

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
1.1. Objetivo general	3
1.2. Objetivos específicos	3
1.3. Alcances	3
2. Marco Teórico	4
2.1. Flotación de Minerales	4
2.1.1. Introducción a la flotación	4
2.1.2. Contexto operacional	5
2.1.3. Pruebas de flotación Batch	8
2.2. Modelamiento	9
2.2.1. Modelamiento fenomenológico de flotación	10
2.2.1.1. Modelo de flotación de primer orden en flotación Batch	10
2.2.1.2. Modelo de flotación de primer orden en flotación continua	12
2.2.1.2.1. Distribución de tiempos de residencia	13
2.2.1.2.2. Distribución de constantes cinéticas	16
2.2.1.2.3. Estado del arte en modelos de flotación	18
2.2.2. Modelos caja negra de simulación	19
2.2.2.1. Clasificación de modelos de caja negra según su función	20
2.2.2.1.1. Modelo de Regresión	20
2.2.2.1.2. Modelo de clasificación	21
2.2.2.2. Redes Neuronales	21
2.2.2.2.1. Definición y creación	21
2.2.2.2.2. Backpropagation	23
2.2.2.3. Estimación de densidad con Kernel	24
2.3. Definiciones Matemáticas relevantes en redes neuronales	25
2.3.1. Funciones de Activación	25
2.3.1.1. Función de Activación tipo sigmoide	26
2.3.1.2. Función de Activación tipo ReLU y Leaky ReLU	27
2.3.1.3. Función de activación tipo tangente hiperbólica	28
2.3.1.4. Función de activación tipo softmax	29
2.3.2. Funciones de Perdida	29
2.3.2.1. Función de pérdida de error cuadrático medio y derivadas	29
2.3.2.2. Función de Pérdida de Kullback Leibler	30
2.3.2.3. Función de Pérdida Binary Cross Entropy	30
2.4. Programacion de modelos de caja negra	31
2.4.1. Construcción de una red neuronal	31

2.4.1.1.	Programación de Red en Keras	32
2.4.1.2.	Optimización de Red	33
2.4.2.	Algoritmos auxiliares en el uso de redes neuronales	33
2.4.2.1.	Normalización de datos	33
2.4.2.2.	Aplicación de vectores de latencia	34
2.5.	Definición y caracterización de UGMs	35
3.	Metodología	37
3.1.	Desarrollo del modelo fenomenológico	37
3.1.1.	Definición de variables pertinentes	37
3.1.2.	Calculo de DTR por método de Montecarlo	38
3.1.3.	Discretización del modelo de recuperación	39
3.1.4.	Cálculo de recuperación en un banco	40
3.2.	Análisis de método de implementación	43
3.3.	Modelos de caja negra	44
3.3.1.	Modelos aplicados a calculo de DTRs	44
3.3.1.1.	Motivación de uso	44
3.3.1.2.	Base de datos utilizada	45
3.3.1.2.1	Base de datos original	45
3.3.1.2.2	Base de datos modificada	46
3.3.1.3.	Implementación	47
3.3.1.3.1	Redes Neuronales	47
3.3.1.3.2	Estimación de Densidad con Kernel	49
3.3.2.	Modelos aplicados a predicción de ley de concentrado	50
3.3.2.1.	Motivación de uso	51
3.3.2.2.	Base de datos utilizada	51
3.3.2.3.	Implementación	53
3.3.3.	Modelos aplicados a identificación de UGMs	53
3.3.3.1.	Motivación de uso	53
3.3.3.2.	Base de datos utilizada	54
3.3.3.3.	Implementación	55
3.3.3.3.1	Clasificación directa	55
3.3.3.3.2	Clasificación por árbol binario	56
3.3.3.3.3	Clasificación probabilística	56
4.	Resultados	58
4.1.	Modelo fenomenológico puro	58
4.2.	Modelos aplicados a cálculo de DTRs	60
4.3.	Predicción de leyes de concentrado	64
4.4.	Identificación de Unidad Geometalúrgica	65
5.	Análisis de resultados	69
5.1.	Predicciones de distribuciones de tiempos de residencia	71
5.2.	Predicciones de ley de concentrado	74
5.3.	Clasificación de unidades geometalúrgicas	74
5.4.	Propuesta de un modelo de predicción de recuperación	76
6.	Conclusiones	77

Bibliografía

79

Anexo

82