

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Introducción	1
1.2	Objetivos	3
1.2.1	Objetivo General	3
1.2.2	Objetivos Específicos	3
1.3	Alcances	3
CAPÍTULO 2	Revisión crítica de la literatura	4
2.1	Contaminación en residuos líquidos de la industria minera	4
2.2	Tecnologías para la remoción de manganeso	6
2.2.1	Procesos de precipitación	7
2.2.2	Procesos de adsorción	8
2.3	Sustratos utilizados para la adsorción de Mn desde soluciones acuosas	11
CAPÍTULO 3	Metodología	21
3.1	Síntesis de laboratorio de Oxi-Hidróxido Férrico	21
3.2	Caracterización de sustratos	23
3.2.1	Espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier (FTIR)	23
3.2.2	Análisis mineralógico vía SEM/EDS	24
3.3	Experimentos de cinética de adsorción	24
3.3.1	Dosis de Sustrato	24
3.3.2	pH de solución	26
3.3.3	Temperatura	26
3.3.4	Concentración del Metal	26
3.3.5	Experimentos	27
3.4	Estudio Termodinámico	27
3.4.1	Isotermas de Adsorción	27
3.5	Estudio de Cinética de Adsorción	28
3.5.1	Experimento Posterior Oxi-Hidróxido Férrico	28
3.5.2	Experimento Posterior Zeolita	28
3.6	Análisis técnico-económico para cada sustrato	28
CAPÍTULO 4	Resultados y Discusión	30

4.1	Síntesis y caracterización de sustratos	30
4.1.1	Oxi-Hidróxido Férrico.....	30
4.1.2	Zeolitas.....	33
4.1.3	<i>Fly Ash</i>	34
4.2	Termodinámica	37
4.2.1	Isotermas de adsorción	37
4.3	Estudios cinéticos de adsorción de manganeso (II) sobre diferentes sustratos 38	
4.3.1	Impacto de la concentración inicial de manganeso (II).....	38
4.3.2	Efecto del sustrato utilizado, para las distintas concentraciones de manganeso (II).....	41
4.4	Estudio de Cinética de Adsorción	45
4.5	Velocidad de reacción para experimentos a concentración inicial de manganeso de 10 mg/L	48
4.6	Resultados Análisis técnico económico	50
4.6.1	Costo por unidad de Sustrato	50
4.6.2	Costo de Transporte.....	50
4.6.3	Costo de Construcción	51
4.6.4	Costo Total	51
CAPÍTULO 5	Análisis de Resultados	52
5.1	Síntesis y caracterización de sustratos	52
5.1.1	Oxi-Hidróxido Férrico.....	52
5.1.2	Zeolitas.....	53
5.1.3	<i>Fly Ash</i>	53
5.2	Termodinámica	54
5.2.1	Isotermas de Adsorción.....	54
5.3	Cinética Química.....	54
5.3.1	Impacto Concentración Inicial	54
5.3.2	Efecto Sustrato.....	55
5.3.3	Estudio de Cinética de Adsorción.....	55
5.3.4	Resultados Capacidad de adsorción máxima	56
5.3.5	Resultados Análisis Técnico económico	56
CAPÍTULO 6	Conclusiones.....	57
CAPÍTULO 7	Recomendaciones.....	58

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1: Hidrólisis de Manganeso en medio aireado6
 Ecuación 2: Expresión matemática Isotherma de Langmuir9
 Ecuación 3: Proceso de Adsorción.....9
 Ecuación 4: Procesos de Desorción.....9
 Ecuación 5:Expresión matemática Isotherma de Freundlich.....9
 Ecuación 6: Expresión matemática Isotherma de Redlich-Peterson 10
 Ecuación 7: Cinética Adsorción ácido oxálico (Lagergren, 1898).....10
 Ecuación 8. Cinética pseudo-segundo orden 11
 Ecuación 9: Precipitación de MnO₂ en solución acuosa (Rubio y Taffarel, 2010)17
 Ecuación 10: Isotherma Zeolita37
 Ecuación 11: Isotherma Oxi-hidróxido Férrico.....37
 Ecuación 12: Isotherma Fly ash38
 Ecuación 13: Modelo orden n con corrección de límite45
 Ecuación 14: Velocidad de reacción modelo cinético con corrección de límite46

Índice de Figuras

Figura 1: Interacción Sólido-Líquido1
 Figura 2: Clorosis por exceso de metales (Schuster, 2017)5
 Figura 3: Ejemplo de Difracción RX(izq), TEM (med), Espectroscopía IR(der)5
 Figura 4: Pirolusita (izq), Ramsdellita (med), Nsutita (der).....6
 Figura 5: Microfotografía (izq) y fotografía (der) de Ceniza volante (Fly ash) 12
 Figura 6: Obtención de Fly ash en Termoeléctrica (Flyash Australia, 2010) 12
 Figura 7: Efecto del tiempo de residencia y la concentración de Mn(II) en la solución, pH 8, 25°C 14
 Figura 8: Efecto de la temperatura en la remoción de Mn(II), pH 8..... 14
 Figura 9: Efecto del pH en la remoción de Mn(II). 25°C 15
 Figura 10: Ejemplo de Zeolita..... 16
 Figura 11: Efecto de la concentración inicial en la remoción de Mn(II) a partir de Clin y Clin-Fe..... 17
 Figura 12: Zeolita Natural (izq), MOCZ (der) 18
 Figura 13: Efecto de la concentración de MOCZ en la remoción y Capacidad de adsorción máxima 18
 Figura 14: Estructura Ferrihidrita..... 19
 Figura 15: Agitador Magnético (izquierda), pH-metro (derecha) 22
 Figura 16: Síntesis Oxi-Hidróxido Férrico..... 22
 Figura 17: Muestras Filtradas Húmedas Ox-Hx Fe 23
 Figura 18: Producto Ox-Hx Fe Sintetizado, Final 23
 Figura 19: Muestras previo acondicionamiento Zeolita (izquierda) y Fly ash (derecha) .25
 Figura 20: Filtrado muestra Fly ash (Ejemplo)..... 25

