

Indice

Prólogo	pág. 8
----------------------	--------

Prefacio	pág. 9
-----------------------	--------

Capítulo 1

Nuevas fuentes de energía y medio ambiente

1.1 Cambio climático. Dióxido de carbono en la atmósfera	pág. 11
1.2. El Hidrógeno: consumo y aplicaciones	pág. 14
1.3. Bioetanol como materia prima: ventajas y métodos de fabricación ...	pág. 16
1.4. La pila de combustible	pág. 20
1.5. Contenidos de esta obra	pág. 25
Referencias	pág. 26

Capítulo 2

Producción de hidrógeno a partir de etanol

2.1. Tecnologías tradicionales de producción de H_2	pág. 29
2.2. Generación de CO_2 . Captura y confinamiento	pág. 31
2.3. Nuevas tecnologías de producción de H_2	pág. 32
2.4. Reformado de alcoholes	pág. 33
Referencias	pág. 34
2.4.1. Reformado de etanol con vapor de agua	pág. 34
2.4.1.1. Ru/Al_2O_3 como catalizador. Reformado de etanol con vapor y adsorción simultánea de CO_2	pág. 35
Referencias	pág. 39
2.4.1.2. Reformado de etanol con vapor empleando óxidos ternarios de $NiZnAl$ como catalizadores	pág. 40
Referencias	pág. 44
2.4.1.3. Hidróxido doble laminar de $Ni(II)-Al(III)$ como catalizador en el reformado de etanol con vapor	pág. 45
Referencias	pág. 55
2.4.1.4. Reformado de bioetanol con catalizadores de $Ni/LaZr$	pág. 55
Referencias	pág. 58
2.5. Adsorción de Dióxido de Carbono a Alta Temperatura	pág. 59
Referencias	pág. 71

Capítulo 3

Purificación de hidrógeno

3.1. Introducción	pág. 77
3.2. Proceso de purificación de hidrógeno	pág. 78
3.3. Tecnologías para la purificación hidrógeno	pág. 79
3.4. Métodos catalíticos para la purificación de hidrógeno	pág. 80
3.4.1. Reacción de conversión de CO (WGS)	pág. 80
3.4.1.1. Conversión de CO a alta temperatura (HTWGS)	pág. 81
3.4.1.2. Conversión de CO a baja temperatura (LTWGS)	pág. 81
3.4.1.3. LTWGS: formulación de nuevos catalizadores	pág. 83
3.4.1.4. LTWGS: reactores no convencionales	pág. 83
3.4.2. Oxidación selectiva de CO (CO PROX)	pág. 86
3.4.3. Metanación de CO	pág. 89
3.5. Métodos de difusión para la purificación de hidrógeno	pág. 90
3.5.1. Difusión selectiva de hidrógeno a través de membranas	pág. 90
3.6. Métodos físicos para la purificación de hidrógeno	pág. 92
3.6.1. Adsorción por cambio de presión (PSA)	pág. 92
3.6.2. Separación criogénica	pág. 94
3.6.3. Absorción de dióxido de carbono	pág. 94
3.7. Consideraciones finales	pág. 95
Referencias	pág. 96
3.8. Reacción de conversión de CO (WGS)	pág. 99
3.8.1. Cinética de la reacción WGS de baja temperatura sobre un catalizador comercial $\text{CuO}/\text{ZnO}/\text{Al}_2\text{O}_3$	pág. 99
Referencias	pág. 106
3.8.2. Comportamiento de un catalizador de $\text{Cu}/\text{Zn}/\text{Ba}$ en la reacción de conversión de CO a bajas temperaturas para su aplicación en una pila de combustible	pág. 109
Referencias	pág. 113
3.9. Oxidación preferencial de CO	pág. 114
3.9.1. Síntesis, caracterización y evaluación de catalizadores para la oxidación selectiva de CO en presencia de H_2	pág. 114
Referencias	pág. 124
3.9.2. MnOX como promotor del catalizador $\text{Pt}/\text{Al}_2\text{O}_3$ para la reacción CO PROX	pág. 125
Referencias	pág. 132

Capítulo 4

Pilas de combustible

4.1 Tipos de pilas de combustible y sus características	pág. 135
4.2 Pilas de combustible de membrana de intercambio de protones (PEM)	pág. 136
4.2.1 Electrodo de celdas PEM	pág. 140
4.2.2 Membranas	pág. 141
4.2.3 El conjunto membrana-electrodo	pág. 145
4.2.4 Capas difusoras y distribuidores del flujo de gases	pág. 146
4.2.5 Tolerancia a contaminantes	pág. 148

