

# Contenido

Capítulo 1.....	1
1    Introducción.....	1
1.1    Antecedente y motivación .....	1
1.2    Descripción del problema.....	2
1.3    Solución propuesta .....	2
1.4    Objetivos.....	3
1.4.1    Objetivo general .....	3
1.4.2    Objetivos específicos .....	3
1.5    Alcances .....	3
1.6    Metodologías y herramientas utilizadas .....	3
1.7    Resultados esperados.....	4
Capítulo 2.....	5
2    Marco teórico .....	5
2.1    Análisis estadístico de datos .....	5
2.1.1    Histogramas .....	5
2.1.2    Estadística básica .....	5
2.1.3    Diagrama de caja .....	6
2.2    Métodos de clasificación de macizo rocoso.....	6
2.2.1    Sistema Rock Mass Rating (RMR) .....	6
2.2.2    Q de Barton .....	9
2.3    Métodos de fortificación y sostenimiento. ....	10
2.3.1    Fortificación por pernos .....	11
2.4    Machine learning .....	15
2.4.1    Tareas desempeñadas por Machine learning.....	15
2.4.2    Tipos de técnicas .....	15
2.4.3    Overfitting y underfitting.....	16
2.4.4    Modelos de clasificación para Machine learning.....	16
Capítulo 3.....	27
3    Desarrollo .....	27
3.1    Descripción de la zona de estudio y ubicación .....	27
3.2.1    Propiedades geológicas de las diferentes zonas .....	29

3.2.2	Clasificación de calidad del macizo rocoso en base a RMR .....	34
3.2.3	Determinación de fortificación según RMR para litologías en estudio.....	38
	Definición de la arquitectura y estimación de match fortificación – macizo rocoso MLP .....	41
	Definición de la arquitectura y estimación de match fortificación – macizo rocoso MLP factor K..	46
	Definición de la arquitectura y estimación de match fortificación – macizo rocoso CNN .....	51
Capítulo 4.....		60
4	Resultados .....	60
4.1	Resultados de la relación match entre tipo de fornicación y tipo de macizo .....	60
4.2	Tiempos de estimación de las redes neuronales .....	61
4.3	Error de estimación de las redes neuronales .....	63
Capítulo 5.....		65
Conclusión .....		65
Bibliografía .....		67
A.	Anexos: Arquitectura para otra proporción de datos de entrenamiento y prueba .....	69
B.	Anexos: Tiempo de entrenamientos en detalle .....	79

## Índice de tabla

Tabla 2-1: Clasificación de macizo rocoso según RMR (Bieniawski, 1989) .....	7
Tabla 2-2: Planilla para cálculo de RMR (Bieiwski, 1986).....	7
Tabla 2-3: Tipo de fortificación en relación a clase de macizo rocoso según RMR (Bieiwski, 1986). ....	9
Tabla 2-4: Caracterización macizo rocoso (Jo & Etnia, 2015).....	10
Tabla 3-1: Características generales de litologías (Ramos, 2005). .....	29
Tabla 3-2: Índices de roca para complejo máfico (Ramos, 2005). .....	31
Tabla 3-3: Índices de roca para Brecha magmática-hidrotermal (Ramos, 2005). .....	32
Tabla 3-4: Índices de roca para Brecha hidrotermal (Ramos, 2005). .....	33
Tabla 3-5: Índices de roca para complejo intrusivo (Ramos, 2005). .....	34
Tabla 3-6: Clasificación RMR para complejo máfico. ....	35
Tabla 3-7: Clasificación RMR complejo Brecha magmática-hidrotermal.....	35
Tabla 3-8: Clasificación RMR complejo Brecha hidrotermal. ....	36
Tabla 3-9: Clasificación RMR complejo intrusivo.....	37
Tabla 3-10: Determinación de fortificación según RMR.....	38
Tabla 3-11 Arquitectura de MLP para base de datos geomecánica .....	46
Tabla 3-12 Arquitectura de MLP factor K para base de datos geomecánica .....	51
Tabla 3-13 Arquitectura CNN para base de datos geomecánico.....	59
Tabla 4-1 Resultados del error cuadrático medio y coeficiente de determinación set entrenamiento ....	63
Tabla 4-2 Resultados del error cuadrático medio y coeficiente de determinación set prueba.....	63
Tabla A-1 Arquitectura de la MLP para los datos geomecánicas .....	71
Tabla A-2 Arquitectura de la MLP factor K para los datos geomecánicas .....	74
Tabla A-3 Arquitectura de la CNN para los datos geomecánicas.....	78

