

IDENTIFICACIÓN, EVALUACIÓN, Y PREVENCIÓN DE RIESGOS MECÁNICOS EN UNA TRITURADORA DE RODILLOS POR EL MÉTODO DE WILLIAM FINE

Identification, evaluation, and prevention of mechanical hazards in a roller crusher
by William Fine's Method

 ¹ Willian Guillermo Vargas Zúñiga

¹ Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleo y Ambiental, Quito, Ecuador.

* wgvargas@uce.edu.ec

RESUMEN

Los factores de riesgos mecánicos en laboratorio están presentes en diversos entornos laborales, especialmente al trabajar con: máquinas, herramientas y rocas, pudiendo provocar lesiones por la acción mecánica de estos elementos, el operador puede correr el riesgo de atrapamiento, aplastamiento, fricciones o, abrasiones. Mediante la aplicación del proceso de molienda mecánica, se busca prevenir estos peligros, elaborando un procedimiento operativo que contemple su identificación, prevención y evaluación de posibles accidentes.

El presente estudio se enfoca en los riesgos asociados al uso de una trituradora de rodillos en el laboratorio de mecánica de rocas, motivado por un accidente ocurrido en la máquina trituradora de rodillos por lo cual se identificó los actos, condiciones inseguras y factores causales que produjeron el accidente como: fallas humanas y mecánicas que intervinieron en el accidente, con un grado de mayor importancia.

Mediante la investigación del accidente ocurrido en el laboratorio de mecánica de rocas se identificó los factores de riesgo que son de tipo “mecánico”, una vez identificados se realizó la respectiva evaluación empleando el método de William Fine, determinando el grado de peligrosidad, la consecuencia, la exposición, la probabilidad y finalmente se propusieron acciones correctivas orientadas a mitigar futuros accidentes laborales.

Palabras claves: *Riesgos, trituradora, identificación, evaluación, prevención, Fine.*

ABSTRACT

The mechanical risk factors in the laboratory are present in various work environments, especially when working with machines, tools, and rocks, which can cause injuries due to the mechanical action of these elements; the operator may run the risk of entrapment, crushing, friction, or abrasions. Through the application of the mechanical milling process, the aim is to prevent these hazards by developing an operating procedure that contemplates their identification, prevention, and assessment of potential accidents.

The present study focuses on the risks associated with the use of a roller crusher in the rock mechanics laboratory, motivated by an accident that occurred in the roller crushing machine, for which the acts, unsafe conditions and causal factors that produced the accident were identified as human and mechanical failures that intervened in the accident, with a higher degree of importance.

Through the investigation of the accident that occurred in the rock mechanics laboratory, it was identified that the risk factors are of the “mechanical” type. Once identified, the respective evaluation was carried out using William Fine's method, determining the degree of danger, consequence, exposure, and probability. Finally, we propose corrective actions to mitigate future occupational accidents.

Keywords: *Risks, crusher, identification, assessment, prevention, Fine.*

I. INTRODUCCIÓN

La trituración de rocas es un proceso para reducir, clasificar y obtener el mineral de interés o realizar estudios de los fragmentos (1). Durante miles de años las civilizaciones han usado herramientas manuales simples para fragmentar rocas o minerales (2). A pesar de que, dichas herramientas cumplieren con la misión, era un trabajo que requería de mucho esfuerzo físico, con altos riesgos de generar lesiones a los obreros, además de tampoco lograr obtener el tamaño de la roca deseado (3).

Ante tal situación, en 1830 en Estados Unidos aparece la primera máquina de trituración, la cual constaba de elementos rústicos que incorporaban el principio de martinete, usados posteriormente para la fabricación de sellos, situación estrechamente relacionada con la "época dorada de la minería de América" (4). Actualmente hay varias máquinas que nos ayudan con la trituración del material, una de ellas es la trituradora de rodillos (5).

