas de acero inoxidable tienden a tener una buena resistencia al desgaste [25, 26].

El mineral de basalto, debido a su composición y propiedades, tiene un gran potencial en la industria minera. Sin embargo, la tasa de desgaste puede variar dependiendo de varios factores, incluyendo la dureza del mineral, la velocidad de rotación del molino y las condiciones operativas.

Al comparar los resultados de los ensayos de desgaste por abrasión, se encontró que el uso de esferas no inoxidables resultó en una mayor pérdida de peso tanto

para las esferas como para el mineral. Esto sugiere que las esferas no inoxidable pueden ser más susceptibles al desgaste por abrasión y pueden causar un mayor desgaste del mineral durante el proceso de molienda.

Aunque este estudio proporciona información valiosa, también presenta algunas limitaciones. Por ejemplo, los resultados se basan en un número limitado de ensayos y pueden variar en diferentes condiciones operativas. La resistencia al desgaste puede verse afectada por otros factores no considerados en este estudio, como la composición química de las esferas y el mineral, la rugosidad de la superficie, la distancia recorrida, la velocidad, entre otros.

A pesar de estas limitaciones, los hallazgos tienen implicaciones positivas para la gestión de la producción en la industria minera. La comprensión del desgaste de la carga abrasiva en un molino de bolas puede ayudar a optimizar el proceso de molienda, mejorar la eficiencia y potencialmente aumentar la productividad. Además, los resultados pueden informar la selección de materiales para las esferas, lo que podría tener un impacto significativo en la eficiencia y el rendimiento del proceso de molienda.

Conclusiones

1. Se logró evaluar el desgaste de la carga abrasiva en un molino de bolas con el mineral de basalto. Los hallazgos indican que tanto las esferas de acero inoxidable como las no inoxidable experimentan desgaste durante el proceso de molienda, aunque a diferentes grados.
2. Los resultados están en línea con estudios previos que han demostrado que las esferas de acero inoxidable tienden a tener una buena resistencia al desgaste. Sin embargo, se observó que la tasa de desgaste puede variar dependiendo de varios factores, incluyendo la dureza del mineral, la velocidad de rotación del molino y las condiciones operativas.
3. Se encontró que la elección del material para las esferas puede tener un impacto significativo en la eficiencia y el rendimiento del proceso de molienda. En particular, el uso de esferas no inoxidable resultó en una mayor pérdida de peso tanto para las esferas como para el mineral.
4. Este estudio demuestra la importancia de evaluar y entender el desgaste en los molinos de bolas para optimizar el proceso de molienda y mejorar la eficiencia en la industria minera.

Referencias

1. Inga Chancasanampa, J. S. (2021). Mejora de la disponibilidad mecánica del molino de bolas 9x13 ft para incrementar la producción diaria en Minera Sierra Antapite. [Consultado el: 19 de octubre del 2023]. Disponible en: <https://bit.ly/45a6mBO>

EVALUACIÓN DEL DESGASTE DE LA CARGA ABRASIVA DE UN MOLINO DE BOLAS USANDO EL MINERAL DE BASALTO EN LA PROVINCIA DE MANABÍ

