



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA DE MINAS**

“APLICACIÓN DE RED NEURONAL ARTIFICIAL EN LA OPTIMIZACIÓN DE COSTOS DE ROCA FRAGMENTADA EN UNA MINA CIELO ABIERTO EN HUAMACHUCO, 2023”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autor:

Jose Roberto Rosado Quiliche

Asesor:

Maestro. Danny Stephan Zelada Mosquera

<https://orcid.org/0000-0003-3896-7666>

Trujillo - Perú

2024

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	EDUARDO MANUEL NORIEGA VIDAL
	Nombre y Apellidos

Jurado 2	MARCO ANTONIO DIAZ DIAZ
	Nombre y Apellidos

Jurado 3	DANNY STEPHAN ZELADA MOSQUERA
	Nombre y Apellidos

INFORME DE SIMILITUD



DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres y hermanos por el apoyo incondicional en esta etapa profesional de mi vida.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por brindarme mucha sabiduría y ganas de seguir superándome día a día para poder cumplir cada uno de mis objetivos trazados. A mi familia por la unión y fortaleza en todo momento. A todos los docentes que hicieron parte de esta carrera profesional que con sus enseñanzas contribuyeron en este objetivo.

TABLA DE CONTENIDOS

JURADO EVALUADOR.....	2
INFORME DE SIMILITUD.....	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO.....	4
TABLA DE CONTENIDOS.....	6
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	8
RESUMEN	9
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	10
CAPITULO II: METODOLOGÍA	25
CAPITULO III: RESULTADOS.....	33
CAPITULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	44
REFERENCIAS.....	46
ANEXOS.....	52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tabla resumen de técnicas e instrumentos empleados en la investigación	26
Tabla 2 Resumen de procedimiento de la investigación	29
Tabla 3 Arquitectura de la red neuronal	37
Tabla 4 Hiperparámetros utilizaos	39
Tabla 5 Eficiencia de la red neuronal	42
Tabla 6 Optimización del costo promedio por metro cúbico de roca fragmentada	42
Tabla 7 Base de datos	55
Tabla 8 Predicciones del costo por metro cúbico de roca fragmentada utilizando red neuronal	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Arquitectura RNA basada en redes neuronales de feed-forward y feedback.....	18
Figura 2 Red Neuronal Artificial de tipo Feedforward.....	18
Figura 3 Red Neuronal artificial de tipo recurrente.....	19
Figura 4 Algunos de los parámetros de entrada geométricos para la predicción del costo por metro cúbico de roca fragmentada en un banco	21
Figura 5 Perforaciones en el banco	33
Figura 6 Matriz de correlación de variables de estudio.....	35
Figura 7 Distribución de frecuencias de las variables con mayor correlación	36
Figura 8 Diagrama de red neuronal	38
Figura 9 Curvas de aprendizaje	41
Figura 10 Comparación de predicciones vs valores reales.....	41

RESUMEN

El principal objetivo de esta investigación fue implementar una red neuronal artificial para optimizar el costo por metro cúbico de roca fragmentada en una mina a cielo abierto en Huamachuco, 2023. La metodología utilizada fue cuantitativa, de naturaleza aplicada, de diseño no experimental descriptivo. Los resultados obtenidos indicaron que las principales variables que influyen en el costo de fragmentación de roca son el Anfo real (kg) y la emulsión real (kg) con una correlación de 0.53 y 0.89, respectivamente, con respecto al costo por metro cúbico. La red neuronal artificial estuvo formada por 1 capa de entrada con 6 neuronas, 3 capas ocultas con 10, 6 y 3 neuronas, una capa de salida con 1 neurona, donde la función de activación fue ReLU y el optimizador fue Adams. La validación de la precisión y eficiencia de la red neuronal propuesta obtuvo un error absoluto medio de 0.005 con una eficiencia de predicción de 99%, siendo muy efectiva la red neuronal. Finalmente llegó a la conclusión que se logró optimizar el costo por metro cúbico de roca fragmentada, donde el promedio real fue de 0.87 y el promedio optimizado fue de 0.82 US\$/m³ logrando una reducción de 0.06 US\$/m³.

PALABRAS CLAVES: Red neuronal artificial, roca fragmentada, optimización, ReLU, neuronas.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

La fragmentación de rocas en la industria minera es un proceso crucial que incide directamente en la eficiencia y rentabilidad de las operaciones. Sin embargo, su complejidad, influida por factores geológicos, técnicos y económicos, conlleva desafíos significativos. La gestión inadecuada de la fragmentación puede resultar en altos costos operativos, reducción en la eficiencia de la extracción y procesamiento del mineral, y mayores impactos ambientales.

Globalmente, la minería enfrenta presiones para mejorar su eficiencia y sostenibilidad. La fluctuación de los precios de los minerales y la implementación de regulaciones ambientales más estrictas han llevado a las empresas mineras a buscar optimizaciones en sus procesos, siendo la fragmentación de rocas uno de los más desafiantes debido a su impacto directo en los costos y en la eficiencia general de la minería.

Perú, con su vasta riqueza mineral, no es ajeno a estos desafíos. Las minas peruanas buscan constantemente optimizar la fragmentación de rocas para mantenerse competitivas en el mercado mundial. Las presiones para adoptar prácticas sostenibles y las demandas locales por operaciones más limpias y eficientes resaltan la urgencia de innovar y mejorar en este aspecto.

En regiones específicas de Perú, la fragmentación de rocas se enfrenta a desafíos adicionales. La variabilidad geológica, la geografía del terreno y las demandas y preocupaciones particulares de las comunidades cercanas a las operaciones mineras hacen que la optimización sea aún más crucial. Estas comunidades buscan operaciones que

minimicen el impacto ambiental y maximicen la eficiencia, lo que pone de relieve la necesidad de métodos más precisos y efectivos.

En este contexto, emerge un problema esencial: ¿Cómo pueden las minas a cielo abierto optimizar de manera efectiva el costo por metro cúbico de roca fragmentada? La dependencia de métodos tradicionales ha mostrado sus limitaciones y resalta la urgencia de explorar soluciones más innovadoras, como la aplicación de redes neuronales artificiales, para enfrentar este desafío.

Para la presente investigación se ha recopilado antecedentes internacionales, los cuales se detallan a continuación:

Olamide et al (2023) en su investigación “Modelado de redes neuronales artificiales como enfoque para la predicción de la tasa de producción de explosiones de piedra caliza: una comparación de modelos PI-BANN y MVR” publicado en la revista JME (Journal of Mining and Environmental), cuyo objetivo principal fue mejorar la producción de una mina de piedra caliza, utilizando parámetros de diseño de voladura y los resultados del análisis de imágenes para evaluar el BPR (producción de voladura de roca). La metodología utilizada fue que para modelar la predicción de BPR se utilizaron redes neuronales artificiales (ANN) y técnicas de predicción multivariada, se recopilaron un total de 219 conjuntos de datos con 8 parámetros influyentes de voladuras de minas de piedra caliza en la India, para obtener un modelo de alta precisión, se propuso un proceso de entrenaamiento llamado enfoque de entrenamiento bayesiano basado en importantes permutaciones (PI-BANN). Los modelos fueron validados con 20 nuevos proyectiles explosivos y se evalúan con dos índices de rendimiento de modelo. Los resultados obtenidos indicaron que las voladuras con resistencia de roca de 64.15 Mpa y 64.5 Mpa requerían el mayor peso de carga explosiva, el coeficiente de determinación (R^2) indica que el rendimiento de

predicción de los modelos varía de forma diferente. Para PI-BANN y MVR comprobado con el nuevo conjunto de 20 datos después del desarrollo es del 89.0% y 81.8%, respectivamente. Finalmente llegó a la conclusión que la red neuronal artificial de retropropagación basada en la permutación de importancia (PIBANN) tiene la mayor precisión de predicción, según el análisis de errores.

Amoako et al (2022) en su artículo de investigación “Predicción de fragmentación de rocas mediante una red neuronal artificial y un enfoque híbrido de regresión de vectores de soporte” publicado en la revista Mining, cuyo objetivo fue evaluar algoritmos de aprendizaje automático potencialmente capaces de explicar mejora la relación no lineal, se evaluó la red neuronal artificial multicapa (ANN) y las técnicas de regresión vectorial de soporte (SVR) en la predicción de la fragmentación de rocas. La metodología utilizada fue que se utilizó parámetros geométricos, explosivos y tipo de roca, para la construcción de los modelos ANN y SVR para predecir el tamaño medio de los fragmentos de roca, las entradas para los modelos fueron la longitud del taladro, el espaciamiento con el burden, el diámetro con el burden, el taco con el burden, el factor de potencia. Los resultados obtenidos fueron que la predicción con la red neuronal artificial se tuvo un coeficiente de determinación (R^2) de 0.87, las predicciones con la técnica de regresión vectorial de soporte (SVR) arrojó un coeficiente de determinación (R^2) de 0.81 y la predicción con el modelo Kuznetsov arrojó un R^2 de 0.58. Finalmente llegaron a a la conclusión que para lograr una mayor precisión en la predicción del tamaño medio de los fragmentos de roca se debe utilizar la red neuronal artificial (ANN) multicapa y una regresión de vector de soporte (SVR).

Rojas (2021) en su memoria “Estimación de la fragmentación producto de la tronadura de rocas en minería a cielo abierto utilizando modelos predictivos y algoritmos

de regresión” cuyo objetivo principal fue estimar la fragmentación de producción de la tronadura de rocas en minería a cielo abierto. La metodología utilizada fue aplicada donde incorporó aspectos cualitativos durante la revisión bibliográfica y el análisis de los resultados obtenidos durante el desarrollo del proceso. Los resultados obtenidos indicaron que con el uso de los modelos de Kuz-Ram y Kuznetsov-Cunningham-Ouchternol (KCO) se obtuvo un R^2 nulo para ambos modelos. Al utilizar la aplicación de la regresión lineal de MATLAB se tuvo una bondad de ajuste del 0.73 y un RMSE de 16.21 utilizando una base de datos sin normalizar. Finalmente se llegó a la conclusión que existe un gran potencial en la incorporación de algoritmos de regresión para la estimación de la fragmentación, ya que estos presentan una serie de ventajas relacionadas a la cantidad mínima de información requerida para su aplicación y a un mejor desempeño en comparación con los modelos semiempíricos.

Al-Bakri y Sazid (2021) en su artículo denominado “Aplicación de redes neuronales artificiales (RNA) para la predicción y optimización de impactos inducidos por explosivos” publicado en la revista Mining, cuyo objetivo principal fue investigar los modelos de predicción de la fragmentación de rocas y algunos efectos inducidos por explosiones, incluidas las rocas volantes, la vibración del suelo y el retroceso. La metodología utilizada consistió en la utilización de una red neuronal artificial Perceptrón Multicapa (MLP) utilizando entradas como longitud del taladro, barden, espaciamiento, taco, factor de potencia. Los resultados obtenidos indicaron que la rotura del macizo rocoso utiliza sólo un máximo del 30% de la energía explosiva de la explosión y alrededor del 70% se pierde como residuo. La RNA mejoró los resultados deseados de inducción de explosivos y mínimo el impacto indeseable, aumentando la productividad, reduciendo los costos

operativos y controlando los efectos adversos sobre la seguridad y el medio ambiente circundante.

También se ha recopilado antecedentes nacionales que se detallan a continuación:

Suasnabar (2020) en su investigación “Optimización de la voladura para la reducción de costos en el desarrollo del crucero 620, proyecto de Exploración Esperanza VI, U.E.A. Capitana – Compañía Minera Caravelí S.A.C” cuyo objetivo principal fue determinar la optimización de la voladura para la reducción de costos en el desarrollo del crucero 620. La metodología utilizada fue aplicada, nivel correlacional y de diseño experimental. Los resultados obtenidos indicaron que al optimizar los estándares establecidos de perforación y voladura en el desarrollo CX-620, se logró reducir los costos de voladura (S/. /metro) de 148.37 a 112.45 obteniendo así una reducción del 24% en comparación a lo obtenidos anteriormente.

Pacahuala (2015) en su tesis titulada “Reducción de costos operativos en desarrollos mediante actualización de estándares en perforación y voladura, caso de la empresa especializada MINCOTRALL S.R.L.” tuvo como objetivo principal determinar la influencia de la actualización de estándares en perforación y voladura en los frentes de avance para la optimización de costos de la empresa. La metodología utilizada fue de tipo aplicada, con un nivel de investigación descriptivo. Los resultados obtenidos fueron que la actualización de los estándares de 6 pies a 8 pies en la operación unitaria de perforación y voladura influyó positivamente para la disminución de 348 a 311 US\$/ML en frente de avance. Se logró disminuir en un 10% respecto a los costos unitarios de perforación y voladura, monto que permitió a la empresa ahorrar para gastos de capital.

Curasma y Quispe (2019) en su investigación titulada “Optimización del proceso de minado y de los costos de explotación en las labores del nivel 610 unidad Julcani –

Compañía de minas Buenaventura S.A.A. – Huancavelica” tuvo como objetivo principal fue determinar de qué manera optimizara el proceso de minado y de los costos de explotación en las labores del nivel 610. La metodología utilizada fue de tipo descriptivo correlacional, con un nivel descriptiva. Los resultados obtenidos fueron que el programa mensual de extracción de mineral proyectado se cumple con efectividad 406 ton/día en promedio y mensualmente 10050 toneladas. Con el rediseño de malla de perforación para tajeos de un ala en tipo de roca IVA-IVB, se ha optimizado el costo de explosivo y accesorios de S/.95.70 a S/.88.77. el costo general de operación unitaria por disparo de explotación en chimeneas de 5’ x 8’, se ha optimizado de S/. 1519.09 a S/. 1463.15 con efectividad de trabajo por tarea en guardia.

Morales (2019) en su investigación “Reducción de costos unitarios mediante la optimización de la malla de perforación y voladura en el inclinado -180 valeria norte de la Empresa Minera Vicus SAC” tuvo como objetivo principal reducir los costos unitarios mediante la optimización de la malla de perforación y voladura en el inclinado 180. La metodología utilizada fue de tipo descriptivo con un nivel experimental y correlacional. Los resultados obtenidos fueron utilizando el modelo matemático HOLMBERG se determinó el diseño de malla de perforación y carga explosiva adecuada, reduciendo los costos en la ejecución del inclinado de US\$ 325.35 a US\$ 246.53, también se redujo los costos de perforación de US\$ 91.61 a US\$ 79.17. los costos de voladura redujeron de US\$ 246.23 a US\$ 178.32. El porcentaje que se redujo fue de 30% menor que el costo inicial.

También se ha recopilado antecedentes locales:

Calderon (2018) en su tesis titulada “Optimización de costos mediante modificaciones de variables controlables de perforación y voladura en mina el Toro” cuyo objetivo principal fue mejorar los cotos y/o procesos operativos sin alterar la productividad

del proceso de minado. La metodología utilizada fue aplicativa, de diseño no experimental correlacional. Los resultados obtenidos indicaron que al cambiar el ANFO por una combinación de ANFO + Emulsión, reduce el número de taladros y el factor de potencia. En consecuencia, se logra un ahorro de 0.021 US\$/Tn. Finalmente llegó a la conclusión que al tener una producción programada de 22.2 millones de toneladas al año, se ahorraría 0.47 M de USD/año.

Cárdenas (2017) en su investigación titulada “Optimización de costos en la construcción del PAD, mediante el control y la gestión operativa por Stracon GyM en Minera Shahuindo” tuvo como objetivo principal optimizar los costos en la construcción del PAD, mediante el control y gestión operativa. La metodología utilizada fue empírico, analítico y descriptivo. Los resultados obtenidos indicaron que se logró incrementar la producción diaria en lo siguiente, corte y carguío del material aumento en un 14% de 7 horas hasta 8 horas, la eficiencia promedio de corte y carguío aumento en 25% de 1600 m³/día a 1997.23 m³/día. Debido a la nueva eficiencia alcanzada se terminó el proceso de corte con un ahorro de 20% de tiempo inicial. En un inicio existió una pérdida de US\$ 189002.56 por semana, pero al implementar mejoras en campo se logró reducir los costos en los diferentes metrados y asimismo se pueden obtener un ahorro de US\$ 82726.99 por semana y US\$ 330907.96 mensuales, representando una recuperación del 43.8% de la pérdida total en una semana.

Para entender mejor la presente investigación se tienen las siguientes bases teóricas.

