

Tabla de Contenido

1. Introducción.....	1
1.1. Contexto.....	2
1.2. Objetivos.....	3
1.2.1. Objetivo General.....	3
1.2.2. Objetivos Específicos.....	3
1.3. Alcances.....	3
1.4. Estructura de la memoria.....	4
2. Marco Teórico.....	5
2.1. Conceptos Asociados a Mina.....	5
2.2. Conceptos asociados a Planta.....	6
2.2.1. Planta de Conminución.....	8
2.2.2. Planta de Flotación.....	9
2.2.3. Circuito de planta de conminución.....	11
2.2.4. Circuito de planta de flotación.....	13
2.3. Flujo de Caja.....	14
2.4. Modelos Matemáticos de Incertidumbre en Minería.....	18
2.4.1. Método de Montecarlo.....	18
2.4.2. Riesgo.....	19
3. Metodología.....	20
3.1. Caso Base.....	20
3.1.1. Mina.....	21
3.1.2. Planta.....	21
3.1.3. Modelos predictivos auxiliares.....	25
3.1.4. Consideraciones Económicas.....	27
3.2. Variables de Incertidumbre.....	30
3.2.1. Valores Operacionales.....	32
3.2.2. Valores de Ley.....	32
3.2.3. Valores Económicos.....	32
3.3. Metodología de Programación.....	33
4. Resultados de ensayo teórico.....	36
4.1. W_i Chancado.....	36
4.2. W_i Molienda.....	39

4.3. SPI.....	41
4.4. Ley	44
4.5. Precio	46
4.6. Simulación con incertidumbre global	49
5. Análisis de Resultados	51
6. Conclusiones	56
7. Bibliografía.....	57
Anexos	61
A1. Códigos	61
Librerías	61
Algoritmo de Montecarlo	61
Algoritmo de Montecarlo bi modal.....	61
Algoritmo de Montecarlo Truncado.....	62
A2. Estadística W_i Chancado.....	62

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1: Ingresos caso de estudio [USD/d].	14
Ecuación 2: Cobre fino [t/d].	14
Ecuación 3: Definición utilidades.	15
Ecuación 4: Ganancia/Pérdida de Capital.	16
Ecuación 5: Flujo de Caja total.....	16
Ecuación 6: Valor actualizado neto.	17
Ecuación 7: Valor en riesgo.....	19
Ecuación 8: Modelo costo Mina.....	21
Ecuación 9: Cálculo de energía en etapa de chancado.	22
Ecuación 10: Costo de energía en proceso de Chancado.	22
Ecuación 11: Cálculo energía en molienda SAG.	22
Ecuación 12: Costo energía en molienda SAG.	23
Ecuación 13: Cálculo energía en molienda convencional.	23
Ecuación 14: Costo energía molienda convencional.....	23
Ecuación 15: Costo total planta de conminución.	23
Ecuación 16: Cálculo de costos asociado a colector.	24
Ecuación 17: Cálculo de costos asociados a espumante.....	25
Ecuación 18: Cálculo de costo asociado a cal.	25
Ecuación 19: Cálculo final costos de Planta Flotación.	25
Ecuación 20: Modelo empírico de leyes de concentrado.	26
Ecuación 21: Conservación de flujo.....	26
Ecuación 22: Recuperación de mineral.	27
Ecuación 23: Ecuación Inversión Mina, actualizada al año 2020.	28
Ecuación 24: Precio Concentrado de cobre.....	29

Ecuación 25: Modelo Browniano Geométrico para precio de Cobre.....	33
Ecuación 26: Correlación entre W_i Chancado y VAN.....	38
Ecuación 27: Correlación entre W_i Molienda y VAN.....	40
Ecuación 28: Correlación entre SPI y VAN.....	43
Ecuación 29: Correlación entre ley de cobre en alimentación y VAN.....	45

