

# Tabla de contenido

Agradecimientos .....	iii
Tabla de contenido .....	iv
Índice de tablas.....	vii
Índice de figuras.....	viii
Capítulo 1: Introducción.....	1
1.1. Antecedentes generales .....	1
1.2. Motivación .....	1
1.3. Descripción del proyecto.....	2
1.4. Justificación.....	3
1.5. Antecedentes bibliográficos .....	3
1.5.1. Arsénico .....	3
1.5.1.1. Propiedades químicas .....	3
1.5.1.2. Especiación de arsénico .....	4
1.5.1.3. Toxicidad.....	5
1.5.1.4. Óxido-reducción del arsénico.....	5
1.5.1.5. El arsénico en la minería .....	5
1.5.1.6. Normativas ambientales .....	6
1.5.2. Técnicas para la oxidación de arsénico .....	7
1.5.3. Oxidación biológica de $As^{+3}$ .....	8
1.5.3.1. Ancylobacter sp. TS-1 .....	9
1.5.3.2. Sulfolobus metallicus .....	9
1.5.3.3. Acidithiobacillus ferrooxidans .....	9
• Oxidación de $Fe^{+2}$ :.....	10
• Factores que afectan su crecimiento:.....	10
• Biooxidación de arsénico: .....	11
1.5.4. Biorreactores .....	11
1.5.4.1. Dimensionamiento: .....	11
1.5.4.2. Modo de operación:.....	11
1.5.4.3. Configuración del biorreactor: .....	13
1.5.4.4. Condiciones de operación: .....	14
Capítulo 2: Objetivos .....	14
2.1 Objetivo general .....	14
2.2 Objetivos específicos.....	14

Capítulo 3: Metodología.....	14
Capítulo 4: Resultados y discusiones .....	15
4.1. Microorganismo seleccionado y parámetros cinéticos.....	16
4.2. Elección del sistema biorreactor.....	18
4.3. Punto de incorporación del biorreactor en el proceso AAA.....	19
4.4. Diagrama de flujos del proceso con la incorporación del biorreactor .....	20
4.5. Balance de masa.....	22
4.6. Dimensionamiento de equipos .....	23
4.7. Balance de energía .....	24
4.8. Costos de inversión (CAPEX).....	25
4.9. Análisis de sensibilidad.....	29
4.2.1. Cinética de crecimiento.....	29
4.2.2. Flujo de PLS.....	30
4.2.3. Concentración de arsénico en PLS.....	30
4.2.4. Concentración de hierro en PLS.....	31
4.2.5. Análisis para caso sin centrífuga de discos .....	34
Capítulo 5: Conclusiones .....	35
Capítulo 6: Recomendaciones .....	36
6.1. Para el microorganismo.....	36
6.2. Para el sistema de biorreactores .....	36
6.3. Para la evaluación económica .....	36
Capítulo 7: Bibliografía.....	37
Capítulo 8: Anexos.....	41
Anexo A: Minería en cifras. Producción de cobre .....	41
Anexo B: Minería en cifras. Consumo de cobre .....	41
Anexo C: Proceso de Abatimiento de Arsénico y Antimonio de EcoMetales (AAA).....	41
Anexo D: Tipos de reactores Airlift.....	42
Anexo E: Cálculo de rendimientos y velocidad específica de producción de As+5 para Acidithiobacillus ferrooxidans.....	43
Anexo F: Balance de masa del proceso.....	45
Anexo G: Especificaciones del medio de cultivo y PLS.....	48
Anexo H: Dimensionamiento de equipos.....	49
• Quimiostato:.....	49
• Centrífuga.....	56

• Reactor de biooxidación.....	58
Anexo I: Balance de energía .....	63
• Quimioestado .....	64
• Biorreactor de oxidación .....	69
• Intercambiador de calor.....	71
Anexo J: Estimación del CAPEX.....	74