

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE TRUJILLO**  
**BENEDICTO XVI**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**



**DISEÑO DE RED NEURONAL ARTIFICIAL PARA LA  
ESTIMACIÓN DEL FLYROCK DE UNA MINA DEL DISTRITO DE  
HUAMACHUCO, 2020.**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL EN  
INGENIERO DE MINAS**

**AUTORES**

Br. Diego André Eslava Briones

Br. Rubén Luján De La Cruz

**ASESOR**

Mg. Ing. John Piter Bejarano Guevara

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

Procesos y tecnología

**TRUJILLO - PERÚ**

**2021**

## **PÁGINA DE AUTORIDADES**

**Mons. Dr. Héctor Miguel Cabrejos Vidarte, O.F.M.**

Arzobispo Metropolitano de Trujillo  
Fundador y Gran Canciller de la Universidad  
Católica de Trujillo - Benedicto XVI

**R.P. Fray Dr. Juan José Lydon Mc Hugh, OSA**

Rector de la Universidad Católica de Trujillo Benedicto XVI

**Dra. Silvia Ana Valverde Zavaleta**

Vicerrectora académica

**Dr. Francisco Alejandro Espinoza Polo**

Vicerrector de Investigación

**Mg. Edwar Glorimer Luján Segura**

Decano de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura

**Mg. José Andrés Cruzado Albarrán**

Secretario General

## **PÁGINA DE JURADO**

---

Mg. Ing. Fernando Saldaña Milla

**PRESIDENTE**

---

Mg. Ing. Estuardo Bravo Asanza

**SECRETARIO**

---

Mg. Ing. John Bejarano Guevara

**SECRETARIO**

### **Página de conformidad del asesor**

Yo, Bejarano Guevara John Piter, con DNI N° 41520959, asesor de la tesis de pre grado titulada:

“Diseño de red neuronal artificial para la estimación del flyrock de una mina del distrito de Huamachuco, 2020”; presentado por los bachilleres: Diego André Eslava Briones, con DNI N° 7701451 y Rubén Luján De La Cruz con DNI N° 70675428, informo lo siguiente:

En mi calidad de asesor, me permito conceptuar que la tesis reúne los requisitos técnicos, metodológicos y científicos exigidos según las normas establecidas en el reglamento de la Universidad Católica de Trujillo – Benedicto XVI.

Por lo tanto, el presente trabajo de investigación está en condiciones para su presentación y defensa ante un jurado.



---

Mg. Ing. John Piter Bejarano Guevara

**ASESOR**

## **Dedicatoria**

A mi madre, padre y hermano. Desde donde estén, ellos son el eje de mi vida.

Diego Eslava

A mi esposa y mis hijos, mis padre y hermanos. Siempre dándome ánimos para seguir adelante a cumplir mis objetivos.

Rubén Luján

## **Agradecimiento**

A mi familia, incluso desde la distancia, me brindaron su apoyo incondicional y fuerzas para seguir con mis proyectos

A los colegas, supervisores y asesores que con su firme enseñanza pudieron aportar con lo necesario para completar este proyecto.

Al Ing. John Bejarano Guevara por el constante apoyo en la realización de esta tesis de investigación.

**Diego Eslava**

A mi familia, por su continuo apoyo y que desde siempre me acompañaron en esta travesía, para conseguir mis objetivos.

A los colegas que he conocido a lo largo del trayecto, que, con sus consejos y enseñanzas, me complemento a realizar este proyecto.

Al Ing. John Bejarano Guevara por la perseverancia y ánimo que nos brindó para la ejecución y termino de esta tesis de investigación.