Al usar las máquinas existen algunos riesgos que corren los trabajadores y se los denomina riesgos mecánicos (6). Entre los principales riesgos están el atrapamiento de contacto con piezas en movimiento, riesgo de quedar atrapado en piezas móviles o entre ellas y superficies fijas. También existen cortes o desgarros con herramientas o máquinas con partes cortantes o materiales con bordes afilados. Así mismo puede acontecer proyección de partículas como virutas o fragmentos de material desprendidas, aplastamiento, impacto con material en movimiento o caída de objetos, entre otros. Dichos incidentes tienen una afectación del 71%, lo que indica que no se cuenta con una guía adecuada de procedimientos seguros que garanticen un círculo de trabajo cómodo a nivel intelectual, material y social en las prácticas realizadas (7).

Según (8) la trituradora de rodillos es un instrumento de trabajo empleado tan regular y antiguamente en laboratorios de mecánica de rocas, que resulta familiar que al utilizarlo no se toman las medidas de prevención necesarias para evitar accidentes. Es decir, los factores pueden ser de carácter humano: como el exceso de confianza, distracción o fatiga o presión por el tiempo. Pero también se reflejan factores organizacionales, tales como una cultura de seguridad débil, falta

de equipos de protección personal y ausencia de procedimientos claros (9). Como consecuencia los principales riesgos asociados a la utilización de la trituradora de rodillos sin medidas de seguridad son:

- Golpes y cortes.
- Lesiones oculares por partículas.
- Trauma en extremidades superiores (mano, dedos).
- Contactos eléctricos indirectos.
- Atrapamiento o aplastamiento.
- Ruido.
- Polvo.
- Manipulación.
- Accionamiento.

La trituradora de rodillos del laboratorio de mecánica de rocas, consta de rodillos lisos y trabajan por aplastamiento, es decir por compresión lenta y continua, mientras que las que poseen rodillos dentados trabajan por cizallamiento o desgarrar y en menor medida por compresión (10). En el presente estudio se hablará particularmente de la trituradora de rodillos lisos, las cuales como se mencionó antes, trabajan por aplastamiento, siendo este el principal riesgo que se corre al usar la máquina. Por ello, con este estudio se busca identificar los factores de riesgo mecánicos en una trituradora de rodillos, realizar la evaluación detallada a través del Método de William Fine e implementar medidas que ayuden a prevenir su ocurrencia.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Metodología

La investigación realizada es de tipo descriptiva no experimental, parte con la premisa de operadores realizando actividades prácticas en el laboratorio de mecánica de rocas, de manera que se encuentran expuestos continuamente a los factores de riesgos en la trituradora de rodillos. Con la investigación realizada, se obtuvieron datos y resultados, con el fin de detectar las variables de causa-consecuencia y determinar los factores de riesgos ocurridos en la máquina.

La evaluación de riesgos laborales implica estimar la gravedad de los peligros que no se pueden evitar pero si reducir, proporcionando al empleador la información necesaria para tomar decisiones sobre la implementación de medidas preventivas (11).

Método William Fine

William Fine desarrolló el Método de Fine en 1973, basando su creencia, en que el riesgo puede ser evaluado de manera objetiva mediante un enfoque probabilístico matemático. Este método permite calcular y priorizar el nivel de peligrosidad asociado a los riesgos identificados, tomando en consideración tres factores: consecuencia, exposición, probabilidad (12) a través de la siguiente fórmula matemática:

$$GP = C \times E \times P \quad (1)$$

Donde:

GP = Grado de Peligrosidad

C = Consecuencia

P = Probabilidad

E = Exposición

La consecuencia considera los riesgos para la integridad de las personas ya sean empleados o terceros y los posibles perjuicios materiales que podrían surgir, se puede observar en la Tabla 1.

