



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA MECÁNICA



**CARACTERIZACIÓN EXPERIMENTAL DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN
DE AGUA ATMOSFÉRICA**

POR

EMIR RAMIRO CASTILLO OLAVE

Memoria de Título presentada a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Concepción para
optar al título profesional de Ingeniero Civil Mecánica

Profesor Guía:
Dr. Cristian Alberto Cuevas Barraza

Diciembre 2024
Concepción (Chile)

© 2024 Emir Ramiro Castillo Olave

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento.

Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han hecho posible la realización de esta memoria de título. Este trabajo no habría sido posible sin el apoyo y la colaboración de muchas personas a lo largo de este camino.

En primer lugar, deseo agradecer profundamente a mi tutor, Cristian Cuevas, por su guía, paciencia y apoyo durante todo el proceso. Sus consejos y conocimientos han sido fundamentales para el desarrollo de este trabajo.

A mi familia, por su amor incondicional, comprensión y apoyo constante. Gracias por creer en mí, por estar siempre a mi lado en cada paso de este camino y por brindarme la fuerza necesaria para superar los desafíos.

A mis amigos, por su compañía, ánimo y por hacer de estos años una experiencia inolvidable. Gracias por los momentos de alegría, por las palabras de aliento en los momentos difíciles y por ser una fuente constante de motivación.

Finalmente, quiero agradecer a todas aquellas personas que, de una u otra manera, han contribuido a la realización de esta memoria. A todos ustedes, mi más profundo agradecimiento.

Este trabajo fue financiado por ANID FONDEF ID22I10051.

Esta memoria está dedicada a todas las personas que han sido parte fundamental de mi vida y de mi formación académica. A mi abuelo y abuela que en paz descansen, aunque no hayan logrado llegar a este punto de mi vida fueron un punto vital en esta. A mis hermanos, por su cariño, comprensión y por estar siempre apoyándome, dando ánimos para poder continuar y ser perseverante hasta llegar a este punto de la carrera. A mis padres, por su amor, su apoyo y por enseñarme el valor del esfuerzo y la perseverancia. A mis mascotas por ser mi inspiración y mi fortaleza en cada paso de este camino. A mis amigos, por su compañía, su ánimo y por hacer de estos años una experiencia inolvidable. Gracias por los momentos de alegría y por ser una fuente constante de motivación. A mis profesores, por su dedicación y por compartir sus conocimientos conmigo. Finalmente, dedico este trabajo a todas aquellas personas que, de una u otra manera, han contribuido a mi formación y a la realización de esta memoria. A todos ustedes, mi más sincero agradecimiento.

Resumen

En esta Memoria de Título se aborda la problemática de la escasez de agua en Chile, destacando la concentración de esta escasez en las regiones del centro-norte del país. Se menciona la variabilidad geográfica y climática de Chile, que presenta desafíos para la gestión de los recursos hídricos, incluyendo problemas como tuberías envejecidas y altas tasas de pérdida de agua en zonas urbanas. Se destaca que existen diferentes competidores por este recurso, como el sector industrial, agrícola y municipal, siendo el sector agrícola el mayor consumidor de agua en el país. Los principales afectados por esta escasez son las personas ubicadas en zonas rurales, las que reciben este recurso a través de camiones aljibes. Como alternativa a esta solución, en esta memoria de título se evalúa un sistema de captación de agua atmosférica, para evaluar su potencial como medio de suministro de agua para localidades rurales.

El objetivo general del proyecto es caracterizar experimentalmente un sistema comercial de captación de agua atmosférica en un ambiente controlado, para evaluar su implementación en lugares con escasez de agua potable en Chile. El sistema está diseñado para producir 15 litros de agua por día bajo una condición de 30°C y 80% de humedad relativa.

Para lo anterior, se realiza un montaje experimental compuesto de una cámara en donde se controla la temperatura y la humedad relativa y de instrumentación que permite evaluar la producción de agua y el consumo energético del equipo caracterizado. La metodología experimental contempla el detalle de los pasos y procedimientos seguidos para llevar a cabo la caracterización experimental del sistema comercial de captación de agua atmosférica.

De la caracterización experimental se obtiene que el equipo mostró tendencias similares a las de otros sistemas de refrigeración por compresión de vapor, especialmente en relación con la producción de agua y el consumo eléctrico en función de la humedad relativa del aire.

En general, este sistema presenta un buen potencial, pero queda aún por mejorar el valor del Consumo Específico de Energía (SEC de sus siglas en inglés) de estos, dado que, al ser dependientes de la energía eléctrica, estos presentan un costo elevado para la producción de un litro de agua, lo cual se podría resolver incorporando un sistema fotovoltaico o mejorando la eficacia del evaporador cambiando su geometría o el material con cual se construyen para permitir una mejor transferencia de calor.

Abstract

This dissertation addresses the problem of water scarcity in Chile, highlighting the concentration of this scarcity in the central-northern regions of the country. It mentions the geographic and climatic variability of Chile, which presents challenges for the management of water resources, including problems such as aging pipelines and high rates of water loss in urban areas. It is highlighted that there are different competitors for this resource, such as the industrial, agricultural and municipal sectors, being the agricultural sector the largest consumer of water in the country. The main people affected by this scarcity are those located in rural areas, who receive this resource through water trucks. As an alternative to this solution, this dissertation evaluates an atmospheric water harvesting system to assess its potential as a means of water supply for rural localities.

The overall objective of the project is to experimentally characterize a commercial atmospheric water harvesting system in a controlled environment, in order to evaluate its implementation in places with a shortage of drinking water in Chile. The system is designed to produce 15 liters of water per day under a condition of 30°C and 80% relative humidity.

For this purpose, an experimental setup is made up of a chamber where temperature and relative humidity are controlled and instrumentation that allows evaluating the water production and energy consumption of the characterized equipment. The experimental methodology contemplates the detail of the steps and procedures followed to carry out the experimental characterization of the commercial atmospheric water harvesting system.

From the experimental characterization it is obtained that the equipment showed trends similar to those of other vapor compression refrigeration systems, especially in relation to water production and power consumption as a function of relative air humidity.

In general, this system presents a good potential, but the Specific Energy Consumption (SEC) value of these systems still needs to be improved, since, being dependent on electric energy, they present a high cost for the production of one liter of water, which could be solved by incorporating a photovoltaic system or improving the efficiency of the evaporator by changing its geometry or the material with which they are built to allow a better heat transfer.

Tabla de Contenidos

Tabla de Contenidos.....	iii
Lista de Tablas	iv
Lista de Figuras	v
Glosario	vi
1 CAPÍTULO 1: Introducción.....	1
1.1 Planteamiento del problema	1
1.2 Estado del Arte	4
1.3 Objetivos.....	12
1.4 Metodología.....	12
2 CAPÍTULO 2: Materiales y métodos.....	14
2.1 Marco Teórico	14
2.2 Caracterización del sistema	18
2.3 Descripción de la cámara y del sistema de acondicionamiento del aire.....	19
2.4 Descripción de la instrumentación	21
3 CAPÍTULO 3: Resultados, análisis y discusión	28
3.1 Indicadores de desempeño.....	28
3.2 Análisis post tratamiento de resultados	33
3.3 Comparación con otros equipos comerciales	35
3.4 Evaluación de rentabilidad económica	38
CAPÍTULO 4: Conclusiones	42
Anexo A: Protocolo de ensayo.....	48
Anexo 1: Boletas APR	49
Anexo 2.a: Flujo de caja equipo captador de agua.....	57
Anexo 2.b: Flujo de caja camión aljibe.....	59

Lista de Tablas

Tabla 1: Descripción de instrumentación.....	24
Tabla 2: Matriz de ensayos.....	27
Tabla 3: Resultados de algunos de los ensayos diarios.....	29
Tabla 4: Algunos resultados obtenidos en condiciones climáticas estables.....	29
Tabla 5: Nueva matriz de ensayos.....	35
Tabla 6: Resultados obtenidos para el equipo estadounidense.	36
Tabla 7: Resultados obtenidos para el equipo canadiense.	36
Tabla 8: Resultados obtenidos para el equipo chino.	37
Tabla 9: Datos clasificados equipo URBAN.....	37
Tabla 10: Precios de equipos comerciales y del “nuevo equipo”	39
Tabla 11: Precio por litro de camiones aljibes	39
Tabla 12: Tarifa eléctrica	40
Tabla 13: Resultados flujo de caja, camiones aljibe	41
Tabla 14: Resultados flujo de caja, equipo captador de agua atmosférica.....	41

Lista de Figuras

Figura 1: Escasez media anual mensual de agua a 30×30 minutos de arco de resolución [6].	2
Figura 2: Total de viviendas particulares ocupadas, por áreas, según origen del agua, Censo 2017 [8]	3
Figura 3: Demanda hídrica consuntiva a nivel nacional, desagregada por región y sector productivo. [9]	4
Figura 4: Proceso de la desalinización por osmosis inversa	6
Figura 5: Procesos de desalinización térmica.	7
Figura 6: Proceso de lo abastecimientos de Agua Potable Rural.	8
Figura 7: Captador de agua atmosférica de neblina.	9
Figura 8: Captador de agua atmosférica del rocío.	10
Figura 9: Proceso de sistema basado en refrigeración por compresión de vapor [21].	11
Figura 10: Volumen de Control.	14
Figura 11: Diagrama psicométrico del proceso enfriamiento/deshumidificación [22]	15
Figura 12: Diagrama psicométrico del aire.	16
Figura 13: Dispensador de agua purificada del aire modelo “URBAN”.	18
Figura 14: Esquema de la cámara climática.	19
Figura 15: Componentes de la bomba de calor.	20
Figura 16: Componentes del humidificador.	20
Figura 17: Ubicación bomba de calor, calefactores, humidificador y equipo.	21
Figura 18: Termocuplas instaladas en la entrada y salida del aire	22
Figura 19: Termocupla para medir la temperatura ambiente.	22
Figura 20: Sensores de humedad relativa.	23
Figura 21: Sistema de medición de agua recolectada,	23
Figura 22: Cero externo.	26
Figura 23: Ensayo tipo.	27
Figura 24: Agua recolectada [L/h] v/s humedad relativa [%]	31
Figura 25: SEC [kWh/L] v/s humedad relativa [%].	32
Figura 26: Agua generada [L/h] v/s humedad relativa [%].	32
Figura 27: Consumo eléctrico [kWh/L] v/s humedad relativa [%]	33
Figura 28: evaporador descongelándose	34
Figura 29: temperaturas del evaporador al detenerse.	35
Figura 30: Esquema de la instalación del banco de pruebas de “Performance investigation of atmospheric water harvesting systems” [37].	36
Figura 31: Generación de agua promedio y consumo de energía frente al contenido de agua (ω)....	38

Glosario

APR	:	Agua Potable Rural
atm	:	Atmosférica
C	:	Velocidad $\left[\frac{m}{s}\right]$
E	:	Consumo eléctrico $[kWh]$
h	:	Entalpía específica $\left[\frac{kJ}{kg}\right]$
HR	:	Humedad Relativa [%]
M	:	Masa molar $\left[\frac{kg}{mol}\right]$
$\dot{M}$	:	Flujo de másico $\left[\frac{kg}{s}\right]$
MOP	:	Ministerio de Obras Públicas
P	:	Presión [Pa]
$\dot{Q}$	:	Flujo de calor $[kW]$
R	:	Constante específica de los gases $\left[\frac{kJ}{kg \cdot K}\right]$
SEC	:	Specific Energy Consumption $\left[\frac{kWh}{L}\right]$
t	:	Tiempo [s]
T	:	Temperatura [$^{\circ}C$]
WS	:	Water Shortage

Simbolos

1, 2, 3...	:	Secuencia de proceso
a	:	Aire
ent	:	Entrada
eva	:	Evaporador
min	:	Mínimo
pot	:	Potencial
prod	:	Producido
sal	:	Salida
tot	:	Total
w	:	Agua

Letras griegas

ε	:	Eficacia $[-]$
ρ	:	Densidad $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$
Δ	:	Diferencia
ω	:	Humedad específica $\left[\frac{g_w}{kg_a}\right]$

CAPÍTULO 1: Introducción

1.1 Planteamiento del problema

La escasez de agua se define como la falta de recursos hídricos suficientes para satisfacer por completo la demanda del consumo de agua potable en una región en específico.

La escasez hídrica es un problema complejo que ha estado presente durante décadas y que ha sido exacerbado por una combinación de factores naturales y por acciones influenciadas por el ser humano hacia el medio ambiente. Dentro de esto se destacan el crecimiento de la población mundial (alta demanda), el cambio climático (influencia del ser humano al medio ambiente), el uso ineficiente del agua y los conflictos por este recurso [1].

El cambio climático es un fenómeno complejo y multifacético que tiene amplias implicaciones para el planeta y la humanidad. Además, tiene una serie de impactos significativos en el medio ambiente, la economía y la sociedad en general. Estos incluyen el aumento de las temperaturas globales, eventos climáticos extremos más frecuentes e intensos, cambios en los patrones de precipitación que afectan la agricultura y la seguridad alimentaria, pérdida de biodiversidad, aumento del nivel del mar que amenaza a las comunidades costeras, entre otros [2] [3].

Debido al calentamiento global, la temperatura ambiente aumenta, provocando una intensificación del ciclo global del agua. Esto modifica los patrones de lluvia, la evapotranspiración, el contenido de agua troposférica y la escorrentía, lo que afecta la disponibilidad de agua [3].

La calidad del agua se ve afectada negativamente por el aumento de sus temperaturas, la menor cantidad de oxígeno disuelto y, por consiguiente, la menor capacidad de autodepuración de los depósitos de agua dulce. Las inundaciones y una mayor concentración de contaminantes durante las sequías aumentarán el riesgo de polución del agua y de la contaminación patogénica. Se pronostica que la aceleración del deshielo de los glaciares afectará negativamente a los recursos hídricos de las regiones montañosas y las llanuras adyacentes [4].

En el año 2016 se estimaba una demanda mundial de agua en alrededor de $4.600 \text{ km}^3/\text{año}$ y se prevé que aumente entre un 20% y un 30% (de 5.500 a $6.000 \text{ km}^3/\text{año}$) para el año 2050. En relación con la cantidad de habitantes, se espera que entre los años 2017 y 2050 se produzca un aumento de 7.700 millones a entre 9.400 y 10.200 millones [5].

La escasez mensual de agua (WS, por sus siglas en inglés), se clasifica como baja si el consumo o extracción de agua no excede la disponibilidad de agua $WS < 1,0$, es moderada si está en el rango de $1,0 < WS < 1,5$, significativa si está en el rango de $1,5 < WS < 2,0$ y severa si $WS > 2,0$. En la figura 1 se muestra la escasez media anual mensual de agua entre los años 1996 a 2005, la cual fue evaluada a nivel de celdas de cuadrícula de 30×30 minutos de arco. Se calcula como la relación entre consumo o extracción de agua en una celda de la cuadrícula y la disponibilidad total de agua potable en la celda [6].

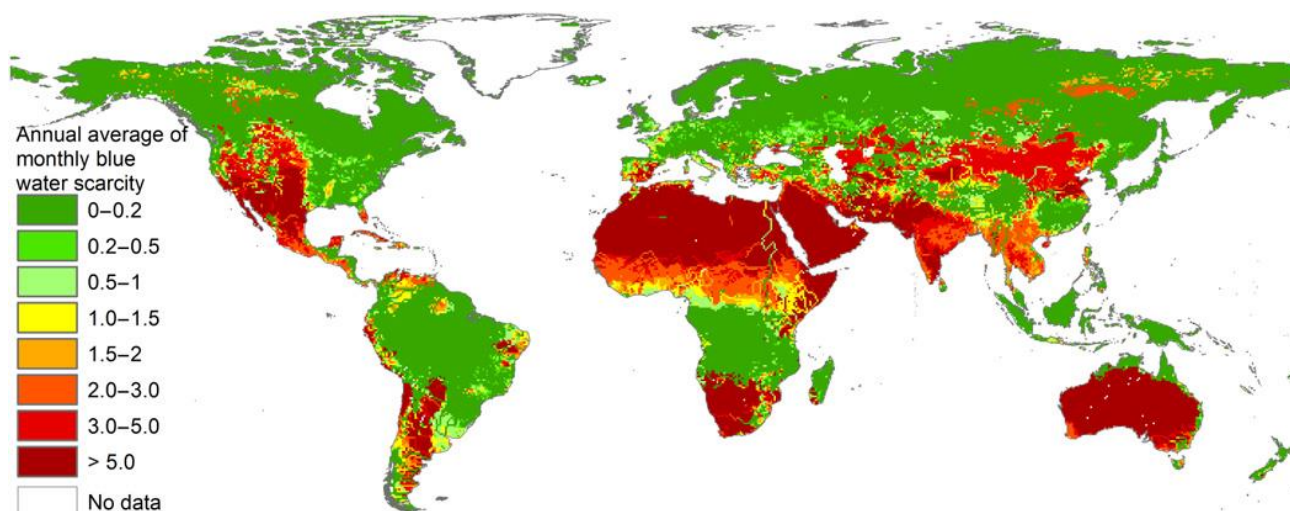


Figura 1: Escasez media anual mensual de agua a 30×30 minutos de arco de resolución [6].

De la figura 1 se puede observar que la escasez de agua en Chile esta mayormente concentrada en la zona centro-norte.

Dada la gran variabilidad geográfica y climática de Chile, se plantean una serie de desafíos para la gestión de los recursos hídricos, debido a que la disponibilidad de agua en cantidad y calidad adecuada varía mucho según la zona geográfica. En zonas urbanas se cuenta con instalaciones de tuberías envejecidas y con fugas, por ende, las ciudades chilenas muestran pérdidas de agua mayores que otras ciudades similares en el mundo; por ejemplo, Santiago tiene una tasa de pérdida del 30% mientras que Hong Kong 18% [7].

Del censo realizado en el año 2017 en Chile se obtiene que la el 98,8% de las zonas urbanas declaró pertenecer a la red pública como la fuente del acceso al agua potable, mientras que en áreas rurales este porcentaje bajó considerablemente a 52,8%, donde otras fuentes de agua potable declaradas fueron pozo o noria con 27,7%, los ríos, vertientes, esteros, canales y lagos con un 12,2% y camiones aljibes con 7,2% del total de viviendas (figura 2) [8].

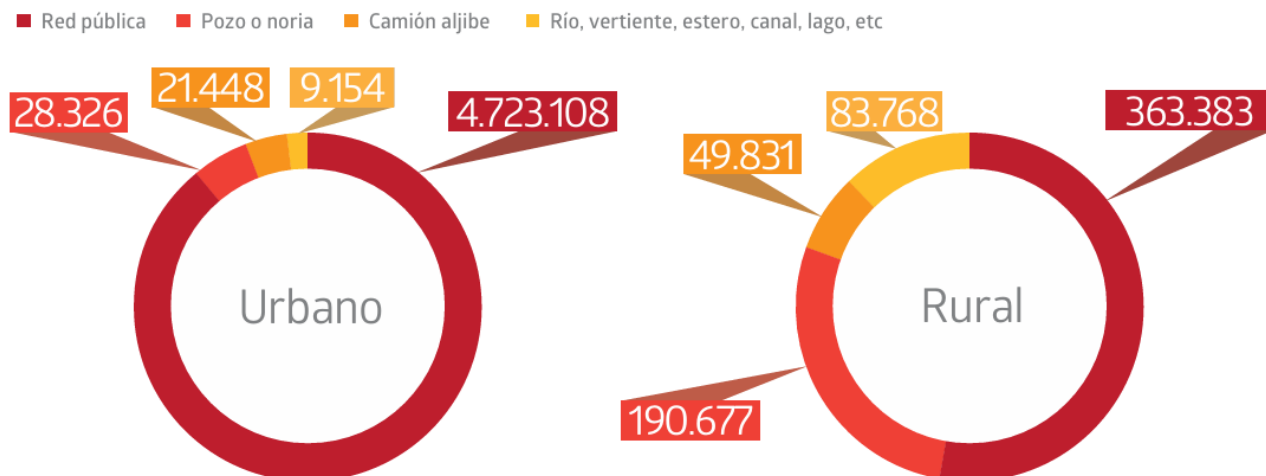


Figura 2: Total de viviendas particulares ocupadas, por áreas, según origen del agua, Censo 2017 [8]

A su vez en la figura 3 se puede observar una tabla respecto al uso que se le da al agua en Chile, donde el sector agrícola utiliza en mayor proporción de agua a nivel nacional. Sin embargo, este porcentaje varía entre regiones, pues la actividad silvoagropecuaria está concentrada en la zona central del país. A su vez se destaca el alto nivel de uso industrial en la zona sur del país, debido principalmente a que en esta zona se concentra la actividad forestal de Chile. El consumo eléctrico consuntivo (se entiende por “consuntivo” un uso donde existe consumo de agua), en tanto, corresponde a plantas termoeléctricas, siendo el uso de centrales hidroeléctricas (embalse y de pasada) definido como no consuntivo [9].

