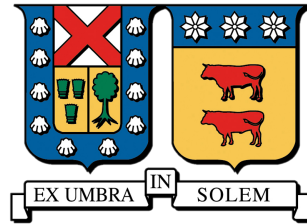


**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
VALPARAÍSO - CHILE**



**DISEÑO E INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE
REFRIGERACIÓN PARA LA PUESTA EN MARCHA
DE EQUIPO ELECTROLIZADOR-GENERADOR DE
HIDRÓGENO VERDE**

JAVIER IGNACIO BRITO CÁDIZ

**MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL MECÁNICO**

PROFESOR GUÍA: DR. MARIO TOLEDO T.

PROFESOR CORREFERENTE: ING. RAFAEL MENA Y.

Marzo 2025



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): Memoria o trabajo de título; Tesis de Postgrado;

Título del trabajo: DISEÑO E INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN PARA LA PUESTA EN MARCHA DE EQUIPO ELECTROLIZADOR-GENERADOR DE HIDRÓGENO VERDE

Nombre del candidato(a): Javier Ignacio Brito Cádiz

Carrera / Grado: Ingeniería Civil Mecánica

Campus: Casa Central Valparaíso ; Departamento: Departamento de Ingeniería Mecánica USM

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Mario Gonzalo Toledo Torres, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL

El trabajo **NO contiene información que amerite confidencialidad** y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (embargo) por:

6 meses; 12 meses; 2 años; 3 años; 5 años; 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 03/07/2025

Firma:

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 03/07/2025

Firma:

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

Agradecimientos

Quisiera expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas que me apoyaron y ayudaron a lo largo de estos años de carrera. A mis padres, hermanos y familia en general, por su amor incondicional y constante apoyo. A mis amigos de la carrera y de la selección de fútbol, a los profesores, y a todas las relaciones que formé durante este largo camino, ya que sin ustedes nada de esto habría sido posible.

Agradezco especialmente a mi profesor guía, Dr. Mario Toledo, por su buena disposición, su trato cercano y su preocupación tanto por mi situación personal como profesional. También al equipo Quempin, por el apoyo brindado durante la realización de mi práctica profesional y del presente trabajo.

Finalmente, a mi familia: padres, hermanos, tíos, tías, primos, primas, mis vecinas, mis amigos más cercanos, y también a la Lunita y La Lía, quienes siempre han estado presentes apoyándome en cada etapa de mi vida. A todos ustedes, gracias de corazón.

Resumen

La creciente demanda mundial de energía ha generado importantes desafíos en términos de sostenibilidad. Gran parte de esta energía aún proviene de fuentes fósiles como el carbón, petróleo y gas natural, las cuales generan altos niveles de emisiones de gases de efecto invernadero. Frente a este panorama, diversos países están impulsando estrategias de descarbonización energética a través del uso de fuentes limpias y renovables. En este contexto, el hidrógeno verde se posiciona como una alternativa prometedora, ya que permite almacenar y transportar energía limpia, y ofrece una solución viable para sectores difíciles de electrificar, como el transporte pesado, la industria química y la producción de acero.

Chile, gracias a sus condiciones geográficas y climáticas favorables, ha declarado su intención de convertirse en uno de los principales productores de hidrógeno verde del mundo. En línea con esta estrategia nacional, la Universidad Técnica Federico Santa María está desarrollando una planta de hidrógeno verde mediante un electrolizador de membrana de intercambio de protones (PEM), modelo H4 Series de la empresa Nel Hydrogen. Este equipo es capaz de producir hasta 4 Nm³/h de hidrógeno de alta pureza (99,9995 %) mediante electrólisis de agua desionizada utilizando energía renovable.

Para garantizar el correcto funcionamiento del electrolizador, es necesario cumplir con ciertos requerimientos técnicos, entre los cuales se encuentra la instalación de un sistema de refrigeración. Este sistema tiene como principal función mantener bajo control la temperatura del recinto de fluidos, enfriando tanto las pilas de celdas como el agua desionizada que circula por el sistema, permitiendo así una operación segura y eficiente del proceso de electrólisis.

El presente trabajo se enfoca en el diseño, selección, instalación y puesta en marcha del sistema de refrigeración necesario para esta planta. A lo largo del documento, se revisa la información técnica entregada por el fabricante, se definen los requerimientos específicos del sistema de refrigeración, se comparan diferentes alternativas disponibles en el mercado, y se detalla el diseño e implementación de la alternativa seleccionada. Finalmente, se exponen las pruebas realizadas para validar el correcto funcionamiento del sistema en conjunto con el electrolizador, asegurando la continuidad operativa y el cumplimiento de los estándares de calidad requeridos para la generación de hidrógeno verde.

Abstract

The growing global energy demand has posed significant challenges in terms of sustainability. A large portion of this energy still comes from fossil fuels such as coal, oil, and natural gas, which generate high levels of greenhouse gas emissions. In response, many countries are promoting energy decarbonization strategies through the use of clean and renewable sources. In this context, green hydrogen has emerged as a promising alternative, as it enables the storage and transport of clean energy and offers a viable solution for hard-to-electrify sectors such as heavy transport, the chemical industry, and steel production.

Chile, thanks to its favorable geographical and climatic conditions, has declared its intention to become one of the world's leading producers of green hydrogen. In line with this national strategy, the Universidad Técnica Federico Santa María is developing a green hydrogen pilot plant using a Proton Exchange Membrane (PEM) electrolyzer, model H4 Series from Nel Hydrogen. This equipment is capable of producing up to 4 Nm³/h of high-purity hydrogen (99.9995%) through the electrolysis of deionized water powered by renewable energy.

To ensure the proper operation of the electrolyzer, certain technical requirements must be met, including the installation of a cooling system. This system's main function is to control the temperature of the fluid compartment by cooling both the electrolysis cells and the deionized water circulating through the system, thus enabling safe and efficient operation of the electrolysis process.

This work focuses on the design, selection, installation, and commissioning of the cooling system required for the plant. It includes a review of the technical information provided by the manufacturer, a definition of the system's specific requirements, a comparison of various alternatives available on the market, and a detailed description of the chosen solution's implementation. Finally, it presents the tests carried out to validate the proper operation of the system alongside the electrolyzer, ensuring operational continuity and compliance with the quality standards required for green hydrogen production.

Índice

Agradecimientos	i
Resumen	ii
Abstract	iii
Introducción	xi
1. Establecer el estado del arte, e identificar componentes y condiciones de operación del electrolizador PEM H4 Series Nel	1
1.1. Estado del arte	1
1.1.1. Situación Chile	5
1.2. Marco teórico	7
1.2.1. Hidrógeno	7
1.2.2. Métodos de producción del hidrógeno:	7
1.2.3. Tipos de hidrógeno	10
1.2.4. Electrolizadores	12
1.2.5. Tecnologías de refrigeración de equipos industriales	16
1.2.6. Bomba de calor	17
1.2.7. Bomba hidráulica	20
1.3. Identificar componentes y condiciones de operación del electrolizador PEM H4 Series Nel	23
1.3.1. Especificaciones técnicas, dimensiones y interfaces mecánicas.	24
1.3.2. Identificación de los componentes y sistemas del electrolizador.	24
1.3.3. Condiciones de operación del electrolizador PEM H4 Series Nel.	29
2. Desarrollar pruebas de puesta en marcha del electrolizador, asegurando su correcto funcionamiento	31
2.1. Situación inicial de recepción del equipo y reconocimiento equipo	31
2.2. Instalación y pruebas de puesta en marcha del electrolizador	32
2.3. Pruebas de puesta en marcha.	35
3. Definir los requerimientos técnicos para el sistema de enfriamiento que permitan garantizar la operación continua del electrolizador	38
4. Proponer alternativas de diseño para el sistema de refrigeración y seleccionar la alternativa factible para su desarrollo.	39
4.1. Selección alternativa.	39
4.2. Alternativa de sistema de refrigeración ANWO.	40
4.3. Estudio técnico alternativa ANWO.	40

4.3.1.	Bomba de calor:	41
4.3.2.	Consideraciones adicionales para la bomba de calor	41
4.3.3.	Bomba de circulación	43
4.3.4.	Presentación de alternativa en modelo Inventor	47
4.3.5.	Resumen de propuesta ANWO	53
5.	Gestionar la fabricación e instalar y operar el sistema de refrigeración seleccionado, verificando su desempeño en diferentes condiciones de operación	55
5.1.	Instalación y puesta en marcha sistema de refrigeración	55
5.2.	Pruebas de funcionamiento del sistema de refrigeración	67
5.2.1.	Sistema de refrigeración cerrado	71
5.2.2.	Sistema de refrigeración abierto con funcionamiento de bomba de circulación	72
5.2.3.	Sistema de refrigeración abierto con funcionamiento de bomba de circulación y bomba de calor con termostato a 20 °C	73
5.2.4.	Sistema de refrigeración abierto con funcionamiento de bomba de circulación y bomba de calor con termostato a 10°C	74
	Análisis de Resultados y Conclusiones	77
	Referencias	79
	Anexos	84

Índice de figuras

0.1. Consumo mundial de energía por tipo de fuente, RADAR ENERGÉTICO [2].	xi
0.2. Gráfico de volumen de energía generada por fuente, Generadoras 1996-2022 [8].	xii
0.3. Gráfico de capacidad instalada por fuente, Generadoras 2000-2023 [8].	xiii
0.4. Gráfico de proyección de demanda de H ₂ , ministerio de energía(2024).	xiii
1.1. Gráfico de demanda de hidrógeno por sector y región, 2019-2030 [15].	2
1.2. Esquema de aplicaciones del hidrógeno junto con uso de energías renovables [17].	3
1.3. Diagrama comparativo de costo nivelado de hidrógeno y CO ₂ equivalente para distintas tecnologías de producción del hidrógeno [18].	4
1.4. Gráfico de capacidad instalada de electrolizadores por tecnología y su proyección [16].	5
1.5. Mapa de proyectos H ₂ dentro de Chile, septiembre 2024 [20].	6
1.6. Diagrama que muestra los métodos de producción de hidrógeno, agrupados según su fuente: combustibles fósiles o recursos renovables [23].	8
1.7. Diagrama de colores del hidrógeno según su materia prima y proceso [26].	10
1.8. Esquema comparativo de electrolizadores alcalino, PEM y de óxido sólido, mostrando el ion transportado, sus reacciones y disposición básica de electrodos.	13
1.9. Diagrama comparativo del ciclo de refrigeración (izquierda) y calefacción (derecha) en una bomba de calor, mostrando la inversión del flujo del refrigerante y los estados térmicos en cada etapa del circuito [34].	19
1.10. Clasificación jerárquica de bombas hidráulicas según su principio de funcionamiento, distinguiendo entre desplazamiento positivo (reciprocantes y rotatorias) y dinámicas (centrífugas, periféricas y especiales). [36].	20
1.11. Curva de fiabilidad operativa de una bomba, destacando el punto de mejor eficiencia (BEP) y los efectos negativos al operar fuera de este, como cavitación, recirculaciones, y mayor desgaste del sello mecánico [41].	22
1.12. Imagen electrolizador PEM H4 Series Nel.	24
1.13. Vista interna del electrolizador PEM H4 Series de Nel, con identificación numérica de sus componentes principales, organizados por sectores.	25
1.14. Diagrama de Tuberías e Instrumentación (PID) del subsistema WOMS del Generador de Hidrógeno H Serie 4.	26

1.15. Diagrama de Tuberías e Instrumentación PID del subsistema HGMS del Generador de Hidrógeno H Serie 4.	27
2.1. Imágenes de situación inicial del electrolizador dentro del laboratorio.	31
2.2. Figuras de relevancia sección 2.10 del “Manual de instalación y operación, Generador de Hidrógeno H Serie 4 Nel”	32
2.3. Imagen de colocación de filtros de aire y de filtro reinstalado. . . .	33
2.4. Figuras de relevancia sección 2.13 del “Manual de instalación y operación, Generador de Hidrógeno H Serie 4 Nel”	33
2.5. Descripción de conexiones del manual “Elga Chorus 2 RO DI water purification system with a Nel Hydrogen US hydrogen generator”.	34
2.6. Imagen general de Chorus 2 del “Manual de operación de Purelab Chorus 2 Elga Veolia”	35
2.7. Imagen final de instalación de electrolizador PEM H4 Series Nel.	35
2.8. Imagen de panel del electrolizador produciendo hidrogeno por primera vez y mediciones de hidrogeno a la salida del interfaz “H2 Product”.	36
2.9. Instalación final del electrolizador luego de la puesta en marcha y toma de muestras.	37
4.1. Imagen inventor de boceto estructura ”L” para bomba de calor [50].	42
4.2. Imagen referencial de rejilla de extracción utilizada.	43
4.3. Curvas de funcionamiento de la bomba va 65/180 de,” Ficha Tecnica Bombas VA” [48].	44
4.4. Curvas de la bomba KLM 40 de “Ficha Tecnica DAB KLP 40” [51].	45
4.5. Curvas de rendimiento y especificaciones técnicas de bomba K 20/41, Pag 4 “K SINGLETSENG” [52].	46
4.6. Vista Frontal-Superior [50].	48
4.7. Vista lateral diagonal izquierda [50].	48
4.8. Vista kit de conexiones sistema de refrigeración al electrolizador [50].	49
4.9. Vista lateral izquierda y derecha [50].	49
4.10. Vista Superior [50].	49
4.11. Vista lateral superior derecha [50].	50
4.12. Vista trasera [50]	50
4.13. Imagen tabla de Excel “Propuesta ANWO” [53].	53
4.14. Imagen gráficos resumen de Excel “Propuesta ANWO” [53]. . . .	54
5.1. Situación inicial sector electrolizador al iniciar la instalación de sistema de refrigeración.	56
5.2. Imagen de termofusora ocupada para fusión de PPR y prearmado de línea de PPR.	57
5.3. Imagen de kit de conexiones del líquido refrigerante al electrolizador.	58
5.4. Vista del sistema de piping de PPR conectado al estanque y la bomba de circulación, mostrando la fijación definitiva de estos elementos.	58
5.5. Bomba de calor desmontada parcialmente.	59

5.6. Imagen de andamios, fijación de estructura en L y proceso de instalación de rejilla de extracción.	60
5.7. Imagen de procedimiento de izaje en altura de bomba de calor . .	61
5.8. Imagen final del posicionamiento de la bomba de calor en la estructura en “L”.	61
5.9. Vista de la bomba de calor ya posicionada, donde se observa la modificación en la orientación del codo de entrada del refrigerante, la línea de PPR y el cableado eléctrico con canalización EMT. . .	62
5.10. Instalación finalizada del estanque y canalización eléctrica del sistema de refrigeración, incluyendo conexiones con tubo flexible, canalización EMT, caja metálica y termostato.	63
5.11. Imagen de instalación de válvula reguladora de presión para purificador de agua	64
5.12. Imagen sistema de purificación de agua desionizada para electrolizador.	65
5.13. Imagen presión de agua de sistema de refrigeración a la entrada del electrolizador.	65
5.14. Imagen de señales entregadas por el panel de control.	66
5.15. Imagen final de la instalación del sistema de refrigeración luego de las verificaciones de su correcto funcionamiento.	67
5.16. Panel de control del electrolizador al generar hidrógeno.	68
5.17. Imágenes del sistema de almacenamiento y compresión.	69
5.18. Imágenes del sistema de combustión del hidrógeno.	69
5.19. Diagrama de circuito de fluidos del electrolizador.	70
5.20. Gráfico de temperaturas del agua dentro de la primera prueba de funcionamiento.	72
5.21. Gráfico de temperaturas del agua dentro de la segunda prueba de funcionamiento.	73
5.22. Gráfico de temperaturas del agua dentro de la tercera prueba de funcionamiento.	74
5.23. Gráfico de temperaturas del agua dentro de la cuarta prueba de funcionamiento.	75
5.24. Condensado de agua dentro de conexiones de agua de refrigeración a la entrada del electrolizador.	76
5.25. Interfaces mecánicas pag 22 Manual de instalación y operación, Generador de Hidrógeno H Serie 4 Nel H Series [42].	87
5.26. Vista izquierda electrolizador, pag 39 Manual de instalación y operación, Generador de Hidrógeno H Serie 4 Nel H Series [42]. . . .	88
5.27. Vista derecha electrolizador, pag 35 Manual de instalación y operación, Generador de Hidrógeno H Serie 4 Nel H Series [42]. . . .	89
5.28. Procedimiento sección 3.2 Aplicando poder del “Manual de instalación y operación, Generador de Hidrógeno H Serie 4 Nel”. . . .	91

5.29. Procedimiento sección 3.3 Instrucciones de puesta en marcha inicial del “Manual de instalación y operación, Generador de Hidrógeno H Serie 4 Nel”	92
5.30. Muestras de hidrógeno	93
5.31. Tabla resultados calidad hidrógeno.	93
5.32. pag 46 “Manual de instalación y operación, Generador de Hidrógeno H Serie 4 Nel”	96
5.33. pag 80 “Manual de instalación y operación, Generador de Hidrógeno H Serie 4 Nel”	97
5.34. pag 1 Iso Kits Instruct PD-0101-0054 _{revb}	98
5.35. pag 2 Iso Kits Instruct PD-0101-0054 _{revb}	99
5.36. pag 1 “Ficha _{DepositoInercialMulticlíma} ”.	104
5.37. Dimensiones de bomba de calor AQUAINVERTER 16KW, pag 17 “ManualInstalacionAQUAINVERTERN”.	106
5.38. Temperaturas y presiones mínimas y máximas, pag 8 “ManualInstalacionAQUAINVERTERN”.	107
5.39. Consideraciones de la red fluvial, pag 30 “ManualInstalacionAQUAINVERTERN”.	108
5.40. Diagrama de referencia de red fluvial, pag 31 “ManualInstalacionAQUAINVERTERN”.	108
5.41. Consideraciones instalación de termostato, pag 25 “ManualInstalacionAQUAINVERTERN”.	109
5.42. TERMOSTATO INMERSION SIMPLE TRE100., Watts industries, Ficha Técnica Termostato Inmersión.	110
5.43. Presión de salida de la bomba de calor suficiente suponiendo un flujo de 60 lts/min, al encontrarse en altura la bomba de calor requiere de bajas presiones.	111
5.44. No se requiere de vaso de expansión según sección 7.3, pag 22 “ManualInstalacionAQUAINVERTERN”.	111
5.45. Plano inventor de boceto estructura “L” para bomba de calor.	112
5.46. Especificaciones técnicas de bombas DAB serie K, pag 1 “K SINGLETSENG” [52].	112
5.47. Performance range for serie K, Pag 3 “K SINGLETSENG” [52].	113
5.48. Tabla de recomendación de uso cañerías de PPR del proveedor Koalition.	114

Índice de tablas

1.1. Tabla comparativa de los tres principales tipos de electrolizadores [30].	16
4.1. Cuadro comparativo de archivo Excel,” Alternativas equipos” [47].	39
4.2. Imagen tabla Excel “Secciones línea de Piping”, Sección Estanque-bomba de calor.	51
4.3. Imagen tabla Excel “Secciones línea de Piping”, Sección Estanque-bomba de calor.	52
5.1. Información general de propiedades del hidrógeno [54].	84
5.2. Propiedades atómicas y físicas del hidrógeno [54].	84
5.3. Especificaciones técnicas, pag 20 Manual de instalación y operación, Generador de Hidrógeno H Serie 4 Nel H Series [42].	85
5.4. Especificaciones técnicas, pag 21 Manual de instalación y operación, Generador de Hidrógeno H Serie 4 Nel H Series [42].	86
5.5. Requerimientos de demanda de agua desionizada, pag 20 Manual de instalación y operación, Generador de Hidrógeno H Serie 4 Nel H Series [55].	90
5.6. Especificaciones técnicas, pag 12 Manual de operación de Purelab Chorus 2 Elga Veolia [55].	90
5.7. pag 20 “Manual de instalación y operación, Generador de Hidrógeno H Serie 4 Nel”	94
5.8. pag 21 “Manual de instalación y operación, Generador de Hidrógeno H Serie 4 Nel”	95
5.9. H Series Coolant specs.	100
5.10. pag 1 Cotización 2037834 QUEMPIN - Bomba de Calor 16 kW y Accesorios [56].	101
5.11. pag 2 Cotización 2037834 QUEMPIN - Bomba de Calor 16 kW y Accesorios [57].	102
5.12. pag 2 Principales especificaciones técnicas de “Ficha AquaInverter _N ”.	103
5.13. Especificaciones técnicas de bomba ANWO, pag 1 “Ficha Técnica Bombas VA” [58].	105
5.14. Requisitos de calidad del agua de refrigeración, pag 33 “ManualInstalacionAQUAINVERTERN”.	109

Introducción

La demanda mundial de energía ha experimentado un crecimiento sostenido debido a diversos factores como el crecimiento poblacional, industrialización, urbanización y aumento de los estándares de vida. Según la IEA (Agencia Internacional de la Energía, por sus siglas en inglés) esta ha tenido un aumento promedio anual del 2,4% durante el periodo 2015-2019; durante el año 2023 se tiene un aumento del 2,6% y se espera que durante el 2024 y los años posteriores esta tendencia se siga manteniendo, demostrando un incremento en la demanda energética en los próximos años. [1]

Como se puede ver dentro de la gráfica de la Figura 0.1, la mayor parte de esta energía proviene de combustibles fósiles como el carbón, gas natural y petróleo, representando aproximadamente un 82% del consumo mundial de energía. Por lo que, a pesar del crecimiento de las energías renovables a lo largo de los años, aún existe una dependencia de los combustibles fósiles para las necesidades energéticas mundiales. Esto no solo representa una problemática por la limitación de los recursos fósiles, sino también por su impacto en el medio ambiente [2].

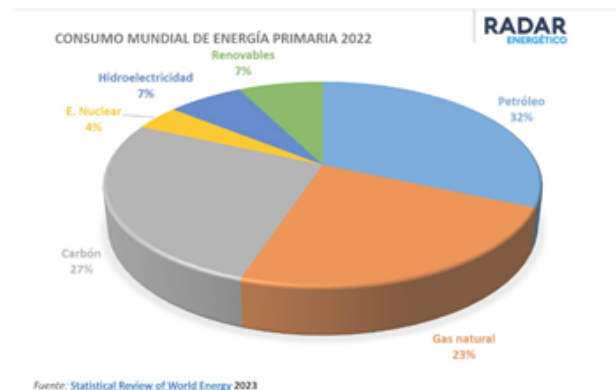


Figura 0.1: Consumo mundial de energía por tipo de fuente, RADAR ENERGÉTICO [2].

Cuando los combustibles fósiles se queman, liberan dióxido de carbono (CO_2) y otros gases de efecto invernadero (GIE) que, a su vez, atrapan el calor en nuestra atmósfera, lo que los convierte en los principales responsables del calentamiento global y del cambio climático. El sistema energético es la fuente de aproximadamente dos tercios de las emisiones globales de CO_2 , por lo que es el principal responsable del calentamiento global y del cambio climático. [3] Se estima que tendría consecuencias catastróficas para el año 2050 manteniendo las tendencias actuales de crecimiento de demanda energética y de uso de combustibles fósiles [4].

Frente a los problemas ambientales generados por la quema de combustibles fósiles se están realizando grandes esfuerzos por parte de gobiernos de todo el mundo para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, utilizando fuentes de energías renovables, realizando acuerdos internacionales y organizaciones, dentro de los cuales destacan el Acuerdo de París de 2015, Agenda 2030, CMNUCC (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático), COP28 y la Cumbre sobre los ODS 2023 [5].

Esta tendencia del aumento de demanda eléctrica y uso de combustibles fósiles, también se presenta en Chile donde se tiene que esta va en aumento desde el año 2009, teniendo así un promedio de aumento de la demanda energética de un 3,2%, por lo que dentro de Chile se esperaría que a lo largo de los años exista una necesidad de aumentar la generación de energía [6].

Sin embargo, Chile se ha mostrado sumamente comprometido frente a esta problemática, queriendo ser líder en fuentes de energías renovables. Esto se debe a su gran potencial eléctrico, mayor a 1.800 gigavatios (GW) por sus condiciones geológicas y climáticas [7].

Este gran compromiso se ve reflejado dentro de la Figura 0.2 y la Figura 0.3 donde se puede apreciar el incremento de la energía generada y de la capacidad instalada a través de fuentes de energía renovable, presentando un gran incremento a lo largo de los años, llegando a tener una capacidad instalada de un 62% de fuentes renovables a diciembre de 2022 [8] y en su participación en el Acuerdo de París de 2015, COP 28 y Política Energética de Chile 2050 [9]. Donde se ha fijado el ambicioso objetivo de convertir el 70% de su consumo total de energía en energías renovables para 2030 y se ha comprometido a ser neutro en emisiones de carbono para 2050 [10].

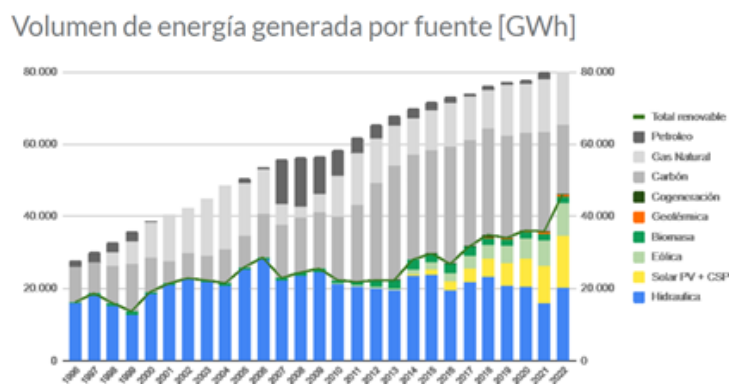


Figura 0.2: Gráfico de volumen de energía generada por fuente, Generadoras 1996-2022 [8].

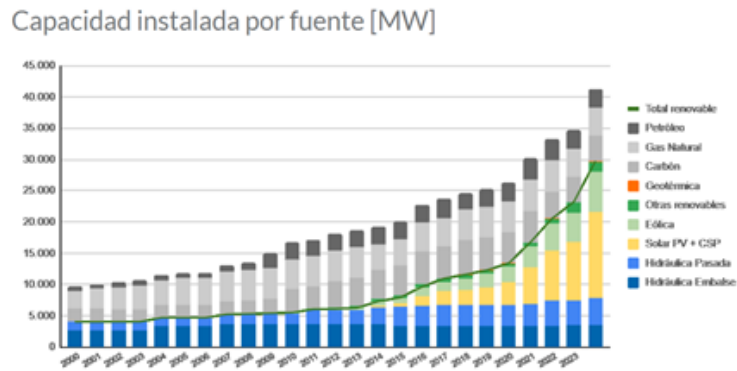


Figura 0.3: Gráfico de capacidad instalada por fuente, Generadoras 2000-2023 [8].

El hidrógeno verde es una de las alternativas más prometedoras dentro de esta estrategia energética debido a su potencial capacidad para descarbonizar sectores en los cuales se presentan dependencia de combustibles fósiles dificultades para electrificar, como los sectores de transporte pesado, la aviación, la industria química y la producción de acero. Dentro de la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde presentada por el gobierno de Chile en el año 2020, se establece la estrategia para que Chile se pueda convertir en el país productor más competitivo de hidrógeno verde a nivel mundial para el año 2030 [11]. Según estimaciones del Banco Central de Chile, se esperan grandes fuentes de ingresos en materia de exportación de hidrógeno verde debido a su proyección de demanda, lo cual se ve dentro de la Figura 0.4. Convirtiendo la producción de hidrógeno verde en una de las apuestas más importantes dentro de Chile, siendo actualmente una tecnología en proceso de desarrollo [7].

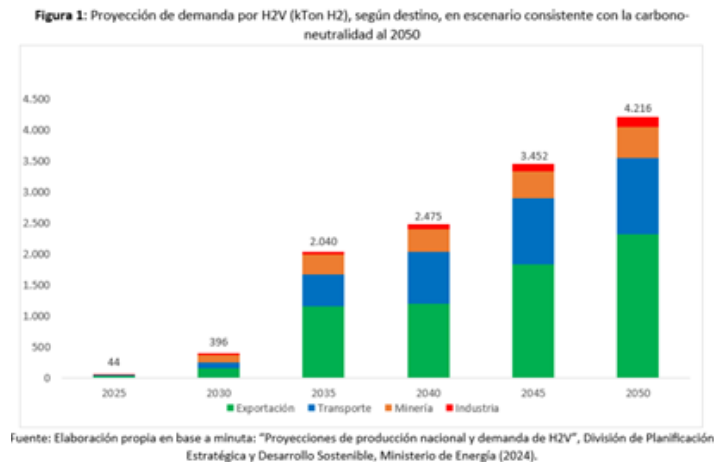


Figura 0.4: Gráfico de proyección de demanda de H2, ministerio de energía(2024).

El hidrógeno es el elemento más liviano y abundante del universo, pero no puede ser encontrado en el planeta en estado puro, sino que unido a otros compuestos, como el agua. Posee una gran variedad de aplicaciones, siendo una de sus características más positivas su uso como combustible debido a su alta densidad energética. El hidrógeno verde es el nombre que se le da al hidrógeno que ha sido generado a partir de fuentes y energías renovables. Principalmente mediante el proceso de electrólisis, que consiste en circular corriente eléctrica por agua, para separar sus moléculas en hidrógeno y oxígeno [12].

Bajo este contexto, la instalación de un electrolizador de membrana PEM H4 series Nel dentro de la UTFSM sede Viña del Mar es un tema de gran relevancia frente a los desafíos energéticos y ambientales que enfrenta Chile y el mundo. Esta instalación marca un avance significativo con el compromiso de la UTFSM de innovación en el desarrollo de nuevas tecnologías que ayuden a la sostenibilidad del país.

Este electrolizador operará utilizando fuentes de energías renovables, por lo que generará hidrógeno verde, que será utilizado para investigación de desarrollo de distintas tecnologías asociadas al hidrógeno verde, lo cual es esencial en el desarrollo de capital humano especializado en esta área y desarrollo de tecnologías asociadas al hidrógeno verde.

Dentro del presente informe se abordará en detalle la instalación y reconocimiento del equipo, centrandose en los aspectos técnicos claves para su correcta operación. En particular, se analizará reconocimiento del equipo, instalación del equipo, definición de sistemas adicionales y instalación del sistema de refrigeración, que será el foco principal de estudio.

Objetivos

El presente trabajo tiene como objetivo general el diseñar e instalar un sistema de refrigeración para la puesta en marcha de equipo electrolizador-generador de hidrógeno verde.

Para cumplir con el objetivo principal se deben abordar los siguientes objetivos específicos:

- Establecer el estado del arte, e identificar componentes y condiciones de operación del electrolizador PEM H4 Series Nel.
- Desarrollar pruebas de puesta en marcha del electrolizador, asegurando su correcto funcionamiento.
- Definir los requerimientos técnicos para el sistema de refrigeración que permitan garantizar la operación del electrolizador.
- Proponer alternativas de diseño para el sistema de refrigeración, y seleccionar la alternativa factible para su desarrollo.
- Gestionar la fabricación e instalar y operar el sistema de refrigeración seleccionado, verificando su desempeño en diferentes condiciones de operación.

1. Establecer el estado del arte, e identificar componentes y condiciones de operación del electrolizador PEM H4 Series Nel

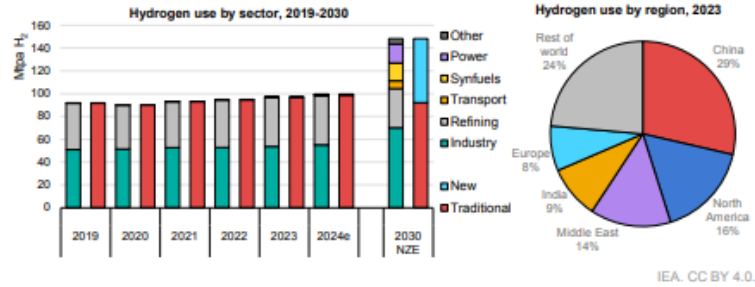
1.1. Estado del arte

El hidrógeno fue descubierto en 1766 por Henry Cavendish, quien observó que al poner ácidos sobre algunos metales se desprendía un gas inflamable desconocido hasta entonces. Henry Cavendish fue el primero en afirmar que el agua es una sustancia compuesta y no un elemento, además de demostrar experimentalmente que se puede obtener agua haciendo reaccionar hidrógeno con oxígeno [13].

Cita de Julio Verne en su novela *La Isla Misteriosa* publicada en 1874: “Yo creo que el agua será empleada un día como combustible, que el hidrógeno y el oxígeno que la constituyen, empleados individualmente o juntos, suministrarán una fuente inagotable de calor y luz, en una intensidad de la que el carbón no es capaz. Algún día, los hogares y las calderas de las locomotoras, en lugar de carbón, serán alimentados con estos dos gases condensados, que se quemarán en los hornos con un enorme poder calórico. Yo creo que cuando los depósitos de carbón se agoten, nosotros nos calentaremos con agua. El agua será el carbón del futuro” [14].

Dentro de la Figura 1.1 se puede ver que la demanda de hidrógeno en distintos sectores ha ido en aumento a lo largo de los años. En el año 2023 la demanda de hidrógeno alcanzó un máximo de más de 97 Mt, con un crecimiento del 2,5 % en comparación al año 2022. El hidrógeno utilizado en la producción y refinación de amoníaco (más de 75 Mt) y en la producción de metanol y fabricación de acero (más de 20 Mt) siguen representando la mayor parte de la demanda mundial. Dentro de las aplicaciones que representan un menor porcentaje se encuentra la fabricación de vidrio, la electrónica, procesamiento de metales, elevación de globos meteorológicos, elaboración de herramientas de corte a alta velocidad y en el transporte terrestre, aéreo y marítimo, con un consumo de alrededor de 1 Mt anual [15].

Figure 2.1 Hydrogen demand by sector and by region, historical and in the Net Zero Emissions by 2050 Scenario, 2019-2030



Notes: NZE = Net Zero Emissions by 2050 Scenario. "Other" includes buildings and biofuels upgrading. 2024e = estimate for 2024. The estimated value for 2024 is a projection based on trends observed until June 2024.

Hydrogen demand reached 97 Mt in 2023 but remained highly concentrated in traditional applications in industry and refining.

Figura 1.1: Gráfico de demanda de hidrógeno por sector y región, 2019-2030 [15].

Debido al potencial del hidrógeno verde para la descarbonización global, se han desarrollado nuevas tecnologías para expandir el uso del hidrógeno. Entre las aplicaciones más prometedoras se encuentran el DRI (Reducción directa de hierro) al 100 % con hidrógeno, transporte de larga distancia, producción de combustibles basados en hidrógeno (como amoníaco o hidrocarburos sintéticos), mejora de biocombustibles (por ejemplo, hidrogenación de grasas y aceites), calefacción a alta temperatura en la industria, almacenamiento y generación de electricidad, así como otras aplicaciones en las que se espera que el uso de hidrógeno sea muy pequeño debido a la existencia de alternativas más eficientes y de bajas emisiones. A continuación, se presenta la Figura 1.2 sobre las aplicaciones del hidrógeno actuales y futuras por sector [16].