CONSECUENCIA	VALOR
Varias muertes: Daños superiores a \$335.588,33	50
Muerte: daños de \$67.117,67 - \$335.588,33	25
Lesiones extremadamente graves (amputación, incapacidad permanente): Daños de \$671,17 - \$67.117,67	15
Heridas leves, contusiones, golpes, pequeños daños	1
Lesiones con baja: Daños hasta \$671,17	5

Tabla 1. Factor de medición de la consecuencia. Manzano Merchán & Méndez Pérez (2019)

La probabilidad se analiza la eventualidad que culmine en un incidente, tomando en consideración tanto la causa potencial del posible percance como las acciones que podrían conducir a dicho incidente y se aprecia en la Tabla 2.

PROBABILIDAD	VALOR
Resultado más probable y esperado si la situación de riesgo tiene lugar	10
Completamente posible, nada extraño. Probabilidad del 50%	6
Secuencia o coincidencia rara. Probabilidad 10%	3
Coincidencia remotamente posible. Se sabe que ha ocurrido. Probabilidad 1%	1
Nunca ha sucedido en muchos años de exposición, pero Concebible	0,5

Tabla 2. Factor de Medición de Probabilidad. de Manzano Merchán & Méndez Pérez (2019)

Por medio de la Tabla 3 indica la exposición, se considera el momento crucial en el cual podrían ocurrir consecuencias negativas (12,13)

EXPOSICIÓN	VALOR
Continuamente (o muchas veces al día)	10
Frecuentemente (Aproximación una vez al día)	6
Ocasionalmente (de una vez por semana a una vez al mes)	3
Raramente (se sabe que ocurre)	0,5
Remotamente posible (no se sabe que haya ocurrido)	5

Tabla 3. Factor de medición de la exposición. Manzano Merchán & Méndez Pérez (2019)

El grado de peligrosidad se indica en la Tabla 4 y se obtiene como el resultado de multiplicar la consecuencia, exposición y probabilidad, relacionado con la tabla de valor índice de William Fine para obtener una valoración cualitativa de los riesgos analizados (14) .

Según la Norma Técnica de Protección (NTP 101), con carácter orientativo, sugiere los siguientes criterios para establecer las pautas de actuación en base al Grado de Peligrosidad, y se determina en la Tabla 4.

GRADO DE PELIGROSIDAD	VALOR
Necesario realizar correcciones de forma inmediata, deteniendo la actividad hasta que se reduzca el riesgo.	GP > 200
Se requiere una intervención urgente, demandando atención lo más pronto posible.	200 < GP < 85
Se debe eliminar el riesgo sin demora, aunque la situación no se considera una emergencia.	GP < 85

Tabla 4. Factor de Medición de Peligrosidad. Manzano Merchán & Méndez Pérez (2019)

Existen diversas fuentes que proporcionan valores de ponderación para los factores a considerar. En este contexto, nos basamos en la metodología disponible en la Norma Técnica de Prevención NTP 101 del INSHT de España, actualizada por última vez el 27 de octubre de 2024, la cual aborda la comunicación de riesgos en la empresa y detalla la metodología que las empresas pueden seguir para evaluar sus riesgos (15,16).

Sistema de Administración de la Seguridad y Salud Ocupacional

La Seguridad industrial y Salud en el Trabajo (SST) se enfoca en mejorar las condiciones laborales y la salud de los trabajadores mediante la participación de diversas disciplinas y todos los niveles de la empresa. Esto se logra a través de acciones coordinadas que promueven la salud, controlan los riesgos laborales, fomentando el bienestar y la productividad en el entorno laboral (17).

Gestión Administrativa: Conjunto de políticas, estrategias y acciones que determinan la

estructura organizacional, asignación de responsabilidades y el uso de recursos en los procesos de planificación, implementación y evaluación de la seguridad industrial y salud en el trabajo, se integra a través de varios capítulos según la evaluación y seguimiento de SST(18):

- Política
- Organización
- Planificación
- Implementación del Plan

Gestión de Talento Humano: Incluyen aspectos de capacitación y funciones directas para garantizar el cumplimiento estricto de las normativas (19).

Gestión Técnica: Considera los sistemas normativos, herramientas y métodos que permiten identificar, conocer, medir y evaluar los riesgos del trabajo; y, establecer las medidas correctivas para prevenir y minimizar las pérdidas organizacionales por un deficiente desempeño (20).