Región	Agua Potable Urbana	Agua Potable Rural	Agricultura	Pecuario	Minería	Industrial	Eléctrico consuntivo
Arica y Parinacota	14,7%	0,7%	83,3%	0,4%	0,7%	0,2%	0,0%
Tarapacá	22,8%	0,4%	18,0%	0,1%	54,2%	4,6%	0,0%
Antofagasta	14,5%	0,2%	17,4%	0,0%	56,8%	11,1%	0,0%
Atacama	8,6%	0,3%	70,8%	0,1%	20,2%	0,0%	0,0%
Coquimbo	7,1%	1,1%	83,1%	0,3%	7,5%	0,9%	0,0%
Valparaíso	9,5%	1,0%	62,6%	0,3%	4,4%	1,5%	20,6%
Metropolitana	32,1%	0,6%	61,7%	0,9%	1,1%	1,9%	1,8%
O'Higgins	2,3%	1,5%	90,9%	0,9%	3,7%	0,6%	0,0%
Maule	1,4%	0,6%	96,4%	0,1%	0,0%	1,1%	0,3%
Biobío	8,9%	1,1%	41,9%	0,2%	0,0%	30,9%	17,1%
Araucanía	13,8%	2,4%	62,2%	2,2%	0,0%	9,3%	10,1%
Los Ríos	14,1%	6,4%	4,8%	6,3%	0,0%	66,1%	2,3%
Los Lagos	16,6%	3,9%	1,4%	5,0%	0,0%	73,1%	0,0%
Aysén	42,6%	10,5%	5,8%	10,6%	22,5%	8,0%	0,0%
Magallanes y Antártica	50,0%	0,9%	9,7%	14,7%	2,7%	2,8%	19,2%
Total nacional	10,8%	1,0%	72,3%	0,7%	3,9%	6,7%	4,5%

Figura 3: Demanda hídrica consuntiva a nivel nacional, desagregada por región y sector productivo. [9]

Considerando esta problemática, en esta memoria de Título se plantea evaluar el uso de sistema de captación de agua atmosférica con el fin de poder amortiguar la escasez hídrica, primordialmente está pensado en la amortiguación para el consumo humano, para que tengan acceso a una fuente de agua confiable y debidamente saneada.

1.2 Estado del Arte

Las siguientes preguntas sirven como guía al lector para entender qué temas serán abordados en el capítulo y qué interrogantes serán resueltas:

1. ¿Cuáles son las medidas que se han implementado para enfrentar la escasez hídrica?
2. ¿Cuáles son las soluciones que se han desarrollado para enfrentar la escasez hídrica?

1.2.1 Literatura e investigaciones y relevantes

La literatura e investigaciones que fundamentan este proyecto, son brevemente resumidas a continuación.

1.2.1.1 Medidas implementadas

Dada la gravedad del problema, en Chile se han presentado decretos de escasez hídrica, que son instrumentos dictados por la autoridad administrativa para proveer determinadas herramientas legales a usuarios del agua y población en general para reducir al mínimo los daños derivados de la sequía, el fundamento legal es el artículo 314 del Código de Aguas [10].

Los decretos que se encuentran actualmente vigente son [11]:

- Decreto MOP N°94 de 26 de julio de 2024, declara zona de escasez a la Provincia de Choapa. Fecha de caducidad 26-07-2025
- Decreto MOP N°89 de 11 de julio de 2024, declara zona de escasez a la Provincia de Elqui. Fecha de caducidad 11-07-2025
- Decreto MOP N°87 de 05 de julio de 2024, declara zona de escasez a la Provincia de Limarí. Fecha de caducidad 08-07-2025.
- Decreto MOP N°24 de 14 de marzo de 2024, declara zona de escasez a las comunas de Puerto Montt, Calbuco, Los Muermos, Llanquihue, Maullín, Puerto Varas, Fresia y Cochamó Fecha de caducidad 14-03-2025.
- Decreto MOP N°25 de 14 de marzo de 2024, declara zona de escasez a la Provincia de Chiloé. Fecha de caducidad 14-03-2025.
- Decreto MOP N°251 de 20 de diciembre de 2023, declara zona de escasez a la comuna de Til Til, provincia de Chacabuco, Región Metropolitana. Fecha de caducidad 20-12-2024.

1.2.1.2 Solución 1: Desalinización por osmosis inversa [12] [13]

La desalinización por osmosis inversa es un proceso mediante el cual se elimina la sal y otras impurezas del agua de mar o agua salobre para producir agua potable o apta para otros usos.

El proceso de este sistema, resumido en grandes rasgos (figura 4), aspira agua de mar o agua salobre y la bombea a través de un sistema de filtración para eliminar materiales sólidos y materia orgánica. Posteriormente, el agua es bombeada a alta presión a través de membranas semipermeables en un sistema de osmosis inversa. Estas membranas retienen selectivamente las sales y otras impurezas, permitiendo que solo el agua purificada (llamada producto) pase a través de ellas y el agua con altas concentraciones de sales y otras impurezas (llamada rechazo) se elimina del sistema.

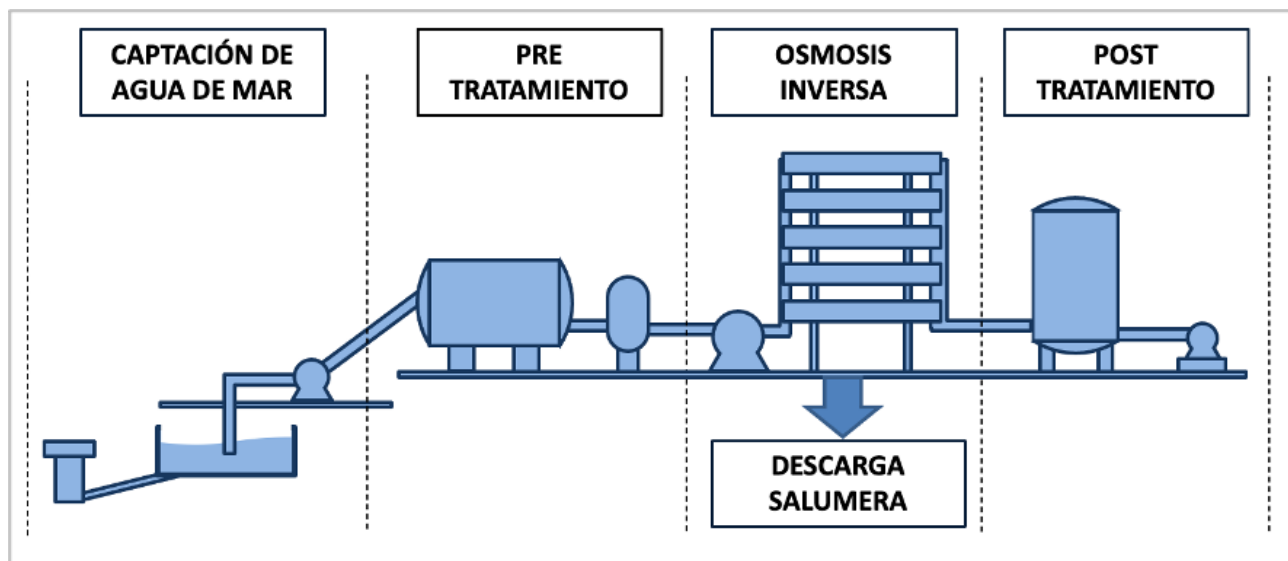


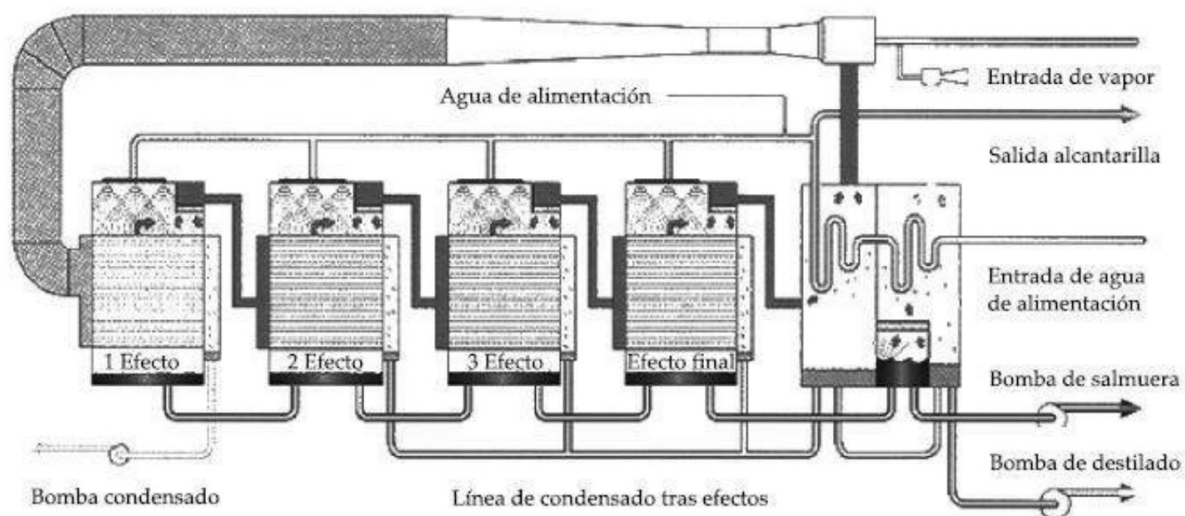
Figura 4: Proceso de la desalinización por osmosis inversa

Este sistema es de gran ayuda para afrontar la escasez de agua, dado que, a diferencia de las fuentes de agua dulce convencionales como los ríos y lagos, no depende de las condiciones climáticas y está disponible de manera constante. Pero a su vez presenta un impacto negativo en el ambiente marino dado a la extracción del agua de mar y el regreso de esta con mayores concentraciones de sal (salmuera), lo que provoca una alteración de los ecosistemas costeros y la liberación de productos químicos de limpieza del agua.

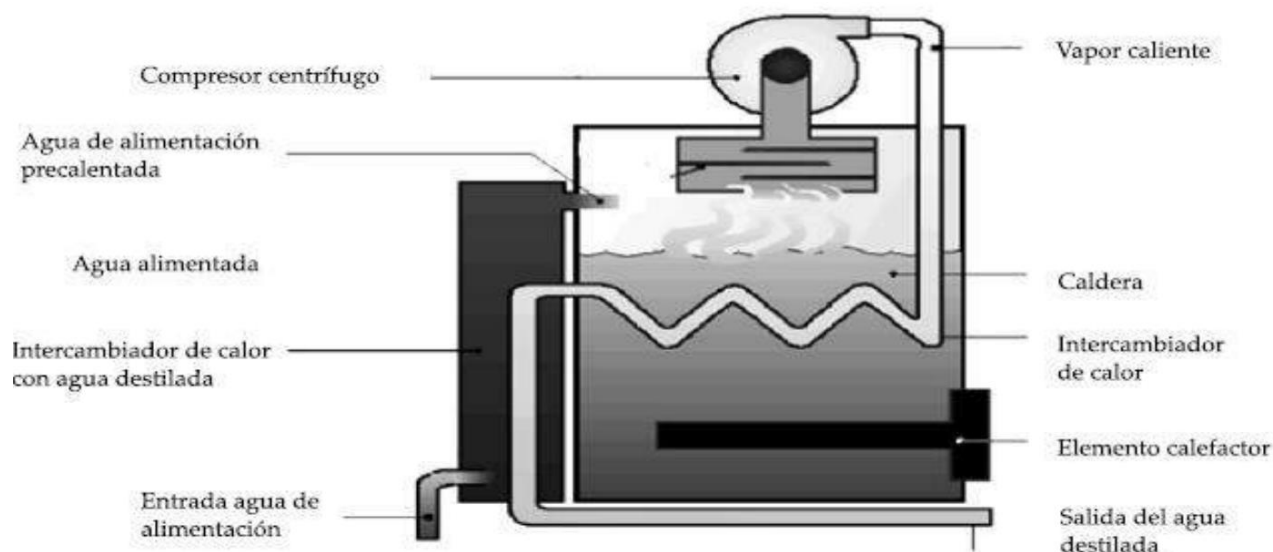
1.2.1.3 Solución 2: Desalinización térmica [12] [13] [14]

La desalinización térmica es otro método para extraer agua dulce del agua de mar o agua salobre. A diferencia de la desalinización por osmosis inversa, la desalinización térmica utiliza calor para separar el agua de la sal y otros contaminantes.

Este proceso, al igual que la desalinización por osmosis inversa, utiliza agua de mar o agua salobre, la cual es bombeada a un sistema de filtración para eliminar materiales sólidos y materia orgánica que se encuentra en esta. Una vez filtrada se bombea a un sistema de evaporación donde el agua se calienta hasta su punto de ebullición para producir vapor. Este vapor se separa del agua salada y se recoge como agua purificada (figura 5), el vapor de agua purificada se enfría y condensa como agua dulce. Este proceso igualmente genera salmuera, la cual se descarta o se trata adecuadamente para su disposición.



a) MED



b) MVC

Figura 5: Procesos de desalinización térmica.

En la desalinización térmica se distinguen 2 sistemas: la destilación multiefectos MED y destilación por compresión mecánica de vapor MVC.

Destilación multiefectos (MED, figura 5.a): en este sistema el agua a tratar se lleva a ebullición mediante intercambiadores de calor en una serie de etapas sucesivas. En cada una de estas etapas la temperatura a la que se lleva el agua es más baja que la anterior debido a que se opera a una presión menor de forma secuencial, así la cantidad de energía consumida se reduce. El conjunto de procesos ebullición-condensación permite obtener agua aprovechable para diversos usos. Este sistema es el que produce agua desalada de forma eficiente desde el punto de vista de consumo de energía, ya que solo es necesario aplicar calor externo en la primera etapa porque en las siguientes se aprovecha el vapor

generado en la etapa previa. Este sistema además permite variaciones en la calidad del agua salada y elimina la necesidad de un pretratamiento del agua de alimentación.

Destilación por compresión mecánica de vapor (MVC, figura 5.b): este sistema comprime vapor de agua, lo que causa condensación sobre una superficie de transferencia de calor, lo cual permite al calor de la condensación ser transferido a la salmuera del otro lado de la superficie, resultando en la vaporización de ésta. El compresor es el equipo principal que requiere energía. Este aumenta la presión en el lado del vapor y baja la presión del lado del agua salada para bajar su temperatura de ebullición.

1.2.1.4 Solución 3: Sistemas de Agua Potable Rural [15]

Los sistemas APR (Agua Potable Rural) son diseñados para proveer agua potable en áreas rurales donde no existe acceso a sistemas de agua potable urbanos.

Este sistema consiste en la extracción de agua de diversas fuentes, como pozos profundos, manantiales, ríos o captación de aguas lluvias. La elección de la fuente de agua depende de la disponibilidad y calidad del recurso hídrico de la zona en la que se implementará. El agua que es extraída de la fuente seleccionada es sometida a procesos de tratamiento para hacerla apta para el consumo humano, para posteriormente transportarla mediante una red de cañerías hacia los hogares o comunidades (figura 6).

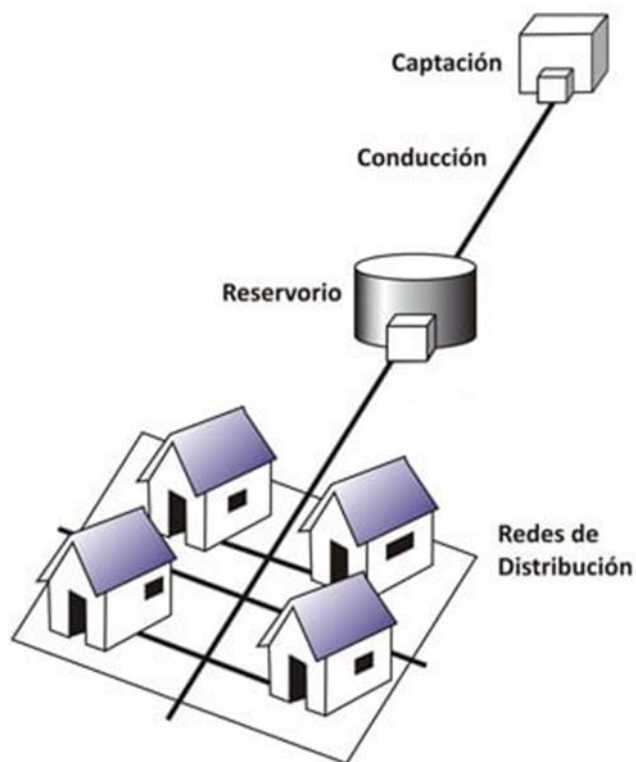


Figura 6: Proceso de lo abastecimientos de Agua Potable Rural.

Este sistema es de gran ayuda para mejorar el acceso de agua potable segura y confiable en lugares sin red de agua potable, además este no presenta un impacto ambiental significativo en comparación

a la desalinización por osmosis inversa o térmica. Este tipo de sistema puede promover el desarrollo comunitario al involucrar a las comunidades en la gestión y operación del sistema, fortaleciendo la participación y el sentido de pertenencia. La dificultad de este sistema es que cuesta encontrar fuentes de agua adecuadas y seguras para abastecer los APR. Además, la calidad del agua puede variar y requerir tratamientos específicos. También se presenta un riesgo en la sostenibilidad a largo plazo en cuanto a la operación y mantención de estos APR, por encontrarse en áreas con recursos limitados y capacidades técnicas y financieras limitadas.

1.2.1.5 Solución 4: Agua atmosférica de neblina [16]

La captación de agua atmosférica de la neblina o también conocido como atrapanieblas, consiste en captar las gotas de agua microscópicas que tiene la neblina. Esta captación se realiza por medio de paneles en forma de malla (figura 7), los que captan las partículas de agua que tiene la niebla, condensándolas hasta que se transformen en gotas de agua y tengan el peso suficiente para que debido a la gravedad descendan por éstas hasta un sistema de recolección de agua que se encuentran debajo de los paneles.



Figura 7: Captador de agua atmosférica de neblina.

Este sistema suele instalarse en áreas costeras o montañosas con presencia frecuente de neblina. Generalmente se instalan en sitios elevados, donde la neblina es más densa y persistente. También pueden ubicarse en áreas desérticas o semiáridas donde el agua es escasa y la neblina puede ser una fuente potencial de abastecimiento de agua. Este sistema no requiere construcción de grandes

infraestructuras, pero su eficiencia está limitada por la presencia y densidad de la niebla. Por otro lado, la calidad del agua puede verse afectada por la presencia de contaminantes atmosféricos, como polvo, partículas en suspensión o contaminantes químicos, por lo cual es necesario implementar sistemas de filtración y tratamiento adecuados para garantizar la calidad del agua recolectada, lo cual aumenta los costos de estos sistemas.

1.2.1.6 Solución 5: Agua atmosférica del rocío [17]

Este sistema es similar a la captación de agua atmosférica de la neblina, pero opera a partir del vapor de agua presente en la atmósfera, específicamente del rocío que se forma durante las horas de la mañana o la noche. Esto se puede lograr artificialmente exponiendo una superficie a la intemperie, la cual intercambia calor con el cielo alcanzando una temperatura superficial inferior a la del punto de rocío, lo que provoca la condensación del vapor de agua presente en la atmósfera (figura 8).

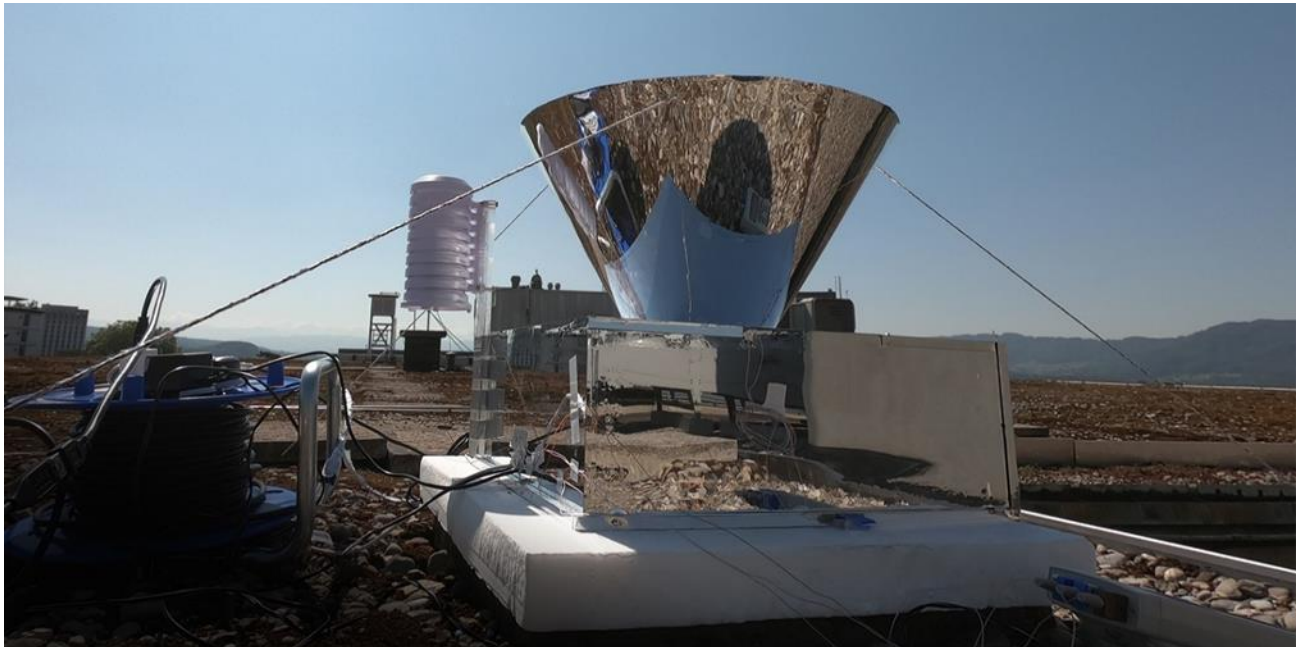


Figura 8: Captador de agua atmosférica del rocío.

