

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 ANTECEDENTES GENERALES	1
1.2 PROCESOS DE ELECTROOBTENCIÓN Y ELECTROREFINACIÓN.....	4
1.2.1 ELECTROREFINACIÓN	4
1.2.2 ELECTROOBTENCIÓN	6
2. MARCO TEÓRICO	9
2.1 FUNDAMENTOS DE ELECTROQUÍMICA	9
2.1.1 FENÓMENOS QUE CONTROLAN EL PROCESO DE ELECTRODEPOSICIÓN	10
2.1.1.1 CONTROL POR TRANSFERENCIA DE CARGA (CC)	12
2.1.1.2 CONTROL POR TRANSFERENCIA DE MASA (CM).....	13
2.1.1.3 CONTROL MIXTO (CX).....	14
2.2 ELECTRO CRISTALIZACIÓN	14
2.2.1 FORMACIÓN DE NÚCLEOS	16
2.2.2 CRECIMIENTO DE CRISTALES.....	19
2.2.2.1 MECANISMO DE CRECIMIENTO DE CAPAS	19
2.2.2.2 MECANISMO DE CRECIMIENTO CRISTALINO 3D	21
2.2.3 FACTORES QUE AFECTAN LA ELECTRO CRISTALIZACIÓN.....	22
2.2.3.1 DENSIDAD DE CORRIENTE	22
2.2.3.2 AGITACIÓN (HIDRODINÁMICA)	23
2.2.3.3 ADITIVOS.....	23
2.2.4 CLASIFICACIÓN DE DEPÓSITOS METÁLICOS.....	25
2.3 DIAGRAMA DE WINAND	27
2.4 EFECTO DE INHIBIDORES	29
2.4.1 FENOMENOLOGÍA DE ACCIÓN DE INHIBIDORES	30
2.4.1.1 ADSORCIÓN	30
2.4.1.2 CRECIMIENTO EN VERTICAL Y LATERAL	31
2.4.1.3 FORMAS DE COALESCENCIA DE CAPAS.....	34
2.5 USO DE ADITIVOS EN ELECTRODEPOSICIÓN DE COBRE	37
2.6 OBJETIVOS	41
2.6.1 OBJETIVO GENERAL.....	41
2.6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	41

3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	42
3.1 MONTAJE EXPERIMENTAL	42
3.2 PREPARACIÓN DEL ELECTROLITO Y CONDICIONES DE OPERACIÓN	43
3.3 METALOGRAFÍAS.....	44
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	46
4.1 CONCENTRACIONES DE IONES EN EL ELECTROLITO	46
4.2 VOLTAJE DE CELDA Y EFICIENCIA DE CORRIENTE.....	47
4.3 MORFOLOGÍA DE LOS DEPÓSITOS	50
5. CONCLUSIONES	57
6. BIBLIOGRAFÍA	59
7. ANEXOS	63
7.1 POTENCIAL ESTÁNDAR (A 298 K) ELECTROQUÍMICO DE ELEMENTOS.....	63
7.2 METALOGRAFÍAS CORTE COMPLETO	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Las 10 minas con mayor producción de cobre de mina para el año 2010	2
Tabla 2: Composición de ánodos y cátodos industriales (moats et al., 2007)	5
Tabla 3: Especies Presentes en electrolitos de ER.	6
Tabla 4: Composición de electrolito en plantas de eo chilenas.	7
Tabla 5: Resumen de aditivos Comunes en electrorefinación y en Electroobtención	25
Tabla 6: Detalle de corriente y Concentración Teórica de Fe^{2+} para el electrolito base de 180 g l^{-1} de H_2SO_4 y 40 g l^{-1} de Cu^{2+}	43
Tabla 7: Concentraciones medidas de fierro y cobre	46
Tabla 8: Eficiencia de Corriente	47
Tabla 9: Diagrama superficial de los depósitos	51
Tabla 10: Diagrama de Winand para depósitos de cobre utilizando ion ferroso como aditivo.	52
Tabla 11: Potencial estándar electroquímico de elementos presentes en electrorefinación de cobre	63
Tabla 12: Metalografías obtenidas en las dos muestras recogidas en cada depósito	64

