

## Diseño de malla de producción para cielo abierto con la implementación en Python

### Opencast production mesh design with Python implementation

Fermin Valderrama-Altamirano<sup>1</sup> ; Tereza Gamboa-Paredes<sup>1</sup> ; Jairo Jhonatan Marquina-Araujo<sup>1</sup> ; Marco Antonio Cotrina-Teatino<sup>1,\*</sup>  Johnny Ccatamayo-Barrios<sup>2</sup> ; Salomon Ortiz-Quintanilla<sup>3</sup> 

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Trujillo, Av. Juan Pablo II s/n – Ciudad Universitaria, Trujillo, Perú.

<sup>2</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho, Perú.

<sup>3</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna, Perú.

\* Autor correspondiente: [mcotrinat@unitru.edu.pe](mailto:mcotrinat@unitru.edu.pe) (M. Cotrina-Teatino)

DOI: [10.17268/rev.cyt.2024.04.02](https://doi.org/10.17268/rev.cyt.2024.04.02)

#### RESUMEN

El objetivo de la investigación fue realizar una malla de producción en minería a cielo abierto con Python para determinar el total de taladros, burden de la malla y el factor de carga. Se utilizó una metodología experimental con un alcance aplicado. Se realizó un análisis exploratorio de datos (EDA), donde se consideró diferentes parámetros diámetro del pozo, densidad explosiva, altura de banco, densidad de la roca, entre otros; también se realizó una revisión de casos de estudio (caso base). El estudio utilizó el método Pearse – Bórquez. En Python se construyó la malla de producción de 80 metros de longitud y 30 metro de ancho, con una incorporación de 60 taladros, sumando un total de 684 taladros perforados, se logró determinar un burden de 7 metros y un taladro cargado con un taco de 6 metros. Presenta un factor de carga de 0.38 kilogramos de dinamita por tonelada para lograr una fragmentación adecuada permitiendo explorar la variabilidad de resultados bajo diferentes condiciones geológicas y evaluar la eficiencia de diferentes tipos de explosivos para maximizar la fragmentación de la roca.

**Palabras clave:** Python; perforación; explosivo; malla de producción.

#### ABSTRACT

The objective of the research was to make a production mesh in open-pit mining with Python to determine the total number of holes, mesh burden and load factor. An experimental methodology was used with an applied scope. An exploratory data analysis (EDA) was carried out, where different parameters were considered: well diameter, explosive density, bank height, rock density, among others; A review of case studies (base case) was also conducted. The study used the Pearse-Borquez method. In Python, the production mesh of 80 meters in length and 30 meters in width was built, with an incorporation of 60 holes, adding up to a total of 684 drilled holes, it was possible to determine a burden of 7 meters and a drill loaded with a block of 6 meters. It has a load factor of 0.38 kilograms of dynamite per ton to achieve adequate fragmentation, allowing us to explore the variability of results under different geological conditions and evaluate the efficiency of different types of explosives to maximize rock fragmentation.

**Keywords:** Python; drilling; explosive; production mesh.

#### 1. INTRODUCCIÓN

La minería siempre ha considerado la perforación y voladura como pilares fundamentales para la extracción del mineral (Apaza, 2020, Bascompta et al., 2022, Shehu et al., 2019). El diseño eficiente de una malla de producción es crucial para garantizar una fragmentación adecuada de la roca (Poma et al., 2020) y optimizar los procesos de voladura (Wang et al., 2022, Bai et al., 2023, Khademian, 2024, Cheng et al., 2022). Con la evolución tecnológica y el auge de la programación, Python ha emergido como una herramienta poderosa en el ámbito de la ingeniería minera, gracias a su versatilidad y a las amplias bibliotecas que ofrece, cubriendo diversas áreas desde el aprendizaje automática hasta el análisis estadístico (Armstrong et al., 2021, Mahalaxmi et al., 2023, Rayhan & Gross, 2023).