La red neuronal artificial (RNA) es el componente de las técnicas de inteligencia artificial creadas para simular el cerebro humano mientras analiza y procesa la información a través de muchas neuronas interconectadas. Sobre la base de este conocimiento, ANN se

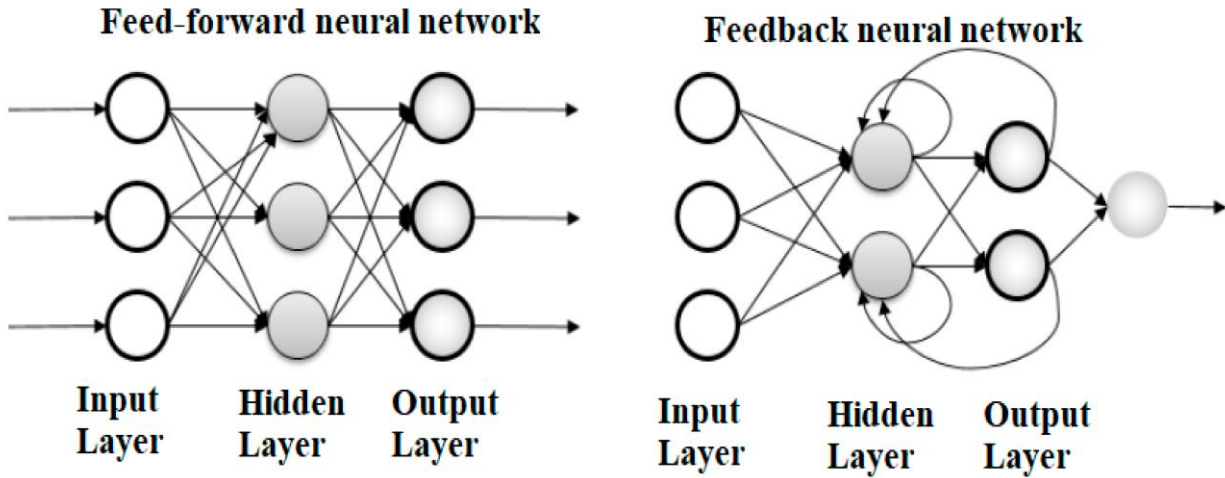
presentó y amplió recientemente para lograr muchos éxitos en diversas áreas de la ingeniería (Koopialipoor et al., 2020) (Gowid, Mahdi, & Alabtah, 2019) (Mehlig, 2021).

Las capacidades de autoaprendizaje de ANN mejoran su rendimiento para resolver problemas difíciles y complejos independientemente de la cantidad de datos (Feng & Lu, 2010). Una red neuronal artificial (RNA) tiene cientos de miles de neuronas artificiales interconectadas por nodos utilizados como unidades de procesamiento (Liu et al., 2021). Las unidades de procesamiento se dividen en unidades de entrada y de salida. Basado en el sistema de peso interno, las unidades de entrada reciben la información. Por lo tanto, la red neuronal en la capa oculta intenta aprender sobre la información presentada para producir un informe de salida. La propagación hacia atrás de errores, abreviada como retropropagación, se utiliza en la red neuronal artificial como regla de aprendizaje para minimizar los valores de error (Walczak & Cerpa, 2003).

Después de eso, producen resultados precisos para los informes de salida. Las redes neuronales artificiales (RNA) se clasifican principalmente en redes neuronales de retroalimentación y retroalimentación (recurrentes) (Chiang, Chang, & Chang, 2004). En la red neuronal de retroalimentación, las señales viajan de entrada a salida de forma sencilla en una dirección. Mientras que, en las redes neuronales de retroalimentación, las señales pueden viajar en ambas direcciones, mientras que las conexiones de la red pueden formar uno o varios bucles como se muestra en la **Figura 1** (Pekel & Kara, 2017). Una red neuronal de retroalimentación (FFNN) es el primer y más común tipo de red neuronal artificial. FFNN puede desarrollarse a través de una sola capa, un perceptrón multicapa (MLP) y una función de base radial (RBF) (Pekel & Kara, 2017).

Figura 1

Arquitectura RNA basada en redes neuronales de feed-forward y feedback



Nota. Obtenido de (Pekel & Kara, 2017).

Existen tipos de redes neuronales como las de tipo Feedforward donde las señales se mueven en una sola dirección, desde la entrada hasta la salida, sin ciclos y las recurrentes donde las señales se mueven en ambas direcciones con ciclos e la red. La neurona es la unidad fundamental de procesamiento en una RNA. Una neurona recibe varias entradas, las multiplica por pesos y produce una salida (Naumov, 2017).

Figura 2

Red Neuronal Artificial de tipo Feedforward

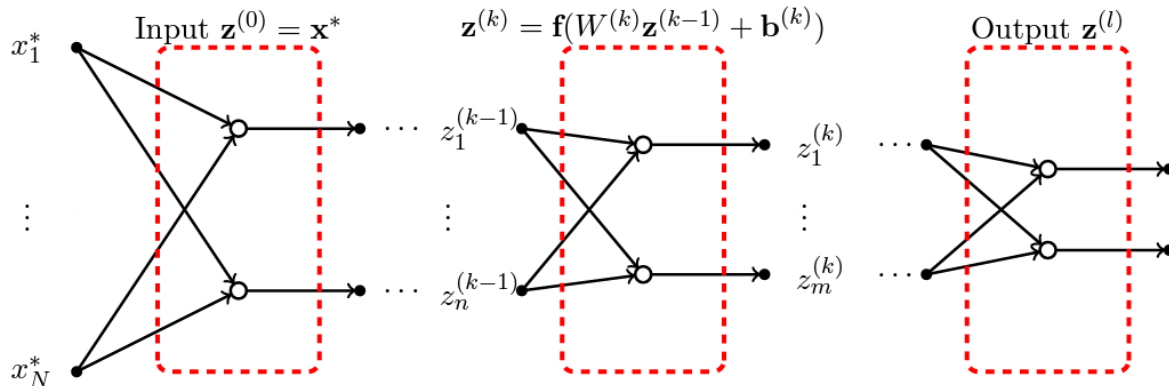
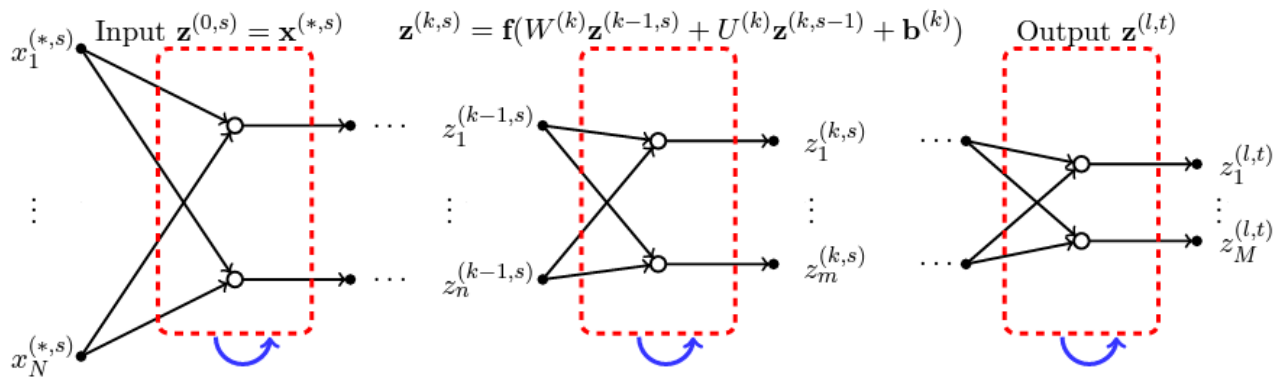


Figura 3

Red Neuronal artificial de tipo recurrente



$$y = f\left(\sum_{i=1}^n w_i x_i + b\right)$$

Donde x_i es la entrada i -ésima, w_i es el peso asociado, b es el sesgo y f es una función de activación. Las funciones de activación determinan la salida de la neurona. Algunas populares son: la sigmoide, tangente hiperbólica y ReLU.

$$\text{Sigmoide: } f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$$

$$\text{Tangente hiperbólica: } f(x) = \tanh(x)$$

$$\text{ReLU: } f(x) = \max(0, x)$$

La validación es esencial para determinar qué tan bien se desempeña la red neuronal en datos no vistos previamente. El conjunto de validación es un subconjunto de datos no utilizado durante el entrenamiento. Sirve para ajustar hiperparámetros y prevenir el sobreajuste. Las técnicas de validación cruzada se utilizan para evaluar el rendimiento de la RNA en diferentes subconjuntos del conjunto de datos. Las métricas de evaluación sirven para evaluar el desempeño de la RNA como la precisión, sensibilidad, especificidad, F1-Score (Schumann, Gupta, & Stacy, 2003).

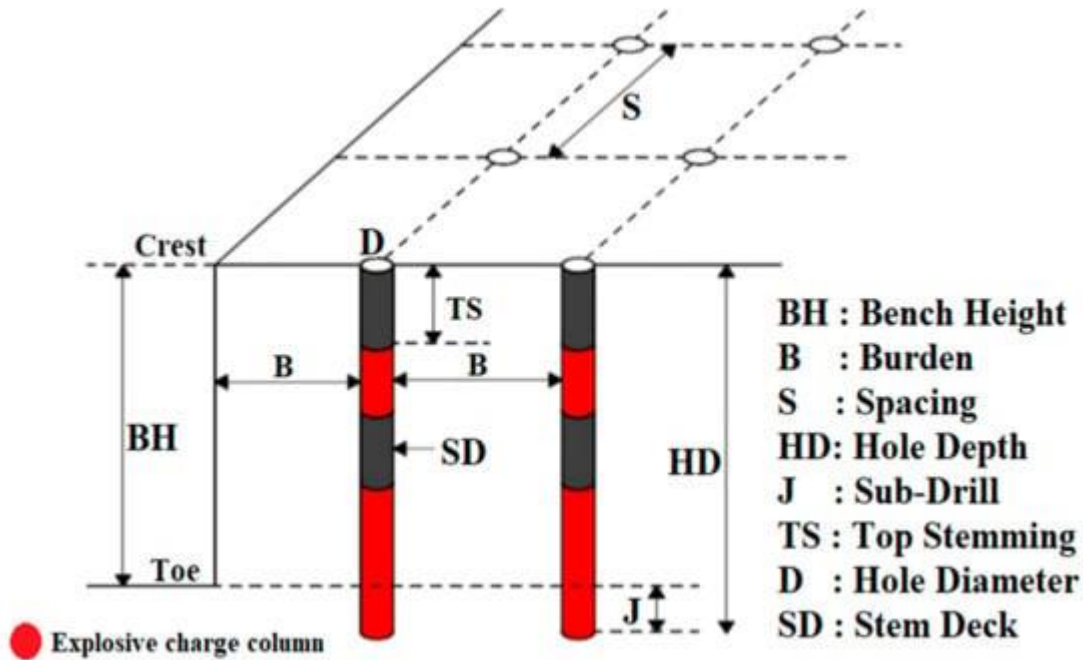
La perforación y la voladura son bien conocidos como métodos principales empleados para la excavación de rocas en minería y proyectos civiles relacionados, como túneles y construcción de carreteras. La voladura juega un papel importante en la distribución del tamaño de los fragmentos excavados; por lo tanto, será más conveniente prepararlos para operaciones posteriores. La fragmentación del macizo rocoso es el objetivo deseado de la operación de voladura (Sanchidrián & Ouchterlony, 2017).

La fragmentación producida adecuadamente puede reducir los costos de operación al garantizar el flujo fluido de los materiales excavados durante el transporte, trituración y otros procesos posteriores (Božić, 1998), (Morin & Ficarazzo, 2006), (Abbaspour et al., 2018). En comparación con los costos de rotura mecánica, que consumen entre el 40% y el 60% del costo total de la molienda minera, el uso de energía explosiva para la rotura de rocas es una opción económicamente más preferida y efectiva (Rosales-Huamani et al., 2020). Además, la voladura contribuye a disminuir el consumo de energía y la rotura secundaria de las grandes rocas (Shi, 2013). La gestión adecuada de los procesos de voladura casi da como resultado una roca volada adecuada y, como consecuencia, optimiza la economía general de la mina/planta (Thornton, Kanchibotla, & Brunton, 2002) (Monjezi, Rezaei, & Varjani, 2009).

Las operaciones de voladura que controlan la calidad y cantidad de la fragmentación resultante reducen los costos generales y eliminan los efectos ambientales adversos que generalmente acompañan a la voladura, como rotura de espalda, vibración, polvo, rocas voladoras y ruido en la **Figura 4**.

Figura 4

Algunos de los parámetros de entrada geométricos para la predicción del costo por metro cúbico de roca fragmentada en un banco



Nota. Obtenido de (Al-Bakri & Sazid, 2021).

El costo por metro cúbico de roca fragmentada es una métrica fundamental en la industria minera, siendo una variable crítica que influye directamente en la rentabilidad de las explotaciones. Esta variable engloba el costo asociado con la fragmentación, remoción y disposición de un metro cúbico de roca, abarcando componentes tales como maquinaria, mano de obra, insumos y estructuras de apoyo. Diversos factores influyen en este costo, como el tipo de roca, la profundidad de operación, la tecnología empleada y las condiciones geográficas (Cárdenas, 2017).

La complejidad de determinar este costo radica en la variabilidad de estos componentes. Por ejemplo, rocas de distintas composiciones y durezas pueden requerir

diferentes cantidades de energía y recursos para ser fragmentadas. Asimismo, las operaciones en zonas de difícil acceso o a mayores profundidades suelen tener costos más elevados debido a los retos logísticos y los riesgos asociados (Curasma & Quispe, 2019).

La optimización del costo por metro cúbico es crucial para la sostenibilidad de las operaciones mineras. Esto puede lograrse mediante estudios geotécnicos precisos, capacitación del personal, adopción de tecnologías avanzadas y sistemas de monitoreo y control. Estas estrategias no solo reducen costos, sino que también mejoran la eficiencia, permitiendo una explotación minera más responsable y rentable. El adecuado manejo y reducción del costo por metro cúbico de roca fragmentada es esencial para garantizar la rentabilidad de un proyecto minero. La continua investigación y adaptación a nuevas tecnologías y métodos puede significar la diferencia entre una operación exitosa y una no rentable (Rojas, 2021).

El presente estudio de investigación se justifica porque las redes neuronales artificiales son sustanciales en la optimización de costos de fragmentación de rocas. Aunque se han usado métodos tradicionales, las redes neuronales artificiales presentan un potencial sin precedentes para abordar esta tarea de manera más precisa y adaptativa. Esta investigación busca capitalizar la capacidad de estas redes para modelar relaciones complejas y ofrecer soluciones más eficientes, con el objetivo de revolucionar la gestión de costos en la fragmentación de rocas y mejorar la rentabilidad y eficacia de las operaciones mineras.

1.2. Formulación del problema

Problema general

¿En qué medida la aplicación de una red neuronal artificial impacta en la optimización del costo por metro cúbico de roca fragmentada en una mina cielo abierto en Huamachuco, 2023?

Problemas específicos

¿Cuáles son las variables principales que influyen en el costo de fragmentación de roca en una mina cielo abierto en Huamachuco, 2023?

¿Cómo se puede diseñar y entrenar una red neuronal artificial que pueda optimizar el costo por metro cúbico de roca fragmentada en una mina a cielo abierto en Huamachuco, 2023?

¿Cómo se puede validar la precisión y eficiencia de la red neuronal propuesta en la optimización de costos por metro cúbico de roca fragmentada en una mina a cielo abierto en Huamachuco, 2023?

1.3.Objetivos

Objetivo General

Implementar una red neuronal artificial para optimizar el costo por metro cúbico de roca fragmentada en una mina cielo abierto en Huamachuco, 2023.

Objetivos Específicos

Analizar las principales variables que influyen en el costo de fragmentación de roca en una mina cielo abierto en Huamachuco, 2023.

Diseñar y entrenar una red neuronal artificial para optimizar el costo por metro cúbico de roca fragmentada en una mina cielo abierto en Huamachuco, 2023.

Validar la precisión y eficiencia de la red neuronal propuesta para la optimización

de costos por metro cúbico de roca fragmentada en una mina cielo abierto en Huamachuco, 2023.

1.4.Hipótesis

Hipótesis general

La implementación de una red neuronal artificial puede optimizar significativamente el costo por metro cúbico de roca fragmentada en una mina cielo abierto en Huamachuco, 2023.

Hipótesis específicas

Las variables principales que influyen en el costo de fragmentación de roca en la mina cielo abierto en Huamachuco, 2023 pueden ser identificadas y cuantificadas.

Una red neuronal artificial diseñada y entrenada adecuadamente puede optimizar el costo por metro cúbico de roca fragmentada en una mina cielo abierto en Huamachuco, 2023.