## Índice de ilustración

Ilustración 2-1: Representación gráfica de histograma (Emery,2007).....	5
Ilustración 2-2: Representación de diagrama de caja (Emery,2007).....	6
Ilustración 2-3: Principios de sostenimiento para pernos (Burgos S., 2015):.....	12
Ilustración 2-4: Perno de anclaje mecánico (Burgos S., 2015). ....	12
Ilustración 2-5: Figura representativa perno Split Set (Burgos S., 2015).....	13
Ilustración 2-6: Ejemplo de red neuronal conectada (Parra, 2019).....	17
Ilustración 2-7: Ecuación lineal (Matich, 2001).....	19
Ilustración 2-8: Función sigmoidea (Matich, 2001).....	19
Ilustración 2-9: Función tangencial hiperbólica (Matich, 2001).....	20
Ilustración 2-10: Representación grafica de modelo árbol de decisión (Barrientos R. et.al, 2009)..	<b>¡Error!</b>
<b>Marcador no definido.</b>	
Ilustración 2-11: Frontera de decisión entre ambas clases (Salamanca J & Velásquez P., 2018).....	<b>¡Error!</b>
<b>Marcador no definido.</b>	
Ilustración 3-1: Ubicación geográfica minera Abigail-Estefanía (Ramos, 2005).....	27
Ilustración 3-2 Curva de tiempo de ejecución vs coeficiente de determinación - Cantidad de capas MPL entrenamiento .....	42
Ilustración 3-3 Curva de tiempo de ejecución vs coeficiente de determinación - Cantidad de neuronas MPL entrenamiento .....	43
Ilustración 3-4 Curva de tiempo de ejecución vs coeficiente de determinación - Cantidad de iteraciones MPL entrenamiento .....	44
Ilustración 3-5 Curva de tiempo de ejecución vs coeficiente de determinación - Valor del dropout rate MPL entrenamiento .....	45
Ilustración 3-6 Curva de tiempo de ejecución vs coeficiente de determinación - Valor learning rate MPL entrenamiento .....	46
Ilustración 3-7 Curva de tiempo de ejecución vs coeficiente de determinación - Cantidad de capas MPL factor K entrenamiento .....	47
Ilustración 3-8 Curva de tiempo de ejecución vs coeficiente de determinación - Cantidad de neuronas MPL factor K entrenamiento .....	48
Ilustración 3-9 Curva de tiempo de ejecución vs coeficiente de determinación - Cantidad de iteraciones MPL factor K entrenamiento .....	49
Ilustración 3-10 Curva de tiempo de ejecución vs coeficiente de determinación - Valor dropout rate MPL factor K entrenamiento .....	50
Ilustración 3-11 Curva de tiempo de ejecución vs coeficiente de determinación - Valor de learning rate MPL factor K entrenamiento .....	51
Ilustración 3-12 Curva de tiempo de ejecución vs coeficiente de determinación - Cantidad de neuronas CNN entrenamiento.....	52
Ilustración 3-13 Curva de tiempo de ejecución vs coeficiente de determinación - Valor stride CNN entrenamiento .....	53
Ilustración 3-14 Curva de tiempo de ejecución vs coeficiente de determinación - Número de Kernel CNN entrenamiento.....	54

