

ÍNDICE

Resumen

Abstract

Pág.

CAPITULO I

1. Introducción	1
1.1. Planteamiento del problema	3
1.2. Justificación	4
1.3. Objetivos	5
1.3.1. <i>General</i>	5
1.3.2. <i>Específicos</i>	5
1.4. Bibliografía	6

CAPITULO II

2. Antecedentes	8
2.1. Catalizadores para deshidrogenación oxidativa de alcanos	12
2.2. Deshidrogenación oxidativa de alcanos	16
2.3. Deshidrogenación oxidativa de etano	18
2.4. Deshidrogenación oxidativa de propano	21
2.5. Deshidrogenación oxidativa de butano	29
2.6. Bibliografía	35

CAPITULO III

3. Parte experimental	43
3.1. Preparación de catalizadores	43
3.1.1. <i>Síntesis de VPO por medio orgánico</i>	44
3.1.2. <i>Síntesis de VPO soportado en TiO₂ (VPO/TiO₂)</i>	47
3.1.3. <i>Nomenclatura de los materiales sintetizados</i>	49

3.2. Técnicas de caracterización	50
3.2.1. <i>Análisis termogravimétrico y termodiferencial (ATG-ATD)</i>	50
3.2.2. <i>Difracción de rayos X (DRX)</i>	51
3.2.3. <i>Titulación redox</i>	52
3.2.4. <i>Fisisorción de nitrógeno</i>	54
3.2.5. <i>Temperatura programada de desorción del amoníaco (TPD-NH₃)</i>	56
3.2.6. <i>Titulación potenciométrica con n-butilamina</i>	58
3.2.7. <i>Descomposición del 2-propanol</i>	59
3.2.8. <i>Microcalorimetría</i>	61
3.2.9. <i>Espectroscopía IR (FT-IR)</i>	63
3.2.10. <i>Evaluación catalítica</i>	64
3.3. Bibliografía	66

CAPITULO IV

4. Resultados y discusión	68
4.1. Caracterización de los materiales	68
4.1.1. <i>Análisis termogravimétrico y termodiferencial (ATG-ATD)</i>	68
4.1.2. <i>Difracción de rayos X (DRX)</i>	71
4.1.3. <i>Titulación redox</i>	76
4.1.4. <i>Fisisorción de nitrógeno</i>	77
4.1.5. <i>Temperatura programada de desorción del amoníaco (TPD-NH₃)</i>	79
4.1.6. <i>Titulación potenciométrica con n-butilamina</i>	83
4.1.7. <i>Descomposición del 2 propanol</i>	88
4.1.8. <i>Microcalorimetría</i>	94
4.1.9. <i>Espectroscopía IR (FT-IR)</i>	97
4.1.10. <i>Evaluación Catalítica</i>	102
4.1.10.1. <i>Catalizadores VPO máxicos</i>	102

4.1.10.2.	<i>Catalizadores VPO/TiO₂</i>	108
4.1.10.2.1.	<i>ATG-ATD de los catalizadores VPO/TiO₂</i>	109
4.1.10.2.2.	<i>FT-IR de los catalizadores VPO/TiO₂</i>	112
4.2.	Bibliografía	119
	Conclusiones	125
	Anexos	128

ÍNDICE DE FIGURAS

No. Figura	Descripción	Pág.
2.1.	Estructura del $(VO)_2P_2O_7$. No se muestran los átomos de P.	13
2.2.	Fases relacionadas al vanadio-fósforos-oxígeno: (a) Depende de la fase precursora la distribución de productos; (b) Mezcla buteno/aire; (c) Transformación sin cambio en la morfología de la partícula.	14
2.3.	Etapas de la oxidación del metanol.	16
2.4.	Ruta de oxidación de etano con catalizadores VPO máxicos y dopados (Me = Zr, Bi o La-Bi).	21
2.5.	Reactor catalítico a membrana.	32
3.1.	Equipo de síntesis de los VPO máxicos y soportados en TiO_2 .	45
3.2.	Esquema de síntesis de VPO por medio orgánico.	46
3.3.	Esquema de síntesis del VPO en TiO_2 por medio orgánico.	48
3.4.	Microplanta para la descomposición del 2-propanol.	61
3.5.	Microplanta para la deshidrogenación oxidativa de propano.	65
4.1.	Perfil ATG-ATD del precursor de VPO con relación molar P/V = 0.9.	69
4.2.	Perfil ATG-ATD del precursor de VPO con relación molar P/V = 1.0.	70
4.3.	Perfil ATG-ATD del precursor de VPO con relación molar P/V = 1.1.	70
4.4.	Patrones DRX de los precursores de VPO (P/V = 0.9, 1.0 y 1.1).	71
4.5.	Patrones DRX del VPO con P/V = 0.9, calcinado a 400, 500 y 600 °C, respectivamente.	72
4.6.	Patrones DRX del VPO con P/V = 1.0, calcinado a 400, 500 y 600 °C, respectivamente.	73
4.7.	Patrones DRX del VPO con P/V = 1.1, calcinado a 400, 500 y 600 °C, respectivamente.	74
4.8.	Perfiles de TPD-NH ₃ del VPO con P/V = 0.9, calcinado a 400, 500 y 600°C.	80