La red neuronal propuesta será precisa y eficiente en la optimización de costos por metro cúbico de roca fragmentada en una mina cielo abierto en Huamachuco, 2023.

CAPITULO II: METODOLOGÍA

Este estudio adoptó una metodología cuantitativa, centrándose en la recopilación y análisis de datos numéricos para responder a las cuestiones de investigación, de acuerdo con lo establecido por (Hernández et al., 2018). Su propósito fue de naturaleza aplicada, con el objetivo de utilizar los hallazgos para abordar problemas reales o mejorar condiciones prácticas, según lo sugerido por Vargas (2009). Respecto a su temporalidad, se llevó a cabo un diseño longitudinal, abarcando el periodo de junio, julio y agosto de 2023, permitiendo el seguimiento y evaluación a lo largo del tiempo para identificar cambios y patrones en las variables de interés (Botía & Jurado, 2018). En términos de alcance, el estudio fue correlacional, examinando las relaciones entre las variables sin manipulación directa (Guillen et al., 2020). Finalmente, se optó por un diseño no experimental y descriptivo para el estudio, con el propósito de describir y analizar los fenómenos y variables en su contorno natural, sin manipulación intencional ni control de variables (Hernández-Sampieri & Mendoza Torres , 2018).

De acuerdo con Hernández, Fernández y Baptista (2014), “una población es el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones”. La presente investigación tiene como **población** todas las operaciones mineras realizadas en una mina a cielo abierto en Huamachuco en 2023.

De acuerdo con Hernández, Fernández y Baptista (2014), “la muestra es un subgrupo de la población, un subconjunto de elementos que pertenecen a ese conjunto definido en sus características al que llamamos población”. Por lo mencionado antes, en la presente investigación **la muestra** fue un proyecto de fragmentación de rocas de un banco en la mina cielo abierto durante los meses de junio, julio y agosto de 2023.

La recopilación de datos se basó en una revisión documental exhaustiva de la empresa minera. Se llevó a cabo una revisión documental de registros y archivos mineros sobre las operaciones de fragmentación de rocas. Todos estos datos fueron registrados y tabulados utilizando software Excel especializado para su posterior análisis.

Tabla 1

Tabla resumen de técnicas e instrumentos empleados en la investigación

Técnica/Instrumento	Descripción	Propósito en la investigación	Fuente de datos
Revisión documental	Examen detallado de registros y archivos de proyectos de fragmentación de rocas en la mina cielo abierto de Huamachuco, 2023.	Obtener datos cuantitativos y cualitativos sobre operaciones de fragmentación de rocas en la mina cielo abierto en la mina cielo abierto en Huamachuco, 2023.	Archivos de proyectos de fragmentación de roca en la mina cielo abierto durante el año 2023.
Software Excel	Uso de hojas de cálculo para tabular, organizar y analizar los datos recopilados.	Facilitar el análisis cuantitativo y cualitativo, y la visualización de los datos recogidos de la revisión documental de la mina.	Datos recogidos a través de la revisión documental de la mina a cielo abierto.

	Implementar y optimizar
Jupyter Notebook	<p>Plataforma interactiva para el diseño, entrenamiento y prueba de la red neuronal para el diseño, predicción y optimización de costos de fragmentación de rocas, utilizando los datos analizados.</p> <p>la red neuronal para la predicción y optimización de costos de fragmentación de rocas, utilizando los datos analizados.</p> <p>Datos procesados y tabulados en Excel.</p>

Para la recolección de datos en esta tesis, se emplearon técnicas cuantitativas y cualitativas.

La presente investigación se ha desarrollado mediante el siguiente procedimiento:

La investigación comenzó con una definición clara y concisa de los objetivos y la hipótesis, seguida de una revisión exhaustiva de literatura pertinente. Esta revisión permitió establecer un sólido marco teórico, identificando estudios previos, técnicas y métodos que han abordado problemas similares en el campo de la minería. Posteriormente, se diseñó y llevó a cabo la fase de recolección de datos, obteniendo información documental de proyectos de fragmentación de roca de la empresa minera, observaciones in situ en las áreas de fragmentación de rocas, garantizando que la información recopilada fuera relevante y actual.

Con los datos en mano, se procedió a una etapa de preprocesamiento y validación de la información, asegurando que los datos estuvieran listos para el análisis computacional. Para la implementación de la red neuronal, se utilizó el entorno Jupyter Notebook, una herramienta interactiva ampliamente reconocida en el campo de la ciencia

de datos. En esta plataforma, se diseñó, entrenó dividiendo el conjunto de datos en subsets de entrenamiento, validación y testeo.

Finalmente, una vez que la red estuvo entrenada y optimizada, se llevaron a cabo pruebas para validar su rendimiento y precisión en la optimización de costos de fragmentación de rocas. Esta fase culminó con un análisis detallado de los resultados, de donde se extrajeron conclusiones claras y se plantearon recomendaciones basadas en los hallazgos, aportando así una solución innovadora al problema identificado en la industria minera.

Tabla 2

Resumen de procedimiento de la investigación

Etapas de investigación	Actividades realizadas	Técnicas/Herramientas utilizadas	Software/Análisis estadístico
Definición de objetivos e hipótesis	Formulación de objetivos e hipótesis basadas en necesidades de investigación	Metodología de investigación cualitativa y cuantitativa.	N/A
	Revisión preliminar de literatura	Análisis de documentos relevantes	
Revisión de literatura	Búsqueda y análisis exhaustivo de literatura relacionada	Base de datos académicas.	N/A
	Identificación de estudios previos, técnicos y métodos relevantes.	Software de gestión bibliográfica.	
Recolección de datos	Revisión documental de registros de la mina.	Análisis documental. Protocolos de observación y tabulación de estandarizados.	Excel para registro de datos.

Análisis de datos	Preprocesamiento y validación de datos recopilados. Análisis cuantitativo y cualitativo de los datos.	Técnica de análisis de datos cuantitativos y cualitativos.	Microsoft Excel
Implementación de red neuronal	Diseño y entrenamiento de la red neuronal. Pruebas de validación y optimización	Modelado de redes neuronales. Técnicas de aprendizaje automático	Jupyter notebook. Herramienta de aprendizaje automático (TensorFlow, PyTorch).
Análisis de resultados y conclusiones	Interpretación de los resultados de la red neuronal Comparación con hipótesis y objetivos iniciales Formulación de conclusiones y recomendaciones.	Técnica de interpretación de datos. Comparación estadística	Software para análisis de datos (Jupyter notebook y Microsoft Excel)

			Jupyter notebook para visualización de datos.
Redacción	Redacción del informe final	Normas de redacción académica APA séptima edición	Microsoft Word

Durante el desarrollo del proyecto de investigación, se adoptaron ciertos principios éticos esenciales:

Manejo de búsqueda sistemática: Se recurrió a fuentes académicas confiables como informes, tesis, libros y artículos para consolidar un marco teórico alineado con las bases, métodos y técnicas pertinentes al tema de investigación.

Precisión en la definición de objetivos: Los objetivos se definieron con una estructura lógica y secuencial, garantizando una apropiada orientación y tratamiento de las variables bajo estudio.

Integridad y transparencia: Se mantuvo una rigurosa honestidad a lo largo de toda la investigación. Ello implicó presentar los datos con exactitud, evitando cualquier falsificación o distorsión de la información.

Responsabilidad institucional: La investigación se condujo en consonancia con los principios éticos y lineamientos establecidos por la Universidad Privada del Norte, evidenciando un compromiso tanto con la academia como con los valores fundamentales de la investigación científica.

CAPITULO III: RESULTADOS

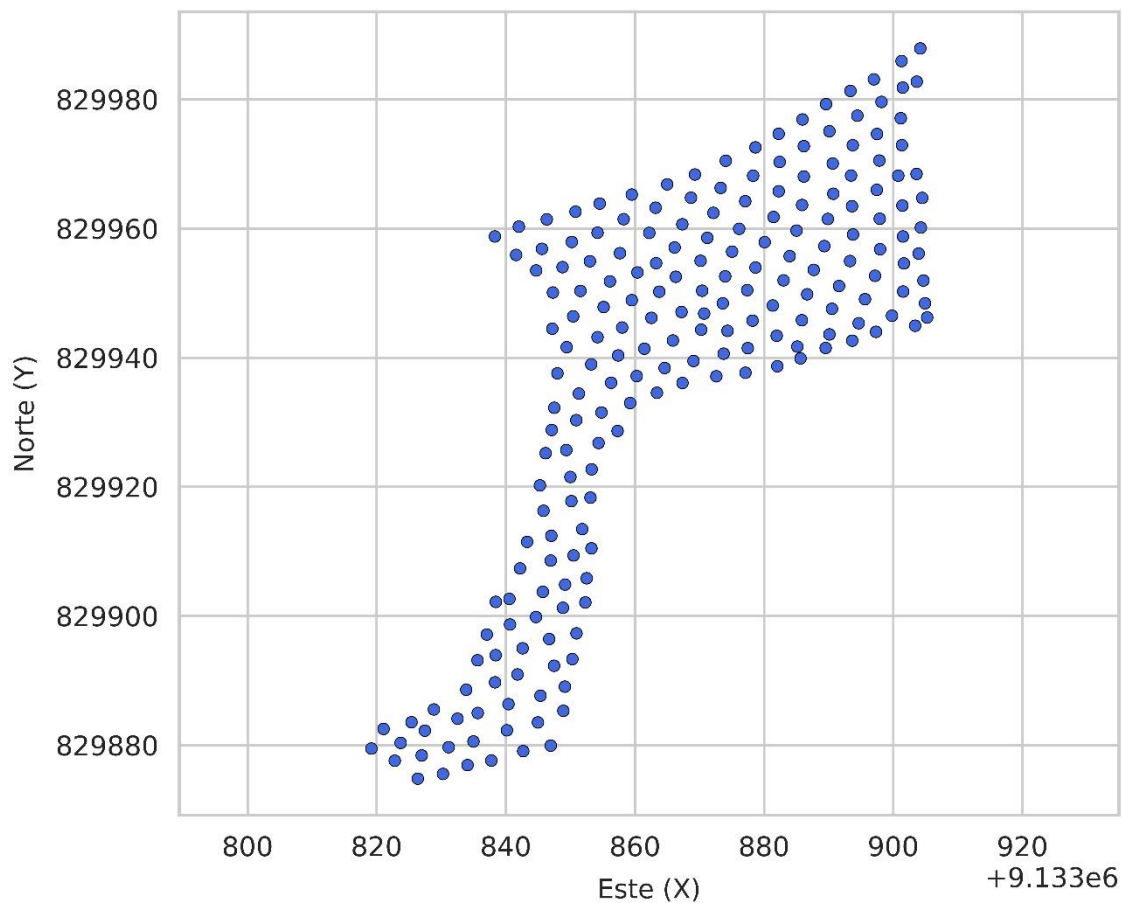
3.1. Resultados

Objetivo 1: Analizar las principales variables que influyen en el costo de fragmentación de roca una mina cielo abierto en Huamachuco, 2023.

La **Figura 5** ilustra las perforaciones ejecutadas en el banco de trabajo, representadas en un gráfico con coordenadas Este y Norte.

Figura 5

Perforaciones en el banco

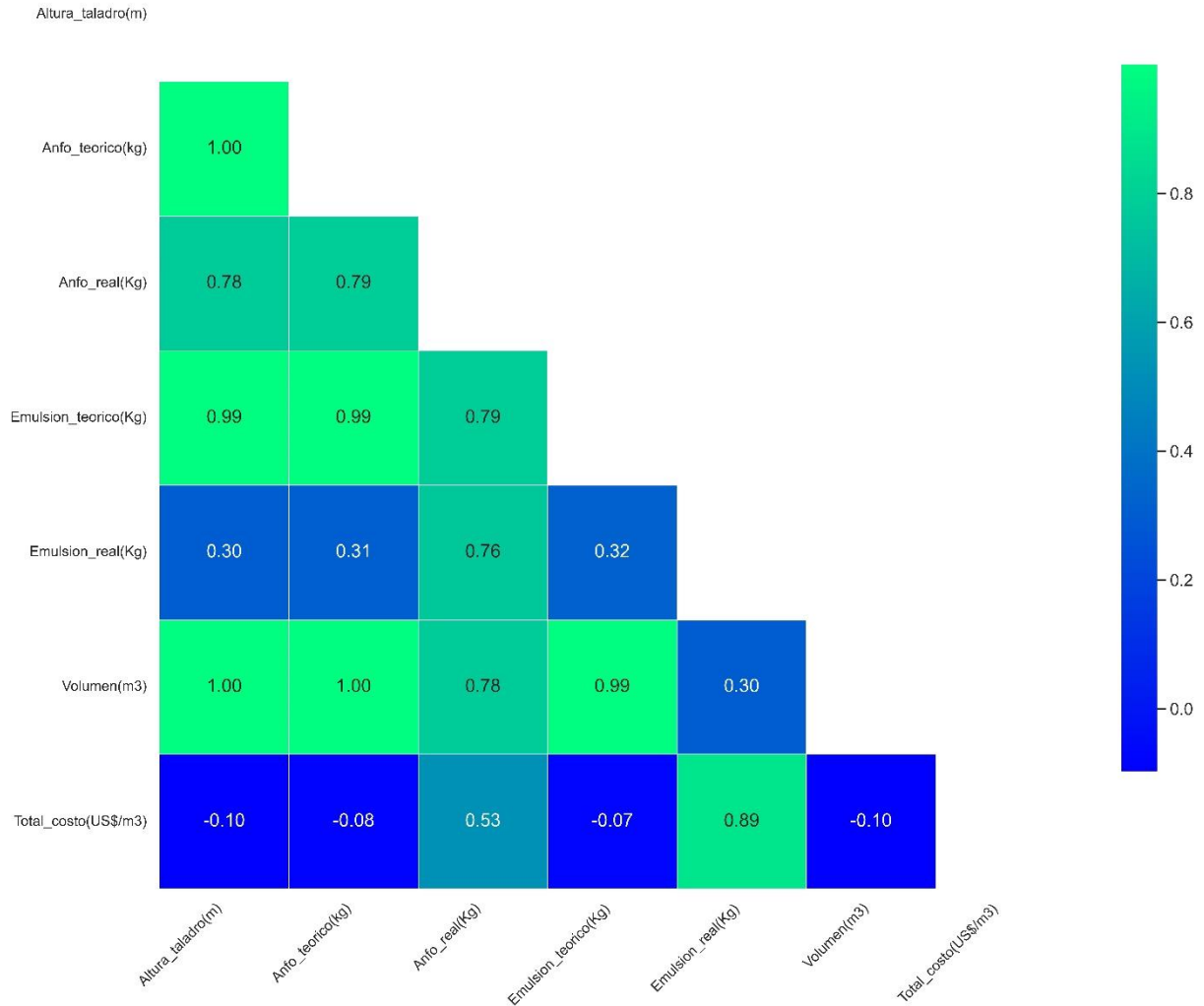


Para el análisis de las principales variables se realizó una matriz de correlación de las variables con relación al costo por metro cúbico de material fragmentado, donde el

coeficiente de correlación de -0.10 entre la altura de taladro y el costo total por m^3 indica una asociación negativa marginal. Sugiere que taladros más profundos podría estar levemente asociado con una reducción en el costo. Con un coeficiente de -0.08 la correlación entre el Anfo teórico y el costo por metro cúbico es prácticamente nula. Un coeficiente de 0.53 evidencia una correlación positiva moderada entre la cantidad real de Anfo utilizado y el costo por metro cúbico. Este dato subraya la importancia de monitorear el uso práctico de Anfo, ya que su empleo ineficiente o excesivo puede contribuir al aumento de los costos operativos. Presentando un coeficiente de -0.07 , la relación entre la emulsión teórica y el costo por metro cúbico es insignificante. Con una relación marcada de 0.89 con el costo total, la cantidad real de emulsión empleada tiene un efecto considerable sobre el costo por metro cúbico. Esto destaca la crítica relación entre el uso real de emulsión y su repercusión económica. El coeficiente de correlación de -0.10 con el costo total por metro cúbico apunta una relación negativa marginal con el volumen de roca fragmentada. Sugiere que el aumento en el volumen puede estar levemente asociado con una disminución en el costo (véase **Figura 6**).