Este sistema presenta atributos y desventajas similares a los del sistema de captación de neblina.

1.2.1.7 Solución 6: Sistemas basados en refrigeración por compresión de vapor.

Los sistemas basados en refrigeración por compresión de vapor utilizados como equipos captadores de agua atmosférica se presentan como la opción más comprometedor para combatir la escasez hídrica, dado que el agua atmosférica es un recurso renovable que ofrece una posible solución dado que en esta el agua existe en forma de vapor y gotas. Según investigaciones muestran que la atmósfera contiene alrededor de 13 billones de litros de agua, lo que equivale al 10 % del suministro total de agua dulce de la Tierra que se encuentra en ríos y lagos. [18]

Estos sistemas igual se presentan como la opción comprometedor para combatir la escasez hídrica, dado que una de sus principales ventajas de la tecnología es su capacidad de control y simplicidad,

con un suministro continuo de electricidad que permite la generación de agua en cualquier lugar y en cualquier momento [19].

También no presenta un impacto ambiental significativo en comparación a los sistemas de desalinización, esto viene dado a que la humedad eliminada será repuesta naturalmente por el ciclo hidrológico [20].

El funcionamiento del sistema basado en refrigeración por compresión de vapor consta en un sistema que mediante la aspiración del aire ambiente entra en la máquina, pasando a través de un filtro de aire para eliminar el polvo y la suciedad. Luego, el aire pasa a través de un condensador que convierte la humedad que este contiene en agua. A continuación, el agua condensada se somete a distintas etapas de purificación, para posteriormente esta pueda ser consumida (figura 9) [21].

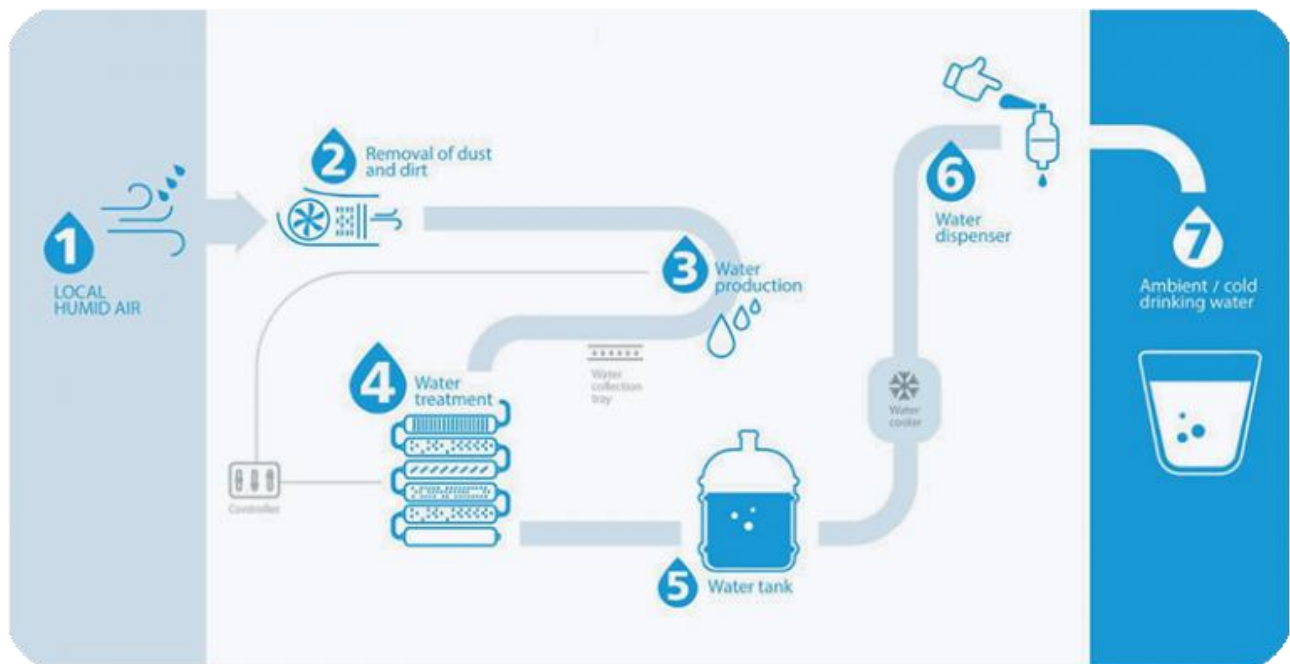


Figura 9: Proceso de sistema basado en refrigeración por compresión de vapor [21]

Es importante tener en cuenta que, dado que es un generador de agua atmosférica, es una máquina impulsada por la humedad y la temperatura, lo cual significa que la producción diaria de agua depende de la temperatura ambiente, la humedad relativa y la temperatura del punto de rocío, lo cual estos factores tienen un papel importante en la tasa de generación de agua y el consumo de energía específica (SEC), lo que hace que el rendimiento de estos sistemas dependa en gran medida del clima [20].

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Caracterizar experimentalmente un equipo comercial de captación de agua atmosférica, bajo diferentes condiciones ambientales. La caracterización de este equipo tiene la finalidad de evaluar el potencial de esta tecnología para su implementación en lugares con escasez de agua potable en Chile.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Implementar banco de ensayos de caracterización del sistema de captación de agua atmosférica.
- Diseñar metodología experimental para caracterizar el equipo comercial.
- Caracterizar experimentalmente el sistema de captación de agua atmosférica.
- Evaluar, analizar y comparar los resultados experimentales obtenidos de la caracterización experimental.

1.4 Metodología

Las actividades que se realizarán para llevar a cabo este proyecto son brevemente resumidas a continuación.

- **Caracterización del Sistema:** se realiza un análisis detallado del sistema que será evaluado, el cual incluye la identificación de sectores de interés para determinar las ubicaciones dentro del sistema donde se realizarán las mediciones experimentales, con base en criterios técnicos y operativos, la selección de variables a medir donde se definirán cuáles parámetros o indicadores serán monitoreados (por ejemplo, temperatura, presión, flujo, consumo de energía, etc.) e identificar las restricciones de las posibles limitaciones técnicas, de accesibilidad o de seguridad en las zonas de medición.
- **Instalación de instrumentación:** Esta actividad se centra en la implementación y validación del equipo de medición necesario, para esto se utilizan los equipos y sensores adecuados según las variables que se medirán, los cuales se procederá a llevar a cabo el montaje de los dispositivos en los sectores de interés, para posteriormente proceder a las pruebas de funcionamiento, las cuales tienen como finalidad verificar que todos los instrumentos estén operando correctamente.
- **Planificación de los ensayos:** La planificación es clave para garantizar la efectividad y eficiencia de los ensayos donde se establece claramente qué se busca evaluar o demostrar con los ensayos experimentales, para el cual se seleccionan las metodologías experimentales a emplear, asegurando que sean adecuadas para cumplir los objetivos establecidos. Además, se deben tener estrategias para abordar posibles problemas o imprevistos durante la ejecución de los ensayos.
- **Realización de ensayos:** Esta etapa se ejecuta un plan previamente diseñado que consiste en la preparación del sistema para asegurar que el sistema y la instrumentación estén listos para el inicio de los ensayos, llevar a cabo las pruebas experimentales siguiendo estrictamente los procedimientos establecidos, y registrar todos los datos obtenidos en tiempo real. Documentar y resolver cualquier anomalía o problema que surja durante la realización de los ensayos.
- **Análisis post tratamiento de los resultados:** Una vez finalizados los ensayos, se lleva a cabo un análisis exhaustivo de los datos que consiste en la limpieza, organización y análisis de los datos recopilados utilizando herramientas estadísticas o de software especializado, con el fin de lograr identificar tendencias, patrones y correlaciones significativas que aporten información sobre el desempeño del sistema.
- **Indicadores de desempeño:** Identificar indicadores de desempeño de manera cuantitativa o cualitativa que se utilizaran para evaluar el rendimiento del sistema, donde se seleccionan variables clave que

permitan medir de manera objetiva el desempeño del sistema para establecer métricas específicas y criterios de comparación que permitan evaluar tanto aspectos medibles como cualitativos del sistema.

- Comparación con otros equipos comerciales: Comprobar el desempeño del equipo según con los datos recolectados de los ensayos realizados, para así compararlos con demás equipos comerciales y determinar los aspectos en los que el sistema evaluado destaca o necesita mejoras en comparación con sus competidores.
- Evaluación de rentabilidad: Tiene como finalidad evaluar la rentabilidad económica de este sistema para ver si es factible su implementación, para el cual se realiza un análisis económico que considera los costos asociados a la implementación, operación y mantenimiento del sistema, donde se debe identificar los posibles ahorros e ingresos adicionales, con el fin de verificar si la implementación es rentable a mediano y largo plazo.
- Propuestas de mejoras al sistema: Finalmente, se plantean estrategias para optimizar el sistema y aumentar su viabilidad proponiendo mejoras específicas, como la implementación de sistemas complementarios que aumenten la eficiencia, reduzcan costos o mejoren el desempeño general.

CAPÍTULO 2: Materiales y métodos

2.1 Marco Teórico

A continuación, se presentan las ecuaciones necesarias para la caracterización del equipo comercial.

Se considera el volumen de control mostrado en la figura 10. Este consta de un evaporador donde se produce la condensación de la humedad del aire, seguido del condensador y del ventilador. Para este volumen de control se obtienen las siguientes ecuaciones en régimen estacionario:

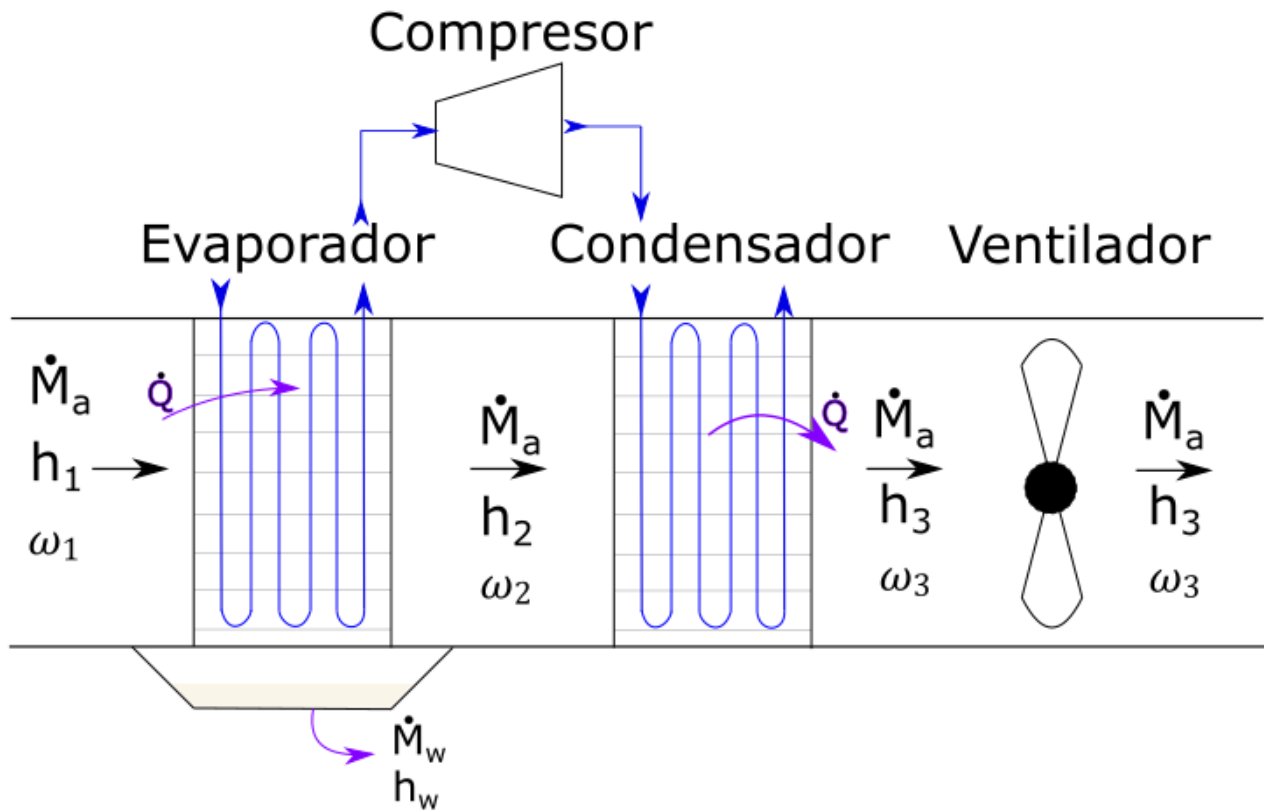


Figura 10: Volumen de Control.

- Cantidad de agua condensada:

$$\dot{M}_w = \dot{M}_a \left[\frac{kg}{s} \right] * (\omega_1 - \omega_2) \left[\frac{kg_w}{kg_a} \right] \quad (1)$$

- Flujo de calor transferido en el evaporador:

$$\dot{Q} = \dot{M}_a \left[\frac{kg}{s} \right] * \left((h_1 - h_2) \left[\frac{kJ}{kg * K} \right] - (\omega_1 - \omega_2) \left[\frac{kg_w}{kg_a} \right] * h_w \left[\frac{kJ}{kg * K} \right] \right) \quad (2)$$

- Flujo de calor transferido en el condensador:

$$\dot{Q} = \dot{M}_a \left[\frac{kg}{s} \right] * (h_3 - h_2) \left[\frac{kJ}{kg * K} \right] \quad (3)$$

En la figura 11 se puede observar la representación psicrométrica del proceso de enfriamiento/deshumidificación. A medida que el aire entra al equipo (estado 1), una parte de la corriente del aire entra en contacto directo con la superficie del evaporador y se enfría casi hasta la temperatura de la superficie (T_s) de este, donde el estado “s” también se denomina punto de rocío del aparato donde T_s es igual a la temperatura del refrigerante. El resto del aire pasa entre los tubos y las aletas sin hacer contacto físico y, por lo tanto, no se ve afectado por su paso a través del evaporador. El aire frío en contacto con la superficie del serpentín de enfriamiento se mezcla con la corriente de aire restante y sale en el estado 2 como se muestra en la figura 11. El estado real de salida del aire se encuentra en algún lugar entre los estados “s” y el punto de condensación (dp), cual puede no estar necesariamente en la línea de saturación como se logra observar en la figura 12 [22].

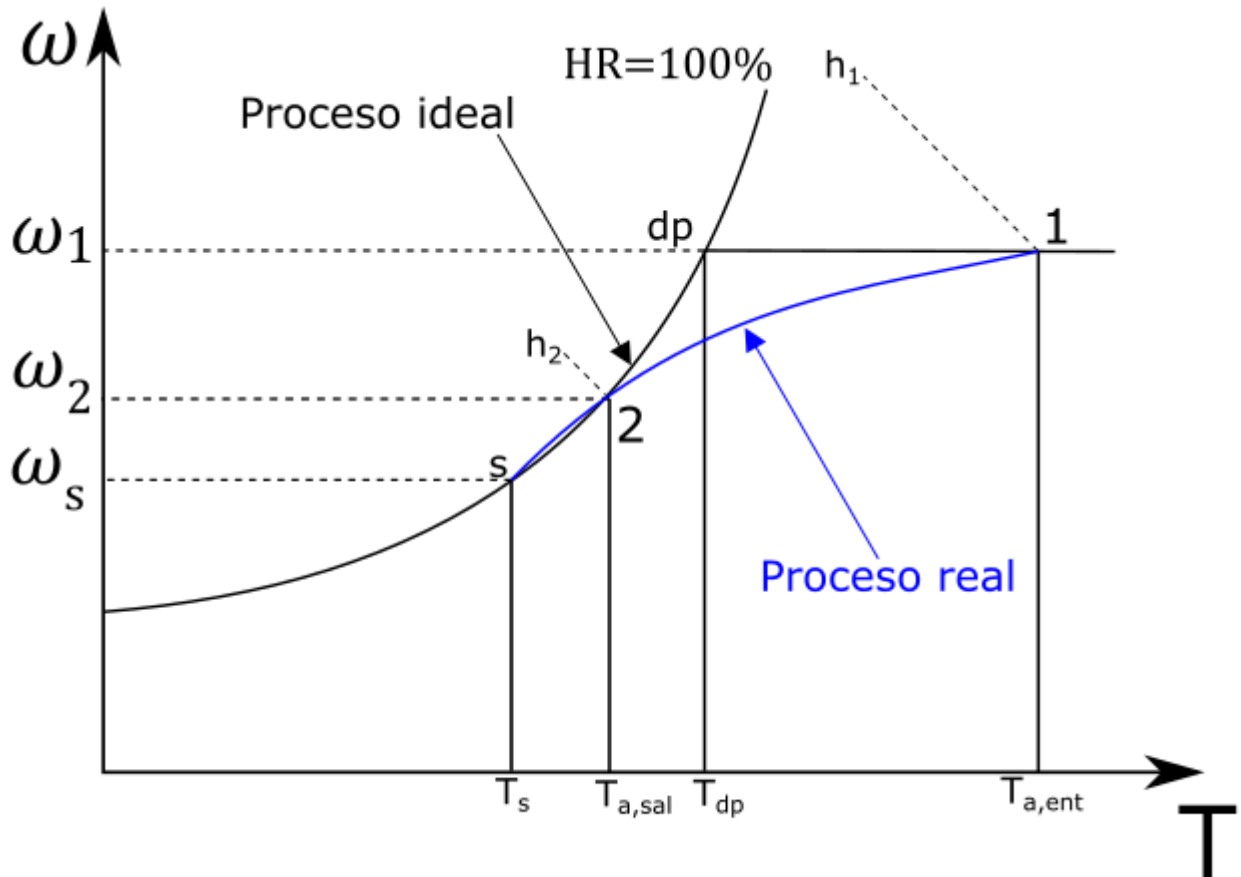


Figura 11: Diagrama psicrométrico del proceso enfriamiento/deshumidificación [22]

Concentrándose en el proceso del aire en el evaporador el diagrama psicrométrico quedaría de la forma presentada en la figura 12, donde el punto 3 representa la salida del aire una vez que este circule por el condensador.

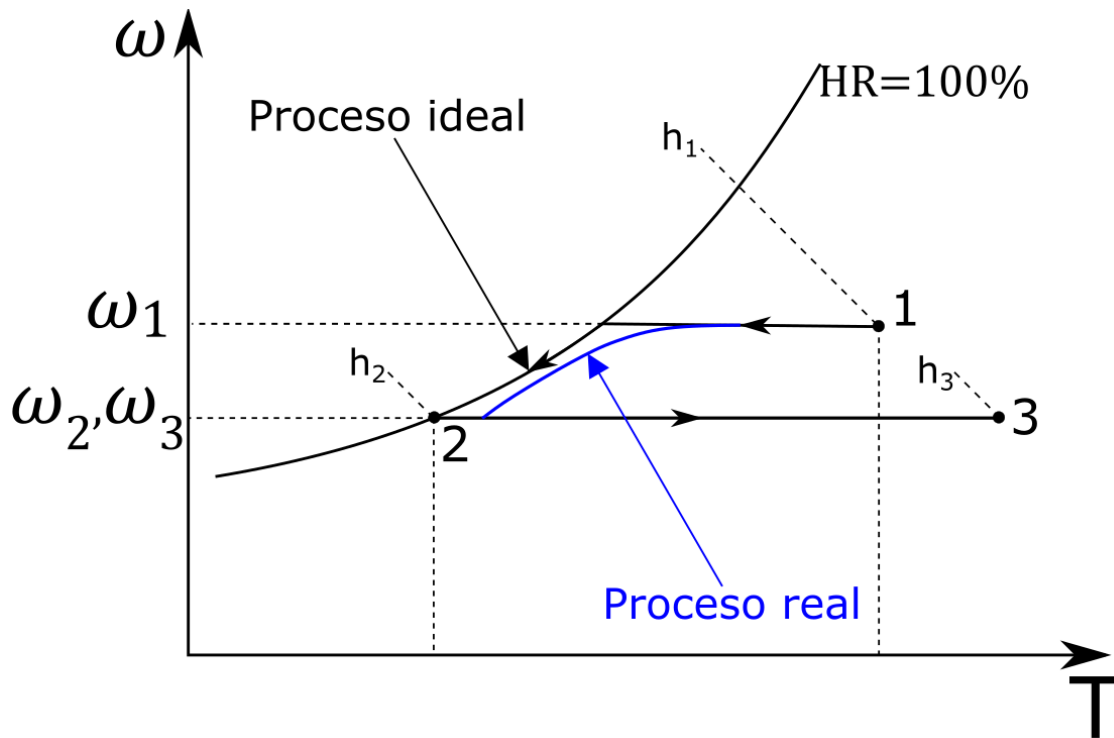


Figura 12: Diagrama psicrométrico del aire.