Descripción del lugar de trabajo

En los lugares de trabajo se pueden presentar un sin número de riesgos que pueden afectar negativamente a la salud de los operadores (21).

Como parte de la gestión administrativa se deben establecer los procedimientos e instructivos de trabajo con las normas de seguridad industrial del laboratorio de mecánica de rocas, en estos se describen los aspectos y detalles de obligatorio cumplimiento en una tarea o trabajo a realizarse. Estas normas pueden ser generales como: la verificación de condiciones mecánicas de un equipo o maquinaria, puesto de trabajo y la utilización del equipo de protección personal y colectivo (18).

Laboratorio de mecánica de rocas

Conviene que los puestos de trabajo estén claramente delimitados y que dispongan de un lugar fijo donde depositen los útiles y herramientas.

Las materias primas deben llegar fácilmente al puesto de trabajo y los productos acabados y materiales de desecho han de poder ser retirados sin estorbar los movimientos de los operarios. Debe cuidarse la accesibilidad fácil y cómoda a las diferentes partes de la maquinaria

y equipos, evitando movimientos forzados y esfuerzos innecesarios, de acuerdo con criterios ergonómicos (10) y se observa en la Figura 1.



Figura. 1. Área de trabajo con una máquina trituradora de rodillos

Medición

La evaluación de los riesgos, en la trituradora de rodillos mediante la medición permite analizar la exposición, contrastarla con los estándares establecidos y obtener conclusiones sobre el nivel de riesgo para la salud. La evaluación o determinación de los factores de riesgo se lleva a cabo utilizando técnicas estadísticas, estrategias de muestreo, métodos normalizados y equipos calibrados (22).

La medición o cuantificación de los factores de riesgo se realiza aplicando procedimientos, estrategias de control, procedimientos estandarizados y validados con instrumentos calibrados (23).

Factores de riesgo mecánicos

Por medio del Método de W. Fine se analizó los aspectos de la máquina trituradora de rodillos, aplicando una evaluación del grado de peligrosidad (22). Los riesgos mecánicos son aquellos factores que, en consecuencia, a acciones mecánicas como el uso de máquinas, dentro de una función productiva, pudiesen causar lesiones a los trabajadores involucrados.

Los riesgos mecánicos asociados con lesiones causadas por la acción de máquinas trituradora de rodillos. Para identificarse los riesgos laborales

según las actividades que realizan, una correcta identificación y evaluación de los factores de riesgos permitirán aplicar medidas de control para minimizar los daños que pudieran ocurrir al operador y al entorno (24).

Las razones detrás de los riesgos mecánicos en maquinaria se centran en varios aspectos: el diseño, la fabricación de máquinas, equipos y herramientas que carecen de medidas de seguridad adecuadas o que utilizan materiales con resistencia insuficiente. También destacan la falta de dispositivos de seguridad activos, la falta de protecciones adecuadas y la instalación de maquinaria en lugares inapropiados en cuanto al área, altura, ventilación e iluminación. Además, la carencia de manuales de operación segura, el entrenamiento deficiente de los operarios y la falta de programas de mantenimiento periódico realizados por personal cualificado son factores contribuyentes (25).

La ausencia de mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo en la operación de maquinaria, junto con la falta de normas de seguridad, puede aumentar significativamente el riesgo de accidentes laborales relacionados con los riesgos mecánicos (25).

El mantenimiento predictivo implica realizar evaluaciones exhaustivas o pruebas no intrusivas utilizando tecnología en todas las partes de la maquinaria que puedan sufrir daños, descomposición o deterioro, lo que ayuda a anticipar posibles fallos graves.

El mantenimiento preventivo se enfoca en identificar posibles fallas en equipos, sistemas e instalaciones mediante una planificación y programación eficientes de análisis periódicos, con el objetivo de prevenir impactos en el proceso de producción o en el rendimiento de la maquinaria. A diferencia del mantenimiento correctivo, este enfoque busca mantener la maquinaria en óptimas condiciones. Estas mediciones suelen realizarse mientras las máquinas están en funcionamiento y sin interrumpir la producción (26).