A lo largo de los años, diversos estudios han resaltado la importancia de técnicas avanzadas en voladura (Dumakor et al., 2021, Olamide et al., 2024, Hamis & Murthy, 2019). (Catacora, 2015) enfatizó la eficiencia



de utilizar cámaras de aire en la columna explosiva para mejorar la fragmentación en rocas difíciles. Por su parte, (Cuchula & Huari, 2021), destacaron que la economía y eficiencia que representa la utilización de ANFO junto con plataformas de aire, logrando reducciones significativas en los costos de explosivos. Asimismo, (Villanueva, 2018) subrayó que las mallas triangulares proporcionan una fragmentación superior en rocas de gran escala en comparación con las mallas cuadradas. (Holley et al., 2020) optimizaron el diseño basándose en el método Pearse - Bórquez utilizando información empírica y estudios previos para garantizar la eficiencia y economía del proceso de voladura.

El objetivo principal de este estudio fue desarrollar un diseño integral de malla de producción para minería a cielo abierto mediante la implementación en Python, considerando parámetros como burden, espaciamiento, taco crítico y número de taladros.

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1 Materiales

Para esta investigación, se creó una base de datos con información de campo, que fue trasladada a Excel para su posterior inserción en Python y la aplicación del modelo matemático de Pearse. En este modelo, la carga se basa en la interacción de la mezcla explosiva (Sharma et al., 2020), expresada en términos de presión de detonación y resistencia dinámica de la roca (Afrouz et al., 1988). Parámetros como el diámetro del taladro, la profundidad, el tipo de roca y la longitud de la carga están relacionados con los cálculos de carga y espaciamiento (Yin et al., 2022).

### 2.2 Procedimiento

La metodología comenzó con la recolección de datos en el área de perforación, identificando las variables clave para el diseño de la malla, tales como densidad de la roca, altura del banco y diámetro del pozo, entre otros. Todos estos datos fueron recogidos directamente en campo. Luego de esta fase de recolección, los datos se organizaron en una hoja de cálculo de Excel para facilitar su compatibilidad con Python.

Con los datos ya insertados en Python, se procedió al diseño de la malla de producción, determinando parámetros críticos como el número de taladros, el “burden” o espaciamiento entre estos y el factor de carga. Este enfoque secuencial permitió estructurar el modelo en Python de manera clara, optimizando el cálculo de cada variable en función de los datos geotécnicos ingresados.

### 2.3 Métodos

Para el desarrollo de los cálculos y visualizaciones del estudio, se utilizó un algoritmo implementado en Python que automatiza el diseño de la malla de perforación, calculando parámetros críticos como el número de taladros, el burden y el factor de carga. Este algoritmo incorporó el método de Pearse-Bórquez, el cual permite calcular el espaciamiento óptimo y el burden en función de las características geotécnicas de la roca, asegurando una fragmentación eficiente. La implementación de este método en Python aprovechó los datos de campo para aplicar la fórmula del burden de manera precisa y ajustar el patrón de perforación a las condiciones del material. El procesamiento de los datos en Python se llevó a cabo mediante las siguientes librerías:

NumPy: Utilizada para el procesamiento de grandes matrices de datos, lo que facilitó el cálculo preciso de valores geotécnicos, como el espaciamiento entre taladros y la densidad del material (Srinath, 2017).

Pandas: Esta biblioteca de código abierto permitió organizar y manipular eficientemente los datos en estructuras tabulares, facilitando la limpieza, transformación y análisis de la información geotécnica (Profile, 2021).

Plotly Express: Se empleó para generar visualizaciones de los datos procesados, tales como histogramas y gráficos de barras, necesarios para analizar patrones en los datos recolectados y comunicar visualmente los resultados (Adejo, 2023).

Matplotlib.pyplot: Permitted la creación de gráficos en 2D y 3D, como gráficos de barras y diagramas de dispersión, lo que facilitó la visualización de los resultados del algoritmo en función de los parámetros clave (Kiruba & Saradhambeaki, 2019).