Figura 6

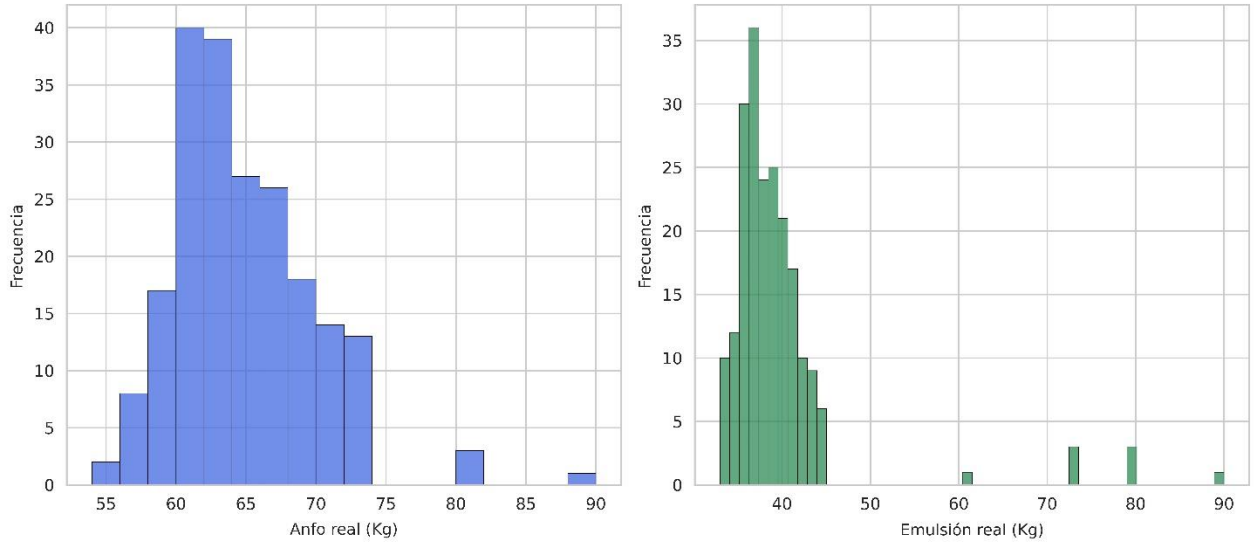
Matriz de correlación de variables de estudio



En la **Figura 7** se muestra la distribución de frecuencias de las variables de Anfo real y emulsión real, donde se observa que la mayor cantidad de Anfo real fue de 62 a 64 kg, y en la emulsión real fue entre 30 a 40 kg.

Figura 7

Distribución de frecuencias de las variables con mayor correlación



3.2.Objetivo 2: Diseñar y entrenar una red neuronal artificial para optimizar el costo por metro cúbico de roca fragmentada en una mina a cielo abierto en Huamachuco, 2023.

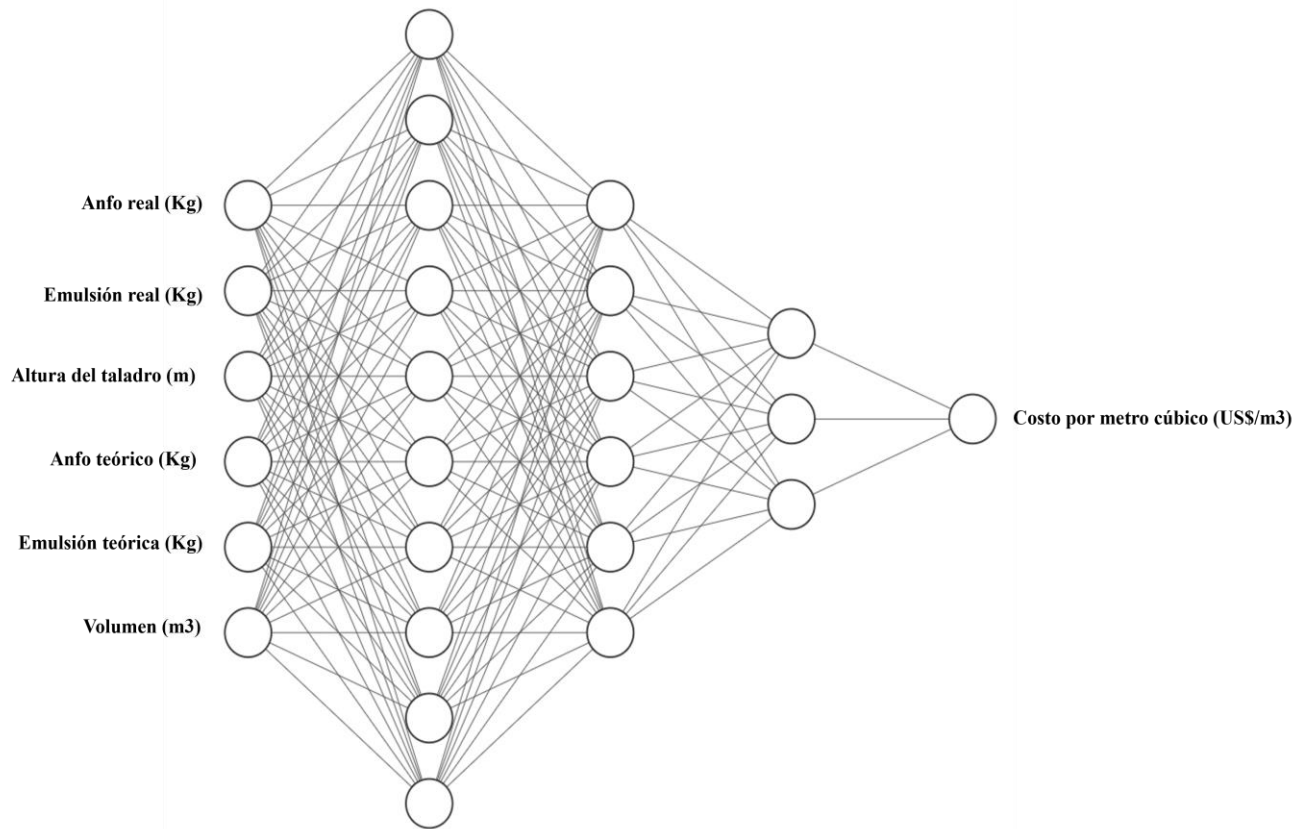
En la **Tabla 3** se muestra la arquitectura de la red neuronal que se compone de una capa de entrada con 6 neuronas, empleando la función de activación ReLU para optimizar la propagación de señales. En las capas ocultas, se ha implementado una estructura de 10 neuronas en la primera capa, seguida por 6 en la segunda y finalmente 3 en la tercera. La capa de salida consta de una única neurona, destinada a ofrecer un resultado conciso y representativo de la optimización de costos por metro cúbico de roca fragmentada en una mina a cielo abierto. Su representación gráfica se muestra en la **Figura 8**.

Tabla 3
Arquitectura de la red neuronal

Capas	Número de neuronas	Función de activación
Entrada	6	
	10	
Ocultas	6	ReLU
	3	
Salida	1	

Figura 8

Diagrama de red neuronal



Para garantizar un enfoque efectivo en la optimización, se han establecido hiperparámetros críticos para el entrenamiento de la red neuronal. El optimizador Adam se ha seleccionado como base para la mejora de los pesos de la red. La función de pérdida empleada es el error cuadrático medio, asegurando una evaluación precisa del desempeño del modelo. Se ha optado por un tamaño de lote de 32 para la gestión eficiente de los datos durante el entrenamiento, y se ha programado un total de 300 épocas para un aprendizaje exhaustivo y progresivo (véase **Tabla 4**).

Tabla 4

Hiperparámetros utilizados

Hiperparámetro	Valor
Optimizador	Adam
Función de pérdida	Error cuadrático medio
Tamaño del lote	32
Número de épocas	300

3.3.Objetivo 3: Validar la precisión y eficiencia de la red neuronal propuesta para la optimización de costos por metro cúbico de roca fragmentada en una mina a cielo abierto en Huamachuco, 2023.

En la **Figura 9**, se presenta la Curva de Aprendizaje que ilustra la evolución del proceso de entrenamiento de la red neuronal. Esta gráfica destaca una notable convergencia entre las curvas de pérdida de entrenamiento y validación, caracterizada por un inicio con valores iniciales de alrededor de 60 para la curva de entrenamiento y 30 para la validación. A medida que el proceso de entrenamiento avanza, ambas curvas experimentan un descenso gradual, alcanzando valores cercanos a 0. Este descenso en las curvas de pérdida denota una mejora sustancial en la capacidad del modelo para ajustarse y predecir con precisión los resultados deseados. La similitud en el patrón de ambas curvas y su convergencia señalan un aprendizaje sólido y una generalización eficaz del modelo, lo que se traduce en un rendimiento optimizado para abordar la complejidad de la optimización de costos en el contexto de la minería a cielo abierto. En la **Figura 10** se muestra la gráfica de comparación de los valores reales del costo con los valores de predicción por la RNA.

Figura 9

Curvas de aprendizaje

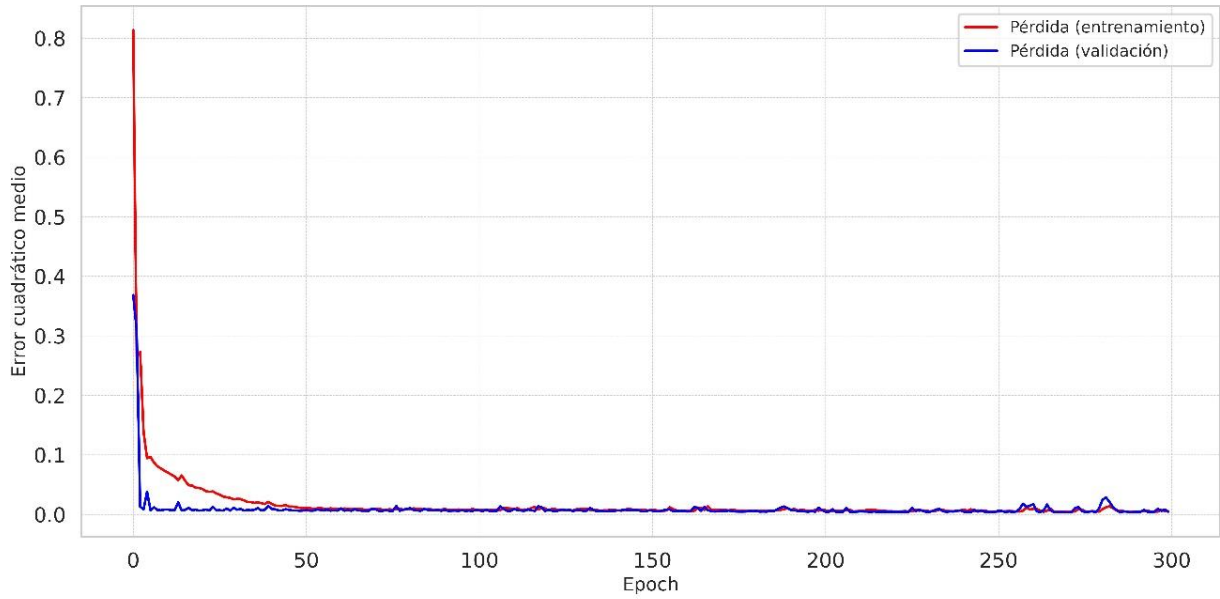
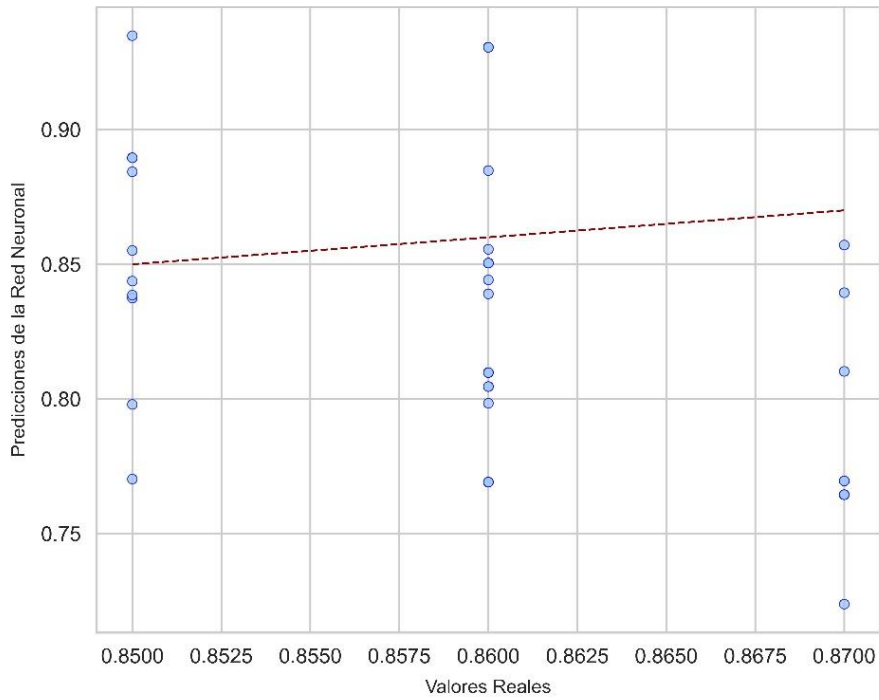


Figura 10

Comparación de predicciones vs valores reales



En la **Tabla 5** se muestra la eficacia de la red neuronal implementada se refleja en los resultados obtenidos, los cuales ilustran un desempeño altamente prometedor en la optimización de costos por metro cúbico de roca fragmentada. El error cuadrático medio, una métrica crítica de evaluación, se ha reducido de manera significativa, alcanzando un impresionante valor de 0.005. Este logro denota la capacidad del modelo para ajustarse y predecir con gran precisión los costos por metro cúbico de roca fragmentada.

Tabla 5

Eficiencia de la red neuronal

Eficiencia de la red neuronal	Valor
Error cuadrático medio	0.005
Loss	0.005
Precisión de predicción	99%

La **Tabla 6** muestra el costo promedio por metro cúbico (US\$/m³), refleja un costo inicial de 0.87. Sin embargo, a través de la aplicación de la optimización impulsada por la red neuronal, este costo se ha reducido significativamente a 0.82, marcando una diferencia impresionante de 0.06. Esta mejora es indicativa del impacto positivo y tangible que la RNA ha tenido en la reducción de costos por metro cúbico de roca fragmentada.

Tabla 6

Optimización del costo promedio por metro cúbico de roca fragmentada

Característica	Real	Optimización (RNA)	Diferencia
-----------------------	-------------	---------------------------	-------------------

Costo promedio por

metro cúbico 0.87 0.82 0.06

(US\$/m³)

CAPITULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

En el presente trabajo de investigación se tuvo como propósito principal implementar una red neuronal artificial para optimizar el costo por metro cúbico de roca fragmentada en una mina a cielo abierto en Huamachuco, 2023. Por tanto, validamos la hipótesis mediante las siguientes discusiones:

Con respecto al objetivo de analizar las principales variables que influyen en el costo de fragmentación de roca en una mina a cielo abierto en Huamachuco, 2023. Al realizar el análisis, se observó que variables como la altura del taladro, el Anfo teórico y práctico, la emulsión teórica y práctica, y el volumen de roca fragmentada juegan roles distintos en la determinación del costo por metro cúbico de material fragmentado. (Rojas, 2021), (Suasnabar, 2020), (Pacahuala, 2015) y (Curasma & Quispe, 2019), resaltan la importancia de optimizar los procesos de perforación y voladura para reducir costos. sin embargo, mientras que en anteriores investigaciones se ha hecho énfasis en la optimización a través de la reducción de costos de voladura y mejora en procesos, el presente análisis demuestra la correlación entre ciertas variables y el costo total (Rojas, 2021). El empleo excesivo de Anfo o la cantidad de emulsión puede elevar el costo por metro cúbico, corroborando las observaciones de (Morales, 2019) y (Calderon, 2018). Sin embargo, se debe tener cautela al interpretar estas correlaciones ya que nos implica causalidad. Es posible que existan otros factores no evaluados en este análisis que pueden afectar el costo de fragmentación.

Con relación al objetivo de diseñar y entrenar una red neuronal artificial con la finalidad de optimizar el costo por metro cúbico de roca fragmentada en una mina a cielo abierto en Huamachuco, 2023. Con base en los resultados mostrados, se diseñó una

arquitectura de red con capas múltiples, incorporando la función de activación ReLU en la capa de entrada. Este diseño, aunque similar en estructura a otros sistemas incorpora ciertas características únicas que son adecuadas para el contexto específico de la minería a cielo abierto. La selección de hiperparámetros, es coherente con estudios previos que buscan la eficiencia en el entrenamiento de redes neuronales. Específicamente, el uso del optimizador Adam y el error cuadrático medio refleja una tendencia en el campo de aprendizaje automático para la optimización de problemas.