**Rubén Luján**

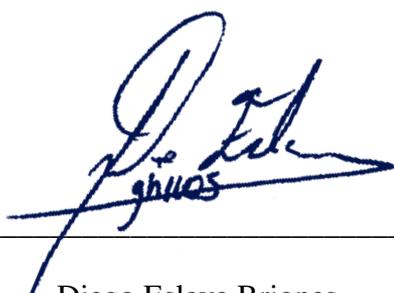
## Declaratoria de autenticidad

Nosotros, Diego André Eslava Briones con DNI 77014451 y Rubén Luján De La Cruz con DNI 70675428, egresados del Programa de Estudios de Ingeniería de minas de la Universidad Católica de Trujillo Benedicto XVI, damos fe que hemos seguido rigurosamente los procedimientos académicos y administrativos emanados por la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, para la elaboración y sustentación del informe de tesis titulado: “Diseño de red neuronal artificial para la estimación del flyrock de una mina del distrito de Huamachuco, 2020”, el cual consta de un total de 63 páginas, en las que se incluye 14 tablas y 11 figuras, más un total de 23 páginas en anexos.

Dejamos constancia de la originalidad y autenticidad de la mencionada investigación y declaramos bajo juramento en razón a los requerimientos éticos, que el contenido de dicho documento, corresponde a nuestra autoría respecto a redacción, organización, metodología y diagramación. Asimismo, garantizamos que los fundamentos teóricos están respaldados por el referencial bibliográfico, asumiendo un mínimo porcentaje de omisión involuntaria respecto al tratamiento de cita de autores, lo cual es de nuestra entera responsabilidad.

Se declara también que el porcentaje de similitud o coincidencia es de 12 %, el cual es aceptado por la Universidad Católica de Trujillo.

*Los autores*



Diego Eslava Briones  
DNI 77014451



Rubén Luján de la Cruz  
DNI: 70675428

## Índice de contenido

Página de autoridades .....	ii
Página de conformidad del asesor .....	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento .....	vi
Declaratoria de autenticidad .....	vii
Índice de contenido.....	viii
Índice de tablas .....	x
Índice de figuras .....	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT .....	xiii
<b>I. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1. Planteamiento del problema .....	1
1.2. Formulación del problema.....	3
1.2.1. Problema general .....	3
1.2.2. Problemas específicos.....	3
1.3. Formulación de objetivos .....	3
1.3.1. Objetivo general.....	3
1.3.2. Objetivos específicos .....	3
1.4. Justificación de la investigación .....	4
<b>II. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>5</b>
2.1. Antecedentes de la investigación.....	5
2.2. Bases teórico científicas .....	9
2.3. Definición de términos básicos.....	16
2.4. Formulación de la hipótesis .....	17

2.4.1. Hipótesis general .....	17
2.4.2. Hipótesis específicas.....	17
2.5. Operacionalización de variables .....	18
III. METODOLOGÍA.....	20
3.1. Tipo de investigación.....	20
3.2. Métodos de investigación .....	20
3.3. Diseño de investigación .....	20
3.4. Población, muestra y muestreo. ....	21
3.5. Técnicas e instrumentos de recojo de datos.....	21
3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	22
3.7. Ética investigativa.....	23
IV. RESULTADOS .....	24
4.1. Presentación y análisis de resultados .....	24
4.1.1. Evaluación de la distancia del flyrock mediante métodos empíricos .....	24
4.1.2. Diseño de una red neuronal en el software matlab para determinar la distancia de flyrock30	
4.1.3. Cálculo del radio de evacuación de equipos a través del análisis de la distancia de flyrock por medio de redes neuronales en el software matlab. ....	34
4.1.4. Determinación de los beneficios que otorga el radio de evacuación propuesto, en las operaciones de carguío y acarreo.....	36
4.2. Discusión de resultados .....	40
V. CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS .....	44
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	46
ANEXOS.....	51

## Índice de tablas

<b>Tabla 2.1.</b> Operacionalización de variables .....	19
<b>Tabla 4.1.</b> Parámetros de voladura actuales.....	24
<b>Tabla 4.2.</b> Resultados del modelo empírico de flyrock .....	25
<b>Tabla 4.3.</b> Distancia de rango máximo de flyrock.....	26
<b>Tabla 4.4.</b> Distancias de flyrock real y distancias de flyrock teórico .....	26
<b>Tabla 4.5.</b> Parámetros críticos de voladura.....	34
<b>Tabla 4.6.</b> Distancias estimadas de flyrock por ANN .....	34
<b>Tabla 4.7.</b> Cálculo del beneficio de la pala 3.....	36
<b>Tabla 4.8.</b> Cálculo del beneficio de la pala 5.....	36
<b>Tabla 4.9.</b> Cálculo del beneficio de la pala 6.....	37
<b>Tabla 4.10.</b> Cálculo del beneficio del cargador .....	37
<b>Tabla 4.11.</b> Cálculo del beneficio del excavador.....	38
<b>Tabla 4.12.</b> Resumen de tonelaje adicional .....	38
<b>Tabla 4.13.</b> Ahorro por horas operacionales de los equipos.....	39