Este enfoque metodológico, basado en el uso de un algoritmo estructurado en Python y apoyado en librerías especializadas, permitió una integración eficiente de los datos geotécnicos en el diseño de la malla de perforación y su análisis en distintas condiciones geológicas.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Recolección de datos

El método de Pearse-Borquez, se utilizará para desarrollar el diseño de este modelo. Además, nuestro problema requiere de datos asignados, se muestra en la **Tabla 1**, Estos datos asignados incluyen parámetros claves como la densidad de la roca ( $2,7 \text{ t/m}^3$ ), la altura del banco (10 metros) y el diámetro del pozo (12 pulgadas). La incorporación de estos parámetros geotécnicos es esencial para la creación de una malla de producción. Esto es consistente con investigaciones previas como la de (Gonzales & Vilca, 2021) quienes en su modelo consideraron datos como el RMR (49) y la densidad ( $0,8 \text{ t/m}^3$ ) de la formación geológica específica. Asimismo, (Delgado, 2021) enfatiza la importancia de estudiar inicialmente la geología y propiedades de la roca, incluyendo el RQD (50%) y la densidad ( $1,98 \text{ t/m}^3$ ), para luego determinar apropiadamente el factor de carga y optimizar el diseño de la malla.

**Tabla 1.** Datos de entrada

Nombre	Valor
Diámetro del pozo (pulg)	12
densidad explosiva ( $\text{t/m}^3$ )	1,1
VOD expl (m/s)	3947
Altura banco (metros)	10
densidad roca ( $\text{t/m}^3$ )	2,7
RQD (%)	60
UCS (MPa) resistencia a la compresión	150
SBR (B/E)	1
Resistencia de las discontinuidades = muy baja (factor corrección 0.7)	Muy baja

#### 3.2 Burden

La aplicación del Método Pearse-Borquéz nos permitió calcular exitosamente el parámetro de burden, obteniendo resultados clave como el índice de volatilidad ( $K_v$ ), la potencia de detonación en Mpa y Psi, y finalmente el valor de burden como se muestra en la **La ecuación** para determinar el burden es la siguiente:

$$B = 0,0254 * K_v * D * \frac{Pd^{0.5}}{T_s} \quad (1)$$

La ecuación para determinar el índice de volatilidad es la siguiente:

$$K_v = 1,96 - 0,27 * \ln(RQED) \quad (2)$$

La ecuación para determinar el índice de calidad de roca equivalente es la siguiente:

$$RQED = F_c * RQD \quad (3)$$

Tabla 2. Nuestro resultado de 7 metros concuerda con la naturaleza de la unidad geotécnica estudiada. Esto concuerda con (Rivera, 2021) quien, mediante la consideración de las propiedades de roca específicas, determinó un burden óptimo de 4,5 metros para lograr la fragmentación deseada. Como se evidencia en dicho caso y en nuestro estudio, el burden puede variar significativamente dependiendo de la alteración y composición del material en cada mina. Esta relación también se corrobora en el estudio por (Abrigo, 2023) donde un burden relativamente bajo de 3.46 metros fue calculado debido al tipo de materia prima menos competente en ese yacimiento. En síntesis, la investigación previa demuestra que el Método Pearse-Borquéz permite la estimación exitosa de parámetros como el burden, en las características geotécnicas. Nuestros resultados contribuyen a expandir la aplicabilidad de este método en unidades de roca más competentes.