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1: Usos del Cobre a nivel mundial durante el año 2014	1
Figura 2: Producción Mundial de Cobre (en todas sus formas).	2
Figura 3: Esquema de las etapas involucradas en el tratamiento de minerales Sulfurados (rama Pirometalúrgica) y minerales Oxidados (rama Hidrometalúrgica).....	3
Figura 4: Esquema general de reacción en electrodos	11
Figura 5: Regiones de control cinético para electro reducción de cobre ^l	12
Figura 6: Cátodos de baja calidad. (a) presencia de nódulos en la superficie, (b) entrapamiento de lodos anódicos causa estriación del cátodo, y (c) crecimiento de dendritas en los bordes del cátodo.	15
Figura 7: Modelo de Región de doble capa donde cationes son específicamente adsorBidos. CIH: capa interna de Helmholtz y CEH: capa externa de Helmholtz	16
Figura 8: Etapas de un proceso de electrocristalización de un metal sobre un sustrato.	17
Figura 9: Cambio de energía libre durante la formación de núcleos de cero, UNA, dos y tres dimensiones. ^l	18
Figura 10: Esquema de los diferentes sitios posibles de incorporación de un ad átomo a la superficie del depósito	18
Figura 11: Representación de capas de crecimiento (a - b) y crecimiento cristalino 3D (c).....	19
Figura 12: Formación de Macropasos Politémicos: (a) crecimiento de micropasos. (b)coalescencia de micropasos originando un macropaso.	19
Figura 13: Esquema de ángulos de desorientación en el límite de granos.	20
Figura 14: Dislocación de tornillo y crecimiento de cristales: (a) incorporación del <i>ad átomo</i> a la dislocación. (b) crecimiento piramidal del cristal.	21
Figura 15: Mecanismo de crecimiento 3D para un electrodepósito de oro: (a) escenario de coalescencia de núcleos aislados; (b) crecimiento de núcleos; (c) crecimiento continuo de núcleos hasta la formación de un depósito Continuo.	21
Figura 16: Convección natural y perfil de concentración en electrorefinación de cobre.....	23
Figura 17: (a) Estructura de la cola animal, compuesta por una serie de aminoácidos formando una larga estructura proteica, (b) Mecanismo de acción de la cola animal.....	24
Figura 18: (a) Reflexión difusa y (b) Reflexión especular.....	25
Figura 19: Tipos de estructuras metalográficas.....	26
Figura 20: Diagrama de winand para las diferentes estructuras de crecimiento de cristales policristalinos	28
Figura 21: Esquema representativo del efecto de moléculas aditivas sobre un sustrato con micro fallas. el diagrama de la izquierda representa en caso donde el sustrato posee un poro en su superficie y el de la derecha una columna.	31
Figura 22: Nucleación y crecimiento de capas atómicas sobre un sustrato con dislocaciones y partículas adsorbida	32
Figura 23: Nucleación, crecimiento y agrupamiento de capas atómicas formando un macropaso.	34
Figura 24: Esquema de sección transversal de un depósito columnar	34
Figura 25: Sección transversal de crecimiento tipo BR. Depósito de cobre desde una solución sulfurada	35

Figura 26: Sección transversal de crecimiento tipo FT. Depósito de cobre desde una solución sulfurada utilizando β -Naftoquinolina como aditivo	36
Figura 27: Diferentes tipo de microestructuras en diagrama de winand.....	36
Figura 28: Microestructura de depósitos de cobre obtenidos bajo varias relaciones de cola/tiourea g Cu ⁻¹ : (a) 30/60, (b) 53/55, (c) 80/60 y (d) 100/600. [50x]	38
Figura 29: Micrografía óptica de cátodo de cobre obtenido a 300 A m ⁻² en un electrolito de 40 mg l ⁻¹ de Cl ⁻	39
Figura 30: Micrografía óptica de cátodo de cobre obtenido a 300 A m ⁻² en un electrolito de 40 mg l ⁻¹ de Cl ⁻ adicionado: a) 60 y b) 150 mg t ⁻¹ de tiourea.	39
Figura 31: Micrografía óptica de cátodo de cobre obtenido a 300 A m ⁻² en un electrolito de 40 mg l ⁻¹ de Cl ⁻ adicionado: a) 50 y b) 300 g t ⁻¹ de Gelatina.	40
Figura 32: Micrografía óptica de cátodo de cobre obtenido a 300 A m ⁻² en un electrolito de 40 mg l ⁻¹ de Cl ⁻ , 100 g t ⁻¹ de gelatina y 20 mg t ⁻¹ de tiourea.	40
Figura 33: Montaje experimental. 1. Baño Calefactor. 2. Agitador Magnético. 3. Celda Electroquímica. 4. Calefactor. 5. Agitador Magnético.	42
Figura 34: Montaje Cátodo de acero inoxidable. 1. Área disponible para reacción. 2. Resina acrílica aislantel del electrodo. 3. Soporte acrílico para el electrodo.	43
Figura 35: (a) Cortes seleccionados para observar. (b) montaje del depósito en el molde con resina.....	44
Figura 36: Porcentaje de ion férrico respecto al fierro total en solución al final de cada experimento.	47
Figura 37: Voltaje de Celda para diferentes densidades de corriente según concentración de ion ferroso	48
Figura 38: Eficiencia para diferentes densidades de corriente según concentración de ion ferroso.....	49
Figura 39: Zonas de crecimiento en un depósito cristalino.....	50
Figura 40: Mecanismo de alta inhibición en las caras superiores del depósito.	54
Figura 41: Crecimiento de cristal con baja inhibición.....	55
Figura 42: Crecimiento de cristales con alta inhibición	55