Con respecto al objetivo de evaluar la eficiencia del modelo de red neuronal artificial (RNA) en la optimización de costos en una mina a cielo abierto en Huamachuco, 2023. Los resultados obtenidos demuestran una notable convergencia en las curvas de aprendizaje, lo que sugiere un aprendizaje sólido y una generalización eficaz del modelo. Además, la comparación de los valores predichos por la RNA con los valores reales muestra una alta precisión. La red neuronal exhibió un impresionante error cuadrático medio de 0.005 y una precisión de predicción del 99%. Además, se destacó una reducción significativa en el costo por metro cúbico de roca fragmentada, de 0.87 a 0.82 US\$/m³. Estos resultados contrastan con estudios anteriores, como el de (Rojas, 2021) quien se centró en la fragmentación de rocas y, a pesar de emplear modelos semiempíricos y algoritmos de regresión, solo logró un coeficiente de determinación (R^2) nulo y un RMSE de 16.21 con datos no normalizados. En cuanto a la optimización de costos, varios estudios nacionales han abordado este tema. Por ejemplo, (Suasnabar, 2020) logró una reducción del 24% en los costos de voladura mediante la optimización de estándares de perforación y voladura, mientras que (Pacahuala, 2015) redujo los costos operativos en un 10% mediante la actualización de estándares en perforación y voladura. En investigaciones similares, (Curasma & Quispe, 2019) y (Morales, 2019) lograron optimizaciones en sus respectivos

contextos mineros. A nivel local, (Calderon, 2018) logró un ahorro significativo al cambiar el tipo de explosivo, mientras que (Cárdenas, 2017) optimizó costos en la construcción del PAD logrando ahorros sustanciales. No obstante, una limitación de este estudio es que se centra exclusivamente en el uso de RNA para la optimización de costos en minería a cielo abierto, y es posible que otros métodos, algoritmos o combinaciones de técnicas podrían producir resultados diferentes o incluso superiores.

4.2. Conclusiones

La presente investigación logró implementar una red neuronal artificial para optimizar el costo por metro cúbico de roca fragmentada en una mina a cielo abierto.

En esta investigación se logró analizar las principales variables que influyen en el costo de fragmentación de roca en minería a cielo abierto, donde el Anfo real (kg) y la emulsión real (Kg) fueron las que mayor correlación tuvieron con el costo por metro cúbico de roca fragmentada siendo de 0.53 y 0.89, respectivamente.

Se logró diseñar y entrenar una red neuronal artificial para optimizar el costo por metro cúbico de roca fragmentada en una mina a cielo abierto, donde la arquitectura de la red neuronal fue de 1 capa de entrada con 6 neuronas, 3 capas ocultas con 10, 6 y 3 neuronas, una capa de salida con 1 neurona que es el costo por metro cúbico de roca fragmentada.

Se logró validar la precisión y eficiencia de la red neuronal propuesta para la optimización de costos por metro cúbico de roca fragmentada en una mina a cielo abierto, donde se obtuvo un MAE de 0.005 y una eficiencia de optimización de 99%.

REFERENCIAS

- Abbaspour, H., Drebenstedt, C., Badroddin, M., & Maghaminik, A. (2018). Optimized design of drilling and blasting operations in open pit mines under technical and economic uncertainties by system dynamic modelling. *Int. J. Min. Sci. Technol*, 28, 839-848. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2018.06.009>
- Al-Bakri, A., & Sazid, M. (2021). Application of Artificial Neural Network (ANN) for Prediction and Optimization of Blast-Induced Impacts. *Mining*, 1(3), 315-334. doi:<https://doi.org/10.3390/mining1030020>
- Amoako, R., Jha, A., & Zhong, S. (2022). Rock Fragmentation Prediction Using an Artificial Neural Network and Support Vector Regression Hybrid Approach. *Mining*, 2(2), 233-247. doi:<https://doi.org/10.3390/mining2020013>
- Botía, C., & Jurado, T. (2018). El proceso de una investigación cualitativa longitudinal sobre la transición a la maternidad y paternidad en España. *Revista de Metodología de Ciencias Sociales*(41), 33-56.
- Božić, B. (1998). Control of fragmentation by blasting-ProQuest. *Min. Geol. Pet. Eng. Bull*, 10, 49-57.
- Calderon, A. (2018). *Optimización de costos mediante modificaciones de variables controlables de perforación y voladura en mina el Toro*. Tesis para optar el Título profesional de Ingeniero de Minas, Universidad Nacional de Trujillo, Facultad de Ingeniería de Minas, Trujillo.
- Cárdenas, S. (2017). *Optimización de costos en la construcción del PAD, mediante el control y la gestión operativa por Stracon GyM en Minera Shahuindo*. Tesis para optar el título profesional de ingeniero de minas, Universidad Nacional de Trujillo, Escuela académico profesional de Ingeniería de Minas, Trujillo.

- Chiang, Y., Chang, L., & Chang, F. (2004). Comparison of static-feedforward and dynamic-feedback neural networks for rainfall–runoff modeling. *J. Hydrol*, 290, 297-311. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2003.12.033>
- Curasma, N., & Quispe, R. (2019). *Optimización del proceso de minado y de los costos de explotación en las labores del nivel 610 Unidad Julcani - Compañía de minas Buenaventura S.A.A. - Huancavelica*. Tesis para optar el título profesional de ingeniero de minas, Universidad Nacional de Huancavelica, Escuela profesional de Ingeniería de Minas, Lircay - Huancavelica.
- Feng, L., & Lu, J. (2010). The practical research on flood forecasting based on artificial neural networks. *Expert Syst. Appl*, 37, 2974-2977. doi:<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.09.037>
- Gowid, S., Mahdi, E., & Alabtah, F. (2019). Modeling and optimization of the crushing behavior and energy absorption of plain weave composite hexagonal quadruple ring systems using artificial neural network. *Compos. Struct*, 229. doi:<https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.111473>
- Guillen, O., Sánchez, M., & Begazo, L. (2020). *Pasos para elaborar una tesis de tipo correlacional*. Lima.
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. (2018). *Metodología de la Investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. México: Mc Graw Hill Education.
- Koopialipoor, M., Fahimifar, A., Ghaleini, E., Momenzadeh, M., & Armaghani, D. (2020). Development of a new hybrid ANN for solving a geotechnical problem related to tunnel boring machine performance. *Eng. Comput*, 36, 345-357. doi:<https://doi.org/10.1007/s00366-019-00701-8>

- Liu, S., Mocanu, D., Matavalam, A., Pei, Y., & Pechenizkiy, M. (2021). Sparse evolutionary deep learning with over one million artificial neurons on commodity hardware. *Neural Comput. Appl*, 33, 2589-2604.
doi:<https://doi.org/10.1007/s00521-020-05136-7>
- Mehlig, B. (2021). *Machine learning with neural networks*. University of Gothenburg, Department of Physics, Göteborg - Sweden.
- Monjezi, M., Rezaei, M., & Varjani, A. (2009). Prediction of rock fragmentation due to blasting in Gol-E-Gohar iron mine using fuzzy logic. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci*, 46, 1273-1280. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2009.05.005>
- Morales, K. (2019). *Reducción de costos unitarios mediante la optimización de la malla de perforación y voladura en el inclinado -180 valeria norte de la Empresa Minera Vicus SAC*. Tesis para optar el título de Ingeniero de Minas, Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de Ingeniería de Minas, Huancayo.
- Morin, M., & Ficarazzo, F. (2006). Monte Carlo simulation as a tool to predict blasting fragmentation based on the Kuz–Ram model. *Comput. Geosci*, 32, 352-359.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.cageo.2005.06.022>
- Naumov, M. (2017). Feedforward and Recurrent Neural Networks Backward Propagation and Hessian in Matrix Form. *IEEE*.
- Olamide, B., Angesom, G., Fissaha, Y., Kide, Y., Li, E., Haile, K., & Augustine, O. (2023). Artificial Neural Network Modeling as an Approach to Limestone Blast Production Rate Prediction: a Comparison of PI-BANN and MVR Models. *Jorunal of Mining and Environment (JME)*, 14(2), 355-373.
doi:<https://doi.org/10.22044/jme.2023.12489.2266>

- Pacahuala, M. (2015). *Reducción de costos operativos en desarrollos mediante actualización de estándares en perforación y voladura, caso de la empresa especializada MINCOTRALL S.R.L.* Tesis para optar el título profesional de ingeniera de minas, Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de Ingeniería de Minas, Huancayo.
- Pekel, E., & Kara, S. (2017). A Comprehensive Review for Artificial Neural Network Application to Public Transportation. *Sigma J. Eng. Nat. Sci*, 35, 157-179.
- Rojas, F. (2021). *Estimación de la fragmentación producto de la tronadura de rocas en minería a cielo abierto utilizando modelos predictivos y algoritmos de regresión.* Informe de memoria de título para optar al título de ingeniera civil de minas, Universidad de Concepción, Departamento de Ingeniería Metalúrgica, Chile.
- Rosales-Huamani, J., Perez-Alvarado, R., Rojas-Villanueva, U., & Castillo-Sequera, J. (2020). Design of a Predictive Model of Rock Breakage by Blasting Using Artificial Neural Networks. *Symmetry*, 12. doi:<https://doi.org/10.3390/sym12091405>
- Sanchidrián, J., & Ouchterlony, F. (2017). A Distribution-Free Description of Fragmentation by Blasting Based on Dimensional Analysis. *Rock Mech. Rock Eng*, 50, 781-806. doi:<https://doi.org/10.1007/s00603-016-1131-9>
- Schumann, J., Gupta, P., & Stacy, N. (2003). On Verification & Validation of Neural Network Based Controllers. *ResearchGate*.
- Shi, X. (2013). Combined ANN Prediction Model for Rock Fragmentation Distribution due to Blasting. *J. Inf. Comput. Sci*, 10, 3511-3518. doi:<https://doi.org/10.12733/jics20101979>
- Suasnabar, E. (2020). *Optimización de la voladura para la reducción de costos en el desarrollo del Crucero 620, Proyecto de Exploración Esperanza VI, U.E.A*

Capitana - Compañía Minera Caravelí S.A.C. Tesis para optar el título profesional de ingeniero de minas, Universidad Continental, Escuela académico profesional de ingeniería de minas, Huancayo.

Thornton, D., Kanchibotla, S., & Brunton, I. (2002). Modelling the Impact of Rockmass and Blast Design Variation on Blast Fragmentation. *Fragblast*, 6, 169-188.
doi:<https://doi.org/10.1076/frag.6.2.169.8663>

Vargas, Z. (2009). La investigación aplicada: una forma de conocer las realidades con evidencia científica. *Revista Educación*, 33(1), 155-165.

Walczak, S., & Cerpa, N. (2003). Artificial Neural Networks. *In Encyclopedia of Physical Science and Technology*, 631-645.

ANEXOS

ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO: “APLICACIÓN DE RED NEURONAL EN LA OPTIMIZACIÓN DE COSTOS DE ROCA FRAGMENTADA EN UNA MINA CIELO ABIERTO EN HUAMACHUCO, 2023”

PROBLEMA	HIPOTESIS	OBJETIVO GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE	METODOLOGÍA	POBLACIÓN
¿En qué medida la aplicación de una red neuronal artificial impacta en la optimización del costo por metro cúbico de roca fragmentada en una mina cielo abierto en Huamachuco, 2023?	La aplicación de una red neuronal artificial permite una optimización más efectiva del costo por metro cúbico de roca fragmentada, al proporcionar predicciones y análisis más precisos sobre las variables influyentes en comparación con métodos convencionales.	Implementar una red neuronal artificial para optimizar el costo por metro cúbico de roca fragmentada en una mina cielo abierto en Huamachuco, 2023.	Red neuronal artificial	TIPO DE INVESTIGACIÓN: Aplicada	Todas las operaciones mineras realizadas en una mina a cielo abierto en Huamachuco, 2023
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	HIPOTESIS ESPECÍFICAS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	VARIABLE DEPENDIENTE	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN:	MUESTRA
¿Cuáles son las variables principales que influyen en el costo de fragmentación de roca en una mina cielo abierto	Las variables principales que influyen en el costo de fragmentación de roca en la mina cielo abierto en Huamachuco, 2023 pueden ser identificadas y cuantificadas.	Analizar las principales variables que influyen en el costo de fragmentación de roca en una mina cielo abierto en Huamachuco, 2023.	Costo por metro cúbico de roca fragmentada	No experimental de tipo descriptivo TÉCNICA: Análisis documental INSTRUMENTO: Guía de análisis documental	Proyecto de fragmentación de rocas de un banco en la mina cielo abierto durante los meses de junio, julio y

<p>en Huamachuco, 2023?</p> <p>¿Cómo se puede diseñar y entrenar una red neuronal artificial que pueda optimizar el costo por metro cúbico de roca fragmentada en una mina a cielo abierto en Huamachuco, 2023?</p>	<p>Una red neuronal artificial diseñada y entrenada adecuadamente puede optimizar el costo por metro cúbico de roca fragmentada en una mina cielo abierto en Huamachuco, 2023.</p> <p>La red neuronal propuesta será precisa y eficiente en la optimización de costos por metro cúbico de roca fragmentada en una mina cielo abierto en Huamachuco, 2023.</p>	<p>Diseñar y entrenar una red neuronal artificial para optimizar el costo por metro cúbico de roca fragmentada en una mina cielo abierto en Huamachuco, 2023.</p> <p>Validar la precisión y eficiencia de la red neuronal propuesta para la optimización de costos por metro cúbico de roca fragmentada en una mina cielo abierto en Huamachuco, 2023.</p>	<p>agosto de 2023.</p>
<p>¿Cómo se puede validar la precisión y eficiencia de la red neuronal propuesta en la optimización de costos por metro cúbico de roca fragmentada en una mina a cielo abierto en Huamachuco, 2023?</p>			

ANEXO 2: MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

TÍTULO: “APLICACIÓN DE RED NEURONAL EN LA OPTIMIZACIÓN DE COSTOS DE ROCA FRAGMENTADA EN UNA MINA CIELO ABIERTO EN HUAMACHUCO, 2023”					
VARIABLES	DEFINICIÓN	DEFINICIÓN	DIMENSIÓN	INDICADORES	INSTRUMENTO
	CONCEPTUAL	OPERACIONAL			
VARIABLE INDEPENDIENTE Red neuronal artificial	Es una estructura de procesamiento de datos que imita el comportamiento del cerebro humano, utilizada para identificar patrones y hacer predicciones basadas en datos (Mehlig, 2021).	Es un modelo computacional diseñado y entrenado en Jupyter Notebook, que usa un conjunto de datos específico de minería a cielo abierto para predecir y optimizar el costo por metro cúbico de roca fragmentada.	Diseño de la red Entrenamiento Validación	Tipo de red Tasa de aprendizaje Precisión Coeficiente de determinación	Jupyter notebook
VARIABLE DEPENDIENTE Costo por metro cúbico de roca fragmentada	Es el gasto total que se incurre al fragmentar un volumen específico de roca en operaciones de minería (Calderon, 2018).	Es la suma total de todos los costos, directos e indirectos, asociados con la fragmentación de un metro cúbico de roca en una mina a cielo abierto específica.	Costo directo Costo indirecto	Costo de explosivos Costo de maquinaria Costo de mano de obra Costo de logística	Registros

ANEXO 3: INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

 <p>UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE</p>	INSTRUMENTO N° 01: BASE DE DATOS
	TÍTULO: APLICACIÓN DE RED NEURONAL EN LA OPTIMIZACIÓN DE COSTOS DE ROCA FRAGMENTADA EN UNA MINA CIELO ABIERTO EN HUAMACHUCO, 2023
OBJETIVO: Utilizar este instrumento para recolectar la información necesaria para poder aplicar en la red neuronal, esta información se recolectó in situ.	