La falta de medidas de protección personal y el incumplimiento de los procedimientos operativos de seguridad en la operación de maquinaria son factores adicionales que contribuyen a niveles extremadamente riesgosos para la salud ocupacional de los operadores y para la

prevención de accidentes laborales. Según (24), el mantenimiento correctivo es la reparación realizada a una máquina o instalación tras una avería, para devolverla a su estado operativo habitual de servicio.

Descripción del proceso técnico

La identificación, evaluación y prevención de riesgos mecánicos en una trituradora de rodillos del laboratorio de Mecánica de Rocas mediante el Método de William Fine es importante para garantizar la seguridad de los operadores y la eficiencia del proceso técnico. En una trituradora de rodillos, de dos o más rodillos pesados de acero giran uno hacia otro, atrapando y arrastrando partículas de la carga entre ellos, sometiéndolas a una fuerza de compresión que las tritura. En algunos dispositivos, los rodillos giran a diferentes velocidades, lo que también genera fuerzas de cizallamiento (8).

Se pueden ajustar el diámetro de los rodillos, su velocidad relativa y el proceso entre ellos para adecuarlos al tamaño inicial del material y a la velocidad de producción deseada. Una trituradora de rodillos en el laboratorio de mecánica de rocas, es fundamental identificar los posibles riesgos mecánicos que puedan surgir durante su operación (8).

La falta de mantenimiento preventivo y la inobservancia de normas de seguridad pueden aumentar la probabilidad de accidentes laborales relacionados con el funcionamiento de la maquinaria (27).

Es necesario realizar una evaluación exhaustiva de los factores de riesgos potenciales para implementar medidas preventivas adecuadas (11) y se indica en la Figura 2.

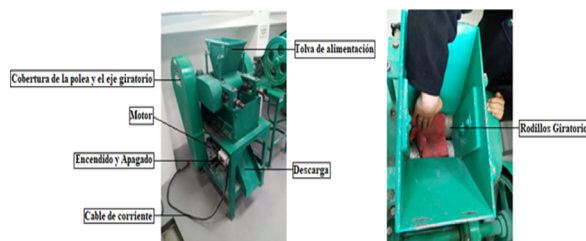


Figura. 2. Máquina Trituradora de Rodillos, sus partes y punto de atrapamiento

La evaluación de riesgos mecánicos en una trituradora de rodillos implica analizar factores como: el cizallamiento, atrapamiento,

aplastamiento, golpes y cortes, lesiones oculares por partículas, trauma en extremidades superiores (mano, dedos), contactos eléctricos indirectos, atrapamiento, ruido, polvo y otros riesgos asociados con la operación de este tipo de maquinaria. La presencia de maquinarias en condiciones de la vida útil limitada puede aumentar la probabilidad de accidentes debido a fallos en el funcionamiento de los equipos (25).

Proceso de funcionamiento de la trituradora de rodillos

Alimentación del Material: La alimentación se lleva a cabo en la parte superior de la trituradora, para caer justo entre los dos rodillos. El proceso se inicia con la introducción del material a triturar. Este material puede consistir en rocas, minerales u otros elementos (28).

Compresión y Trituración: Los dos rodillos giran en direcciones opuestas. Cuando el material es alimentado entre los rodillos, se somete a fuerzas de compresión. A medida que los rodillos se acercan entre sí, reduciendo el espacio entre ellos. Generando una fuerza de compresión que aplasta y tritura el material contra los rodillos (29).

Fragmentación del Material: El material triturado se fragmenta en partículas más pequeñas debido a la presión ejercida por los rodillos. La distancia entre los rodillos y la velocidad de rotación son factores claves que afectan el tamaño final de las partículas trituradas. La abertura entre los rodillos puede ajustarse para controlar el tamaño de salida del material triturado(28,29).