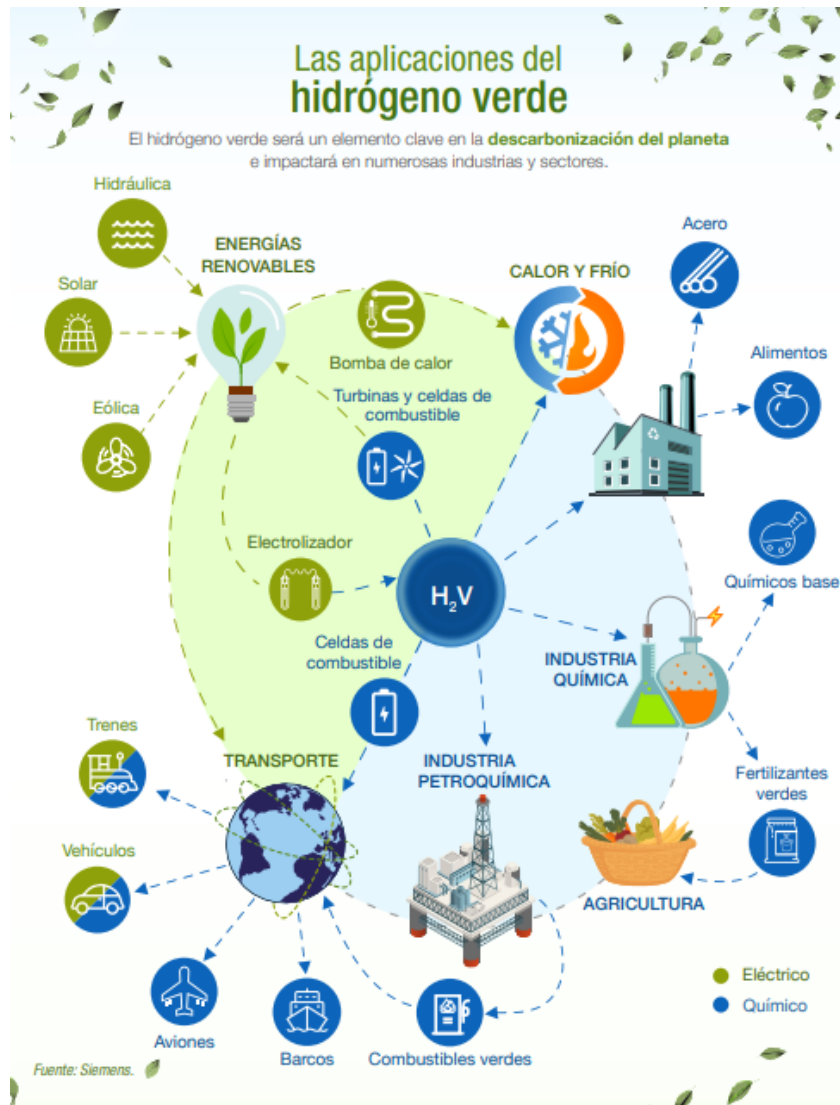


Figura 1.2: Esquema de aplicaciones del hidrógeno junto con uso de energías renovables [17].

Los métodos basados en combustibles fósiles son los más utilizados actualmente para satisfacer la demanda de hidrógeno para la refinación de amoníaco, la producción de metanol y fabricación de acero, esto debido a que se tienen costos de producción altamente más económicos y permiten grandes producciones, pero generan mayores emisiones de CO₂, mientras que los métodos de producción renovables presentan actualmente un costo más elevado, pero destacan por ser sostenibles y generar menores emisiones de contaminantes [18]. A continuación, se presenta la Figura 1.3 presentando un diagrama comparativo de CO₂ equivalente en el eje Y el coste nivelado del hidrógeno en el eje X de los principales colores del hidrógeno, según un estudio realizado en el año 2022.

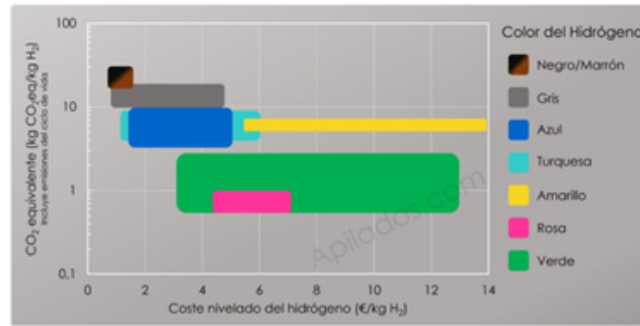


Figura 10. Diagrama comparativo de las principales tecnologías de producción de hidrógeno en términos de emisiones equivalentes de su ciclo de vida y el coste nivelado del hidrógeno producido. Fuente de los datos: algunos de los datos incluidos en esta figura han sido extraídos de [2,4], mientras que otros han sido estimados directamente.

Figura 1.3: Diagrama comparativo de costo nivelado de hidrógeno y CO₂ equivalente para distintas tecnologías de producción del hidrógeno [18].

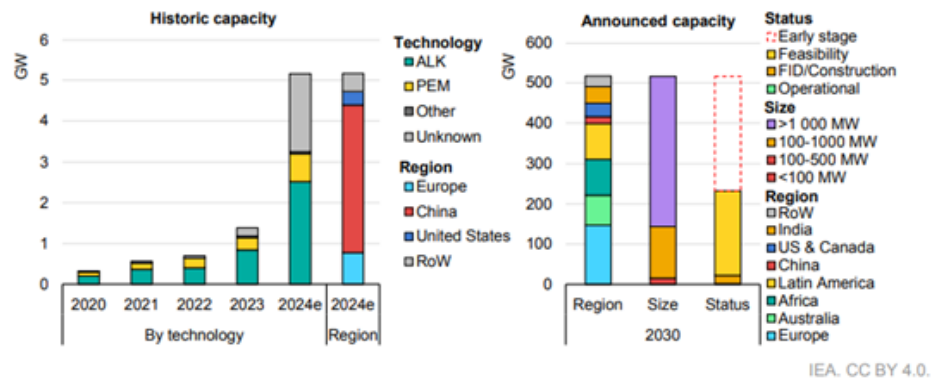
Hidrógeno negro/marrón con un CO₂ equivalente de 23-30 kg CO₂/kg H₂ y un coste nivelado del hidrógeno producido de este modo sería de entre 0.85-1.65 €/kg H₂.

Hidrógeno gris con un CO₂ equivalente de 10.1-17.2 kg CO₂ eq/kg H₂ y un coste nivelado del hidrógeno producido de este modo sería de entre 1.19-4.8 €/kg H₂.

Hidrógeno verde con un CO₂ equivalente de 0.52-1.14 kg CO₂ eq/kg H₂ y un coste nivelado del hidrógeno producido de este modo sería de entre 3.3-13.09 €/kg H₂.

Dentro de las tecnologías de producción de hidrógeno verde, el método de electrólisis del agua se perfila como una de las alternativas más prometedoras para los próximos años. Donde dentro de la Figura 1.4 se puede apreciar que desde el año 2020 al año 2023 se ha tenido un gran aumento en capacidad instalada, esperándose un gran aumento para el año 2024 y un pronóstico de un incremento de la actual capacidad de aproximadamente 5 GW a 500 GW para el año 2030. Siendo las tecnologías de electrolizadores alcalinos y PEM las dos principales alternativas más utilizadas actualmente. Estas tecnologías se encuentran en desarrollo por lo que se esperan grandes mejoras, reduciendo los costos de producción del hidrógeno verde, siendo así una de las alternativas de generación de hidrógeno verde más prometedoras para los próximos años.

Figure 3.4 Installed electrolyser capacity by technology and region, 2020-2024e, and capacity by region, plant size and status based on announced projects, 2030



Notes: ALK = alkaline electrolysers; PEM = proton exchange membrane electrolysers; FID/Construction = final investment decision and under construction; RoW = rest of the world; US = United States; 2024e = estimate for 2024 capacity, based on projects planned to start operations in 2024 and that have at least reached FID. "Other" technology refers to solid oxide electrolysis, anion exchange membrane electrolysis or a combination of different technologies. The unit is GW of electrical input. Only projects with a disclosed start year are included.
Source: [IEA Hydrogen Production Projects Database](#) (October 2024).

Based on announcements, electrolyser capacity could reach 230 GW by 2030, or up to 520 GW with projects still at early stages of development, from an installed capacity of 1.4 GW in 2023.

Figura 1.4: Gráfico de capacidad instalada de electrolizadores por tecnología y su proyección [16].

1.1.1. Situación Chile

Chile posee un gran potencial en energías renovables, con un potencial energético mayor a 1.800 GW. Este potencial se debe a sus condiciones naturales privilegiadas, como la alta irradiación solar en el norte del país para generación de energía fotovoltaica y las condiciones eólicas de la Patagonia, que ofrecen un suministro constante y predecible de viento, entre otras condiciones climáticas presentes a lo largo del territorio.

Esta posición ventajosa en materia de energías renovables convierte a Chile en una industria altamente competitiva en la producción de hidrógeno verde, con estimaciones de costos de producción de alrededor de 1 USD/kg H₂ para el 2030, lo cual es significativamente inferior a las proyecciones de otros países y sumamente inferior a los costos actuales de producción de hidrógeno verde [7].

Chile planea convertirse en uno de los productores de hidrógeno más competitivos del mundo, líder mundial en producción de hidrógeno verde, por lo que en el año 2020 se publicó la "Estrategia Nacional de Hidrógeno verde", que establece estrategias y un plan de acción para posicionarse como líder mundial en esta industria de la producción del hidrógeno verde. Se tiene como principales objetivos para el 2025, ser Top 1 en inversiones de hidrógeno verde en Latinoamérica (5 B USD), 5 GW de capacidad de electrólisis construida y producción de 200 Kton/año de

1.2. Marco teórico

1.2.1. Hidrógeno

El hidrógeno es el primer elemento de la tabla periódica. Es representado por el símbolo “H”, tiene una masa atómica de 1,00794 u, y posee un número atómico 1, lo que significa que cada átomo de hidrógeno cuenta con un protón en su núcleo atómico. Esta simplicidad lo hace el elemento químico más ligero y el más abundante del universo. A temperatura y presión estándar, dos átomos del elemento se unen para formar el llamado hidrógeno molecular o dihidrógeno, un gas incoloro, inodoro e insípido pero inflamable cuya fórmula es H_2 . Debido a que su combustión no emite dióxido de carbono, sino únicamente agua, además de sus características químicas, se ha convertido en una de las fuentes de energía más prometedoras del futuro [21]. En Anexos en las Tablas 5.1 y 5.2, se presentan las propiedades generales, atómicas y físicas del hidrógeno. Debido a la alta reactividad del hidrógeno, este no se encuentra de forma pura en la naturaleza, sino que se encuentra mayormente combinado con otros elementos, como el oxígeno, formando moléculas de agua. Esto implica que el hidrógeno debe ser obtenido a través de distintos métodos de producción, cada uno con distintas materias primas, características y requisitos, que se describen a continuación [22].

1.2.2. Métodos de producción del hidrógeno:

Existe una gran variedad de métodos de producción de hidrógeno, a partir de una gran variedad de materias primas y procesos aplicados a estas. Las principales materias primas utilizadas son el agua, combustibles fósiles, biomasa, residuos orgánicos, biolíquidos y biogases renovables. Cada una de estas fuentes requiere de procesos específicos, tales como electrólisis, gasificación, reformado con vapor y procesos termoquímicos, cada uno con distintas características en cuanto a infraestructura, costos, eficiencia, viabilidad ambiental y disponibilidad de recursos. A continuación en la Figura 1.6, se presenta un mapa conceptual de los distintos métodos de producción del hidrógeno, siendo las dos ramas principales las generadas a través de combustibles fósiles y recursos renovables. Se incluye, además, una descripción y características principales de los métodos de producción más utilizados y más relevantes.

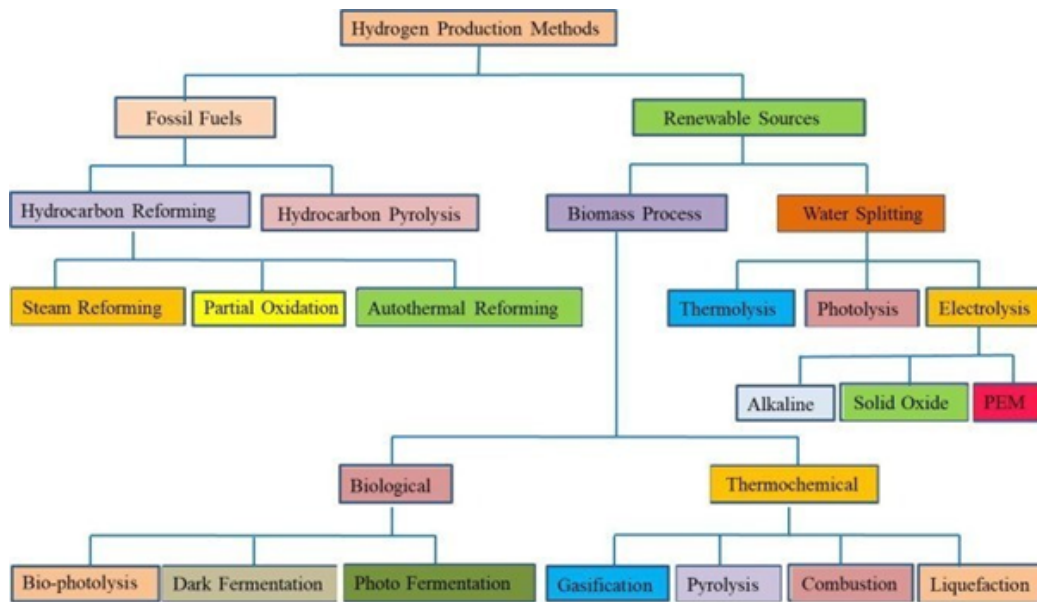


Figura 1.6: Diagrama que muestra los métodos de producción de hidrógeno, agrupados según su fuente: combustibles fósiles o recursos renovables [23].

Tipos de métodos de producción del hidrógeno clasificados por materia prima:

- 1. Reformado de Hidrocarburos (Hydrocarbon Reforming): Es el método de producción de hidrógeno más utilizado en la actualidad. Utiliza como materia prima el gas natural (CH_4) y se considera un proceso termoquímico. En este método, el gas natural, junto con el agua se calientan en presencia de un catalizador, monóxido de carbono (CO) y agua (H_2O) [24].

Características:

Método de menor costo y alto rendimiento.

Dependencia de combustibles fósiles y altas emisiones de CO_2 .

- 2. Electrolisis del Agua (Electrolysis): El método se considera un proceso electroquímico donde se disocia la molécula de agua en sus dos componentes, hidrógeno y oxígeno, mediante el uso de electrolizadores. Existen diversos sistemas de electrolisis, promovidos por el uso de energías renovables [25].

Características:

Este método destaca por la posibilidad de utilizar energías renovables durante su proceso para la producción de hidrógeno verde.

Utiliza como materia prima el agua.

Existen distintos tipos de electrolizadores siendo los principales electrolizadores del agua los electrolizadores alcalinos, electrolizadores PEM y electro-

lizadores de óxidos sólidos.

- 3. Gasificación del carbón (Gasification): En este método, el carbón en estado sólido se transforma en un combustible gaseoso conocido como syngas, que está compuesto principalmente por CO y H₂. Existen procesos de retiro de sustancias indeseables del syngas, obteniendo una fuente gaseosa más limpia y versátil [26].

Características:

Dependencia de combustibles fósiles y altas emisiones de CO₂.

Posibilidad de captura de CO₂, reduciendo el impacto ambiental.

- 4. Termólisis (Thermochemical): Es un método térmico, que consiste en la producción de hidrógeno mediante procesos puramente térmicos, donde un compuesto se separa en al menos otros dos cuando se somete a un aumento de temperatura, la materia prima a utilizar principalmente es el agua [26].

Características:

Altas eficiencias y no produce emisiones si se utilizan fuentes de calor renovables.

Tecnología en desarrollo, desafíos en costos y materiales.

- 5. Producción Bioquímica (Biological): Es la producción de hidrógeno por medio de procesos biológicos, basándose en enzimas presentes en ciertos microorganismos especializados. Destacan los procesos de biofotólisis, que aprovechan directamente la luz para disociar la molécula de agua [25].

Características:

Depende de la estabilidad y eficiencia de microorganismos, tecnología en desarrollo.

Bajo impacto ambiental y bajo uso de energía.

- 6. Fotocatálisis y fotoelectrólisis (Photolysis): Método que utiliza la luz solar y catalizadores (desencadenan reacciones químicas), para disociar la molécula de agua en hidrógeno y oxígeno.

Características:

Bajas emisiones al aprovechar la energía solar.

Tecnología en desarrollo.

1.2.3. Tipos de hidrógeno

Existen métodos de producción de hidrógeno que van desde el uso de energías renovables realizando procesos de producción sostenibles hasta métodos de producción que generan grandes cantidades de contaminantes. A continuación, dentro de la Figura 1.7, se presentan los principales tipos de hidrógeno, ordenados desde el menos contaminante al más contaminante [27]:

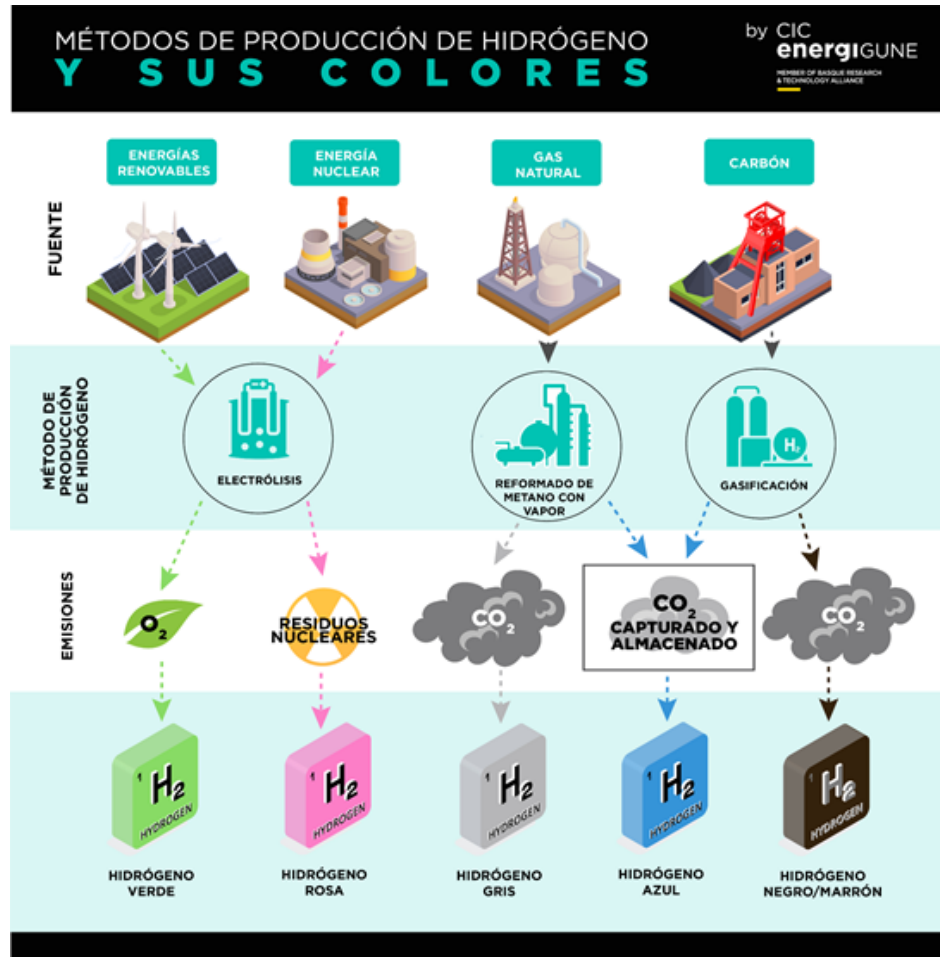


Figura 1.7: Diagrama de colores del hidrógeno según su materia prima y proceso [26].

- Hidrógeno verde: Es hidrógeno producido a través de fuentes de energía renovable, como la energía solar o eólica, para alimentar el proceso de electrólisis del agua. Es el tipo de hidrógeno más limpio y sostenible, ya que no produce emisiones de gases de efecto invernadero.
- Hidrógeno rosa: Similar al método anterior, se obtiene hidrógeno a través de la electrólisis del agua, pero utilizando energía de la energía nuclear.

- Hidrógeno púrpura: Es hidrógeno producido a partir de biomasa, como la madera o los residuos agrícolas, mediante un proceso de gasificación que produce hidrógeno y otros gases. El proceso utiliza energía renovable y puede ser más sostenible que el hidrógeno gris o azul.
- Hidrógeno azul: El hidrógeno azul se produce reformando los combustibles fósiles, utilizando tecnologías de captura y almacenamiento de carbono (CCS) para reducir las emisiones de dióxido de carbono. El CO₂ producido se captura y se almacena en bolas subterráneas o se transporta para el uso de este gas por algunas industrias (fertilizantes y químicas)
- Hidrógeno gris: Es el hidrógeno producido a partir de gas natural mediante el proceso de reformado con vapor, que emite dióxido de carbono a la atmósfera. Es el tipo de hidrógeno más común en la actualidad debido a su bajo costo de producción.
- Hidrógeno marrón/negro: Es hidrógeno producido a partir del carbón mediante el proceso de gasificación, que emite grandes cantidades de dióxido de carbono a la atmósfera. Es un tipo de hidrógeno altamente contaminante y no se considera una fuente sostenible de energía.

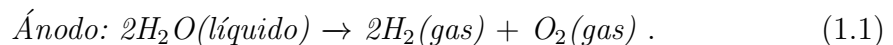
1.2.4. Electrolizadores

El electrolizador es un aparato que permite la producción de hidrógeno mediante un proceso químico llamado electrólisis, el cual es capaz de separar las moléculas de hidrógeno y oxígeno de las que se compone el agua usando electricidad. El hidrógeno producido dentro de los electrolizadores se encuentra a una baja presión, pudiendo almacenarse como gas comprimido o como gas licuado, mientras que el oxígeno es considerado un subproducto y es liberado o almacenado para otros procesos industriales. Como se mencionó anteriormente, el hidrógeno producido en los electrolizadores, cuando su fuente de electricidad es de fuentes renovables, es llamado hidrógeno verde, ya que no emite dióxido de carbono, es producido de manera sostenible y podría ser la base de una economía descarbonizada [28].

Los principales componentes de un electrolizador son una celda electrolítica con dos electrodos: un cátodo (carga negativa) y un ánodo (carga positiva), y una membrana. Un sistema de electrolizador contiene pilas de celdas de electrolizador, bombas, respiraderos, tanques de almacenamiento, una fuente de alimentación, un separador y otros componentes operativos.

La electrólisis ocurre dentro de las pilas de celdas cuando se aplica una corriente eléctrica a través de los electrolitos. El ánodo atrae los iones de hidróxido cargados negativamente (OH^-), liberando gas oxígeno (O_2), mientras que el cátodo atrae los iones de hidrógeno cargados positivamente (H^+) y libera hidrógeno gaseoso (H_2).

La reacción global de división electroquímica del agua en hidrógeno y oxígeno, mediante el suministro de energía eléctrica (y térmica) viene dada por [28],



Existen diversos tipos de electrolizadores. Sin embargo, los más utilizados son los electrolizadores alcalinos, electrolizadores de membrana de intercambio de protones (PEM), electrolizadores de óxido sólido(SOEL). A continuación, en la Figura 1.8, se presenta un esquema comparativo de estos tres tipos de electrolizadores. Sus descripciones, funcionamiento y características principales se desarrollarán en los párrafos siguientes [28].

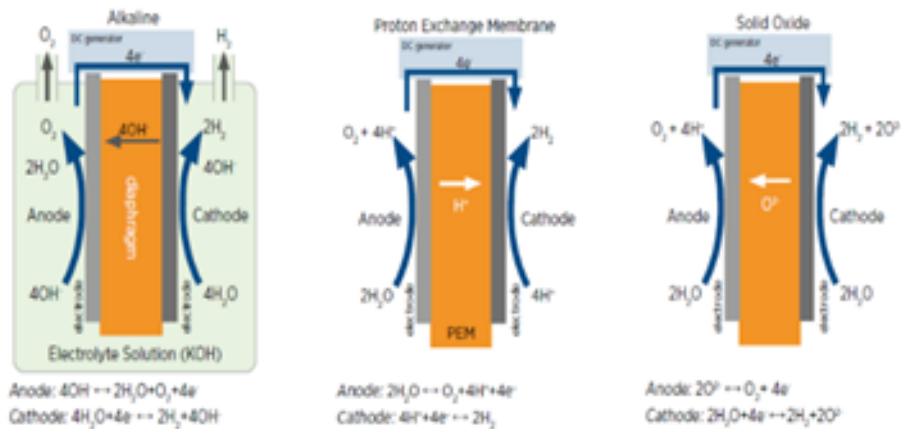


Figura 1.8: Esquema comparativo de electrolizadores alcalino, PEM y de óxido sólido, mostrando el ion transportado, sus reacciones y disposición básica de electrodos.

- Electrolizadores alcalinos: Los electrolizadores alcalinos utilizan una solución electrolítica, como hidróxido de potasio o hidróxido de sodio, y agua. El hidrógeno se produce en una celda compuesta por un ánodo, un cátodo y una membrana. Cuando se aplica corriente a la pila de celdas de electrólisis, los iones de hidróxido se mueven a través del electrolito desde el cátodo hasta el ánodo de cada célula, generándose burbujas de gas de hidrógeno en el lado del cátodo del electrolizador y de gas de oxígeno en el ánodo [17]. Es una de las alternativas más desarrolladas y comercializadas, no requiere de metales nobles como catalizador lo que reduce significativamente los costos. Sin embargo son equipos voluminosos que generan hidrógeno de una pureza media y no son muy flexibles en su operación (requiere de una fuente de energía estable), por lo que son preferidos para la producción a gran escala [29].

Ventajas:

Costes más bajos en comparación con la electrólisis PEM.

Resistencia frente a los contaminantes del agua.

Vida útil prolongada de la celda electrolítica (aprox. 40.000-80.000 horas de funcionamiento).

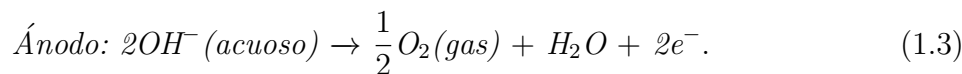
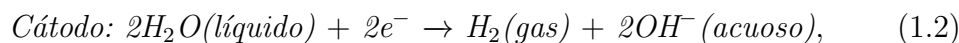
Máximo nivel de madurez tecnológica (TRL 8-9).

Desventajas:

Velocidad de reacción más lenta en comparación con la electrólisis PEM. Las temperaturas de funcionamiento más altas (70-100 °C) conllevan un mayor

consumo de energía. Integración más difícil en los sistemas existentes debido a los diferentes parámetros de funcionamiento [25].

Las reacciones que se producen en el cátodo y el ánodo son las siguientes:



- Electrolizadores de membrana polimérica (PEM): Los electrolizadores PEM utilizan una membrana de intercambio de protones y un electrolito polimérico sólido. Cuando se aplica corriente a la pila, el agua se divide en hidrógeno y oxígeno, y los protones del hidrógeno pasan a través de la membrana para formar gas de hidrógeno en el lado del cátodo [17]. Son los más populares porque producen hidrógeno de alta pureza, son los más adecuados para acoplarse a la variabilidad de las energías renovables y plantas pequeñas, son compactos y obtienen un hidrógeno de alta pureza. Por el contrario, son algo más caros al utilizar metales preciosos como catalizadores, como el iridio, platino y titanio [29].

Ventajas: Puesta en marcha y adaptación rápidas con cargas variables.

Alta eficiencia en el funcionamiento con cargas parciales.

Baja temperatura de funcionamiento (50-80 °C), lo que reduce el uso de materiales costosos.

Tamaño compacto e integración sencilla en los sistemas existentes. Alto nivel de madurez tecnológica (TRL 7-8).

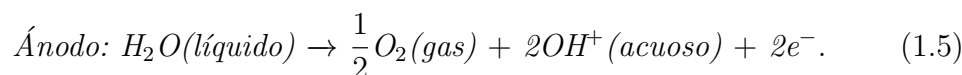
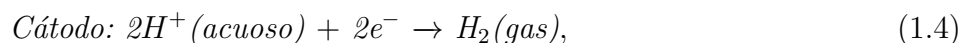
Desventajas:

Sensibilidad a las impurezas del agua, por lo que requiere un tratamiento previo del agua.

Vida útil limitada de la celda de combustible PEM (aprox. 10.000 horas de funcionamiento).

Mayores costes en comparación con la electrólisis alcalina [25].

Las reacciones que se producen en el cátodo y el ánodo son las siguientes:



- Electrolizadores de óxido sólido (SOEL): Este tipo de electrolizador es una tecnología que se encuentra en desarrollo y no se encuentra en comercialización, ya que funciona a altas temperaturas existen problemas en la durabilidad de sus componentes. Presenta ventajas frente a los otros métodos por tener una eficiencia de prácticamente el 100 % y la posibilidad de acoplar sistemas que requieran de calor.

Ventajas:

Alta eficiencia y recuperación de calor gracias a las altas temperaturas de funcionamiento (800-1.000 °C).

Flexibilidad en el uso de diferentes combustibles (p. ej., vapor, CO₂).

Desventajas:

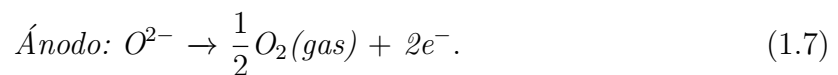
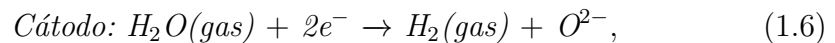
Las altas temperaturas de funcionamiento requieren el uso de materiales costosos y un aislamiento térmico especial.

Puesta en marcha y adaptación lentas con cargas variables.

Mayores dimensiones e integración compleja en los sistemas.

Poca experiencia operativa a gran escala [25].

Las reacciones que se producen en el cátodo y el ánodo son las siguientes:



Dentro de la Tabla 1.1, se presenta una tabla comparativa de las principales características a destacar a manera de resumir y comparar estas tecnologías.

Tabla 1.1: Tabla comparativa de los tres principales tipos de electrolizadores [30].

	Alcalinos	PEM	Óxido Sólido
Temperatura operación	70-90°C	50-80°C	700-850°C
Presión operación	1-30 bar	< 70 bar	1 bar
Eficiencia eléctrica	63-70%	56-60%	74-81%
Vida útil (horas operativas)	60.000 – 90.000 horas	30.000 – 90.000 horas	10.000 – 30.000 horas
Carga (% respecto a la carga nominal)	10-110%	0-160%	20-100%
Electrodo / catalizador (lado oxígeno)	Acero inoxidable perforado recubierto de níquel	Óxido de iridio	Estructuras de tipo perovskita (Ej. LSCF, LSM)
Electrodo / catalizador (lado hidrógeno)	Acero inoxidable perforado recubierto de níquel	Nanopartículas de platino sobre negro de carbón	Níquel / YSZ
Pureza H ₂	99.9% - 99.9998%	99.9% - 99.9999%	99.9%
Footprint para la instalación de 1 GW de electrolizador	10 – 17 hectáreas	8 – 13 hectáreas	
Costo de Inversión (USD/kWe)	500 – 1.400	1.100 – 1.800	2.800 – 5.600
Tamaños stack	MW	MW	5 kW

Fuente: IEA, 2019. The Future of Hydrogen IRENA, 2020. Green Hydrogen Cost Reduction: Scaling up Electrolysers to Meet the 1.5°C Climate Goal.

1.2.5. Tecnologías de refrigeración de equipos industriales

Un sistema de refrigeración industrial es un dispositivo diseñado para disminuir el calor de un equipo a través de un intercambio calorífico mediante el uso de refrigerantes. Se compone principalmente por un intercambiador de calor, que es el medio por el cual ocurre la transferencia de calor, y un enfriador que se encarga de disminuir la temperatura del refrigerante.

Estos sistemas de refrigeración son esenciales en distintos sectores como la conservación de alimentos y productos, la climatización de espacios, la manufactura, la producción de energía, y la industria química. El control térmico asegura condiciones climáticas de producción, previene sobrecalentamientos, reduce desgastes, aumenta la vida útil y asegura el correcto funcionamiento de equipos que generan calor.

Existen distintos tipos de sistemas de refrigeración industrial, con distintas características que varían dependiendo del tipo de industria, características del proceso, condiciones ambientales y requerimientos técnicos. A continuación, se describen los distintos clasificaciones y tipos de refrigerantes más utilizados [31].

Clasificación sistemas de refrigeración:

- Sistema de refrigeración cerrado o abierto: En un sistema de refrigeración cerrado, el refrigerante se encuentra aislado y no entra en contacto con el ente a refrigerar en ningún momento, mientras que en un sistema de refrigeración abierto el agente de enfriamiento entra en contacto directo con el medio que debe ser enfriado.
- Sistema de refrigeración directo o indirecto: En un sistema de refrigeración directo solo se encuentra un intercambiador de calor, mientras que en el indirecto se incluyen al menos dos intercambiadores de calor [32].

Clasificación por tipos refrigerantes: Existen variados refrigerantes, los cuales varían principalmente por la aplicación en la cual se utilizará el sistema de refrigeración.

- Aire: Se basa en el intercambio de calor entre el aire a temperatura ambiente y el medio a enfriar, que suele encontrarse a una temperatura mayor. Es uno de los métodos tradicionales más utilizados en variadas industrias.
- Líquido: Comúnmente conocidos como watercooling, es el método de refrigeración más utilizado. Suele utilizarse como fluido agua o agua con aditivos como el glicol debido a su gran conductividad térmica y calor específico. Esto permite una efectiva transferencia de calor y aplicaciones de altas distancias.
- • Climatizadores evaporativos: Funciona mediante el uso de unas almohadillas que se saturan con agua con la finalidad de absorber el calor del aire, para luego evaporarse. Son comúnmente utilizados para la climatización de grandes espacios.
- Termoeléctrica: Su funcionamiento se basa en el contacto físico de dos metales o semiconductores que se encuentran a distinta temperatura. Permite la posibilidad de invertir la polaridad, ofreciendo una gran versatilidad, además de ser amigables con el medio ambiente, ya que no ocupan gases nocivos. Comúnmente utilizada en entornos industriales.
- Por criogenia: Se basa en el uso de materiales a temperaturas muy bajas, entre $-78\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$. Se suele utilizar nitrógeno líquido o hielo seco. Resultan altamente eficaces, ya que, al haber una gran diferencia de temperatura, alcanzan un rápido y efectivo enfriamiento [33].

1.2.6. Bomba de calor

Una bomba de calor es un dispositivo que basa su funcionamiento en la termodinámica para el transporte de energía térmica de un medio a otro, permitiendo así el enfriamiento o calentamiento de un espacio o equipo. Es un dispositivo sumamente utilizado en la refrigeración y calefacción por su polivalencia en aprovechar el calor de distintos medios (aire, agua y tierra), alta eficiencia, baja contaminación y bajos gastos en mantenimiento. Esta transferencia de calor de un medio

a otro se logra a través de un ciclo de compresión y expansión del refrigerante (comúnmente se usa el refrigerante R32). A diferencia de un sistema de calefacción que genera calor, la bomba de calor desplaza el calor de un medio a otro, lo que la hace sumamente eficiente en comparación a los sistemas convencionales. Dependiendo de la configuración de la bomba de calor, esta puede utilizarse tanto para refrigeración como para calefacción, lo que lo convierte en una alternativa sumamente eficiente para el control de temperatura [34].

A continuación, se describen los principales cuatro componentes de la bomba de calor para posteriormente explicar su funcionamiento:

- Compresor: Se encarga de comprimir el líquido refrigerante, aumentando su presión y su temperatura.
- Condensador: Actúa como un intercambiador de calor, donde el refrigerante caliente se enfría condensándose, lo que cede energía en forma de calor al ambiente o al medio según se requiera.
- Válvula de expansión: Componente que, por medio de un cambio de sección, provoca una reducción brusca de la presión del refrigerante y reducción de temperatura. Adicionalmente, evita que el refrigerante en estado líquido entre en el compresor, lo cual puede provocar grandes fallas en este.
- Evaporador: Actúa como un intercambiador de calor, donde el refrigerante que se encuentra a una baja presión y temperatura absorbe calor del medio externo, haciendo que este se evapore pasando de estado líquido a gaseoso.

El funcionamiento de la bomba de calor se basa en un ciclo termodinámico que se puede dividir en cuatro pasos correspondiente a los procesos realizados en los principales componentes:

- 1. Dentro del primer paso, el refrigerante se encuentra a baja temperatura y presión, en estado líquido, y pasa por el evaporador donde se absorbe calor del medio externo, lo que provoca que el líquido refrigerante se evapore, aumentando su temperatura.
- 2. El líquido refrigerante evaporado pasa por el compresor, donde se aumenta su presión y temperatura del líquido refrigerante.
- 3. El líquido refrigerante evaporado, a alta presión y temperatura, pasa por el condensador donde cede calor al medio externo, provocando que el líquido refrigerado se condense.
- 4. El líquido refrigerante en estado líquido pasa por la válvula de expansión, reduciendo su temperatura y presión, volviendo al punto inicial en las condiciones iniciales. De esta forma, se puede volver a iniciar el ciclo termodinámico.

