

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN	
I.1. CONSIDERACIONES GENERALES.....	1
I.2. PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DEL OZONO.....	2
I.3. APLICACIONES GENERALES DEL OZONO.....	4
I.4. ESTUDIOS PREVIOS DEL OZONO COMO AGENTE LIXIVIANTE.....	5
I.5. ESTUDIOS PRELIMINARES DEL GRUPO DE INVESTIGACIÓN.....	8
I.5.1. Lixiviación del cobre metálico.....	8
I.5.2. Lixiviación del níquel metálico.....	11
I.5.3. Lixiviación de la aleación cobre-níquel.....	14
I.5.4. Modelo de lixiviación con O₃/O₂ para el cobre y níquel.....	15
I.5.5. Lixiviación de la plata.....	18
I.5.6. Lixiviación del oro.....	20
I.5.7. Lixiviación del paladio.....	23
I.5.8. Lixiviación del rodio.....	24
I.5.9. Lixiviación del platino.....	25
I.6. PROCESO METALOZON[®].....	26
I.6.1. Concepto del proceso.....	26
I.6.2. Características del proceso.....	27
I.7. OBJETIVOS DEL TRABAJO.....	29

II. DESARROLLO EXPERIMENTAL

II.1. APARATO DE LIXIVIACIÓN	
II.1.1. Equipo de ozonización	31
II.1.2. Calibrado del caudal másico de ozono y medida de la concentración de ozono en el medio	35
II.2. DETERMINACIÓN DE LA ESTEQUIOMETRÍA DE LA LIXIVIACIÓN DE LA PLATA Y EL ORO	39
II.3. EXPERIMENTOS CINÉTICOS DE LA PLATA Y EL ORO	41
II.4. DETERMINACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO Y PRODUCTIVIDAD	44
II.5. EXPERIMENTOS CON PLACAS RADIOGRÁFICAS	45
II.6. EXPERIMENTOS CON CHATARRA ELECTRÓNICA.....	46
II.7. EXPERIMENTOS CON CONCENTRADOS GRAVIMÉTRICOS DE ORO.	49
II.8. EXPERIMENTOS CON MINERAL DE GOSSAN.....	51
II.9. EXPERIMENTOS CON LODOS ANÓDICOS	53
II.10. CARACTERIZACIÓN DE SÓLIDOS Y LÍQUIDOS	54
II.10.1. Análisis elemental de soluciones	54
II.10.2. Especiación por espectrofotometría ultravioleta (UV)	55
II.10.3. Difracción de Rayos X (DRX).....	56
II.10.4. Microscopía electrónica de scanning (SEM) y microanálisis de energía dispersiva de rayos X (EDS)	56
II.10.5. Microscopía óptica de reflexión.....	56
II.11. CONSIDERACIONES CINÉTICAS.....	57
II.11.1. Velocidad de reacción y dependencias.....	57
II.11.2. Cálculo de la energía de activación de la reacción	59

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

III.1. LIXIVIACIÓN DE LA PLATA

III.1.1. Caracterización de la plata utilizada.....	61
III.1.2. Estequiometría	63
III.1.3. Cinética de la lixiviación de la plata con ozono.....	67
1. Efecto de la velocidad de agitación	67
2. Modelo de lixiviación de la plata.....	70
3. Efecto de la presión parcial de ozono y de la concentración de ozono	72
4. Efecto de la temperatura.....	76
5. Efecto de la concentración de ácido.....	80
6. Efecto de bajas concentraciones de ácido.....	82
7. Mecanismo general de lixiviación	91

III.2. LIXIVIACIÓN DEL ORO

III.2.1. Caracterización del oro utilizado.....	95
III.2.2. Estequiometría	96
III.2.3. Cinética de la lixiviación del oro con ozono.....	98
1. Efecto de la velocidad de agitación	98
2. Determinación de las constantes cinéticas.....	102
3. Efecto de la presión parcial de ozono y de la concentración de ozono	103
4. Efecto de la temperatura.....	107
5. Efecto de la concentración de ácido.....	111
6. Efecto de la concentración de cloruro.....	114
7. Modelo de lixiviación del oro	117
8. Especies oxidantes	120
9. Comparación de la lixiviación del oro con la lixiviación de la plata y el paladio.....	126

