

INDICE

RESUMEN.....	ii
LISTADO DE ILUSTRACIONES	vi
LISTADO DE TABLAS	viii
LISTADO DE ECUACIONES.....	x
CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN.....	11
1.1. Planteamiento del problema	11
1.2. Objetivos.	12
1.2.1. Objetivo general	12
1.2.2. Objetivos específicos	12
1.3 Alcances.....	12
CAPITULO 2. MARCO TEORICO	13
2.1. Ventilación en minería.	13
2.1.1 Definición	13
2.1.2 Tipos de ventilación	14
2.1.3 Clasificación de los ventiladores	19
2.1.4 Aire y contaminantes presentes.....	22
2.1.5 Requerimientos de aire	25
2.1.6 Leyes básicas de la ventilación.....	30
2.1.7 Concepto de caudal, resistencia y recirculación	30
2.1.8 Ley básica de la ventilación de minas.....	34
2.1.9 Ecuación de energía total	35
2.1.10 Ley de Atkinson	36
2.1.11 Factor de fricción	37
2.1.12 Pérdida por Choque.....	37
2.2 Método Hundimiento por bloques (<i>caving</i>)	37
2.2.1 Ventilación en <i>Panel Caving</i>	39
2.3 Optimización en sistemas de ventilación.....	40
2.4 Análisis conjunto.....	41
2.4.1 Tipos de análisis conjuntos	42
2.5 Regresión lineal.....	43
2.5.1 Regresiones simples.....	43
2.5.2 Regresión lineal múltiple.....	44
2.5.3 Regresión lineal cualitativa	45

2.6	Análisis de modelos de regresión.....	48
2.6.1	Coeficiente de determinación	48
2.6.2	Coeficiente ajustado de determinación	49
2.6.3	Coeficiente de correlación múltiple	49
2.6.4	Error estándar de estimación.....	50
2.6.5	Significancia de regresión	50
2.6.6	Significancia de los coeficientes	51
2.7	Redes Neuronales.....	51
2.7.1	Estructura básica de una Red Neuronal Artificial.....	51
2.7.2	Etapas para la creación de una Red Neuronal Artificial.....	53
2.7.3	Tipos de Redes Neuronales Artificiales	55
2.8	Árbol de regresión y clasificación	56
2.8.1	Elementos del árbol	57
2.8.2	Modelo CART.....	58
2.9	Selección de atributos	58
2.10	Arreglos ortogonales	59
2.10.1	Diseño arreglo ortogonal.....	59
Capítulo 3. Metodología		61
3.1	Recolección de datos	61
3.2	Software	61
3.2.1	IBM SPSS Statistics.....	61
3.2.2	AutoCAD	62
3.2.3	VentSim	62
3.2	Procedimiento	63
Capítulo 4. Análisis de datos		65
4.1	Caracterización de la mina	65
4.1.1	Nivel de producción	65
4.1.2	Nivel de hundimiento	66
4.1.3	Subnivel de inyección	67
4.1.4	Subnivel de extracción.....	68
4.2	Sistema de ventilación.....	68
Capítulo 5. Resultados		70
5.1	Caracterización sistema de ventilación.	70
5.2	Selección de los ventiladores.	71
5.3	Plan ortogonal	77

5.4	Evaluación de los escenarios	82
5.4.1	Evaluación de escenarios nivel de hundimiento	82
5.4.2	Evaluación escenarios nivel de producción	83
5.5	Modelo.....	85
Capítulo 6.	Análisis de resultados.	101
6.1	Comparación de los modelos	101
6.1.1	Nivel de hundimiento.....	101
6.1.2	Nivel de producción.....	103
6.2.	Análisis de significancia	104
6.2.1	Significancia regresión lineal.....	104
6.2.2	Significancia árbol de regresión	105
6.2.3	Significancia redes neuronales	106
6.3	Logros de los modelos	107
Capítulo 7.	Conclusiones y recomendaciones.....	109
7.1	Conclusiones.....	109
7.2	Recomendaciones.....	110
Bibliografía.....		111
Apéndice A		113
Apéndice B		113
Apéndice C		114
Apéndice D.....		114
Apéndice E		115

