

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
1.1. Antecedentes generales	1
1.1.1. Cambio Climático	1
1.1.2. Energías Renovables No Convencionales (ERNC)	1
1.1.3. Hidrógeno Verde	2
1.1.4. Centrales Termoeléctricas	3
1.2. Motivación	4
1.3. Objetivos	4
1.3.1. Objetivo General	4
1.3.2. Objetivos Específicos	4
1.4. Alcances	5
2. Metodología	6
3. Antecedentes	8
3.1. Producción de Hidrógeno	8
3.1.1. Electrolizadores Alcalinos	11
3.1.2. Electrolizadores PEM	11
3.2. Recurso Solar	13
3.2.1. Tecnologías de Generación Eléctrica	13
3.2.2. Tecnología PV	14
3.2.3. Sistema PV-Electrolizador	16
3.3. Almacenamiento de Hidrógeno	18
3.3.1. Hidrógeno Gaseoso Comprimido	19
3.3.1.1. Compresión	19
3.3.1.2. Contenedor	20
3.3.2. Hidrógeno Líquido	21
3.3.2.1. Licuefacción	21
3.3.2.2. Contenedor	22
3.4. Combustión del Hidrógeno	24
3.5. Generación Termoeléctrica	27
3.5.1. Ciclo Rankine	27
3.5.2. Ciclo Rankine Modificado	29
3.5.3. Ciclo Brayton	30
3.5.4. Ciclo Combinado	32

4. Diseño de la Central	38
4.1. Diseño Conceptual	38
4.1.1. Generación Eléctrica	39
4.1.1.1. Eficiencia	39
4.1.1.2. Costo Capital	40
4.1.1.3. Costo Operacional	40
4.1.1.4. Tecnología	40
4.1.1.5. Preselección	41
4.1.1.6. Diseño	41
4.1.2. Almacenamiento de Hidrógeno	44
4.1.2.1. Costo Capital	46
4.1.2.2. Costo Operacional	46
4.1.2.3. Sinergia	47
4.1.2.4. Costo Energético	47
4.1.2.5. Preselección	47
4.1.2.6. Diseño	47
4.1.3. Producción de Hidrógeno	49
4.1.3.1. Costo energético	50
4.1.3.2. Costo Capital	50
4.1.3.3. Costo Operacional	50
4.1.3.4. Sinergia	50
4.1.3.5. Preselección	51
4.1.3.6. Diseño	51
4.2. Emplazamiento	55
4.2.1. Terreno	56
4.2.1.1. Topografía	56
4.2.1.2. Disponibilidad de Agua	60
4.2.2. Recurso Solar	62
4.2.2.1. Irradiación	62
4.2.2.2. Condiciones ambientales	64
4.2.3. Líneas de Transmisión	67
4.2.3.1. Cercanía	67
4.2.3.2. Costo Marginal	68
4.2.4. Aspectos Socioambientales	70
4.2.5. Selección	72
5. Balance, Modelado y Dimensionamiento de Etapas	75
5.1. Etapa de Generación	77
5.1.1. Ciclo Brayton	78
5.1.1.1. Balances	79
5.1.1.1.1. Acondicionamiento & Admisión	79
5.1.1.1.2. Compresión	81
5.1.1.1.3. Combustión	82
5.1.1.1.4. Expansión	85
5.1.1.1.5. Potencia, Eficiencia y Otros	86
5.1.1.2. Modelado y Dimensionamiento	89
5.1.2. HRSG y Ciclo Rankine	96