Descarga del Material Triturado: Una vez que el material ha sido triturado hasta el tamaño deseado, se descarga desde la parte inferior de descarga (28).

Las especificaciones generales: Henry et Cie, tipo H9 N1160, rodillos: diámetro 200 mm, longitud 150 mm, acero templado, potencia del motor: 1-2 HP, 220V, tipo de transmisión: motor eléctrico con reducción por engranajes, velocidad de rotación de los rodillos: 400-500 rpm, tipo de rodillo: acero templado resistente al desgaste, capacidad de trituración: 50-150 kg/h, tamaño de salida ajuste: 0,5-5 mm, abertura de entrada: 10-20 mm 150-200 mm.

III. RESULTADOS

En el presente estudio se analizó los factores de riesgo mecánicos en la máquina trituradora de rodillos y se obtuvo los siguientes resultados en la Tabla 5, mismos que, han sido valorados teniendo en consideración, la entrevista realizada a los involucrados en el caso:

FACTORES DE MEDICIÓN
Consecuencia: 5
Exposición: 3
Probabilidad: 3

Tabla 5. Resultados de la medición de factores mecánicos, en la investigación.

$$GP = C \times E \times P$$

$$GP = 5 \times 3 \times 3$$

$$GP = 45$$

Debido a que el valor resultante en el grado de peligrosidad (GP) es de 45, siguiendo el factor de medición del grado de peligrosidad mencionado en la Tabla 5 se debe eliminar el riesgo sin demora, aunque la situación no se considera una emergencia.

IV. DISCUSIÓN

La evaluación técnica de riesgos, la implementación de medidas preventivas proactivas, la gestión efectiva, salud ocupacional, y la promoción de una cultura de seguridad en el lugar de trabajo son elementos esenciales para garantizar un entorno laboral seguro, saludable y productivo en entornos donde se manipulan maquinarias de alto riesgo como las trituradoras de rodillos (15).

La combinación de estos enfoques y prácticas contribuye a la prevención de accidentes laborales, mejora la eficiencia operativa y promueve el bienestar de los trabajadores en el ámbito laboral. La evaluación exhaustiva de riesgos mecánicos en una trituradora de rodillos, utilizando metodologías como el Método de William Fine, representa un paso fundamental en la identificación y prevención de posibles peligros en entornos laborales donde se manipulan maquinarias de alta complejidad (30).

Este proceso de evaluación detallada no solo permite una comprensión profunda de los riesgos potenciales asociados con la operación de

la trituradora, sino que también sienta las bases para la implementación de medidas preventivas proactivas destinadas a mitigar dichos riesgos y garantizar la seguridad y bienestar de los trabajadores(10,12,14).

La adopción de medidas preventivas proactivas, como la implementación de un programa integral de mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo de la maquinaria, junto con la elaboración de planes de acción específicos para abordar y prevenir los riesgos identificados, se convierte en un pilar fundamental para promover un entorno laboral seguro, eficiente y productivo (17).

Además, la gestión efectiva de la seguridad y salud ocupacional desempeña un papel crucial en la creación de un entorno laboral seguro y saludable (24).

Esta gestión implica la participación y comprometida de todos los niveles jerárquicos y disciplinas dentro del laboratorio con el objetivo de establecer y mantener altos estándares de seguridad laboral (18).

La colaboración interdisciplinaria, la integración de políticas y estrategias de seguridad laboral, y la promoción de una cultura organizacional orientada a la seguridad son aspectos clave que fortalecen la gestión de la seguridad laboral y contribuyen a la creación de un ambiente laboral donde la seguridad y el bienestar de los trabajadores son prioridades fundamentales (31).

V. CONCLUSIONES

La identificación precisa de los riesgos mecánicos en una trituradora de rodillos es el primer paso esencial para comprender los peligros potenciales y tomar medidas preventivas adecuadas, lo que contribuye a promover un entorno laboral seguro y eficiente, los factores de riesgos mecánicos que se han detectado al usar una trituradora de rodillos son: golpes, cortes, lesiones oculares por partículas, trauma en extremidades superiores (mano, dedos), contactos eléctricos indirectos, atrapamiento, ruido, polvo, manipulación y accionamiento.