Tabla 7

Base de datos

Norte	Este	Cota	Altura taladro(m)	Burden (m)	Espaciamiento (m)	Deck (aire)	Taco (m)	Booster (Kg)	Anfo teórico (kg)	Anfo real(Kg)	Emulsión teórica (Kg)	Emulsión real (Kg)	Volumen (m3)	Total Costo (US\$/m3)
829956.81	9133897.95	3348.07	8.6	4.1	4.61	0	3	0.45	70	66	42	40	93.47	0.85
829958.78	9133901.48	3348.16	8.7	4.1	4.61	0	3	0.45	71	67	43	40	95.14	0.84
829956.12	9133903.94	3348.22	8.7	4.1	4.61	0	3	0.45	72	68	43	41	95.14	0.86
829954.61	9133901.65	3347.95	8.4	4.1	4.61	0	3	0.45	68	65	41	39	90.13	0.87
829951.95	9133904.66	3348.03	8.5	4.1	4.61	0	3	0.45	69	66	42	39	91.8	0.86
829964.74	9133904.49	3348.25	8.7	4.1	4.61	0	3	0.45	72	68	43	41	95.14	0.86
829961.53	9133897.89	3348.17	8.7	4.1	4.61	0	3	0.45	71	67	43	40	95.14	0.84
829963.46	9133893.62	3348.23	8.7	4.1	4.61	0	3	0.45	72	68	43	41	95.14	0.86
829965.4	9133890.72	3348.23	8.7	4.1	4.61	0	3	0.45	72	68	43	41	95.14	0.86
829968.07	9133886.13	3348.32	8.8	4.1	4.61	0	3	0.45	73	69	44	42	96.81	0.86
829970.33	9133882.4	3348.39	8.9	4.1	4.61	0	3	0.45	74	70	44	42	98.48	0.85
829972.59	9133878.64	3348.51	9	4.1	4.61	0	3	0.45	75	72	45	43	100.15	0.86
829979.28	9133889.58	3348.54	9	4.1	4.61	0	3	0.45	76	72	45	43	100.15	0.86
829981.33	9133893.37	3348.61	9.1	4.1	4.61	0	3	0.45	77	73	46	44	101.82	0.86
829983.11	9133896.99	3348.45	8.9	4.1	4.61	0	3	0.45	75	71	45	42	98.48	0.86
829985.96	9133901.28	3348.6	9.1	4.1	4.61	0	3	0.45	77	73	46	44	101.82	0.86
829987.91	9133904.17	3348.66	9.2	4.1	4.61	0	3	0.45	77	73	46	44	103.49	0.85

829982.74	9133903.62	3348.55	9.1	4.1	4.61	0	3	0.45	76	72	46	43	101.82	0.85
829981.85	9133901.46	3348.5	9	4.1	4.61	0	3	0.45	75	71	45	43	100.15	0.85
829979.63	9133898.18	3348.48	9	4.1	4.61	0	3	0.45	75	71	45	43	100.15	0.85
829977.47	9133894.42	3348.49	9	4.1	4.61	0	3	0.45	75	71	45	43	100.15	0.85
829975.07	9133890.11	3348.59	9.1	4.1	4.61	0	3	0.45	76	73	46	44	101.82	0.86
829972.91	9133893.72	3348.49	9	4.1	4.61	0	3	0.45	75	71	45	43	100.15	0.85
829974.66	9133897.47	3348.36	8.9	4.1	4.61	0	3	0.45	73	70	44	42	98.48	0.85
829977.09	9133901.16	3348.58	9.1	4.1	4.61	0	3	0.45	76	72	46	43	101.82	0.85
829972.91	9133901.34	3348.46	9	4.1	4.61	0	3	0.45	75	71	45	43	100.15	0.85
829970.53	9133897.84	3348.34	8.8	4.1	4.61	0	3	0.45	73	70	44	42	96.81	0.87
829968.2	9133900.76	3348.26	8.8	4.1	4.61	0	3	0.45	72	69	43	41	96.81	0.85
829968.46	9133903.58	3348.37	8.9	4.1	4.61	0	3	0.45	74	70	44	42	98.48	0.85
829960.14	9133904.28	3348.06	8.6	4.1	4.61	0	3	0.45	70	66	42	40	93.47	0.85
829963.55	9133901.39	3348.04	8.5	4.1	4.61	0	3	0.45	70	66	42	40	91.8	0.87
829965.99	9133897.43	3348	8.5	4.1	4.61	0	3	0.45	69	65	41	39	91.8	0.85
829968.22	9133893.46	3348.21	8.7	4.1	4.61	0	3	0.45	72	68	43	41	95.14	0.86
829970.08	9133890.62	3348.28	8.8	4.1	4.61	0	3	0.45	73	69	44	41	96.81	0.85
829972.77	9133886.13	3348.35	8.8	4.1	4.61	0	3	0.45	73	70	44	42	96.81	0.87
829974.68	9133882.25	3348.43	8.9	4.1	4.61	0	3	0.45	74	71	45	42	98.48	0.86
829976.89	9133885.94	3348.38	8.9	4.1	4.61	0	3	0.45	74	70	44	42	98.48	0.85
829970.5	9133874.06	3348.27	8.8	4.1	4.61	0	3	0.45	72	69	43	41	96.81	0.85
829968.19	9133878.29	3348.21	8.7	4.1	4.61	0	3	0.45	72	68	43	41	95.14	0.86
829965.78	9133882.23	3348.09	8.6	4.1	4.61	0	3	0.45	70	66	42	40	93.47	0.85
829963.65	9133885.87	3348	8.5	4.1	4.61	0	3	0.45	69	65	41	39	91.8	0.85
829961.48	9133889.85	3347.96	8.5	4.1	4.61	0	3	0.45	68	65	41	39	91.8	0.85
829959.08	9133893.76	3347.93	8.4	4.1	4.61	0	3	0.45	68	65	41	39	90.13	0.87
829950.25	9133901.51	3347.68	8.2	4.1	4.61	0	3	0.45	65	62	39	37	86.8	0.86
829948.42	9133904.89	3347.73	8.2	4.1	4.61	0	3	0.45	66	62	39	37	86.8	0.86
829952.68	9133897.16	3347.8	8.3	4.1	4.61	0	3	0.45	66	63	40	38	88.46	0.86
829946.25	9133905.24	3347.6	8.1	4.1	4.61	0	3	0.45	64	61	38	36	85.13	0.86

829944.95	9133903.38	3347.58	8.1	4.1	4.61	0	3	0.45	64	60	38	36	85.13	0.85
829944.02	9133897.33	3347.48	8	4.1	4.61	0	3	0.45	62	59	37	36	83.46	0.86
829942.63	9133893.64	3347.45	7.9	4.1	4.61	0	3	0.45	62	59	37	35	81.79	0.87
829941.5	9133889.52	3347.36	7.9	4.1	4.61	0	3	0.45	61	58	37	35	81.79	0.86
829939.89	9133885.63	3347.44	7.9	4.1	4.61	0	3	0.45	62	59	37	35	81.79	0.87
829938.68	9133882.02	3347.73	8.2	4.1	4.61	0	3	0.45	66	62	39	37	86.8	0.86
829937.67	9133877.11	3347.57	8.1	4.1	4.61	0	3	0.45	64	60	38	36	85.13	0.85
829937.12	9133872.58	3347.48	8	4.1	4.61	0	3	0.45	62	59	37	36	83.46	0.86
829946.5	9133899.8	3347.49	8	4.1	4.61	0	3	0.45	63	59	38	36	83.46	0.86
829945.36	9133894.65	3347.45	7.9	4.1	4.61	0	3	0.45	62	59	37	35	81.79	0.87
829943.62	9133890.1	3347.32	7.8	4.1	4.61	0	3	0.45	60	57	36	34	80.12	0.86
829941.72	9133885.15	3347.52	8	4.1	4.61	0	3	0.45	63	60	38	36	83.46	0.87
829940.64	9133873.71	3347.44	7.9	4.1	4.61	0	3	0.45	62	59	37	35	81.79	0.87
829941.48	9133877.46	3347.63	8.1	4.1	4.61	0	3	0.45	64	61	39	37	85.13	0.87
829943.4	9133881.95	3347.56	8.1	4.1	4.61	0	3	0.45	63	60	38	36	85.13	0.85
829945.81	9133885.84	3347.51	8	4.1	4.61	0	3	0.45	63	60	38	36	83.46	0.87
829947.57	9133890.51	3347.31	7.8	4.1	4.61	0	3	0.45	60	57	36	34	80.12	0.86
829949.06	9133895.63	3347.46	8	4.1	4.61	0	3	0.45	62	59	37	35	83.46	0.85
829951.11	9133891.61	3347.61	8.1	4.1	4.61	0	3	0.45	64	61	38	37	85.13	0.87
829949.83	9133886.67	3347.6	8.1	4.1	4.61	0	3	0.45	64	61	38	36	85.13	0.86
829951.98	9133883.01	3347.81	8.3	4.1	4.61	0	3	0.45	67	63	40	38	88.46	0.86
829953.62	9133887.66	3347.69	8.2	4.1	4.61	0	3	0.45	65	62	39	37	86.8	0.86
829954.98	9133893.29	3347.71	8.2	4.1	4.61	0	3	0.45	65	62	39	37	86.8	0.86
829957.29	9133889.31	3347.76	8.3	4.1	4.61	0	3	0.45	66	63	40	38	88.46	0.86
829955.75	9133883.95	3347.69	8.2	4.1	4.61	0	3	0.45	65	62	39	37	86.8	0.86
829953.96	9133878.66	3347.65	8.2	4.1	4.61	0	3	0.45	65	61	39	37	86.8	0.85
829952.59	9133873.97	3347.66	8.2	4.1	4.61	0	3	0.45	65	61	39	37	86.8	0.85
829956.45	9133875.02	3347.95	8.5	4.1	4.61	0	3	0.45	68	65	41	39	91.8	0.85
829957.91	9133880.09	3347.8	8.3	4.1	4.61	0	3	0.45	66	63	40	38	88.46	0.86
829959.69	9133885.01	3347.89	8.4	4.1	4.61	0	3	0.45	68	64	41	38	90.13	0.85

829961.8	9133881.44	3347.9	8.4	4.1	4.61	0	3	0.45	68	64	41	39	90.13	0.86
829959.96	9133876.13	3347.96	8.5	4.1	4.61	0	3	0.45	69	65	41	39	91.8	0.85
829964.24	9133877.08	3348.13	8.6	4.1	4.61	0	3	0.45	71	67	42	40	93.47	0.86
829968.37	9133869.26	3348.29	8.8	4.1	4.61	0	3	0.45	73	69	44	41	96.81	0.85
829966.85	9133864.99	3348.23	8.7	4.1	4.61	0	3	0.45	72	68	43	41	95.14	0.86
829965.27	9133859.5	3348.15	8.6	4.1	4.61	0	3	0.45	71	67	42	40	93.47	0.86
829963.87	9133854.52	3348.13	8.6	4.1	4.61	0	3	0.45	71	67	42	40	93.47	0.86
829962.61	9133850.77	3348.21	8.7	4.1	4.61	0	3	0.45	72	68	43	41	95.14	0.86
829959.35	9133854.18	3348.07	8.6	4.1	4.61	0	3	0.45	70	66	42	40	93.47	0.85
829961.47	9133858.25	3348.02	8.5	4.1	4.61	0	3	0.45	69	66	42	39	91.8	0.86
829963.24	9133863.17	3348	8.5	4.1	4.61	0	3	0.45	69	66	41	39	91.8	0.86
829964.78	9133868.66	3348.11	8.6	4.1	4.61	0	3	0.45	70	67	42	40	93.47	0.86
829966.3	9133873.27	3348.13	8.6	4.1	4.61	0	3	0.45	71	67	42	40	93.47	0.86
829962.43	9133872.14	3348.02	8.5	4.1	4.61	0	3	0.45	69	66	42	39	91.8	0.86
829960.67	9133867.31	3347.96	8.5	4.1	4.61	0	3	0.45	69	65	41	39	91.8	0.85
829959.32	9133862.21	3347.94	8.4	4.1	4.61	0	3	0.45	68	65	41	39	90.13	0.87
829956.18	9133857.66	3348.02	8.5	4.1	4.61	0	3	0.45	69	66	42	39	91.8	0.86
829951.85	9133856.11	3347.89	8.4	4.1	4.61	0	3	0.45	68	64	41	38	90.13	0.85
829953.2	9133860.39	3347.82	8.3	4.1	4.61	0	3	0.45	67	63	40	38	88.46	0.86
829954.65	9133863.26	3347.85	8.4	4.1	4.61	0	3	0.45	67	64	40	38	90.13	0.85
829957.09	9133866.12	3347.92	8.4	4.1	4.61	0	3	0.45	68	65	41	39	90.13	0.87
829958.58	9133871.2	3348.04	8.5	4.1	4.61	0	3	0.45	69	66	42	40	91.8	0.87
829955	9133870.16	3347.89	8.4	4.1	4.61	0	3	0.45	68	64	41	38	90.13	0.85
829952.53	9133866.33	3347.9	8.4	4.1	4.61	0	3	0.45	68	64	41	39	90.13	0.86
829950.24	9133863.76	3347.7	8.2	4.1	4.61	0	3	0.45	65	62	39	37	86.8	0.86
829948.93	9133859.49	3347.86	8.4	4.1	4.61	0	3	0.45	67	64	40	38	90.13	0.85
829946.16	9133862.55	3347.78	8.3	4.1	4.61	0	3	0.45	66	63	40	38	88.46	0.86
829947.1	9133867.19	3347.55	8	4.1	4.61	0	3	0.45	63	60	38	36	83.46	0.87
829950.37	9133870.4	3347.57	8.1	4.1	4.61	0	3	0.45	64	60	38	36	85.13	0.85
829946.85	9133870.69	3347.64	8.1	4.1	4.61	0	3	0.45	64	61	39	37	85.13	0.87

829948.43	9133873.61	3347.68	8.2	4.1	4.61	0	3	0.45	65	62	39	37	86.8	0.86
829944.34	9133870.24	3347.68	8.2	4.1	4.61	0	3	0.45	65	62	39	37	86.8	0.86
829942.66	9133865.86	3347.67	8.2	4.1	4.61	0	3	0.45	65	61	39	37	86.8	0.85
829939.51	9133869.07	3347.62	8.1	4.1	4.61	0	3	0.45	64	61	38	37	85.13	0.87
829944.17	9133874.32	3347.63	8.1	4.1	4.61	0	3	0.45	64	61	39	37	85.13	0.87
829945.76	9133878.18	3347.63	8.1	4.1	4.61	0	3	0.45	64	61	39	37	85.13	0.87
829948.09	9133881.32	3347.61	8.1	4.1	4.61	0	3	0.45	64	61	38	36	85.13	0.86
829950.47	9133877.36	3347.62	8.1	4.1	4.61	0	3	0.45	64	61	39	37	85.13	0.87
829954.94	9133853.02	3348.16	8.7	4.1	4.61	0	3	0.45	71	67	43	40	95.14	0.84
829957.93	9133850.19	3348.22	8.7	4.1	4.61	0	3	0.45	72	68	43	41	95.14	0.86
829961.44	9133846.33	3348.12	8.6	4.1	4.61	0	3	0.45	70	67	42	40	93.47	0.86
829956.86	9133845.57	3348.24	8.7	4.1	4.61	0	3	0.45	72	68	43	41	95.14	0.86
829954.02	9133848.76	3348.2	8.7	4.1	4.61	0	3	0.45	71	68	43	41	95.14	0.86
829953.52	9133844.69	3348.61	9.1	4.1	4.61	0	3	0.45	77	73	46	44	101.82	0.86
829950.09	9133847.27	3347.92	8.4	4.1	4.61	0	3	0.45	68	65	41	39	90.13	0.87
829950.34	9133851.54	3347.98	8.5	4.1	4.61	0	3	0.45	69	65	41	39	91.8	0.85
829947.86	9133855.14	3347.75	8.2	4.1	4.61	0	3	0.45	66	62	39	37	86.8	0.86
829946.43	9133850.42	3348.28	8.8	4.1	4.61	0	3	0.45	73	69	44	41	96.81	0.85
829944.5	9133847.2	3347.97	8.5	4.1	4.61	0	3	0.45	69	65	41	39	91.8	0.85
829941.65	9133849.42	3347.8	8.3	4.1	4.61	0	3	0.45	67	63	40	38	88.46	0.86
829943.18	9133854.19	3347.72	8.2	4.1	4.61	0	3	0.45	66	62	39	37	86.8	0.86
829944.69	9133857.99	3347.92	8.4	4.1	4.61	0	3	0.45	68	64	41	39	90.13	0.86
829941.39	9133861.45	3347.81	8.3	4.1	4.61	0	3	0.45	67	63	40	38	88.46	0.86
829940.35	9133857.4	3347.88	8.4	4.1	4.61	0	3	0.45	67	64	40	38	90.13	0.85
829938.98	9133853.22	3347.76	8.3	4.1	4.61	0	3	0.45	66	63	40	38	88.46	0.86
829937.59	9133847.98	3347.85	8.3	4.1	4.61	0	3	0.45	67	64	40	38	88.46	0.87
829932.27	9133847.5	3347.78	8.3	4.1	4.61	0	3	0.45	66	63	40	38	88.46	0.86
829934.44	9133851.31	3347.75	8.3	4.1	4.61	0	3	0.45	66	63	40	38	88.46	0.86
829936.11	9133856.3	3347.78	8.3	4.1	4.61	0	3	0.45	66	63	40	38	88.46	0.86
829937.16	9133860.25	3347.7	8.2	4.1	4.61	0	3	0.45	65	62	39	37	86.8	0.86

