

Índice General

Dedicatoria	II
Resumen	III
Abstract	IV
Prólogo	V
Índice	VII

Capítulo 1: Introducción.

1.1 El método de cloración en metalurgia extractiva	1
1.2 Metalurgia extractiva de minerales titaníferos	3
1.3 Proceso Kroll	4
1.4 Cloración vs. lixiviación ácida	6

Capítulo 2: Fundamentos de Cinética Heterogénea Sólido – Gas.

2.1 Velocidad de reacción en sistemas heterogéneos	7
2.2 Expresión de la velocidad de reacción	8
2.2.1 Determinación de $G(\alpha)$	11
2.2.2 Determinación de $K(T)$	12
2.2.3 Determinación de $F(P)$	13
2.3 Procesos controlantes de la velocidad de reacción	14
2.3.1 Reacciones de sólidos no porosos	15
2.3.1.1 Partícula contráctil no porosa	15
2.3.1.2 Núcleo contráctil sin reaccionar	16
2.3.2 Reacciones de sólidos porosos	17
2.3.2.1 Gasificación completa del sólido reactivo	18
2.3.2.1.1 Partículas con poros que se alargan	18
2.3.2.1.2 Partículas que se contraen, a medida que ocurre la reacción química en una región cercana a la superficie externa	19
2.3.2.2 Sólidos porosos que no cambian de tamaño	20
2.4 Regímenes de reacción	22
2.5 Transferencia de masa entre el sólido y la corriente gaseosa (difusión externa)	24
2.6 Relación entre transferencia de masa y conversión de sólidos	26
2.6.1 Agotamiento gaseoso	28
2.7 Difusión del reactivo gaseoso a través de los poros de la matriz sólida	29

Capítulo 3: Procedimientos Experimentales y Técnicas de Caracterización de Materiales.

3.1 Técnicas y equipos empleados	33
3.1.1 Termogravimetría en atmósfera controlada	33
3.1.2 Sistema termogravimétrico para trabajar en atmósferas corrosivas	34
3.1.3 Procedimiento para mediciones no isotérmicas e isotérmicas	37
3.2 Reactor en flujo	38
3.2.1 Procedimiento para mediciones isotérmicas	40
3.3 Técnicas de caracterización de materiales	40
3.3.1 Difracción de rayos-x	40
3.3.1.1 Método de polvos	41
3.3.2 Microscopía electrónica de barrido	43
3.3.3 Microanálisis por espectroscopía dispersiva en energía	44
3.3.4 Análisis multielemental por fluorescencia de rayos-x dispersiva en energía.	45
3.3.5 Análisis por espectroscopía Mössbauer	46
3.3.6 Determinación de superficie específica (Área BET)	49

Capítulo 4: Microestructura y Estabilidad Térmica de Ilmenita Mineral, ($\text{Fe}_{0,96}\text{Mn}_{0,04}\text{TiO}_3$).

4.1 Introducción y antecedentes	51
4.2 Caracterización de la ilmenita natural bajo estudio	53
4.2.1 Análisis por DRX, MEB y FRX-DE	54
4.2.2 Análisis por espectroscopía Mössbauer	56
4.3 Estudio del comportamiento térmico de la ilmenita	57
4.3.1 Tratamientos térmicos en atmósfera de aire	58
4.3.1.1 Temperaturas menores a 850 °C	58
4.3.1.2 Seguimiento de la reacción de oxidación de ilmenita natural por espectroscopía Mössbauer	64
4.3.1.2 Temperaturas mayores a 850 °C	67
4.3.2 Tratamientos térmicos en atmósfera de argón	70
4.4 Conclusiones del capítulo	72

Capítulo 5: Cinética y Mecanismo de Cloración de Ilmenita ($\text{Fe}_{0,96}\text{Mn}_{0,04}\text{TiO}_3$).