Como se mencionó anteriormente, la bomba de calor se puede usar tanto para refrigeración como para calefacción. Esto se logra invirtiendo el sentido del flujo del refrigerante, haciendo que el medio externo que inicialmente absorbe calor ceda calor, y que el medio interno que inicialmente cedía calor absorba calor. Esto se puede visualizar de mejor manera dentro de la Figura 1.9, donde el esquema izquierdo se encuentra circulando en sentido horario, mientras que el esquema derecho se encuentra en sentido antihorario.

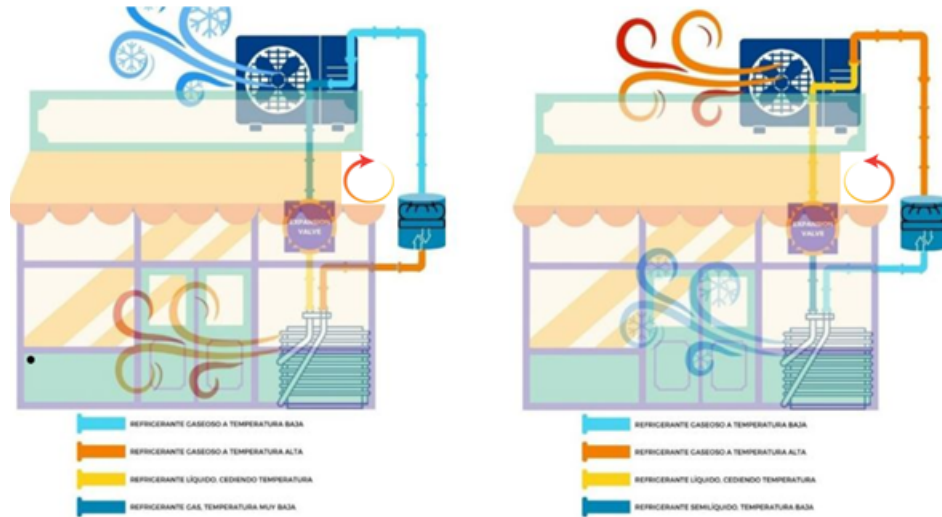


Figura 1.9: Diagrama comparativo del ciclo de refrigeración (izquierda) y calefacción (derecha) en una bomba de calor, mostrando la inversión del flujo del refrigerante y los estados térmicos en cada etapa del circuito [34].

Existen distintos tipos de bombas de calor dependiendo de la aplicación en la que se quiera utilizar. La principal diferencia entre los distintos tipos es el medio del cual se absorbe o cede calor al condensador y el evaporador. Los principales tipos se describen a continuación:

- Bomba de calor aire-aire: Utiliza aire exterior para calentar o enfriar el interior de un edificio o espacio mediante aire.
- Bomba de calor aire-agua: Utiliza aire exterior para calentar o enfriar un circuito de agua que puede ser cerrado o abierto.
- Bomba de calor agua-agua: Utiliza fuentes de agua como lagos, ríos, aguas subterráneas para calentar o enfriar agua de otra fuente.
- Bomba de calor geotérmica: Utiliza como fuente de calor aguas subterráneas o del suelo para calentar distintos medios (Varia según la aplicación).

1.2.7. Bomba hidráulica

La bomba hidráulica es un dispositivo que transforma energía mecánica (torque y velocidad del motor) en hidráulica (caudal).

El funcionamiento de las bombas se basa en el principio de crear un diferencial de presión que impulse el fluido a través de un sistema. Dependiendo del diseño de la bomba, este diferencial de presión se puede lograr mediante movimiento rotatorio o movimiento alternativo [35].

Las bombas se clasifican principalmente en dos categorías: bombas de desplazamiento positivo y bombas de flujo dinámico. A continuación en la Figura 1.10, se describen los tipos de bombas en función de esta clasificación [36].

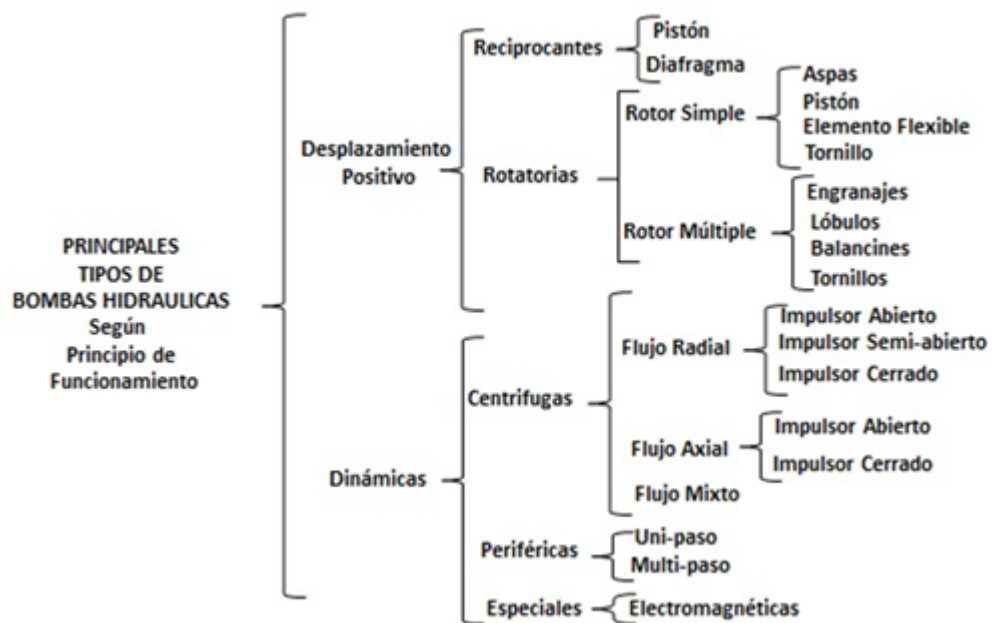


Figura 1.10: Clasificación jerárquica de bombas hidráulicas según su principio de funcionamiento, distinguiendo entre desplazamiento positivo (reciprocantes y rotatorias) y dinámicas (centrífugas, periféricas y especiales). [36].

- Bombas de Desplazamiento Positivo: Una bomba de desplazamiento positivo es aquella que desplaza (entrega) la misma cantidad de fluido por cada ciclo de rotación del elemento de bombeo. Están diseñadas para tratar una amplia gama de viscosidades y proporcionar un caudal constante, por lo que son opciones habituales para aplicaciones que requieran caudales precisos o presiones altas. Las aplicaciones más comunes se dan en las industrias alimentaria, química y farmacéutica.

Dentro de esta categoría, los tipos más comunes son:

Bombas reciprocantes: Su funcionamiento se basa en el movimiento alternativo de un pistón o diafragma, succionando en un sentido y expulsando en el opuesto. Esto genera cambios en la presión del fluido que permiten la entrada y salida controlada del flujo a través de válvulas. Ideal para aplicaciones en la que se requiere un manejo exacto del flujo del fluido [37].

Bombas rotatorias: En las bombas rotatorias, mediante la rotación de engranajes, émbolos giratorios y paletas, se lleva el líquido desde la succión hasta la salida. Sus aplicaciones se recomiendan para líquidos viscosos e industria de alimentos al generar un flujo continuo, aunque se puede aplicar a variados fluidos que no contenga sólidos abrasivos.

- Bombas dinámicas: Las bombas dinámicas tienen rodetes o álabes giratorios para transferir fluidos de un lugar a otro. El tipo más común son las bombas centrífugas. Estas bombas se utilizan habitualmente en aplicaciones que requieren caudales elevados y mueven fluidos de baja viscosidad, como en instalaciones de tratamiento y distribución de agua, plantas de tratamiento químico y refinerías de petróleo [38].

Dentro de esta categoría, los tipos más comunes son:

Bombas Centrífugas: Se compone de dos elementos principales impulsor y voluta, donde se incrementa la velocidad del fluido mediante el rodete, aprovechando la fuerza centrífuga y transformándola en un aumento de la presión. Estas bombas se utilizan en aplicaciones como suministro de agua, sistemas de refrigeración, procesamiento químico y petroquímico [39].

Bombas periféricas: Las bombas periféricas o tipo turbina tienen álabes que giran a grandes velocidades, produciendo un gran aumento de la presión para fluidos de bajo flujo. Son comúnmente utilizadas para aumentar la presión de agua en viviendas, sistemas de calefacción y sistemas de refrigeración [40].

La selección de bombas requiere considerar variables como el caudal, la presión de trabajo y la altura de elevación. Para facilitar la selección de la bomba adecuada, se suelen utilizar gráficos de rendimiento conocidos como curvas de rendimiento de la bomba. Estas curvas muestran la relación entre la presión (o altura) y el caudal para una bomba específica, a distintas velocidades de operación o tamaños de impulsor. A continuación, se presenta la Figura 1.11, con una de las curvas de rendimiento más representativas. Posteriormente, se describen las cuatro principales curvas utilizadas en la selección de bombas. [41]:

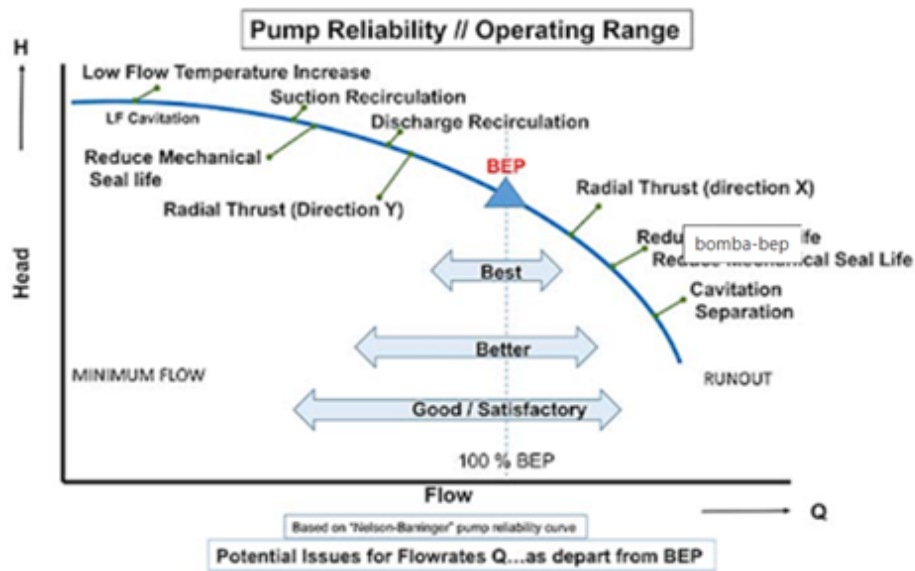


Figura 1.11: Curva de fiabilidad operativa de una bomba, destacando el punto de mejor eficiencia (BEP) y los efectos negativos al operar fuera de este, como cavitación, recirculaciones, y mayor desgaste del sello mecánico [41].

- Curva de Rendimiento (Head vs. Flow Rate): Este gráfico muestra cómo varía la presión de salida en función del caudal. Esta curva es diferente para cada tipo de bomba, aunque por lo general a medida que aumenta el caudal la presión de salida disminuye.
- Curva de Eficiencia: Este gráfico muestra la eficiencia de la bomba en función del caudal, existiendo un punto de mejor eficiencia llamado BEP (best efficiency point). En este punto, el impulsor tiene una fuerza radial mínima, promoviendo bajas vibraciones y ruidos, lo que se traduce en un menor mantenimiento y mayor vida útil del equipo.
- Curva de Potencia: Es utilizada para evaluar el rendimiento de una bomba, donde en la curva se relaciona la potencia requerida por la bomba en función del caudal. Es importante operar en un rango de potencia manejable, evitando sobrecargas del motor.
- Curva NPSH (Net Positive Suction Head): El NPSH corresponde a la presión mínima en la entrada de la succión de la bomba para superar las pérdidas de entrada y evitar la cavitación. La curva NPSH entrega las características de la succión de la bomba a diferentes flujos, evitando problemas de cavitación, que causan un deterioro temprano en la bomba.

1.3. Identificar componentes y condiciones de operación del electrolizador PEM H4 Series Nel

El electrolizador PEM H4 Series Nel, es un equipo que utiliza la tecnología de electrólisis de agua mediante una membrana de intercambio de protones (PEM). Mediante este proceso electroquímico, se separa el hidrógeno del oxígeno dentro de la molécula del agua utilizando electricidad.

El electrolizador está diseñado para operaciones en ambientes interiores no clasificados y bien ventilados, pudiendo generar 4 Nm³/h de hidrógeno puro, con una pureza del 99,9995% y una presión máxima de 15 bar. Esta presión es generada de manera continua siempre que se disponga de energía y agua desionizada (DI) según los requerimientos técnicos presentados posteriormente.

El electrolizador PEM H4 Series Nel destaca por su diseño compacto, modular y de construcción robusta, lo que permite una fácil instalación y mantenimiento. Cuenta con un sistema de control avanzado que monitorea en tiempo real distintos parámetros de operación como presión, flujo de hidrógeno, presión, temperatura y calidad del agua. La unidad contiene todos los sensores y controles necesarios para ayudar a monitorear la seguridad, el rendimiento y el funcionamiento automático del sistema, además de permitir el monitoreo y diagnóstico remoto opcional.

Este equipo resulta ser una alternativa óptima para las condiciones del galpón de la UTFSM, sede Viña del Mar, al ser un espacio cerrado con gran ventilación y facilidad de acceso a energía renovable, gracias a los paneles solares ubicados sobre el tejado del galpón. Por lo que se generaría hidrógeno verde con una alta pureza, que puede ser utilizado para diversas aplicaciones tanto académicas como industriales. A continuación se presenta la Figura 1.12, se muestra una imagen del electrolizador PEM H4 Series Nel.



Figura 1.12: Imagen electrolizador PEM H4 Series Nel.

1.3.1. Especificaciones técnicas, dimensiones y interfaces mecánicas.

Se enumeran las principales especificaciones técnicas, dimensiones del equipo e interfaces mecánicas de conexión necesarias para su operación. Las imágenes y fichas técnicas detalladas que respaldan esta información se encuentran incluidas en Anexos, en las Tablas 5.3 y 5.4, y Figuras 5.25, 5.26 y 5.27

1.3.2. Identificación de los componentes y sistemas del electrolizador.

Para una mejor comprensión del funcionamiento y de los componentes presentes en el equipo, se dividirá en tres sectores principales: el recinto de fluidos, recinto eléctrico y interfaces mecánicas. Dentro de la Figura 1.13, se presenta el interior del electrolizador, donde se describirán las funciones y los componentes presentes del recinto de fluidos (sector izquierdo) y el recinto eléctrico (sector derecho).

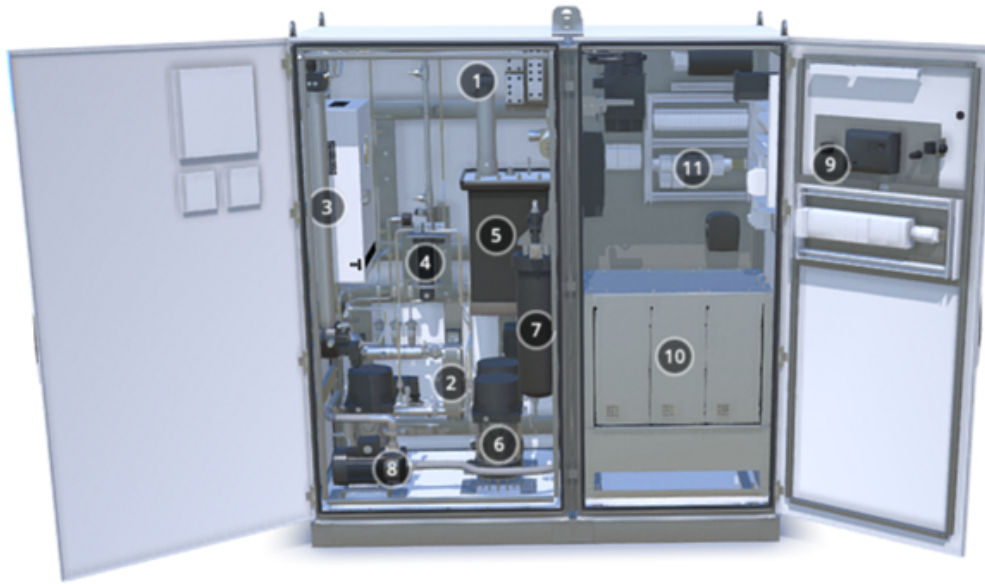


Figura 1.13: Vista interna del electrolizador PEM H4 Series de Nel, con identificación numérica de sus componentes principales, organizados por sectores.

La información recopilada en esta sección es extraída de los manuales de usuario y de instalación del electrolizador.

- Recinto de fluidos:

Dentro del recinto de fluidos se llevan a cabo las funciones relacionadas al manejo y procesamiento de los fluidos y gases necesarios para el funcionamiento del electrolizador. Contiene elementos clave como el ventilador de dilución, pilas de celdas y subsistemas WOMS y HGMS.

Se encuentran 2 sub sistemas:

- Subsistema de Gestión de Agua y Oxígeno(WOMS):Se encarga de separar una mezcla de dos fases compuesta por gas oxígeno y agua proveniente de las pilas de celdas electrolíticas. Existe un sensor de gas combustible (identificación P&ID CG220) encargado de controlar el valor de hidrógeno en oxígeno, el cual normalmente puede ser de un 0,5% de hidrógeno en volumen, sí se detecta un valor de hidrógeno en oxígeno del 50% el sistema se detiene.A continuación, en la Figura 1.14, se presenta el diagrama este subsistema.

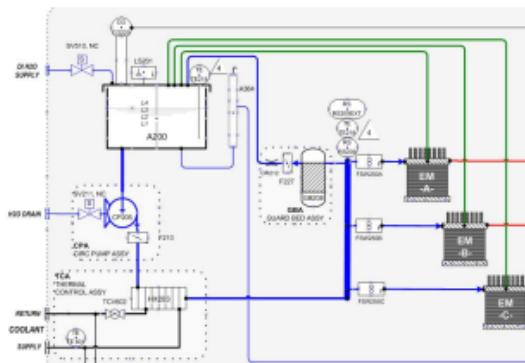


Figura 1.14: Diagrama de Tuberías e Instrumentación (PID) del subsistema WOMS del Generador de Hidrógeno H Serie 4.

El subsistema WOMS presenta las siguientes características:

- Minimiza la evaporación de agua.
- Permite la descarga de agua.
- Mantiene y monitorea la calidad del agua y su disponibilidad.
- Evita y resuelve el riesgo debido a fallas de la pila de celdas.
- Recibe una corriente de dos fases, agua e hidrógeno, del sistema de gestión de hidrógeno (HGMS).
- Suministra agua enfriada y filtrada a las tres pilas de celdas.
- Rechaza el calor residual del proceso a través de una interfaz de agua de proceso.
- Evacua el oxígeno.
- Subsistema de Gestión de Gas Hidrógeno Componentes(HGMS): Se encarga de separar el hidrógeno producido del agua y entrega como producto hidrógeno seco de alta pureza a presión. A continuación, en la Figura 1.15, se presenta el diagrama de este subsistema.

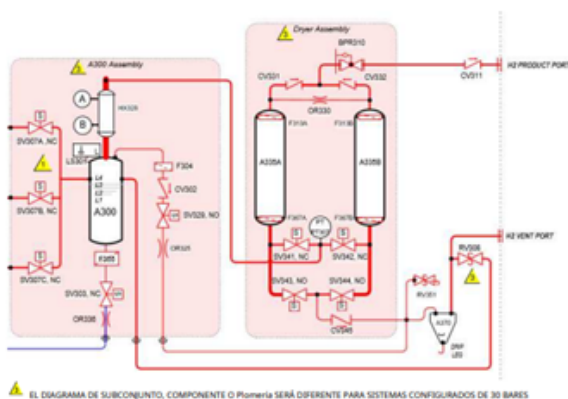


Figura 1.15: Diagrama de Tuberías e Instrumentación PID del subsistema HGMS del Generador de Hidrógeno H Serie 4.

El subsistema HGMS presenta las siguientes características:

- Recibe una corriente de dos fases, hidrógeno a presión/agua.
- Entrega una corriente de una sola fase de gas hidrógeno, con una pureza de al menos 99,999 %.
- Entrega al Subsistema WOMS una corriente líquida de agua (que por lo general incluye gas hidrógeno disuelto).

Componentes recinto de fluidos:

- 1. Detector de gas combustible: Detecta fugas de hidrógeno en el sistema.
- 2. Intercambiador de calor: Elimina el exceso de calor del sistema para garantizar un funcionamiento adecuado.
- 3. Secador de gas hidrógeno: Elimina la humedad del gas hidrógeno para mejorar la pureza general.
- 4. Separador de fases de hidrógeno: Separa el hidrógeno gaseoso del agua que sale de la pila de celdas.
- 5. Separador de fases de oxígeno: separa el oxígeno gaseoso del agua que sale de la pila de celdas.
- 6. Pilas de celdas: genera hidrógeno y oxígeno a partir del agua utilizando tecnología PEM.
- 7. Cama de pulido con agua desionizada : Mantiene la integridad del agua antes del contacto con la pila de celdas.

- 8. Bomba de circulación: Hace circular agua desionizada a través del sistema.

- Recinto eléctrico:

En el recinto de la alimentación eléctrica se realizan las conexiones eléctricas de entrada y salida necesarias, así como el control principal del equipo. Brinda alimentación eléctrica a la bomba (380-480 VCA), a las pilas de celdas (CC según requerimientos), subsistemas, ventilación y fuente de alimentación de 24 VCC. Además, permite realizar puntos de prueba con fines de diagnóstico y cuneta con un panel de control para el funcionamiento de la unidad.

Los controles cubren la puesta en marcha automática, la capacidad de entrega del producto, el monitoreo de la seguridad y el control de todos los modos de funcionamiento.

El sistema de control presenta las siguientes características:

- Ofrece una interfaz de usuario de fácil utilización para los operadores de equipos y el personal de reparación y mantenimiento (Panel de control).
- Presenta un circuito de seguridad que incluye control de presión e interruptores de corte tal como Parada de Emergencia (E-Stop), inundación y presión para desactivar circuitos en el recinto de fluidos, para la presurización Tipo X conforme a norma NFPA 496.

Componentes:

- 9. Panel de control: Proporciona una interfaz de usuario para controlar y monitorear la unidad.
- 10. rectificadores: convierte CA a CC para electrólisis PEM
- 11. Contactos mecánicos del rectificador: retire la alimentación de CA de los rectificadores a menos que se cumplan las condiciones de seguridad para la electrólisis PEM.

1.3.3. Condiciones de operación del electrolizador PEM H4 Series Nel.

Ventilación:

La ventilación es crucial para una operación segura del electrolizador, debido a posibles acumulaciones de gases inflamables, como el hidrógeno, además de la dilución del oxígeno como sub producto de la operación. Para esto se cuenta con detectores de hidrógeno en el interior del electrolizador y un sistema de ventilación para la dilución del oxígeno. Adicionalmente se deberá cumplir con requisitos de ventilación descritos en la sección 2.1 ,sección 2.2.1 y tabla de especificaciones técnicas de la sección 1.7 del “Manual de instalación y operación, Generador de Hidrógeno H Serie 4 Nel H Series” [42].

Agua desionizada:

Los requerimientos de agua desionizada para el electrolizador se presentan en la siguiente tabla mostrada en Anexos, en la Tabla 5.5 .

El equipo seleccionado para satisfacer estos requerimientos de agua desionizada es el PURELAB Chorus 2 PC210DIBPM3 de la marca Elga Veolia, las especificaciones técnicas se encuentran en en Anexos, en la Tabla 5.6.

Sector de instalación:

El electrolizador está diseñado para el uso en interiores, emplazado en una pendiente no mayor a +- 1 grado y un espacio libre a los lados y frente del electrolizador mayor a 1 metro .El electrolizador está clasificado para temperaturas ambiente y no está diseñado para condiciones de congelación que podrían ocasionar daños en el equipo. La temperatura del agua del sistema es crucial para una alta calidad del hidrógeno producido deteniendo al alcanzar una temperatura de 65 °C, al igual que la temperatura del agua de refrigeración que no puede superar los 35 °C. Interfaz mecánica de sistema de drenaje especificado en la sección anterior para asegurar la calidad del agua DI. Suministro eléctrico con una entrada de 380-480 VCA, 50/60 Hz para la alimentación principal, cabe destacar que en caso de uso de energías renovables se debe garantizar una operación estable y continua del suministro eléctrico.

H2 reliv y sistema de compresión y almacenamiento:

El sistema de compresión y almacenamiento es clave para el manejo del hidrógeno producido por el electrolizador, permitiendo su acumulación y posterior uso en distintas aplicaciones. Dado que se trabaja con hidrógeno a alta presión, se consideraron estrictas normativas de seguridad como el Decreto 13/2022 en Chile y la norma NFPA 2. El sistema implementado incluye un compresor H2 Booster RC 4 KW de AEROTECNICA COLTRI, que eleva la presión desde 4 bar a 200 bar, y un estanque de 190 litros que permite almacenar hasta 2,88 kg de hidrógeno. Las tuberías utilizadas son de acero inoxidable AISI 316L de 1/4” sin soldadu-

ra, con racores curvados para evitar fugas. Se cuenta con un diagrama de flujo para asegurar una integración eficiente entre los equipos, considerando presiones y caudales críticos. En cuanto a seguridad, se cuenta con sensores de fugas, detección de incendios, monitoreo continuo, paradas de emergencia y protocolos de operación, garantizando una operación segura en un entorno con tránsito de personas. Este sistema asegura el funcionamiento confiable y seguro del proceso de almacenamiento de hidrógeno en la planta.

Sistema de refrigeración:

El desarrollo de las condiciones de operación del sistema de refrigeración se presenta próximamente en la sección 3 del presente informe, desarrolladas a profundidad en base a la información recopilada dentro de los manuales y información adicional.

2. Desarrollar pruebas de puesta en marcha del electrolizador, asegurando su correcto funcionamiento

2.1. Situación inicial de recepción del equipo y reconocimiento equipo

Como condición inicial del equipo, este ya había sido decepcionado y montado en el Laboratorio de Energías Renovables de la Universidad Técnica Federico Santa María sede Viña del Mar. En cuanto a su ubicación dentro del laboratorio, se encuentra en un lugar con buena ventilación, suelo nivelado y espacio suficiente alrededor del electrolizador para futuras instalaciones de sistemas adicionales mencionados anteriormente. Se cuenta con una red trifásica estable necesaria para energizar el equipo con energía proveniente de los paneles solares instalados dentro de la misma sede de la universidad.

Primeramente, se realizó un reconocimiento del equipo, identificación de los componentes situados dentro del laboratorio en cajas para su posterior instalación y lectura de los manuales de instalación y mantenimiento del equipo entregados por el fabricante. La instalación se llevó a cabo siguiendo las instrucciones del “Manual de instalación y operación, Generador de Hidrógeno H Serie 4 Nel” dentro de la sección 2 DISPOSICIÓN GENERAL Y DISEÑO DEL GENERADOR DE HIDRÓGENO[42].A continuación, en la Figura 2.1, se presenta la situación inicial de recepción del equipo dentro del laboratorio.



Figura 2.1: Imágenes de situación inicial del electrolizador dentro del laboratorio.

Durante el primer día se realizó un reconocimiento del equipo, lectura de manuales entregados por el fabricante y reconocimiento de componentes a instalar, tales como celdas PEM, filtro de aire, lecho protector, purificador de agua, entre otros.

2.2. Instalación y pruebas de puesta en marcha del electrolizador

Se inició la instalación del equipo con la sección 2.10 Instalación de la pila de celdas, luego 2.11 Instalación de la caja de Filtros de Aire de Entrada y Salida, 2.12 Instalación de Cubiertas externas y 2.13 Instrucciones de instalación del lecho protector del “Manual de instalación y operación, Generador de Hidrógeno H Serie 4 Nel”.

Para la instalación de las pilas de celdas, primeramente, se reconoció que, dado que la capacidad de producción del modelo H4 es de $4 \text{ Nm}^3/\text{h}$, se requieren dos pilas de celdas, las cuales deben ser ubicadas según la figura 32 del manual en las posiciones A y B. Con las conexiones de la pila de celdas como se muestra en la figura 33 del manual. El procedimiento se llevó a cabo como se mencionó anteriormente según la sección 2.10 realizando verificaciones de su correcta instalación según las instrucciones. A continuación se presenta la Figura 2.2, con figuras presentes dentro de la sección 2.10 para la instalación de las pilas de celdas.

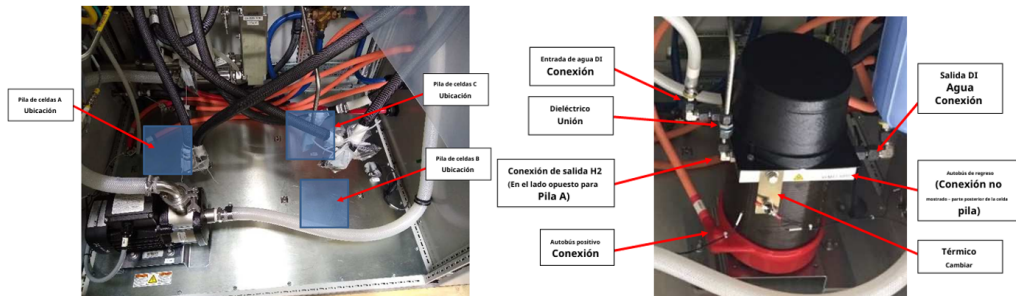


Figura 2.2: Figuras de relevancia sección 2.10 del “Manual de instalación y operación, Generador de Hidrógeno H Serie 4 Nel”

En la instalación de los filtros de aire y cubierta externa, primeramente, se retira la rejilla desmontable, dejando al descubierto un elemento filtrante que debe ser retirado y desechado. Luego, se instaló la caja de filtros mediante el apriete de tornillos y se insertó el filtro de aire, para posteriormente asegurar su posicionamiento con la cubierta externa de la caja de filtros, el detalle de los pasos a seguir se encuentra como se mencionó anteriormente en la sección 2.11 y 2.12. A continuación se presenta la Figura 2.3, con figuras presentes dentro de la sección 2.11 y 2.12 para la instalación de los filtros de aire y cubierta externa.



Figura 2.3: Imagen de colocación de filtros de aire y de filtro reinstalado.

Para la cámara protectora se reconocen dos elementos el Cartucho del filtro del lecho protector y la carcasa del lecho de protección. En primer lugar, se retiró una película protectora del cartucho y se insertó dentro de la carcasa del lecho de protección, asegurándose de que el anillo del cartucho se encuentre hacia arriba y que la junta se encuentre posicionada dentro de las muescas de la carcasa. Finalmente, se ensambló el conjunto en la parte superior del recinto del lecho protector, primeramente se ajusta de forma manual y luego $\frac{1}{4}$ de vuelta con la llave que se muestra en la figura 44 del manual. A continuación se presenta la Figura 2.4, con figuras presentes dentro de la sección 2.13 para la instalación de la cámara protectora .

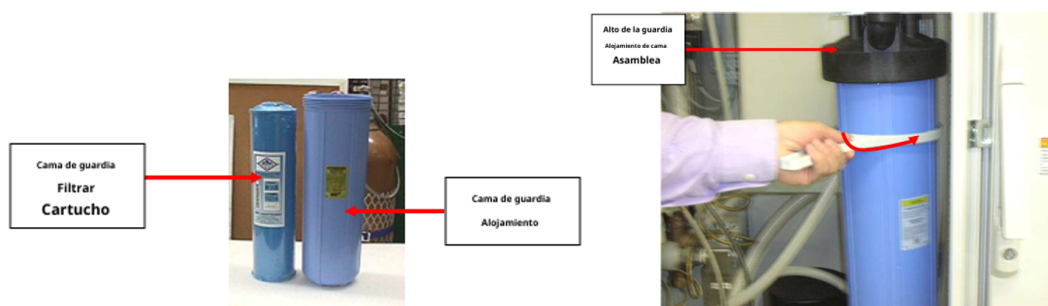


Figura 2.4: Figuras de relevancia sección 2.13 del “Manual de instalación y operación, Generador de Hidrógeno H Serie 4 Nel”

Para el suministro de agua desionizada del electrolizador, se instaló el purificador de agua ELGA Chorus 2, siguiendo un proceso de inspección de elementos, lectura de manuales, instalación y puesta en marcha.

En primer lugar, se realizó una inspección de todos los elementos y una lectura de los manuales entregados por Nel, el “Manual de operación de Purelab Chorus

2 Elga Veolia” y “Elga Chorus 2 RO DI water purification system with a Nel Hydrogen US hydrogen generator” [43]. La instalación y puesta en marcha se llevaron a cabo según las instrucciones del primer manual para luego realizar las conexiones al electrolizador y la instalación del LA811, según lo descrito en el segundo manual.

Las conexiones de agua se realizaron mediante las mangueras suministradas y utilizando bidones vacíos y con agua desmineralizada. Asimismo, se conectó el cable de alimentación del equipo según las especificaciones del primer manual. A continuación se presenta la Figura 2.5, con la descripción de las conexiones al Elga Chorus 2.

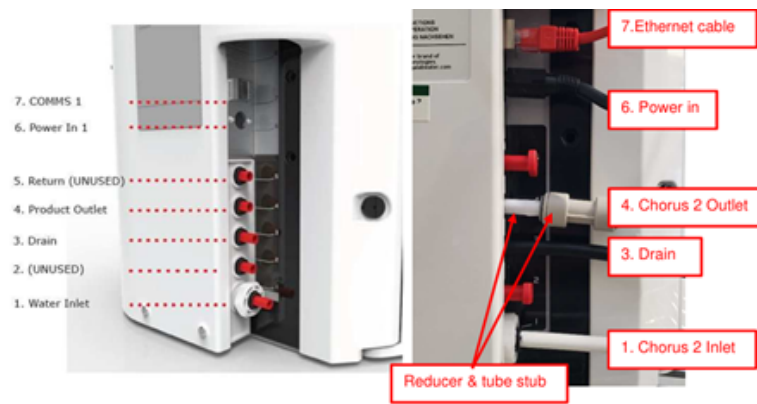


Figura 2.5: Descripción de conexiones del manual “Elga Chorus 2 RO DI water purification system with a Nel Hydrogen US hydrogen generator”.

Se instaló el LA811 encargada de entregar las señales de funcionamiento del purificador de agua. Luego se prosiguió a dar puesta en marcha al equipo depositando el agua producto y de drenaje primeramente en bidones, una vez que se verificó que todo funcionaba correctamente se conectó el agua producto al electrolizador en la interfaz “mi, DE.IONIZED WATER SUPPLY $\frac{1}{4}$ FNPT”. A continuación se presenta la Figura 2.6, con una vista general del Elga Chorus 2 y la Figura 2.7 con la imagen final del sistema de agua purificada para las pruebas de puesta en marcha.

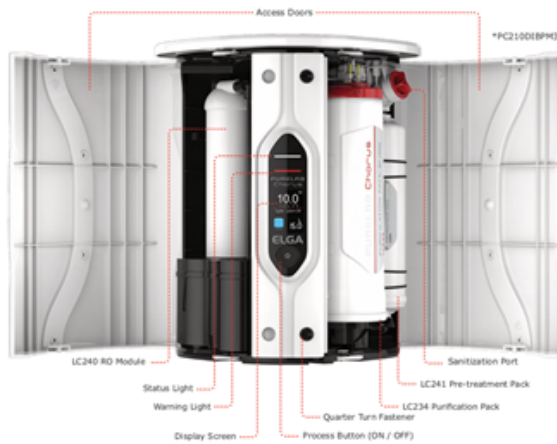


Figura 2.6: Imagen general de Chorus 2 del “Manual de operación de Purelab Chorus 2 Elga Veolia”



Figura 2.7: Imagen final de instalación de electrolizador PEM H4 Series Nel.