La ecuación para determinar el burden es la siguiente:

$$B = 0,0254 * K_v * D * \frac{Pd^{0.5}}{T_s} \tag{1}$$

La ecuación para determinar el índice de volabilidad es la siguiente:

$$K_v = 1,96 - 0,27 * \ln(RQED) \tag{2}$$

La ecuación para determinar el índice de calidad de roca equivalente es la siguiente:

$$RQED = F_c * RQD \tag{3}$$

**Tabla 2.** Resultados de burden

Nombre	Valor
Índice de volabilidad	1,0
Potencia de detonación (MPa)	5141,007
Potencia de detonación (psi)	745641,369
Burden (m)	7

### 3.3 Taco crítico

Para determinar apropiadamente el taco crítico, empleamos las fórmulas analíticas del consolidado método Chiappetta. Los resultados derivados se presentan en la **La ecuación** para determinar la profundidad de entierro escalada es la siguiente:

$$SD = \frac{D}{W^{0,33}} \tag{4}$$

La ecuación para determinar la distancia de superficie al centro de carga es la siguiente:

$$D = T. crítico + \frac{1}{2} * lsd \tag{5}$$

La ecuación para determinar la masa explosiva es la siguiente:

$$W = Ql * lsd \tag{6}$$

La ecuación para determinar el explosivo por metro es la siguiente:

$$Ql = d. Explosivo \left( \frac{gr}{cc} \right) * D. per (pulgadas) * 0,507 \left( \frac{Kg}{m} \right) \tag{7}$$

La ecuación para determinar el taco crítico es la siguiente:

$$T. crítico = SD * W^{0,33} - \frac{1}{2} * lsd \tag{8}$$

Tabla 3. indicando un taco crítico de 6 metros bajo las condiciones geotécnicas de nuestro yacimiento. Este valor tiene relación con la investigación de (Chavez, 2019) quien mediante varios parámetros de entrada similares al de nuestra investigación, obtuvo un taco crítico equivalente de 6 metros. Cabe resaltar que (Huaracco & Quintanilla, 2019) obtuvieron un taco levemente mayor (6,32 metros). Si bien el método Chiappetta fue igualmente aplicado, dicha variación se puede atribuir a diferencias en las propiedades del macizo rocoso. Como bien indican, factores como los taladros ejecutados repercuten en el resultado.

La ecuación para determinar la profundidad de entierro escalada es la siguiente:

$$SD = \frac{D}{W^{0,33}} \tag{4}$$

La ecuación para determinar la distancia de superficie al centro de carga es la siguiente:

$$D = T. crítico + \frac{1}{2} * lsd \tag{5}$$

La ecuación para determinar la masa explosiva es la siguiente:

$$W = Ql * lsd \tag{6}$$

La ecuación para determinar el explosivo por metro es la siguiente:

$$Ql = d. Explosivo \left( \frac{gr}{cc} \right) * D. per (pulgadas) * 0,507 \left( \frac{Kg}{m} \right) \tag{7}$$

La ecuación para determinar el taco critico es la siguiente:

$$T. critico = SD * W^{0,33} - \frac{1}{2} * lsd \tag{8}$$

**Tabla 3.** Taco Crítico Método de Chiappetta

Nombre	Valor
Cantidad de explosivo (Kg/m)	96,371
Largo de carga (m)	3,048
Masa explosiva (Kg)	293,737
Longitud de taco (m)	6
Pasadura (m)	1,40

### 3.4 Espaciamento

El espaciamento de perforación es un parámetro que se determina en base al burden previamente calculado. Como se muestra en la

**Tabla 4**, el espaciamento obtenido permite derivar el número total de taladros en el banco de 10 metros, así como estimar la carga explosiva por taladro y el metraje total por perforar. Trabajos previos como el de (Vidal, 2020) corroboran la importancia de un espaciamento óptimo, reportando un valor de 2,50 metros para garantizar el número de taladros y metros perforados ideales en su diseño de malla. Asimismo, (Pacco & Apaza, 2019) validan un espaciamento de 3 metros con una carga de 30 kg por taladro, logrando una fragmentación eficiente y estabilidad de taludes dentro de límites operacionales. La determinación certera del espaciamento basado en el burden, es indispensable para obtener un patrón de perforación seguro, productivo y económico. Nuestro diseño de malla con un banco de 10 metros se respalda sobre estudios previos que evidencian la optimización de este parámetro espacial crítico en sus respectivos proyectos.

