

ÍNDICE GENERAL

Página

Resumen

Abstract

Capítulo I Antecedentes

Introducción	1
1.1 Estructuras mesoporosas tipo SBA.	3
1.1.1 Materiales mesoporosos tipo SBA-15.	3
1.1.2 Materiales mesoporosos tipo SBA-16.	4
1.2 Nanotubos de Carbono.	7
1.2.1 Definición y estructura.	7
1.2.2 Clasificación.	7
1.2.3 Propiedades.	10
1.2.3.1 Tenacidad.	11
1.2.3.2 Cinética.	11
1.2.3.3 Propiedades Eléctricas.	11
1.2.3.4 Propiedades Térmicas.	11
1.2.3.5 Transporte Unidimensional.	12
1.2.3.6 Defectos.	12
1.2.4 Historia.	13
1.2.5 Métodos de Síntesis.	15
1.2.5.1 Descarga de Arco Eléctrico.	15
1.2.5.2 Deposición química en fase vapor (Chemical vapor deposition, CVD)	16
1.2.5.3 Bombardeo por Láser.	19
1.2.5.4 Método del catalizador flotante.	20

1.3 Replicas carbonosas a partir de materiales mesoporosos de Sílicio.	21
1.4 Almacenamiento de Hidrógeno en varios sistemas.	23
1.4.1 Almacenamiento en fase gaseosa.	23
1.4.2 Almacenamiento gaseoso en tanques metálicos.	24
1.4.3 Transporte de hidrógeno en forma gaseosa.	24
1.4.4 Compresores para tubería de hidrógeno.	24
1.4.5 Almacenamiento en forma líquida.	25
1.4.6 Propiedades del hidrógeno líquido relativas al almacenaje y manipulación.	25
1.4.7 Almacenamiento criogénico.	26
1.4.8 Sistemas de almacenamiento.	26
1.4.9 Depósito Dewar.	26
1.4.10 Transporte de hidrógeno en forma líquida.	27
1.4.10.1 Situación actual de los sistemas de transferencia.	28
1.4.11 Tecnología de los hidruros metálicos.	30
1.4.11.1 Teoría de los hidruros metálicos.	30
1.4.11.2 Ventajas de los hidruros metálicos.	31
1.4.11.3 Problemas técnicos de almacenamiento de hidruros.	31
1.4.12 Metas en E.E.U.U. para almacenamiento de Hidrógeno a bordo de vehículos.	32

Capítulo II Parte Experimental

2.1 Síntesis de materiales mesoporosos tipo SBA	36
2.1.1 Síntesis de SBA-15	36
2.1.2 Síntesis de SBA-16	36
2.2 Síntesis de replicas de carbón	39

	Página
2.3 Catalizadores de Ni-Mo soportados sobre carbones tipo CMK	41
2.3.1 Impregnación de las sales de Ni y Mo en el soporte CMK	41
2.3.2 Síntesis del catalizador NiMo/CMK	41
2.5 Caracterización de los materiales	43
2.5.1 Difracción de rayos X (DRX)	43
2.5.2 Adsorción de N ₂ (BET y BJH)	44
2.5.3 Microscopía electrónica de transmisión	44
2.5.4 Almacenamiento de hidrógeno	45
2.4 Reacción de reformación de metano con ácido sulfhídrico	46
Capítulo III Resultados	
3.1 Propiedades Estructurales	47
3.2 Propiedades textuales	56
3.3 Propiedades morfológicas	70
3.4 Almacenamiento de hidrógeno	91
3.5 Reacción de reformación de metano con ácido sulfhídrico	93
Discusiones	95
Conclusiones	98
Bibliografía	100
Anexo	107
Apéndice	122