Índice de Figuras

Figura 1: Producción de cobre por tipo de método de explotación (Cochilco, 2021).....	5
Figura 2: Procesamiento de Sulfuros de Cobre.....	7
Figura 3: Etapas Sulfuros a partir de su mecanismo de procesamiento (Casali, 2018).....	8
Figura 4: Circuito SAG, tipo SABC-B.....	12
Figura 5: Circuito base de planta de flotación (Casali, 2018).....	13
Figura 6: Modelo leyes de concentrado.....	26
Figura 7: Variables de incertidumbre y sus relaciones.....	31
Figura 8: Estructura de algoritmo.....	35
Figura 9: Histograma W_i Chancado.....	37
Figura 10: Histograma VAN con variable modificada W_i de chancado.....	37
Figura 11: Gráfico de correlación entre W_i de Chancado y VAN [MUSD].....	38
Figura 12: Histograma W_i Molienda.....	39
Figura 13: Histograma VAN con variable modificada W_i de molienda.....	40
Figura 14: Gráfico de correlación entre W_i de molienda y VAN [MUSD].....	40
Figura 15: Histograma SPI.....	42
Figura 16: Histograma VAN con variable modificada SPI.....	42
Figura 17: Gráfico de correlación entre SPI y VAN [MUSD].....	43
Figura 18: Histograma de leyes de cobre.....	44
Figura 19: Histograma VAN con variable modificada leyes de cobre.....	45
Figura 20: Gráfico de correlación entre leyes de cobre en alimentación y VAN [MUSD].....	45
Figura 21: Histograma distribución variación del precio del cobre en el tiempo.....	47
Figura 22: Histograma VAN con variable modificada Precio del Cobre.....	48
Figura 23: Gráfico de correlación entre pendiente precio del cobre en el tiempo en función del VAN.....	48
Figura 24: Histograma de valores de VAN asociados a simulación global.....	50

Índice de Tablas

Tabla 1: Validación modelo de leyes y recuperación.....	27
Tabla 2: Parámetros operacionales.....	32
Tabla 3: Estadísticas generales de leyes de alimentación.....	32
Tabla 4: Caso base, sin aleatoriedad de parámetros.....	36
Tabla 5: Estadística descriptiva W_i Chancado [kWh/t].....	36
Tabla 6: Estadística descriptiva VAN asociado a W_i de Chancado.....	37
Tabla 7: Diferencias porcentuales de W_i Chancado y VAN con respecto a su media.....	38
Tabla 8: Riesgo asociado de parámetro W_i de Chancado.....	38
Tabla 9: Estadística descriptiva W_i Molienda [kWh/t].....	39
Tabla 10: Estadística descriptiva VAN.....	39

Tabla 11: Diferencias porcentuales de W_i Molienda y VAN con respecto a su media.....	41
Tabla 12: Riesgo asociado de parámetro W_i de Molienda.	41
Tabla 13: Estadística descriptiva SPI [min].	41
Tabla 14: Estadística descriptiva VAN con variable modificada SPI.	42
Tabla 15: Diferencias porcentuales de W_i y VAN con respecto a su media.....	43
Tabla 16: Riesgo asociado de parámetro SPI de molienda SAG.	43
Tabla 17: Estadística descriptiva Leyes de Cobre [%].	44
Tabla 18: Estadística descriptiva VAN asociado a variabilidad de leyes de cobre.....	44
Tabla 19: Diferencias porcentuales de leyes y VAN con respecto a su media.	46
Tabla 20: Riesgo asociado de parámetro leyes de cobre en alimentación.....	46
Tabla 21: Estadística global precio del cobre.....	46
Tabla 22: Estadística descriptiva pendientes precio del cobre.	47
Tabla 23: Estadística descriptiva VAN asociado a variación en precio del cobre [MUSD].	47
Tabla 24: Diferencias porcentuales de pendiente en función del tiempo y VAN con respecto a su media.	48
Tabla 25: Valor en riesgo de parámetro precio del cobre.....	49
Tabla 26: Principales estadísticos asociados a simulación global.....	49
Tabla 27: Estadísticas de VAN asociadas a simulaciones globales.	49
Tabla 28: Riesgo asociado a simulación simultánea de parámetros.....	50
Tabla 29: Resumen parámetros y riesgo asociado.....	50
Tabla 30: Valores de W_i promedios, sujetos a diferentes repeticiones.....	62