La ecuación para determinar el espaciamento es la siguiente:

$$S = 1,15 * B \tag{9}$$

**Tabla 4.** Cálculo del espaciamento

Nombre	Valor
Espaciamento (m)	7
Numero de taladros	60
Metros perforados	684,0
Carga explosiva (kg)	5,4

### 3.5 Factor de carga

El coeficiente de carga, expresado en kg de explosivo por tonelada de material fragmentado, es un parámetro crucial tanto para las operaciones mineras como para la planificación presupuestal. Como se muestra en la **La** estimación técnica del coeficiente de carga mediante el diseño de mallas es indispensable para predecir las necesidades de explosivos por tonelada y parametrizar los costos asociados. Nuestro valor de 0,38 kg/ton es consistente con un macizo rocoso de dureza moderada, alineándose con los rangos determinados en la literatura para diversos tipos de formación.

La ecuación para determinar el factor de carga es la siguiente:

$$FC = \frac{W}{T} \tag{10}$$

Tabla 5 el valor obtenido en nuestro caso de estudio fue de 0,38 kg/ton. Este resultado se encuentra entre los coeficientes reportados en investigaciones previas para formaciones rocosas de competencia variable (Flores, 2019) determinó un bajo coeficiente de 0,21 kg/ton al trabajar con un macizo altamente fracturado, requiriendo menor carga explosiva por tonelada debido a la naturaleza del material. Por otro lado, (Tong, 2020) reporta un coeficiente mayor de 0,59 kg/ton en un domino de rocas más competentes, evidenciando la dependencia de este factor respecto a las propiedades geotécnicas. La estimación técnica del coeficiente de carga mediante el diseño de mallas es indispensable para predecir las necesidades de explosivos por tonelada y parametrizar los costos asociados. Nuestro valor de 0,38 kg/ton es consistente con un macizo rocoso de dureza moderada, alineándose con los rangos determinados en la literatura para diversos tipos de formación.

La ecuación para determinar el factor de carga es la siguiente:

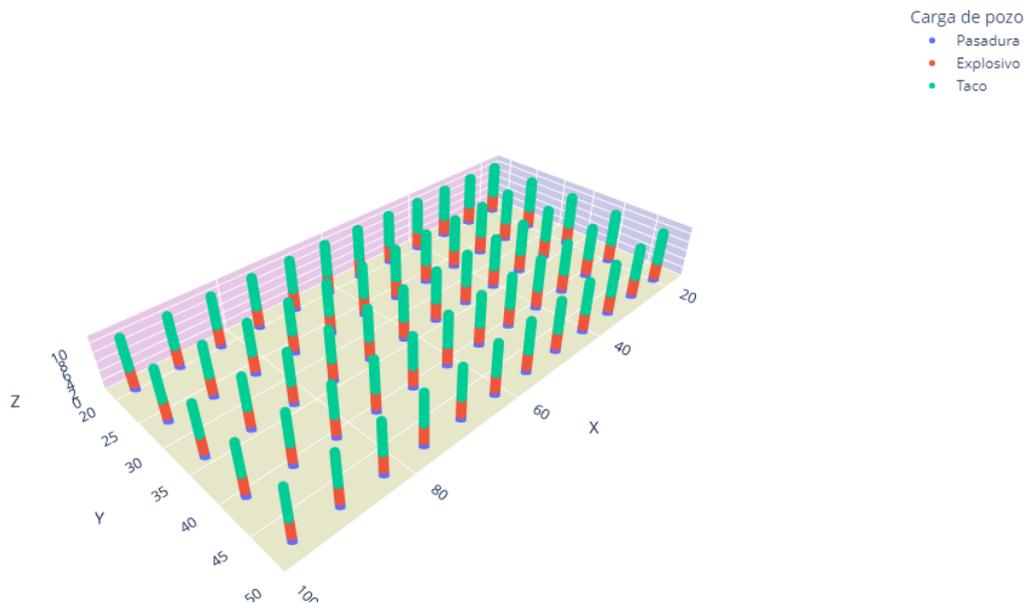
$$FC = \frac{W}{T} \tag{10}$$

**Tabla 5.** Cálculo del factor de carga

Nombre	Valor
Factor de carga	0,38 (kg/ton)