2.3. Pruebas de puesta en marcha.

Una vez finalizado el reconocimiento del equipo e instalación de los componentes, y tras la conexión del agua desionizada al electrolizador, se procedió a realizar las pruebas de puesta en marcha del equipo. Dicho procedimiento se llevó a cabo siguiendo las instrucciones del “Manual de instalación y operación, Generador de Hidrógeno H Serie 4 Nel”, dentro de la sección 3. FUNCIONAMIENTO, siguiendo los procedimientos descritos en las secciones 3.2 Aplicando poder y 3.3 Instrucciones de puesta en marcha inicial, que se detallan en Anexos, en las Figuras 5.28 y 5.29.

La puesta en marcha se realizó siguiendo los procedimientos mostrados, donde se

encontraron con los posibles errores mencionados y con una lenta demora del A200 con el agua desionizada. Se solucionaron los errores mostrados dentro del panel siguiendo las indicaciones del manual y se realizaron varias partidas del equipo con el botón Start como se describe en el paso 12. Una vez que el A200 alcanzó un nivel suficiente de agua desionizada, al presionar el botón Start del panel de control, el electrolizador inicio automáticamente el proceso de producción de hidrógeno, mostrando dentro del panel de control el estado “Generating(M01)”, System Pressure 13,8 barg y Hydrogen Flow 4,1 NMH, lo cual se muestra dentro de la siguiente imagen. Una vez que el electrolizador empezó a producir hidrógeno se analizó mediante un detector de gas universal JUMTEC GS-400 en el modo hidrógeno el gas proveniente de la interfaz “C H2 PRODUCT ¼ CPI” donde se observó sobre 40000 ppm, lo cual se muestra en la Figura 2.8, por lo que el electrolizador efectivamente produce hidrógeno, quedando como tarea posterior un análisis de la calidad de este hidrógeno producto.



Figura 2.8: Imagen de panel del electrolizador produciendo hidrogeno por primera vez y mediciones de hidrogeno a la salida del interfaz “H2 Product”.

Se realizo un análisis de la calidad del hidrógeno producido por el electrolizador en el Laboratorio de Análisis Químico e Instrumental, midiendo la proporción de mol H₂/100 moles de gas. Las muestras y los resultados dentro del informe “QUI-145-23” [44], se encuentran en Anexos, en la Figura 5.30 y la Tabla 5.31

Donde se obtuvo una calidad de hidrógeno inferior a la esperada, lo cual podría deberse al método de almacenamiento de la muestra. Sin embargo, la calidad obtenida fue suficiente de manera provisional. Próximamente, se llevarán a cabo nuevos estudios utilizando métodos de muestreo optimizados para obtener mediciones más precisas.

A continuación, se presenta la Figura 2.9, con una imagen final de la puesta en marcha del electrolizador. Como tarea posterior, se contempla la instalación de sistemas adicionales y una nueva verificación de la calidad del hidrógeno producido.



Figura 2.9: Instalación final del electrolizador luego de la puesta en marcha y toma de muestras.

3. Definir los requerimientos técnicos para el sistema de enfriamiento que permitan garantizar la operación continua del electrolizador

Dentro de esta sección se recopila toda la información relevante del sistema de refrigeración con el objetivo de garantizar la operación continua del electrolizador H4 Series de la empresa Nel Hydrogen, para posteriormente realizar una correcta selección y diseño del sistema de refrigeración. La información fue obtenida a partir de documentación técnica oficial proporcionada por la empresa previa a la instalación del equipo, así como también mediante consultas realizadas directamente al soporte técnico de Nel a través de correos electrónicos.

Los documentos utilizados como referencia en esta sección fueron los siguientes:

“Manual de instalación y operación, Generador de Hidrógeno H Serie 4 Nel” [42]

“Iso Kits Instruct PD-0101-0054revb”[45]

“H Series Coolant specs”[46]

A continuación, se presentan imágenes de la información relevante recopilada la cual se encontrara en en Anexos, en las Tablas 5.7, 5.8 y 5.9,y Figuras 5.32, 5.33, 5.34 y 5.35

Con base en la información recopilada, se establecieron los siguientes requerimientos técnicos mínimos para el sistema de refrigeración del electrolizador:

- El sistema debe operar con un líquido refrigerante, específicamente una mezcla de agua y glicol. No obstante, debido a las condiciones climáticas y los requisitos específicos de la instalación, se decidió utilizar únicamente agua de alta pureza.
- La carga térmica del equipo debe ser superior a 16 KW, con una temperatura de trabajo en el rango de 5 a 35 °C.
- El flujo de refrigerante debe situarse entre 15 y 68 Lpm, con una presión de entrada al equipo entre 1,4 y 6,9 bar.
- El sistema deberá contar con válvulas y elementos especificados en el “Coolant Isolation Kit”, además de incluir válvulas aisladoras para la correcta conexión del sistema de refrigeración al electrolizador, a través de las interfaces F (Alimentación refrigerante) y G (Retorno refrigerante).

Estos requerimientos corresponden a las necesidades de operación definidas por el fabricante para garantizar el funcionamiento óptimo del electrolizador. Sin embargo, en las siguientes secciones se definirán los requerimientos adicionales propios del sistema de refrigeración diseñado para cumplir dichas condiciones. Estos in-

cluirán parámetros de funcionamiento del sistema como selección de componentes, configuración hidráulica, criterios de control y seguridad operativa.

4. Proponer alternativas de diseño para el sistema de refrigeración y seleccionar la alternativa factible para su desarrollo.









Existe una amplia variedad de sistemas de refrigeración capaces de cumplir con los requerimientos establecidos para la refrigeración del electrolizador. Por esta razón, se procedió a realizar cotizaciones tanto en el mercado nacional como internacional, enfocándose en los equipos principales del sistema, tales como bomba de calor, estanque, bombas de circulación y accesorios críticos. El análisis detallado de los requerimientos técnicos específicos y el diseño completo del sistema de refrigeración se dejó reservado para una etapa posterior, una vez seleccionada la alternativa más adecuada para su implementación.

4.1. Selección alternativa.

En base a las cotizaciones realizadas, se elaboró un archivo Excel llamado “Alternativas equipos” [47], en el cual se comparan las distintas alternativas encontradas en el mercado, comparando características y productos incluidos.

Las características de comparación que se determinaron más relevantes son capacidad de enfriamiento, kit de válvulas y conexiones, tipo de equipo, uso en interior o exterior, red eléctrica del equipo, volumen, peso y tiempo de entrega. Con estas características se elaboró una tabla comparativa la cual se presenta a continuación en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1: Cuadro comparativo de archivo Excel, “ Alternativas equipos” [47].

Cotización	Proveedor	Marca	modelo	Imagen general equipo	contacto	Página	Capacidad enfriamiento KW	Tipo de equipo	incluye kit válvulas conexiones	interior o exterior	litros equipo	volumen/peso	tiempo de entrega	Precio (U.P)
Comercial andesport	Eurochiller	GCevo 10		5639002081	chiller.c		20.3	Chiller modular ventilacion axial	si	interior	trifasico	3x320kg	1 semana	\$ 52,371,000
Industrial cold water	Industrial Figo	GR2A20		5636583950	tegor.0a		10.0	Chiller modular ventilacion axial	si	interior	trifasico	0.662x3100kg	inmediata	\$ 31,838,100
ANVO	ANVO	resoo		5636583950	anvo.0f		10	bomba de calor (faha estanque) y conexiones valvulas	si	exterior	trifasico	2.64x3450kg	15 dias	\$ 4,987,200
Comoplar	samsung	AC100RY0EG		+56 2 2538 7889	comoplar		10	bomba de calor (faha estanque)	no	exterior	monofasico	0.46x3170kg	inmediata	\$ 3,850,000
comoplar	samsung	AC100RY0GG		+56 2 2538 7889	comoplar		10	bomba de calor (faha estanque)	no	exterior	trifasico	0.46x3170kg	inmediata	\$ 3,850,000
Chillerer	ANVO	CHILLER MODULAR B32		+56 3 5647 6542	tegor.0a		32	chiller modular	no	interior	monofasico	1.017x3379kg	inmediata	\$ 6,958,800
Chillerer	Midea	MGC-V10W(D2FN)		+56 3 5647 6542	tegor.0a		10	bomba de calor (faha estanque)	no	exterior	trifasico	0.51x3179kg	inmediata	\$ 4,320,000
OKOR (okoral)	UMEA	OK-SA		tegor.0a@okomachine.com			10	ventilacion axial	no	interior	monofasico	0.664x3199kg	15 dias	\$ 4,720,000

Se identificaron dos principales variaciones de sistema de refrigeración:

1. Chiller modular: El Chiller modular corresponde a un único equipo que incluye la bomba de calor, estanque y bomba dentro de un espacio compacto inferior a 1m³.
2. Bomba de calor+ estanque + bomba: En esta configuración cada componente se selecciona por separado entregando una mayor flexibilidad de los requerimientos del sistema.

Para la selección de la mejor alternativa, se priorizo la opción más económica disponible en el mercado que cumpliera con los requerimientos mencionados anteriormente. Siendo los elementos principales los más importantes, ya que el diseño detallado de la línea de tuberías (piping) y los elementos adicionales se dejó para un análisis posterior, ya que algunas cotizaciones ya incluían ciertos accesorios, mientras que en otras estos no estaban contemplados.

Entre las opciones preseleccionadas, se evaluaron las ofertas de ANWO y Cosmoplas, optando finalmente por la alternativa de ANWO. Esta elección se debió a que presentaba un precio ligeramente inferior al de Cosmoplas (aproximadamente \$4.887.285), además de incluir componentes esenciales como estanque, válvulas, termostatos y manómetros, entre otros.

Esta alternativa no solo representa la opción más económica, sino que también es la más completa dentro de la configuración de bomba de calor + estanque + bomba, lo que facilita su implementación y optimiza el rendimiento del sistema de refrigeración.

4.2. Alternativa de sistema de refrigeración ANWO.

La cotización entregada por ANWO, junto con Figuras de los principales elementos de la alternativa de sistema de refrigeración ANWO se encuentra en Anexos, en las Tablas 5.10, 5.11, 5.12 y 5.13, y Figura 5.36.

4.3. Estudio técnico alternativa ANWO.

Una vez definida la selección de la alternativa ANWO como sistema de refrigeración, se llevó a cabo un análisis detallado de las consideraciones técnicas del sistema y la disposición de los elementos principales. Inicialmente, se evaluaron las fichas técnicas de los equipos clave, como la bomba de calor, el estanque y la bomba de circulación. Posteriormente, se diseñó la red de tuberías y se definieron los elementos adicionales necesarios para la implementación del sistema.

4.3.1. Bomba de calor:

Dentro de esta sección se realizó un análisis técnico detallado del AQUAINVERTER 16 KW, considerando los requisitos de instalación, operación y compatibilidad con el sistema de enfriamiento del electrolizador. Para ello, se revisaron las especificaciones del equipo, dentro de los manuales técnicos y se definieron los elementos adicionales necesarios para su correcta implementación [48]. Dentro de Anexos, se encuentra la información más relevante recopilada en orden del manual técnico de la bomba de calor [49] en la Tabla 5.14, y Figuras 5.37, 5.38, 5.39, 5.40, 5.43 y 5.44

Para el requerimiento de agua del sistema de refrigeración, se estableció la utilización del agua del purificador de agua ELGA Chorus 2, presentado anteriormente. La calidad de esta agua es superior a la especificada para la bomba de calor. Se descartó el uso de una mezcla de agua-glicol, dado que la zona de instalación no presenta temperaturas ambiente extremadamente bajas y cuenta con condiciones de ventilación adecuadas.

Se considera la instalación de un “TERMOSTATO INMERSIÓN SIMPLE TRE100” dentro del estanque, encargado de entregar una temperatura cercana a la que estaría ingresando el agua de refrigeración al electrolizador; este está considerado dentro de la cotización.

Dentro de Anexos, en las Figuras 5.41 y 5.42 se presenta la ficha técnica del termostato, donde los parámetros de temperatura, presión, voltaje se encuentran en los rangos operativos establecidos. Además se considera la conexión del termostato al estanque y una futura canalización de los cables del termostato y panel del control al electrolizador.

4.3.2. Consideraciones adicionales para la bomba de calor

Durante el análisis técnico de la bomba de calor, surgieron consideraciones adicionales necesarias para su correcto funcionamiento e integración dentro del sistema general del electrolizador. Estas consideraciones se enumeran y describen a continuación.

4.3.2. a) Refrigerante R32: La bomba de calor opera con refrigerante R32, con una carga interna de 2,2 kg. Este refrigerante viene precargado en la bomba de calor, por lo que no es necesario realizar una carga inicial. Sin embargo, se deberá considerar su mantenimiento y reposición durante la operación del electrolizador.

4.3.2. b) Estructura metal para bomba de calor en ”L”: Dado que la bomba de calor tiene un peso de 144 kg y deberá ser instalada firmemente sobre la ventana apoyada sobre la viga, los más apegada a la pared posible debido a

la apertura de un portón del laboratorio, se diseñó una estructura metálica en "L" para su montaje.

Se diseñó mediante perfiles cuadrados de acero de 20 x 20 mm con 3 mm de espesor y una plancha de 2 mm de espesor sobre la cual se posaría la bomba de calor. Se dejará una holgura al interior del equipo de 3 cm.

Se estudiaron dos alternativas de fabricación de estructura y cotización en el mercado, donde se decidió por la fabricación de la estructura para la bomba de calor, debido a tener un menor costo y ser construido a medida debido a espacios limitados.

Materiales:

2 perfiles cuadrado de acero estructural de 20x20x6000 mm 3 mm espesor Sack

Plancha de acero 2x445x1206 mm, material disponible dentro del laboratorio

A continuación, se muestra la Figura 4.1, del diseño de la estructura y su plano se encuentra adjuntada en Anexos, en la Figura 5.45:

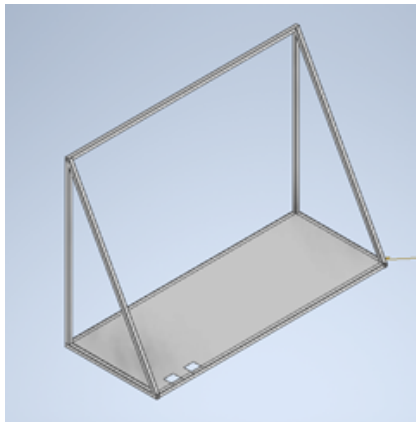


Figura 4.1: Imagen inventor de boceto estructura "L" para bomba de calor [50].

4.3.2. c) Rejilla de Extracción: Para la instalación de la bomba de calor dentro de la pared se requiere de una rejilla de extracción la cual será posicionada en la ventilación de la bomba de calor donde con mediciones a escala se tiene que es de aproximadamente 609x609 mm. Para esto se deberá realizar un agujero de estas dimensiones posterior a la instalación de la estructura en "L" y realizar perforaciones para instalar la rejilla de extracción. La rejilla seleccionada es una REJILLA ALETA FIJA 45° ALUMINIO 60X60 cm, se presenta la Figura 4.2, de referencia a continuación:



Figura 4.2: Imagen referencial de rejilla de extracción utilizada.

4.3.3. Bomba de circulación

Para la selección de la bomba de circulación, se analizaron las condiciones de presión, temperatura y caudal, con el objetivo de verificar si la bomba proporcionada en la cotización de ANWO cumplía con los requisitos del sistema. En caso de que no fuera adecuada, se procedería a seleccionar una alternativa que garantizara el correcto funcionamiento del sistema de refrigeración.

Las condiciones de operación que definen la selección de la bomba son la presión requerida, el caudal del fluido y la altura de elevación.

Presión:

Para la determinación de la presión requerida se analizó cada uno de los elementos incluidos en el circuito de circulación del fluido, en busca un rango de presión admisible para cada uno de los equipos presentes en la línea. A continuación, se presenta la presión requerida de los distintos elementos del circuito extraída de los manuales técnicos.

Bomba de calor: 0,5-2,5 bar

Electrolizador: 1,4-6,9 bar

Estanque: Máximo 4 bar

Línea de PPR: PN16, máximo 10 bar

Válvulas y elementos adicionales: Generalmente diseñados para máximo 10 bar

A partir de estos valores, se estableció que la presión de trabajo a la entrada del electrolizador debería situarse entre 1,4 y 2,5 bar para garantizar el correcto funcionamiento del sistema.

Altura de elevación:

La bomba de calor determina la altura de elevación máxima del fluido dentro del

sistema la que sería de 6 metros de altura, además de requerir una presión mínima de entrada al sistema de 0,5 bar.

Dado que la presión requerida en la línea se encuentra dentro del rango de 1,4 - 2,5 bar, esta presión es suficiente para superar la altura de elevación sin necesidad de ajustes adicionales en la bomba de calor para su funcionamiento.

Caudal:

El sistema de enfriamiento opera con un caudal que puede variar entre 15 y 69 L/min según la curva de calor. Sin embargo, considerando la curva de refrigerante y la eficiencia del sistema, se estableció un caudal de operación de 60 L/min, con la posibilidad de ajuste en caso necesario.

Una vez determinados los requerimientos técnicos de presión y caudal para la bomba, se realizó el análisis de la bomba seleccionada por ANWO. En caso de que esta no cumpla con los requerimientos técnicos, se procedería a analizar la selección de la bomba ideal para el sistema de enfriamiento.

Primera selección de bomba:

Como se mencionó anteriormente la primera selección de bomba por parte de la cotización de ANWO es la bomba circuladora de rotor húmedo VA 25/180X. A continuación, se muestra la Figura 4.3, con las curvas de la bomba para su análisis.

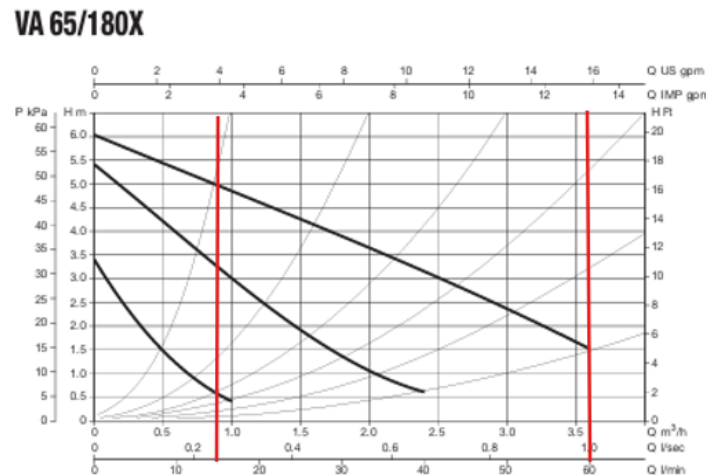


Figura 4.3: Curvas de funcionamiento de la bomba va 65/180 de,"Ficha Tecnica Bombas VA" [48].

Para un flujo 15-60 L/min no se cumple con la presión requerida mínima de 1,4 bar, siendo la máxima alcanzada por la bomba de 0,6 bar en un rango de operación de baja eficiencia por lo que se deberá analizar la selección de otra bomba.

Segunda selección de bomba:

Para la selección de la segunda bomba se notificó a ANWO el requerimiento de aumento de la presión requerida, entregando como recomendación la bomba KLM 40-300 m, a continuación se muestra la Figura 4.4, con las curvas de la bomba para su análisis [51].

KLM 40 - KLP 40

Rango de temperatura del líquido: desde -15°C hasta $+120^{\circ}\text{C}$
 Temperatura máxima ambiente: $+40^{\circ}\text{C}$

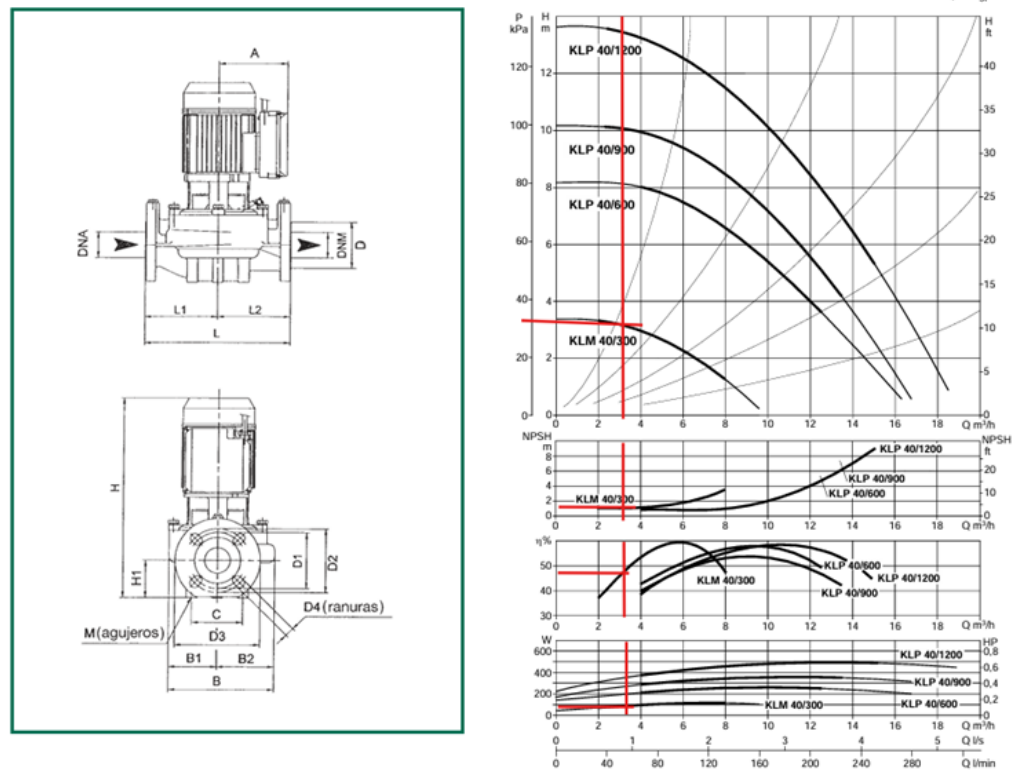


Figura 4.4: Curvas de la bomba KLM 40 de “Ficha Tecnica DAB KLP 40” [51].

Para esta segunda bomba, para un flujo de 60 L/min, no se cumple con la presión mínima de 1,4 bar. A demás, la bomba trabaja en rangos de operación de bajo caudal, ya que se encuentra a principios de la curva y se recomienda que se encuentra cercano a la mitad de esta. También presenta una eficiencia menor al 50%, por lo que considera como una bomba apenas apta para la aplicación, recomendando la selección de otra bomba.

Tercera selección de bomba(definitiva):

Para la tercera selección de bomba, se realizó un análisis inicial del tipo de bomba recomendado para la aplicación, seleccionando una bomba centrifuga debido al

considerable aumento de presión requerido para el bajo flujo de 60 lts/min. Posteriormente, se revisaron catálogos de ANWO, seleccionando la bomba centrífuga mono turbina modelo K20/41M, con posible selección de la bomba K30/70M en caso de requerir de un aumento de presión. A continuación se muestra la Figura 4.5, con las curvas de la bomba modelo K20/41M para su análisis [52], dentro de Anexos, en las Figuras 5.46 y 5.47, se encuentran las especificaciones técnicas,

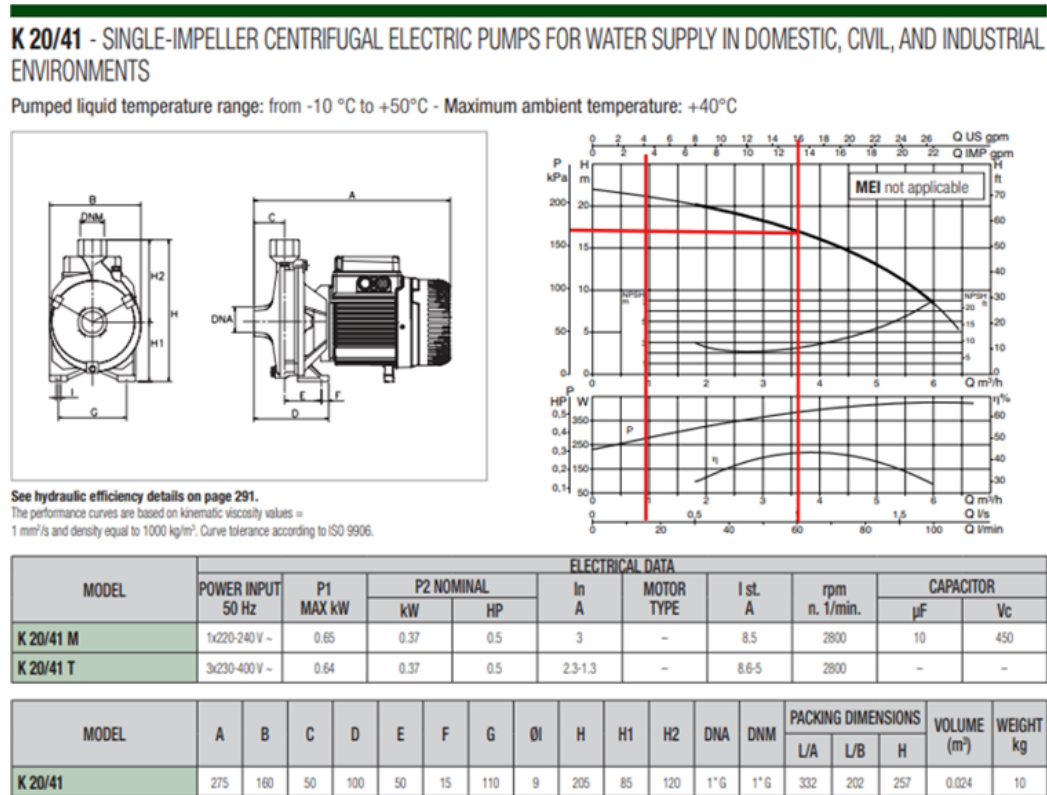


Figura 4.5: Curvas de rendimiento y especificaciones técnicas de bomba K 20/41, Pag 4 “K SINGLETSENG” [52].

Realizando un análisis de las curvas para un flujo de 60 L/min, se obtiene una presión aproximada de 1,6 bar. La intersección del flujo con la curva se encuentra en la mitad de esta, lo que indica que la bomba estaría operando en un punto de máxima eficiencia, garantizando su correcto funcionamiento y una mayor vida útil. A demás la curva de eficiencia se encuentra cerca del máximo, lo que es ideal.

La curva de potencia y NPSH para 60 L/min entregan información de la potencia requerida de 350 W y una presión mínima de entrada de 2 metros.

Debido a su adecuado desempeño en términos de presión, caudal y eficiencia, la bomba centrífuga mono turbina modelo K20/41M es la alternativa óptima y ha sido seleccionada como la opción definitiva para el sistema de enfriamiento.

Piping:

La línea de todo el sistema operará con agua a temperaturas que no deberían superar los 35°C y a una presión inferior a 2,5 bar. Si bien técnicamente sería posible utilizar cañerías de PPR PN10 bajo estas condiciones, se optó por instalar cañerías de PPR PN16 con el objetivo de garantizar una mayor durabilidad, estimada en más de 10 años de funcionamiento continuo. Esta elección también está alineada con las recomendaciones del manual de instalación de la bomba de calor, el cual sugiere el uso de tuberías con mayor resistencia mecánica para asegurar un desempeño óptimo y minimizar riesgos por fatiga del material a largo plazo, se encuentra en Anexos, en la Tabla 5.48

4.3.4. Presentación de alternativa en modelo Inventor

Una vez definidos los elementos principales del sistema, y fundamentados técnicamente según sus especificaciones de funcionamiento, se procedió al diseño de la línea de piping. Para ello, se elaboró un plano en Autodesk Inventor considerando las dimensiones reales del galpón, la posición del electrolizador y la ubicación de los componentes clave del sistema (bomba de calor, estanque, bomba de circulación, estructura en “L”, filtros y válvulas). Este diseño permitió prever la mejor ruta para las tuberías y optimizar el uso del espacio disponible. A partir del modelo generado, se extrajo la lista de materiales correspondiente a la línea de PPR y se planificó el corte de los tramos con sus longitudes exactas. Contar con este diseño previo fue esencial para agilizar la instalación, reducir errores en obra y facilitar el ensamblaje de la red hidráulica [50].

A partir del modelo realizado en Autodesk Inventor se distinguieron dos secciones principales del circuito: la línea entre el estanque y el electrolizador, y la línea entre el estanque y la bomba de calor. Esta clasificación permitió organizar el montaje de manera secuencial y eficiente. A continuación, se presentan las Figuras 4.6, 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, 4.11 y 4.12, con distintas vistas del modelo realizado en Inventor, además se presenta un listado de los elementos dispuestos en cada sección, dentro de la Tabla 4.2 y 4.3, ordenados según el sentido del flujo del líquido refrigerante, acompañado de imágenes representativas de cada componente para una mejor visualización.

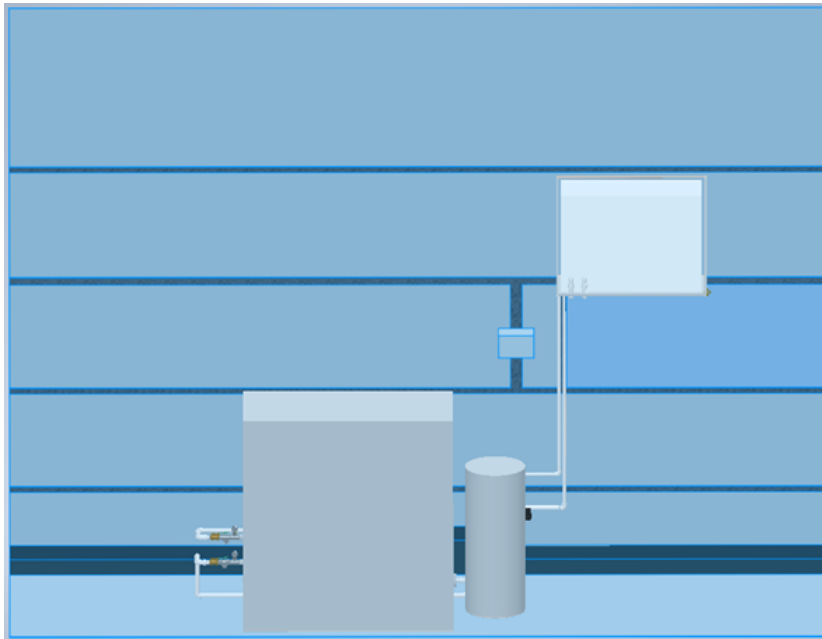


Figura 4.6: Vista Frontal-Superior [50].

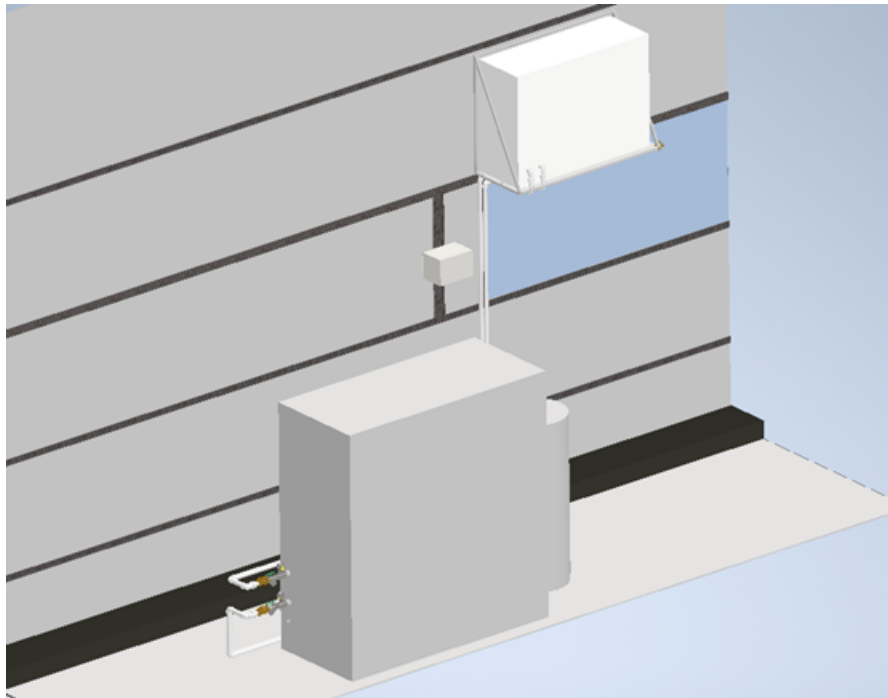


Figura 4.7: Vista lateral diagonal izquierda [50].

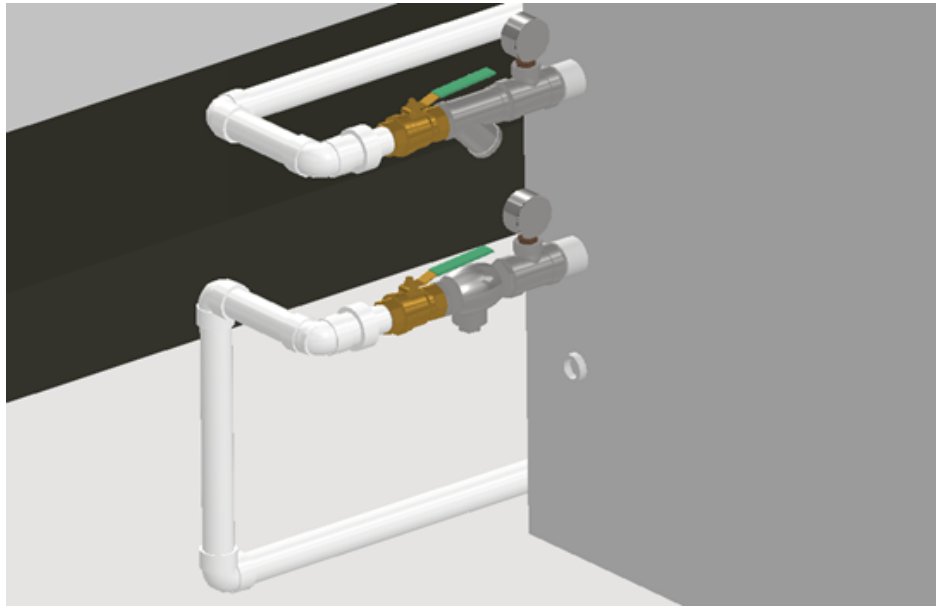


Figura 4.8: Vista kit de conexiones sistema de refrigeración al electrolizador [50].

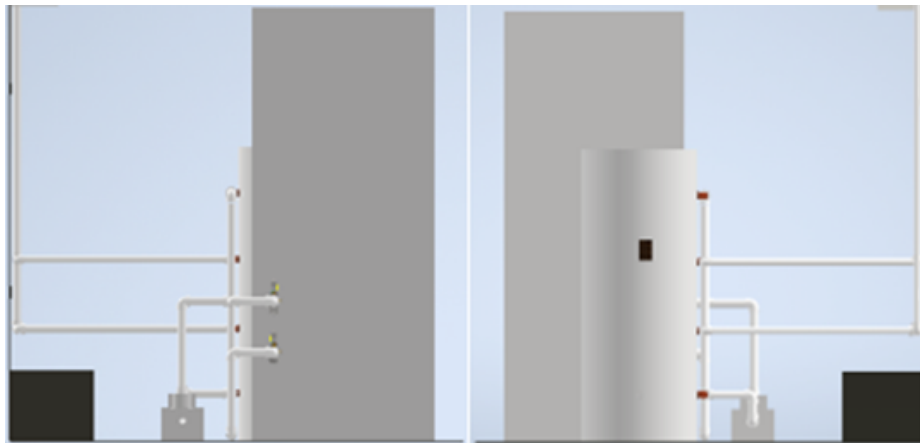


Figura 4.9: Vista lateral izquierda y derecha [50].