La evaluación detallada de los riesgos mecánicos a través del Método de William Fine permite asignar valores a la consecuencia, exposición y probabilidad de cada situación de riesgo, el grado de peligrosidad que dio como resultado de 45 y según los parámetros establecidos, se debe eliminar el riesgo sin demora, aunque la situación no se considera una emergencia.

La prevención de riesgos mecánicos en una trituradora de rodillos implica implementar medidas preventivas y protectoras, así como el mantenimiento predictivo, preventivo, correctivo de la maquinaria y la elaboración de planes de acción para prevenir los riesgos detectados: desarrollar el procedimiento operativo de la máquina y que esté disponible en el laboratorio de mecánica de rocas, capacitar de manera periódica a los operadores que utilizarán la trituradora de rodillos e implementar señalización de riesgos de atrapamiento, advertencia y prohibición.

VI. REFERENCIAS

1. Zhang ZX, Sanchidrián JA, Ouchterlony F, Luukkanen S. Reduction of fragment size from mining to mineral processing: a review. *Rock Mech Rock Eng.* 2023 Jan 4;56(1):747–78.
2. Knez D, Zamani M. A review of the geomechanics aspects in space exploration. *Energies (Basel).* 2021 Nov 11;14(22):7522.
3. Barros G, Sapucaia V, Hartmann P, Pereira A, Rojek J, Thoeni K. A novel BEM–DEM coupling in the time domain for simulating dynamic problems in continuous and discontinuous media. *Comput Methods Appl Mech Eng.* 2023 May;410:116040.
4. Jácome H. Mejoramiento del tablero de control para el funcionamiento de los motores de la trituradora de piedra marca Minyu... [tesis de grado]. Quito: Escuela Politécnica Nacional; 2014.
5. Feijoo P, Bustamante E, Guillén C. Curvas granulométricas como alternativa para la caracterización del material rocoso en minería. *Athenea.* 2021 Mar 7;2(3):28–39.
6. Goyes W, Barrera G. Análisis de riesgos mecánicos bajo la metodología NTP 330... Quito:

Universidad Internacional SEK Ecuador; 2021.

