

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
1.1. Antecedentes Básicos	1
1.2. Motivación	2
1.3. Objetivos	3
1.3.1. Objetivo General	3
1.3.2. Objetivos Específicos	3
2. Antecedentes y discusión bibliográfica	4
2.1. Propiedades del Hidrógeno	4
2.1.1. Fases del hidrógeno	5
2.2. Sistema de Compresión	5
2.2.1. Tanques	5
2.2.2. Compresor	7
2.2.3. Electrolizadores AEM	8
3. Elaboración de modelo termodinámico	10
3.1. Estimación de parámetros del modelo	10
3.1.1. Estimación de medidas internas de tanque	10
3.1.2. Estimación de coeficientes convectivos.	11
3.1.2.1. Coeficiente convectivo externo.	11
3.1.2.2. Coeficiente de convección interno	12
3.1.3. Coeficiente Politrópico	12
3.2. Modelo de llenado de tanque	13
3.3. Estructura del modelo.	13
3.3.1. Discretización de la pared del tanque.	14
3.3.2. Condiciones de borde.	14
3.3.2.1. Pared interna del tanque	15
3.3.2.2. Interfase entre liner y CFRP	16
3.3.2.3. Pared externa del tanque.	17
3.3.3. Simulación de laboratorio.	18
3.4. Resultados	19
3.4.1. Llenado de tanque	19
3.4.1.1. Temperatura de gas para distintas temperaturas ambiente. .	20
3.4.1.2. Temperatura de gas, pared interna y externa del tanque. .	25
3.4.1.3. Temperatura del gas para distintas temperaturas de entrada.	30
3.4.1.4. Perfil de temperaturas en la pared del tanque.	35
3.4.1.5. Enfriamiento del hidrógeno a la entrada del tanque	35

3.4.2.	Resultados de simulación de laboratorio.	36
3.4.2.1.	Simulación de laboratorio caso real.	36
3.4.2.2.	Simulación de laboratorio caso alternativo.	37
3.5.	Análisis de resultados	38
3.5.1.	Temperatura de gas para distintas temperaturas ambiente	38
3.5.2.	Temperatura de gas, pared interna y externa del tanque	39
3.5.3.	Temperatura del gas para distintas temperaturas de entrada	39
3.5.4.	Simulación de laboratorio caso real	40
3.5.5.	Simulación de Laboratorio caso alternativo	40
4.	Diseño de laboratorio	41
4.1.	Introducción y parámetros generales de diseño	41
4.1.1.	Metodología general de diseño	41
4.1.1.1.	Localización.	41
4.1.2.	Usos del laboratorio.	42
4.1.2.1.	Medición de variables termodinámicas para validación de modelo.	42
4.1.2.2.	Compresión de hidrógeno para usos de electromovilidad.	42
4.1.2.3.	Generación de oxígeno para invernadero.	43
4.2.	Descripción de procesos	43
4.2.1.	Generación de hidrógeno verde	43
4.2.1.1.	Purificación y almacenamiento de agua.	43
4.2.1.2.	Generación de hidrógeno por electrólisis de agua.	44
4.2.2.	Compresión y almacenamiento de hidrógeno	46
4.2.2.1.	Compresión de hidrógeno.	46
4.2.2.2.	Almacenamiento de hidrógeno.	46
4.2.2.3.	Diseño de manifold.	48
4.3.	Listado y descripción de equipos del laboratorio	50
4.3.1.	Purificación y almacenamiento de agua	50
4.3.1.1.	Water Purification System	50
4.3.1.2.	Water Tank	51
4.3.2.	Generación y secado de hidrógeno verde	52
4.3.2.1.	AEM Electrolyser EL 4.0	52
4.3.2.2.	Dryer DRY 2.1	53
4.3.3.	Compresión de hidrógeno	54
4.3.3.1.	Booster.	54
4.3.3.2.	Compresor de Aire	54
4.3.3.3.	Secador de aire.	55
4.3.4.	Almacenamiento de hidrógeno	56
4.3.4.1.	Tanque buffer 35 bar	56
4.3.4.2.	Tanque alta presión 480 bar	56
4.3.5.	Instrumentación	57
4.3.6.	Automatización y seguridad.	57
4.4.	Layout y modelo CAD del laboratorio	57
4.4.1.	Layout	57
4.4.2.	Diseño CAD	59
4.4.2.1.	Diseño de contenedor	59

4.4.2.2.	Distribución de equipos en gabinete	62
4.5.	Estimación de costos	63
4.5.1.	Descripción y cálculo de inversión inicial.	63
4.5.1.1.	Equipos principales.	63
4.5.1.2.	Integración de equipos.	63
4.5.1.3.	Obras civiles.	65
4.5.1.4.	Instrumentación, automatización y adicionales	66
4.5.2.	Resumen de costos.	66
5.	Conclusiones	68
	Bibliografía	70
	Anexos	72
A.	Código del modelo.	72
A.1.	Modelo tanque.	72
A.2.	Simulación Variando temperatura ambiente	74
A.3.	Simulación variando temperatura de entrada.	76
A.4.	Modelo tanque simulación de laboratorio	77
A.5.	Simulacion de laboratorio.	80
B.	Diseño CAD	81
C.	P&ID	85