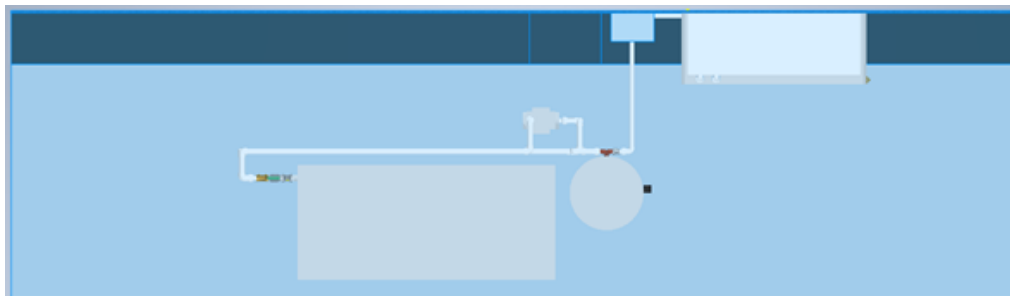


Figura 4.10: Vista Superior [50].

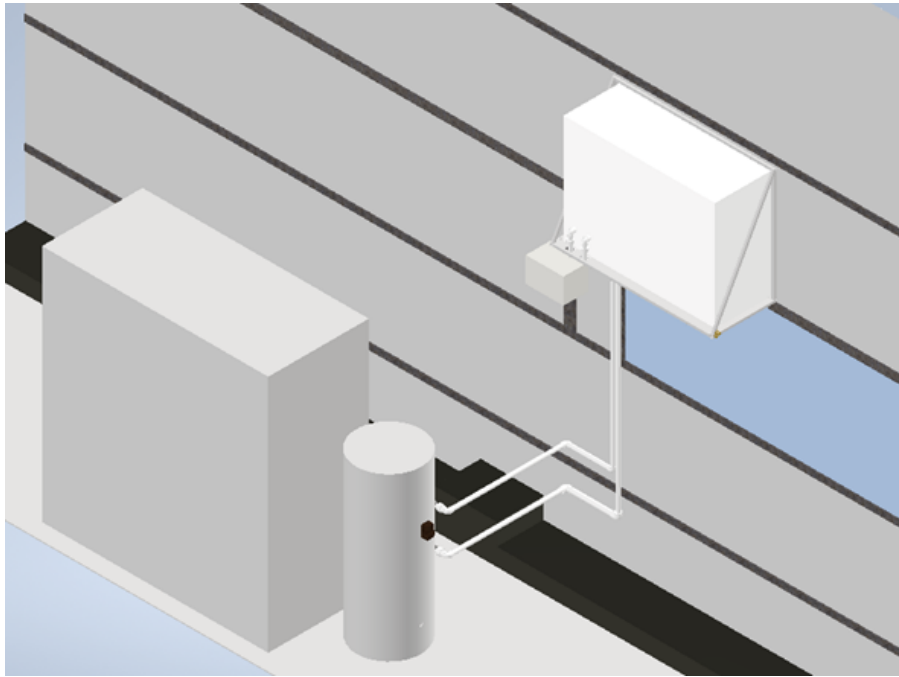


Figura 4.11: Vista lateral superior derecha [50].

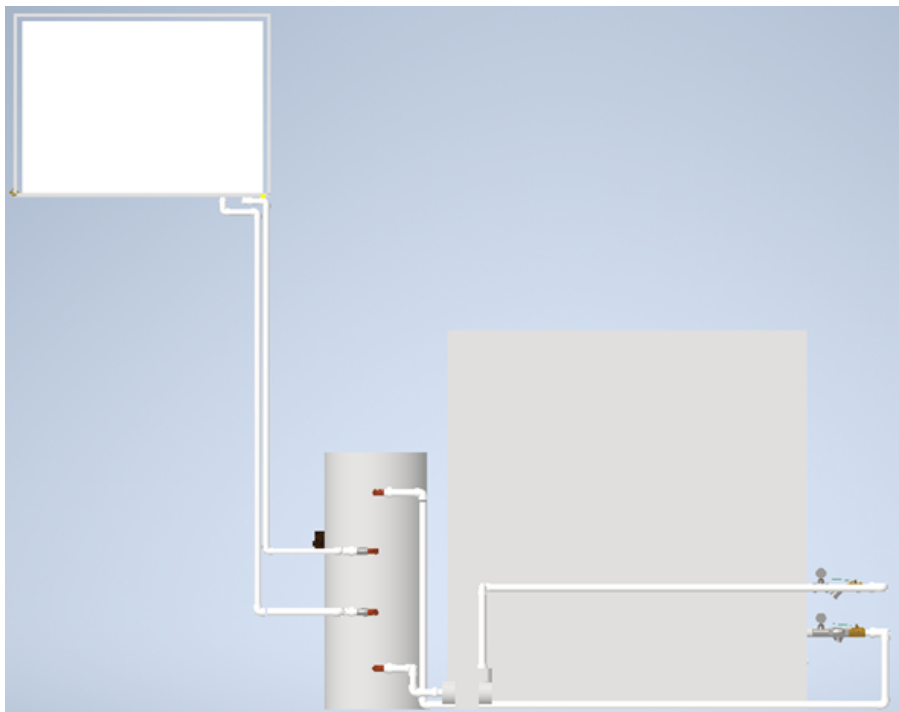


Figura 4.12: Vista trasera [50]

Tabla 4.2: Imagen tabla Excel “Secciones línea de Piping”, Sección Estanque-bomba de calor.





































Seccion Estanque-Electrolizador			
Nombre del elemento ida	Imagen	Nombre del elemento vuelta	Imagen
Codo PPR he 32x1"		Niple de bronce de 1"	
Union americana ppr 32mm		Tee 1"1/2"1" hi	
Cañeria PPR 32mm 50mm Codo PPR 32mm		bushing 1/2-1/4 bronce	
Cañeria PPR 32mm 138mm Codo PPR 32mm		Manometro	
Cañeria PPR 32mm 44mm Codo PPR 32mm		Niple de bronce de 1"	
Union americana met he 1"		Valvula de retencion de 1"	
Union americana met he 1"		Niple de bronce de 1"	
Cañeria PPR 32mm 330mm Codo PPR 32mm		Valvulas de bola 1"	
Cañeria PPR 32mm 140mm Codo PPR 32mm		Union americana met he 1"	
Cañeria PPR 32mm 1930mm Codo PPR 32mm		Codo PPR 32mm	
Cañeria PPR 32mm 110mm Codo PPR 32mm		Cañeria PPR 32mm 110mm Codo PPR 32mm	
Cañeria PPR 32mm 1930mm Codo PPR 32mm		Cañeria PPR 32mm 286mm Codo PPR 32mm	
Cañeria PPR 32mm 110mm Codo PPR 32mm		Cañeria PPR 32mm 2240mm Codo PPR 32mm	
Union americana met he 1"		Cañeria PPR 32mm 986mm Codo PPR 32mm	
Valvulas de bola 1"		Cañeria PPR 32mm 118mm Union americana ppr 32mm	
Niple de bronce de 1"		Codo PPR he 32x1"	
Filtro Y de 1"			
Niple de bronce de 1"			
Tee 1"1/2"1" hi			
bushing 1/2-1/4 bronce			
Manometro			
Niple de bronce de 1"			

Tabla 4.3: Imagen tabla Excel “Secciones línea de Piping”, Sección Estanque-bomba de calor.

Seccion Estanque-Bomba de calor			
Nombre del elemento ida	Imagen	Nombre del elemento vuelta	Imagen
Codo PPR he 32x1"		Codo PPR ¾x25mm hi bsp	
Buje reducción 32x25		Union americana ppr 25mm	
Union americana ppr 25mm		Cañeria PPR 25mm 65mm	
Codo PPR 25mm		Codo PPR 25mm	
Cañeria PPR 25mm 875mm		Cañeria PPR 25mm 398mm	
Codo PPR 25mm		Codo PPR 25mm	
Cañeria PPR 25mm 330mm		Cañeria PPR 25mm 40mm	
Codo PPR 25mm		Codo PPR 25mm	
Cañeria PPR 25mm 1930mm		Cañeria PPR 25mm 1686mm	
Codo PPR 25mm		Codo PPR 25mm	
Cañeria PPR 25mm 110mm		Cañeria PPR 25mm 308mm	
Codo PPR 25mm		Codo PPR 25mm	
Cañeria PPR 25mm 398mm		Cañeria PPR 25mm 875mm	
Codo PPR 25mm		Codo PPR 25mm	
Cañeria PPR 25mm 398mm		Union americana ppr 25mm	
Codo PPR 25mm		Buje reducción 32x25	
Cañeria PPR 25mm 65mm		Codo PPR he 32x1"	
Union americana ppr 25mm			
Codo PPR ¾x25mm hi bsp			

4.3.5. Resumen de propuesta ANWO

Con base en toda la información recopilada durante la etapa de diseño, planificación y selección de componentes, se elaboró una lista detallada con todos los materiales necesarios para la instalación del sistema de refrigeración, incluyendo equipos, fittings, elementos estructurales, eléctricos e hidráulicos, organizados por categoría y proveedor. Esta información fue enviada al equipo de Quempin, adjuntando el respaldo técnico y económico recopilado.

Una vez que la lista de las Figuras 4.13 y 4.14, fue revisada y aprobada por el equipo, se procedió a la adquisición de los materiales, lo que permitió dar inicio al proceso de instalación de forma ordenada y eficiente, asegurando que todos los elementos estuvieran disponibles según lo planificado.

CO	DESCRIPCION	medida	Categoría	UN	CAN	COD eq	Nombre proveedor	Precio unita	Empres
1	Chiller		Equipo	UN	1	AQUA 16TI	BOMBA DE CALOR REVERSIBL	\$3.155,520	ANWO
2	Estanque		Equipo	UN	1	EL 200R	ESTANQUE INERCIAL MULTICL	\$421,590	ANWO
3	Bomba		Equipo	UN	1	K 20141T	K 20141T	\$486,920	ANWO
4	Perfiles cuadrados 20x20x6000mm		Material	UN	2		PLANA 20X3MM 6M COMERCIA	\$3,481	SACK
5	Termostato inmersión simple		Fittings	UN	1	00.080.06	TERMOSTATO INMERSION SIM	\$27,533	ANWO
6	Termometro 80/100		Fittings	UN	1	00.070.02	TERMOMETRO T.80/100.	\$8,046	ANWO
7	Manometro 1/4		Fittings	UN	1	00.070.11	MANOMETRO D.63 1/4" 0-4 BA	\$5,809	ANWO
8	Purga automática 1/2		Fittings	UN	1	00.040.06	PURGA AUTOMATICA 1/2".	\$9,174	ANWO
9	Valvula quebradora de vacío 3/4		Fittings	UN	1	00.051.20	VALVULA QUEBRADORA DE V	\$52,499	ANWO
10	valvula de bola T bronce		Fittings	UN	2		Valvula bola 1hi	\$5,980	Mareosso
11	Filtro y T		Fittings	UN	1		FILTRO Y BRONCE 1	\$4,100	Mareosso
12	Flow control T		Fittings	UN	1	00.170.04	Flow control T	7,539,36	ANWO
13	riples T		Fittings	UN	6			2,590,00	Mareosso
14	tee DRZ 32-20-32 bronce		Fittings	UN	2	05.006.65f	TEE DZR 32-20-32	\$17,914	ANWO
15	bushing 1/2-1/4 bronce		Fittings	UN	2			2,005,95	ANWO
16	Union americana ppr 25mm		Fittings	UN	4			1,800,00	Mareosso
17	Codo ppr 3/4x25mm hi		Fittings	UN	2			\$1,185	koalition
18	Codo PPR he 32xT		Fittings	UN	4	08.124.07	CODO PPR 90° HE Ø32"1"	\$4,685	Koalition
19	buje reduccion 32x25		Fittings	UN	2			\$144	Koalition
20	Codo 90° PPR 25mm		Fittings	UN	11			\$143	koalition
21	Cañeria PN16 PPR 25mm x6m		Fittings	UN	2			\$8,340	koalition
22	Union americana ppr 32mm		Fittings	UN	2			\$3,757	koalition
23	Union americana met he 32xT		Fittings	UN	4			\$5,860	koalition
24	Codos PPR 32mm		Fittings	UN	11			\$228	koalition
25	Cañeria PN16 PPR 32mm x6m		Fittings	UN	2			\$10,800	Mareosso
26	Rejilla 600x300		Material	UN	2	103.24.12		\$31,722	ANWO
27	Refrigerante r32		Funcibles	UN	1	GAS R-32	GAS REFRIGERANTE R32 BOMBONA DE 9.5 KG.		ANWO
28	Perno-Coche-1-4-x-4-pavonado-4-unidades		Material	UN	2			1,290,00	nomecente
29	Abrazaderas PPR 25mm		Fittings	UN	8			100,00	koalition
30	Abrazaderas PPR 32 mm		Fittings	UN	5			111,00	koalition

Figura 4.13: Imagen tabla de Excel “Propuesta ANWO” [53].

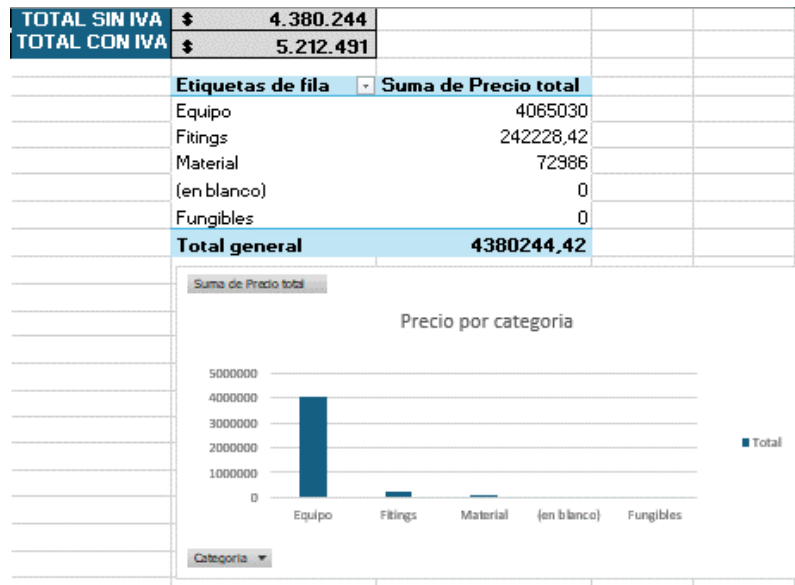


Figura 4.14: Imagen gráficos resumen de Excel “Propuesta ANWO” [53].

5. Gestionar la fabricación e instalar y operar el sistema de refrigeración seleccionado, verificando su desempeño en diferentes condiciones de operación

5.1. Instalación y puesta en marcha sistema de refrigeración

Tras la definición del diseño y verificación de aspectos técnicos del sistema de refrigeración, se procedió a la adquisición de los materiales. Donde debido a que la disponibilidad de la bomba de calor presento una gran demora en la entrega que no fue planificado, se decidió adelantar la instalación de componentes que no interactúan directamente con la bomba de calor como línea de piping estanque-electrolizador, válvulas, filtros, bomba y estanque. Dejando pendientes las instalaciones de los componentes que interactúan directamente con la bomba de calor, tales como la estructura en "L", las conexiones de piping a la bomba de calor, canalización de conexiones eléctricas. Finalmente se realizarían pruebas de funcionamiento verificando el correcto funcionamiento del sistema de refrigeración.

La situación inicial en la que se encontraba el taller se muestra a continuación en la Figura 5.1, donde se ve un gran desorden y suciedad por lo que se partió con una limpieza general despejando el espacio de trabajo y eliminación de suciedad de todo el sector aledaño al electrolizador.



Figura 5.1: Situación inicial sector electrolizador al iniciar la instalación de sistema de refrigeración.

Terminado el despeje y limpieza del área de trabajo, se inició el proceso de instalación, comenzando con el primer material disponible, que correspondería a la línea de tubería y fittings de PPR. En primer lugar, se realizó el corte de los tramos de tubería de PPR utilizando una tijera cortadora de tubos de PPR, siguiendo las dimensiones establecidas en el plano de Inventor. Se dejó una pequeña holgura para ajustes finales antes de la fusión con codos, terminales y llaves americanas. Posteriormente, se llevó a cabo un prearmado de las conexiones de PPR, priorizando aquellas que correspondían al electrolizador, dado que el estanque, las válvulas, los filtros y la bomba estaban próximos a llegar en los días siguientes.

Para la termofusión de las tuberías de PPR se utilizó una termofusora, aplicando los tiempos recomendados por el fabricante:

Diámetro de 25 mm: 5 segundos de calentamiento, 4 segundos de soldadura y 2 minutos de enfriamiento.

Diámetro de 32 mm: 7 segundos de calentamiento, 4 segundos de soldadura y 2 minutos de enfriamiento.

A continuación se muestra la Figura 5.2, con la termofusora ocupada y el prearmado de algunas secciones de la línea de PPR.



Figura 5.2: Imagen de termofusora ocupada para fusión de PPR y prearmado de línea de PPR.

Cuando se estaba realizando el prearmado del PPR, llegaron compras de suma importancia, quedando pendiente únicamente la bomba de calor. Con la llegada de válvulas, filtros, manómetros, estanque y bomba de circulación, se procedió al armado de la línea de PPR, dejando solo los tramos de conexión a la bomba de calor pendientes.

En primer lugar, se realizaron las conexiones del líquido refrigerante al electrolizador, siguiendo lo señalado en “Iso Kits Instruct PD-0101-0054 rev b” y el diagrama de instalación de la bomba de calor, las conexiones que se muestran en la siguiente imagen.

Para esta tarea, se utilizaron herramientas como llaves francesas, llaves stillson y teflón amarillo. En cada una de las roscas de la instalación, se aplicó el teflón en el mismo sentido de la rosca para garantizar un sellado hermético y evitar fugas. El apriete realizado con las llaves se hizo aplicando contra torque de manera que se eviten esfuerzos mecánicos excesivos sobre las conexión al electrolizador, ya que esto podría generar fallas o imperfecciones que podrían ser graves para el equipo.

Una vez finalizado el ensamblaje de las conexiones al electrolizador, se procedió a conectar la llave americana con la sección de PPR previamente armada, completando esta etapa de la instalación, como se muestra en la Figura 5.3.



Figura 5.3: Imagen de kit de conexiones del líquido refrigerante al electrolizador.

Finalizada esta sección, se procedió al armado de los tramos prearmados de PPR correspondientes a la bomba y al estanque, tal como se muestra en la Figura 5.4. Primero se fijaron las posiciones de la bomba y del estanque, estableciéndolas como posiciones definitivas. Este trabajo se realizó con rapidez gracias a la referencia del plano desarrollado en Inventor, permitiendo cortes precisos, una adecuada organización del material y una ejecución eficiente del proceso de termofusión del PPR.

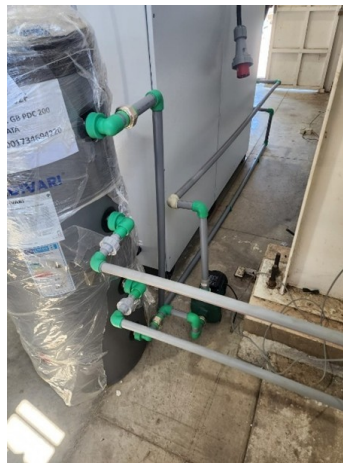


Figura 5.4: Vista del sistema de piping de PPR conectado al estanque y la bomba de circulación, mostrando la fijación definitiva de estos elementos.

Finalizado el armado de la línea de PPR hasta la etapa mostrada en la imagen anterior, no se continuó con el armado de PPR, ya que se esperaba la llegada de la bomba de calor. Una vez recibida, se procedió a revisar el material de la bomba de calor y realizar el cableado eléctrico, lo que incluye la conexión de la fuente de poder, panel de control y del termostato.

Para realizar el cableado eléctrico, se consultó el manual de instalación de la bomba de calor “ManualInstalacion AQUA INVERTER N”, asegurando que cada conexión se realizara según las especificaciones del fabricante. Durante la conexión del panel de control, se identificaron incongruencias en la información del manual, por lo que fue necesario contactar a soporte técnico. Tras recibir la asistencia adecuada, se logró completar correctamente la conexión del cable del panel de control a la bomba de calor. En cuanto al termostato y cable de la fuente de poder, se consultó el manual de la bomba dentro de la sección 17.2.2, siguiendo las indicaciones de posicionamiento adecuadas.

Esta tarea se realizó antes de posicionar la bomba de calor dentro de la estructura sobre la viga, ya que esta se encuentra ubicada sobre el ventanal, lo que dificultaría significativamente el acceso para la conexión eléctrica en una etapa posterior. Dentro de la Figura 5.5, se muestra la bomba de calor desmontada parcialmente para facilitar el acceso al panel eléctrico, donde se realizó el cableado correspondiente a la fuente de poder, panel de control y termostato.



Figura 5.5: Bomba de calor desmontada parcialmente.

Para la fabricación de la estructura en “L”, posicionamiento de la estructura en “L”, posicionamiento y fijación de la bomba de calor, se contó con la ayuda del equipo Quempin, cuya colaboración fue crucial en la realización de estas tareas. Para el posicionamiento de la estructura en “L”, instalación de rejilla de extracción, el posicionamiento y fijación de bomba de calor, se colocaron andamios, trabajando con las medidas de seguridad apropiadas a trabajos en alturas utilizando arnés, cuerda de seguridad, guantes y lentes de protección.

La estructura en “L” se fabricó con perfiles cuadrados de acero de 20x20 mm con 3 mm de espesor, siguiendo lo planificado previamente, dejando una pequeña holgura lateral para facilitar el posicionamiento de la bomba de calor. Para su instalación, se utilizaron los andamios y, trabajando en pareja, se posicionó y fijó mediante soldadura al arco en la ubicación previamente definida.

Una vez que la estructura en ”L” quedó firmemente fijada, tal como se muestra en la Figura 5.6, se procedió con la instalación de la rejilla de extracción, realizando los cortes necesarios en la pared del galpón con una galleta eléctrica equipada con discos para metal. Luego, la rejilla se fijó utilizando pernos de anclaje, y se selló el contorno con silicona, con el objetivo de evitar filtraciones de agua desde el exterior hacia el interior del galpón.



Figura 5.6: Imagen de andamios, fijación de estructura en L y proceso de instalación de rejilla de extracción.

Dado que la bomba de calor tiene un peso de 144 kg, fue necesario instalar un tecele, el cual se soldó firmemente en una estructura superior, justo por encima del lugar donde se ubicaría la bomba, permitiendo elevar la bomba de calor de manera mecánica y seguramente. Primero, se retiraron los andamios de la posición mostrada en la imagen anterior y se colocó la bomba de calor debajo del tecele, amarrándola firmemente en dos puntos de apoyo para evitar el deslizamiento de las sogas. Luego, se elevó hasta la posición más alta y, mientras se encontraba suspendida, se colocaron los andamios de manera que la bomba de calor quedara contenida dentro de los andamios, lo que permitió empujarla dentro de la estructura en “L”. Finalmente, se procedió a soldar la base metálica, que previamente había sido apernada a la base de la bomba de calor, dejándola firmemente fijada en la posición planificada, asegurando su estabilidad, para la posterior instalación

de la conexión de la línea de PPR. Dentro de las Figuras 5.7 y 5.8, se presenta el procedimiento de izaje y de la instalación finalizada.



Figura 5.7: Imagen de procedimiento de izaje en altura de bomba de calor



Figura 5.8: Imagen final del posicionamiento de la bomba de calor en la estructura en “L”.

Una vez posicionada la bomba de calor, se procedió al armado de la línea de PPR desde el estanque hacia la bomba de calor, realizando una leve modificación respecto al diseño inicial elaborado en Inventor. Esto se debió a que el codo de entrada del líquido refrigerante en la bomba no podía orientarse hacia abajo,

como estaba planificado originalmente, por lo que se optó por posicionarlo hacia arriba. Además, se instaló la válvula quebradora de vacío en el punto más alto de esa sección, lo cual es recomendable para prevenir bloqueos por vacío y facilitar el purgado del sistema. En la Figura 5.9, se muestra la configuración de la línea de PPR correspondiente a esta sección. Posteriormente, se instaló la purga automática en la parte superior del estanque, el termómetro en la zona frontal, la vaina del termostato en uno de los laterales del estanque, tapones de bronce, válvula de bola desagüe estanque, completando así la instalación de la línea de fluidos del sistema de refrigeración.



Figura 5.9: Vista de la bomba de calor ya posicionada, donde se observa la modificación en la orientación del codo de entrada del refrigerante, la línea de PPR y el cableado eléctrico con canalización EMT.

Finalizada completamente la instalación de la línea de fluidos del sistema de refrigeración, se prosiguió con la canalización de las conexiones eléctricas y conexión del cable de poder. Para esta etapa se utilizó tubo eléctrico flexible, canalización EMT, caja metaliza EMT y terminales EMT y amarras plásticas.

Para las conexiones al termostato se utilizó la ficha técnica del termostato de este donde se utilizó la configuración normalmente abierta, lo que significa que, cuando la temperatura del agua dentro del estanque sea mayor a la indicada dentro del termostato, el circuito se cierra, enviando la señal de encendido de la bomba de calor. Por el contrario, cuando la temperatura del agua del estanque es inferior al valor indicado en el termostato, el circuito permanece abierto, deteniendo del funcionamiento de la bomba de calor. En La Figura 5.10 muestra el resultado final de esta etapa, incluyendo tanto la canalización eléctrica como la conexión del termostato.



Figura 5.10: Instalación finalizada del estanque y canalización eléctrica del sistema de refrigeración, incluyendo conexiones con tubo flexible, canalización EMT, caja metálica y termostato.

Finalizada la instalación de la línea de fluidos y conexiones eléctricas del sistema de refrigeración, se procedió con el llenado del líquido refrigerante, el cual sería agua proveniente del purificador de agua ELGA Chorus 2. Para ello, se realizó primero una limpieza del estanque, cumpliendo con lo señalado en sus especificaciones técnicas, notando la suciedad presente en este. Una vez limpio, se procedió a llenar bidones con el agua producida por el purificador de agua, los cuales fueron vaciados dentro del estanque. Sin embargo, se notó un bajo flujo de agua producto, por lo que se decidió realizar una conexión a una toma de agua existente al costado izquierdo del electrolizador, como fuente de alimentación del purificador de agua, dentro de la Figura 5.11, se muestra la configuración de fittings y válvula reguladora de flujo configurada a 2 bar según lo especificado en el manual del ELGA Chorus 2.



Figura 5.11: Imagen de instalación de válvula reguladora de presión para purificador de agua

Una vez conectada el agua de alimentación al purificador de agua, se hizo funcionar el equipo, notando el gran aumento en el flujo del agua producto, por lo que se prosiguió con el llenado del estanque. Cuando el agua se llenó hasta el tope del estanque, se instaló la purga automática en la parte superior del estanque y se continuo con el llenado dentro del punto más alto del sistema de refrigeración, correspondiente a la ubicación de la válvula quebradora de vacío. Para esto, se posicionó el bidón sobre la bomba de calor y, mediante una manguera, se reguló un pequeño caudal que permitiera la entrada de agua y la salida del aire, llenando así completamente el sistema de refrigeración.

Una vez lleno con agua el sistema de refrigeración, se conectó el agua producto del purificador de agua al electrolizador, quedando como se muestra en la Figura 5.12.



Figura 5.12: Imagen sistema de purificación de agua desionizada para electrolizador.

Finalmente, se encendió la bomba de circulación verificando el correcto, donde se evidencio dentro de los manómetros la presión requerida a la entrada del electrolizador, lo que se muestra dentro de la Figura 5.13, además de realizar la prueba de hermeticidad del sistema, donde se corrigieron las fugas presentes.



Figura 5.13: Imagen presión de agua de sistema de refrigeración a la entrada del electrolizador.

Luego se encendido la bomba de calor con la bomba de circulación ya en funcionamiento, realizando primeramente la verificación de su operatividad de forma

manual desde el panel de control. Posteriormente, se configuró el panel de control para que su método de funcionamiento dependiera de las señales entregadas dentro del termostato instalado dentro del estanque, ya que esta sería una temperatura mucho más representativa del sistema.

Para ello, se ajustó el termostato a una temperatura superior a la indicada en el termómetro instalado en el estanque, por lo que la bomba de calor permaneció apagada, tal como era esperado. Luego, se configuró el termostato a una temperatura inferior a la mostrada en el termómetro, lo que provocó que, tras unos minutos, la bomba de calor comenzara a operar. Dentro del panel de control, la señal entregada por el termostato se muestra en la Figura 5.14, donde “Estado de unidad: Apagado” indica lo mencionado en el primer caso y “Estado de unidad: Frío” indica lo mencionado en el segundo caso. Al permanecer cerca de un minuto en “Estado de unidad: Frío” la unidad comienza su funcionamiento.



Figura 5.14: Imagen de señales entregadas por el panel de control.

Finalmente, se cambió repetidamente la configuración del termostato, verificando la señal informada y dejando funcionar la bomba de calor hasta enfriar a una temperatura de 10 °C, dando así por finalizada la prueba de funcionamiento de la bomba de calor, dejando como tarea posterior las pruebas de funcionamiento del electrolizador en conjunto con el sistema de refrigeración.

A continuación, se muestra la Figura 5.15, donde se muestra una imagen final de la instalación del sistema de refrigeración, luego de las verificaciones de su correcta instalación y funcionamiento de cada uno de sus componentes.



Figura 5.15: Imagen final de la instalación del sistema de refrigeración luego de las verificaciones de su correcto funcionamiento.

5.2. Pruebas de funcionamiento del sistema de refrigeración

Las pruebas de funcionamiento del sistema de refrigeración se realizaron con el objetivo de verificar la operatividad del electrolizador durante periodos prolongados de tiempo. Para ello, se llevaron a cabo pruebas de funcionamiento en los que el electrolizador se mantuvo produciendo hidrógeno mientras se encontraba conectado con el sistema de compresión, almacenamiento y combustión de hidrógeno, garantizando así que el electrolizador pueda funcionar por largos periodos de tiempo.

A continuación, se describe el funcionamiento del electrolizador durante las pruebas de funcionamiento del sistema de refrigeración. Se describe el procedimiento realizado para garantizar el funcionamiento continuo del electrolizador, ya que el sistema de compresión no se encontraba operativo por lo que la presión de compresión sería la entregada por el electrolizador.

Previo al inicio las pruebas, se abrieron las llaves de paso al sistema de almacenamiento realizando la compresión del hidrógeno mediante el compresor del electrolizador a una presión de 13,8 bar y un flujo de 4,1 NMH. En la Figura 5.16, se muestra el panel de control del electrolizador en el momento en que comenzó a generar hidrógeno.

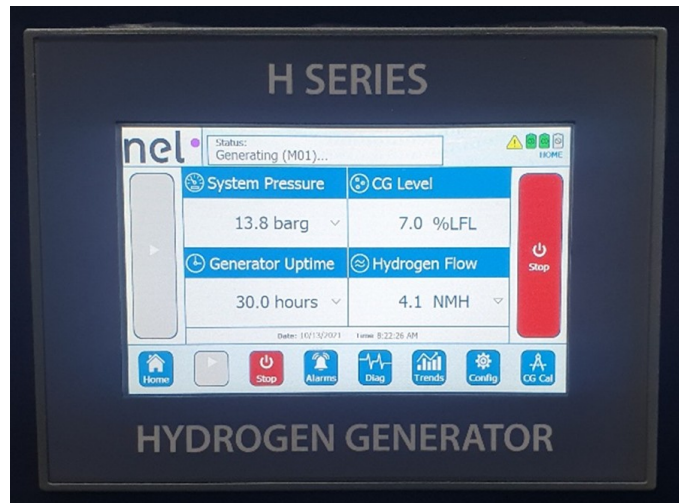


Figura 5.16: Panel de control del electrolizador al generar hidrógeno.

Como se mencionó anteriormente, el compresor no se encontraba operativo al momento de las pruebas, por lo que el hidrógeno fue almacenado dentro del estanque mostrado en la Figura 5.17. Durante este proceso, se realizó un monitoreo continuo de la presión dentro del estanque, teniendo la precaución que no acercarse a la presión entregada por el electrolizador. Se estableció como límite una presión de aproximadamente 10 bar para garantizar la seguridad del sistema.



Figura 5.17: Imágenes del sistema de almacenamiento y compresión.

Una vez que la presión en el estanque alcanzó aproximadamente 10 bar, se permitió el paso del hidrógeno hacia el quemador de hidrógeno verde, mostrado en la Figura 5.18. Inició así la combustión, a un flujo regulando de 5 NMH. Este flujo es superior al producido por el electrolizador permitiendo una disminución de la presión dentro del estanque. Sin embargo, una vez que la presión dentro del estanque disminuía, la llama se extinguía, por lo que se cortaba el paso del hidrógeno al quemador y se pasaba almacenarse dentro del estanque. Este proceso de compresión y combustión de hidrógeno puede repetirse de manera continua, garantizando que el electrolizador pueda funcionar durante períodos prolongados.



Figura 5.18: Imágenes del sistema de combustión del hidrógeno.

Tras confirmar el funcionamiento continuo del electrolizador, se identificaron los datos clave sobre el sistema de refrigeración. En la Figura 5.19, se muestra el diagrama del circuito de fluidos del electrolizador, las dos temperaturas de mayor relevancia son: TE218 y TE601, que representan la temperatura de agua desioni-

zada dentro del estanque A200 y la temperatura del agua de refrigeración respectivamente.

Estas dos temperaturas tienen rangos operativos para un correcto funcionamiento del electrolizador, donde la temperatura TE218 no puede superar los 60 °C y la temperatura TE601 debe mantenerse en un rango de 15 a 35 °C. En caso de que alguna de estas temperaturas exceda los rangos operativos, el electrolizador indicara un error dentro del panel y se detendrá la producción de hidrógeno hasta que las temperaturas vuelvan a parámetros de operación.

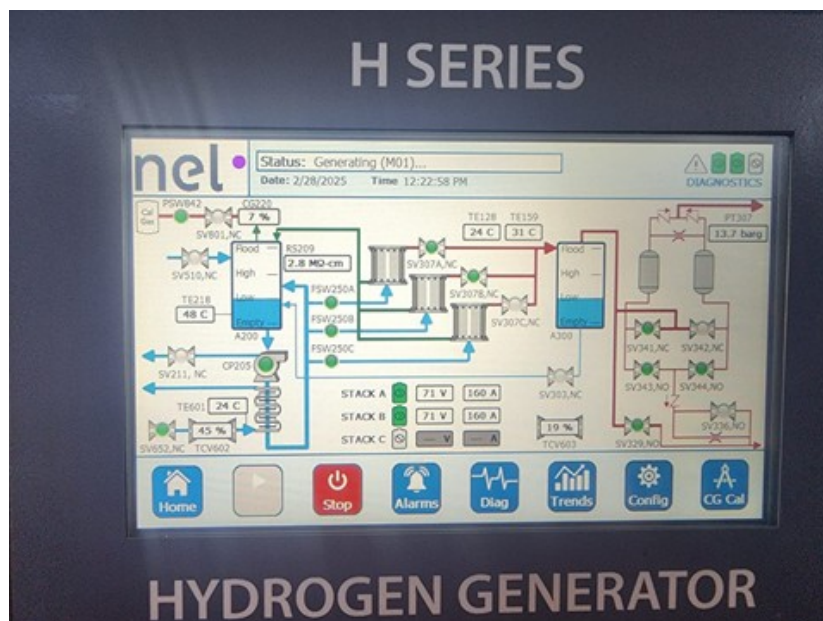


Figura 5.19: Diagrama de circuito de fluidos del electrolizador.

Para el análisis de la relevancia del sistema de refrigeración durante el funcionamiento del electrolizador, se realizaron pruebas que abarcan desde la nula intervención del sistema de refrigeración hasta su capacidad máxima de refrigeración. En estas pruebas se analizaron las temperaturas TE218 y TE601, registradas en el panel del electrolizador. Estas temperaturas corresponden a la línea azul y línea segmentada color verde, respectivamente.

A continuación, se detalla la metodología empleada en cada prueba, los gráficos obtenidos, el análisis de los resultados y las conclusiones finales.

Se llevaron a cabo cuatro pruebas de funcionamiento:

- Sistema de refrigeración cerrado
- Sistema de refrigeración abierto con funcionamiento de bomba de circulación

- Sistema de refrigeración abierto con funcionamiento de bomba de circulación y bomba de calor con termostato a 20 °C
- Sistema de refrigeración abierto con funcionamiento de bomba de circulación y bomba de calor con termostato a 10 °C

5.2.1. Sistema de refrigeración cerrado

En la primera prueba, el electrolizador operó con las válvulas de bola del sistema de refrigeración cerradas, simulando un escenario en el que el equipo funciona sin un sistema de refrigeración.