III.3. ESTUDIO DE PRODUCTIVIDAD

III.3.1. Determinación del consumo eléctrico.....	129
III.3.2. Productividad de la plata, el paladio y el oro	131

III.4. RECUPERACIÓN DE LA PLATA DE PLACAS RADIOGRÁFICAS

III.4.1. Caracterización de las placas radiográficas	135
III.4.2. Resultados de lixiviación	137
1. Efecto de la densidad de pulpa.....	137
2. Efecto de la presión parcial de ozono	139
3. Consumo de ozono.....	141
4. Recirculación de la solución de lixiviación	142
5. Caracterización de las placas de poliéster residuales.....	143

III.5. RECUPERACIÓN DE METALES DE CHATARRA ELECTRÓNICA

III.5.1. Caracterización de la chatarra electrónica	149
III.5.2. Recuperación del oro de componentes dorados	160
1. Materia prima.....	160
2. Resultados de lixiviación	160
2.1. Lixiviación con O_2/H_2SO_4	160
2.2. Lixiviación con $O_3/O_2/HCl$	162
III.5.3. Recuperación del cobre, níquel, estaño, plomo y oro.....	164
1. Materia prima.....	164
2. Resultados de lixiviación	165
2.1. Lixiviación con O_2/H_2SO_4	165
2.2. Lixiviación con $O_3/O_2/HCl$	170

III.6. RECUPERACIÓN DEL ORO DE UN CONCENTRADO GRAVIMÉTRICO

III.6.1. Caracterización del concentrado gravimétrico	171
III.6.2. Resultados de lixiviación	182
1. Lixiviación con O_2/H_2SO_4	182
2. Lixiviación con $O_3/O_2/H_2SO_4$	187
3. Lixiviación con $O_3/O_2/HCl$	192
4. Tratamiento del residuo de electrum.....	196

III.7. TRATAMIENTO DE UN MINERAL DE ORO

III.7.1. Composición del mineral de gossan.....	201
III.7.2. Resultados de lixiviación.....	202
1. Estudio preliminar de lixiviación.....	202
2. Extracción del oro del mineral de gossan	211
2.1. Preoxidación con O ₂ /HCl	211
2.2. Lixiviación con O ₃ /O ₂ /HCl	212

III.8. RECUPERACIÓN DE METALES DE LODOS ANÓDICOS

III.8.1. Caracterización de los lodos anódicos	215
III.8.2. Resultados de lixiviación.....	222
1. Lixiviación con O ₂ /H ₂ SO ₄	222
2. Lixiviación con O ₃ /O ₂ /H ₂ SO ₄	223
3. Lixiviación con O ₃ /O ₂ /HCl	224

IV. CONCLUSIONES

IV.1. LIXIVIACIÓN DE LA PLATA	227
IV.2. LIXIVIACIÓN DEL ORO	228
IV.3. ESTUDIO COMPARATIVO DE PRODUCTIVIDAD DE LA LIXIVIACIÓN DE LA PLATA, EL PALADIO Y EL ORO CON OZONO ACUOSO.....	230
IV.4. TRATAMIENTO DE PLACAS RADIOGRÁFICAS	230
IV.5. TRATAMIENTO DE CHATARRA ELECTRÓNICA	231
IV.5.1. Componentes dorados.....	231
IV.5.2. Tratamiento global.....	231
IV.6. TRATAMIENTO DE UN CONCENTRADO GRAVIMÉTRICO DE ORO	232
IV.7. TRATAMIENTO DE UN MINERAL DE GOSSAN	232
IV.8. TRATAMIENTO DE LODOS ANÓDICOS	233

V. BIBLIOGRAFÍA	235
-----------------------	-----