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Descripción	Página
1.1	Disposiciones del vector chiral en lámina de grafito al momento de formar un nanotubo.	8
1.2	Nanotubos multicapa A) modelo muñeca Rusa B) modelo pergamino	9
1.3	Distintos tipos de unión de fullereno y nanotubo de carbono y sus energías de enlace	10
1.4	Reactor para síntesis de nanotubos por CVD	18
1.5	Proceso de síntesis de replicas carbonosas de materiales de Silicio	21
2.1	Diagrama de flujo general de la experimentación	35
2.2	Diagrama de flujo de preparación de materiales mesoporosos tipo SBA-15	37
2.3	Diagrama de flujo de preparación de materiales mesoporosos tipo SBA-16	38
2.4	Diagrama de flujo de preparación de los carbones tipo CMK y del material híbrido SBA-CMK	40
2.5	Diagrama de flujo de preparación del catalizador de Ni-Mo soportado en carbones tipo CMK (NiMo/CMK).	42
3.1	Patrón de Difracción de Rayos X del material SBA-15	48
3.2	Patrón de Difracción de Rayos X del material SBA-16	48
3.3	Patrón de Difracción de Rayos X del material SBA-15/1S/2I	49
3.4	Patrón de Difracción de Rayos X del material SBA-16/1S/2I	50
3.5	Patrón de Difracción de Rayos X del material SBA-15/1.25S/1I	50
3.6	Patrón de Difracción de Rayos X del material SBA-16/1.25S/1I	51
3.7	Patrón de Difracción de Rayos X del material SBA-15/1.25S/2I	51
3.8	Patrón de Difracción de Rayos X del material SBA-16/1.25S/2I	52
3.9	Patrón de Difracción de Rayos X del material SBA-15/1S/2I/ V	52

Figura	Descripción	Página
3.10	Patrón de Difracción de Rayos X del material SBA-16/NTC/NiMo	53
3.11	Patrón de Difracción de Rayos X del material SBA-16/NTC/NiMo/G	54
3.12	Patrón de Difracción de Rayos X del materiales SBA-16/NTC/NiMo y SBA-16/NTC/NiMo/G	55
3.13	Isoterma de adsorción-desorción de Nitrógeno para el material SBA-15.	57
3.14	Diámetro de poro característico del soporte SBA-15.	57
3.15	Isoterma de adsorción-desorción de Nitrógeno para el material SBA-16.	58
3.16	Diámetro de poro característico del soporte SBA-16.	58
3.17	Isoterma de adsorción-desorción de Nitrógeno para el material SBA-15/1S/2I.	59
3.18	Diámetro de poro característico del material SBA-15/1S/2I.	59
3.19	Isoterma de adsorción-desorción de Nitrógeno para el material SBA-16/1S/2I.	60
3.20	Diámetro de poro característico del material SBA-16/1S/2I	60
3.21	Isoterma de adsorción-desorción de Nitrógeno del material SBA-15/1.25S/1I.	61
3.22	Diámetro de poro característico del material SBA-15/1.25S/1I.	61
3.23	Isoterma de adsorción-desorción de Nitrógeno del material SBA-16/1.25S/1I.	62
3.24	Diámetro de poro característico del material SBA-16/1.25S/1I.	62
3.25	Isoterma de adsorción-desorción de Nitrógeno del material SBA-15/1.25S/2I	63
3.26	Diámetro de poro característico del material SBA-15/1.25S/2I.	63
3.27	Isoterma de adsorción-desorción de Nitrógeno del material SBA-16/1.25S/2I.	64

Figura	Descripción	Página
3.28	Diámetro de poro característico del material SBA-16/1.25S/2I.	64
3.29	Isoterma de adsorción-desorción de Nitrógeno del material SBA-15/1S/2I/V	65
3.30	Diámetro de poro característico del material SBA-15/1S/2I/V.	65
3.31	Isoterma de adsorción-desorción de Nitrógeno del material SBA-16/NTC/NiMo	66
3.32	Diámetro de poro característico del material SBA-16/NTC/NiMo.	66
3.33	Isoterma de adsorción-desorción de Nitrógeno del material SBA-16/NTC/NiMo-G.	67
3.34	Diámetro de poro característico del material SBA-16/NTC/NiMoG.	67
3.35	Gráfica de correlación para área de microporo de SBA-16/NTC/NiMo.	68
3.36	Gráfica de correlación para área de microporo de SBA-16/NTC/NiMo-G	69
3.37	Imagen de microscopía electrónica de Transmisión que muestra el orden hexagonal de los poros del material SBA-15	70
3.38	Imagen de microscopía electrónica de Transmisión que muestra los canales unidireccionales de la SBA-15	71
3.39	Imagen de microscopía electrónica de Transmisión de alta resolución que muestra los poros bien definidos y su arreglo hexagonal en la SBA-15	71
3.40	Imagen de microscopía electrónica de Transmisión que muestra el orden cuadrado de los poros del material SBA-16	72
3.41	Imagen de microscopía electrónica de Transmisión que muestra los canales de la SBA-16	72
3.42	Imagen de microscopía electrónica de Transmisión de alta resolución que muestra los poros bien definidos y su arreglo cuadrado en la SBA-16	73
3.43	Imagen de microscopía electrónica de Transmisión del material SBA-15/1S/2I	74
3.44	Imagen de microscopía electrónica de Transmisión de las fibras del material SBA-15/1S/2I	74

