

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
1.1. Antecedentes Generales	1
1.2. Motivación	1
1.3. Objetivo General	2
1.4. Objetivos Específicos	2
1.5. Alcances	2
2. Metodología	3
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
3. Antecedentes	5
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 [®]	21
4. Resultados	22
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 [®]	25
4.5. Cálculo de Potencia Modelo Propuesto	28
4.6. Congruencia del Modelo con Datos Experimentales	28
4.7. Análisis de Sensibilidad	33
5. Discusión y Análisis	38

6. Conclusion	40
Bibliografía	41
Anexos	I
Anexo A. Datos Experimentales	I
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 [®] 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 [®] para los 14 datos de molinos SAG rectos de baja relación de aspecto presentes en [1].	27
4.5. Ajuste encontrado por Eureka [®] 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 ρ_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 θ_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 ω 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 ω , $r_m = 0,85[\text{m}]$, $\rho_c = 5,77[\text{g/cm}^3]$ (b) Derivada parcial con respecto a θ_T , $r_m = 0,85[\text{m}]$, $\rho_c = 5,77[\text{g/cm}^3]$ (c) Derivada parcial con respecto a θ_T , $r_m = 5,1[\text{m}]$, $\rho_c = 5,77[\text{g/cm}^3]$	37