2. Ortiz, M., Cruz, A., Morgado, I., Farfán, J. M., Hernández, J., & Cruz, J. D. (2020). Tratamientos termoquímicos. *Ingenio y Conciencia Boletín Científico de la Escuela Superior Ciudad Sahagún*. 7(14), 17-31. ISSN 2007-784x.
3. Correa Mundaca, L. A. (2020). Rediseño del sistema de engranes para mejorar la transmisión de potencia del molino de bolas de hasta 510 TM/día para procesar concentrados de plomo, cobre y zinc para una compañía minera. [Consultado el: 19 de octubre del 2023]. Disponible en: <https://bit.ly/44M2pDv>
4. Chevasco Figueroa, F. J., & García Bermello, N. E. (2023). Análisis de la concentración de metales pesados en la cuenca baja del Río Portoviejo, Provincia de Manabí. [Consultado el: 19 de octubre del 2023]. Disponible en: <https://lc.cx/M-GpKT>
5. Da Cunha, L. C., & Romero, J. F. A. (2022). Metodología híbrida para la estimación del nivel de llenado en un molino de bolas. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial*, 19(2), 210-220. ISSN 1886-158X
6. Rosales Marín, G., Andrade Martínez, J., Alvarado Macias G., Espinosa Serrano, E., & Navan Gómez, D. (2020). Investigación experimental en el consumo de energía específica y reducción de tamaño en la molienda de bolas usando diferentes tipos de levantador. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 21(2), 2-8. ISSN 2594-0732
7. Francisco Martíns, P, Alfredo Lázaro, C.V., Juan María, M. A., & Carlos Sierra, F. Influencia de la velocidad de giro del molino en los indicadores de la molienda autógena de las menas kimberlíticas de Catoca, Angola. *Scielo Cuba*, 36(4), 452- 464. <https://goo.su/zpVlRk>
8. Sovero Soto, K. F. (2022). Determinación de fallas del molino de bolas 9 ft x 12 ft en la planta concentradora de la unidad minera chungu. [Consultado el: 19 de octubre del 2023]. Disponible en: <https://goo.su/kYVSy>
9. Pretel Sagastegui, F. A., 2022. Diseño de un molino de bolas para triturar mineral de baja ley y aumentar la producción de concentrado en la mina esperanza, región la libertad. [Consultado el: 19 de octubre del 2023]. Disponible en: <https://goo.su/ne8Q>
10. Cesar Baca, P. (2023). Sistema de Accionamiento Eléctrico para Mejorar la Eficiencia Energética de un Molino de Bolas de una Empresa Minera. [Consultado el: 19 de octubre del 2023]. Disponible en: <https://goo.su/WBrqEU>
11. Rodríguez Jesús, Y., & Almonte Gómez, E. (2021). Diseño y construcción de un molino de bolas para el Laboratorio de Operaciones Unitarias II de la Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña. [Consultado el: 19 de octubre del 2023]. Disponible en: <https://bit.ly/3OBRZ3K>

12. Mejía-de-Gutiérrez, R., Robayo-Salazar, R., & Valencia-Saavedra, W. (2023). Residuos de construcción y demolición como materia prima de concretos y elementos de construcción obtenidos mediante activación alcalina. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. 47(184), 505- 519. [Consultado el: 19 de octubre del 2023]. Disponible en: <https://goo.su/rDMqh7A>
13. Pie-Nápoles, I. O., Acebal-Ibarra, A. T., & de los Ángeles Arada-Pérez, M. (2023). Propuesta de aplicaciones para los mármoles blancos de la sierra de la Gran Piedra. *Revista Cubana de Química*, 35(1), 167-184. ISSN 2224-5421
14. López Bedoya, L. F. (2023). Estudio del consumo energético del Molino sag de la planta de procesamiento de minerales auríferos de la compañía zijin continental gold. <https://bit.ly/44PpKV9>
15. Galindo-Medina, Y., & Fernández-Columbié, T. (2019). Comportamiento de las propiedades mecánicas de la aleación ИЧ ХН 4 para emplearla en molinos de bola. *Ciencia & Futuro*, 9(3), 34-45. [Consultado el: 19 de octubre del 2023]. Disponible en: <https://goo.su/5v5Uwc>
16. Machaca Luna, M.A. (2020). Evaluación y mantenimiento de un molino de Martillos para minerales oxidados. [Consultado el: 19 de octubre del 2023]. Disponible en: <https://bit.ly/3OgG22j>
17. Vélez-Quimbaya, E. F., Oyola-Lozano, D., Rojas-Martínez, Y., & Bustos-Rodríguez, H. (2020). Estudio de las propiedades magnéticas y estructurales de polvos del sistema Fe90Al10 obtenidos por aleamiento mecánico. *Revista EIA*, 17(34), 234-239. ISSN 1794-1237
18. Luz Adriana, C.M., Yaneth Pineda, T., & Enrique Vera, L. (2022). Theoretical and Practical Determination of a Binary Mixture of AISI 316 Steel Powders to Increase Corrosion Resistance in Powder Metallurgical Parts. *Revista facultad de Ingeniería*, 31(61). ISSN 0121-1129
19. Leyton Arce, J. J. (2022). Metodología experimental para identificar oportunidades de mejora de la eficiencia energética en el proceso de molienda del mineral de cobre utilizando un molino de bolas de 0, 5 HP. [Consultado el: 19 de octubre del 2023]. Disponible en: <https://bit.ly/3rSAkvW>
20. Pérez, O. R., Mancera, G. G., Hinojosa, J. A. G., Gómez, F. J. R., & Galán, S. G. (2020). Propiedades mecánicas de materiales compuestos de matriz de aluminio a356 reforzados con partículas de sic, preparados mediante aleación mecánica. *Miscelánea Científica en México*, 476. [Consultado el: 19 de octubre del 2023]. Disponible en: <https://goo.su/4KOWMz>
21. Aguilar Bustamante, R. N. (2020). Implementación del pilar de mejoras enfocadas basadas en el mantenimiento productivo total en el molino de bolas del área de molienda de una planta concentradora de cobre en la ciudad de Arequipa. [Consultado el: 19 de octubre del 2023]. Disponible en: <https://bit.ly/3DBSAfB>