LISTADO DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Sistema básico de ventilación (Tien, 1999)	14
Ilustración 2 Ventilación natural (Gallardo, 2008)	15
Ilustración 3 Sistema impelente (Gallardo, 2008)	18
Ilustración 4 Sistema aspirante (Gallardo, 2008)	18
Ilustración 5 Sistema mixto o combinado (Gallardo, 2008)	19
Ilustración 6 Ventilador centrífugo (Zitrón, 2010)	20
Ilustración 7 Ventilador de hélice (Zitrón, 2010)	21
Ilustración 8 Ventilador axial (Zitrón, 2010)	22
Ilustración 9 Primera ley de Kirchhoff (Llano, 2017)	31
Ilustración 10 Segunda ley de Kirchhoff (Llano, 2017)	32
Ilustración 11 Circuito en serie (Llano, 2017).....	33
Ilustración 12 Circuito en paralelo (Llano, 2017)	33
Ilustración 13 Esquema panel caving (Hernández, 2019)	39
Ilustración 14 Sistema de ventilación de método de panel caving (Hernández, 2019)	40
Ilustración 15 Modelo base de regresión (Moreno, 2019)	46
Ilustración 16 Regresión paralela (Moreno, 2019).....	47
Ilustración 17 Regresiones concurrentes (Moreno, 2019)	47
Ilustración 18 Regresión disímbola (Moreno, 2019)	48
Ilustración 19 Estructura clásica de una Red Neuronal (Alarcón, 2014).....	52
Ilustración 20 Estructura básica árbol de clasificación y regresión (Díaz, 2012)	57
Ilustración 21 Nivel de producción (elaboración propia)	66
Ilustración 22 Nivel de hundimiento (elaboración propia)	67
Ilustración 23 Subnivel inyección (elaboración propia).....	67
Ilustración 24 Subnivel de extracción (elaboración propia)	68
Ilustración 25 Nivel de producción (elaboración propia)	70
Ilustración 26 Nivel de hundimiento (elaboración propia)	71
Ilustración 27 Gráfico presión vs caudal ventilador principal 1 de inyección (obtenido mediante VentSim)	72
Ilustración 28 Gráfico presión vs caudal ventilador principal de inyección 2 (obtenido mediante VentSim)	72

Ilustración 29 Gráfico presión vs caudal ventilador de inyección nivel de producción (obtenido mediante VentSim)	73
Ilustración 30 Gráfico presión vs caudal ventilador de inyección nivel de hundimiento (obtenido mediante VentSim)	74
Ilustración 31 Gráfico presión vs caudal ventilador de extracción principal 2 (obtenido mediante VentSim)	74
Ilustración 32 Gráfico presión vs caudal ventilador principal 2 (obtenido mediante VentSim).....	75
Ilustración 33 Gráfico presión vs caudal ventilador extracción nivel de producción (obtenido mediante VentSim)	75
Ilustración 34 Gráfico presión vs caudal ventilador extracción nivel de hundimiento (obtenido mediante VentSim)	76
Ilustración 35 Puertas de ventilación (elaboración propia)	76
Ilustración 36 Estimación escenarios de prueba punto 1 (elaboración propia).....	87
Ilustración 37 Estimación escenarios de prueba punto 2 (elaboración propia).....	89
Ilustración 38 Estimación escenarios de prueba punto 3 (elaboración propia).....	91
Ilustración 39 Estimación escenarios de prueba punto 4 (elaboración propia).....	92
Ilustración 40 Estimación escenarios de prueba punto 1 (elaboración propia).....	95
Ilustración 41 Estimación escenarios de prueba punto 2 (elaboración propia).....	96
Ilustración 42 Estimación escenarios de prueba punto 3 (elaboración propia).....	98
Ilustración 43 Estimación escenarios de prueba punto 4 (elaboración propia).....	99

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1 Composición de aire seco (Bolz & Tuve, 1973).....	22
Tabla 2 Límite permisible de gases (Vargas, 2015)	25
Tabla 3 Límite permisible de gases (Rueda, Toro & Zuleta, 2012).....	25
Tabla 4 Caudal requerido por temperatura (Gallardo, 2008).....	27
Tabla 5 Ventiladores de inyección (compañía minera, 2020).....	69
Tabla 6 Ventiladores de extracción (compañía minera, 2020).....	69
Tabla 7 Características ventilador principal de inyección 1 (obtenido de VentSim)..	71
Tabla 8 Características Ventilador principal de inyección 2 (obtenido mediante VentSim).....	72
Tabla 9 Características ventilador de inyección nivel de producción (obtenido mediante VentSim).....	73
Tabla 10 Características ventilador de inyección del nivel de hundimiento (obtenido mediante VentSim)	73
Tabla 11 Características ventilador de extracción principal 1 (obtenido mediante VentSim).....	74
Tabla 12 Características ventilador de extracción principal 2 (obtenido mediante VentSim).....	74
Tabla 13 Característica ventilador de extracción nivel de producción (obtenido mediante VentSim)	75
Tabla 14 Características ventilador de extracción nivel de hundimiento (obtenido mediante VentSim)	76
Tabla 15 Caudales simulados (elaboración propia).....	77
Tabla 16 Plan ortogonal de prueba nivel de hundimiento (elaboración propia)	78
Tabla 17 Nomenclatura plan ortogonal nivel de hundimiento (elaboración propia) ..	79
Tabla 18 Nomenclatura plan ortogonal nivel de producción (elaboración propia)	80
Tabla 19 Plan ortogonal de prueba nivel de producción (elaboración propia)	81
Tabla 20 Evaluación del plan ortogonal de prueba nivel de hundimiento (elaboración propia)	82
Tabla 21 Evaluación de escenarios plan ortogonal nivel de producción (elaboración propia)	84
Tabla 22 Resumen modelos punto 1 (elaboración propia)	86
Tabla 23 Características modelos punto 2 (elaboración propia).....	88