## Índice de figuras

<b>Figura 2.1.</b> Voladura ideal .....	9
<b>Figura 2.2.</b> Parámetros de las voladuras .....	11
<b>Figura 2.3.</b> Procesos básicos en el cerebro humano .....	14
<b>Figura 2.4.</b> Esquema del modelo de red neuronal artificial (ANN) .....	15
<b>Figura 4.1.</b> Estimación de proyección de flyrock teórico.....	26
<b>Figura 4.2.</b> Distancia de flyrock real vs distancia de flyrock teórico .....	28
<b>Figura 4.3.</b> Correlación entre la distancia de flyrock real y la distancia de flyrock teórica. .....	29
<b>Figura 4.4.</b> Diseño de la red neuronal para determinar el flyrock .....	30
<b>Figura 4.5.</b> Resultados del análisis de regresión realizado en el entrenamiento, validación, testeo y prueba general .....	31
<b>Figura 4.6.</b> Distancia de flyrock real vs distancia de flyrock estimada por ANN .....	32
<b>Figura 4.7.</b> Correlación entre la distancia de flyrock real y la distancia de flyrock estimada por ANN. ....	33

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como finalidad diseñar una red neuronal artificial para la estimación del flyrock de una mina del distrito de Huamachuco. Para la realización de este informe se consideró una población constituida por tres unidades mineras de la provincia de Sánchez Carrión, la muestra no probabilística está compuesta por una mina del distrito de Huamachuco y el muestreo fue realizado en el tajo Calaorco, sostuvo una investigación de tipo aplicada y un diseño cuantitativo pre experimental. Además, para el procesamiento de la información se utilizaron métodos analíticos y técnicas de observación y análisis documental, con sus respectivos instrumentos que son, las guías de observación y guía de análisis documental, asimismo se utilizó el programa Excel y el software Matlab como herramientas para el análisis y generación de resultados. Finalmente, los resultados obtenidos arrojaron un índice de correlación de 0,917 entre las distancias de flyrock reales y las distancias de flyrock estimadas mediante una red neuronal artificial, mientras que el índice de correlación entre las distancias de flyrock reales y las distancias estimadas por métodos empíricos fue de 0,0216. Este trabajo permitió concluir que el diseño de una red neuronal permite estimar con más precisión el flyrock, logrando disminuir el radio de evacuación de los equipos de 250 m a 200 m, beneficiando la productividad y reduciendo costos de operación en \$ 632,12 mensualmente.

**Palabras clave:** Red neuronal artificial, flyrock, índice de correlación.

## **ABSTRACT**

The purpose of this research was to design an artificial neural network to estimate the flyrock of a mine in the Huamachuco district. For the realization of this report, a population consisting of three mining units in the province of Sánchez Carrión was considered, the non-probabilistic sample is composed of a mine in the district of Huamachuco and the sampling was carried out in the Calaorco pit, an investigation of the type applied and a quantitative pre-experimental design. In addition, for the information processing, analytical methods and techniques of observation and documentary analysis were used, with their respective instruments that are, the observation guides and document analysis guide, likewise the Excel program and the MatLab software were used as tools for the analysis and generation of results. Finally, the results obtained yielded a correlation index of 0,917 between the real flyrock distances and the flyrock distances estimated by means of an artificial neural network, while the correlation index between the real flyrock distances and the distances estimated by empirical methods was of 0,0216. This work allowed to conclude that the design of a neural network allows the flyrock to be estimated with more precision, reducing the radius of evacuation of the equipment from 250 m to 200 m, benefiting productivity and reducing operating costs by \$ 632,12 per month.

**Keywords:** Artificial neural network, flyrock, correlation index.