Donde para el cálculo del flujo másico del aire a la entrada del volumen de control se determina con la siguiente ecuación:

$$\dot{M}_a = C \left[\frac{m}{s} \right] * A [m^2] * \rho \left[\frac{kg}{m^3} \right] \quad (4)$$

Donde:

- C : Es la velocidad del aire a la entrada del equipo, la cual es medida por un anemómetro.
- A : Es el área transversal de entrada del aire al equipo.
- ρ : Es la densidad del aire a las condiciones de entrada del equipo.

La cantidad de agua recolectada por el equipo en un periodo de tiempo dado se determina utilizando la siguiente ecuación:

$$M_{w,prod} = \int_{t_0}^{t_1} \dot{M}_a \left[\frac{kg}{s} \right] * (\omega_1 - \omega_2) \left[\frac{kg_w}{kg_a} \right] dt$$

El potencial de agua que el sistema podría recolectar se determinará con la misma ecuación anterior, pero asumiendo que el aire se lleva hasta una temperatura igual a la temperatura de salida del evaporador y una humedad relativa del 100%.

$$M_{w,pot} = \dot{M}_a \left[\frac{kg}{s} \right] * \left(\int_{t_0}^{t_1} (\omega_1 - \omega_{2,ideal}) \left[\frac{kg_w}{kg_a} \right] dt \right) \quad (5)$$

Se utilizará la eficacia que presenta la recolección de agua del equipo, la cual se determina como:

$$\varepsilon = \frac{\dot{M}_{w,prod} \left[\frac{L}{S} \right]}{\dot{M}_{w,pot} \left[\frac{L}{S} \right]} \quad (6)$$

Con la medición del consumo eléctrico y el agua producida durante el ensayo, se puede obtener el consumo específico de energía (SEC) de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$SEC = \frac{E [kWh]}{\dot{M}_{w,prod} \left[\frac{L}{S} \right]} \quad (7)$$

Donde el consumo eléctrico contempla el consumo de energía del compresor, del ventilador, de la bomba, del sistema de control y de los accesorios eléctricos del sistema.

Dado que cuando se realizan mediciones, estas nunca son completamente exactas debido a limitaciones en los instrumentos o en el proceso de medición. Por ende, si combinamos esas medidas para calcular algo, el error en las medidas se "propaga" al resultado final. Para estimar esta propagación (incertidumbre) en el resultado de un cálculo que depende de varias medidas experimentales, existe una técnica llamada "propagación de errores". Para las propagaciones de errores para los cálculos del valor SEC, el potencial de agua recolectada, la eficacia del sistema y la cantidad de agua recolectada que se calculará con la ecuación de la eficacia de la cantidad de agua recolectada por el equipo (el cual se explicará más adelante con mayor detalle en el capítulo 3.1.1) están representada por las siguientes ecuaciones.

$$R_{SEC} = \sqrt{\frac{\partial SEC}{\partial E} + \frac{\partial SEC}{\partial \dot{M}_{w,prod}}} \quad (8)$$

$$R_{\varepsilon} = \sqrt{\frac{\partial \varepsilon}{\partial \dot{M}_{w,pot}} + \frac{\partial \varepsilon}{\partial \dot{M}_{w,prod}}} \quad (9)$$

$$R_{\dot{M}_{w,pot}} = \sqrt{\frac{\partial \dot{M}_{w,pot}}{\partial \dot{M}_a} + \frac{\partial \dot{M}_{w,pot}}{\partial \omega_1} + \frac{\partial \dot{M}_{w,pot}}{\partial \omega_2}} \quad (10)$$

$$R_{\dot{M}_{prod}} = \sqrt{\frac{\partial \dot{M}_{prod}}{\partial \dot{M}_{w,pot}} + \frac{\partial \dot{M}_{prod}}{\partial \varepsilon}} \quad (11)$$

2.2 Caracterización del sistema

El generador de agua atmosférica a evaluar es de la marca Freshwater, modelo “URBAN” (figura 13). Este modelo puede llegar a generar hasta 15 litros por día (para una humedad relativa del 80% y a una temperatura de 30°C). Además, este equipo está adaptado para purificar otras fuentes de agua, que se pueden conectar al equipo, lo cual permite un funcionamiento continuo en caso de que se requiera una mayor demanda [23].



Figura 13: Dispensador de agua purificada del aire modelo “URBAN”.

A continuación, se indican algunas características técnicas de este equipo [23]:

- Temperatura: 15-40 °C
- Humedad relativa: 35-95 %
- Capacidad de almacenamiento: 5 Litros
- Fuente de alimentación: 220V/50Hz
- Capacidad de producción: 0,625 [L/h] o 15 [L/día] (30°C y 80% de humedad relativa)
- Componentes:
 - Filtro electrostático de aire
 - Filtro Nanomolecular
 - Luz UV en estanque inferior de generación
 - Filtro de nano partículas
 - Filtro Pre carbón activado
 - Filtro Post carbón activado
 - Membrana Osmosis Inversa
 - Filtro TCR
 - Luz UV estanque superior
 - Micromembranas en boquilla
- Dimensiones: 450x440x560 mm

2.3 Descripción de la cámara y del sistema de acondicionamiento del aire

La cámara es una estructura que se encuentra construida en el laboratorio de Termofluidos de la Universidad de Concepción, esta a su vez se encontraba implementada con una bomba de calor, la cual esto significaría un ahorro en la construcción y adquisición de una nueva cámara para realizar los ensayos y de una bomba de calor respectivamente. La cámara consta con las siguientes dimensiones: 4 metros de largo, 3,6 metros de ancho y 2,45 metros de alto. Al interior de esta se pueden encontrar dos espacios de $1,87 \times 2,70\text{m}$ conectados mediante un pasillo como se puede observar en la figura 14.

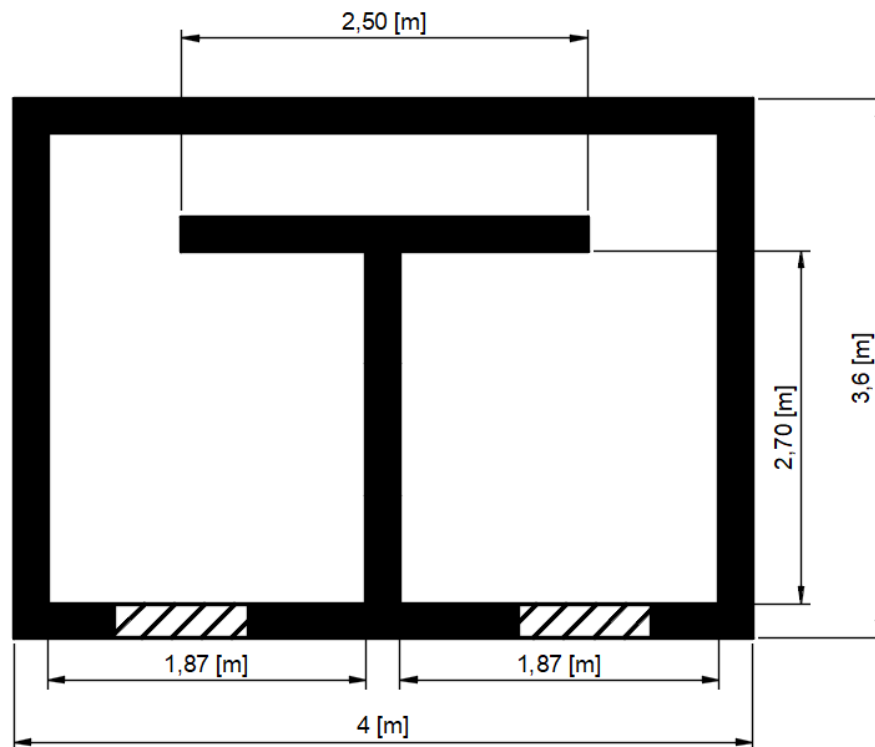


Figura 14: Esquema de la cámara climática.

Dentro de la cámara se encuentra la unidad exterior de una bomba de calor [24] (figura 15.a), ubicada en la pared que separa los dos espacios (figura 17, demarcado con azul). Su instalación está pensada para que una vez que esté se encuentre en funcionamiento ayude a la recirculación del aire dentro de la cámara (las flechas en la figura 17 indican la dirección del flujo de aire).



a) Unidad exterior



b) Intercambiador de calor

Figura 15: Componentes de la bomba de calor.

En el pasillo se instalan 5 calefactores de baja potencia (1.800 W) [25] (figura 17, demarcados con verde). Además, se instala un calefactor de mayor potencia (15.000 W) [26], el cual se ubica en una esquina cercana a la unidad exterior de la bomba apuntando hacia el pasillo (figura 17, demarcado con rojo). Los ventiladores de los calefactores son los encargados de realizar la circulación del aire cuando la bomba de calor no se encuentra operando.

La cámara se equipó con un humidificador [27], el cual cuenta con una unidad de control y un dispensador de vapor, donde la unidad de control es instalada al exterior de la cámara de ensayo, mientras que el dispensador de vapor es ubicado al interior de la cámara como se puede observar en las figuras 14.a y 14.b. En la figura 17 se observa igualmente la ubicación de estos componentes (demarcado en amarillo).



a) Dispensador de vapor



b) Unidad de control del humidificador

Figura 16: Componentes del humidificador

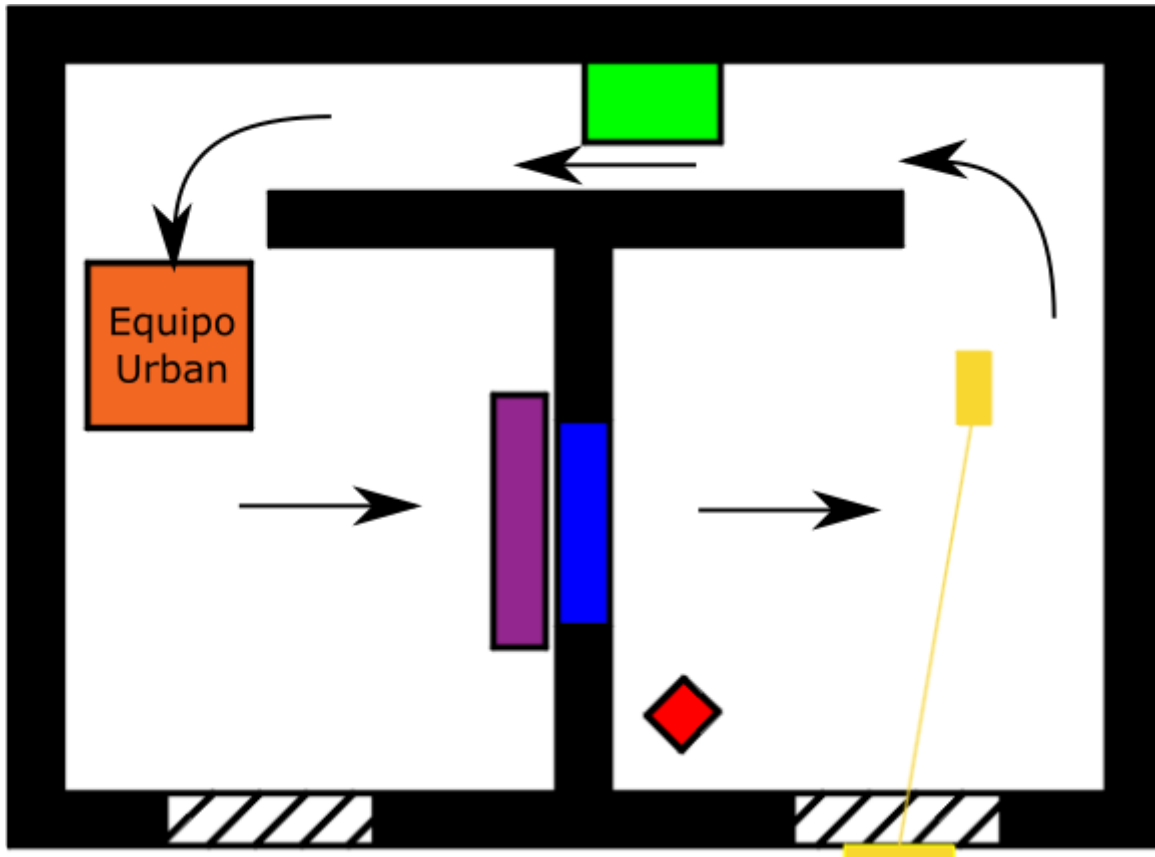


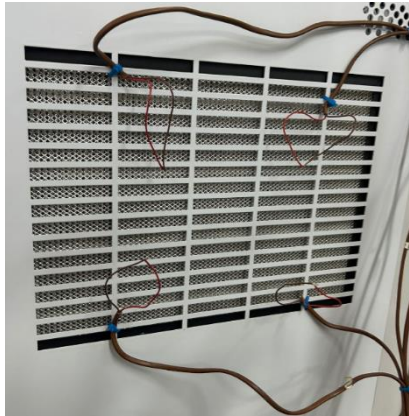
Figura 17: Ubicación bomba de calor, calefactores, humidificador y equipo.

2.4 Descripción de la instrumentación

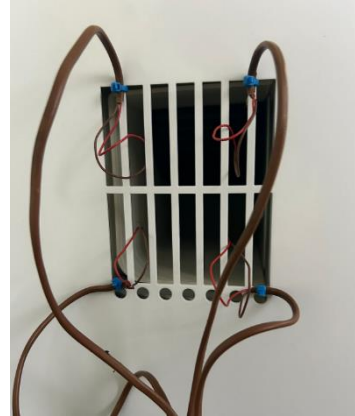
El siguiente apartado está dedicado para señalar las mediciones realizadas en los ensayos y equipos con los cuales se realizaron, donde de los cuales podemos encontrar:

2.4.1 Medición de temperatura

Para medir la temperatura del aire se instalan 10 termocuplas (termopares), de las cuales 4 miden la temperatura del aire a la entrada del equipo, como se puede observar en la figura 18.a y 4 la temperatura del aire a la salida del equipo, como se logra observar la figura 18.b.



a) Termocuplas instaladas en la entrada



b) Termocuplas instaladas en la salida

Figura 18: Termocuplas instaladas en la entrada y salida del aire

Además, se instala una termocupla entre el evaporador y el condensador para medir la temperatura del aire a la salida del evaporador y una termocupla para medir la temperatura ambiente del recinto, la cual se protege con papel aluminio para reducir los efectos radiativos (figura 18).



Figura 19: Termocupla para medir la temperatura ambiente.

2.4.2 Medición de humedad relativa

Se instalan 2 sensores de humedad relativa [28], uno para medir las condiciones del aire que ingresa al equipo, para poder así tener una noción de la humedad del aire que se está aspirando (figura 20.a). El segundo sensor de humedad relativa se instala a la salida del equipo, para medir la humedad del aire descargado (figura 20.b).



a) Sensor de humedad en la entrada de aire



b) Sensor de humedad a la salida del aire

Figura 20: Sensores de humedad relativa

2.4.3 Medición de la producción de agua

El flujo de agua se mide con una celda de carga [29], para lo cual se requiere de un soporte para su instalación (figura 21). A esta celda se le instala un gancho para colgar el valde que acumulará el agua recolectada por el equipo. Así, el flujo de agua se medirá a partir de la pendiente de la curva del peso medido por la celda de carga en el tiempo.



Figura 21: Sistema de medición de agua recolectada,

Además, cuando el equipo se instaló dentro de la cámara, el agua recolectada se midió con una balanza [30]. Para determinar el flujo promedio de agua recolectado por el equipo, se midió además el tiempo transcurrido durante todo el ensayo.

2.4.4 Mediciones secundarias

La cámara además de las mediciones que se mencionan en los puntos anteriores (del 2.4.1 al 2.4.3) cuenta con más instrumentos de medición, los cuales son:

Medidor de potencia eléctrica, el cual mide la potencia activa del equipo generador de agua atmosférica. Este es de la marca “FRER” modelo “MCOWC3” [31].

Además, se cuenta con 2 medidores de consumo de energía eléctrica. Uno es un “Medidor monofásico 220 V DRL DD862”, que es un medidor análogo, que solo mide el consumo eléctrico del equipo [32] y el otro instrumento “MONOFÁSICO - MEDIDA DIRECTA - RS 485 - M2DL2” [33], el cual es un medidor digital que mide la energía consumida, la potencia activa y reactiva, la tensión, la corriente, la frecuencia y el factor de potencia.

También se utiliza un anemómetro, para medir la velocidad del aire que ingresa y sale del equipo. Para la realización de los ensayos se hace utilización de un “Stick-Type Thermo Anemometer model: 361” [34], la medición se realizaría al final de la toma de datos, posicionando el anemómetro lo más céntrico posible de la entrada y salida de aire. Se asumirá que el valor medido permanece constante durante toda la duración del ensayo.

Por ultimo, se utilizó un barómetro digital, de la marca RIXEN y modelo BRT 220 [35].

2.4.5 Sistema de adquisición de datos

Las termocuplas y transmisores indicados anteriormente se conectan a una tarjeta de adquisición de datos de la marca Solartron, modelo “SI 35951C IMP” [36].

El registro y conversión de los datos registrados se realiza a través del software de la tarjeta “impviewer 32”.

2.4.6 Resumen de la instrumentación utilizada

En la tabla 1 se puede ver los instrumentos utilizados, marca, modelo, rango de medición y la exactitud de cada uno de estos.

Tabla 1: Descripción de instrumentación.

Instrumento	Marca	Modelo	Rango de medición	Exactitud de la medición
Sensores de temperaturas	-	T	-200 - 200°C	$\pm 0,5^{\circ}\text{C}$
Sensor de fuerza	TEDEA HUNTLEIGH	No. 1040	5 - 100 [kg]	$\pm 0,2 \left[\frac{mV}{V} \right]$
Bomba de calor	Midea	CE-LRSJF-V120/N1-610	$(-15) - 43^{\circ}\text{C}$	-
Humidificador	Debatec	ELECTROVAP ELMC 5	0-5 [kg/h]	$\pm 5\%$

Sensor de velocidad de aire	CHY	361	$0 - 30 \left[\frac{m}{s} \right]$	$\pm 3\%$
Tarjeta de adquisición de datos	SOLARTRON	SI 35951C	$0 - 12 [V]$	$\pm 0,1\%$
Medidor de consumo eléctrico análogo	EBASSE	DD862	$0 - 99999,9 [kW]$	$\pm 0,1 [kW]$
Medidor de consumo eléctrico digital	SACI	M2DL2	$0 - 99999,9 [kW]$	$\pm 0,1 [kW]$
Medidor de Potencia	FRER	MCOWC3	$0 - 20 [mA]$	-
Sensor de humedad	RIXEN	TRH-300 series	$0 - 100\%$	$\pm 2\%$
Sensor de presión atmosférica	RIXEN	BRT-220	$100 - 1100 [mbar]$	$\pm 1,5 [mbar]$
Bascula	Elitech	LMC-200	$0,000 - 100 [kg]$	$\pm 0,001 [kg]$

2.4.7 Verificación de instrumentación y adquisición de datos

Una vez instalados los equipos, se realiza un ensayo de prueba para comprobar que los valores que se están midiendo son coherentes, para esto los ensayos de prueba deben ser durante un tiempo prudente para comprobar el correcto funcionamiento de los instrumentos de medición, para esto se realizó las siguientes comprobaciones:

- Se comprueba que las señales que estaban conectadas a la tarjeta de adquisición de datos no presentaran errores de conexión. Al realizar el ensayo se logra identificar un error en la medición de las temperaturas de las termocuplas que se encuentran midiendo las entradas y salidas del aire en el equipo y la termocupla que se encuentra midiendo la temperatura ambiente dentro de la cámara climática. Este error era provocado por la base donde se encontraba la placa donde estaban conectadas las termocuplas, ya que esta tenía mucha carga eléctrica estática.
- Se comprueba el sistema de descarga de agua del equipo, el cual no genera la descarga correspondiente cuando el equipo presenta agua en su interior, por lo que se procede a realizar la medición de forma manual, que consiste en vaciar los estanques del equipo de forma manual por medio del sistema de suministro de agua con el que cuenta el equipo (esta es agua ya filtrada y lista para su consumo). Este método presenta igualmente un problema dado que no se logran vaciar por completo los estanques, ya que estos presentan un volumen muerto.
- Se verifica la máxima humedad que se puede lograr en la cámara de ensayo, al realizar esta verificación las termocuplas que presentaron problemas en la comprobación a vuelven a presentar problemas. Esto se debió a que se estaba trabajando con un cero electrónico, lo cual al tener la tarjeta de adquisición a temperatura ambiente (fuera de la cámara) y la placa donde se encontraban las termocuplas conectadas a la temperatura de ensayos dentro de la cámara, se presentaba una diferencia de temperaturas entre la placa y la tarjeta de adquisición, lo que generaba un voltaje adicional. Debido a esto se optó por utilizar un cero externo, el cual en la

toma de temperatura asegura que el instrumento esté calibrado para medir correctamente desde el inicio, mejorando la confiabilidad en las lecturas, este cero externo se realiza mediante la combinación de hielo molido y agua, los cuales eran mezclados dentro de un termo (figura 22).



