
ÍNDICE

Resumen	V
Abstract	VII
Resum	IX
Publicaciones derivadas de la Tesis Doctoral	XI

Capítulo 1. Introducción

1.1. Materias primas críticas: antimonio.....	3
1.1.1. Aplicaciones del antimonio	4
1.1.2. Producción primaria	5
1.1.3. Recuperación de fuentes secundarias.....	8
1.2. Metalurgia del cobre	10
1.3. Efluente residual objeto de la investigación	14
1.3.1. Características del efluente	14
1.3.2. Estado del arte del tratamiento del efluente	17
1.4. Técnicas para la recuperación de metales	18
1.4.1. Técnicas fisicoquímicas	18
1.4.2. Técnicas electroquímicas	19
1.5. Uso de disolventes alternativos	23
1.6. Bibliografía.....	30

Capítulo 2. Objetivos

2.1. Objetivos de la Tesis Doctoral	45
2.2. Relación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible.....	46
2.3. Estructura de la Tesis Doctoral.....	47

Capítulo 3. Técnicas instrumentales

3.1. Fundamentos teóricos.....	53
3.2. Caracterización electroquímica	55
3.2.1. Voltametría.....	55
3.2.2. Voltametría cíclica	56
3.2.2.1. Proceso reversible.....	60
3.2.2.2. Proceso irreversible	61
3.2.3. Voltametría lineal	62
3.3. Electrodeposición.....	64
3.4. Microscopía electrónica de barrido	69
3.5. Espectroscopía de absorción atómica.....	70
3.6. Bibliografía.....	72

Capítulo 4. Procedimiento experimental

4.1. Disolución problema	77
4.2. Efluente real	83
4.3. Montajes experimentales.....	84
4.3.1. Celdas electroquímicas.....	84
4.3.1.1. Celda estática de tres electrodos.....	85

4.3.1.2.	Celda estándar de tres electrodos con el electrodo de disco rotatorio	86
4.3.2.	Reactores electroquímicos	87
4.3.2.1.	Reactor de compartimento único	88
4.3.2.2.	Reactor de doble compartimento.....	89
4.3.2.3.	Reactor de triple compartimento	90
4.4.	Tipos de ensayo y condiciones aplicadas.....	92
4.4.1.	Caracterización electroquímica	93
4.4.1.1.	Voltametrías cíclicas	93
4.4.1.2.	Voltametrías lineales	95
4.4.2.	Electrodeposición	96
4.4.2.1.	Electrodeposición de corta duración	97
4.4.2.2.	Electrodeposición de larga duración	98
4.5.	Análisis de muestras.....	102
4.5.1.	Microscopía electrónica	102
4.5.2.	Espectroscopía de absorción atómica	103
4.5.3.	Método de Mohr	105
4.6.	Ensayos con disolvente eutéctico profundo.....	106
4.6.1.	Síntesis de oxalina	106
4.6.2.	Medida de la viscosidad	107
4.6.3.	Caracterización electroquímica	109
4.7.	Bibliografía.....	113

Capítulo 5. Resultados

5.1. Estudio voltamétrico y de electrodeposición para la recuperación de antimonio	117
5.1.1. Estudio electroquímico empleando la celda estática.....	117
5.1.2. Estudio electroquímico empleando la celda estándar con el electrodo de disco rotatorio.....	130
5.1.3. Ensayos de electrodeposición	134
5.1.4. Conclusiones.....	142
5.2. Influencia de la transferencia de materia en la recuperación de antimonio por electrodeposición.....	144
5.2.1. Caracterización electroquímica del sistema.....	144
5.2.2. Electrodeposición potencioestática.....	149
5.2.3. Electrodeposición galvanostática	153
5.2.3.1. Efecto de la agitación.....	158
5.2.3.2. Efecto de la concentración de antimonio.....	163
5.2.3.3. Efecto de la concentración de ácido clorhídrico.....	166
5.2.3.4. Efecto de la formación de cloro gaseoso.....	168
5.2.3.5. Análisis de la eficiencia de corriente y el consumo específico de energía.....	170
5.2.4. Conclusiones.....	173
5.3. Selectividad del proceso de electrodeposición hacia el antimonio y el bismuto.....	175
5.3.1. Estudio voltamétrico	176
5.3.2. Electrodeposición potencioestática con la composición de referencia del efluente.....	181
5.3.3. Electrodeposición galvanostática con la composición de referencia del efluente.....	183

5.3.4.	Electrodeposición galvanostática con diferentes relaciones de concentración entre antimonio y bismuto.....	189
5.3.5.	Conclusiones.....	202
5.4.	Electrodeposición con un efluente real	204
5.4.1.	Caracterización electroquímica del sistema.....	204
5.4.2.	Electrodeposiciones de corta duración	209
5.4.3.	Electrodeposiciones de larga duración.....	214
5.4.3.1.	Reactor de triple compartimento	216
5.4.3.2.	Reactor de compartimento único.....	219
5.4.3.3.	Análisis de la eficiencia de corriente.....	222
5.4.4.	Conclusiones.....	224
5.5.	Uso de disolventes eutécticos profundos.....	227
5.5.1.	Solubilidad del antimonio en oxalina.....	227
5.5.2.	Viscosidad	228
5.5.3.	Estudio voltamétrico	229
5.5.3.1.	Comparación con el electrolito de ácido clorhídrico ...	235
5.5.4.	Conclusiones.....	238
5.6.	Bibliografía.....	240

Capítulo 6. Conclusiones

6.1.	Conclusiones.....	251
6.1.1.	Estudio voltamétrico y de electrodeposición para la recuperación de antimonio	251
6.1.2.	Influencia de la transferencia de materia en la recuperación de antimonio por electrodeposición	253
6.1.3.	Selectividad del proceso de electrodeposición hacia el antimonio y el bismuto.....	255

6.1.4.	Electrodeposición con un efluente real.....	257
6.1.5.	Uso de disolventes eutécticos profundos.....	258