Tabla 24 Características modelos punto 3 (elaboración propia).....	90
Tabla 25 Características modelos punto 4 (elaboración propia).....	92
Tabla 26 Características modelos punto 1 (elaboración propia).....	94
Tabla 27 Características de los modelos punto 2 (elaboración propia)	96
Tabla 28 Características modelos punto 3 (elaboración propia).....	97
Tabla 29 Características de los modelos punto 4 (elaboración propia)	98
Tabla 30 R^2 ajustado para sistema de ventilación nivel de hundimiento	101
Tabla 31 Error de estimación de los modelos.....	102
Tabla 32 Coeficiente de correlación R escenarios de prueba	102
Tabla 33 Valores de R^2 ajustado sistema de ventilación nivel de producción (elaboración propia).....	103
Tabla 34 Error de estimación de los modelos (elaboración propia).....	104
Tabla 35 Coeficiente de correlación escenarios de prueba (elaboración propia) ...	104
Tabla 36 Significancia regresión lineal (elaboración propia).....	105
Tabla 37 Significancia regresión lineal (elaboración propia).....	105
Tabla 38 Significancia árbol de regresión (elaboración propia)	106
Tabla 39 Significancia árbol de regresión (elaboración propia)	106
Tabla 40 Significancia redes neuronales (elaboración propia)	107
Tabla 41 Significancia redes neuronales (elaboración propia)	107

LISTADO DE ECUACIONES

Ecuación 1 Caudal requerido por número de personas (Gallardo, 2008).....	26
Ecuación 2 Caudal requerido por desprendimiento de gases (Gallardo, 2008)	27
Ecuación 3 Caudal requerido por explosivos (Gallardo, 2008).....	28
Ecuación 4 Caudal requerido por explosivos modificada (Gallardo,2008)	28
Ecuación 5 Caudal requerido por equipos diésel (Gallardo, 2008).....	29
Ecuación 6 Fórmula caudal (elaboración propia)	30
Ecuación 7 Circuito en serie (elaboración propia)	32
Ecuación 8 Resistencia total (elaboración propia).....	32
Ecuación 9 Caudales circuito paralelo (elaboración propia).....	33
Ecuación 10 Resistencia en circuito paralelo (elaboración propia).....	33
Ecuación 11 Relación presión caudal (Llano, 2017).....	34
Ecuación 12 Ecuación energía total (llano, 2017)	35
Ecuación 13 Ecuación de Bernoulli (llano, 2017)	35
Ecuación 14 Ecuación de Bernoulli expresada en presiones (llano, 2017)	36
Ecuación 15 Fórmula de Atkinson (Llano, 2017)	36
Ecuación 16 Factor de fricción corregido (Llano, 2017)	37
Ecuación 17 Fórmula regresión simple (Moreno, 2019).....	43
Ecuación 18 Fórmula regresión lineal múltiple (Moreno, 2019).....	44
Ecuación 19 Fórmula regresión cualitativa (Moreno, 2019)	46
Ecuación 20 Coeficiente de determinación (Moreno, 2019)	48
Ecuación 21 Suma de cuadrados del error (Moreno, 2019)	49
Ecuación 22 Suma total de cuadrados (Moreno,2019).....	49
Ecuación 23 Coeficiente ajustado de determinación (Moreno, 2019).....	49
Ecuación 24 Error estándar de estimación (Moreno, 2019).....	50
Ecuación 25 Número de combinaciones (Moreno, 2019).....	58
Ecuación 26 Arreglo Ortogonal (Moreno, 2019)	59