Figura 22: Cero externo.

2.4.8 Ejemplo de ensayo tipo

La duración de los ensayos abarca varias horas, en las cuales el sistema no todo el tiempo se comporta de manera estable como se puede observar en la figura 23, donde los parámetros que este indica son los de temperatura (T_{ent}) y el porcentaje de humedad relativa ($\%_{ent}$) que ingresan al equipo, por lo cual al momento de elegir con que datos trabajar, se debe elegir un segmento del ensayo donde este se encuentre lo más estable posible, tal segmento elegido tiene que ser un tiempo de a lo menos unos 30 minutos. El criterio para definir si el ensayo está estabilizado o no, es la humedad relativa solamente, dado que, debido a la inercia de la cámara y la baja magnitud de los calores transferidos, estabilizar la temperatura toma mucho más tiempo.

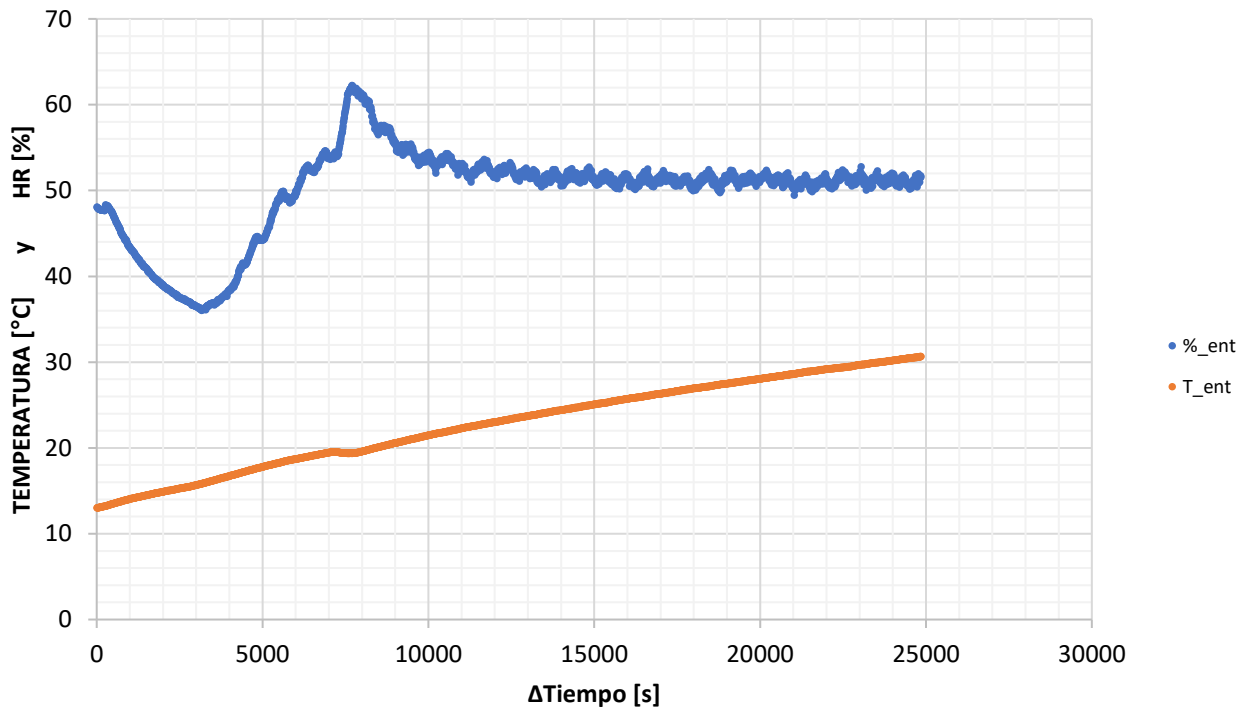


Figura 23: Ensayo tipo.

2.4.9 Planificación de ensayos

Para la realización de la caracterización del equipo, este será ensayado a distintas temperaturas y humedades relativas, las cuales se encontrarán limitadas por los rangos de operación permitidos por el equipo. Además, se deberá evaluar el punto nominal que indica el fabricante para comprobar si es verídico tal punto. Para esto se realizarán ensayos de alrededor de 6 a 8 horas por día, se propone tal cantidad de horas por ensayo dado que se considera el tiempo de puesta en marcha de la cámara de ensayo, el tiempo para que el equipo se encuentre estable, el tiempo que se requiere que este se encuentre en estabilidad (lo cual tiene un mínimo de 30 minutos, pero idealmente se busca que se encuentre más tiempo en este régimen estable) y por último el tiempo de detención del equipo, descarga del agua recolectada y guardado de la toma de datos.

Por ende, se realiza una matriz de ensayos (tabla 2), la cual consiste en distintos puntos de operación para una temperatura constante y a distintos porcentajes de humedad relativa. El recuadro verde (30°C y 80%) corresponde al punto nominal del equipo.

Tabla 2: Matriz de ensayos.

T [°C]		HR [%]			
15	35	50	65	80	95
20	35	50	65	80	95
25	35	50	65	80	95

30	35	50	65	80	95
35	35	50	65	80	95

Lo que se quiere lograr con esta matriz es poder observar el comportamiento del equipo al ir variando la humedad relativa a una temperatura ambiente constante y poder observar en que puntos se logran las condiciones óptimas. Dada la complejidad de obtener los valores exactos indicados en la tabla 2, al momento de filtrar y graficar los datos se dará un margen de $\pm 2^{\circ}\text{C}$, esto se podrá ver apreciado más adelante en la tabla 4.

CAPÍTULO 3: Resultados, análisis y discusión

3.1 Indicadores de desempeño

Los indicadores de desempeño para la caracterización del equipo estarán relacionados con la producción de agua y su consumo eléctrico.

3.1.1 Potencial y medición de agua recolectada

Para determinar la cantidad de agua recolectada por el equipo se procedió de la siguiente forma. Se realizó 1 ensayo por día y se midió, por peso, la cantidad de agua recolectada durante todo el ensayo, incluyendo los periodos en que se estaban modificando las condiciones para estabilizar el ensayo. Por otro lado, se determinó la cantidad de agua que se podría haber recolectado durante todo el ensayo determinado con la ecuación 5. Con esto se determinó la eficacia de recolección de agua como (ecuación 6):

$$\varepsilon_{rec} = \frac{\dot{M}_{w,prod}}{M_{w,pot}} \quad (6)$$

Luego, para realizar los balances de energía y de masa del equipo, se toma un periodo estacionario, en un periodo de tiempo que oscila entre 30 minutos y 90 minutos, donde en algunos de estos ensayos se presentó la detención del equipo dado por efecto frosting (que es detallado más adelante en el punto 3.2), este efecto no se considerara al momento de realizar los cálculos, dado que estos cálculos están pensados para intervalos que el equipo se encuentre en funcionamiento y en un estado estable. Además, como en este periodo que el equipo se encontraba estable eran más pequeño comparados con la duración del ensayo en sí (ensayo diario de 8 horas aproximadamente), no se midió la cantidad de agua, esta se determina con la ecuación 6, pero para el periodo de tiempo acotado considerado para realizar los balances de masa y energía.

Se optó por esta metodología para obtener la cantidad de agua recolectada en los intervalos que se encontraba estable el equipo para no tener que ingresar cada vez dentro de la cámara a realizar la medición, ya que esto perturbaba considerablemente las condiciones de operación del equipo. Además, en muchos casos, la cantidad de agua recolectada en un periodo más acotado era tan poca,

dado que como se puede observar en la tabla 3 donde se presentan algunos de los ensayos diarios, los cuales tenían una duración de aproximadamente 8 horas y promediaban una producción menor a medio litro (500 ml) por hora, que se producía una variación muy pequeña en la balanza introduciendo un mayor error en la medición.

Tabla 3: Resultados de algunos de los ensayos diarios

Nº Ensayo	Temperatura [°C]	HR [%]	Consumo [kWh]	Potencial [L/h]	Medido [L/h]	Eficacia [%]	SEC [kWh/L]
1	16,3	68,5	0,317	0,672	0,397	59	0,797
2	16,8	60,8	0,317	0,559	0,342	61	0,929
3	17,1	37,9	0,293	0,266	0,129	48	2,282
4	20,1	34,6	0,304	0,240	0,080	33	3,809
5	21,1	57,2	0,343	0,520	0,410	79	0,838
6	22,2	44,3	0,335	0,347	0,204	59	1,643
7	23,1	49,9	0,339	0,427	0,283	66	1,197
8	23,3	52,6	0,357	0,490	0,352	72	1,015
9	23,7	32,1	0,330	0,200	0,058	29	5,662
10	24,0	61,4	0,378	0,605	0,474	53	0,797
11	25,4	80,3	0,418	0,861	0,607	70	0,688
12	27,1	67,9	0,416	0,693	0,661	95	0,629
13	27,1	55,9	0,392	0,491	0,342	70	1,148
14	27,4	58,9	0,403	0,575	0,493	86	0,817
15	27,6	61,0	0,411	0,605	0,536	89	0,767
16	28,2	57,8	0,410	0,565	0,552	106	0,687
17	29,2	72,1	0,451	0,754	0,678	90	0,666
18	30,2	61,3	0,451	0,624	0,588	105	0,689
19	32,6	31,6	0,386	0,199	0,162	81	2,392

De la tabla 3 se obtiene una eficacia promedio del 74,3% la cual se utilizará para obtener un aproximado de la cantidad de agua recolectada, esta eficacia obtenida está asociada a un margen de error proveniente de la propagación de errores (ecuación 9) el cual es de $\pm 4,1\%$, que equivale a un 5,55% del resultado obtenido. La tabla 4 muestra algunos de los resultados obtenidos cuando el equipo se encontraba estable, donde para estos valores se tiene que para el potencial de agua calculado (ecuación 10) se le asocia un margen de error del 6,11% del valor obtenido.

Tabla 4: Algunos resultados obtenidos en condiciones climáticas estables.

Nº Ensayo	Temperatura [°C]	HR [%]	Potencial [L/h]	Medido [L/h]	Consumo E. [kWh]
1	15,8	56,0	0,491	0,365	0,304
2	16,1	71,4	0,741	0,550	0,327
3	16,5	62,2	0,588	0,437	0,321
4	17,7	33,6	0,223	0,166	0,302
5	17,9	62,0	0,604	0,449	0,331
6	20,2	42,5	0,631	0,469	0,321

7	21,3	87,2	0,944	0,701	0,373
8	22,5	31,6	0,232	0,172	0,328
9	23,1	62,5	0,616	0,457	0,368
10	23,4	32,1	0,206	0,153	0,335
11	23,9	76,8	0,816	0,606	0,389
12	25,7	43,9	0,635	0,472	0,364
13	29,6	70,4	0,719	0,534	0,319
14	29,9	49,7	0,487	0,362	0,419
15	30,5	81,7	0,920	0,684	0,478
16	30,8	58,4	0,566	0,421	0,435
17	34,0	37,6	0,144	0,107	0,417
18	34,9	49,2	0,491	0,365	0,469
19	35,4	69,	0,757	0,562	0,526
20	35,9	26,5	0	0	0,419

De la tabla 4 se obtiene que para el ensayo 15 (30,5°C y 81,7% de humedad relativa), más cercano al punto nominal del fabricante (30°C y 80% de humedad relativa), se recolectan aproximadamente 0,684 [L/h], es decir 16,4 [L/día] aproximadamente, el cual a este valor se le debe agregar el valor obtenido por la propagación de errores (ecuación 11), el cual para el para la cantidad de agua recolectada se obtiene un error de $\pm 0,078$ [L/h] el cual equivale al 11,5% del resultado obtenido. El valor calculado es muy cercano al indicado por el fabricante (0,625 [L/h]), con una diferencia de 9%. Además, se obtiene un SEC de 0,699 kWh/L, este valor está asociado a un margen de error proveniente de la propagación de errores (ecuación 8) el cual es de $\pm 0,0275$ [kWh/L] el cual equivale al 3,93% del resultado obtenido, el cual al comparar el resultado calculado con lo indicado por el fabricante (0,688 [kWh/L]) presenta una diferencia de 2%. Estas diferencias pueden deberse a la metodología de cálculo o que el equipo es realmente capaz de producir más agua o a que las condiciones de operación son más favorables para la producción de agua (temperatura y humedad relativa levemente mayores a las nominales), pero considerando que el margen de error obtenido para eficacia, potencial y valor SEC no superan el 7% y solo la aproximación de la cantidad de agua recolectada supera este porcentaje, la diferencia del 9% entre el valor obtenido y lo indicado por el fabricante podría estar relacionado a la metodología utilizada, dado que se estima un aproximado de la cantidad de agua que se recolecta.

Graficando los datos obtenidos durante los ensayos realizados (tabla 4) mientras el equipo se encontraba con condiciones climáticas estables (figura 24), se puede ver como la cantidad de agua recolectada del ambiente, varía según aumenta o disminuye la humedad relativa del aire y cómo influye la temperatura del aire en estos parámetros.

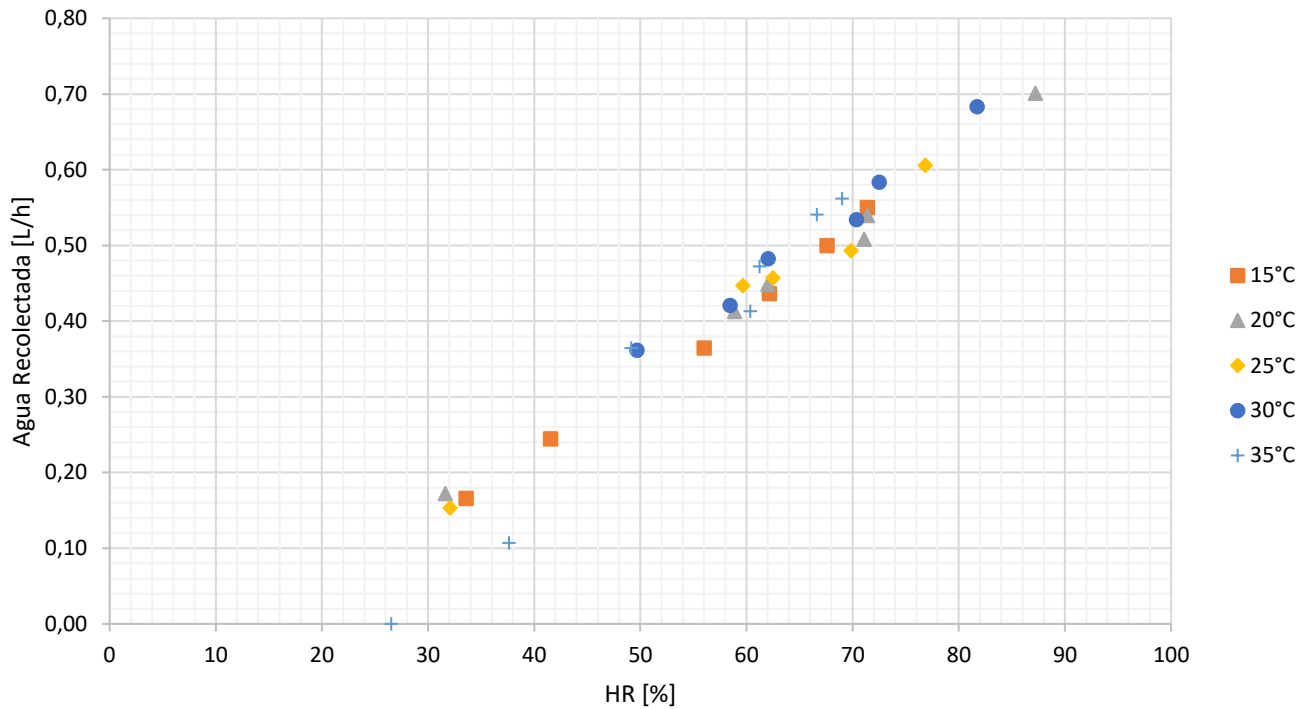


Figura 24: Agua recolectada [L/h] v/s humedad relativa [%]

De la figura 24 se puede observar que a medida que aumenta el porcentaje de humedad relativa la cantidad de agua recolectada tiende a aumentar linealmente. También se logra observar que la temperatura del aire ambiente influye en menor medida en la cantidad de agua que se puede recolectar, dado que a una mayor temperatura y humedad relativa el potencial de este es mayor a comparación a una de menor temperatura.

En la figura 25 se presenta el consumo específico de energía del equipo. Se observa que a medida que aumenta la humedad relativa el valor SEC tiende a disminuir exponencialmente.

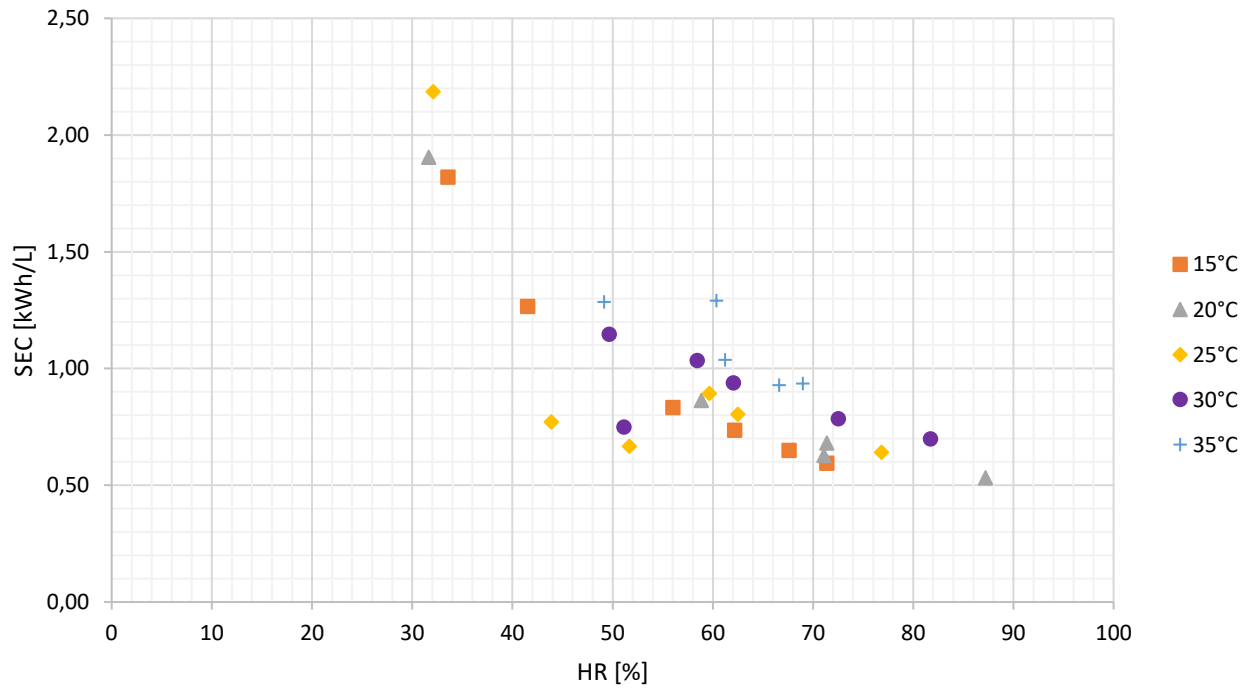


Figura 25: SEC [kWh/L] v/s humedad relativa [%]

La figura 26 se observa que a medida que aumenta el porcentaje de humedad relativa, el potencial de agua en el ambiente y el agua recolectada por el equipo tienden a aumentar de manera lineal. Se observa que el equipo no es capaz de captar todo el potencial de agua que teóricamente podría captar.

