

# Tabla de Contenido

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Antecedentes Generales . . . . .	1
1.2. Motivación . . . . .	1
1.3. Objetivo General . . . . .	2
1.4. Objetivos Específicos . . . . .	2
1.5. Alcances . . . . .	2
<b>2. Metodología</b>	<b>3</b>
2.1. Selección de Variables a Utilizar . . . . .	3
2.2. Modelo Físico . . . . .	4
2.3. Modelo Matemático . . . . .	4
2.4. Análisis de Sensibilidad . . . . .	4
2.5. Recursos . . . . .	4
<b>3. Antecedentes</b>	<b>5</b>
3.1. Molinos para el Proceso de Molienda en Minería . . . . .	5
3.1.1. Concentración del Mineral . . . . .	5
3.1.2. Molienda . . . . .	5
3.2. Modelos para Predecir Potencia . . . . .	7
3.2.1. Arbiter and Harris (1982) . . . . .	8
3.2.2. Liddell (1986) . . . . .	9
3.2.3. Morrell (1993) . . . . .	12
3.3. Eureka <sup>®</sup> . . . . .	21
<b>4. Resultados</b>	<b>22</b>
4.1. Variables Utilizadas en el Modelo . . . . .	22
4.2. Descripción de la Carga al Interior del Molino . . . . .	23
4.2.1. Ecuaciones para Parámetros que Describen Geometría . . . . .	23
4.3. Potencia Debida a la Gravedad . . . . .	24
4.4. Potencia por Energía Cinética de la Carga y Pérdidas por Calor . . . . .	25
4.4.1. Delta Potencia por Unidad de Largo Usando Eureka <sup>®</sup> . . . . .	25
4.5. Cálculo de Potencia Modelo Propuesto . . . . .	28
4.6. Congruencia del Modelo con Datos Experimentales . . . . .	28
4.7. Análisis de Sensibilidad . . . . .	33
<b>5. Discusión y Análisis</b>	<b>38</b>

<b>6. Conclusion</b>	<b>40</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>41</b>
<b>Anexos</b>	<b>I</b>
<b>Anexo A. Datos Experimentales</b>	<b>I</b>
A.1. Datos Molinos Autógenos . . . . .	I
A.2. Datos Molinos Semi-Autógenos . . . . .	II
A.3. Datos Molinos de Bola . . . . .	III

# Índice de Tablas

4.1. Variables modelo de morrell . . . . .	22
4.2. Variables modelo propuesto . . . . .	23
4.3. Rango de operación variables modelo propuesto . . . . .	33
A.1. Datos experimentales molinos autógenos . . . . .	I
A.2. Datos experimentales molinos semi-autógenos . . . . .	II
A.3. Datos experimentales molinos de bola . . . . .	III

# Índice de Ilustraciones

2.1. Metodología propuesta . . . . .	3
3.1. Distintas formas de la cáscara del molino. . . . .	6
3.2. Distintos mecanismos de descarga. . . . .	7
3.3. Dinámica de la carga al interior del molino según Arbiter y Harris. . . . .	8
3.4. Esquema de la sección transversal de un molino. Mediciones de pie y hombro para distintas velocidades. . . . .	10
3.5. Torque en función de fracción de llenado y fracción de velocidad crítica. . . . .	11
3.6. Metodología de Stephen Morrell en el desarrollo de su modelo. . . . .	12
3.7. Imagen frontal del molino con tapa de vidrio ocupado por Morrell indicando la <i>carga activa</i> . . . . .	13
3.8. (a) Geometría simplificada de molino de descarga con rejilla (b) Geometría simplificada de molino de descarga por rebose. . . . .	13
3.9. (a) Hombro de la carga (b) Pie de la carga. . . . .	14
3.10. Velocidad normalizada v/s Posición radial normalizada para el molino experimental con tapa de vidrio. . . . .	17
3.11. Volumen de control para cálculo de potencia mecánica según Morrell. . . . .	18
3.12. Predicción de potencia según Morrell. . . . .	20
4.1. (a) Geometría simplificada de molino de descarga con rejilla (b) Geometría simplificada de molino de descarga por rebose. . . . .	24
4.2. Ajuste encontrado por Eureka <sup>®</sup> para los 21 datos de molinos SAG rectos presentes en [1]. . . . .	26
4.3. Relación de aspecto (D/L) para los 21 datos de molinos SAG rectos presentes en [1]. . . . .	26
4.4. Ajuste encontrado por Eureka <sup>®</sup> para los 14 datos de molinos SAG rectos de baja relación de aspecto presentes en [1]. . . . .	27
4.5. Ajuste encontrado por Eureka <sup>®</sup> para los 7 datos de molinos SAG rectos de alta relación de aspecto presentes en [1]. . . . .	28
4.6. Molinos de bola . . . . .	29
4.7. Molinos SAG . . . . .	30
4.8. Molinos AG . . . . .	31
4.9. Todos los molinos . . . . .	32
4.10. Derivada parcial con respecto a $\rho_c$ para $r_m$ promedio. (a) $\omega = 1,46[rad/s]$ (b) $\theta_T = 4,05[rad]$ (c) $\rho_c = 4,8[g/cm^3]$ . . . . .	34

4.11. Derivada parcial con respecto a $\theta_T$ para $r_m$ promedio. (a) $\omega = 1,46[\text{rad/s}]$ (b) $\theta_T = 4,05[\text{rad}]$ (c) $\rho_c = 4,8[\text{g/cm}^3]$ . . . . .	35
4.12. Derivada parcial con respecto a $\omega$ para $r_m$ promedio. (a) $\omega = 1,46[\text{rad/s}]$ (b) $\theta_T = 4,05[\text{rad}]$ (c) $\rho_c = 4,8[\text{g/cm}^3]$ . . . . .	36
4.13. (a) Derivada parcial con respecto a $\omega$ , $r_m = 0,85[\text{m}]$ , $\rho_c = 5,77[\text{g/cm}^3]$ (b) Derivada parcial con respecto a $\theta_T$ , $r_m = 0,85[\text{m}]$ , $\rho_c = 5,77[\text{g/cm}^3]$ (c) Derivada parcial con respecto a $\theta_T$ , $r_m = 5,1[\text{m}]$ , $\rho_c = 5,77[\text{g/cm}^3]$ . . . . .	37