

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 |