

Índice de contenidos

Fundamentos teóricos

Capítulo I- Introducción

I.1. El Hidrógeno como un combustible alternativo-----	1
I.2. Métodos reversibles de almacenamiento de hidrógeno-----	2
I.2.1. Almacenamiento de H ₂ (g) en recipientes de alta presión-----	2
I.2.2. Almacenamiento de H ₂ en fase líquida-----	3
I.2.3. Almacenamiento de H ₂ por adsorción física-----	3
I.2.4. Almacenamiento de H ₂ en compuestos e hidruros químicos-----	4
I.2.5. Almacenamiento de H ₂ en hidruros metálicos-----	4
I.2.6. Almacenamiento de H ₂ en hidruros complejos-----	6
I.3. Metas a alcanzar en los sistemas de almacenamiento de hidrógeno----	7
I.4. Propiedades del hidruro complejo de magnesio y hierro (Mg ₂ FeH ₆)----	9
I.5. Diagrama de fases Mg – Fe y Mg – H-----	10
I.5. Objetivos-----	11

Capítulo II– Molienda Mecánica y Molienda Mecánica Reactiva

II.1. Fundamentos de la molienda mecánica (MM) y de la molienda----- mecánica reactiva (MMR)	12
II.2. Materiales de partida-----	14
II.2.1. Sistema de componentes dúctil – dúctil-----	14
II.2.2. Sistema de componentes dúctil – frágil-----	14
II.2.3. Sistema de componentes frágiles – frágiles-----	14
II.3. Tipos de molinos-----	15
II.3.1. Molinos vibratorios (SPEX – Shaker Mills)-----	15
II.3.2. Molinos a bolas planetarios (Planetary Ball Mills)-----	16
II.3.3. Molinos de atrición (Attritor Mills)-----	16
II.3.4. Molinos industriales (Industrial Mills)-----	17
II.3.5. Molinos magnéticos (Uni – Ball - Mill)-----	18
II.4. Variables de proceso-----	19
II.4.1. Cámara de molienda-----	19
II.4.2. Velocidad de molienda-----	19
II.4.3. Tiempo de molienda-----	19
II.4.4. Medio de molienda-----	20
II.4.5. Relación de peso medio de molienda – polvo (RC – Relación de carga)---	20

II.4.6. Carga de la cámara de molienda-----	20
II.4.7. Atmósfera de molienda-----	21
II.4.8. Agentes para el control del proceso (ACP)-----	21
II.4.9. Temperatura durante la molienda-----	21
II.5. Molino utilizado para la síntesis del hidruro Mg_2FeH_6 -----	21

Capítulo III– Equipo Volumétrico tipo Sieverts

III.1. Introducción-----	25
III.2. Principio de funcionamiento-----	27
III.3. Sinterizado-----	29
III.4. Caracterización termodinámica -----	29
III.4. Caracterización cinética-----	32
III.4.1. Curvas de cinética de absorción-----	33
III.4.2. Curvas de cinética de desorción-----	34

Capítulo IV– Técnicas de Caracterización General

IV.1. Introducción-----	35
IV.2. Toma de las Muestras-----	35
IV.3. Calorimetría Diferencial de Barrido-----	37
(DSC – Differential Scanning Calorimetry)	
IV.3.1. Fundamentos -----	37
IV.3.2. Procedimiento experimental-----	38
IV.3.3. Cálculos-----	39
IV.4. Difracción por Rayos X (XRD – X- Ray Diffraction)-----	40
IV.4.1. Fundamentos-----	40
IV.4.2. Aplicaciones-----	41
IV.4.2.1. Cualitativa-----	41
IV.4.2.2. Cálculo del tamaño de cristalita-----	42
IV.5. Microscopía Electrónica de Barrido-----	43
(SEM – Scanning Electron Microscopy)	
IV.5.1. Fundamentos-----	43
IV.5.2. Preparación de las muestras-----	44

Métodos Experimentales

Capítulo V– Síntesis del Hidruro Mg_2FeH_6 por Molienda Mecánica en Atmósfera de Argón y Sinterizado

V.1. Introducción-----	45
V.2. Materiales de partida-----	45
V.3. Molienda mecánica en atmósfera de argón-----	47
V.4. Proceso de sinterizado de la pastilla MFI-----	48
V.5. Proceso de sinterizado del polvo MFII-----	49

Capítulo VI– Síntesis del Hidruro Mg_2FeH_6 por Molienda Mecánica Reactiva en Atmósfera de Hidrógeno

VI.1. Introducción-----	53
VI.2. Materiales de partida -----	53
VI.3. Molienda mecánica reactiva en atmósfera de hidrógeno ----- de 265 horas (MFHI)	54
VI.4. Molienda mecánica reactiva en atmósfera de hidrógeno ----- de 100 horas (MFHII)	62

Capítulo VII – Estudio Termodinámico del Sistema MgH_2 - Mg_2FeH_6

VII.1. Introducción -----	67
VII.2. Estudio Termodinámico del sistema MFI -----	67
VII.2.1. Curvas PCT de absorción y desorción -----	67
VII.2.2. Cálculo y representación gráfica de la ecuación de Van't Hoff -----	68
VII.2.3. Detalles experimentales -----	71
VII.3. Estudio Termodinámico del sistema MFII -----	73
VII.3.1. Curvas PCT de absorción y desorción -----	73
VII.3.2. Cálculo y representación gráfica de la ecuación de Van't Hoff-----	74
VII.3.3. Detalles experimentales -----	75
VII.4. Estudio Termodinámico del sistema MFHI -----	77
VII.4.1. Curvas PCT de absorción y desorción -----	77
VII.4.2. Cálculo y representación gráfica de la ecuación de Van't Hoff -----	78
VII.4.3. Detalles experimentales -----	79

VII.5. Estudio Termodinámico del sistema MFHII	81
VII.5.1. Curvas PCT de absorción y desorción	81
VII.5.2. Cálculo y representación gráfica de la ecuación de Van't Hoff	83
VII.5.3. Detalles experimentales	84
VII.5.4. El efecto de la MMR	85
VII.6. Comparación de los resultados obtenidos	86

Capítulo VIII – Estudio del Comportamiento Cinético del Sistema MgH₂ - Mg₂FeH₆

VIII.1. Introducción	90
VIII.2. Estudio cinético del sistema MFI	90
VIII.2.1. Cinética de absorción	90
VIII.2.2. Cinética de desorción	92
VIII.2.3. Observaciones	94
VIII.3. Estudio cinético del sistema MFII	95
VIII.3.1. Cinética de absorción	95
VIII.3.2. Cinética de desorción	96
VIII.3.3. Observaciones	98
VIII.4. Estudio cinético de los sistemas MFHI y MFHII	98
VIII.4.1. Cinética de absorción	98
VIII.4.2. Cinética de desorción	100
VIII.4.3. Observaciones	102
VIII.5. Comparación entre los sistemas estudiados	102
(MFI, MFII, MFHI y MFHII)	

Capítulo IX – Comparación de Resultados y Conclusiones

IX.1. Introducción	105
IX.2. Métodos de síntesis	105
IX.2. Caracterización termodinámica	107
IX.3. Caracterización cinética	108
Referencias	110
Índice de Tablas	113
Índice de Figuras	115
Anexos I y II	119
Agradecimientos	125