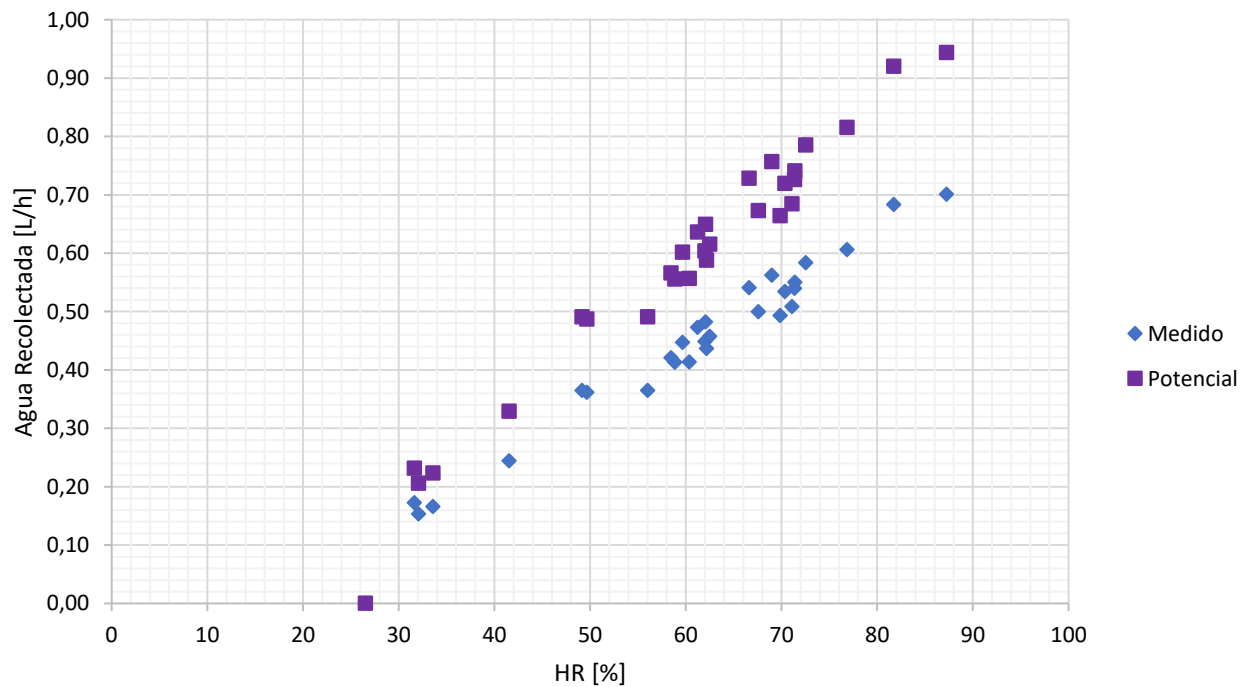


Figura 26: Agua generada [L/h] v/s humedad relativa [%]

Mientras que la figura 27 presenta el consumo eléctrico específico para distintas humedades relativas. Se puede apreciar que a medida que se aumenta la humedad relativa disminuye el consumo específico debido a una mayor producción de agua.

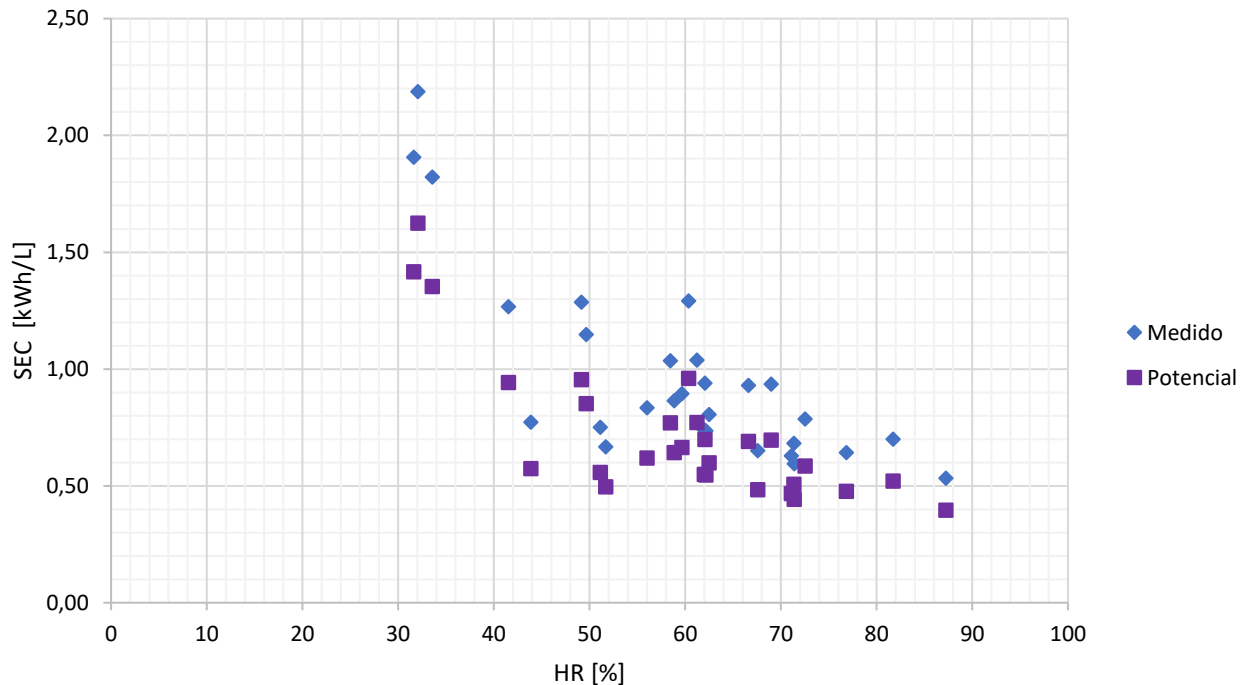


Figura 27: Consumo eléctrico [kWh/L] v/s humedad relativa [%]

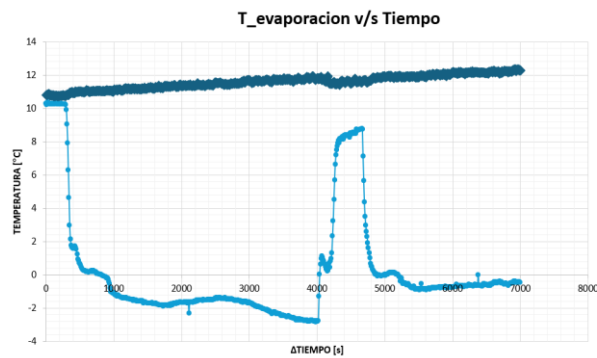
3.2 Análisis post tratamiento de resultados

Una vez encendido, el equipo se demora 5 minutos para comenzar su funcionamiento. En algunos ensayos el equipo se detenía por un lapso de aproximadamente 5 minutos, esto era provocado por el congelamiento de la humedad condensada sobre el evaporador (figura 28, efecto frosting). Esta detención se realizaba para realizar el descongelamiento del equipo.

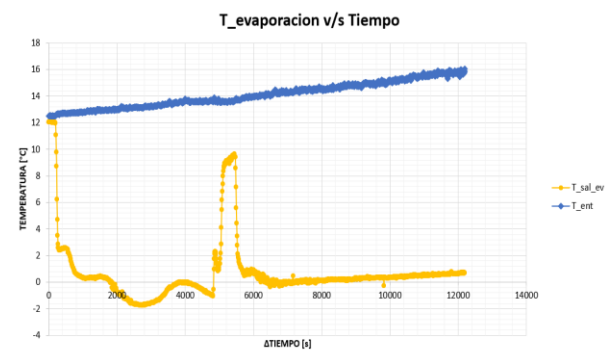


Figura 28: evaporador descongelándose

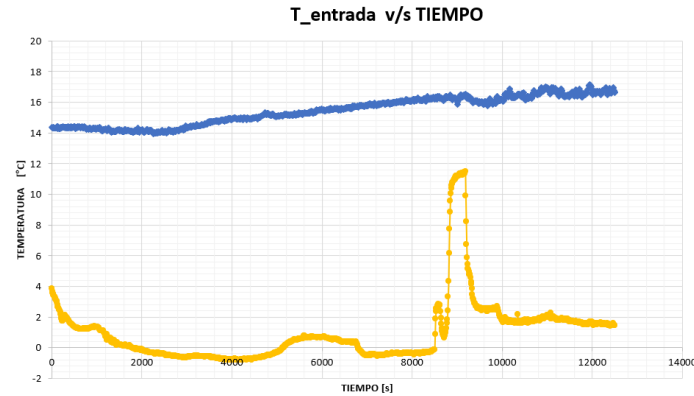
El efecto frosting sobre el evaporador se producía debido a que las temperaturas de trabajo descendían bajo los 0°C , como se puede observar en la figura 29 según la termocupla instalada a la salida del evaporador. Además, se puede observar como la temperatura del evaporador asciende durante el periodo de detención.



a)



b)



c)

Figura 29: temperaturas del evaporador al detenerse.

La humedad relativa dentro de la cámara se veía también afectada por las condiciones climáticas del día del ensayo, donde en las mañanas lo máximo que se lograba alcanzar en humedad relativa era de un 80%, la cual en el transcurso del día iba disminuyendo. Lo anterior se debe a que la cámara no es totalmente hermética y presentaba infiltraciones de aire desde el exterior. Esto llevaría a modificar la matriz de ensayos quitando el último porcentaje de humedad relativa como se presenta en la tabla 5.

Tabla 5: Nueva matriz de ensayos.

T [°C]	HR [%]			
15	35	50	65	80
20	35	50	65	80
25	35	50	65	80
30	35	50	65	80
35	35	50	65	80

3.3 Comparación con otros equipos comerciales

“Performance investigation of atmospheric water harvesting systems” de Farshid Bagheri [37] realiza un estudio experimental para comparar 3 equipos comerciales, provenientes de diferentes países: Estados Unidos (USA), Canadá y China. Estos son de tamaño residencial con una capacidad nominal de generación de agua de 30 [L/día] y una potencia nominal de 1.500 [W].

Se realizaron ensayos bajo condiciones controladas, en un banco de pruebas equipado con una gran cámara (Espec, modelo EPX-4H Platinous) para proporcionar el flujo de aire de entrada bajo un amplio rango de temperaturas y humedades relativas. El banco se equipó con varios sensores de temperatura y humedad relativa de la marca Rotronic, con una precisión de $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ y $\pm 0,5\%$ respectivamente. El flujo de aire se midió con una precisión del $\pm 1,0\%$ y la potencia eléctrica se midió con una pinza amperimétrica Fluke 902, con una precisión del $2,0\%$ [37]. En la figura 30 se puede observar el esquema de la instalación de este banco de pruebas.

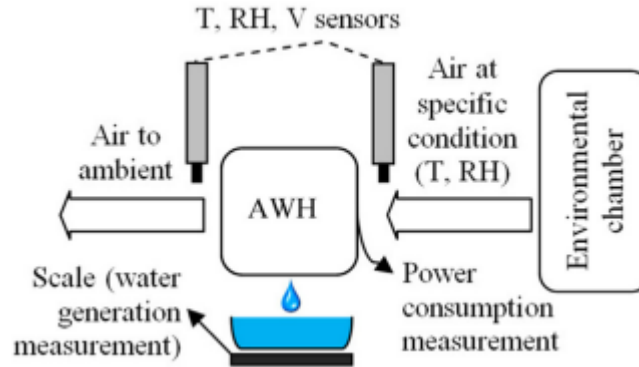


Figura 30: Esquema de la instalación del banco de pruebas de "Performance investigation of atmospheric water harvesting systems" [37].

Las tablas 6, 7 y 8 muestran los resultados obtenidos para cada uno de estos equipos bajo ciertas condiciones controladas:

Tabla 6: Resultados obtenidos para el equipo estadounidense.

Condición	Temperatura (°C)	HR (%)	Tasa de captación de agua (L/h)	Consumo de energía (kWh)	Coste Energético (\$/L)
Frío y Seco	6	57	0	-	-
Frío y Húmedo	6	80	0	-	-
Templado y Seco	21	45	0,25	2,79	31,4
Templado y Húmedo	20	75	0,48	1,49	16,8
Cálido y Seco	32	20	0,14	5,60	63,1
Cálido y Húmedo	30	62	0,65	1,21	13,6

Tabla 7: Resultados obtenidos para el equipo canadiense.

Condición	Temperatura (°C)	HR (%)	Tasa de captación de agua (L/h)	Consumo de energía (kWh)	Coste Energético (\$/L)
Frío y Seco	6	57	0	-	-
Frío y Húmedo	6	80	0,09	5,48	61,8
Templado y Seco	21	45	0,26	1,85	20,8
Templado y Húmedo	20	75	0,58	0,84	9,5
Cálido y Seco	32	20	0,12	4,77	53,8
Cálido y Húmedo	30	62	0,66	0,82	9,2

Tabla 8: Resultados obtenidos para el equipo chino.

Condición	Temperatura (°C)	HR (%)	Tasa de captación de agua (L/h)	Consumo de energía (kWh)	Coste Energético (\$/L)
Frío y Seco	6	57	0	-	-
Frío y Húmedo	6	80	0,07	6,97	78,6
Templado y Seco	21	45	0,27	2,41	27,2
Templado y Húmedo	20	75	0,51	1,13	12,7
Cálido y Seco	32	20	0,11	4,66	52,5
Cálido y Húmedo	30	62	0,64	1,02	11,5

Por ende, para poder realizar una comparación entre estos 3 equipos con el equipo comercial Urban, se realiza la clasificación presentada en la tabla 9 para los datos obtenidos de los ensayos mostrados en la tabla 4.

Tabla 9: Datos clasificados equipo URBAN

Condición	Temperatura (°C)	HR (%)	Tasa de captación de agua (L/h)	Consumo de energía (kWh)
Frío y Seco	T<10	30 <HR<60	0	0
Frío y Húmedo	T<10	60 <HR<80	0	0
Templado y Seco	18<T<27	30 <HR<60	0,32	0,35
Templado y Húmedo	18<T<27	60 <HR<80	0,79	0,35
Cálido y Seco	27<T<35	20 <HR<60	0,26	0,43
Cálido y Húmedo	27<T<35	60 <HR<80	0,44	0,45

Al realizar la comparativa se puede observar que:

- Para climas fríos y húmedos, el equipo canadiense y chino están capacitados para trabajar bajo estas condiciones, dado que son los únicos que logran generar agua.
- Para climas templados y secos o húmedos, el equipo Urban presenta una mayor tasa de captación de agua en comparación de los otros 3 equipos.
- Para climas cálidos y secos, el equipo Urban presenta una mayor tasa de captación de agua a comparación de los otros 3 equipos.
- Para climas cálidos y húmedos, los 3 equipos presentan una mayor tasa de captación de agua respecto al equipo Urban.

Otro dato interesante presentado por “Performance investigation of atmospheric water harvesting systems” [37] se muestra en la figura 31, donde la figura 31.a muestra la diferencia entre la cantidad de agua realmente captada con la que idealmente se podría captar (ω), y en la figura 31.b se muestra el consumo específico de energía que realmente se consume y el que idealmente se vería consumir.

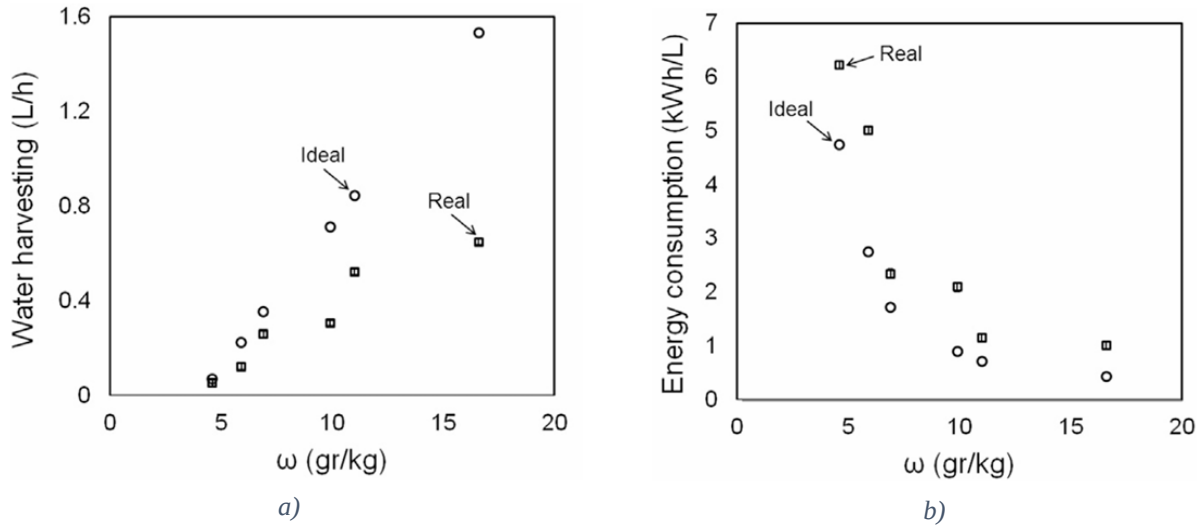


Figura 31: Generación de agua promedio y consumo de energía frente al contenido de agua (ω)

Este autor presenta las mismas tendencias encontradas en nuestro estudio, identificando igualmente las diferencias entre el funcionamiento real del equipo y el funcionamiento ideal de este.

Dado que los equipos que se mencionan en el estudio de Farshid Bagheri [37] no se encuentra ninguna otra especificación técnica de los equipos, se procedió a buscar especificaciones de equipos similares:

- Watergen GENNY (estadounidense) [38], con una producción de 30 [L/día] a una temperatura y humedad relativa máximas y 19,7 [L/día] a una temperatura de 26,6°C y 60% de humedad relativa y un valor SEC de 0,44 [kWh/L]
- HR-77L (chino) [39], con una producción de 30 [L/día] a una temperatura de 30°C y 80% de humedad relativa y un valor SEC de 0,24 [kWh/L]
- HR-88c (chino) [40], con una producción de 30 [L/día] a una temperatura de 30°C y 80% de humedad relativa y un valor SEC de 0,24 [kWh/L]

Estos 3 equipos tienen una capacidad de producción de 30 [L/día], cuentan con la procedencia de 2 de los 3 países que se nombran en el estudio y no cuentan con la potencia nominal de los 1500 [W]. El costo de estos 3 productos oscila entre \$3.200.000 y \$3.790.000. El equipo Urban costó \$1.390.000, ya que tiene una menor capacidad de producción de agua 15 [L/día] en comparación a los otros tres equipos mencionados.

3.4 Evaluación de rentabilidad económica

Se evaluará la rentabilidad económica del equipo comparándolo con la distribución de agua por camiones aljibes, dado que se evaluará en una ubicación que se encuentra en una localidad perteneciente a la zona norte de Chile la cual no cuenta con una posibilidad de la construcción de pozo profundo, puntera u construcción de un APR. Para realizar dicha comparación se considera que una vivienda tiene un consumo de alrededor de 18,5 metros cúbicos de agua al mes [41], lo que da un consumo diario de 597 litros al considerar 31 días en el mes.

Dado que el equipo no logra cubrir la demanda mensual, se escalará la producción diaria del equipo al punto de que este logre cubrirla y a su vez se considerará el valor SEC promedio (1,40 [kWh/L]) obtenido de los ensayos al momento de evaluar el costo mensual de producir dicha demanda. Al momento de escalar la producción diaria del equipo el precio de este igual debe de aumentar, por lo cual se interpolará el precio de este “nuevo equipo” con ayuda de equipos comerciales con una producción de 500 [42] y 900 [43] litros por día, por ende, al resolver este calculo se obtiene el valor del “nuevo equipo” que tendría un valor de \$31.228.645 (tabla 10), el cual se podría observar que el precio de este aumentaría en un 2247% del precio original del equipo. Al realizar este ejercicio también se tiene que considerar que los gastos para la mantención del equipo aumentarían, para el calculo de cuanto aumenta este valor se procede a calcular el gasto en las mantenciones del equipo Urban, donde para los cuales se consideraran solo los cambios de los componentes que se indican al comprarlo [23] (filtro TCR [44], filtro de nanopartículas, filtro Pre carbón activado [45], filtro post carbón activado [46], filtro electroestático de aire [47] y filtro Nanomolecular), los cambios de estos componentes producen un costo anual de \$227.250, lo cual equivalen a un 16% del costo inicial del equipo, aplicando esta misma relación porcentual del costo asociado a mantención, se obtiene un costo anual de \$5.105.546 para la mantención del “nuevo equipo”.