### 3.6 Resultados finales

La malla de perforación es la disposición espacial de los taladros donde se llevará a cabo la fragmentación con explosivos. Como se muestra en la **Figura 1**, el diseño desarrollado para este banco de 10 metros de altura y 80 metros por 30 metros de extensión consiste en 60 taladros con una configuración optimizada según las propiedades geotécnicas del macizo rocoso. Cada taladro presenta tres zonas de carga diferenciadas por colores: la carga explosiva (rojo), la pasadura (azul) y el taco crítico (verde). Este patrón direccional de perforación busca garantizar una adecuada fragmentación y aprovechamiento de la energía. El estudio por (Ramos, 2018) soporta este enfoque numérico para el diseño de mallas, reportando una configuración de 4,2 x 4,8 m con espaciamiento de 4,8 m y factor de carga de 0,28 kg/m<sup>3</sup>.



**Figura 1.** Malla de producción

La malla de producción desarrollada, con dimensiones de 80 metros por 30 metros y 60 taladros, conduce a diversos parámetros operacionales óptimos como se resume en la **Tabla 6**. Entre estos tenemos un burden y espaciamiento de 7 metros, taco de 6 m, factor de carga de 0,38 kg/ton y un total de 804 m perforados para el

banco analizado. Esta configuración de la malla logra los objetivos planeados de fragmentación y economía, tal como lo exhibe el estudio previo de (Ovino, 2017) mediante un diseño con burden de 6,5 m, espaciamiento de 7,5 m y factor de carga en el mismo rango (0,43 kg/ton). Esta investigación resalta la relevancia de parametrizar adecuadamente todos los aspectos del diseño de mallas según las condiciones específicas del yacimiento. Nuestro estudio provee una configuración técnica y optimizada, cuyos resultados positivos potenciales se respaldan sobre la experiencia y rendimientos comprobados.

**Tabla 6.** Resultados finales

N°	Variable	Valor	Unidad
0	N° pozos	60,00	
1	Diámetro pozo	0,3048	m
2	Altura banco	10,00	m
3	Largo malla	80,00	m
4	Ancho malla	30,00	m
5	Metros perforados	684,00	m
6	Densidad Roca	2,70	t/m <sup>3</sup>
7	Densidad Explosivo	1,10	t/m <sup>3</sup>
8	VOD	3947,00	m/s
9	RQD	60,00	%
10	Resistencia UCS a la compresión	1529,58	psi
11	Resistencia estática a la tracción	122,366	psi
12	Índice de volabilidad	1,00	
13	Potencia de detonación	621367,807	psi
14	Burden	7,00	m
15	Espaciamiento	7,00	m
16	Taco	6,0	m
17	Pasadura	1,40	m
18	Carga explosiva	5,40	m
19	Factor de carga	0,38	kg/ton

#### 4. CONCLUSIONES

A partir del estudio realizado, se establece que, para una malla de producción de 80 metros de longitud y 30 metros de ancho, es necesaria la incorporación de 60 taladros, sumando un total de 684 metros perforados. Dentro de este diseño, se ha determinado un burden de 7 metros y un taco en un taladro cargado de 6 metros. Es esencial subrayar la relevancia del factor de carga explosiva, que se sitúa en 0,38 kilogramos por tonelada, indicando la necesidad de 0,38 kilogramos de explosivo para fragmentar adecuadamente una tonelada de roca. Estos resultados proveen una configuración técnica de la malla, es necesario continuar optimizando los diseños ante la variabilidad geológica en minería a cielo abierto. Investigaciones futuras deben enfocarse en evaluar la sensibilidad del burden, espaciamiento, taco crítico y factor de carga frente a cambios litológicos y geotécnicos. Asimismo, es imperativo validar experimentalmente la eficiencia de fragmentación entre diversos explosivos comerciales para maximizar el desempeño.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abrigo, G. (2023). Optimización de la voladura usando explosivo gasificado SAN-G APU en la unidad minera Utunsa de la empresa minera Anabi S.A.C. Haquira - Cotabambas - Apurímac 2021. Cusco.
- Adejo, O. (2023). Plotly Express: Claramente Explicado. Kanaries.
- Afrouz, A., Hassani, F., & Ucar, R. (1988). An investigation into blasting design for mining excavations. *Mining Science and Technology*, 7(1), 45-62. doi:[https://doi.org/10.1016/S0167-9031\(88\)90952-8](https://doi.org/10.1016/S0167-9031(88)90952-8)

