

INDICE

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCION

CAPITULO I. ANTECEDENTES

1.1. Fotocatálisis heterogénea.	4
1.1.1. Parámetros que afectan el proceso fotocatalítico.	7
1.2. Semiconductores con actividad fotocatalítica.	10
1.2.1. Estructura de bandas.	10
1.2.2. Absorción de luz.	12
1.3. Fenoles	14
1.3.1. Toxicidad y efectos en la salud humana.	15
1.4. Catalizador.	16
1.4.1. Dióxido de titanio (TiO ₂)	16
1.5. Agentes Oxidantes.	19

1.6. Método sol-gel.	20
1.7. Mecanismos de degradación fotocatalítica de fenol.	22
1.8. Fundamentos	24

CAPITULO II. PARTE EXPERIMENTAL.

2.1. Preparación de catalizadores.	28
2.1.1. Impregnación del catalizador.	31
2.2. Técnicas de caracterización.	32
2.2.1. Difracción de rayos X.	33
2.2.2. Fisisorción de nitrógeno (BET).	34
2.2.3. Análisis térmico.	35
2.2.4. Absorción atómica.	35
2.2.5. Espectroscopia de Infrarrojo (FTIR)	36
2.2.6. Espectroscopia UV-Vis con reflectancia difusa.	37
2.3. Actividad fotocatalítica.	38
2.3.1. Carbón Orgánico Total. (T OC)	39
2.3.2. Cromatografía de Líquidos de Alta Resolución. (CLAR)	40

CAPITULO III. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1. Difracción de rayos X.	41
3.2. Fisisorción de nitrógeno (BET).	43
3.3. Análisis térmicos.	44
3.4. Absorción atómica.	45
3.5. Espectroscopia de Infrarrojo con Transformada de Fourier (FTIR).	46
3.6. Espectroscopia UV-Vis con reflectancia difusa.	47
3.7. Actividad fotocatalítica.	48
3.7.1. Análisis de reacción por Cromatografía de Líquidos de Alta Resolución (CLAR) y por Carbón Orgánico Total (COT).	48
3.7.2. Catalizadores más activos en las reacciones de fotodegradación de Fenol.	56
3.7.3. Intermediarios de reacción en la degradación fotocatalítica de fenol.	62
3.7.4. Mecanismo de reacción en la degradación fotocatalítica de fenol.	68
3.7.5. Degradación fotocatalítica de 4-clorofenol.	69

3.7.6. Intermediarios de reacción en la degradación fotocatalítica de 4-clorofenol.	73
3.7.7. Mecanismo de reacción en la degradación fotocatalítica de 4-clorofenol.	78
3.8 Análisis de resultados.	79
CONCLUSIONES	81
APENDICE	85
BIBLIOGRAFÍA	89

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Descripción	Página
2.1	pH de síntesis de los catalizadores preparados.	32
3.1	Tamaño de cristal del catalizador comercial y de los catalizadores sintetizados.	42
3.2	Área específica de catalizadores.	43
3.3	Longitud de onda y energía de banda prohibida.	48
3.4	Resultados de mineralización de fenol.	54
3.5	Características de los catalizadores sintetizados y resultados de degradación y de mineralización de fenol.	55
3.6	Resultados de mineralización de fenol utilizando TiO_2 sol-gel pH 3 y $\text{TiO}_2\text{-SO}_4^-$ sol-gel pH 3.	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Descripción	Página
1.1	Procesos que ocurren en la interfaz semiconductor – electrolito bajo iluminación.	5
1.2	Dependencia de la velocidad de reacción con la intensidad de iluminación.	8
1.3	Niveles electrónicos resultante del enlace entre átomos idénticos.	11
1.4	Espectros de absorción de algunos semiconductores empleables en fotocatalisis: películas de TiO ₂ con distinta estructura cristalina.	13
1.5	Diferentes estructuras fenólicas.	14
1.6	Estructura cristalina de la anatasa (a) y del rutilo (b).	18
1.7	Reacciones por etapa del proceso sol-gel	22
1.8	Mecanismo de reacción de oxidación de fenol propuesto por: Ohta y col.	23
1.9	Mecanismo de reacción de oxidación de fenol propuesto por: A. Alejandre col.	24
2.1	Esquema para la preparación de TiO ₂ por el método Sol-gel.	29
2.2	Esquema para la preparación de TiO ₂ –SO ₄ ⁼ por el método Sol-gel.	30
2.3	Diagrama para la impregnación del catalizador TiO ₂ con cobre.	31
2.4	Sistema de reacción fotocatalítica.	39
3.1	Patrones de difracción de rayos X de los catalizadores preparados.	41
3.2	Análisis térmico (TGA-DTA), de TiO ₂ sol-gel.	44
3.3	FTIR de los catalizadores sintetizados.	46
3.4	Espectro de reflectancia difusa del TiO ₂ comercial Degussa P25.	47
3.5	Degradación fotocatalítica de fenol con TiO ₂ Degussa P25 como catalizador.	49