829938.41	9133864.59	3347.68	8.2	4.1	4.61	0	3	0.45	65	62	39	37	86.8	0.86
829936.09	9133867.35	3347.61	8.1	4.1	4.61	0	3	0.45	64	61	38	36	85.13	0.86
829934.57	9133863.4	3347.6	8.1	4.1	4.61	0	3	0.45	64	61	38	36	85.13	0.86
829933	9133859.25	3347.71	8.2	4.1	4.61	0	3	0.45	65	62	39	37	86.8	0.86
829931.52	9133854.8	3347.7	8.2	4.1	4.61	0	3	0.45	65	62	39	37	86.8	0.86
829930.34	9133850.9	3347.74	8.2	4.1	4.61	0	3	0.45	66	62	39	37	86.8	0.86
829928.81	9133847.11	3347.76	8.3	4.1	4.61	0	3	0.45	66	63	40	38	88.46	0.86
829925.21	9133846.14	3347.66	8.2	4.1	4.61	0	3	0.45	65	61	39	37	86.8	0.85
829925.71	9133849.34	3347.7	8.2	4.1	4.61	0	3	0.45	65	62	39	37	86.8	0.86
829926.8	9133854.35	3347.54	8	4.1	4.61	0	3	0.45	63	60	38	36	83.46	0.87
829928.66	9133857.31	3347.51	8	4.1	4.61	0	3	0.45	63	60	38	36	83.46	0.87
829920.24	9133845.28	3347.64	8.1	4.1	4.61	0	3	0.45	64	61	39	37	85.13	0.87
829921.54	9133849.98	3347.58	8.1	4.1	4.61	0	3	0.45	64	60	38	36	85.13	0.85
829922.72	9133853.29	3347.48	8	4.1	4.61	0	3	0.45	62	59	37	36	83.46	0.86
829918.33	9133853.09	3347.44	7.9	4.1	4.61	0	3	0.45	62	59	37	35	81.79	0.87
829917.78	9133850.14	3347.75	8.2	4.1	4.61	0	3	0.45	66	62	39	37	86.8	0.86
829916.3	9133845.81	3347.8	8.3	4.1	4.61	0	3	0.45	66	63	40	38	88.46	0.86
829911.48	9133843.29	3347.18	7.7	4.1	4.61	0	3	0.45	59	56	35	33	78.45	0.86
829912.42	9133847.05	3347.18	7.7	4.1	4.61	0	3	0.45	59	56	35	33	78.45	0.86
829913.45	9133851.81	3347.3	7.8	4.1	4.61	0	3	0.45	60	57	36	34	80.12	0.86
829910.47	9133853.26	3347.15	7.7	4.1	4.61	0	3	0.45	58	55	35	33	78.45	0.85
829909.39	9133850.47	3347.19	7.7	4.1	4.61	0	3	0.45	59	56	35	33	78.45	0.86
829908.6	9133846.95	3347.37	7.9	4.1	4.61	0	3	0.45	61	58	37	35	81.79	0.86
829907.36	9133842.18	3347.42	7.9	4.1	4.61	0	3	0.45	62	59	37	35	81.79	0.87
829902.19	9133838.45	3347.7	8.2	4.1	4.61	0	3	0.45	65	62	39	37	86.8	0.86
829902.64	9133840.54	3347.76	8.3	4.1	4.61	0	3	0.45	66	63	40	38	88.46	0.86
829903.74	9133845.74	3347.3	7.8	4.1	4.61	0	3	0.45	60	57	36	34	80.12	0.86
829904.89	9133849.16	3347.54	8	4.1	4.61	0	3	0.45	63	60	38	36	83.46	0.87
829905.86	9133852.53	3347.24	7.7	4.1	4.61	0	3	0.45	59	56	36	34	78.45	0.86
829902.1	9133852.32	3347.07	7.6	4.1	4.61	0	3	0.45	57	54	34	33	76.78	0.85

829901.28	9133848.84	3347.57	8.1	4.1	4.61	0	3	0.45	64	60	38	36	85.13	0.85
829899.85	9133844.67	3347.53	8	4.1	4.61	0	3	0.45	63	60	38	36	83.46	0.87
829898.69	9133840.64	3347.78	8.3	4.1	4.61	0	3	0.45	66	63	40	38	88.46	0.86
829897.15	9133837.05	3347.94	8.4	4.1	4.61	0	3	0.45	68	65	41	39	90.13	0.87
829893.15	9133835.61	3348.1	8.6	4.1	4.61	0	3	0.45	70	67	42	40	93.47	0.86
829893.95	9133838.42	3348	8.5	4.1	4.61	0	3	0.45	69	65	41	39	91.8	0.85
829895	9133842.6	3347.62	8.1	4.1	4.61	0	3	0.45	64	61	39	37	85.13	0.87
829896.43	9133846.7	3347.52	8	4.1	4.61	0	3	0.45	63	60	38	36	83.46	0.87
829897.32	9133850.95	3347.46	8	4.1	4.61	0	3	0.45	62	59	37	35	83.46	0.85
829893.32	9133850.29	3347.5	8	4.1	4.61	0	3	0.45	63	60	38	36	83.46	0.87
829892.29	9133847.45	3347.6	8.1	4.1	4.61	0	3	0.45	64	61	38	36	85.13	0.86
829890.97	9133841.79	3347.53	8	4.1	4.61	0	3	0.45	63	60	38	36	83.46	0.87
829889.73	9133838.33	3347.72	8.2	4.1	4.61	0	3	0.45	65	62	39	37	86.8	0.86
829888.58	9133833.86	3348.08	8.6	4.1	4.61	0	3	0.45	70	66	42	40	93.47	0.85
829885.55	9133828.85	3347.99	8.5	4.1	4.61	0	3	0.45	69	65	41	39	91.8	0.85
829883.57	9133825.37	3348.09	8.6	4.1	4.61	0	3	0.45	70	67	42	40	93.47	0.86
829882.53	9133821.06	3348.39	8.9	4.1	4.61	0	3	0.45	74	70	44	42	98.48	0.85
829879.46	9133819.17	3348.17	8.7	4.1	4.61	0	3	0.45	71	68	43	41	95.14	0.86
829877.59	9133822.79	3348.04	8.5	4.1	4.61	0	3	0.45	69	66	42	40	91.8	0.87
829874.82	9133826.37	3347.67	8.2	4.1	4.61	0	3	0.45	65	62	39	37	86.8	0.86
829880.35	9133823.71	3348.66	9.2	4.1	4.61	0	3	0.45	77	73	46	44	103.49	0.85
829882.25	9133827.45	3347.94	8.4	4.1	4.61	0	3	0.45	68	65	41	39	90.13	0.87
829884.1	9133832.51	3348.14	8.6	4.1	4.61	0	3	0.45	71	67	42	40	93.47	0.86
829884.98	9133835.66	3348.04	8.5	4.1	4.61	0	3	0.45	69	66	42	40	91.8	0.87
829886.36	9133840.41	3347.66	8.2	4.1	4.61	0	3	0.45	65	61	39	37	86.8	0.85
829887.66	9133845.35	3347.49	8	4.1	4.61	0	3	0.45	63	59	38	36	83.46	0.86
829889.06	9133849.15	3347.45	7.9	4.1	4.61	0	3	0.45	62	59	37	35	81.79	0.87
829885.31	9133848.91	3347.52	8	4.1	4.61	0	3	0.45	63	60	38	36	83.46	0.87
829883.53	9133844.97	3347.41	7.9	4.1	4.61	0	3	0.45	62	58	37	35	81.79	0.86
829882.31	9133840.14	3347.52	8	4.1	4.61	0	3	0.45	63	60	38	36	83.46	0.87

829880.56	9133834.97	3347.77	8.3	4.1	4.61	0	3	0.45	66	63	40	38	88.46	0.86
829879.68	9133831.13	3347.57	8.1	4.1	4.61	0	3	0.45	64	60	38	36	85.13	0.85
829878.4	9133826.98	3347.73	8.2	4.1	4.61	0	3	0.45	66	62	39	37	86.8	0.86
829875.56	9133830.27	3347.76	8.3	4.1	4.61	0	3	0.45	66	61	40	61	88.46	1.01
829876.92	9133834.07	3348.16	8.7	4.1	4.61	0	3	0.45	71	73	43	73	95.14	1.12
829877.63	9133837.75	3347.89	8.4	4.1	4.61	0	3	0.45	68	73	41	73	90.13	1.19
829879.08	9133842.67	3347.52	8	4.1	4.61	0	3	0.45	63	80	38	80	83.46	1.4
829879.94	9133846.96	3347.14	7.6	4.1	4.61	0	3	0.45	58	90	35	90	76.78	1.71
829960.32	9133842	3348.15	8.6	4.1	4.61	0	3	0.45	71	73	42	73	93.47	1.14
829955.93	9133841.58	3348.21	8.7	4.1	4.61	0	3	0.45	72	80	43	80	95.14	1.23
829958.79	9133838.3	3348.34	8.8	4.1	4.61	0	3	0.45	73	80	44	80	96.81	1.21

ANEXOS 4: INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS


 <p>UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE</p>	<p>INSTRUMENTO N° 02: PREDICCIONES DEL COSTO POR METRO CÚBICO DE ROCA FRAGMENTADA UTILIZANDO RED NEURONAL</p>
	<p>TÍTULO: APLICACIÓN DE RED NEURONAL EN LA OPTIMIZACIÓN DE COSTOS DE ROCA FRAGMENTADA EN UNA MINA CIELO ABIERTO EN HUAMACHUCO, 2023</p>
<p>OBJETIVO: Recolectar los costos totales por metro cúbico de material fragmentado predichos al utilizar la red neuronal artificial.</p>	

Tabla 8

Predicciones del costo por metro cúbico de roca fragmentada utilizando red neuronal

Norte	Este	Cota	Altura taladro(m)	Anfo teórico (kg)	Anfo real(Kg)	Emulsión teórica (Kg)	Emulsión real (Kg)	Volumen (m3)	Total Costo real (US\$/m3)	Total costo predicho (US\$/m3)
829956.81	9133897.95	3348.07	8.6	70	66	42	40	93.47	0.85	0.84
829958.78	9133901.48	3348.16	8.7	71	67	43	40	95.14	0.84	0.80
829956.12	9133903.94	3348.22	8.7	72	68	43	41	95.14	0.86	0.88
829954.61	9133901.65	3347.95	8.4	68	65	41	39	90.13	0.87	0.81
829951.95	9133904.66	3348.03	8.5	69	66	42	39	91.8	0.86	0.76
829964.74	9133904.49	3348.25	8.7	72	68	43	41	95.14	0.86	0.88
829961.53	9133897.89	3348.17	8.7	71	67	43	40	95.14	0.84	0.80
829963.46	9133893.62	3348.23	8.7	72	68	43	41	95.14	0.86	0.88
829965.4	9133890.72	3348.23	8.7	72	68	43	41	95.14	0.86	0.88
829968.07	9133886.13	3348.32	8.8	73	69	44	42	96.81	0.86	0.84
829970.33	9133882.4	3348.39	8.9	74	70	44	42	98.48	0.85	0.93
829972.59	9133878.64	3348.51	9	75	72	45	43	100.15	0.86	0.90
829979.28	9133889.58	3348.54	9	76	72	45	43	100.15	0.86	0.97
829981.33	9133893.37	3348.61	9.1	77	73	46	44	101.82	0.86	0.93
829983.11	9133896.99	3348.45	8.9	75	71	45	42	98.48	0.86	0.88

829985.96	9133901.28	3348.6	9.1	77	73	46	44	101.82	0.86	0.93
829987.91	9133904.17	3348.66	9.2	77	73	46	44	103.49	0.85	0.93
829982.74	9133903.62	3348.55	9.1	76	72	46	43	101.82	0.85	0.84
829981.85	9133901.46	3348.5	9	75	71	45	43	100.15	0.85	0.89
829979.63	9133898.18	3348.48	9	75	71	45	43	100.15	0.85	0.89
829977.47	9133894.42	3348.49	9	75	71	45	43	100.15	0.85	0.89
829975.07	9133890.11	3348.59	9.1	76	73	46	44	101.82	0.86	0.86
829972.91	9133893.72	3348.49	9	75	71	45	43	100.15	0.85	0.89
829974.66	9133897.47	3348.36	8.9	73	70	44	42	98.48	0.85	0.86
829977.09	9133901.16	3348.58	9.1	76	72	46	43	101.82	0.85	0.84
829972.91	9133901.34	3348.46	9	75	71	45	43	100.15	0.85	0.89
829970.53	9133897.84	3348.34	8.8	73	70	44	42	96.81	0.87	0.86
829968.2	9133900.76	3348.26	8.8	72	69	43	41	96.81	0.85	0.90
829968.46	9133903.58	3348.37	8.9	74	70	44	42	98.48	0.85	0.93
829960.14	9133904.28	3348.06	8.6	70	66	42	40	93.47	0.85	0.84
829963.55	9133901.39	3348.04	8.5	70	66	42	40	91.8	0.87	0.84
829965.99	9133897.43	3348	8.5	69	65	41	39	91.8	0.85	0.88
829968.22	9133893.46	3348.21	8.7	72	68	43	41	95.14	0.86	0.88
829970.08	9133890.62	3348.28	8.8	73	69	44	41	96.81	0.85	0.84
829972.77	9133886.13	3348.35	8.8	73	70	44	42	96.81	0.87	0.86
829974.68	9133882.25	3348.43	8.9	74	71	45	42	98.48	0.86	0.81
829976.89	9133885.94	3348.38	8.9	74	70	44	42	98.48	0.85	0.93
829970.5	9133874.06	3348.27	8.8	72	69	43	41	96.81	0.85	0.90
829968.19	9133878.29	3348.21	8.7	72	68	43	41	95.14	0.86	0.88
829965.78	9133882.23	3348.09	8.6	70	66	42	40	93.47	0.85	0.84
829963.65	9133885.87	3348	8.5	69	65	41	39	91.8	0.85	0.88
829961.48	9133889.85	3347.96	8.5	68	65	41	39	91.8	0.85	0.81
829959.08	9133893.76	3347.93	8.4	68	65	41	39	90.13	0.87	0.81
829950.25	9133901.51	3347.68	8.2	65	62	39	37	86.8	0.86	0.81
829948.42	9133904.89	3347.73	8.2	66	62	39	37	86.8	0.86	0.88

829952.68	9133897.16	3347.8	8.3	66	63	40	38	88.46	0.86	0.77
829946.25	9133905.24	3347.6	8.1	64	61	38	36	85.13	0.86	0.85
829944.95	9133903.38	3347.58	8.1	64	60	38	36	85.13	0.85	0.84
829944.02	9133897.33	3347.48	8	62	59	37	36	83.46	0.86	0.82
829942.63	9133893.64	3347.45	7.9	62	59	37	35	81.79	0.87	0.81
829941.5	9133889.52	3347.36	7.9	61	58	37	35	81.79	0.86	0.72
829939.89	9133885.63	3347.44	7.9	62	59	37	35	81.79	0.87	0.81
829938.68	9133882.02	3347.73	8.2	66	62	39	37	86.8	0.86	0.88
829937.67	9133877.11	3347.57	8.1	64	60	38	36	85.13	0.85	0.84
829937.12	9133872.58	3347.48	8	62	59	37	36	83.46	0.86	0.82
829946.5	9133899.8	3347.49	8	63	59	38	36	83.46	0.86	0.75
829945.36	9133894.65	3347.45	7.9	62	59	37	35	81.79	0.87	0.81
829943.62	9133890.1	3347.32	7.8	60	57	36	34	80.12	0.86	0.76
829941.72	9133885.15	3347.52	8	63	60	38	36	83.46	0.87	0.76
829940.64	9133873.71	3347.44	7.9	62	59	37	35	81.79	0.87	0.81
829941.48	9133877.46	3347.63	8.1	64	61	39	37	85.13	0.87	0.72
829943.4	9133881.95	3347.56	8.1	63	60	38	36	85.13	0.85	0.77
829945.81	9133885.84	3347.51	8	63	60	38	36	83.46	0.87	0.76
829947.57	9133890.51	3347.31	7.8	60	57	36	34	80.12	0.86	0.76
829949.06	9133895.63	3347.46	8	62	59	37	35	83.46	0.85	0.81
829951.11	9133891.61	3347.61	8.1	64	61	38	37	85.13	0.87	0.86
829949.83	9133886.67	3347.6	8.1	64	61	38	36	85.13	0.86	0.85
829951.98	9133883.01	3347.81	8.3	67	63	40	38	88.46	0.86	0.84
829953.62	9133887.66	3347.69	8.2	65	62	39	37	86.8	0.86	0.81
829954.98	9133893.29	3347.71	8.2	65	62	39	37	86.8	0.86	0.81
829957.29	9133889.31	3347.76	8.3	66	63	40	38	88.46	0.86	0.77
829955.75	9133883.95	3347.69	8.2	65	62	39	37	86.8	0.86	0.81
829953.96	9133878.66	3347.65	8.2	65	61	39	37	86.8	0.85	0.80
829952.59	9133873.97	3347.66	8.2	65	61	39	37	86.8	0.85	0.80
829956.45	9133875.02	3347.95	8.5	68	65	41	39	91.8	0.85	0.81