Figura 21: Muestras preacondicionadas Zeolita (izquierda) y Fly ash (derecha)	25
Figura 22: Medida de Masa de Sulfato de Manganeso	27
Figura 23: Ruta estimada Proveedor Zeolita - Faena.....	29
Figura 24: Espectro Infrarrojo Oxi-Hidróxido Férrico	31
Figura 25: 2da Derivada Espectro Infrarrojo.....	31
Figura 26: Imagen SEM Oxi-Hidróxido Férrico.....	32
Figura 27: Composición Oxi-Hidróxido Férrico.....	33
Figura 28: Imagen SEM Zeolitas (izq. 1 mm. , der. 300 um)	33
Figura 29: Imagen SEM Fly Ash.....	34
Figura 30: Isotermas de Adsorción.....	37
Figura 31: Experimentos cinéticos de adsorción de manganeso (II) utilizando Fly Ash variando concentración inicial del metal.	39
Figura 32: Experimentos cinéticos de adsorción de manganeso (II) utilizando Zeolitas variando concentración inicial del metal.	40
Figura 33: Experimentos cinéticos de adsorción de manganeso (II) utilizando Oxi- Hidróxido Férrico variando concentración inicial del metal.....	41
Figura 34: Experimentos bajo concentración inicial de manganeso (II) de 100 mg/L.....	42
Figura 35: Experimentos bajo concentración inicial de manganeso (II) de 50 mg/L.....	43
Figura 36: Experimentos bajo concentración inicial de manganeso (II) de 25 mg/L.....	44
Figura 37: Experimentos bajo concentración inicial de manganeso (II) de 10 mg/L.....	45
Figura 38: Modelamiento cinética de adsorción para experimento con concentración de Mn (II) de 10 mg/L para oxi-hidróxido férrico.....	47
Figura 39: Velocidad de reacción experimentos bajo condición inicial de concentración de manganeso (II) de 10 mg/L para sustratos utilizados	48

Índice de Tablas

Tabla 1: Composición Química Fly ash según tipo de carbón (en %)	13
Tabla 2: Parámetros Termodinámicos Remoción Mn(II) a partir de Fly ash	14
Tabla 3: Resumen Adsorción de Mn, para diferentes sustratos disponibles	20
Tabla 4: Obtención Sustrato Oxi-Hidróxido Férrico	30
Tabla 5: Composición Zeolitas	34
Tabla 6: Composición Muestra Fly Ash.....	35
Tabla 7: Resumen Resultados SEM Sustratos	35
Tabla 8: Resumen Tamaños Promedios Sustratos	36
Tabla 9: Resumen Áreas promedio.....	36
Tabla 10: Experimentos cinéticos de adsorción de manganeso (II) utilizando Fly Ash variando concentración inicial del metal.	38
Tabla 11: Experimentos cinéticos de adsorción de manganeso (II) utilizando Zeolitas variando concentración inicial del metal.	39
Tabla 12: Experimentos cinéticos de adsorción de manganeso (II) utilizando Oxi- Hidróxido Férrico variando concentración inicial del metal.....	40
Tabla 13: Experimentos bajo concentración inicial de manganeso (II) de 100 mg/L.....	41
Tabla 14: Experimentos bajo concentración inicial de manganeso (II) de 50 mg/L.....	42
Tabla 15: Experimentos bajo concentración inicial de manganeso (II) de 25 mg/L.....	43

Tabla 16: Experimentos bajo concentración inicial de manganeso (II) de 10 mg/L.....	44
Tabla 17: Constantes modelo para experimentos con concentración inicial de manganeso (II) de 10 mg/L	46
Tabla 18: Experimento bajo concentración inicial de manganeso (II) de 10 mg/L utilizando fly ash.....	46
Tabla 19: Experimento bajo concentración inicial de manganeso (II) de 10mg/L utilizando zeolitas	47
Tabla 20: Experimento bajo concentración inicial de manganeso (II) de 10mg/L utilizando oxi-hidróxido férrico	47
Tabla 21: Resumen Capacidad de adsorción máxima para Experimentos de adsorción de manganeso (II)	49
Tabla 22: Obtención de costo por unidad de oxi-hidróxido férrico bajo precios industriales, a partir de compuestos necesarios para su síntesis.....	50
Tabla 23: Dimensiones Estanque (Rhino Tanks, Australia)	51
Tabla 24: Resumen de costos implementación estanque para los distintos sustratos utilizados	51
Tabla 25: Parámetros Isoterma Freundlich	54
Tabla 26: Resumen Experimentos 10 mg/L	55