A continuación, en la Figura 5.20, se presenta el gráfico entregado en el panel de control. Durante los primeros cuatro minutos, el electrolizador se preparó para comenzar la producción de hidrógeno, iniciando la producción a las 12:13 y finalizando anticipadamente a las 12:28 debido a un considerable aumento de la temperatura en un breve periodo de 15 minutos. Donde la TE218 llegó a aproximadamente 52 °C y la TE601 26 °C.

Este resultado confirma la necesidad de un sistema de refrigeración, ya que el electrolizador no puede operar por prolongados períodos de tiempo sin sufrir aumentos críticos en las temperaturas TE218 y TE601.

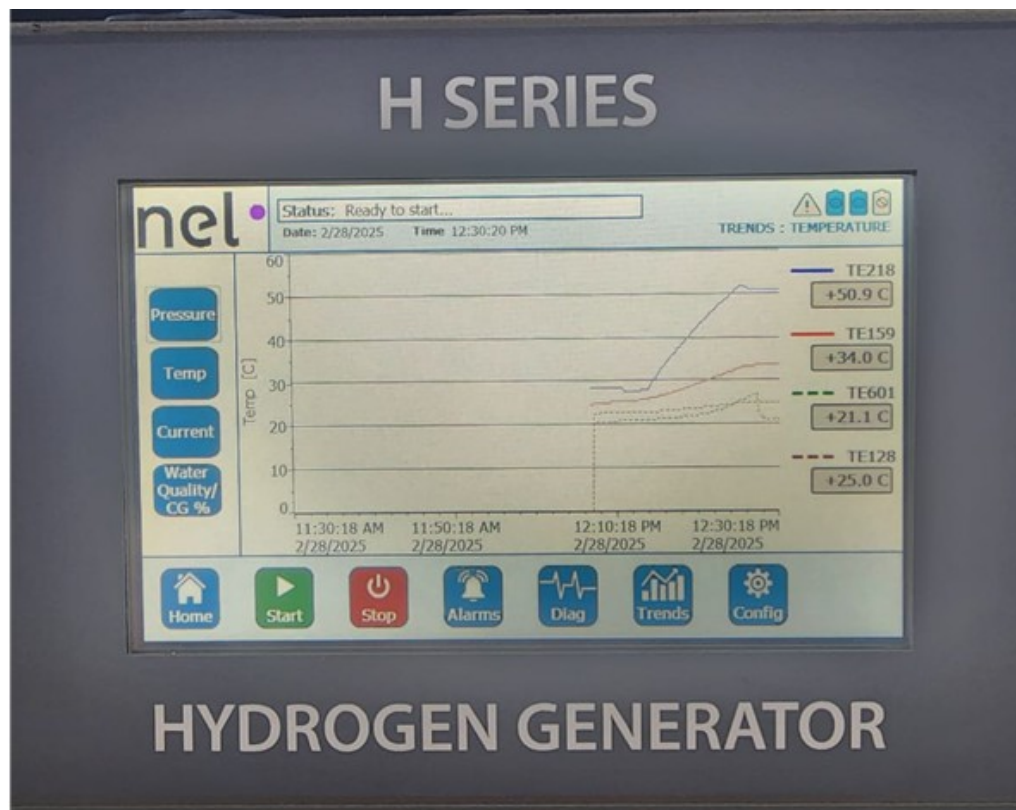


Figura 5.20: Gráfico de temperaturas del agua dentro de la primera prueba de funcionamiento.

5.2.2. Sistema de refrigeración abierto con funcionamiento de bomba de circulación

Para la segunda prueba, se abrieron las válvulas de bola a la entrada y salida del agua de refrigeración del electrolizador y se puso en funcionamiento la bomba de circulación. Esto permitió la circulación del agua dentro del estanque sin activar la bomba de calor.

Dentro del gráfico de la Figura 5.21, se puede ver que durante los primeros minutos, el electrolizador se preparó para comenzar la producción de hidrógeno, iniciando la producción de hidrógeno a las 12:58, donde se observó una disminución de la TE218 debido a la entrada de agua desionizada dentro del estanque A200. Posteriormente comenzó a aumentar unos minutos después para luego decaer levemente, mostrando un enfriamiento del agua desionizada.

Por otro lado, la TE601 continuó aumentando hasta alcanzar los 35°C, provocando la activación del error W07 (High Coolant Temp) en el panel de control y la finalizando la producción de hidrógeno a las 1:32, logrando así una duración de producción de 34 minutos.

A pesar de que se logró duplicar el tiempo de funcionamiento del electrolizador en comparación a la prueba anterior, la circulación del agua de refrigeración sin la activación de la bomba de calor sigue siendo insuficiente para el funcionamiento del electrolizador por grandes periodos de tiempo. Es importante destacar que la capacidad del estanque es de 200 litros, por lo que el aumento de temperatura se produjo rápidamente.

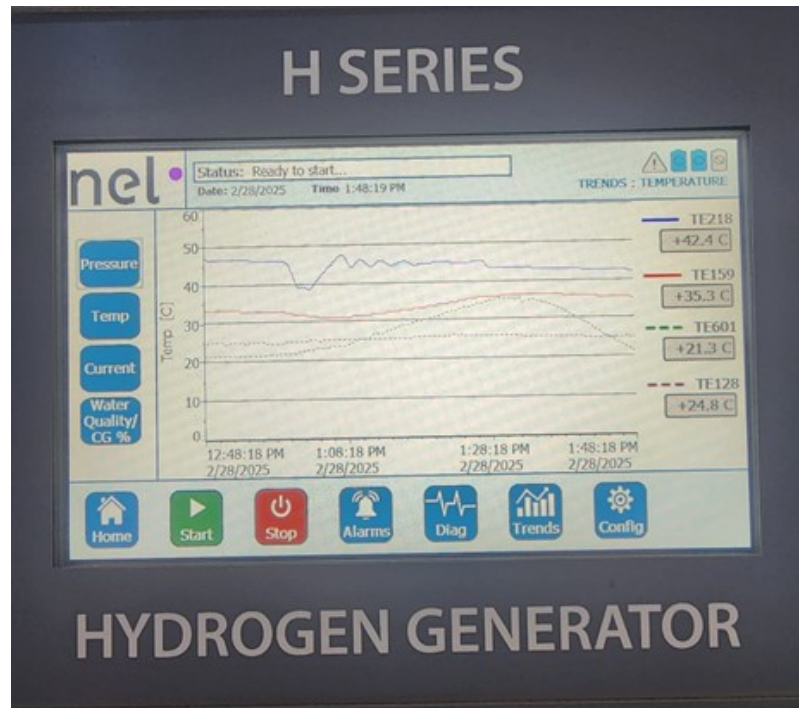


Figura 5.21: Gráfico de temperaturas del agua dentro de la segunda prueba de funcionamiento.

5.2.3. Sistema de refrigeración abierto con funcionamiento de bomba de circulación y bomba de calor con termostato a 20 °C

Para esta tercera prueba se mantuvieron las condiciones de la segunda prueba, añadiendo el funcionamiento de la bomba de calor con el termostato configurado a una temperatura de 20 °C. Esto significa que, cuando la temperatura del estanque sea superior a los 20 °C, la bomba de calor comenzaría funcionar enfriando el agua hasta que llegue a una temperatura inferior a los 20°C. Una vez que la temperatura dentro del estanque sea inferior a los 20 °C, el funcionamiento de la bomba de calor se suspendería, volviendo a activarse una vez que la temperatura del estanque sea superior a los 20 °C.

Dentro del gráfico de la Figura 5.22, la producción de hidrógeno verde comenzaría a las 2:00 y terminaría a las 3:00, sin presentar problemas a lo largo de una hora de funcionamiento. La prueba se finalizó al observar curvas de funcionamiento

TE218 y TE601 con comportamientos estables. TE218 se mantuvo en torno a una temperatura de 45 °C y TE601 osciló entre 15 y 25 °C, provocando encendidos y apagados de la bomba de calor, tal como se esperaría que sucediera por la configuración del termostato.

Debido al comportamiento oscilatorio estable de las curvas, se puede concluir que el electrolizador podría operar por periodos de tiempo más prolongados, ya que las temperaturas TE218 y TE601 permanecieron dentro de un rango acotado. La finalización de la prueba no se debió a un sobrecalentamiento ni a fallas en el sistema, sino a la estabilidad de las temperaturas, lo que indica que el sistema de refrigeración es adecuado para un funcionamiento continuo del electrolizador.

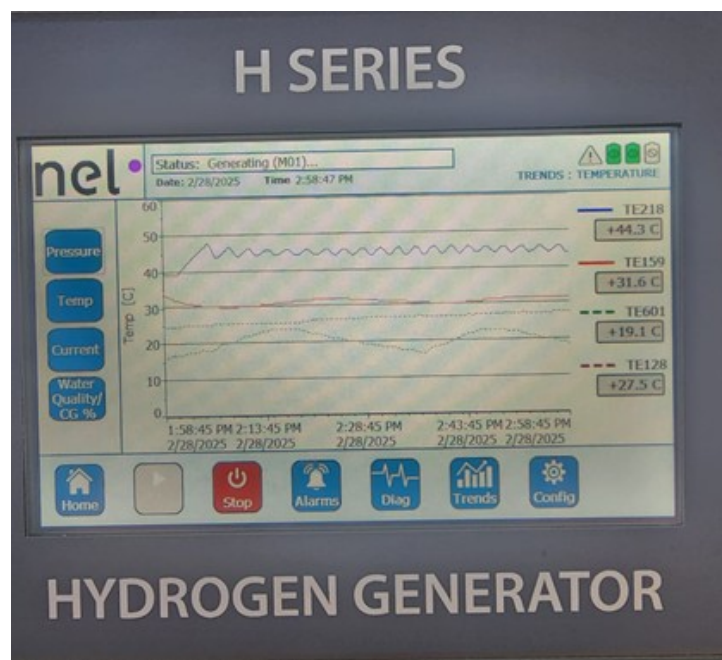


Figura 5.22: Gráfico de temperaturas del agua dentro de la tercera prueba de funcionamiento.

5.2.4. Sistema de refrigeración abierto con funcionamiento de bomba de circulación y bomba de calor con termostato a 10°C

La cuarta prueba se realizó de manera similar a la anterior, pero configurando el termostato a una temperatura de 10 °C en el momento en que la bomba dejó de funcionar debido a la baja temperatura de la prueba anterior. Durante la realización de la tercera y cuarta prueba no se detuvo la producción de hidrógeno, se mantuvo sin interrupciones.

Dentro del gráfico de la Figura 5.23, se puede apreciar que la TE218 sigue oscilando a una temperatura cercana a los 45 °C, a pesar de la notable disminución

de la TE601, que llegó hasta una temperatura cercana a los 10 °C. La prueba finalizó nuevamente en aproximadamente una hora de funcionamiento sin presentar problemas durante operación. Se observó la formación de condensado de agua en el kit de conexión al electrolizador y de la línea de PPR, debido a la baja temperatura del agua de refrigeración, lo que se evidencia en la Figura 5.24.

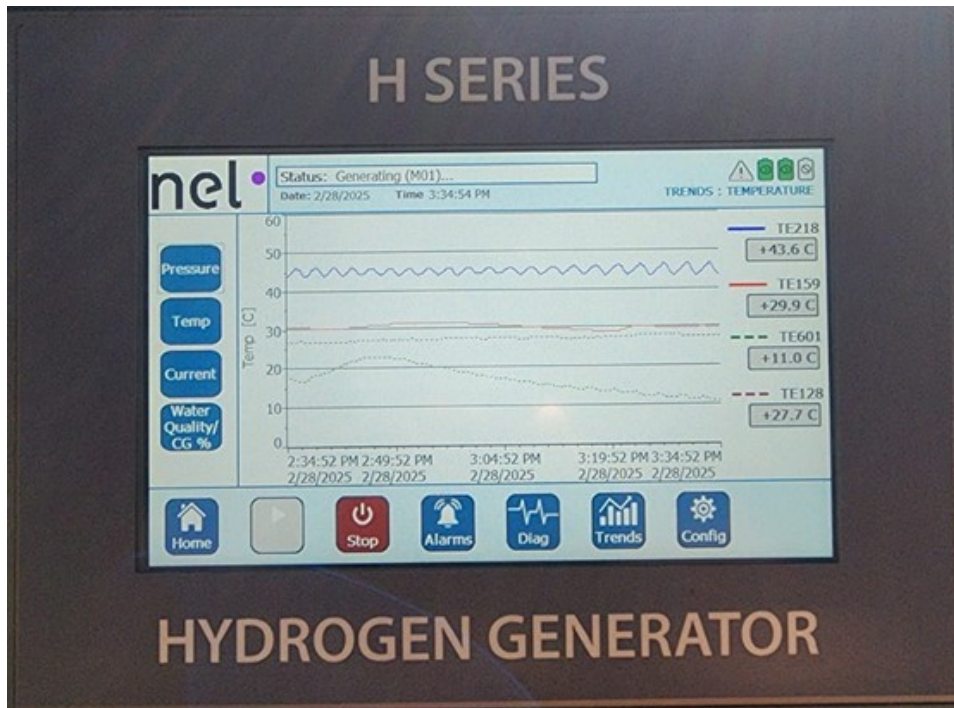


Figura 5.23: Gráfico de temperaturas del agua dentro de la cuarta prueba de funcionamiento.



Figura 5.24: Condensado de agua dentro de conexiones de agua de refrigeración a la entrada del electrolizador.

Mientras TE601 disminuía hasta alcanzar temperaturas cercanas a 10 °C, el comportamiento de las demás curvas se mantuvo estable, lo que indica que el electrolizador podría operar de manera continua, al igual que en la tercera prueba. Esta reducción de temperatura resultó más que suficiente, ya que no se apreciaron diferencias significativas en el comportamiento del sistema respecto a la prueba anterior. Dado que la curva de TE218 mostró un comportamiento similar al de la tercera prueba, a pesar de la disminución progresiva de TE601, se podría inferir que la temperatura óptima de operación de TE218 se encuentra en torno a 45 °C.

Análisis de Resultados y Conclusiones

El análisis de las distintas pruebas evidenció la necesidad de un sistema de refrigeración para evitar sobrecalentamientos en el recinto de fluidos. Este sobrecalentamiento detendría la producción de hidrógeno en la operación continua del electrolizador. Además, con el sistema de refrigeración implementado, se determina la mejor configuración para su operación prolongada.

De las pruebas realizadas se obtuvieron los siguientes resultados clave:

- Sistema de refrigeración cerrado: Electrolizador alcanzó temperaturas críticas en un lapso menor a 15 minutos, provocando la detención anticipada de la producción, evidenciando la necesidad de un sistema de refrigeración.
- Sistema de refrigeración abierto con funcionamiento de bomba de circulación: Se logró duplicar el tiempo funcionamiento, pero la producción se detuvo debido a temperaturas críticas de operación. Sin embargo, esto sigue sin ser suficiente para garantizar la operación continua del electrolizador por grandes períodos de tiempo.
- Sistema de refrigeración abierto con funcionamiento de bomba de circulación y bomba de calor con termostato a 20 °C: Se logró la operación continua del electrolizador, funcionando por alrededor de una hora manteniendo las curvas de temperatura dentro de los valores de operación de manera estable.
- Sistema de refrigeración abierto con funcionamiento de bomba de circulación y bomba de calor con termostato a 10 °C: Se logró la operación continua del electrolizador, presentando un comportamiento de las curvas de temperatura similar a la prueba anterior, lo que indica que disminuir aún más la temperatura no genera beneficios adicionales en el rendimiento del equipo.

En conclusión, los resultados de las pruebas realizadas demuestran que el sistema de refrigeración con bomba de calor y termostato configurado a 20 °C es la configuración óptima para garantizar el funcionamiento continuo de la producción de hidrógeno del electrolizador, permitiendo mantener las temperaturas estables dentro de los rangos operativos establecidos. Gracias a la implementación de este sistema, se garantiza una producción de hidrógeno más eficiente y confiable, asegurando su operatividad en el tiempo y su integración en procesos industriales o de investigación sin riesgo de fallos térmicos.

Finalmente se logró cumplir con el objetivo general del presente informe, diseñar e instalar el sistema de refrigeración para la puesta en marcha del electrolizador generador de hidrógeno verde.

Durante la realización del trabajo, se identificó el contexto e importancia de la planta de hidrógeno verde, y el análisis técnico del electrolizador permitió definir los requerimientos operacionales del sistema de refrigeración. Lo que permitió una

correcta selección, diseño, instalación y posterior verificación del sistema durante el funcionamiento del electrolizador.

La instalación realizada permitió adquirir conocimientos prácticos sobre la integración de sistemas auxiliares en equipos industriales. El desarrollo de este proyecto involucró desafíos técnicos vinculados a la definición de requerimientos, evaluación de alternativas de mercado, desafíos en el proceso de instalación, adaptación de conexiones y puesta en marcha, incluyendo aspectos como diseño, conexiones eléctricas y ajustes operativos. Estos aprendizajes resultan esenciales para futuras implementaciones de sistemas industriales.

Por otro lado, este trabajo sienta las bases para futuras mejoras tanto en el sistema de refrigeración como en la planta de hidrógeno verde. Se recomienda, como líneas de desarrollo futuro, realizar pruebas de funcionamiento por períodos prolongados (al menos 12 horas), implementar mejoras en el circuito de fluidos, optimizar los procedimientos de operación, establecer rutinas de mantenimiento y aplicar verificaciones periódicas del sistema.

Asimismo, esta experiencia representa un aporte concreto al desarrollo de infraestructura y capacidades técnicas nacionales en torno a tecnologías de hidrógeno verde, contribuyendo a la transición energética en Chile.

Referencias

- [1] IEA. «Demanda mundial reporte IEA.» (), dirección: <https://www.iea.org/reports/electricity-market-report-2023/executive-summary>. (accessed: 01.08.2024).
- [2] R. energetico. «Demanda combustibles fosiles.» (), dirección: <https://www.radarenergetico.com/los-combustibles-fosiles-aun-representan-el-82-del-consumo-mundial-de-energia-primaria/>. (accessed: 01.08.2024).
- [3] C. Nunez. «Gases efecto invernadero nationalgeographic.» (), dirección: <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/explicacion-que-son-combustibles-fosiles#:~:text=Cuando%20los%20combustibles%20f%C3%B3siles%20se,global%20y%20del%20cambio%20clim%C3%A1tico..> (accessed: 01.08.2024).
- [4] ORG. «Cambio climatico y calentamiento global.» (), dirección: <https://www.un.org/es/chronicle/article/el-papel-de-los-combustibles-fosiles-en-un-sistema-energetico-sostenible>. (accessed: 01.08.2024).
- [5] org. «Acuerdos internacionales.» (), dirección: <https://www.un.org/es/our-work/support-sustainable-development-and-climate-action>. (accessed: 05.08.2024).
- [6] Statista. «Demanda electrica en Chile.» (), dirección: <https://es.statista.com/estadisticas/1227129/demanda-energia-electrica-chile/#:~:text=Entre%202009%20y%202023%2C%20se,45%25%20respecto%20al%20a%C3%B1o%202009..> (accessed: 01.09.2024).
- [7] bcentral. «Perspectiva de demanda e inversión de hidrógeno verde.» (), dirección: <https://www.bcentral.cl/en/w/hidrogeno-verde-chile>. (accessed: 03.08.2024).
- [8] Generadoras. «Estadísticas de capacidad de generación de Chile.» (), dirección: [https://generadoras.cl/generacion-electrica-en-chile#:~:text=A%20diciembre%20de%202022%20cuenta,9%2C8%25%20petr%C3%B3leo\)..](https://generadoras.cl/generacion-electrica-en-chile#:~:text=A%20diciembre%20de%202022%20cuenta,9%2C8%25%20petr%C3%B3leo)..) (accessed: 01.12.2024).
- [9] WEF. «Receta chilena para convertirse en líder de energías renovables.» (), dirección: <https://es.weforum.org/agenda/2023/01/asi-es-como-chile-se-esta-convirtiendo-en-lider-en-energias-renovables/>. (accessed: 01.08.2024).
- [10] C. Ministerio de Energia. «Energía a 2050 ,política energética de Chile.» (), dirección: https://www.energia.gob.cl/sites/default/files/energia_2050_-_politica_energetica_de_chile.pdf. (accessed: 01.08.2024).
- [11] C. Ministerio de Energia. «Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde.» (), dirección: https://energia.gob.cl/sites/default/files/estrategia_nacional_de_hidrogeno_verde_-_chile.pdf. (accessed: 01.08.2024).

- [12] Generadoras. «Que es el hidrógeno Verde.» (), dirección: <https://generadoras.cl/tipos-energia/hidrogeno-verde>. (accessed: 02.09.2024).
- [13] zschimmer-schwarz. «Que es el hidrógeno.» (), dirección: <https://www.zschimmer-schwarz.es/noticias/que-es-el-hidrogeno-5-cosas-que-no-sabias-de-este-elemento-quimico/#:~:text=El%20hidr%C3%B3geno%20fue%20descubierto%20por,de%20que%20existiera%20el%20fuego..> (accessed: 01.08.2024).
- [14] H. Luis. «Historia del hidrógeno.» (), dirección: <https://hidrogenoverdehoy.com.ar/la-historia-del-hidrogeno-como-combustible/>. (accessed: 01.08.2024).
- [15] IEA. «Demanda mundial reporte IEA.» (), dirección: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/89c1e382-dc59-46ca-aa47-9f7d41531ab5/GlobalHydrogenReview2024.pdf>. (accessed: 01.08.2024).
- [16] IEA. «GlobalHydrogenReview2024.» (), dirección: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/89c1e382-dc59-46ca-aa47-9f7d41531ab5/GlobalHydrogenReview2024.pdf>. (accessed: 04.09.2024).
- [17] Iberdrola. «Electrolizador y el hidrógeno.» (), dirección: <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/electrolizador>. (accessed: 04.09.2024).
- [18] Apilados. «Tecnologías para la producción de hidrógeno.» (), dirección: <https://apilados.com/blog/tecnologias-para-la-produccion-de-hidrogeno-los-colores-del-hidrogeno/>. (accessed: 01.08.2024).
- [19] C. Ministerio de Energía. «Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde.» (), dirección: https://energia.gob.cl/sites/default/files/estrategia_nacional_de_hidrogeno_verde_-_chile.pdf. (accessed: 01.08.2024).
- [20] H2Chile. «Mapa de proyectos chile.» (), dirección: <https://h2chile.cl/mapa-de-proyectos/>. (accessed: 06.09.2024).
- [21] H. Rodríguez. «Propiedades del hidrógeno.» (), dirección: https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/propiedades-hidrogeno-h_18653. (accessed: 01.08.2024).
- [22] CNH2. «Hidrógeno como compuesto.» (), dirección: <https://www.cnh2.es/el-hidrogeno/>. (accessed: 01.08.2024).
- [23] M. Parra. «Procesos de obtención de hidrógeno.» (), dirección: <https://www.linkedin.com/pulse/procesos-de-obtenci%C3%B3n-hidr%C3%B3geno-y-sus-posibilidades-manuel/>. (accessed: 01.08.2024).
- [24] A. Comunicación. «Producción de Hidrógeno.» (), dirección: <https://www.ariema.com/produccion-de-h2>. (accessed: 01.08.2024).
- [25] A. Copco. «Producción de hidrógeno copco.» (), dirección: <https://www.atlascopco.com/es-ar/compressors/air-compressor-blog/what-is-hydrogen-and-how-is-it-produced>. (accessed: 01.08.2024).

- [26] J. Kilner. «Metodos de producción de hidrógeno.» (), dirección: <https://cicenergigune.com/es/blog/metodos-produccion-hidrogeno-colores>. (accessed: 01.08.2024).
- [27] A. Beatriz. «Forma de producción del hidrógeno.» (), dirección: <https://mitsidi.com/es/as-formas-de-producao-de-hidrogenio/>. (accessed: 01.02.2023).
- [28] accelera. «¿Qué es un electrolizador y para qué sirve?» (), dirección: <https://www.accelerazero.com/es/news/what-is-an-electrolyzer-and-what-is-it-used-for>. (accessed: 20.02.2023).
- [29] Senza. «Tipos y aplicaciones hidrógeno.» (), dirección: <https://senzahydrogen.com/es/tipos-procesos-y-aplicaciones-de-los-electrolizadores-de-hidrogeno/>. (accessed: 01.08.2024).
- [30] IEA. «Cadena de valor del hidrógeno.» (), dirección: <https://h2chile.cl/cadena-de-valor-del-hidrogeno/>. (accessed: 11.09.2020).
- [31] fmgrupotec. «¿Qué es la refrigeración industrial y cuáles son sus tipos?» (), dirección: <https://fmgrupotec.com/refrigeracion-industrial/>. (accessed: 11.09.2024).
- [32] Inditer. «Sistemas de refrigeración industrial.» (), dirección: <https://inditer.es/blog/sistemas-de-refrigeracion-industrial/>. (accessed: 01.04.2020).
- [33] mhindustrias. «Tipos de refrigeración industrial.» (), dirección: <https://www.mhindustrias.com/blog/tipos-de-refrigeracion-industrial-como-elegir-el-adequado/#:~:text=L%C3%ADquido:%20el%20m%C3%A1s%20utilizado%20es,seco%20y%20el%20nitr%C3%B3geno%20l%C3%ADquido..> (accessed: 02.10.2024).
- [34] Cofrico. «¿Que es una bomba de calor y como funciona la bomba de calor?» (), dirección: <https://cofrico.com/consejos-tecnicos/que-es-una-bomba-de-calor-y-como-funciona-la-bomba-de-calor/>. (accessed: 01.08.2024).
- [35] powermotiontech. «Principios de Ingeniería de Bombas Hidráulicas.» (), dirección: <https://www.powermotiontech.com/hp-en-espanol/article/21886594/principios-ingenieriles-basicos-bombas-hidraulicas>. (accessed: 01.02.2024).
- [36] IEA. «Tipos de bombas.» (), dirección: https://portalelectromecanico.com/CURSOS/MaquinasMecanicas/tipos_de_bombas_hidrulicas.html. (accessed: 04.10.2024).
- [37] inoxmim. «Tipos de bombas.» (), dirección: https://www.inoxmim.com/blog/tipos-de-bombas-industriales/#toc_Bombas_Reciprocas_o_Alternativas. (accessed: 06.10.2024).

- [38] graco. «Bombas y su aplicación.» (), dirección: <https://www.graco.com/es/es/in-plant-manufacturing/solutions/articles/electric-diaphragm-pumps-vs-other-technologies-pros-and-cons.html>. (accessed: 06.10.2024).
- [39] VVA. «Tipos de bombas industriales.» (), dirección: <https://vva-industrial.net/blog/tipos-de-bombas-industriales/>. (accessed: 06.10.2024).
- [40] vaqueiros. «Especificaciones bombas.» (), dirección: <https://www.vaqueiros.mx/bomba-periferica/>. (accessed: 06.10.2024).
- [41] eddypump. «Curvas de bombas.» (), dirección: <https://eddypump.com/es/educacion/graficos-de-curvas-de-bomba-explicados/>. (accessed: 07.10.2024).
- [42] Nel, *Generador de Hidrogeno H Serie 4, Manual de Instalación y Operación*. Nel Hydrogen, 2020. dirección: <https://drive.google.com/file/d/1NkSWKfM92BxMt0Y2F9qeQw0xwNj8LJN5/view?usp=sharing>.
- [43] Nel, *Elga Chorus 2 RO DI water purification system with a Nel Hydrogen US hydrogen generator Chorus 2 Install PD-9901-0001_{Rev.a}*. Nel Hydrogen, 2022. dirección: https://drive.google.com/file/d/1AHdJ1PP6GSSg7D97ibA0t_7fs2LQeRWX/view?usp=sharing.
- [44] LabQI, *QUI-145-23*. UTFSM, 2023. dirección: <https://drive.google.com/file/d/18Dmqt-iaA0Axw3IVoiNx05rzAjwmwdQB/view?usp=sharing>.
- [45] Nel, *Iso Kits Instruct PD-0101-0054_{revb}.pdf*. Nel Hydrogen, 2020. dirección: https://drive.google.com/file/d/1_NKK6kjsxNZHI6S_4X4IiIS_wRWeAoy_H/view?usp=sharing.
- [46] Nel, *H Series Coolant specs*. Nel Hydrogen, 2020. dirección: <https://drive.google.com/file/d/1cUywcs3JgLPcGPJGxkY17tdIT2FR0xrX/view?usp=sharing>.
- [47] J. Brito, *Alternativas equipos.xlsx*. Javier Brito, 2024. dirección: <https://docs.google.com/spreadsheets/d/12qPANpqHYVuxnORvb2MTgOqHcIt-ZGBh/edit?usp=sharing&oid=102646485392697461857&rtpof=true&sd=true>.
- [48] DAB, *Ficha Tecnica Bombas VA*. DAB, 2022. dirección: <https://drive.google.com/file/d/1TpMyRFBALIdDOF6CPMKBqhV1ckQ4lmb3/view?usp=sharing>.
- [49] ANWO, *Manual Instalacion AQUAINVERTERN*. ANWO, 2024. dirección: <https://drive.google.com/file/d/14KaTQtBWdtHHyh-WKYhiyS07590N7XgY/view?usp=sharing>.
- [50] J. Brito, *Inventor sistema de refrigeracion*. Javier Brito, 2024. dirección: <https://drive.google.com/drive/folders/1RZJoPh22BJnzWqSQqkT3VoPLgEKibXC0?usp=sharing>.

- [51] DAB, *Ficha Técnica DAB KLP 40*. DAB, 2020. dirección: <https://drive.google.com/file/d/1snNeafiPAErC72XpIgJIK-kfpz169Ykx/view?usp=sharing>.
- [52] DAB, *K SINGLE_TSENG*. DAB, 2020. dirección: <https://drive.google.com/file/d/1AHYaxrg82XILhKRjfyq-9mXOXfM1ecCM/view?usp=sharing>.
- [53] J. Brito, *Secciones línea piping*. Javier Brito, 2024. dirección: <https://docs.google.com/spreadsheets/d/1ok-Dr8MbUQ9g6wYSKdcvsR7Tt6pLwlfx/edit?usp=sharing&oid=102646485392697461857&rtpof=true&sd=true>.
- [54] Quimica.es. «Propiedades del hidrogeno atómicas y físicas.» (), dirección: <https://www.quimica.es/enciclopedia/Hidr%C3%B3geno.html#Aplicaciones>. (accessed: 01.08.2024).
- [55] Nel, *Manual de operacion de Purelab Chorus 2 Elga Veolia 04-0400-0015 Chorus2RODIOperatorManualEN*. elga, 2022. dirección: https://drive.google.com/file/d/1ZB4lkKrBh_-yczI1t9FquUtkmuMbNnge/view?usp=sharing.
- [56] ANWO, *Cotización 2037834 QUEMPIN - Bomba de Calor 16 kW y Accesorios*. ANWO, 2024. dirección: <https://drive.google.com/file/d/1JA13m0Jq6ubjoAanKZ7v1umKf3bkXvuK/view?usp=sharing>.
- [57] ANWO, *Ficha AquaInverterN*. ANWO, 2024. dirección: <https://drive.google.com/file/d/1VK9rWvp4HQCKJ-Nz-ldbWq7GK68sSqtq/view?usp=sharing>.
- [58] CORDIVARI, *Ficha_Ddeposito_Inercial_Multiclíma*. CORDIVARI, 2020. dirección: <https://drive.google.com/file/d/11J-5LKZFLi6bGm5pfYXcfyZs-10zVCdR/view?usp=sharing>.

Anexos

Tabla 5.1: Información general de propiedades del hidrógeno [54].

Número atómico	1	1.00797	Peso atómico
Punto de ebullición °C	-252.7	1	Valencia
Punto de fusión °C	-259.7	H	Símbolo
Densidad	0.017	1s ¹	Estructura atómica
		Hidrógeno	Nombre

General	
Nombre, símbolo, número	Hidrógeno, H, 1
Serie química	No metales
Grupo, período, bloque	1, 1, s
Densidad, dureza Mohs	0,08988 kg·m ⁻³ , -
Apariencia	Incoloro

Tabla 5.2: Propiedades atómicas y físicas del hidrógeno [54].

Propiedades atómicas	
Masa atómica	1,00794(7) u
Radio medio [†]	25 pm
Radio atómico calculado	53 pm (Radio de Bohr)
Radio covalente	37 pm
Radio de Van der Waals	120 pm
Término del estado fundamental	² S _{1/2}
Configuración electrónica	1s ¹
Estados de oxidación (óxido)	1, -1 (anfótero)
Estructura cristalina	Hexagonal
Propiedades físicas	
Estado de la materia	gas
Punto de fusión	14,025 K
Punto de ebullición	20,268 K
Punto de inflamabilidad	255 K
Punto de autoignición	773 - 844 K
Entalpía de vaporización	0,44936 kJ·mol ⁻¹
Entalpía de fusión	0,05868 kJ·mol ⁻¹
Presión de vapor	209 Pa a 23 K
Punto triple	13,8033 K ; 7,042·10 ³ Pa
Punto crítico	23,97 K ; 1,293·10 ⁶ Pa
Velocidad del sonido	1270 m·s ⁻¹ a 298,15 K
Solubilidad en agua	1,7 mg l ⁻¹ a 293,15 K
Viscosidad	8,6·10 ⁻⁵ P a 273,15 K
Tensión superficial	2,438·10 ⁻³ N·m ⁻¹ a 18,65 K

Tabla 5.3: Especificaciones técnicas, pag 20 Manual de instalación y operación, Generador de Hidrógeno H Serie 4 Nel H Series [42].

Producción de hidrógeno	H2	H4	H6
Tasa de producción neta	2 Nm ³ /h	4 Nm ³ /h	6 Nm ³ /h
Nuevo México/h @ 0u°C, 1 bar			
SCF/h a 70u°F, 1 atmósfera	76 pies cúbicos por hora	152 pies cúbicos por hora	228 pies cúbicos por hora
Kg por 24 horas	4,31 kilos/24h	8,63 kilos/24h	12,94 kilos/24h
Presión de entrega - Nominal	15 barg (218 psig) [Para la opción de 30 bar, la presión máxima es 30 barg (435 psig)]		
Energía consumida/Volumen de Gas hidrógeno producido	7,3 kWh/Nm ³	7,0 kWh/Nm ³	6,8 kWh/Nm ³
	19,2 kWh/100 pies ³	18,5 kWh/100 pies ³	17,8 kWh/100 pies ³
Pureza Concentración de Impurezas:	99,9995 por ciento Vapor de agua < 5 PPM Agua (-65° C / -85° F Punto de rocío) norte: < 2 ppm, O ₂ : < 1 PPM, todos los demás indetectables		
Rango de cobertura	Entrega neta del producto del 0 al 100 por ciento		
Capacidad de actualización	Actualizable a 6 Nm ³ /h (228 SCF/h)	Actualizable a 6 Nuevo México/h (228 SCF/h)	N / A
Requisito de agua desionizada			
Tarifa a tarifa máxima de consumo	1,83 l/h	3,66 l/h	5,50 l/h
	0,50 galones/h	0,96 galones/h	1,42 galones/h
Temperatura	5°C a 50°C 41°F a 122°F		
Presión	1,5 a 4 barg 21,8 a 58,0 PSIG		
Calidad del agua de entrada	Se requiere agua desionizada ASTM tipo II (< 1 micro Siemens/cm) (> 1 MΩ-cm) Se prefiere agua desionizada ASTM tipo I (< 0,1 micro Siemens/cm) (> 10 MΩ-cm)		
Carga de calor y requisitos de refrigerante			
Enfriamiento	Enfriado por líquido		
Carga de calor del sistema	8,1 kW máx.	16,1 kW máx.	23,7 kW máx.
refrigerante	15 a 45 Lpm 4 a 12 gpm	15 a 68 Lpm 4 a 18 gpm	15 a 87 Lpm 4 a 23 gpm
	0 a 50 por ciento de glicol, no incrustante 1,4 a 6,9 barg (20 a 100 PSIG) 5° C a 35°C (41°F a 95°F) * Se requiere agua de refrigeración a 25 °C cuando la temperatura ambiente son > 40° C		
especificaciones eléctricas			
Potencia máxima requerida dentro de lo esperado Toda la vida	22kVA	38kVA	55kVA
Especificaciones eléctricas	380/400/415 VCA, trifásico, 50 Hz --- 480 VCA, trifásico, 60 Hz		
No suministre energía al sistema Serie H desde un GFCI (interruptor de circuito de falla a tierra) o un GFEP (interruptor de circuito de falla a tierra). Protector de equipo) disyuntor.			