EVALUACIÓN DEL DESGASTE DE LA CARGA ABRASIVA DE UN MOLINO DE BOLAS USANDO EL MINERAL DE BASALTO EN LA PROVINCIA DE MANABÍ

22. Tapia Ruilova, I. F., & Parra Sumba, P. P. (2022). Análisis de la cinética de molienda entre molino chileno, molino de bolas de la planta de tratamiento Firstmetal y molino Sag a escala de laboratorio, variando el porcentaje de humedad. [Consultado el: 19 de octubre del 2023]. Disponible en: <https://bit.ly/3OgSXkP>
23. Ortiz, M., Cruz, A., Morgado, I., Farfán, J. M., Hernández, J., & Cruz, J. D. (2020). Tratamientos termoquímicos. *Revista Ingenio y Conciencia Boletín Científico de la Escuela Superior Ciudad Sahagún*, 7(14), 17-31. [ISSN 2310-2799](https://doi.org/10.24068/ingcon.v7n14.17-31)
24. Amón Togra, C. J., & Carpio Arévalo, A. M. (2021). Análisis de la variación de eficiencia de molienda húmeda SAG para material silíceo. [Consultado el: 19 de octubre del 2023]. Disponible en: <https://bit.ly/47ee6Vh>
25. Bareño Urueña, V. E., Aponte Monsalve, D. J., & Rojas Vargas, D. E. (2021). Construcción del aparato micro deval para la determinación del desgaste a la abrasión por fricción de los agregados utilizados en capas de pavimentos. [Consultado el: 19 de octubre del 2023]. Disponible en: <https://goo.su/D0wuz5y>
26. Gualteros-Arboleda, J. A., & Gutiérrez-Hernández, J. R. (2020). Estado del conocimiento acerca de los métodos mecánicos más comunes para la determinación de la resistencia al desgaste, durabilidad y erosión en materiales de roca o agregados gruesos. [Consultado el: 19 de octubre del 2023]. Disponible en: <https://goo.su/jPQtmO>

Los autores declaran que no hay conflicto de intereses

Contribución de cada autor:

Anthony Leonardo Zambrano - Solórzano: Autor principal. Realizó la parte de: Resumen, introducción, método, búsqueda de referencias, los cuales sirvieron como base teórica para la realización del ensayo experimental, así como la adaptación del texto al formato del artículo científico.

Neyfe Sablón-Cossío: Coautor. Contribuyó con los resultados, discusión, conclusión de la investigación. Encargándose de la revisión de todo el proceso y datos obtenidos como experto en el tema, Reviso la información y la estructura de la misma dentro del formato del artículo científico.

Carlos García-Mendoza: Coautor. Desarrollo la parte experimental y contribuyo en la búsqueda de referencias y apoyo a la discusión, ayudo a la revisión de la información del artículo finalizado.