4.2.6 Celdas PEM de alcohol directo	pág. 148
4.3 Pilas de combustible de ácido fosfórico	pág. 149
4.4. Pilas de combustible de alta temperatura	pág. 150
4.4.1 Pilas de carbonato fundido	pág. 151
4.4.2 Pilas de óxido sólido	pág. 152
4.5. Consideraciones finales	pág. 154
Referencias	pág. 155

Capítulo 5

Síntesis del proceso: Diseño y optimización

5.1 Introducción. Definición del problema de Síntesis del Proceso	pág. 159
5.1.1 Influencia de la relación molar agua/etanol	pág. 169
5.1.2 Influencia de la temperatura de reformado	pág. 171
5.1.3 Sistema auto-sustentado	pág. 171
5.1.4 Curvas compuestas	pág. 172
5.1.5 Efecto de las temperaturas de entrada a los reactores del tren de purificación	pág. 173
5.1.6 Efecto de la temperatura de precalentamiento en el ingreso al quemador	pág. 173
5.1.7 Procesador alimentado mediante etanol crudo	pág. 173
5.2 Diseño y optimización de reactores heterogéneos catalíticos	pág. 174
5.2.1 Modelo matemático	pág. 175
5.2.2 Unidad de Reformado	pág. 177
5.2.3 Unidad WGS	pág. 179
5.2.4 CO-PrOx	pág. 184
Referencias	pág. 186
Nomenclatura	pág. 187

Capítulo 6

Integración de los procesos de obtención de etanol e hidrógeno

6.1. Introducción	pág. 189
6.1.1 Modelos para el diseño y operación óptima en la integración de procesos de un complejo azucarero	pág. 190
6.2 Integración de procesos para la producción de bioetanol con fuentes convencionales	pág. 197
6.3. Integración de procesos en una fábrica de azúcar-bioetanol-torula y biogás con extracción de jugos diluidos	pág. 200
6.4 Integración de los procesos de bioetanol e hidrógeno para la generación de electricidad a partir de fuentes no convencionales ..	pág. 202
6.4.1. Introducción	pág. 202
6.4.2 Análisis de las posibilidades técnico económicas de integración de la producción de electricidad mediante pilas de combustibles a hidrógeno a	

partir de bioetanol en un complejo fabril	pág. 204
Referencias	pág. 206
Nomenclatura	pág. 207

Capítulo 7

Evaluación de los recursos de biomasa primaria y secundaria para la producción de bioetanol en iberoamerica

7.1 Introducción	pág. 209
7.2 Energía de biomasa	pág. 210
7.3 Bioetanol en el mundo	pág. 211
7.4 Biomasa y bioetanol en Argentina	pág. 212
7.5 La producción de etanol en Brasil y sus usos como fuente de energía renovable	pág. 214
7.5.1. Introducción	pág. 215
7.5.2 Las propiedades y el uso del etanol como combustible	pág. 216
7.5.3. Aspectos de calidad del etanol	pág. 219
7.5.4. Aspectos ambientales	pág. 220
7.5.5. Historia del alcohol combustible en el Brasil	pág. 222
7.5.6. La evolución de la agroindustria sucroalcoholera	pág. 224
7.5.7. La cogeneración de energía en la producción de alcohol.....	pág. 226
7.5.8. La legislación brasileña para el sector	pág. 228
7.5.9. Acuerdos e inserción de Brasil en el mercado internacional de etanol	pág. 229
7.5.10 Conclusiones	pág. 230
7.6 Biomasa y bioetanol en Colombia	pág. 231
7.6.1 Introducción	pág. 232
7.6.2 Marco legal para la utilización del alcohol carburante en Colombia	pág. 232
7.6.3 Biomasa disponible en Colombia para la producción de bioetanol ...	pág. 233
7.6.4 Plantas en marcha y nuevos proyectos de producción de bioetanol (combustible) en Colombia	pág. 234
7.6.5 Precio del bioetanol carburante	pág. 236
7.6.6 Un ejemplo de evaluación de los recursos de biomasa para la producción de bioetanol (Caso de estudio: Región nororiental colombiana)	pág. 237
7.6.7 Obtención de bioetanol	pág. 239
7.6.8 Tratamiento de vertimientos - vinazas	pág. 242
7.6.9 Conclusiones	pág. 242
7.7. Biomasa y bioetanol en España	pág. 243
7.8. Biomasa y bioetanol en Mexico	pág. 244
7.8.1. Recurso disponible	pág. 244
7.8.2. Tecnología de etanol y costos	pág. 245
7.8.3. Producción de residuos agrícolas	pág. 246
7.9. Biomasa y bioetanol en Uruguay	pág. 247
7.10 Referencias	pág. 248

Conclusiones	pág. 253
---------------------------	----------