5.1 Introducción y antecedentes	73
5.2 Consideraciones termodinámicas previas	75
5.3 Cloración de FeTiO_3	78
5.4 Resultados preliminares – reactividad del sistema	79

5.5 Estudios preliminares en el reactor en flujo	81
5.6 Cambios morfológicos durante la cloración	85
5.7 Termogravimetrías isotérmicas	86
5.8 Transferencia de masa	87
5.9 Difusión en los espacios interpartícula	91
5.10 Efecto del tamaño de partícula	92
5.11 Efecto de la temperatura	93
5.12 Efecto de la presión parcial de Cl ₂ (g)	96
5.13 Análisis microestructural de los residuos sólidos y los productos gaseosos condensados	99
5.13.1 Temperaturas menores a 800 °C	99
5.13.1.1 Síntesis de pseudorutilo (Fe ₂ Ti ₃ O ₉), por cloración a baja temperatura	100
5.13.1.2 Detección del FeCl ₂ (s)	101
5.13.1.3 Evolución del contenido de Fe y Mn y elementos minoritarios durante el proceso de cloración	102
5.13.1.4 Cambios morfológicos durante la cloración de ilmenita	105
5.13.2 Temperaturas mayores a 800 °C	105
5.13.2.1 Evolución de la fracción Mössbauer con el grado de reacción ..	107
5.14 Propuesta de un camino de reacción	113
5.14.1 Reacción I	113
5.14.2 Reacción II	113
5.14.3 Reacción III	113
5.14.4 Reacción IV	113
5.15 Conclusiones del capítulo	114

Capítulo 6: Influencia del Agregado de un Agente Reductor, Carbocloración de (Fe_{0,96}Mn_{0,04}TiO₃).

6.1 Introducción y antecedentes	116
6.2 Consideraciones termodinámicas previas	117
6.3 Caracterización del carbón	120
6.4 Interacción cloro-carbono	120
6.5 Estudios termogravimétricos no isotérmicos de la interacción Cl ₂ -C	122
6.6 Preparación de las mezclas FeTiO ₃ – C	123
6.7 Resultados preliminares – reactividad del sistema	123
6.8 Estudios preliminares en el reactor en flujo	124
6.9 Transferencia de masa	128
6.10 Efecto de la temperatura	130
6.11 Análisis de los residuos sólidos	134
6.12 Difusión en los espacios interpartículas	135
6.13 Efecto de la presión parcial de Cl ₂ (g)	137
6.14 Conclusiones del capítulo	138

Capítulo 7: Eliminación del Contenido de Manganeso Presente en la Estructura de la Ilmenita, ($\text{Fe}_{0,96}\text{Mn}_{0,04}\text{TiO}_3$); Cloración de Óxidos de Manganeso.

7.1 Introducción y antecedentes	140
7.2 Cloración de Óxido de manganeso II (MnO)	141
7.2.1 Consideraciones termodinámicas previas	141
7.2.2 Caracterización microestructural del MnO utilizado en este estudio	142
7.2.3 Resultados preliminares – reactividad del sistema	144
7.2.4 Estudios preliminares en el reactor en flujo	145
7.2.4.1 Fase condensada	146
7.2.4.2 Residuos sólidos en el crisol	148
7.2.5 Termogravimetrías isotérmicas	150
7.2.5.1 Efecto de la temperatura	150
7.3 Cloración de Óxido de manganeso II – III (Mn_3O_4)	153
7.3.1 Síntesis de Mn_3O_4	153
7.3.2 Termogravimetría no isotérmica	155
7.3.3 Termogravimetrías isotérmicas	156
7.3.3.1 Efecto de la temperatura	156
7.4 Cloración de Óxido de manganeso III (Mn_2O_3)	159
7.4.1 Síntesis de Mn_2O_3	159
7.4.2 Termogravimetría no isotérmica	160
7.4.3 Termogravimetrías isotérmicas	161
7.4.3.1 Efecto de la temperatura	161
7.5 Conclusiones de este capítulo	164
7.5.1 Sistema $\text{MnO} - \text{Cl}_2(\text{g})$	164
7.5.2 Sistema $\text{Mn}_3\text{O}_4 - \text{Cl}_2(\text{g})$	165
7.5.3 Sistema $\text{Mn}_2\text{O}_3 - \text{Cl}_2(\text{g})$	165

Capítulo 8: Conclusiones Generales y Perspectivas.

Conclusiones Generales y Perspectivas	166
Bibliografía	168
Agradecimientos	173
Apéndices: Lista de publicaciones	177