5.1.2.1.	Balances	100
5.1.2.1.1.	Volumen de Control A	104
5.1.2.1.2.	Volumen de Control B	105
5.1.2.1.3.	Volumen de Control D	106
5.1.2.1.4.	Volumen de Control E	106
5.1.2.1.5.	Volumen de Control F	107
5.1.2.1.6.	Volumen de Control G	108
5.1.2.1.7.	Volumen de Control H	108
5.1.2.1.8.	Volumen de Control I	109
5.1.2.1.9.	Volumen de Control J	110
5.1.2.1.10.	Volumen de Control K	111
5.1.2.1.11.	Potencia y Eficiencia	111
5.1.2.2.	Modelado y Dimensionamiento	112
5.1.3.	Ciclo Combinado	113
5.2.	Etapas de Almacenamiento y Producción	115
5.2.1.	Balances	116
5.2.1.1.	Etapas de Almacenamiento	116
5.2.1.1.1.	Reducción de Presión y Calentamiento de Hidrógeno	117
5.2.1.1.2.	Almacenamiento en Tuberías	118
5.2.1.1.3.	Compresión y Enfriamiento de Hidrógeno	122
5.2.1.2.	Etapas de Producción	124
5.2.1.2.1.	Electrólisis Alcalina	125
5.2.1.2.2.	Acondicionamiento de Agua de Alimentación	127
5.2.1.2.3.	Parque Solar	128
5.2.1.2.4.	Compresión y Almacenamiento de Oxígeno	133
5.2.2.	Modelado y Dimensionamiento	137
5.2.2.1.	Reducción de Presión	137
5.2.2.2.	Tubería Enterrada	137
5.2.2.3.	Flujo y Presión de Hidrógeno en Tuberías	139
5.2.2.4.	Calentamiento de Hidrógeno	141
5.2.2.5.	Compresión de Hidrógeno	142
5.2.2.6.	Enfriamiento de Hidrógeno	144
5.2.2.7.	Electrólisis de Agua	144
5.2.2.8.	Acondicionamiento de Agua de Alimentación	146
5.2.2.9.	Parque Solar	147
5.2.2.10.	Compresión y Almacenamiento de Oxígeno	150
5.3.	Central Completa	157
5.3.1.	Eficiencia de la Central	157
5.3.2.	Factor de Planta	158
5.3.3.	Consumo Hídrico	163
6.	Evaluación económica	166
6.1.	Indicadores	167
6.2.	Flujo de Caja	168
6.2.1.	Inversión	168
6.2.1.1.	Etapas de Generación	168
6.2.1.2.	Etapas de Almacenamiento	170

6.2.1.3.	Etapa de Producción	171
6.2.1.3.1.	Planta de Electrólisis Alcalina	172
6.2.1.3.2.	Parque Solar	173
6.2.1.4.	Inversión Total	174
6.2.2.	Ingresos	175
6.2.2.1.	Producción de Energía	175
6.2.2.2.	Potencia Instalada	179
6.2.2.3.	Producción de Oxígeno	180
6.2.2.4.	Ingresos Totales	181
6.2.3.	Costos	181
6.2.3.1.	Costos Fijos	182
6.2.3.1.1.	Etapa de Generación	182
6.2.3.1.2.	Etapa de Almacenamiento	182
6.2.3.1.3.	Planta de Electrólisis	182
6.2.3.1.4.	Parque Solar	183
6.2.3.1.5.	Recurso Hídrico	183
6.2.3.1.6.	Costos Fijos Totales	183
6.2.3.2.	Costos Variables	184
6.3.	Resultados y Análisis	185
7.	Conclusiones	189
	Bibliografía	194
	Anexo A. Nomenclatura	197
	Anexo B. Diseño de la Central	207
B.1.	Emplazamiento	207
B.1.1.	Recurso Solar	207
B.1.2.	Líneas de Transmisión	208
	Anexo C. Balance, Modelado y Dimensionamiento de Etapas	210
C.1.	Etapa de Generación	210
C.1.1.	HRSO y Ciclo Rankine	210
C.1.1.1.	Modelado y Dimensionamiento	210
C.2.	Etapa de Almacenamiento y Producción	211
C.2.1.	Modelado y Dimensionamiento	211
C.2.1.1.	Flujo y Presión de Hidrógeno en Tuberías	211
C.2.1.2.	Compresión de Hidrógeno	212
C.2.1.3.	Enfriamiento de Hidrógeno	213
C.2.1.4.	Electrólisis de Agua	214
C.2.1.5.	Acondicionamiento de Agua de Alimentación	215
C.2.1.6.	Compresión y Almacenamiento de Oxígeno	216
	Anexo D. Evaluación Económica	220
D.1.	Flujo de Caja	220
D.1.1.	Ingresos	220
D.1.1.1.	Producción de Energía	220

D.2. Resultados y Análisis	221
D.2.1. Flujos de Caja	221
D.2.2. Préstamos	230