4.9.	Perfiles de TPD-NH ₃ del VPO con P/V = 1.0, calcinado a 400, 500 y 600°C.	81
4.10.	Perfiles de TPD-NH ₃ del VPO con P/V = 1.1, calcinado a 400, 500 y 600°C.	82
4.11.	Máxima fuerza ácida del VPO con relación molar P/V=0.9, calcinado a 400, 500 y 600 °C, respectivamente.	84
4.12.	Máxima fuerza ácida del VPO con relación molar P/V=1.0, calcinado a 400, 500 y 600 °C, respectivamente.	85
4.13.	Máxima fuerza ácida del VPO con relación molar P/V=1.1, calcinado a 400, 500 y 600 °C, respectivamente.	85
4.14.	Distribución de la población de sitios ácidos del VPO con P/V = 0.9, calcinado a 400, 500 y 600 °C.	86
4.15.	Distribución de la población de sitios ácidos del VPO con P/V = 1.0, calcinado a 400, 500 y 600 °C.	87
4.16.	Distribución de la población de sitios ácidos del VPO con P/V = 1.1, calcinado a 400, 500 y 600 °C.	88
4.17.	Descomposición del 2-propanol usando el VPO con P/V = 0.9, calcinado a 400, 500 y 600 °C.	89
4.18.	Descomposición del 2-propanol usando el VPO con P/V = 1.0, calcinado a 400, 500 y 600 °C.	90
4.19.	Descomposición del 2-propanol usando el VPO con P/V = 1.1, calcinado a 400, 500 y 600 °C.	91
4.20.	Selectividad a 75 min de reacción usando el VPO con P/V = 0.9, calcinado a 400, 500 y 600 °C.	92
4.21.	Selectividad a 75 min de reacción usando el VPO con P/V = 1.0, calcinado a 400, 500 y 600 °C.	93
4.22.	Selectividad a 75 min de reacción usando el VPO con P/V = 1.1, calcinado a 400, 500 y 600 °C.	94
4.23.	Calor de adsorción del VPO con P/V = 0.9, calcinado a 400 y 500 °C.	95

4.24.	Calor de adsorción del VPO con P/V = 1.0, calcinado a 400, 500 y 600 °C.	96
4.25.	Calor de adsorción del VPO con P/V = 1.1, calcinado a 400, 500 y 600 °C.	97
4.26.	Espectros IR de los precursores de VPO con relación molar P/V= 0.9, 1.0 y 1.1.	98
4.27.	Espectros IR del VPO con relación molar P/V = 0.9, calcinado a 400, 500 y 600 °C, respectivamente.	100
4.28.	Espectros IR del VPO con relación molar P/V = 1.0, calcinado a 400, 500 y 600 °C, respectivamente.	101
4.29.	Espectros IR del VPO con relación molar P/V = 1.1, calcinado a 400, 500 y 600 °C, respectivamente.	102
4.30.	Comportamiento catalítico del VPO con P/V = 0.9, calcinado a 400, 500 y 600 °C.	103
4.31.	Comportamiento catalítico del VPO con P/V = 1.0, calcinado a 400, 500 y 600 °C.	104
4.32.	Comportamiento catalítico del VPO con P/V = 1.1, calcinado a 400, 500 y 600 °C.	105
4.33.	Selectividad a propileno usando el VPO con P/V = 0.9, calcinado a 400, 500 y 600 °C.	106
4.34.	Selectividad a propileno usando el VPO con P/V = 1.0, calcinado a 400, 500 y 600 °C.	107
4.35.	Selectividad a propileno usando el VPO con P/V = 1.1, calcinado a 400, 500 y 600 °C.	108
4.36.	Perfil ATG-ATD del soporte TiO ₂ (comercial)	110
4.37.	Perfil ATG-ATD del precursor 5V/TiO ₂ (5 % en peso de VPO)	111
4.38.	Perfil ATG-ATD del precursor 40V/TiO ₂ (40 % en peso de VPO)	112
4.39.	Espectros IR de los precursores: VPO con P/V = 1.1 y VPO/TiO ₂ (5 y 40 % en peso del VPO, respectivamente)	113

4.40.	Espectros IR de los catalizadores frescos: TiO_2 comercial y los VPO soportados en TiO_2 (5 y 40 % en peso del VPO, respectivamente)	114
4.41.	Comportamiento catalítico del TiO_2 y VPO/ TiO_2 (5 y 40 % en peso del VPO) calcinado a 500 °C, respectivamente.	115
4.42.	Selectividad a propileno del TiO_2 y VPO/ TiO_2 (5 y 40 % en peso del VPO, P/V = 1.1) calcinado a 500 °C.	117
4.43.	Espectros IR de los catalizadores después de reacción: TiO_2 comercial y VPO/ TiO_2 (5 y 40 % en peso del VPO)	118

ÍNDICE DE TABLAS

No. Tabla	Descripción	Pág.
3.1.	Nomenclatura de los materiales sintetizados.	49
4.1.	Cristalografía de los VPO.	75
4.2.	Estado de oxidación de los VPO.	77
4.3.	Área específica de los VPO.	78
4.4.	Clasificación de la fuerza acida de los VPO.	83