Tabla 10: Precios de equipos comerciales y del “nuevo equipo”

Producción diaria [L/día]	Precio [\$]
500	15.926.460
600	31.228.645
900	77.135.200

Para obtener el costo del suministro de agua potable mediante camiones aljibes se ingresa a mercado público [48], donde se encuentran boletas de compra (Anexos 1) con la cantidad de litros o metros cúbicos que se han comprado, también se puede observar en estas boletas que a mayor cantidad de litros comprados el precio de este disminuye. En la tabla 11 se logra observar un resumen de las boletas obtenidas, en donde se pueden observar precios de distintas localidades, donde para el cual para facilidad de cálculos se supondrá que estos precios son aplicables en todo el país, por lo cual con esto se tendría el precio aproximado para 10 y 40 metros cúbicos, con los cuales se utilizarán para interpolar el precio para la compra y traslado de 18,5 metros cúbicos de agua, lo cual daría un valor de \$42.564 por metro cúbico de agua o a \$43 por litro de agua.

Tabla 11: Precio por litro de camiones aljibes

Localidad	Litros	Precio por litro [\$ / L]	Total [\$]
Punta Arenas	10.000	57	570.200
Punta Arenas	800.000	5	3.980.800
Cabildo	1.220.000	1	1.342.000
Combarbalá	5.000	14	70.000
Combarbalá	40.000	6	240.000
Antofagasta	90.000	22	1.970.640

Para la evaluación de la rentabilidad económica para los camiones aljibes se considera la adquisición del camión aljibe con un costo de \$66.878.000 con iva incluido [49], el cual se considera una vida útil de 10 años [50], a su vez también se considera el costo anual en la mantención del camión aljibe de un precio de \$2.000.000 [51] los cuales considera sistemas de freno, cambio de neumáticos, chequear niveles de líquidos (refrigeración, transmisión, dirección y frenos), alineación, luces, inspección de amortiguadores, cambio de aceites y filtros, también se debe de considerar el sueldo del conductor del camión aljibe el cual se considera un sueldo de \$850.000 [52], por último, se considerará la adquisición de un estanque con una capacidad de 20 metros cúbicos, el cual en el mercado se encuentra al precio de \$3.181.920 [53], el cual se considera una vida útil de 10 años [50].

Por último, se obtienen los precios de las tarifas de suministro eléctrico de una ciudad (Tarifas de suministro eléctrico a precio traspasable a consumos $\leq 350 \text{ kWh}$ [54]) en donde se evaluará la rentabilidad del equipo, para esto se elige la ciudad de Calama dado que esta se encuentra dentro de la zona con escasez hídrica mostrada en la figura 1. En la tarifa eléctrica se tienen distintos tipos de cobros dependiendo a la tarifa que este pertenece según su consumo (BT1, BT2, BT3 y BT4), donde dado que el equipo que se está evaluando está pensado para viviendas, las cuales pertenecen a la tarifa BT1 estas tienen como cobro los siguientes cargos: administración de servicio, transportes de electricidad y electricidad consumida, donde para alcance de esta Memoria de título se consideran solamente los cargos de electricidad consumida, los que considera solamente los cargos por energía, cargo por compra de potencia y cargo por potencia base en su componente de distribución (tabla 12).

Tabla 12: Tarifa eléctrica

Ciudad	Cargo por energía $\left[\frac{\$}{\text{kWh}}\right]$	Compra de potencia $\left[\frac{\$}{\text{kWh}}\right]$	Potencia base $\left[\frac{\$}{\text{kWh}}\right]$	Total [\$]
Calama	111,730	37,470	31,497	180,70

Con estos datos se procede a calcular el gasto que se realiza para producir un metro cubico de agua con el equipo, el cual daría un gasto de \$253.528 pesos por metro cubico o \$254 pesos por litro, este valor obtenido se utilizara como valor de referencia para realizar la comparación económica entre el equipo captador de agua atmosférica y el traslado de agua por camiones aljibes. Para esto se considera un impuesto a las utilidades del 27% [55] y una tasa de descuento del 10% [56]. Al realizar el flujo de caja para los camiones aljibes (Anexo 2.b) se tiene como precio de venta el ahorro que se produce en la comparación con el caso base, que en este caso es el gasto que se produce para producir un metro cubico de agua mediante el equipo captador de agua atmosférica, esto es aplicable para el flujo de caja del equipo captador de agua (Anexo 2.a) el cual presenta un precio de venta igual a cero dado que no se produce un ahorro ni gasto adicional, dado que se está considerando como caso base. También se considera un aumento del 5% anual en el consumo del agua por vivienda, dado que por años anteriores se ha presentado un alza de este de un 2% anual [41] el cual a fines de cálculo y prevención de que este consumo tienda a aumentar de los 2%.

Al realizar los flujos de caja para los respectivos casos, los resultados para los camiones aljibes (tabla 13) se obtiene un TIR del -6% y un VAN del -\$57.869.113, lo cual indicaría que para el caso presentado no sería viable la utilización de este método para suministrar agua a una sola vivienda.

Tabla 13: Resultados flujo de caja, camiones aljibe

Flujo de caja	
Tasa de descuento	10%
TIR	-6%
VAN (año 20)	-\$57.869.113

En cuanto al flujo de caja para el equipo captador de agua (tabla 14) se obtiene un TIR del 24% y un VAN de \$27.415.393, cual indicaría factibilidad y rentabilidad al uso de este método para el caso presentado para el suministro de agua para una vivienda.

Tabla 14: Resultados flujo de caja, equipo captador de agua atmosférica

Flujo de caja	
Tasa de descuento	10%
TIR	24%
VAN (año 20)	\$27.415.393

Los resultados de los flujos de caja presentarían que el uso del equipo captador de agua atmosférica se presenta como más rentable y factible económicamente para el caso presentado de una vivienda que se encuentra en una localidad perteneciente a la zona norte de Chile la cual no cuenta con una posibilidad de la construcción de pozo profundo, puntera u construcción de un APR.

CAPÍTULO 4: Conclusiones

Se logra implementar un banco de ensayo para la caracterización de un equipo de captación de agua atmosférica, donde con ayuda de un diseño experimental, con enfoque sistemático para evaluar el rendimiento del sistema para su posterior caracterización, se obtuvieron datos sobre el funcionamiento del equipo bajo diferentes condiciones ambientales. Se observó que el equipo de captación de agua atmosférica presenta una mayor tasa de recolección en climas cálidos y húmedos, lo que sugiere que este sistema es más efectivo en ciertas condiciones ambientales. También los resultados indicaron que el consumo de energía por litro de agua recolectada disminuye a medida que aumenta la humedad específica, lo que podría implicar que el sistema es más eficiente energéticamente en condiciones de alta humedad, por lo cual los resultados demuestran la efectividad del sistema de captación de agua atmosférica en diferentes condiciones de humedad y temperatura mostrando su potencial para generar agua en áreas con escasez hídrica.

La metodología utilizada presenta una diferencia del 9% en la recolección de agua bajo las condiciones del punto nominal del equipo, pero con una incertidumbre del 11%, además, para el valor SEC se obtiene una diferencia del 2% entre el valor calculado y el valor indicado por el fabricante, con una incertidumbre el 3,93%, esto llevaría a dudar de la metodología utilizada para el cálculo de la recolección de agua, el cual vendría relacionado a que se obtiene un aproximado de la cantidad de agua que se recolecta, donde para mejorar esta metodología se podría desarmar el equipo para así obtener los volúmenes de los puntos muertos de cada estanque y realizar un sistema de medición continua de la producción de agua de este para tener mediciones más precisas.

Al realizar la comparación con otros equipos comerciales, se observa que estos sistemas de captación de agua atmosférica de refrigeración por compresión de vapor presentan una tendencia lineal en la tasa de producción de agua al aumentar la humedad relativa en el aire y que tienden a disminuir su consumo eléctrico para producir un litro de agua al aumentar la humedad relativa en el aire. Además, se observa que, en comparación a otros equipos comerciales, el equipo caracterizado se presenta como una mejor opción en cuanto a la captación de agua y precio.

Se destaca que, a pesar de la efectividad del sistema, la rentabilidad económica incentiva a la utilización de estos equipos, dado al TIR y VAN obtenidos en el cálculo de este, cual indicaría la rentabilidad económicamente en comparación de la distribución de agua potable mediante camiones aljibes.

Por último, estos equipos presentan un alto costo de inversión inicial y costo asociado que se tiene para producir un litro de agua, lo que sugiere la necesidad de explorar alternativas energéticas, como la energía solar u eólica para amortiguar el consumo eléctrico del sistema.

Referencias

- [1] «Assessing the vulnerability of urban drinking water intakes to water scarcity under global change: A bottom-up approach,» ELSEVIER, 2024.
- [2] N. W. Arnell, «Climate change and global water resources: SRES emissions and socio-economic scenarios».
- [3] C. P. K. & V. P. Singh, «Climate Change, Water, and Health: A Review of Regional».
- [4] «Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2020: agua y cambio climático,» UN WATER, 2020.
- [5] «Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2018: soluciones basadas en la naturaleza para la gestión del agua, cifras y datos,» UN WATER, 2018.
- [6] M. M. M. & A. Y. HOEKSTRA, «Four billion people facing severe water scarcity,» ScienceAdvances, 2016.
- [7] G. M. d. S. d. I. N. U. (. e. Chile, «Escasez Hídrica en Chile: Desafíos Pendientes,» 2021.
- [8] I. N. D. ESTADÍSTICAS, «Síntesis de resultados CENSO 2017,» [En línea]. Available: <http://www.censo2017.cl/descargas/home/sintesis-de-resultados-censo2017.pdf>.
- [9] S. Z. Zavala, «Pontificia Universidad Católica de Chile,» [En línea]. Available: <https://www.proquest.com/docview/2652590642?%20Theses&fromopenview=true&pq-origsite=gscholar&sourcetype=Dissertations%20>.
- [10] «Biblioteca del Congreso Nacional de Chile,» [En línea]. Available: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1174443>.
- [11] «Ministerio de Obras Públicas,» [En línea]. Available: <https://dga.mop.gob.cl/administracionrecursoshidricos/decretosZonasEscasez/Paginas/default.aspx>.
- [12] M. G. M^aRemedios, «Procesos y tecnología para la desalinización del agua,» Universidad Politecnica de Valencia.
- [13] E. V. & P. H. Eduardo Baeza G, «La desalinización de agua de mar: tecnologías, regulaciones y efectos ambientales,» 2019.

- [14] M. P. Gómez, «Diseño de una planta desalinizadora de 20.000 m³/día basada en una tecnología dedestilación multiefecto (MED),» 2017.
- [15] «Dirección de obras Hidraulicas, MOP,» [En línea]. Available: <https://doh.mop.gob.cl/APR/AcercadeAPR/Paginas/acercaAPR.aspx>.
- [16] Y. Zhang, «Multi-bioinspired hierarchical integrated hydrogel for passive fog harvesting and solar-driven seawater desalination,» ELSEVIER, 2023.
- [17] J. A. A. S. C. J. M. R. K. R. & B. O.-Z. B. Khalil, «A review: dew water collection from radiative passive collectors to recent developments of active collectors,» 2015.
- [18] M. Ehtisham, «sciencedirect Una revisión exhaustiva de los enfoques, sistemas y materiales utilizados en la recolección de agua atmosférica basada en la adsorción,» [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969724080422#bb0385>.
- [19] J. Wang, «sciencedirect Examen exhaustivo de las tecnologías de captación de agua atmosférica,» [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214714424020683#s0010>.
- [20] G. Raveesh, «sciencedirect Avances en tecnologías de generación de agua atmosférica,» [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890421004027#s0010>.
- [21] aim2flourish, «aim2flourish,» [En línea]. Available: <https://aim2flourish.com/innovations/creating-clean-water-from-air>.
- [22] A. A. Al-Farayedhi, «Condensado como fuente de agua de sistemas de compresión de vapor en regiones cálidas y húmedas,» [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011916414002586#bb0080>.
- [23] «FreshWater,» [En línea]. Available: <https://freshwatersolutions.org/urban/>.
- [24] M. B. d. Calor. [En línea]. Available: Características técnicas; Especificaciones de las unidades exteriores - Midea CE-LRSJF-V120/N1-610 Manual técnico [Página 8] | ManualesLib (manualslib.com).
- [25] Termoventilador, «SOMELA,» [En línea]. Available: Termoventilador VFH300 - Somela.
- [26] T. Calefactor, «AYMSA,» [En línea]. Available: Turbo calefactor SK15 eléctrico 380V 15KW (aymsa.cl).
- [27] Devatec.

- [28] «Humidity / Temperature Transmitter,» [En línea]. Available: [https://en.rixen.com.tw/upload/files/23%2C24%2C25-TRH-300\(1\).pdf](https://en.rixen.com.tw/upload/files/23%2C24%2C25-TRH-300(1).pdf).
- [29] «Intertechnology,» [En línea]. Available: https://intertechnology.com/Tedea_Huntleigh/pdfs/1040-41.pdf.
- [30] «Elitech,» [En línea]. Available: <https://www.elitechu.com/es/products/elitech-lmc-200-refrigerant-scale-hvac-digital-charging-scale-220lbs-100kg?variant=43049947398403>.
- [31] «Transductor de CC».
- [32] «medidores-de-energia,» [En línea]. Available: <https://guzman.cl/medidores-de-energia/30728-medidor-monofasico-con-sello-10a-50a-ebasse-100000013805.html>.
- [33] «Sirioired,» [En línea]. Available: https://www.sirioired.com/uploads/2/6/9/2/26926705/contador_monof%C3%A1sico_m2dl2_ficha_t%C3%A9cnica.pdf.
- [34] «chy-meter,» [En línea]. Available: <http://www.chy-meter.com/data/goods/202102/1612238236fay78.pdf>.
- [35] «RiXEN,» [En línea]. Available: <https://en.rixen.com.tw/upload/files/BRT-220N%20Instruction%20Manual.pdf>.
- [36] «zeefax,» [En línea]. Available: <https://www.zeefax.com/wp-content/uploads/2016/09/35951C-nu-blu-Data-Sheet-.pdf>.
- [37] F. Bagheri, «Investigación del rendimiento de los sistemas de captación de agua atmosférica,» ELSEVIER, 2018.
- [38] «VodaChile,» [En línea]. Available: <https://www.vodachile.cl/generador-de-agua-genny/>.
- [39] «AIRWATERAWG,» [En línea]. Available: https://es.airwaterawg.com/portable-air-atmospheric-water-generator-hr-77l_p23.html.
- [40] «ACCAIRWATER,» [En línea]. Available: https://es.accairwater.com/home-use-atmospheric-drinking-water-generator-hr-88c_p11.html.
- [41] IPSUSS, «IPSUSS,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.ipsuss.cl/estadisticas-e-indicadores/cuanta-agua-consumimos#:~:text=Una%20familia%20consume%20cerca%20de%2018%2C5%20m3%20de,superan%20los%2014%20metros%20c%C3%BAbicos%20mensuales%20por%20hogar..>
- [42] «VODA, purificadores de agua,» [En línea]. Available: <https://www.vodachile.cl/generador-de-agua-gen-m/>.

- [43] «Alibaba,» [En línea]. Available: https://www.alibaba.com/product-detail/Solar-air-water-generator-HL-A500L_11000006882707.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_image.19da13a0eYVw6Z.
- [44] «aguaplanet TCR,» [En línea]. Available: <https://aguaplanet.cl/producto/45-x-20-filtro-de-sedimentos-50-micras/>.
- [45] «Sodimac pre carbon,» [En línea]. Available: https://www.sodimac.cl/sodimac-cl/articulo/110261758/2-pre-filtros-de-pp-5-micras-y-carbon/110261768?exp=so_com.
- [46] «Sodimac post carbon,» [En línea]. Available: https://www.sodimac.cl/sodimac-cl/articulo/110227805/Post-filtro-purificador-de-agua-carbon-osmosis-inversa/110227810?exp=so_com&rid=Comparador%21test%21Tratamiento%21110227810%211%211.
- [47] «aguamarket,» [En línea]. Available: <https://aguamarket.cl/producto/filtro-electroestatico/>.
- [48] «Mercado Público,» [En línea]. Available: <https://www.mercadopublico.cl/Portal/Modules/Site/Busquedas/BuscadorAvanzado.aspx?qs=2>.
- [49] «Doris Quiroz,» [En línea]. Available: <https://www.dorisquiroz.cl/anuncio/camion-aljibe-internacional-7600-ano-2017-20m3/>.
- [50] «Servicio de Puesto Interno,» [En línea]. Available: https://www.sii.cl/aprenda_sobre_impuestos/impuestos/imp_directos.htm.
- [51] «HDI seguros,» [En línea]. Available: <https://www.hdi.cl/blog-auto-modo-seguro/cuales-son-los-costos-de-la-mantenccion-para-camiones/>.
- [52] talent, «Salario medio para Operador Camión Aljibe en Chile 2024,» [En línea]. Available: <https://cl.talent.com/salary?job=operador+cami%C3%B3n+aljibe>.
- [53] «TUPEL,» [En línea]. Available: <https://www.tupel.cl/product-page/estanque-de-agua-vertical-estandar-aquatank-20000-l>.
- [54] «CGE,» [En línea]. Available: <https://www.cge.cl/informacion-comercial/tarifas-y-procesos-tarifarios/tarifa-de-suministro/>.
- [55] SII, «Impuesto a las Utilidades,» [En línea]. Available: https://www.sii.cl/aprenda_sobre_impuestos/impuestos/imp_directos.htm.
- [56] E. gob. [En línea]. Available: https://energia.gob.cl/sites/default/files/presentacion_tasa_descuento_y_aeir.pdf.

- [57] «airqua,» [En línea]. Available: <https://airqua.com.au/what-is-an-atmospheric-water-generator/>.
- [58] F. T. URBAN. [En línea]. Available: <https://electrifica.cl/Admin/Upload/Producto/000226-103076.pdf>.
- [59] «RDG WATER,» [En línea]. Available: <https://generateur-eau.com/fontaine-eau-atmospherique/290-fontaine-a-eau-atmospherique-maison-zl9510w.html>.
- [60] S. Larraín, «El agua en Chile: entre los derechos humanos y las reglas del mercado,» 2006.
- [61] «Biblioteca del Congreso Nacional de Chile,» [En línea]. Available: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1100197>.
- [62] «DOH, Direccion de Obras Hidraulicas,» [En línea]. Available: <https://doh.mop.gob.cl/APR/AcercadeAPR/Paginas/acercaAPR.aspx..>
- [63] «Comite de agua potable rural Santa Maria,» [En línea]. Available: <https://aprbatuco.cl/tarifas/>.
- [64] «Comite APR Troncal San Pedro,» [En línea]. Available: <https://aprtroncalsanpedro.cl/tarifas/>.
- [65] «Servicio Sanitarios Olivar Bajo,» [En línea]. Available: <https://ssrolivarbajo.cl/base/frontend/home.php#>.
- [66] «APR Huellanto Bajo,» [En línea]. Available: <https://aprhuellanto.cl/tarifas/>.
- [67] «Comité de agua potable rural Liquiñe,» [En línea]. Available: <https://aprliquine.cl/tarifas/>.
- [68] «aguaplanet Membrana,» [En línea]. Available: <https://aguaplanet.cl/producto/membrana-osmosis-inversa-75-gpd-1812/>.

Anexo A: Protocolo de ensayo

La secuencia para iniciar los ensayos es el siguiente:

- 1) Preparación del cero análogo:
 - a. Se verifica que el termo este vacío y limpio.
 - b. Se procede a moler el hielo hasta que este tenga forma de un “granizado”.
 - c. Se vierte el hielo en el termo hasta cubrir la mitad de la capacidad de este.
 - d. Se vierte agua en el termo hasta que este cubra el hielo.
 - e. Se posiciona la termocupla dentro del termo y se tapa posteriormente.
- 2) Encendido del computador:
 - a. Se comprueba la hora concuerde con la hora local.
 - b. Se prepara el programa de captación de datos para comenzar los ensayos.
- 3) Conexión del banco de ensayos:
 - a. Se conecta el banco de ensayos a la red.
 - b. Se alimenta los equipos (se suben los interruptores y se abren las llaves para el paso de agua para la bomba de calor y humidificar).
 - c. Se enciende los sensores.
 - d. Se comprueba que este el equipo encendido y los instrumentos de medición.
- 4) Mediciones:
 - a. Se da inicio al programa de captación y grabado de datos, este con una recopilación de datos cada 10 segundos, donde estas mediciones constan en dos partes:
 - i. La primera medición se realiza una vez encendido el banco ensayo, esta debería presentar una potencia baja dado que el equipo aún no se encuentra en funcionamiento.
 - ii. La siguiente medición se realiza una vez que el equipo se encuentre en funcionamiento y el banco de ensayo se encuentre estable, esto quiere decir que el clima dentro del banco de ensayo se encuentre en las condiciones deseadas.
 - b. Una vez en funcionamiento y estabilizado el sistema, se realizan comprobación de la medición de potencia entre el medidor de consumo digital y el medidor de potencia.
 - c. Transcurrido el tiempo de medición, se detiene el programa de grabación de datos para proceder a vaciar el agua captada por el equipo y medirla para ver cuál fue el agua captada durante las horas que se realizó la medición.
- 5) Una vez medida el agua captada durante la medición, se procede a realizar la siguiente secuencia de termino:
 - a. Cierre del programa de captación de datos.
 - b. Apagado de los sensores de medición.
 - c. Corte de alimentación del equipo e instrumentos de medición (baja de interruptor y corte de alimentación de agua).
 - d. Desconectar de la red el banco de ensayo.
 - e. Apagado de computador.
 - f. Dejar ventilando el banco de ensayo, esto es dejando las puertas abiertas y a su vez se podría acelerar este proceso con la ayuda de los ventiladores para la recirculación del aire (apagando los ventiladores una vez que se deje el recinto).

