

TESIS CARRERA DE MAESTRÍA EN INGENIERÍA

**PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO A PARTIR DEL
RECICLADO DE ALEACIONES DE MAGNESIO**

María Rodríguez
Maestranda

Dr. Facundo Castro
Director

Dra. Guillermina Urretavizcaya
Co-directora

Miembros del Jurado

Dr. Julio Andrade Gamboa (Centro Atómico Bariloche)

Dra. Georgina De Micco (Centro Atómico Bariloche)

Dra. Liliana Mogni (Centro Atómico Bariloche)

Noviembre de 2021

Departamento Fisicoquímica de Materiales - Gerencia de
Investigación Aplicada - Centro Atómico Bariloche

Instituto Balseiro
Universidad Nacional de Cuyo
Comisión Nacional de Energía Atómica
Argentina

Índice de contenidos

Índice de contenidos	i
Resumen	v
Abstract	vii
1. Introducción	1
1.1. El hidrógeno como alternativa a los combustibles fósiles	1
1.2. Tecnologías de producción de H ₂	2
1.2.1. Producción de H ₂ a partir de combustibles fósiles	2
1.2.2. Producción de H ₂ a partir de fuentes renovables	4
1.3. Producción de H ₂ por hidrólisis	6
1.3.1. Hidrólisis: características generales, ventajas y desventajas	7
1.3.2. Alternativas para mejorar la hidrólisis de los materiales basados en Mg	8
1.3.3. Materiales de descarte de aleaciones de Mg	10
1.4. Presentación del trabajo	12
2. Técnicas experimentales, metodología y materiales	15
2.1. Molienda mecánica	15
2.1.1. Equipo de molienda	16
2.1.2. Parámetros de molienda	17
2.1.3. Condiciones experimentales	18
2.2. Microscopía Electrónica de Barrido	19
2.2.1. Condiciones de medición	20
2.3. Difracción de Rayos X	20
2.3.1. Condiciones de medición	21
2.3.2. Ajuste de los difractogramas: refinamiento Rietveld	21
2.4. Reacción de hidrólisis	24
2.4.1. Procedimiento de medición	24
2.4.2. Cálculo de la cantidad de hidrógeno producido	25

2.4.3.	Repetibilidad e incerteza de las mediciones	27
2.4.4.	Procedimiento de análisis de las curvas de producción de hidrógeno	28
2.5.	Material base	32
2.5.1.	Caracterización con SEM	32
2.5.2.	Caracterización con DRX	33
3.	Materiales molidos sin aditivos	35
3.1.	Distribución de tamaños	36
3.2.	Caracterización con SEM	36
3.2.1.	Observaciones morfológicas	36
3.2.2.	Mapeos EDS	39
3.3.	Caracterización con DRX	40
3.4.	Reacción de hidrólisis	43
3.4.1.	Análisis de la capacidad de los materiales	45
3.4.2.	Análisis de la velocidad de reacción	46
3.4.3.	Análisis de desempeño	47
3.4.4.	Mecanismo de reacción	48
3.4.5.	Análisis del residuo de la reacción	52
3.4.6.	Efecto de la exposición a la atmósfera	53
3.5.	Conclusiones	54
4.	Materiales molidos con grafito desde el inicio	55
4.1.	Distribución de tamaños	56
4.2.	Caracterización con SEM	57
4.2.1.	Observaciones morfológicas	57
4.2.2.	Mapeos EDS	60
4.3.	Caracterización con DRX	61
4.4.	Reacción de hidrólisis	65
4.4.1.	Análisis de desempeño	66
4.4.2.	Mecanismos de reacción	67
4.4.3.	Análisis del residuo de la reacción	70
4.5.	Conclusiones	72
5.	Materiales con grafito agregado con mortero	73
5.1.	Preparación de muestras	74
5.2.	Caracterización con SEM	75
5.3.	Caracterización con DRX	76
5.4.	Reacción de hidrólisis	76
5.4.1.	Análisis de la capacidad de producción de hidrógeno	76
5.4.2.	Análisis del residuo de la reacción	78

5.4.3.	Análisis de la velocidad de reacción	79
5.4.4.	Material con 5 % <i>p/p</i> de grafito agregado con mortero al material molido 20h sin aditivos	80
5.4.5.	Mecanismo de reacción	81
5.5.	Conclusiones	83
6.	Materiales premolidos con grafito agregado en molienda posterior	84
6.1.	Preparación de muestras	85
6.2.	Caracterización con SEM	85
6.2.1.	Mapeos EDS	85
6.2.2.	Observaciones morfológicas	87
6.3.	Caracterización con DRX	88
6.4.	Reacción de hidrólisis	91
6.4.1.	Análisis de la capacidad de reacción	91
6.4.2.	Análisis de la velocidad	93
6.4.3.	Análisis de desempeño	94
6.4.4.	Mecanismos de reacción	96
6.5.	Efecto del hierro	99
6.6.	Conclusiones	100
7.	Materiales con hierro y grafito agregados	101
7.1.	Preparación de muestras	102
7.2.	Distribución de tamaños	102
7.3.	Caracterización con SEM	103
7.3.1.	Partículas menores a 100 μm	103
7.3.2.	Partículas entre 100 μm y 200 μm	104
7.4.	Caracterización con DRX	105
7.5.	Reacción de hidrólisis	106
7.5.1.	Análisis de la capacidad de reacción	106
7.5.2.	Análisis de la velocidad	108
7.5.3.	Análisis de desempeño	108
7.5.4.	Análisis del residuo	109
7.5.5.	Mecanismo de reacción	112
7.6.	Conclusiones	114
8.	Aplicación a virutas de descarte de la industria automotriz	115
8.1.	Material base	116
8.2.	Distribución de tamaños	117
8.3.	Caracterización con SEM	118
8.3.1.	Partículas menores a 100 μm	118

8.3.2. Partículas entre 100 μm y 200 μm	119
8.4. Caracterización con DRX	120
8.5. Reacción de hidrólisis	121
8.5.1. Análisis de la capacidad	121
8.5.2. Análisis de la velocidad	123
8.5.3. Mecanismo de reacción	124
8.6. Conclusiones	126
9. Discusión y conclusiones generales	127
9.1. Influencia de la atmósfera de molienda	127
9.2. Comparación con otros materiales base Mg	130
9.3. Conclusiones y trabajo a futuro	132
A. Apéndice A: Modelos cinéticos	134
B. Apéndice B: Material complementario al Capítulo 3	135
B.1. Caracterización con SEM	135
B.2. Caracterización con DRX	136
B.3. Reacción de hidrólisis	136
B.4. Modelos cinéticos	137
C. Apéndice C: Material complementario al Capítulo 4	138
C.1. Caracterización con DRX	138
C.2. Reacción de hidrólisis	139
C.3. Modelos cinéticos	139
D. Apéndice D: Efecto de la presencia de una distribución de tamaños de partículas en las curvas cinéticas del modelo R3	140
E. Apéndice D: Material complementario a los Capítulos 6 y 7	144
E.1. Capítulo 6	145
E.1.1. Mecanismos de reacción	145
E.2. Capítulo 7	146
E.2.1. Caracterización con DRX	146
E.2.2. Mecanismo de reacción	146
Bibliografía	147
Agradecimientos	153