

Contenido

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes y motivación.....	1
1.2. Descripción del problema	2
1.3. Solución propuesta	2
1.4. Objetivos.....	3
1.4.1. Objetivo General:	3
1.4.2. Objetivos específicos:.....	3
1.5. Alcances	4
1.6. Resultados esperados.....	4
1.7. Organización del documento	4
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	6
2.1. Procesos de conminución en minería	6
2.1.1. Chancado	6
2.1.2. Molienda.....	7
2.1.2.1. Molienda SAG.....	8
2.1.2.2. Molienda Convencional.....	9
2.2. Equipos empleados para procesos de molienda.....	9
2.2.1. Molino de barras.....	9
2.2.2. Molino de bolas	10
2.3. Principales partes de un Molino de Bolas	13
2.4. Factores que afectan la eficiencia de la molienda.....	14
2.4.1. Volumen de llenado de los molinos de bolas	15
2.4.2. Cálculo de carga de bolas del molino para igual diámetro de bolas.....	16

2.4.3. Cálculo de la velocidad de operación del molino.....	18
2.5. Bolas de molienda	18
2.5.1. Especificaciones de las bolas de molienda:	18
2.6. Tratamiento térmico.....	20
2.6.1. Etapas del tratamiento térmico	20
2.6.2. Tipos de tratamientos térmicos.....	21
2.6.2.1. Recocido	21
2.6.2.2. Temple	22
2.6.2.3. Revenido.....	22
2.7. Fenómenos de corrosión y desgastes que existen en procesos de molienda	23
2.7.1. Desgaste por abrasión.....	25
2.8. Problemas asociados al uso de agua en el procesamiento de minerales.	26
2.8.1. Óxido y corrosión	26
2.8.2. Algunos tipos de corrosión.....	27
2.9. Consumo de agua en la minería	30
2.9.1. Proyección de consumo de agua según su origen.....	31
2.9.2. Consumo de agua de mar en minería.....	32
2.9.3. Proyecciones de uso de agua de mar en minería	33
2.9.4. Costo económico del uso de agua desalada en la minería chilena	34
2.9.5. Aproximación al costo del uso de agua de mar en la minería chilena.....	35
2.9.5.1. Costo de la electricidad.....	35
2.9.5.2. Costo del uso de agua desalinizada	36
2.9.5.3. Uso de agua de mar directo en mineras chilenas.....	37
2.10. Estudios relacionados.....	38

2.10.1.	Medición de desgaste en función de la reducción del diámetro.....	38
2.10.2.	Análisis del desgaste de las bolas de molienda por SEM / EDX.	40
3.	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	42
3.1.	Materiales.....	42
3.1.1.	Muestra de relave para molienda y sus características.....	42
3.1.2.	Cuerpos moledores.....	45
3.1.3.	Medio acuoso.....	46
3.2.	Equipos y procedimientos.....	46
3.2.1.	Equipos.....	46
3.2.2.	Procedimientos.....	51
3.2.2.1.	Pruebas de molienda.....	51
3.2.2.2.	Control a cuerpos moledores.....	53
4.	RESULTADOS.....	55
4.1.	Control de peso y diámetro de los cuerpos moledores.....	55
4.2.	Análisis de Fe, Cr y Mn en el producto de molienda.....	60
4.2.1.	Balance de masas.....	63
4.3.	Análisis metalográfico de las bolas de acero.....	65
4.4.	Comparación y proyección a escala industrial de la vida útil de los cuerpos moledores en función de su diámetro.....	69
5.	CONCLUSIONES.....	72
5.1.	Recomendaciones.....	73
6.	BIBLIOGRAFÍA.....	74