- Apaza, E. (2020). Mejora de la perforación y voladura, mediante el rediseño de malla y la aplicación del corte cilíndrico en las labores de avance unidad minera de producción Alpacay - Minera Yanaquihua. Arequipa.
- Armstrong, M., Lagos, T., Emery, X., Homem de Mello, T., Lagos, G., & Sauré, D. (2021). Adaptive open-pit mining planning under geological uncertainty. *Resources Policy*, 72. doi:<https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102086>
- Bai, R., Zhang, P., Zhang, Z., Sun, X., Fei, H., Bao, S., . . . Li, W. (2023). Optimization of blasting parameters and prediction of vibration effects in open pit mines based on deep neural networks. *Alexandria Engineering Journal*, 70, 261-271. doi:<https://doi.org/10.1016/j.aej.2023.02.043>
- Bascompta, M., Sanmiquel, L., Gangolells, M., & Sidki, N. (2022). LCA analysis and comparison in quarrying: Drill and blast vs mechanical extraction. *Journal of Cleaner Production*, 369. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133042>
- Catacora, J. (2015). APLICACIÓN DEL MÉTODO AIR DECK PARA OPTIMIZAR LA VOLADURA EN MINA PIERINA. Tacna.
- Chavez, V. (2019). Aplicación de Stemming de 2" utilizada como taco, para mejorar la fragmentación en las zonas de brechas con mineral de alta ley en la unidad minera Cuajone. Moquegua.
- Cheng, P., Li, Y., Lu, C., Jiang, S., & Xu, H. (2022). Study on Blasting Effect Optimization to Promote Sustainable Mining under Frozen Conditions. *Sustainability*, 14(24). doi:<https://doi.org/10.3390/su142416479>
- Cuchula, J., & Huari, D. (2021). Análisis del uso de cámaras de aire para la reducción de costos en voladura en una mina a tajo abierto. Huancayo.
- Delgado, R. (2021). Determinación del factor de carga mediante parametros operativos y geomecanicos para el proceso de voladura de rocas - Minera Yanacocha 2017. Cajamarca.
- Dumakor, N., Sampurna, A., & Jha, A. (2021). Advances in Blast-Induced Impact Prediction—A Review of Machine Learning Applications. *Minerals*, 11(6). doi:<https://doi.org/10.3390/min11060601>
- Flores, D. (2019). *Determinación de los parámetros de voladura para optimizar la fragmentación en zona de mineral en la unidad minera Cuajone*. Arequipa.
- Gonzales, A., & Vilca, J. (2021). *Optimización de la fragmentación en las rocas con la aplicación de cápsulas plasma en el Tajo Santa Rosa de la Empresa Administradora Cerro S.A.C. Cerro de Pasco*. Lima.
- Hamis, A., & Murthy, V. (2019). Optimising blast pulls and controlling blast-induced excavation damage zone in tunnelling through varied rock classes. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 85, 307-318. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tust.2018.11.029>
- Holley, K., Skayman, P., & Zhiwei, H. (2020). *Geotechnical design for open pits at Tanjianshan, China*. China.
- Huaracco, R., & Quintanilla, W. (2019). *Diseño de carga y amarre para optimizar la voladura y su impacto economico en el tajo Ferrobamba; Las Bambas 2018*. Abancay.
- Khademian, A. (2024). Optimization of blasting patterns in Esfordi phosphate mine using hybrid analysis of data envelopment analysis and multi-criteria decision making. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 133. doi:<https://doi.org/10.1016/j.engappai.2024.108061>
- Kiruba, R., & Saradhambeaki, S. (2019). A Survey on Python Libraries and Packages for DeepLearning. *INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATIVE RESEARCH IN TECHNOLOGY*, 5(12).
- Mahalaxmi, G., Donal, D., Aditya, T., & Sai, A. (2023). A Short Review of Python Libraries and Data Science Tools. *Lab: David Donald's Lab*.
- Olamide, B., Gebretsadik, A., Abbas, H., Kishe, M., Fissha, Y., Kahraman, E., . . . Abiodun, A. (2024). Explosive utilization efficiency enhancement: An application of machine learning for powder factor prediction using critical rock characteristics. *Heliyon*, 10(12). doi:<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e33099>
- Ovino, L. (2017). *Diseño de mallas de perforación y voladura haciendo uso del Software Drill And Blast Vulcan 8.0 para obtener una óptima fragmentación en E.E. Ajani Unidad Minera Anabi*. Arequipa.
- Pacco, B., & Apaza, E. (2019). *Reducción del daño generado por voladura a taludes finales por medio de técnicas de precorte para yacimiento tipo pórfido de gran escala superficial*. Arequipa.