Ilustración 3-15 Curva de tiempo de ejecución vs coeficiente de determinación - Cantidad de filtros CNN entrenamiento.....	55
Ilustración 3-16 Curva de tiempo de ejecución vs coeficiente de determinación - Valor dropout rate CNN entrenamiento.....	56
Ilustración 3-17 Curva de tiempo de ejecución vs coeficiente de determinación - Valor learning rate CNN entrenamiento.....	57
Ilustración 3-18 Curva de tiempo de ejecución vs coeficiente de determinación - Cantidad de iteraciones CNN entrenamiento .....	58
Ilustración 3-19 Curva de tiempo de ejecución vs coeficiente de determinación - Combinaciones CNN entrenamiento .....	59
Ilustración 4-1 Diagrama de cajas relación match macizo rocoso vs fortificación set entrenamiento ...	60
Ilustración 4-2 Diagrama de cajas relación match macizo rocoso vs fortificación set entrenamiento ...	60
Ilustración 4-3 Tiempo de ejecución para encontrar la arquitectura en el set de entrenamiento .....	62
Ilustración 4-4 Tiempo de ejecución para estimar valores en el set de prueba .....	62
Ilustración A-1 Curva de tiempo de ejecución vs coeficiente de determinación - Cantidad de capas MLP .....	69
Ilustración A-2 Curva de tiempo de ejecución vs coeficiente de determinación - Cantidad de neuronas MLP.....	69
Ilustración A-3 Curva de tiempo de ejecución vs coeficiente de determinación - Cantidad de iteraciones MLP.....	70
Ilustración A-4 Curva de tiempo de ejecución vs coeficiente de determinación - Valor dropout rate MLP.....	70
Ilustración A-5 Curva de tiempo de ejecución vs coeficiente de determinación - Valor learning rate MLP.....	71
Ilustración A-6 Curva de tiempo de ejecución vs coeficiente de determinación - Cantidad de capas MLP factor K.....	72
Ilustración A-7 Curva de tiempo de ejecución vs coeficiente de determinación - Cantidad de neuronas MLP factor K.....	72
Ilustración A-8 Curva de tiempo de ejecución vs coeficiente de determinación - Cantidad de iteraciones MLP factor K.....	73
Ilustración A-9 Curva de tiempo de ejecución vs coeficiente de determinación - Valor dropout rate MLP factor K.....	73
Ilustración A-10 Curva de tiempo de ejecución vs coeficiente de determinación - Valor learning rate MLP factor K.....	74
Ilustración A-11 Curva de tiempo de ejecución vs coeficiente de determinación - Cantidad de neuronas CNN .....	75
Ilustración A-12 Curva de tiempo de ejecución vs coeficiente de determinación - Número de stride CNN .....	75
Ilustración A-13 Curva de tiempo de ejecución vs coeficiente de determinación - Número de Kernel CNN .....	76
Ilustración A-14 Curva de tiempo de ejecución vs coeficiente de determinación - Cantidad de filtros CNN .....	76

Ilustración A-15 Curva de tiempo de ejecución vs coeficiente de determinación - Valor dropout rate CNN .....	77
Ilustración A-16 Curva de tiempo de ejecución vs coeficiente de determinación - Valor learning rate CNN .....	77
Ilustración A-17 Curva de tiempo de ejecución vs coeficiente de determinación - Cantidad de iteraciones CNN.....	78
Ilustración A-18 Curva de tiempo de ejecución vs coeficiente de determinación - Combinación CNN	78
Ilustración B-1 Grafico de estimación de tiempos de entrenamiento cantidad de capas.....	79
Ilustración B-2 Grafico de estimación de tiempos de entrenamiento cantidad de neuronas.....	79
Ilustración B-3 Grafico de estimación de tiempos de entrenamiento learning rate.....	80
Ilustración B-4 Grafico de estimación de tiempos de entrenamiento dropout rate .....	80