Índice de Tablas

Tabla 2.1: Composición Química de las bolas de molienda que fabrica Moly-Cop.	19
Tabla 2.2: Dureza de las bolas de molienda que fabrica Moly-Cop.	20
Tabla 2.3: Especificaciones del molino y condiciones de operación.	39
Tabla 2.4: Datos medidos en un molino de bolas de la compañía Argos S. A.	39
Tabla 3.1: Resultados del análisis de Difracción de Rayos X para especies mineralógicas.	42
Tabla 3.2: Información obtenida del análisis granulométrico.	44
Tabla 3.3: Resultados del análisis con el equipo de FRX.	44
Tabla 3.4: Dureza de las bolas de molienda. Moly-Cop	45
Tabla 3.5: Composición química de las bolas de molienda. Moly-Cop.....	45
Tabla 3.6: Composición química de los cuerpos moledores medida con el equipo de FRX. ...	45
Tabla 3.7: Tabla de equivalencia de Hz a RPM para el molino.	47
Tabla 4.1: Registro de la masa de los cuerpos moledores utilizados en agua convencional.	55
Tabla 4.2: Registro de la masa de los cuerpos moledores utilizados en agua de mar.	56
Tabla 4.3: Registro de la pérdida de peso acumulado de los cuerpos moledores en agua convencional.	57
Tabla 4.4: Registro pérdida de peso acumulado de los cuerpos moledores en agua de mar.	57
Tabla 4.5: Resumen de datos utilizados para el análisis.	59
Tabla 4.6: Variación del diámetro respecto a las horas de operación.	60
Tabla 4.7: Concentraciones de Fe, Cr y Mn en las muestras.....	64
Tabla 4.8: Proyección del diámetro de cuerpos moledores en función de su masa y volumen.	69

Índice de Figuras

Figura 2.1: Mecanismo de conminución del chancador de Cono.....	7
Figura 2.2: Molino SAG Minera Doña Inés de Collahuasi.	9
Figura 2.3: Barras al interior de un molino.	10
Figura 2.4: Esquema básico de un molino de bolas (U. Autónoma de Coahuila, 2016).....	11
Figura 2.5: Esquema cronológico del movimiento que realiza la carga al interior del molino (Cesar Bravo, Manual de molienda y clasificación de minerales)	12
Figura 2.6: Movimientos que experimenta la carga al interior del molino (Estudio para calibración de molinos, Ociel Gutiérrez G, Universidad de Chile, 2011).....	12
Figura 2.7: Esquema de las partes de un molino (Descripción de la molienda, Erik Gallas, 2015).	14
Figura 2.8: Diagrama para el cálculo del factor de llenado de un molino de bolas.	15
Figura 2.9: Esquema explicativo de la generación de corrosión galvánica.....	28
Figura 2.10: Esquema gráfico fenómenos químicos que se producen en la corrosión por fisuras.	29
Figura 2.11: Ejemplo de corrosión por fisura o crevice.	29
Figura 2.12: Ejemplo de corrosión por picaduras.....	30
Figura 2.13: Proyección del consumo de agua en la industria minera. Fuente COCHILCO.	32
Figura 2.14: Consumo de agua de mar en la minería según el tipo de proceso. Fuente COCHILCO.....	33
Figura 2.15: Gráfico obtenido con los datos obtenidos en la Compañía Argos.	40
Figura 2.16: (A) SEM de la superficie de bola de baja aleación con tiempo de molienda igual a 90 minutos (Izq.) y análisis EDX (der.) en el punto señalado de la figura.....	41
Figura 2.17: (B) SEM de la superficie de bola de baja aleación con tiempo de molienda igual a 300 minutos (Izq.) y análisis EDX (der.) en el punto señalado de la figura.....	41
Figura 3.1: Muestreo del mineral mediante cono y cuarteo.	43
Figura 3.2: Análisis Granulométrico.	44

Figura 3.3: Imágenes tomadas con lupa estereoscópica a las bolas marcadas inicialmente.	53
Figura 4.1: Gráfica comparativa de la tendencia de desgaste parcial de los cuerpos molidores.	56
Figura 4.2: Gráfica del desgaste a partir de la pérdida de masa acumulada para ambos medios.	58
Figura 4.3: Concentración de Fe acumulado durante 280 horas de operación.	61
Figura 4.4: Concentración de Cr acumulado durante 280 horas de operación.	62
Figura 4.5: Concentración de Mn acumulado durante 280 horas de operación.	63
Figura 4.6: Masa correspondiente a cada elemento en la alimentación.	64
Figura 4.7: Masa correspondiente a cada elemento después de 20 horas de molienda.	65
Figura 4.8: Imágenes microscópicas de los cuerpos molidores en su estado inicial.	66
Figura 4.9: Imágenes microscópicas después de 280 horas de molienda en cada medio.	67
Figura 4.10: Gráfico de los datos obtenidos en la proyección para cuerpos molidores en agua convencional.	70
Figura 4.11: Gráfico de los datos obtenidos en la proyección para cuerpos molidores en agua de mar.	70