7. Aranda P, Vásquez A, Gómez W. Gestión de la seguridad en las operaciones de perforación y voladura en minería subterránea: una revisión sistemática entre 2010–2019. [Perú]: Universidad Privada del Norte; 2020.
8. Muñoz Pérez SP, Calderón Coronel ÁA, Caruajulca Gonzáles AJC, Huaman Ticlla OR. Propiedades físicas y mecánicas del concreto fabricado con agregado reciclado: una revisión literaria. Respuestas. 2021 Jan 2;26(1):46–56.
9. Montalvo Quizhpi F, Vanegas Guillén O. Uso de laboratorios remotos en la enseñanza de carreras de ingeniería: una revisión actual. Rev Científica Ecociencia. 2022 Dec 22;9(Esp):24–41.
10. Rincón C. Revisión del estado del arte... Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana; 2019.
11. Díaz Y. Análisis del laboratorio–taller de mecánica automotriz... Rev Estudio Generales. 2024;3(3):10–22.
12. Sarkheil Y, Talaeian M, Gorani AA, Nejad AS. Hazard identification and process risk assessment... Int J Mining Geo-Eng. 2024 Jun 1;58(2):229–41.
13. Mahdavi A, Varshosaz K. Environmental risk assessment... J Adv Environ Health Res. 2024 Feb 13;12(1):39–45.
14. Joozi S, Salimi S. Environmental risk management of Mad Kan Sar iron ore mine... J Mineral Resour Eng. 2021;1(1):19–27.
15. Mestanza P, Aranda J, García D. Riesgos mecánicos y su influencia... Rev Cubana Salud Trab [Internet]. 2024;25(3):3–35. Consultado el 5 de noviembre de 2025. Available from: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S199193952024000300007&lng=es
16. Bestatén Belloví M. Ingeniero industrial centro de investigación... [Internet]. Madrid: Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST); 2024 [cited 2024 Dec 17]. Available from: <https://www.insst.es/documentacion/coleccion-tecnicas/ntp-notas-tecnicas-de-prevencion/3-serie-ntp-numeros-086-a-120-ano-1984/ntp-101-comunicacion-de-riesgos-en-la-empresa>
17. Roa Quintero DM, Giraldo Daza HA, Pantoja Ospina MA, Duque Cano JM. Auditorías en seguridad y salud en el trabajo... J Sci Res. 2022;7(Extra 1 CININGEC II):637–52. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7726381>
18. Mendoza-Fernández VM, Moreira-Chóez JS. Procesos de gestión administrativa... FIPCAEC Cienc Innov. 2021;6(25):608–20. Available from: <http://fipcaec.com/ojs/index.php/es>
19. Instituto Nacional de Formación Técnica Profesional “Humberto Velásquez García” (INFOTEP). Manual del sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo (SG-SST). Ciénaga, Magdalena, Colombia; 2017. Available from: http://www.infotepvlg.edu.co/cienaga/hermesoft/portallG/home_1/recursos/julio_2017/05072017/manual-sst.pdf
20. Arellano-Parra N, Silva-López K, Arámbula-García C. Diseño del sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo... AiBi Rev Investig Adm Ing. 2020 Sep 1;8(3):118–23. <https://doi.org/10.15649/2346030X.780>
21. Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Administrativas. Reglamento interno de higiene y seguridad 2021–2023. Quito: Editorial Universitaria; 2022. Available from: <https://editorialuce.com/2022/07/24/reglamento-interno-de-higiene-y-seguridad-2021-2023/>
22. Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social (IESS). Normativa aplicable a la seguridad y salud en el trabajo. 2007. Available from: https://sart.iness.gob.ec/DSGRT/norma_interactiva/IESS_Normativa.pdf
23. Vargas-Zúñiga WG. Identificación, evaluación y prevención de riesgos mecánicos... FIGEMPA

- Investig Desarroll. 2022 Jul 15;14(2):55–67. <https://doi.org/10.29166/revfig.v14i2.3708>
24. Patel V, Chesmore A, Legner CM, Pandey S. Trends in workplace wearable technologies... Adv Intell Syst. 2022;4(1):2100085.
 25. Wang Z, Bai X, Zhang S, Billingham M, He W, Wang P, et al. A comprehensive review of augmented reality-based instruction... Robot Comput Integr Manuf. 2022 Dec;78:102407.
 26. Li X, Liu X, Yue C, Liang SY, Wang L. Systematic review on tool breakage monitoring techniques... Int J Mach Tools Manuf. 2022 May;176:103882.
 27. Tamayo P, Aquino Fajardo L. Trituradora de vidrio: desarrollo industrial ciencias de la ingeniería. Ciencia UNEMI. 2011;4(5):71–76. Milagro: Universidad Estatal de Milagro.
 28. Wu S, Wang S, Wang G, Fan L, Guo J, Liu Z, et al. Study on productivity of eccentric roll crusher... Miner Eng. 2024 Jan;206:108500.
 29. Kondrakhin VP, Martyushev NV, Klyuev RV, Sorokova SN, Efremkov EA, Valuev DV, et al. Mathematical modeling and multi-criteria optimization... Mathematics. 2023 May 17;11(10):2345.
 30. Martínez-Neira AG, Litardo-Velásquez CA. Evaluation of mechanical risks... Int Res J Eng IT Sci Res. 2022 Nov 1;8(6):306–15.
 31. Zhou Y, Li Z, Li Y. Interdisciplinary collaboration between nursing and engineering in health care: a scoping review. Int J Nurs Stud. 2021 May;117:103900.