Tabla 5.4: Especificaciones técnicas, pag 21 Manual de instalación y operación, Generador de Hidrógeno H Serie 4 Nel H Series [42].

Conexiones de interfaz		H2	H4	H6
h/Puerto del producto	Racor de tubo de compresión CPI de N°, acero inoxidable			
h/V/O Puerto de ventilación	1" FNPT, acero inoxidable			
Puerto de agua DI	1" FNPT, acero inoxidable			
Puerto de gas de calibración	1/8" FNPT, Latón			
Puerto de suministro de refrigeración	1" FNPT, Latón			
Puerto de retorno de enfriamiento	1" FNPT, Latón			
Conexión de purga	3/8" FNPT, Latón			
Eléctrico	Conexión al disyuntor a bordo			
Comunicaciones	Ethernet, contactos secos de 24 VCC			
Sistemas de control				
Características estándar	Totalmente automatizado, botón de inicio/parada, parada de emergencia. H a bordo: Detección. Detección automática de fallas y despresurización del sistema. Arranque y parada remotos			
Alarma remota	Relé de forma C (conmutación nominal máxima de 5 A, 250 V, 150 W)			
Apaado remoto	Entrada cableada al PLC de seguridad			
Características del recinto				
Dimensiones (An x P x Al) (Producto/Envío estimado)	180 cm x 81 cm x 191 cm (71" x 32" x 75") 206 cm x 104 cm x 216 cm (81" x 41" x 85") Nota: agregue 8 cm (3 pulgadas) a la altura para los soportes de elevación instalados			
Peso (producto/Envío estimado)	700 kg (1500 libras) / 807 kg (1776 libras)	727 kg (1600 libras) / 858 kg (1887 libras)	773 kg (1700 libras) / 908 kg (1998 libras)	
Cualificación	IP43 para caja de fluidos; Actualizable a IP56; IP66 para gabinete eléctrico			
Consideraciones ambientales				
Ubicación de ubicación estándar	Interior, Nivel ±1%, 0 a 90 por ciento de humedad relativa sin condensación, ambiente no peligroso/no clasificado			
Temperatura de almacenamiento/transporte	5°C a 60°C (41°F a 140°F)			
Rango de temperatura ambiente	5°C a 50°C (41°F a 122°F)			
Rango de altitud: nivel del mar hasta:	2000 m (6562 pies)			
Ventilación	Se debe proporcionar ventilación adecuada desde un área no peligrosa a una velocidad de acuerdo con IEC60079-10, Zona 2 NE			
Seguridad y conformidad reglamentaria				
Ventilación del recinto con ambiente.	NFPA 69 y EN 1127-1, Cláusula 6.2 El ventilador aspira aire fresco hasta 28 Nm³/min (1000 pies³/min)			
Ruido dB(A) a 1 metro	< 83			
Aprobaciones	cTUVus (equivalente a UL y CSA), CE (PED, Mach Dir., EMC), ISO 22734-1			
Opciones				
	Nel ofrece una amplia gama de opciones para adaptar su sistema de generación de hidrógeno a sus requisitos operativos específicos. Comuníquese con su representante local de Nel para analizar la lista actual de opciones disponibles que se adaptan mejor a sus necesidades.			

Tabla 1 Especificaciones de la Serie H 4



Figura 5– Interconexiones del Generador de Hidrógeno H Serie 4

Ref.	Interconexión	Ref.	Interconexión
A	Salida de Gas de Calibración	H	Boca de Drenaje de H ₂ O Desionizada
B	Orificio de evacuación de H ₂	I	Alimentación eléctrica de CA en esta área
C	Salida del hidrógeno producido	J	Comunicaciones en esta área
D	Filtro de entrada de aire	K	Alarma y parada a distancia en esta área
E	Entrada alimentación agua desionizada	L	Cáncamos de elevación
F	Boca de entrada de agua de enfriamiento	M	Conector de la válvula aisladora de agua
G	Salida de gas de calibración	N	Descarga de condensado del recinto eléctrico

Figura 5.25: Interfaces mecánicas pag 22 Manual de instalación y operación, Generador de Hidrógeno H Serie 4 Nel H Series [42].

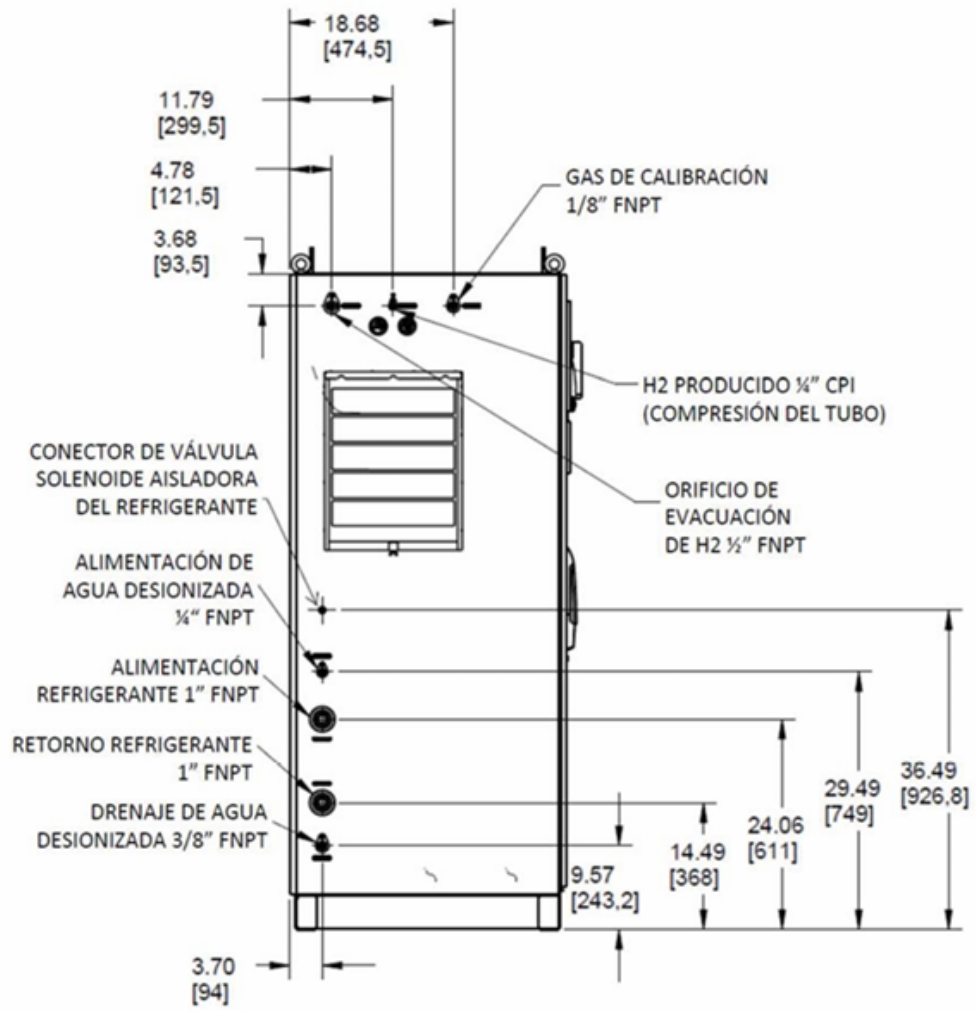


Figura 5.26: Vista izquierda electrolizador, pag 39 Manual de instalación y operación, Generador de Hidrógeno H Serie 4 Nel H Series [42].

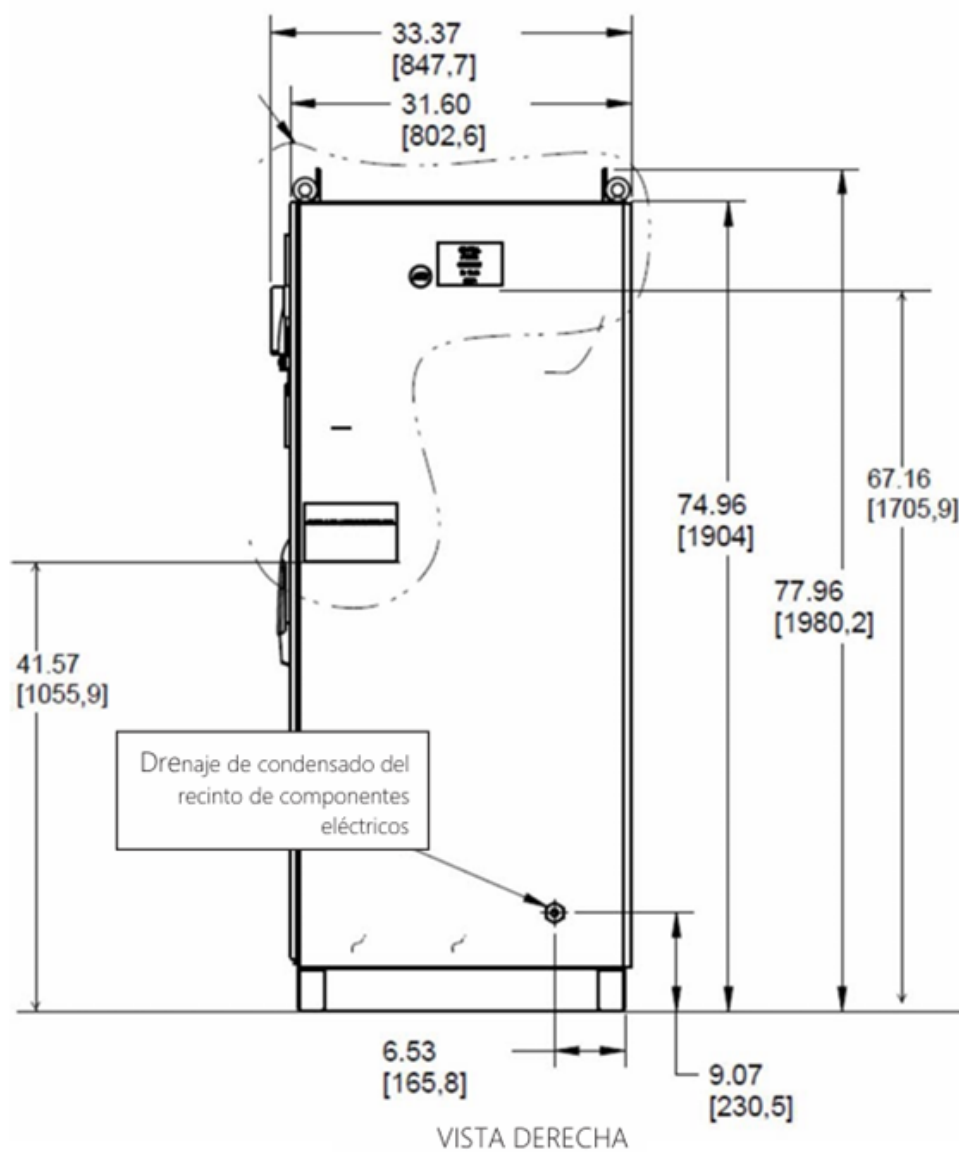


Figura 5.27: Vista derecha electrolizador, pag 35 Manual de instalación y operación, Generador de Hidrógeno H Serie 4 Nel H Series [42].

Tabla 5.5: Requerimientos de demanda de agua desionizada, pag 20 Manual de instalación y operación, Generador de Hidrógeno H Serie 4 Nel H Series [55].

Demanda de Agua Desionizada			
Caudal a Régimen de Consumo Máximo	1.83 L/h	3.66 L/h	5.50 L/h
	0.50 gal/h	0.96 gal/h	1.42 gal/h
Temperatura	5° C a 50° C (41° F a 122° F)		
Presión	1,5 to 4 barg (21,8 a 58,0 PSIG)		
Calidad del Agua de Entrada	Se requiere Agua Desionizada ASTM Tipo II (< 1 micro Siemen/cm) (> 1 MΩ-cm) Se prefiere Agua Desionizada ASTM Tipo I (< 0.1 micro Siemen/cm) (> 10 MΩ-cm)		

Tabla 5.6: Especificaciones técnicas, pag 12 Manual de operación de Purelab Chorus 2 Elga Veolia [55].

7. TECHNICAL SPECIFICATIONS				
Purified Water Specification				
Model	PURELAB® Chorus 2 PC2100DXM3	PURELAB® Chorus 2 PC2100IBPM3	PURELAB® Chorus 2 PC2200DXM3	PURELAB® Chorus 2 PC2200IBPM3
Make-up rate @15°C (*4bar feed)	10l/h	10l/h	20l/h	20l/h
Delivery flow rate - maximum	240l/24h	240l/24h	480l/24h	480l/24h
Inorganic Rejection	1 to >10MQ. cm	1 to >10MQ. cm	1 to >10MQ. cm	1 to >10MQ. cm
Organics (TOC) - Typical	<30ppb	<30ppb	<30ppb	<30ppb
Organics (MW > 200 Dalton)	>99% Rejection	>99% Rejection	>99% Rejection	>99% Rejection
Bacteria - Typical	<5 CFU/ml	<5 CFU/ml	<5 CFU/ml	<5 CFU/ml
Particles	>99% Rejection	>99% Rejection	>99% Rejection	>99% Rejection
Feed Water Specification				
Source Quality	Potable mains supply	Potable mains supply	Potable mains supply	Potable mains supply
Fouling Index-Maximum	10	10	10	10
TDS-Maximum	1000ppm	1000ppm	1000ppm	1000ppm
Conductivity	<2000µS/cm	<2000µS/cm	<2000µS/cm	<2000µS/cm
Free/total Chlorine-Maximum	0.5ppm	0.5ppm	0.5ppm	0.5ppm
Chloramine - Maximum	0.5ppm	0.5ppm	0.5ppm	0.5ppm
Heavy Metals-Maximum (Fe/Mn)	0.05ppm	0.05ppm	0.05ppm	0.05ppm
Silica-Maximum	30ppm	30ppm	30ppm	30ppm
Temperature	1-35°C	1-35°C	1-35°C	1-35°C
Flowrate (max requirement @ 15°C)	100l/h	100l/h	100l/h	100l/h
Drain requirements	80l/h	80l/h	80l/h	80l/h
Maximum feed pressure	6.0 bar (90 psi)	2.0bar (30psi)	6.0 bar (90 psi)	2.0bar (30psi)
Minimum feed pressure	4.0 bar (58 psi)	0.5bar (7.5psi)	4.0 bar (58 psi)	0.5bar (7.5psi)

Procedimiento:

1. Confirme que el interruptor de derivación de servicio esté en modo normal. (Ver Figura 47)
2. Verifique que todas las puertas del gabinete estén cerradas y aseguradas.
3. Verifique que las aberturas de entrada y salida de aire no estén bloqueadas.
4. Confirme que la habitación no esté clasificada.
5. Verifique que el suministro de agua DI esté ENCENDIDO.
6. Verifique que el suministro de refrigerante esté ENCENDIDO.
7. Gire el interruptor de desconexión de alimentación principal de APAGADO (posición O) a ENCENDIDO (posición I).

Figura 5.28: Procedimiento sección 3.2 Aplicando poder del “Manual de instalación y operación, Generador de Hidrógeno H Serie 4 Nel”.

1. Abra el suministro de agua DI de la instalación a la unidad.
2. Encienda la instalación de la unidad.
3. Abra el suministro de agua de refrigeración a la unidad.
4. Cambie la tecla de derivación de servicio a la derecha, modo "SERVICIO". Ver Figura 47.
5. Abra la puerta lateral de fluido del generador.
6. Verifique que la pila de celdas esté correctamente instalada y asegurada a la base.
7. Verifique que las mangueras de agua de la pila de celdas estén conectadas correctamente.
8. Verifique que la línea de producto de salida de hidrógeno esté conectada correctamente con la unión dieléctrica instalada.
9. Verifique que los cables de la pila de celdas de CC positivo y negativo estén conectados y apretados correctamente. Apriete a 375 pulgadas-libra (42,4 Nm).
10. Gire el interruptor de desconexión de alimentación principal a la posición ON (I).
11. Si se muestra un código de error, E40 (La validez de la calibración del sensor CG ha transcurrido (más de 104 días) en la HMI, se debe calibrar el sensor de gas combustible para el generador de hidrógeno. (Consulte la Guía de mantenimiento de la Serie H 4). Manual, PD-0200-0007.) Una vez calibrado, continúe con el Paso 9.
12. Presione el botón de inicio verde. El generador de hidrógeno ahora está listo para pasar por las verificaciones previas al inicio e intentar arrancar. En la pantalla se leerá "Configuración del sistema...". Este paso puede tardar hasta 30 minutos y depende del caudal de agua desionizada y de la presión de suministro a la unidad. Durante este período de tiempo, la unidad llena el A200 con agua. En este momento, inspeccione el gabinete lateral de fluido para detectar fugas de agua. Si encuentra alguna fuga de agua, apague la unidad en el interruptor de alimentación principal, repare las fugas y comience en el Paso 6 de esta sección. Al final del período de 30 minutos, si la unidad no puede llenar el A200, la unidad realiza un apagado automático y comunica un código de error E17.
Borre el error y repita el paso 12.
13. Cierre todas las puertas y después de 30 segundos regrese la llave de derivación de servicio a RUN.
14. Continúe con la Sección 3.6 para obtener información operativa y de inicio de rutina.

Figura 5.29: Procedimiento sección 3.3 Instrucciones de puesta en marcha inicial del "Manual de instalación y operación, Generador de Hidrógeno H Serie 4 Nel".



Figura 5.30: Muestras de hidrógeno

RESULTADOS

Código interno	Análisis	Unidad	Resultados (*)
CI 255	Hidrógeno	[mol H ₂ /100 moles de gas]	90 ± 4
CI 256			93 ± 1

Figura 5.31: Tabla resultados calidad hidrógeno.

Tabla 5.7: pag 20 “Manual de instalación y operación, Generador de Hidrógeno H Serie 4 Nel”



Generador de Hidrógeno H Serie 4
Manual de Instalación y Operación

1.7 Especificaciones del Producto

Producción de Hidrógeno	H2	H4	H6
Capacidad de Producción Neta Nm ³ /h a 0°C, 1 bar SCF/h a 70°F, 1 atm Kg cada 24 horas	2 Nm ³ /h 76 SCF/h 4,31 kg/24h	4 Nm ³ /h 152 SCF/h 8,63 kg/24h	6 Nm ³ /h 228 SCF/h 12,94 kg/24h
Presión de Salida – Nominal	15 barg (218 psig) [Para la opción de 30 Bar la presión máxima es de 30 barg (435 psig)]		
Consumo de energía/volumen de gas hidrógeno producido	7,3 kWh/Nm ³ 19,2 kWh/100 pies ³	7,0 kWh/Nm ³ 18,5 kWh/100 pies ³	6,8 kWh/Nm ³ 17,8 kWh/100 pies ³
Pureza Concentración de Impurezas:	99,9995 % Vapor de agua < 5 PPM de agua (-65° C/ -85° F del punto de rocío) N ₂ < 2 PPM, O ₂ < 1 PPM, las demás no se detectan		
Valores de Producción	0 a 100 % de la Capacidad de Producción Neta		
Mejoramiento	Mejoramiento hasta 6 Nm ³ /h (228 SCF/h)	Mejoramiento hasta 6 Nm ³ /h (228 SCF/h)	N/A
Demanda de Agua Desionizada			
Caudal a Régimen de Consumo Máximo	1.83 L/h 0.50 gal/h	3.66 L/h 0.96 gal/h	5.50 L/h 1.42 gal/h
Temperatura	5° C a 50° C (41° F a 122° F)		
Presión	1,5 to 4 barg (21,8 a 58,0 PSIG)		
Calidad del Agua de Entrada	Se requiere Agua Desionizada ASTM Tipo II (< 1 micro Siemen/cm) (> 1 MΩ-cm) Se prefiere Agua Desionizada ASTM Tipo I (< 0.1 micro Siemen/cm) (> 10 MΩ-cm)		
Carga Térmica y Demanda de Refrigerante			
Enfriamiento	Enfriado por Líquido		
Carga Térmica del Sistema	8,1 kW Máx.	16,1 kW Máx.	23,7 kW Máx.
Refrigerante	15 a 45 Lpm 4 a 12 gpm	15 a 68 Lpm 4 a 18 gpm	15 a 87 Lpm 4 a 23 gpm
	0 a 50 % Glicol, Sin obstrucción 1,4 a 6,9 barg (20 a 100 PSIG) 5°C a 35°C (41° F a 95° F) *Se requiere agua de enfriamiento a 25° C cuando las temperaturas ambiente son > 40° C		
Especificaciones eléctricas			
Potencia máxima requerida durante la vida útil esperada	22 kVA	38 kVA	55 kVA
Especificación Eléctrica	380/400/415 VAC, 3 Phase, 50Hz --- 480 VAC, 3 Phase, 60 Hz		
No provea alimentación eléctrica al sistema de la Serie H desde un GFCI (Interruptor de Circuito por Falla a Tierra) o un cortacircuitos GFEP (Protección de Equipos por Falla a Tierra)			

Tabla 5.8: pag 21 “Manual de instalación y operación, Generador de Hidrógeno H Serie 4 Nel”



Generador de Hidrógeno H Serie 4
Manual de Instalación y Operación

Interconexiones	H2	H4	H6
Boca de admisión de H2	Accesorio de compresión para tubos ¼" CPI®, SS		
Orificio de evacuación de H2/H2O	FNPT ½", acero inoxidable		
Agua desionizada	FNPT ¼", acero inoxidable		
Salida de Gas de Calibración	FNPT 1/8", Bronce		
Salida Alimentación Fluido de Enfriamiento	FNPT 1", Bronce		
Salida Retorno Fluido de Enfriamiento	FNPT 1", Bronce		
Boca de Drenaje	FNPT 3/8", Bronce		
Eléctrica	Conexión a cortacircuitos incorporado		
Comunicaciones	Ethernet, contactos secos de 24 VCC		
Sistemas de Control			
Funciones estándar	Totalmente automático, arranque/parada por botón pulsador, parada de emergencia. Detección de fallas de H ₂ Incorporada. Detección automática de fallas y reducción de presión del sistema.		
Alarma a Distancia	Relé en forma de C (5A, 250V, 150W conmutación nominal Máx.)		
Parada a Distancia	Entrada de cables al PLC de seguridad		
Características del Recinto			
Dimensiones (A x P x H) (Transporte del producto/Est.)	180 cm x 81 cm x 191 cm (71" x 32" x 75") 206 cm x 104 cm x 216 cm (81" x 41" x 85") Nota: agregar 8 cm (3 pul.) a la altura, por los cáncamos de elevación instalados		
Peso (producto / estimado envío)	700 kg (1500 lbs) / 807 kg (1776 lbs)	727 kg (1600 lbs) / 858 kg (1887 lbs)	773 kg (1700 lbs) / 908 kg (1998 lbs)
Condiciones Nominales	IP43 para Recinto de Fluidos; actualizable hasta IP55; IP66 para Recinto de componentes eléctricos.		
Aspectos Ambientales			
Ubicación normal	Interior, Nivel ± 1°, 0 a 90 % de HR sin condensación, ambiente no peligroso/no clasificado		
Temperatura de Almacenamiento/Transporte	5 ° C a 60° C (41° F a 140° F)		
Gama de Temperaturas Ambiente	5 ° C a 50 ° C (41° F a 122 ° F)		
Gama de Altitudes – Desde el nivel del mar hasta:	2000 m (6562 pies)		
Ventilación	Debe proveerse ventilación adecuada desde un área no peligrosa conforme a normas IEC60079-10, Zona 2 NE		
Conformidad con Normas de Seguridad y Reqlamentos			
Ventilación del Recinto con Aire Ambiente	NFPA 69 y EN 1127-1, Cláusula 6.2 El Ventilador Aspira Aire Puro hasta 28 Nm ³ /min (1000 pies ³ /min)		
Ruido <i>dB(A) a 1 Metro</i>	< 83		
Aprobaciones	Aprobación de cTUVus (equivalente UL y CSA), CE (PED, Mach Dir., EMC), ISO 22734-1		
Opciones			
	Nel ofrece una amplia variedad de opciones que se adaptan a su sistema de generación de hidrógeno, a fin de satisfacer sus necesidades de operación específicas. Si desea conocer la lista de opciones actualmente disponibles que mejor se adaptan a sus necesidades, comuníquese con el representante de Nel más cercano.		

Cuadro 1- Especificaciones Generador de Hidrógeno H Serie 4

Válvula Aisladora Automática del Circuito de Enfriamiento para cortar el suministro de refrigerante. Las instrucciones que se presentan a continuación constituyen una guía para la conexión de la válvula automática. Ese juego contiene las instrucciones completas.

Debe instalarse un filtro en la entrada de fluido, a fin de evitar que el sistema se obstruya con material particulado. Por lo general, los filtros cuentan con poca capacidad de retención y están diseñados sólo para una pequeña cantidad de partículas. Las instalaciones con alto contenido de partículas en el agua de enfriamiento podrán necesitar una mayor filtración a fin de evitar la frecuente obstrucción de este filtro. Nel recomienda un elemento filtrante con malla 50.



Figura 28- Interconexiones del Agua de Enfriamiento

Nel recomienda también utilizar manómetros para controlar la disminución de presión en el filtro/tamiz y el agua de enfriamiento disponible en la instalación.



¡Nunca debe hacerse funcionar la unidad si el filtro de entrada no está instalado!

4.2 Opción Válvula Aisladora de Refrigerante (Instalada)

El conjunto de aislación del refrigerante permite aislar manualmente el refrigerante del generador de hidrógeno para realizar tareas de mantenimiento. Se incorpora un filtro para mantener el refrigerante sin desechos mientras circula a través del generador de hidrógeno.

Se dispone también de una válvula aisladora automática controlada por el generador de hidrógeno. Esta válvula se cerrará después de ocurrido un incidente de seguridad, evitando que el refrigerante ingrese al recinto en caso de una pérdida interna de refrigerante.



Figura 56- Opción Válvula Aisladora de Refrigerante Instalada

4.3 Opción Transmisor de Datos de Punto de Rocío

El transmisor de datos de punto de rocío monitorea el funcionamiento del secador de hidrógeno, midiendo la humedad del gas seco, a partir de los niveles de punto de rocío del ambiente, hasta valores de -148° F (-100° C).



Figura 57- Transmisor de Datos de Punto de Rocío



Nel ofrece un equipo de transmisión de datos de punto de rocío. El equipo incluye un transmisor de datos de punto de rocío de última tecnología con un sensor de humedad a base de óxido de aluminio (KT-1000-0013).

Figura 5.33: pag 80 “Manual de instalación y operación, Generador de Hidrógeno H Serie 4 Nel”

Coolant Isolation Kit Assembly and Installation Instructions (KT-1000-0157)



This kit applies to Proton H Series 4 Hydrogen Generators. For earlier generations of hydrogen generators, refer to PD-0101-0019 and KT-1000-0017.

Coolant Supply Sub-assembly:

- Assemble the component fittings in the order shown in Figure 1.
 - Be sure to use appropriate amount of thread sealant on pipe threads. Rectorseal® No. 7 is recommended.
 - Parts may be assembled one at a time and built out from the H Series coolant inlet port or as a complete sub assembly and then rotated as a unit into the H Series inlet port.



Hold the H Series interface port couplings located on the hydrogen generator with a wrench to prevent turning of internal plumbing.

- Make sure the arrow on the "Y" strainer points toward the H Series Hydrogen Generator and that the catch leg points downward as shown.
- Route and connect the solenoid valve cable to corresponding connector on the hydrogen generator, located above the coolant plumbing connections. Note that the connectors are keyed.

Note: The Coolant Supply connection is a 1" FNPT.

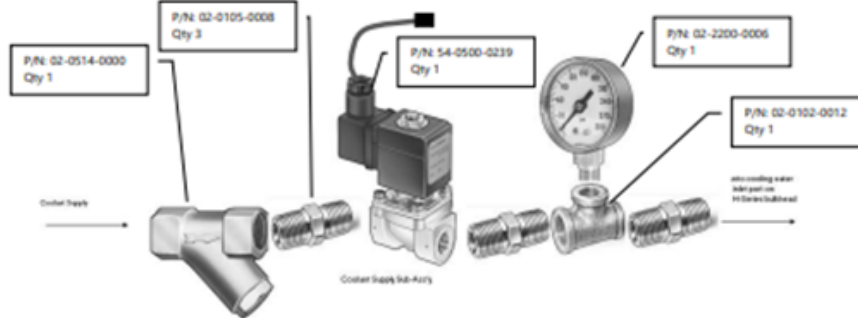


Figure 1. Coolant Supply Assembly

Coolant Return Sub-assembly:

- Assemble the component fittings in the order shown in Figure 2 below.
 - Be sure to use appropriate amount of thread sealant on pipe threads. Rectorseal® No. 7 is recommended.
 - Parts may be assembled one at a time and built out from the H-Series coolant output port or as a complete sub assembly and then rotated as a unit into the H Series outlet port.



Hold the H Series interface port couplings located on the hydrogen generator with a wrench to prevent turning of internal plumbing.

- Make sure the direction of the arrow on check valve points away from the H Series Hydrogen Generator.

Note: Coolant Return connection is a 1" FNPT.

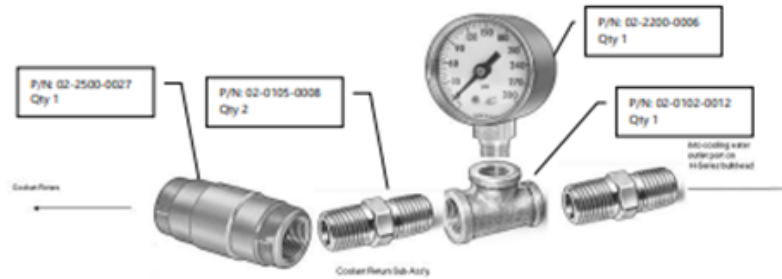


Figure 2. Coolant Return Assembly

Tabla 5.9: H Series Coolant specs.

°C	Minimum Flow in Liters per Minute			Minimum Flow in Gallons per Minute		
	H2m	H4m	H6m	H2m	H4m	H6m
5	15	15	15	4.0	4.0	4.0
10	16	18	20	4.2	4.8	5.3
25	19	26	33	5.0	6.9	8.7
35	45	68	86	11.9	18.0	22.7
Min Heat Reject (kW)	≥0	≥0	≥0			
Max Heat Reject (kW)	8.1	16.1	23.7			

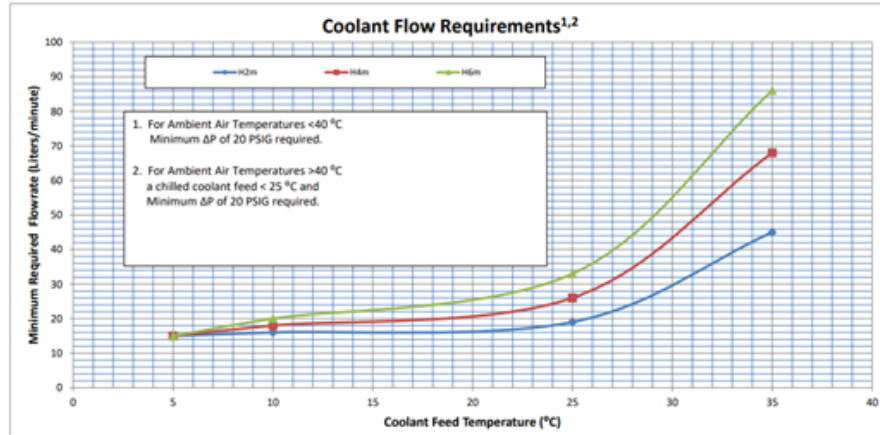


Tabla 5.10: pag 1 Cotización 2037834 QUEMPIN - Bomba de Calor 16 kW y Accesorios [56].



Cotización N° 2037834
 Validez hasta el 19/09/2024
 Pagina N° 1

lunes, 19 de agosto de 2024

SR(A).
QUEMPIN SPA
CARLOS FERNANDO N°983

Atención Sr(a).: JAVIER BRITO

De nuestra consideración:
 De acuerdo a lo solicitado por Uds, en la presente tenemos a bien cotizarles lo siguiente:
 Obra.:

Consulte a su ejecutivo(a) de ventas
 KNA 02 Javier Ortega

Cant	Descripción	Precio Unit.	Dcto.	Total USD
1	BOMBA DE CALOR REVERSIBLE - 16KW / 220V (INCLUYE GRUPO HIDRÁULICO + WIFI) R32. MARCA: ANWO. CÓDIGO: AQUA.16i-N. IMPORTANTE : LA CALIDAD DEL AGUA NO DEBE EXCEDER LOS PARÁMETROS ESTABLECIDOS POR EL FABRICANTE MENCIONADOS EN EL MANUAL U OTRA PLATAFORMA DEL EQUIPO. SI LOS EXCEDIERA, DEBERA INSTALAR UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA.	5.502,00	35,00.	3.576,30
1	ESTANQUE INERCIAL MULTICLIMA PARA BC 200Lts. FRIO/CALOR - 4BAR. MARCA: CORDIVARI. CÓDIGO: EL.200R. IMPORTANTE : LA CALIDAD DEL AGUA NO DEBE EXCEDER LOS PARÁMETROS ESTABLECIDOS POR EL FABRICANTE MENCIONADOS EN EL MANUAL U OTRA PLATAFORMA DEL EQUIPO. SI LOS EXCEDIERA, DEBERA INSTALAR UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA.	690,00	35,00.	448,50
1	KIT BOMBA DAB CIRCULADORA ROTOR HUMEDO VA 65/180X UNION 1.1/4" 220V. MARCA: DAB. CÓDIGO: 00.018.05.	232,00	35,00.	150,80
1	TERMOSTATO INMERSION SIMPLE TRE100. MARCA: WATTS INDUSTRIES. CÓDIGO: 00.080.06.	49,77	35,00.	32,35
1	TERMOMETRO T.80/100. MARCA: WATTS INDUSTRIES. CÓDIGO: 00.070.02.	14,26	35,00.	9,27
1	MANOMETRO D.63 1/4" 0-4 BAR. MARCA: WATTS INDUSTRIES. CÓDIGO: 00.070.11.	10,30	35,00.	6,70
1	PURGA AUTOMATICA 1/2". MARCA: WATTS INDUSTRIES. CÓDIGO: 00.040.06.	16,71	35,00.	10,86
1	FILTRO "Y" BRONCE 1 1/4". MARCA: V&F. CÓDIGO: 00.027.73.	28,20	35,00.	18,33

Depositar en Cuenta BCI N° 10586601 a nombre de Comercial Anwo S.A. / Giro: Importadora / RUT: 99.574.860-6
 Enviar comprobante al correo electrónico de su ejecutivo.

Tabla 5.11: pag 2 Cotización 2037834 QUEMPIN - Bomba de Calor 16 kW y Accesorios [57].



Cotización N° 2037834
 Validez hasta el 19/09/2024
 Pagina N° 2

Cant	Descripción	Precio Unit.	Dcto.	Total USD
1	FLOW CONTROL 1 1/4". MARCA: V&F. CÓDIGO: 00.170.05.	21,92	35,00.	14,25
2	VALV. BOLA HD DZR PN40 1 1/4" HI-HI M/L ANWO EURO PASO TOTAL. MARCA: ANWO. CÓDIGO: 05.061.45.	42,00	35,00.	54,60
4	VALV. BOLA HD DZR PN40 1" HI-HI M/L ANWO EURO PASO TOTAL. MARCA: ANWO. CÓDIGO: 05.061.44.	26,00	35,00.	67,60
1	"VALVULA QUEBRADORA DE VACIO 3/4" 13,8 BAR. MARCA WATTS. MOD LFN36M1". MARCA: WATTS INDUSTRIES. CÓDIGO: 00.051.20.	93,09	35,00.	60,51

SUB-TOTAL USD: 4.450,07
DESCUENTO USD: 0,00
NETO USD: 4.450,07
I.V.A. USD: 845,51
TOTAL USD: 5.295,58

CUADRO ESTIMADO DE PESO Y VOLUMENES
VOLUMEN : 2,64 M3.
PESO: 457,70 KGS.