3.6	Degradación fotocatalítica de fenol con TiO_2 sol-gel pH 3 como catalizador.	50
3.7	Degradación fotocatalítica de fenol con TiO_2 sol-gel pH 7 como catalizador.	51
3.8	Degradación fotocatalítica de fenol con $\text{TiO}_2\text{-SO}_4^-$ sol-gel pH 3 como catalizador.	52
3.9	Degradación fotocatalítica de fenol con $\text{TiO}_2\text{-SO}_4^-$ sol-gel pH 7 como catalizador.	52
3.10	Degradación fotocatalítica de fenol con TiO_2 sol-gel pH 3 dopada con cobre como catalizador.	53
3.11	Degradación fotocatalítica de fenol utilizando 0.50 g de TiO_2 sol-gel pH 3 como catalizador.	58
3.12	Degradación fotocatalítica de fenol utilizando 0.50 g de $\text{TiO}_2\text{-SO}_4^-$ sol-gel pH 3 como catalizador.	59
3.13	Degradación fotocatalítica de fenol, ajustando pH de solución.	60
3.14	Degradación fotocatalítica de fenol con catalizadores TiO_2 sol-gel pH 3 y $\text{TiO}_2\text{-SO}_4^-$ sol-gel pH 3 utilizando O_2/O_3 como agente oxidante.	61
3.15	Intermediarios de fotodegradación de fenol utilizando como catalizador TiO_2 Degussa P25.	62
3.16	Intermediarios de fotodegradación de fenol utilizando como catalizador TiO_2 sol-gel pH 3.	63
3.17	Intermediarios de fotodegradación de fenol utilizando como catalizador TiO_2 sol-gel pH 7.	64
3.18	Intermediarios de fotodegradación de fenol utilizando como catalizador $\text{TiO}_2\text{-SO}_4^-$ sol-gel pH 3.	65
3.19	Intermediarios de fotodegradación de fenol utilizando como catalizador $\text{TiO}_2\text{-SO}_4^-$ sol-gel pH 7.	66

3.20	Intermediarios de fotodegradación de fenol utilizando como catalizador TiO_2 sol-gel pH 3 dopada con cobre.	67
3.21	Mecanismo de reacción propuesto para la degradación de fenol.	68
3.22	Degradación fotocatalítica de 4-clorofenol utilizando como catalizador TiO_2 Degussa P25.	70
3.23	Degradación fotocatalítica de 4-clorofenol utilizando como catalizador TiO_2 sol-gel pH3.	71
3.24	Degradación fotocatalítica de 4-clorofenol utilizando como catalizador $\text{TiO}_2-\text{SO}_4^-$ sol-gel pH3.	72
3.25	Degradación fotocatalítica de 4-clorofenol utilizando como catalizador TiO_2 sol-gel pH 3 dopado con cobre.	73
3.26	Intermediarios de fotodegradación de 4-clorofenol utilizando como catalizador TiO_2 Degussa P25.	74
3.27	Intermediarios de fotodegradación de 4-clorofenol utilizando como catalizador TiO_2 sol-gel pH 3.	75
3.28	Intermediarios de fotodegradación de 4-clorofenol utilizando como catalizador $\text{TiO}_2-\text{SO}_4^-$ sol-gel pH 3.	76
3.29	Intermediarios de fotodegradación de 4-clorofenol utilizando como catalizador TiO_2 sol-gel pH 3 dopado con cobre.	77
3.30	Mecanismo de reacción propuesto para la degradación de 4-clorofenol.	78