- Poma, M., Quispe, G., Zapata, G., Raymundo Ibañez, C., Dominguez, F., & Mamani Macedo, N. (2020). *Drilling - and - Blasting Mesh Design for Underground Mining Using the Holmberg Method*. In book: Human Interaction, Emerging Technologies and Future Applications II. doi:[http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-44267-5\\_103](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-44267-5_103)
- Profile. (2021). Introducción a Pandas, la librería de Python para trabajar con datos.
- Ramos, R. (2018). *Influencia del diseño de malla en los costos de perforación y voladura en la compañía minera Los Andes Perú Gold, Huamachuco - La Libertad*. Trujillo.
- Rayhan, A., & Gross, D. (2023). The Rise of Python: A Survey of Recent Research. *Lab: CBECL's R&D Lab*. doi:<http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.27388.92809>
- Rivera, D. (2021). *Elaboración de software aplicativo en dispositivo móvil para el diseño y rediseño de parámetros de perforación y voladura y análisis de resultados en operación de minería superficial, Mina Las Bambas*. Arequipa.
- Shehu, S., Jethro, M., Ogbodo, D., & Hashim, M. (2019). Correlation of blasting coefficient with drilling rate of rocks. *Materialstoday: proceedings*, 17(3), 543-552. doi:<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.06.333>
- Srinath, K. (2017). Python – The Fastest Growing Programming Language. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*.
- Tong. (2020). *Cuidado de infraestructuras en operaciones a tajo abierto modificando tiempos entre taladros y diseño de configuración de carga*. Arequipa.
- Vidal, E. (2020). *Propuesta de diseño de mallas de perforación y voladura empleando modificación al modelo matemático de Pearse con la finalidad de optimizar la fragmentación de rocas en la mina Tacaza de Consorcio de Ingenieros Ejecutores Mineros S.A. (CIEMSA)*. Lima.
- Villanueva, C. (2018). *Diseño de voladura en Open Pit*.
- Wang, Z., Wu, G., & Zhou, L. (2022). Optimization of Pre-Splitting Blasting Hole Network Parameters and Engineering Applications in Open Pit Mine. *Applied Sciences*, 12(10). doi:<https://doi.org/10.3390/app12104930>
- Yin, J., Lu, J., Tain, F., & Wang, S. (2022). Pollutant Migration Pattern during Open-Pit Rock Blasting Based on Digital Image Analysis Technology. *Mathematics*, 10(17). doi:<https://doi.org/10.3390/math10173205>