Depositar en Cuenta BCI N° 10586601 a nombre de Comercial Anwo S.A. / Giro: Importadora / RUT: 99.574.860-6
 Enviar comprobante al correo electrónico de su ejecutivo.

Case Maipo: Avda. Pdo. Eduardo Frei Montalva N° 17.001, Colina, Santiago - Tel. (56-2) 2 908 0000. / Sucursal La Reina: La Torre N° 8721, Parque Industrial La Reina, Santiago - Tel. (56-2) 2 989 0506.
 Sucursal La Serena: La Central, N° 655 Copalino, Chile - Tel. (56-51) 2 31 2665. / Sucursal Concepción: Camino a Pesca N° 3036 - A, Galpón D-2, Concepción - Tel. (56-41) 229 3460.
 Sucursal Temuco: Camino a Aeropuerto Mosquehue S/N Temuco - Tel. (56-40) 2 902 9000. / Sucursal Puerto Montt: Ruta V 505, km 3,5, Ruta Pto Huert Puerto Huert, Chile - Tel. (56-40) 2 221 2463.
 Sucursal Villa del Mar: Avenida Torquemade 340 (Lomero Quilón) Villa del Mar, Chile - Tel. (56-52) 2 327 3330. Sucursal Anwo Concept: Av. Los Cordes 1705, Nro. Local, #112, Santiago - Tel. +52 2979 6243.

Tabla 5.12: pag 2 Principales especificaciones técnicas de “Ficha AquaInverter_N”.

Anwo, Eficiencia Energética 03-2023

AQUAINVERTER



AQUAINVERTER-N
Es la nueva y mejorada generación en bombas de calor residenciales, con eficiencia energética clase A+++ , certificación Eurovent y utiliza gas refrigerante ecológico R32.

Sus prestaciones mejoradas y funcionalidades de calidad superior, son ideales para aplicaciones inmobiliarias/ residenciales de alta gama con modelos que van desde los 10kw a los 16kw

Su compresor inverter de doble etapa ultra-eficiente, es capaz de generar agua caliente a una temperatura de hasta 65°C lo que la convierte en una solución técnica ideal para reconversión de sistemas de calefacción en viviendas existentes y, por supuesto, para producción de ACS todo el año.

El sistema monobloc facilita su instalación tipo Plug & Connect al no requerir una unidad interior e incorpora de serie un completo kit hidráulico de alta eficiencia.

Además estos equipos se pueden conectar a un sistema fotovoltaico para optimizar aún más su rendimiento energético.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS Y RENDIMIENTOS - BOMBAS DE CALOR AQUAi-N

MODELOS		AQUA 10i-N	AQUA 12i-N	AQUA 14i-N	AQUA 16i-N	AQUA 18i-N
FUNCIONAMIENTO EN CALOR						
Capacidad Nominal		Kw 10,2	12	14,2	16,7	18,7
Consumo Eléctrico	7°C aire / 35°C agua	Kw 2	2,4	3	3,4	3,6
CO2P		5,05	4,84	4,71	4,55	4,4
Capacidad Nominal		Kw 10,2	13	14,2	16,2	16,2
Consumo Eléctrico	7°C aire / 45°C agua	Kw 2,5	3,4	3,8	4,5	4,5
CO2P		4,98	3,77	3,7	3,61	3,61
SCOP (Rendimiento Estacional)		4,47	4,45	4,27	4,17	4,17
FUNCIONAMIENTO EN FRÍO						
Capacidad Nominal		Kw 10,2	12	13,7	15,5	15,4
Consumo Eléctrico	35°C aire / 18°C agua	Kw 2	2,4	3	3,6	4
SEER		5,1	4,9	4,57	4,31	3,9
Capacidad Nominal		Kw 9	11	13,3	15,8	13,80
Consumo Eléctrico	35°C aire / 7°C agua	Kw 2,6	3,6	4,8	5	5
SEER		3,4	3,1	2,8	2,71	2,71
SEER (Rendimiento Estacional)		5,06	4,93	4,91	4,81	4,68
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS						
Estrada nominal	Enfriamiento	Kw 5,8	6,9	6,9	6,9	6,7
	Calefacción	Kw 4	3,9	4,9	5,3	5,8
Clasificación nominal	Enfriamiento	A	17,20	17	21	23
	Calefacción	A	26	29	30	36
Voltaje	VHz	230/50Hz				400V/50Hz
Compresor	Tipo	- Rotary Inverter				
	Consumo de energía	Kw 2,37	3,60			
	Cantidad	-	1			
Ventilador	Tipo	- Flujo axial				
	Cantidad	-	1			
	Caudal de aire	m³/h	5,7	5		
Motor del ventilador	Clase motor	- IP44				
	Potencia	W	150			
Refrigerante	Tipo	- R32/675g CO2 eq				
	Carga	Kg 1,60	2,20			
	Cantidad	-	Valvula de expansión electrónica			
	Cantidad	-	1			
Intercambiador de calor (solo aire)	Tipo	- Tubo de cobre y alata de aluminio				
	Fases	-	2		3	
Intercambiador de calor (solo agua)	Tipo	- Placa bobinado HEX				
	Caudal de agua	m³/hr	2		3	
	Diámetro conexión	mm	25			
Rango de T° A.C.S.	Enfriamiento Fan Coil	°C	40-65 (30°C con resistencia eléctrica externa)			
	Calefacción Fan Coil	°C	7			
Rango de T° del agua	Enfriamiento Fan Coil	°C	18			
	Calefacción Fan Coil	°C	45			
	Calefacción Pico	°C	35			
	Frio	°C	-10-45			
Rango de operación T° exterior (Bulbo Seco)	Calef	°C	-25-35			
	Calefacción de agua	°C	-25-45			
Nivel de presión sonora	Frio	dB(A)	54	55	56	56
	Calef	dB(A)	56	58	59	59
Dimensiones	Alto x Ancho x Largo	mm	445 x 1205 x 870			
Peso	Kg	120	136		144	

LA COMPAÑÍA NO ASUME NINGUNA RESPONSABILIDAD POR CUALQUIER POSIBLE ERROR EN LOS CONTENIDOS Y SE RESERVA EL DERECHO DE REALIZAR CAMBIOS EN LOS PRODUCTOS, DEBIDO A REQUERIMIENTOS TÉCNICOS O COMERCIALES, SIN PREVIO AVISO.

Eficiencia y Estabilidad Operacional

DEPÓSITO INERCIAL MULTICLIMA

ESPECIALMENTE DISEÑADO PARA APLICACIONES CON BOMBA DE CALOR

NUEVO PRODUCTO

GARANTÍA 2 AÑOS

ALTO AISLAMIENTO TÉRMICO CON ESPUMA DE POLIETILENO ECOLÓGICO

DEPÓSITO MULTICLIMA PARA AGUA CALIENTE O FRÍA (-10°C / +95°C)

**4 BAR DE PRESIÓN MÁXIMA
8 CONEXIONES 1" - 1 1/4"
2 CONEXIONES 1/2"**

Figura 5.36: pag 1 “Ficha_{DepositoInercialMulticl}ima”.

Tabla 5.13: Especificaciones técnicas de bomba ANWO, pag 1 “Ficha Técnica Bombas VA” [58].



ONLY FOR
EXTRA
MARKETS
EU

VA

VA CIRCULADORES DE ROTOR HÚMEDO

CE INSTALACIONES DE CALEFACCIÓN Y AIRE ACONDICIONADO

Cuerpo único formado por una unidad hidráulica de fundición. Caja del motor de aluminio fundido a presión. Rodete de tecnopolímero. Eje motor de acero inoxidable templado instalado en casquillos de grafito lubricados por el líquido bombeado. Camisa de protección del rotor, camisa del estator híbrida de dientes de acero inoxidable. Cojinete de empuje de cerámica, E.P.D.M. Aros tóricos y tapón de salida aire de latón. El motor asincrónico de dos polos con rotor húmedo está autoprotectido para la resistencia.

No se requiere protección de sobrecarga. Funcionamiento de tres velocidades.

Rango de funcionamiento: de 0,5 a 3,6 m³/h con alturas de elevación hasta 6 metros.

Rango de temperatura del líquido: de -10 °C a +110 °C

Líquido bombeado: limpio, libre de sólidos y aceites minerales, no viscoso, químicamente neutro y con características parecidas al agua (glicol máx. 30%).

Presión máxima de trabajo: 10 bar (1000 kPa).

Grado de protección: corresponde a IP 44

Grado de aislamiento: F

Sujetacable: PG 11

Instalación: con el eje de motor en posición horizontal.

Solamente para los mercados extra-UE. Para ampliar información, consulte con nuestra red de ventas

DATOS TÉCNICOS

MODELO	CÓDIGO	LONG. ENTRE CONEXIONES mm	CONEXIÓN ROSCADA	DATOS ELÉCTRICOS			Q m ³ /h l/min	DATOS HIDRÁULICOS							PESO KG	CANT. x PALE
				ALIMENTACIÓN 50 Hz	P1 RANGO W	In A		0	H (M)							
									0	0,8	1,2	1,8	2,4	3		
VA 25/130	60112896	130	11/2" G	1x230V	43 38 31	0,19 0,17 0,15	H (M)	2,71	2,45	2,15	1,75	1,2	0,6		2,7	340
VA 25/180	60112900	180	11/2" G	1x230V	43 38 31	0,19 0,17 0,15		2,71	2,45	2,15	1,75	1,2	0,6		2,8	180
VA 25/180X	60112902	180	2" G	1x230V	43 38 31	0,19 0,17 0,15		2,71	2,45	2,15	1,75	1,2	0,6		2,9	180
VA 35/130	60112903	130	11/2" G	1x230V	56 50 35	0,25 0,22 0,18		4,3	3,9	3,4	2,8	2,15	1,4		2,7	340
VA 35/130-1/2"	60112904	130	1" G	1x230V	56 50 35	0,25 0,22 0,18		4,3	3,9	3,4	2,8	2,15	1,4		2,6	340
VA 35/180	60112915	180	11/2" G	1x230V	56 50 35	0,25 0,22 0,18		4,3	3,9	3,4	2,8	2,15	1,4		2,8	180
VA 35/180 X	60112931	180	2" G	1x230V	56 50 35	0,25 0,22 0,18		4,3	3,9	3,4	2,8	2,15	1,4		2,9	180
VA 55/130	60112936	130	11/2" G	1x230V	70 58 38	0,33 0,28 0,17		5,4	4,7	4,5	3,3	2,6	1,75	0,85	2,7	340
VA 55/130-1/2"	60112938	130	1" G	1x230V	70 58 38	0,33 0,28 0,17		5,4	4,7	4,5	3,3	2,6	1,75	0,85	2,6	340
VA 55/180	60112948	180	11/2" G	1x230V	70 58 38	0,33 0,28 0,17		5,4	4,7	4,5	3,3	2,6	1,75	0,85	2,8	180
VA 55/180 X	60112957	180	2" G	1x230V	70 58 38	0,33 0,28 0,17		5,4	4,7	4,5	3,3	2,6	1,75	0,85	2,9	180
VA 65/130	60112962	130	11/2" G	1x230V	78 59 37	0,34 0,28 0,17		6,3	5,8	5,3	4,3	3,4	2,4		2,7	340
VA 65/130-1/2"	60112966	130	1" G	1x230V	78 59 37	0,34 0,28 0,17		6,3	5,8	5,3	4,3	3,4	2,4		2,6	340
VA 65/180	60112985	130	11/2" G	1x230V	78 59 37	0,34 0,28 0,17		6,3	5,8	5,3	4,3	3,4	2,4		2,7	180
VA 65/180 X	60112988	180	2" G	1x230V	78 59 37	0,34 0,28 0,17		6,3	5,8	5,3	4,3	3,4	2,4		2,9	180

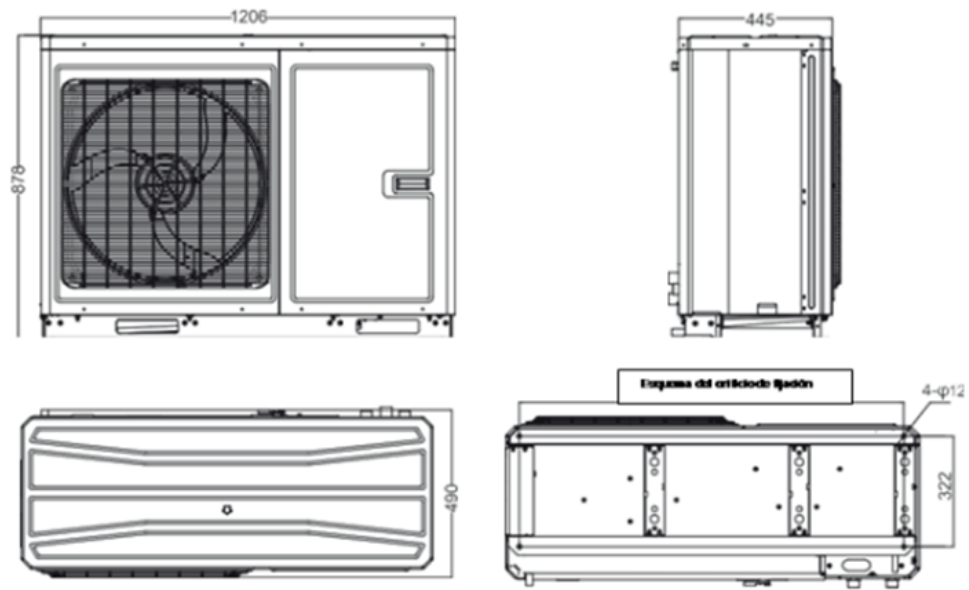


Figura 5.37: Dimensiones de bomba de calor AQUAINVERTER 16KW, pag 17 “ManualInstalacionAQUAINVERTERN”.



Temperaturas máxima y mínima del agua

Indicador	Temperaturas mínimas del agua	Temperaturas máxima del agua
Refrigeración	5°C	25°C
Calefacción	20°C	65°C
Agua caliente	40°C	80°C*

Presión máxima y mínima del funcionamiento del agua

Indicador	Presión mínima de funcionamiento del agua	Presión máxima de funcionamiento del agua
Refrigeración	0.05 MPa	0.25 MPa
Calefacción		
Agua caliente		

Presión máxima y mínima de entrada del agua

Indicador	Presión mínima de funcionamiento del agua	Presión máxima de funcionamiento del agua
Refrigeración	0.05 MPa	0.25 MPa
Calefacción		
Agua caliente		

* con apoyo de resistencia eléctrica.

El rango de presiones estáticas externas a las que se ha probado la unidad (sólo bombas de calor adicionales y unidades con calentadores suplementarios); Si el cable de alimentación eléctrica está dañado, debe ser sustituido por el fabricante, su distribuidor o personas calificadas de forma similar para evitar riesgos.
La unidad debe conectarse de forma permanente a la red de agua y no mediante un juego de mangueras.
Si tiene alguna duda, póngase en contacto con el distribuidor local, el servicio técnico autorizado, agencias o directamente con nuestra empresa.

Figura 5.38: Temperaturas y presiones mínimas y máximas, pag 8 “ManualInstalacionAQUAINVERTERN”.

16 Conexión de la red fluvial

- 1) Si la conexión entre el depósito de agua y la unidad interior debe realizarse a través de la pared, taladre un orificio $\Phi 70$ para el paso de tubería de agua circulante. No es necesario si el agujero no es necesario.
- 2) Preparación de las tuberías: La tubería de salida/entrada de agua circulante debe ser tubería de agua caliente, recomendándose tubería PPR con diámetro nominal de salida DN25 y serie S2.5 (espesor de pared de 4.2mm). La tubería de entrada de agua de refrigeración y la tubería de salida de agua caliente del depósito de agua también deben ser tuberías de agua caliente, recomendándose tuberías PPR con un diámetro nominal de salida de DN20 y de la serie S2.5 (grosor de pared de 3,4 mm). Si se utilizan otras tuberías aisladas, consulte las dimensiones anteriores para el diámetro exterior y el grosor de la pared.
- 3) Instalación de las tuberías de entrada/salida de agua de circulación: conecte la entrada de agua de la unidad con la salida de agua de circulación del depósito de agua y la salida de agua de la unidad con la entrada de agua de circulación del depósito de agua.
- 4) Instalación de las tuberías de entrada/salida de agua del depósito de agua: la válvula de cierre de seguridad, el filtro y la válvula de corte deben instalarse en la tubería de entrada de agua de acuerdo con el esquema de instalación de la unidad. Para la tubería de salida de agua se necesita al menos una válvula de cierre.
- 5) Instalación de tuberías de desagüe en la parte inferior del depósito de agua: conecte un trozo de tubería PPR con salida de desagüe al sumidero del suelo. Debe instalarse una válvula de corte en el centro de la tubería de desagüe y en un lugar donde sea fácil de accionar por los usuarios.
- 6) Después de conectar todas las tuberías de agua, realice primero la prueba de estanqueidad. A continuación, ate las tuberías de agua, el sensor de temperatura del agua y los cables con las cintas adhesivas que se adjuntan a la unidad.
- 7) Para más detalles, consulte el Esquema de instalación de la unidad.

Figura 5.39: Consideraciones de la red fluvial, pag 30 “ManualInstalacionAQUAINVERTERN”.

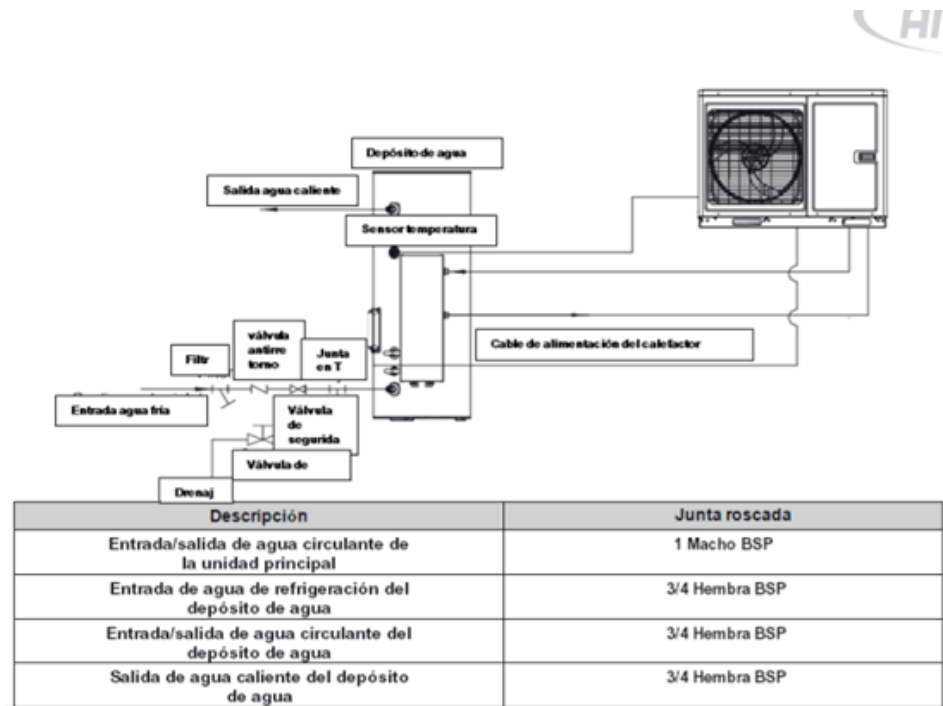


Figura 5.40: Diagrama de referencia de red fluvial, pag 31 “ManualInstalacionAQUAINVERTERN”.

Tabla 5.14: Requisitos de calidad del agua de refrigeración, pag 33 “ManualInstalacionAQUAINVERTERN”.

16.1 Requisitos sobre la calidad del agua

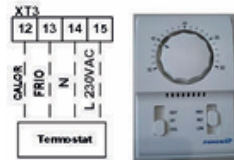
Parámetro	Valor paramétrico	Unidad
pH(25°C)	6.8-8.0	/
Turbio	< 1	NTU
Cloruro	< 50	mg/L
Fluoruro	< 1	mg/L
Hierro	< 0.3	mg/L
Sulfato	< 50	mg/L
SiO2	< 30	mg/L
Dureza (CaCO3)	< 70	mg/L
Nitrato (recuento N)	< 10	mg/L
Conductancia(25°C)	< 300	s/cm
Amoníaco (recuento N)	< 0.5	mg/L
Alcalinidad (CaCO3)	< 50	mg/L
Sulfuro	No se puede detectar	mg/L
Consumo de oxígeno	< 3	mg/L
Sodio	< 150	mg/L

NOTA

cuando el agua de circulación no cumple los requisitos indicados en la tabla anterior, añada una composición anti-cal para mantener la unidad siempre en funcionamiento normal.

9. Termostato

La instalación del termostato es muy similar a la del sensor remoto de temperatura del aire.



Cómo conectar el termostato

- (1) Destape la cubierta frontal de la unidad interior y abra el panel de control;
- (2) Verifique la potencia del termostato, si es de 220V, busque el bloque de terminales XT3 como NO.12-15;
- (3) Si se trata de un termostato de calefacción/refrigeración, conecte los cables según la figura anterior.

! NOTA

- La bomba de calor Aquinverter puede suministrar 220 V al termostato.
- La temperatura de ajuste del termostato (calefacción o refrigeración) debe estar dentro del rango de temperatura del producto;
- Para otras limitaciones, consulte las páginas anteriores sobre el sensor remoto de temperatura del aire;
- No conecte cargas eléctricas externas. El cable de 220V AC debe usarse sólo para el termostato eléctrico;
- No conecte nunca cargas eléctricas externas como válvulas, unidades de ventilación, etc. Si se conectan, la placa base de la unidad puede resultar seriamente dañada.
- La instalación del termostato es muy similar a la del sensor remoto de temperatura del aire.

Figura 5.41: Consideraciones instalación de termostato, pag 25 “ManualInstalacionAQUAINVERTERN”.

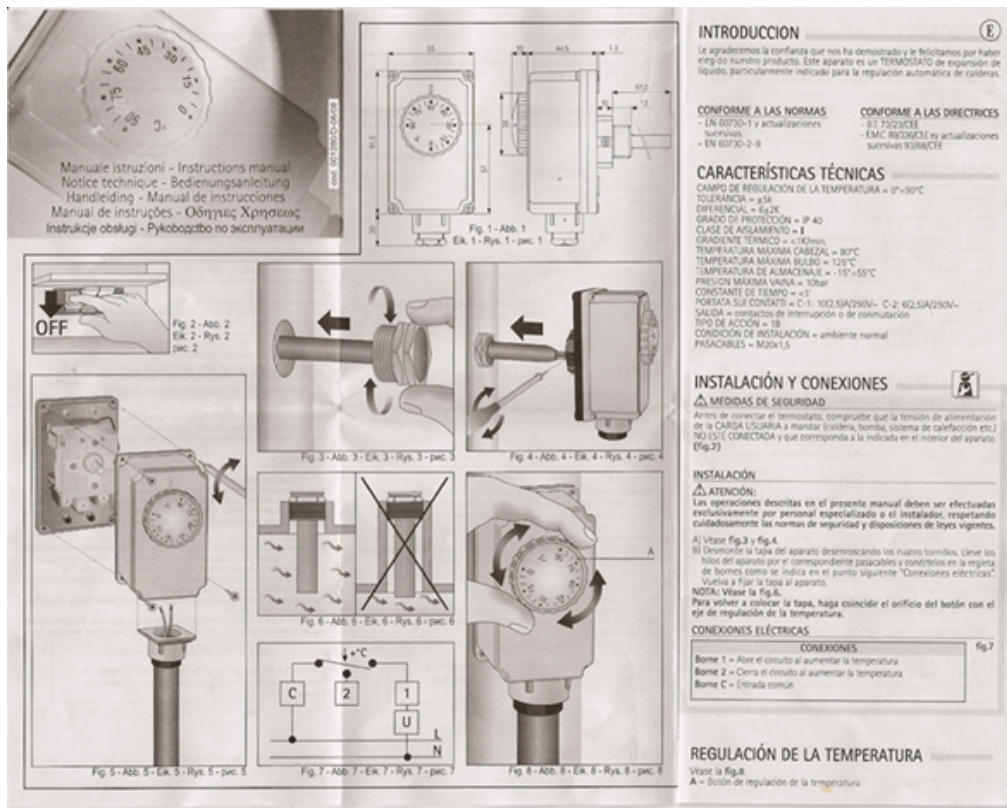


Figura 5.42: TERMOSTATO INMERSION SIMPLE TRE100., Watts industries, Ficha Técnica Termostato Inmersión.

7. Instalación de la unidad hidráulica

7.1 Presión de salida estática externa disponible

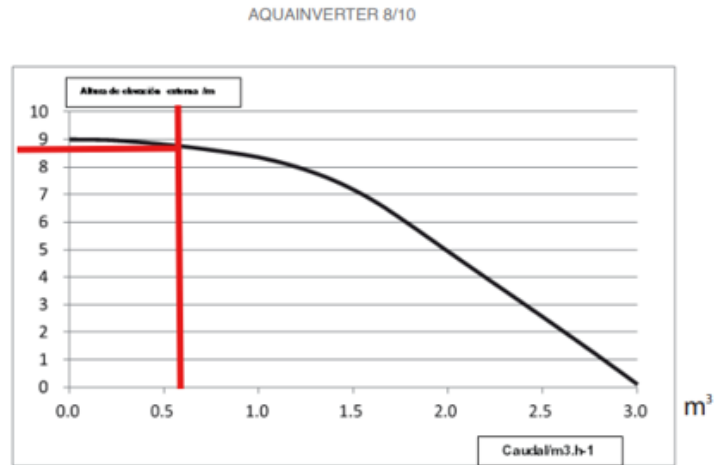
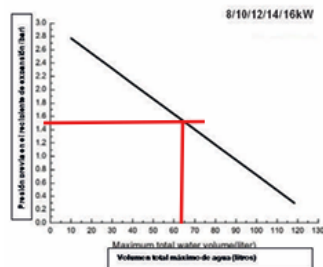


Figura 5.43: Presión de salida de la bomba de calor suficiente suponiendo un flujo de 60 lts/min, al encontrarse en altura la bomba de calor requiere de bajas presiones.



NOTA

- El vaso de expansión tiene una presión previa de 2 litros y 1,5 bares para las unidades de 4/6 kW; de 3 litros y 1,5 bares para las unidades de 8/10/12/14/16 kW;
- El volumen total de agua por defecto es de 44 litros para las unidades de 4/6kW y de 66 litros para las unidades de 8/10/12/14/16kW; si el total de agua se modifica debido a las condiciones de instalación, deberá ajustarse la presión previa para garantizar un funcionamiento correcto. Si la unidad está situada en la posición más alta, no es necesario realizar ningún ajuste;
- El volumen total mínimo de agua es de 20 litros;
- Para ajustar la presión previa, utilice gas nitrógeno por un instalador certificado.

Figura 5.44: No se requiere de vaso de expansión según sección 7.3, pag 22 “Manual Instalación AQUAINVERTER”.

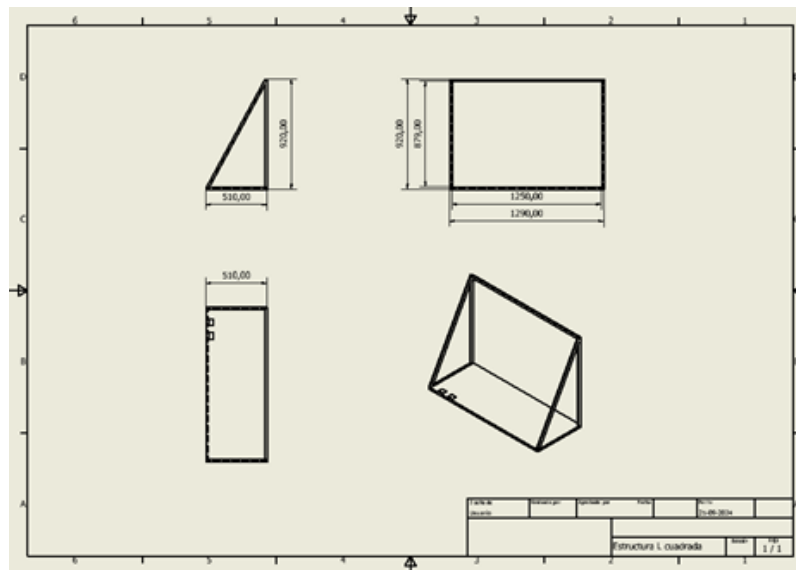


Figura 5.45: Plano inventor de boceto estructura “L” para bomba de calor.

K SINGLE-IMPELLER

SINGLE-IMPELLER ELECTRIC PUMPS

TECHNICAL DATA

Operating range:
from 1,8 to 96 m³/h, with head up to 62 metres.

Pumped liquid: clean, free of solids and abrasives, non-viscous, non-aggressive, non-crystallised and chemically neutral, with properties similar to water.

Liquid temperature range:
K 20/41, K 30/70, K 30/100, K 36/100
K 12/200, K 36/200, K 40/200 : from -10 °C to +50 °C
Remainder of the range: from -15 °C to +110 °C

Maximum ambient temperature: +40°C

Maximum operating pressure:
K 20/41, K 30/70, K 30/100, K 36/100, K 12/200, K 14/400 : 6 bar (600 kPa)
K 36/200, K 40/200, K 55/200, K 11/500, K 18/500, K 28/500 : 8 bar (800 kPa)
K 40/400, K 50/400, K 30/800, K 40/800, K 50/800,
K 20/1200, K 25/1200, K 35/1200 : 10 bar (1000 kPa)

Protection class:
IP 44 (IP 55 for 2,2 - 3 - 4 - 5,5 - 7,5 - 9,2 - 11 kW motors)

Protection class at the terminal board: IP 55

Insulation class: F

Standard voltage:
single-phase 220-240 V / 50 Hz
three-phase 230-400 V / 50 Hz up to 4 kW included - 400 V Δ 50 Hz from 5,5 kW

Installation: horizontal or vertical position, provided that the motor is always above the pump.

Special executions on requests: alternative voltages and frequencies.

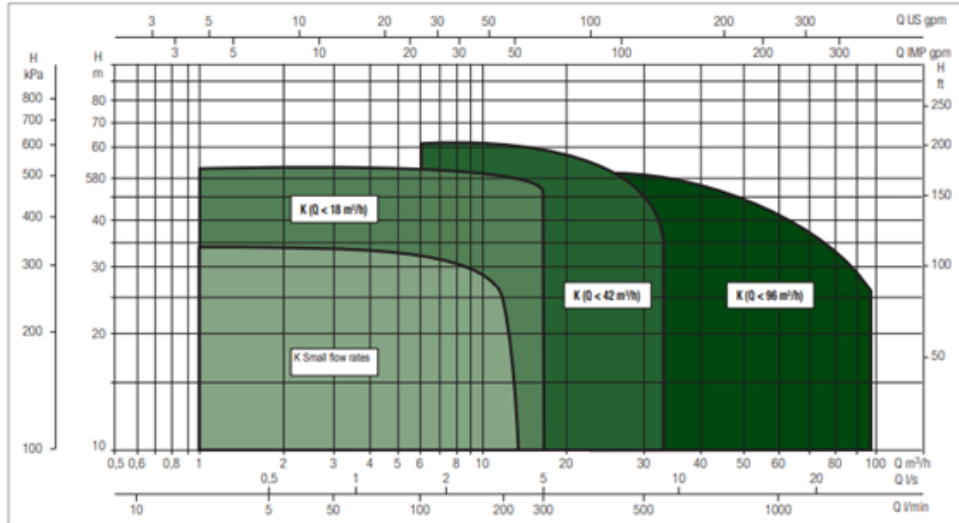
ENERGY EFFICIENCY **IE3** ≥ 7,5 kW

Figura 5.46: Especificaciones técnicas de bombas DAB serie K, pag 1 “K SINGLE-IMPELLER” [52].

PERFORMANCE RANGE

The performance curves are based on kinematic viscosity values = 1 mm²/s and density equal to 1000 kg/m³. Curve tolerance according to ISO 9906.

GRAPHIC SELECTION TABLE



SELECTION TABLE

MODEL	Q=	0	1.8	2.4	3.6	4.8	6	7.2	9	9.6	10.8	12	15	18	24	30	36	42	60	72	84	96	
	m ³ /h	0	30	40	60	80	100	120	150	160	180	200	250	300	400	500	600	700	1000	1200	1400	1600	
K 20/41 M-T		22	20.3	19.4	16.9	13.6	8.3																
K 30/70 M-T		31.8	29.5	28.9	27	24.2	19.8	13.5															
K 30/100 M-T		29.2		29	28.8	28	26.8	25.3	22.5	21.5	18.5												
K 36/100 M-T		34.9		34.8	34.6	34	33	32	29.8	29	26.5												
K 12/200 M-T		18.7	18.2	18	17.9	17.7	17.4	17	16.1	15.8	14.9	14	11.2	7.7									
K 36/200 T		36.6				36	35.5	35	34	33.3	32.5	31.5	28	23.5									

Figura 5.47: Performance range for serie K, Pag 3 “K SINGLETSENG” [52].

Figura 5.48: Tabla de recomendación de uso cañerías de PPR del proveedor Koalition.

Temperatura		Para instalaciones de agua, Según DIN 8077 (ISO 15874) Factor de Seguridad de 1.5			
		Tubería VESBO, SDR 11	Tubería VESBO, SDR 7.4	Tubería VESBO, SDR 6	Tubería VESBO, Stable PP/Al
		Presión Nominal en Bares			
		PN 10 Agua Fría	PN 16, Agua Caliente y fría	PN 20, Hot & Agua Caliente	PN 25, Agua Caliente y Calefacción
Años de Servicio		Presión de Trabajo Permitida a Diferentes Temperaturas Bares (P.S.I.)			
20°C	1	15,0	23,8	30,0	37,8
	5	14,1	22,3	28,1	35,4
	10	13,7	21,7	27,3	34,4
	25	13,3	21,1	26,5	33,4
	50	12,9	20,4	25,7	32,4
30°C	1	12,8	20,2	25,5	32,1
	5	12,0	19,0	23,9	30,1
	10	11,6	18,3	23,1	29,1
	25	11,2	17,7	22,3	28,1
40°C	50	10,9	17,3	21,8	27,4
	1	10,8	17,1	21,5	27,1
	5	10,1	16,0	20,2	25,5
	10	9,8	15,6	19,6	24,7
	25	9,4	15,0	18,8	23,7
50°C	50	9,2	14,5	18,3	23,1
	1	9,2	14,5	18,3	23,1
	5	8,5	13,5	17,0	21,4
	10	8,2	13,1	16,5	20,7
	25	8,0	12,6	15,9	20,0
60°C	50	7,7	12,2	15,4	19,4
	1	7,7	12,2	15,4	19,4
	5	7,2	11,4	14,3	18,0
	10	6,9	11,0	13,8	17,4
	25	6,7	10,5	13,3	16,7
70°C	50	6,4	10,1	12,7	16,0
	1	6,5	10,3	13,0	16,4
	5	6,0	9,5	11,9	15,0
	10	5,9	9,3	11,7	14,7
	25	5,1	8,0	10,1	12,7
80°C	50	4,3	6,7	8,5	10,7
	1	5,5	8,6	10,9	13,7
	5	4,8	7,6	9,6	12,0
	10	4,0	6,3	8,0	10,0
	25	3,2	5,1	6,4	8,0
95°C	1	3,9	6,1	7,7	9,7
	5	2,5	4,0	5,0	6,3

SDR=Standard Dimension Ratio (Diameter/Wall Thickness Ratio)
SDR=d/s (s=Pipes series index form ISO 4065)