829957.91	9133880.09	3347.8	8.3	66	63	40	38	88.46	0.86	0.77
829959.69	9133885.01	3347.89	8.4	68	64	41	38	90.13	0.85	0.79
829961.8	9133881.44	3347.9	8.4	68	64	41	39	90.13	0.86	0.80
829959.96	9133876.13	3347.96	8.5	69	65	41	39	91.8	0.85	0.88
829964.24	9133877.08	3348.13	8.6	71	67	42	40	93.47	0.86	0.93
829968.37	9133869.26	3348.29	8.8	73	69	44	41	96.81	0.85	0.84
829966.85	9133864.99	3348.23	8.7	72	68	43	41	95.14	0.86	0.88
829965.27	9133859.5	3348.15	8.6	71	67	42	40	93.47	0.86	0.93
829963.87	9133854.52	3348.13	8.6	71	67	42	40	93.47	0.86	0.93
829962.61	9133850.77	3348.21	8.7	72	68	43	41	95.14	0.86	0.88
829959.35	9133854.18	3348.07	8.6	70	66	42	40	93.47	0.85	0.84
829961.47	9133858.25	3348.02	8.5	69	66	42	39	91.8	0.86	0.76
829963.24	9133863.17	3348	8.5	69	66	41	39	91.8	0.86	0.90
829964.78	9133868.66	3348.11	8.6	70	67	42	40	93.47	0.86	0.86
829966.3	9133873.27	3348.13	8.6	71	67	42	40	93.47	0.86	0.93
829962.43	9133872.14	3348.02	8.5	69	66	42	39	91.8	0.86	0.76
829960.67	9133867.31	3347.96	8.5	69	65	41	39	91.8	0.85	0.88
829959.32	9133862.21	3347.94	8.4	68	65	41	39	90.13	0.87	0.81
829956.18	9133857.66	3348.02	8.5	69	66	42	39	91.8	0.86	0.76
829951.85	9133856.11	3347.89	8.4	68	64	41	38	90.13	0.85	0.79
829953.2	9133860.39	3347.82	8.3	67	63	40	38	88.46	0.86	0.84
829954.65	9133863.26	3347.85	8.4	67	64	40	38	90.13	0.85	0.86
829957.09	9133866.12	3347.92	8.4	68	65	41	39	90.13	0.87	0.81
829958.58	9133871.2	3348.04	8.5	69	66	42	40	91.8	0.87	0.77
829955	9133870.16	3347.89	8.4	68	64	41	38	90.13	0.85	0.79
829952.53	9133866.33	3347.9	8.4	68	64	41	39	90.13	0.86	0.80
829950.24	9133863.76	3347.7	8.2	65	62	39	37	86.8	0.86	0.81
829948.93	9133859.49	3347.86	8.4	67	64	40	38	90.13	0.85	0.86
829946.16	9133862.55	3347.78	8.3	66	63	40	38	88.46	0.86	0.77
829947.1	9133867.19	3347.55	8	63	60	38	36	83.46	0.87	0.76

829950.37	9133870.4	3347.57	8.1	64	60	38	36	85.13	0.85	0.84
829946.85	9133870.69	3347.64	8.1	64	61	39	37	85.13	0.87	0.72
829948.43	9133873.61	3347.68	8.2	65	62	39	37	86.8	0.86	0.81
829944.34	9133870.24	3347.68	8.2	65	62	39	37	86.8	0.86	0.81
829942.66	9133865.86	3347.67	8.2	65	61	39	37	86.8	0.85	0.80
829939.51	9133869.07	3347.62	8.1	64	61	38	37	85.13	0.87	0.86
829944.17	9133874.32	3347.63	8.1	64	61	39	37	85.13	0.87	0.72
829945.76	9133878.18	3347.63	8.1	64	61	39	37	85.13	0.87	0.72
829948.09	9133881.32	3347.61	8.1	64	61	38	36	85.13	0.86	0.85
829950.47	9133877.36	3347.62	8.1	64	61	39	37	85.13	0.87	0.72
829954.94	9133853.02	3348.16	8.7	71	67	43	40	95.14	0.84	0.80
829957.93	9133850.19	3348.22	8.7	72	68	43	41	95.14	0.86	0.88
829961.44	9133846.33	3348.12	8.6	70	67	42	40	93.47	0.86	0.86
829956.86	9133845.57	3348.24	8.7	72	68	43	41	95.14	0.86	0.88
829954.02	9133848.76	3348.2	8.7	71	68	43	41	95.14	0.86	0.81
829953.52	9133844.69	3348.61	9.1	77	73	46	44	101.82	0.86	0.93
829950.09	9133847.27	3347.92	8.4	68	65	41	39	90.13	0.87	0.81
829950.34	9133851.54	3347.98	8.5	69	65	41	39	91.8	0.85	0.88
829947.86	9133855.14	3347.75	8.2	66	62	39	37	86.8	0.86	0.88
829946.43	9133850.42	3348.28	8.8	73	69	44	41	96.81	0.85	0.84
829944.5	9133847.2	3347.97	8.5	69	65	41	39	91.8	0.85	0.88
829941.65	9133849.42	3347.8	8.3	67	63	40	38	88.46	0.86	0.84
829943.18	9133854.19	3347.72	8.2	66	62	39	37	86.8	0.86	0.88
829944.69	9133857.99	3347.92	8.4	68	64	41	39	90.13	0.86	0.80
829941.39	9133861.45	3347.81	8.3	67	63	40	38	88.46	0.86	0.84
829940.35	9133857.4	3347.88	8.4	67	64	40	38	90.13	0.85	0.86
829938.98	9133853.22	3347.76	8.3	66	63	40	38	88.46	0.86	0.77
829937.59	9133847.98	3347.85	8.3	67	64	40	38	88.46	0.87	0.85
829932.27	9133847.5	3347.78	8.3	66	63	40	38	88.46	0.86	0.77
829934.44	9133851.31	3347.75	8.3	66	63	40	38	88.46	0.86	0.77

829936.11	9133856.3	3347.78	8.3	66	63	40	38	88.46	0.86	0.77
829937.16	9133860.25	3347.7	8.2	65	62	39	37	86.8	0.86	0.81
829938.41	9133864.59	3347.68	8.2	65	62	39	37	86.8	0.86	0.81
829936.09	9133867.35	3347.61	8.1	64	61	38	36	85.13	0.86	0.85
829934.57	9133863.4	3347.6	8.1	64	61	38	36	85.13	0.86	0.85
829933	9133859.25	3347.71	8.2	65	62	39	37	86.8	0.86	0.81
829931.52	9133854.8	3347.7	8.2	65	62	39	37	86.8	0.86	0.81
829930.34	9133850.9	3347.74	8.2	66	62	39	37	86.8	0.86	0.88
829928.81	9133847.11	3347.76	8.3	66	63	40	38	88.46	0.86	0.77
829925.21	9133846.14	3347.66	8.2	65	61	39	37	86.8	0.85	0.80
829925.71	9133849.34	3347.7	8.2	65	62	39	37	86.8	0.86	0.81
829926.8	9133854.35	3347.54	8	63	60	38	36	83.46	0.87	0.76
829928.66	9133857.31	3347.51	8	63	60	38	36	83.46	0.87	0.76
829920.24	9133845.28	3347.64	8.1	64	61	39	37	85.13	0.87	0.72
829921.54	9133849.98	3347.58	8.1	64	60	38	36	85.13	0.85	0.84
829922.72	9133853.29	3347.48	8	62	59	37	36	83.46	0.86	0.82
829918.33	9133853.09	3347.44	7.9	62	59	37	35	81.79	0.87	0.81
829917.78	9133850.14	3347.75	8.2	66	62	39	37	86.8	0.86	0.88
829916.3	9133845.81	3347.8	8.3	66	63	40	38	88.46	0.86	0.77
829911.48	9133843.29	3347.18	7.7	59	56	35	33	78.45	0.86	0.80
829912.42	9133847.05	3347.18	7.7	59	56	35	33	78.45	0.86	0.80
829913.45	9133851.81	3347.3	7.8	60	57	36	34	80.12	0.86	0.76
829910.47	9133853.26	3347.15	7.7	58	55	35	33	78.45	0.85	0.72
829909.39	9133850.47	3347.19	7.7	59	56	35	33	78.45	0.86	0.80
829908.6	9133846.95	3347.37	7.9	61	58	37	35	81.79	0.86	0.72
829907.36	9133842.18	3347.42	7.9	62	59	37	35	81.79	0.87	0.81
829902.19	9133838.45	3347.7	8.2	65	62	39	37	86.8	0.86	0.81
829902.64	9133840.54	3347.76	8.3	66	63	40	38	88.46	0.86	0.77
829903.74	9133845.74	3347.3	7.8	60	57	36	34	80.12	0.86	0.76
829904.89	9133849.16	3347.54	8	63	60	38	36	83.46	0.87	0.76

829905.86	9133852.53	3347.24	7.7	59	56	36	34	78.45	0.86	0.68
829902.1	9133852.32	3347.07	7.6	57	54	34	33	76.78	0.85	0.77
829901.28	9133848.84	3347.57	8.1	64	60	38	36	85.13	0.85	0.84
829899.85	9133844.67	3347.53	8	63	60	38	36	83.46	0.87	0.76
829898.69	9133840.64	3347.78	8.3	66	63	40	38	88.46	0.86	0.77
829897.15	9133837.05	3347.94	8.4	68	65	41	39	90.13	0.87	0.81
829893.15	9133835.61	3348.1	8.6	70	67	42	40	93.47	0.86	0.86
829893.95	9133838.42	3348	8.5	69	65	41	39	91.8	0.85	0.88
829895	9133842.6	3347.62	8.1	64	61	39	37	85.13	0.87	0.72
829896.43	9133846.7	3347.52	8	63	60	38	36	83.46	0.87	0.76
829897.32	9133850.95	3347.46	8	62	59	37	35	83.46	0.85	0.81
829893.32	9133850.29	3347.5	8	63	60	38	36	83.46	0.87	0.76
829892.29	9133847.45	3347.6	8.1	64	61	38	36	85.13	0.86	0.85
829890.97	9133841.79	3347.53	8	63	60	38	36	83.46	0.87	0.76
829889.73	9133838.33	3347.72	8.2	65	62	39	37	86.8	0.86	0.81
829888.58	9133833.86	3348.08	8.6	70	66	42	40	93.47	0.85	0.84
829885.55	9133828.85	3347.99	8.5	69	65	41	39	91.8	0.85	0.88
829883.57	9133825.37	3348.09	8.6	70	67	42	40	93.47	0.86	0.86
829882.53	9133821.06	3348.39	8.9	74	70	44	42	98.48	0.85	0.93
829879.46	9133819.17	3348.17	8.7	71	68	43	41	95.14	0.86	0.81
829877.59	9133822.79	3348.04	8.5	69	66	42	40	91.8	0.87	0.77
829874.82	9133826.37	3347.67	8.2	65	62	39	37	86.8	0.86	0.81
829880.35	9133823.71	3348.66	9.2	77	73	46	44	103.49	0.85	0.93
829882.25	9133827.45	3347.94	8.4	68	65	41	39	90.13	0.87	0.81
829884.1	9133832.51	3348.14	8.6	71	67	42	40	93.47	0.86	0.93
829884.98	9133835.66	3348.04	8.5	69	66	42	40	91.8	0.87	0.77
829886.36	9133840.41	3347.66	8.2	65	61	39	37	86.8	0.85	0.80
829887.66	9133845.35	3347.49	8	63	59	38	36	83.46	0.86	0.75
829889.06	9133849.15	3347.45	7.9	62	59	37	35	81.79	0.87	0.81
829885.31	9133848.91	3347.52	8	63	60	38	36	83.46	0.87	0.76

829883.53	9133844.97	3347.41	7.9	62	58	37	35	81.79	0.86	0.79
829882.31	9133840.14	3347.52	8	63	60	38	36	83.46	0.87	0.76
829880.56	9133834.97	3347.77	8.3	66	63	40	38	88.46	0.86	0.77
829879.68	9133831.13	3347.57	8.1	64	60	38	36	85.13	0.85	0.84
829878.4	9133826.98	3347.73	8.2	66	62	39	37	86.8	0.86	0.80
829875.56	9133830.27	3347.76	8.3	66	61	40	61	88.46	1.01	0.90
829876.92	9133834.07	3348.16	8.7	71	73	43	73	95.14	1.12	1.09
829877.63	9133837.75	3347.89	8.4	68	73	41	73	90.13	1.19	1.13
829879.08	9133842.67	3347.52	8	63	80	38	80	83.46	1.4	1.30
829879.94	9133846.96	3347.14	7.6	58	90	35	90	76.78	1.71	1.52
829960.32	9133842	3348.15	8.6	71	73	42	73	93.47	1.14	1.22
829955.93	9133841.58	3348.21	8.7	72	80	43	80	95.14	1.23	1.00
829958.79	9133838.3	3348.34	8.8	73	80	44	80	96.81	1.21	1.23
Promedio									0.87	0.82

ANEXO 5: VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS

CONSTANCIA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS

Yo, Juan Antonio Vega Gonzalez, con D.N.I. N° 18212091, ostento el grado de doctor y ejerzo la carrera profesional en ingeniería metalúrgica. Por medio de la presente hago constar que he revisado, con fines de validación, los instrumentos que serán aplicados en la investigación “**Aplicación de red neuronal en la optimización de costos de roca fragmentada en una mina cielo abierto en Huamachuco, 2023**” del alumno Bach. José Roberto Rosado Quiliche. Luego de hacer las verificaciones permitentes, puedo formular las siguientes apreciaciones.

EVALUACIÓN DEL INSTRUMENTO

N°	INDICADORES	VALORES			
		1	2	3	4
1	El instrumento presenta coherencia con el problema de investigación.				x
2	El instrumento evidencia el problema a solucionar.				x
3	El instrumento guarda relación con los objetivos propuestos en la investigación.				x
4	El instrumento facilita la comprobación de la hipótesis que se plantea en la investigación.			x	
5	Los indicadores son los correctos para cada dimensión.			x	
6	La redacción de los ítems es clara y apropiada para cada dimensión.			x	
7	En general, el instrumento permite un manejo ágil de la información				x

1: Deficiente 2: Regular 3: Bueno 4: Excelente

Trujillo, 02 de setiembre de 2023



Juan Antonio Vega Gonzalez
DNI. 18212091

CONSTANCIA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS

Yo, Wilbert Lenin Risco Julca, con CIP N° 143756, ostento el grado de ingeniero y ejerzo la carrera profesional en ingeniería de minas. Por medio de la presente hago constar que he revisado, con fines de validación, los instrumentos que serán aplicados en la investigación “**Aplicación de red neuronal en la optimización de costos de roca fragmentada en una mina cielo abierto en Huamachuco, 2023**” del alumno Bach. José Roberto Rosado Quiliche. Luego de hacer las verificaciones permitentes, puedo formular las siguientes apreciaciones.

EVALUACIÓN DEL INSTRUMENTO

N°	INDICADORES	VALORES			
		1	2	3	4
1	El instrumento presenta coherencia con el problema de investigación.				x
2	El instrumento evidencia el problema a solucionar.				x
3	El instrumento guarda relación con los objetivos propuestos en la investigación.			x	
4	El instrumento facilita la comprobación de la hipótesis que se plantea en la investigación.				x
5	Los indicadores son los correctos para cada dimensión.			x	
6	La redacción de los ítems es clara y apropiada para cada dimensión.				x
7	En general, el instrumento permite un manejo ágil de la información			x	

1: Deficiente 2: Regular 3: Bueno 4: Excelente

Trujillo, 02 de setiembre de 2023



Wilbert

Lenin Risco Julca

CIP. 143756