Figura	Descripción	Página
3.45	Imagen de microscopía electrónica de Transmisión de acercamiento de las fibras del material SBA-15/1S/2I	75
3.46	Imagen de microscopía electrónica de Transmisión del material SBA-16/1S/2I	76
3.47	Imagen de microscopía electrónica de Transmisión de acercamiento de las fibras del material SBA-16/1S/2I	76
3.48	Imagen de microscopía electrónica de Transmisión del material SBA-16/1S/2I	77
3.49	Imagen de microscopía electrónica de Transmisión del material SBA-15/1.25S/1I	78
3.50	Imagen de microscopía electrónica de Transmisión del material SBA-15/1.25S/1I	78
3.51	Imagen de microscopía electrónica de Transmisión de fibras contenidas en el material SBA-15/1.25S/1I	79
3.52	Imagen de microscopía electrónica de Transmisión de fibras contenidas en el material SBA-16/1.25S/1I	80
3.53	Imagen de microscopía electrónica de Transmisión de fibras individuales del material SBA-16/1.25S/1I	80
3.54	Imagen de microscopía electrónica de Transmisión del material SBA-16/1.25S/1I	81
3.55	Imagen de microscopía electrónica de Transmisión del material SBA-15/1.25S/2I	82
3.56	Imagen de microscopía electrónica de Transmisión de fibras del material SBA-15/1.25S/2I	82
3.57	Imagen de microscopía electrónica de Transmisión de fibras del material SBA-15/1.25S/2I	83
3.58	Imagen de microscopía electrónica de Transmisión de fibras del material SBA-16/1.25S/2I	84
3.59	Imagen de microscopía electrónica de Transmisión de fibras del material SBA-16/1.25S/2I	84

Figura	Descripción	Página
3.60	Imagen de microscopía electrónica de Transmisión del material SBA-16/1.25S/2I	85
3.61	Imagen de microscopía electrónica de Transmisión del material SBA-15/1S/2I/V	86
3.62	Imagen de microscopía electrónica de Transmisión del material SBA-15/1S/2I/V	86
3.63	Imagen de microscopía electrónica de Transmisión de las fibras de material SBA-15/1S/2I/V	87
3.64	Imagen de microscopía electrónica de Transmisión de las fibras de material SBA-16/NTC/NiMo	88
3.65	Imagen de microscopía electrónica de Transmisión de las fibras de material SBA-16/NTC/NiMo	88
3.66	Imagen de microscopía electrónica de Transmisión de una fibra individual del material SBA-16/NTC/NiMo	89
3.67	Imagen de microscopía electrónica de Transmisión de las fibras de material SBA-16/NTC/NiMo-G	90
3.68	Imagen de microscopía electrónica de Transmisión de las fibras de material SBA-16/NTC/NiMo-G	90
3.69	Isoterma de adsorción de Hidrógeno en el material SBA-16/NTC/NiMo	91
3.70	Isoterma de adsorción de Hidrógeno en % peso en el material SBA-16/NTC/NiMo	91
3.71	Figura 3.71 Gráfica de conversión de reactivos del material SBA-16/NTC/NiMo	92
3.72	Gráfica de conversión a productos del material SBA16/NTC/NiMo	92
3.73	Gráfica de moles alimentados de reactivos limitante y productos para material SBA-16/NTC/NiMo	93

A.1	Representación esquemática de las isothermas	109
A.2	Representación esquemática: a) de la estructura de sólidos mesoporosos hexagonales, y b) Celda unitaria de la fase sólida	114
A.3	Grafica comparativa para las isothermas experimentales	119
A.4	Interacción del haz electrónico con la materia	120
A.5	Esquema simplificado del microscopio electrónico de transmisión	121

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Descripción	Página
1.1	Propiedades de nanotubos de carbono	13
1.2	Hidruros metálicos de Boro desarrollados para almacenamiento y transporte de Hidrógeno	30
1.3	Metas de rendimiento para sistemas de almacenamiento de Hidrógeno estipuladas por el Departamento de Energía de los Estados Unidos de Norteamérica	33
3.1	Descripción de materiales analizados	47
3.2	Resultados de pruebas texturales de materiales sinterizados	56