Anexo 1: Boletas APR

Rut:	61.102.041-4	Demandante:	GOBERNACION MARITIMA DE PUNTA ARENAS
Dirección Demandante:	L.GRAL BDO O'HIGGINS 1169	Unidad de Compra:	GOBERNACION MARITIMA DE PUNTA ARENAS
Teléfono:	56-61-2201121	Fecha Envió OC.:	03-02-2022 17:41:57
		Estado:	No Aceptada
		Número Licitación:	3187-5-LE22

ORDEN DE COMPRA

Nº: 3187-25-SE22

SEÑOR (ES): PUBLICTRAIL INVESTMENT LIMITADA

RUT : 77.500.124-0

NOMBRE ORDEN DE COMPRA:		SERV REAPROVISIONAMIENTO AGUA POTABLE CAPUERTO PDA DESDE 3187-5-LE22					
FECHA ENTREGA PRODUCTOS:							
DIRECCION DE ENVIO FACTURA:		L.GRAL BDO O'HIGGINS 1169		Punta Arenas		Región de Magallanes y de la Antártica	
DIRECCION DE DESPACHO:							
METODO DE DESPACHO:		A convenir					
FORMA DE PAGO:		30 días contra la recepción conforme de la factura					
Código	Producto	Cantidad / Unidad	Especificaciones Comprador	Especificaciones Proveedor	Precio Unitario	Descuento Cargos	Valor Total
83101501	Abastecimiento de agua	800 Metro Cúbico	REALIZAR REAPROVISIONAMIENTOS DE AGUA POTABLE A CAPUERTO DE PDA, POR UN TOTAL DE 800 M3, SEGUN DETALLE: CANTIDAD DE SERVICIOS REQUERIDOS: 10 VIAJES POR MES DE 10 M3, HASTA COMPLETAR EL EQUIVALENTE A 8 MESES DE ENTREGA, CON UN TOTAL 800 M3.	REAPROVISIONAMIENTOS DE AGUA POTABLE A CAPUERTO DE PDA, POR UN TOTAL DE 800 M3, SEGUN DETALLE: CANTIDAD DE SERVICIOS REQUERIDOS: 10 VIAJES POR MES DE 10 M3, HASTA COMPLETAR EL EQUIVALENTE A 8 MESES DE ENTREGA, CON UN TOTAL 800 M3.	4.976,30	0,00 0,00	3.981.036
Orden de Compra Proveniente de licitación pública					Neto	\$	3.981.036
					Dcto.	\$	0
					Cargos	\$	0
					Subtotal	\$	3.981.036
					19% IVA	\$	756.397
					Total	\$	4.737.433

Disponibilidad Presupuestaria: Esta orden de compra cuenta con disponibilidad presupuestaria. Folio ingresado SE25/2022 del sistema LEY DE NAVEGACIÓN.

Fuente Financiamiento: SE25/2022

Observaciones:

SERV REAPROVISIONAMIENTO AGUA POTABLE CAPUERTO PDA DESDE 3187-5-LE22

Plan de Compra (Cod. Proyecto/Cod. Presupuestario):
(3187-11-PC22 / 2201002)

Derechos del Proveedor del Mercado Público

1. Derecho a entender los resultados de cada proceso.
 2. Derecho a participar en mercado público igualitariamente y sin discriminaciones arbitrarias.
 3. Derecho a exigir el pago convenido en el tiempo y forma establecido en las bases de licitación.
 4. Derecho a impugnar los actos de los organismos compradores del sistema.
 5. A difundir y publicitar sus productos y servicios entre los organismos compradores, previo o no relacionados con procesos de compra o contratación en desarrollo.
 6. Derecho a inscribirse en el registro oficial de contratistas de la Administración del Estado, Chile Proveedores y a no entregar documentación que se encuentre acreditada en éste.
- Especificaciones

Para revisar en detalle sus derechos como proveedor visite <https://www.mercadopublico.cl/Portal/MP2/secciones/leyes-y-reglamento/derechos-del-proveedor.html>

Rut: 61.102.041-4

Dirección Demandante: L.GRAL BDO O'HIGGINS 1169

Teléfono: 56-61-2201121

Demandante: GOBERNACION MARITIMA DE PUNTA ARENAS

Unidad de Compra: GOBERNACION MARITIMA DE PUNTA ARENAS

Fecha Envió OC. : 30-09-2022 10:20:01

Estado: Recepción Conforme

Número Licitación: 3187-16-LE22

ORDEN DE COMPRA N°: 3187-321-SE22

SEÑOR (ES): EDUVINO SEGUNDO TORRES LEVIN							
RUT : 11.504.748-5							
NOMBRE ORDEN DE COMPRA: SERVICIO DE REAPROVISIONAMIENTO DE AGUA PARA CAPITANÍA DE PUERTO DELGADA 07/08							
FECHA ENTREGA PRODUCTOS:							
DIRECCION DE ENVIO FACTURA: LIBERTADOR GENERAL BERNARDO O'HIGGI Punta Arenas Región de Magallanes y de la Antártica							
DIRECCION DE DESPACHO:							
METODO DE DESPACHO: A convenir							
FORMA DE PAGO: 30 días contra la recepción conforme de la factura							
Código	Producto	Cantidad / Unidad	Especificaciones Comprador	Especificaciones Proveedor	Precio Unitario	Descuento Cargos	Valor Total
83101501	Abastecimiento de agua	1 Unidad	ENTREGA DE 07 DE 08 CARGAS DE AGUA POR MES. ENTREGA DE AGUA POR 10M3.	ENTREGA DE 07 DE 08 CARGAS DE AGUA POR MES, CADA CARGA DE 10M3 Y A REQUERIMIENTO EN CAMIÓN ALJIBE, SEGÚN ESPECIFICACIONES TECNICAS.	570.200,00	0,00 0,00	570.200
Orden de Compra Proveniente de licitación pública					Neto	\$	570.200
					Dcto.	\$	0
					Cargos	\$	0
					Subtotal	\$	570.200
					19% IVA	\$	108.338
					Total	\$	678.538

Disponibilidad Presupuestaria: Esta orden de compra cuenta con Certificado de Disponibilidad Presupuestaria (CDP) o Justificación Presupuestaria (revisar en la sección adjuntos)

Fuente Financiamiento: LEY DE NAVEGACIÓN

Observaciones:

07 DE 08 SERVICIO DE REAPROVISIONAMIENTO DE 10 M3 DE AGUA POTABLE, SEGÚN LICITACIÓN ID 3187-16-LE22.

Plan de Compra (Cod. Proyecto/Cod. Presupuestario):
(3187-11-PC22 / 2201002)

Derechos del Proveedor del Mercado Público

1. Derecho a entender los resultados de cada proceso.
 2. Derecho a participar en mercado público igualitariamente y sin discriminaciones arbitrarias.
 3. Derecho a exigir el pago convenido en el tiempo y forma establecido en las bases de licitación.
 4. Derecho a impugnar los actos de los organismos compradores del sistema.
 5. A difundir y publicitar sus productos y servicios entre los organismos compradores, previo o no relacionados con procesos de compra o contratación en desarrollo.
 6. Derecho a inscribirse en el registro oficial de contratistas de la Administración del Estado, Chile Proveedores y a no entregar documentación que se encuentre acreditada en éste.
- Especificaciones

Para revisar en detalle sus derechos como proveedor visite <https://www.mercadopublico.cl/Portal/MP2/secciones/leyes-y-reglamento/derechos-del-proveedor.html>

Rut: 69.041.100-8

Demandante: Ilustre Municipalidad de Combarbalá

Dirección Demandante: Plaza de Armas 438

Unidad de Compra: Departamento de Adquisiciones

Teléfono: 56-53-2741210-115

Fecha Envío OC.: 18-02-2020 12:18:45

Estado: Recepción Conforme

ORDEN DE COMPRA N°: 3593-159-SE20

SEÑOR (ES): ROBERTO FELIX VEAS ANDREU

RUT : 17.401.144-3

NOMBRE ORDEN DE COMPRA: Camión aljibe transporte de agua APR La Ligua

FECHA ENTREGA PRODUCTOS:

DIRECCION DE ENVIO FACTURA: Plaza Armas N° 438 Combarbalá Región de Coquimbo

DIRECCION DE DESPACHO: Plaza Armas N° 438 Combarbalá Región de Coquimbo

METODO DE DESPACHO: Despachar a Dirección de envío

FORMA DE PAGO: 30 días contra la recepción conforme de la factura

Código	Producto	Cantidad / Unidad	Especificaciones Comprador	Especificaciones Proveedor	Precio Unitario	Descuento Cargos	Valor Total
83101501	Abastecimiento de agua	2 Unidad definida	no dos viajes de 20.000 litros de agua para APR de la Ligua.	dos viajes de 20.000 litros de agua para APR de la Ligua.	120.000,00	0,00 0,00	240.000
83101501	Abastecimiento de agua	1 Unidad definida	no un viaje de 5.000 litros de agua para APR de la Ligua.	un viaje de 5.000 litros de agua para APR de la Ligua.	70.000,00	0,00 0,00	70.000

Orden de Compra
Proveniente de licitación
pública

Neto	\$	310.000
Dcto.	\$	0
Cargos	\$	0
Subtotal	\$	310.000
19% IVA	\$	58.900
Total	\$	368.900

Disponibilidad Presupuestaria: Esta orden de compra cuenta con disponibilidad presupuestaria. Folio ingresado 215.22.09.003 del sistema SIFIN.

Fuente Financiamiento: 215.22.09.003

Observaciones:

Servicio de transporte de agua mediante camión Aljibe para APR de la Ligua, según FSC N° 13079 de fecha 14/2/2020, ítem 215.22.09.003, contrato de suministro, Decreto de Prorroga N° 2274 de fecha 30-12-2019.

Derechos del Proveedor del Mercado Público

1. Derecho a entender los resultados de cada proceso.
 2. Derecho a participar en mercado público igualitariamente y sin discriminaciones arbitrarias.
 3. Derecho a exigir el pago convenido en el tiempo y forma establecido en las bases de licitación.
 4. Derecho a impugnar los actos de los organismos compradores del sistema.
 5. A difundir y publicitar sus productos y servicios entre los organismos compradores, previo o no relacionados con procesos de compra o contratación en desarrollo.
 6. Derecho a inscribirse en el registro oficial de contratistas de la Administración del Estado, Chile Proveedores y a no entregar documentación que se encuentre acreditada en éste.
- Especificaciones

Para revisar en detalle sus derechos como proveedor visite <https://www.mercadopublico.cl/Portal/MP2/secciones/leyes-y-reglamento/derechos-del-proveedor.html>

Rut: 69.050.200-3

Demandante: I MUNICIPALIDAD DE CABILDO

Dirección
Demandante: AVDA. HUMERES 499

Unidad de Compra: I. Municipalidad de Cabildo-Central

Teléfono: 56-33-2762100

Fecha envió OC.: 03-10-2022 13:57:46

Estado: Recepción Conforme

ORDEN DE COMPRA N°: 3621-318-SE22

SEÑOR (ES): EDUARDO ENRIQUE CÓRDOVA VARGAS							
RUT : 11.385.241-0							
NOMBRE ORDEN DE COMPRA: Suministro Agua Consumo Humano Abastecer APRS							
FECHA ENTREGA PRODUCTOS:							
DIRECCION DE ENVIO FACTURA: AVDA. HUMERES 499 Cabildo Región de Valparaíso							
DIRECCION DE DESPACHO: AVDA. HUMERES 499 Cabildo Región de Valparaíso							
METODO DE DESPACHO: A convenir							
FORMA DE PAGO: 30 días contra la recepción conforme de la factura							
Código	Producto	Cantidad / Unidad	Especificaciones Comprador	Especificaciones Proveedor	Precio Unitario	Descuento Cargos	Valor Total
83101501	Abastecimiento de agua	1220 Metro Cúbico			1.100,00	0,00 0,00	1.342.000
Orden de Compra Costo de evaluación desproporcionado, y por monto de contratación inferior a 100 UTM					Neto	\$	1.342.000
					Dcto.	\$	0
					Cargos	\$	0
					Subtotal	\$	1.342.000
					19% IVA	\$	254.980
					Total	\$	1.596.980

Disponibilidad Presupuestaria: Esta orden de compra cuenta con Certificado de Disponibilidad Presupuestaria (CDP) o Justificación Presupuestaria (revisar en la sección adjuntos)

Fuente Financiamiento:

Observaciones:

SUMINISTRO DE AGUA POTABLE POR METRO CUBICO PARA ABASTECER A LOS COMITÉS DE AGUA POTABLE RURAL (APRS) DE LA COMUNA DE CABILDO", DE CONFORMIDAD A LO DISPUESTO EN EL ARTÍCULO 10, N° 7, LETRA J) del D 250/04

Derechos del Proveedor del Mercado Público

1. Derecho a entender los resultados de cada proceso.
2. Derecho a participar en mercado público igualitariamente y sin discriminaciones arbitrarias.
3. Derecho a exigir el pago convenido en el tiempo y forma establecido en las bases de licitación.
4. Derecho a impugnar los actos de los organismos compradores del sistema.
5. A difundir y publicitar sus productos y servicios entre los organismos compradores, previo o no relacionados con procesos de compra o contratación en desarrollo.
6. Derecho a inscribirse en el registro oficial de contratistas de la Administración del Estado, Chile Proveedores y a no entregar documentación que se encuentre acreditada en éste.

Especificaciones
Para revisar en detalle sus derechos como proveedor visite <https://www.mercadopublico.cl/Portal/MP2/secciones/leyes-y-reglamento/derechos-del-proveedor.html>

1. Derecho a entender los resultados de cada proceso.
 2. Derecho a participar en mercado público igualitariamente y sin discriminaciones arbitrarias.
 3. Derecho a exigir el pago convenido en el tiempo y forma establecido en las bases de licitación.
 4. Derecho a impugnar los actos de los organismos compradores del sistema.
 5. A difundir y publicitar sus productos y servicios entre los organismos compradores, previo o no relacionados con procesos de compra o contratación en desarrollo.
 6. Derecho a inscribirse en el registro oficial de contratistas de la Administración del Estado, Chile Proveedores y a no entregar documentación que se encuentre acreditada en éste.
- Especificaciones

Para revisar en detalle sus derechos como proveedor visite <https://www.mercadopublico.cl/Portal/MP2/secciones/leyes-y-reglamento/derechos-del-proveedor.html>

Anexo 2.a: Flujo de caja equipo captador de agua

Inversion en Maquinas	\$31.228.645
Sueldo del Maquinista	\$-
Mantenciones	\$ 5.105.546

Equipos	Cantidad	Costo Total (\$)	Vida útil técnica	Depreciación
Equipo Urban	1	\$ 31.228.645	10	\$ 3.122.865
Total		\$ 31.228.645		\$ 3.122.865

Precio de venta	\$-	Ahorro del costo por producción de un m3 de agua caso base
Costo de operación	\$ 5.105.546	Costo Fijo
Impuesto utilidades	27%	
Tasa de Descuento	10%	

Año	0	1	2	3	4	5
Precio de venta (P)		\$-	\$-	\$-	\$-	\$-
Venta (Q)		18,3	19,2	20,2	21,2	22,2
Ingresos por venta		\$-	\$-	\$-	\$-	\$-
Costo fijo total		\$5.105.546	\$5.105.546	\$5.105.546	\$5.105.546	\$5.105.546
Depreciación		\$-3.122.865	\$-3.122.865	\$-3.122.865	\$-3.122.865	\$-3.122.865
Valor libro		\$-28.105.781	\$-24.982.916	\$-21.860.052	\$-18.737.187	\$-15.614.323
Utilidad antes de Impuestos		\$-26.123.099	\$-23.000.234	\$-19.877.370	\$-16.754.505	\$-13.631.641
Impuestos a las utilidades (27%)		\$-	\$6.210.063	\$5.366.890	\$4.523.716	\$3.680.543
Utilidad despues de Impuestos		\$-26.123.099	\$-16.790.171	\$-14.510.480	\$-12.230.789	\$-9.951.098
Depreciación		\$3.122.865	\$3.122.865	\$3.122.865	\$3.122.865	\$3.122.865
Valor libro		\$28.105.781	\$24.982.916	\$21.860.052	\$18.737.187	\$15.614.323
Inversión activos fijos	\$-31.228.645					
Flujo Neto de Caja	\$-31.228.645	\$5.105.546	\$11.315.610	\$10.472.436	\$9.629.263	\$8.786.089

6	7	8	9	10	11	12	13
\$-	\$-	\$-	\$-	\$-	\$-	\$-	\$-
23,4	24,5	25,7	27,0	28,4	29,8	31,3	32,9
\$-	\$-	\$-	\$-	\$-	\$-	\$-	\$-
\$5.105.546	\$5.105.546	\$5.105.546	\$5.105.546	\$5.105.546	\$5.105.546	\$5.105.546	\$5.105.546
\$-3.122.865	\$-3.122.865	\$-3.122.865	\$-3.122.865	\$-3.122.865		\$-3.122.865	\$-3.122.865
\$-12.491.458	\$-9.368.594	\$-6.245.729	\$-3.122.865	\$-		\$-28.105.781	\$-24.982.916
\$-10.508.776	\$-7.385.912	\$-4.263.047	\$-1.140.183	\$1.982.682	\$5.105.546	\$-26.123.099	\$-23.000.234
\$2.837.370	\$1.994.196	\$1.151.023	\$307.849	\$-535.324	\$-	\$7.053.237	\$6.210.063
\$-7.671.407	\$-5.391.715	\$-3.112.024	\$-832.333	\$1.447.358	\$5.105.546	\$-19.069.862	\$-16.790.171
\$3.122.865	\$3.122.865	\$3.122.865	\$3.122.865	\$3.122.865		\$3.122.865	\$3.122.865
\$12.491.458	\$9.368.594	\$6.245.729	\$3.122.865	\$-		\$28.105.781	\$24.982.916
					\$-31.228.645		
\$7.942.916	\$7.099.743	\$6.256.569	\$5.413.396	\$4.570.222	\$-26.123.099	\$12.158.783	\$11.315.610

14	15	16	17	18	19	20
\$-	\$-	\$-	\$-	\$-	\$-	\$-
34,5	36,2	38,0	39,9	41,9	44,0	46,2
\$-	\$-	\$-	\$-	\$-	\$-	\$-
\$5.105.546	\$5.105.546	\$5.105.546	\$5.105.546	\$5.105.546	\$5.105.546	\$5.105.546
\$-3.122.865	\$-3.122.865	\$-3.122.865	\$-3.122.865	\$-3.122.865	\$-3.122.865	\$-3.122.865
\$-21.860.052	\$-18.737.187	\$-15.614.323	\$-12.491.458	\$-9.368.594	\$-6.245.729	\$-3.122.865
\$-19.877.370	\$-16.754.505	\$-13.631.641	\$-10.508.776	\$-7.385.912	\$-4.263.047	\$-1.140.183
\$5.366.890	\$4.523.716	\$3.680.543	\$2.837.370	\$1.994.196	\$1.151.023	\$307.849
\$-14.510.480	\$-12.230.789	\$-9.951.098	\$-7.671.407	\$-5.391.715	\$-3.112.024	\$-832.333
\$3.122.865	\$3.122.865	\$3.122.865	\$3.122.865	\$3.122.865	\$3.122.865	\$3.122.865
\$21.860.052	\$18.737.187	\$15.614.323	\$12.491.458	\$9.368.594	\$6.245.729	\$3.122.865
\$10.472.436	\$9.629.263	\$8.786.089	\$7.942.916	\$7.099.743	\$6.256.569	\$5.413.396

Tasa de descuento	10%
TIR	24%
VAN (año 20)	\$27.415.393

Anexo 2.b: Flujo de caja camión aljibe

Inversión en Maquinas	\$66.878.000
Sueldo del Maquinista	\$850.000
Mantenciones	\$2.000.000

Equipos	Cantidad	Costo Total (\$)	Vida útil técnica	Depreciación
Camión Aljibe	1	\$66.878.000	10	\$6.687.800
Estanque	1	\$3.181.920	10	\$318.192
Total		\$70.059.920		\$7.005.992

Precio de venta	\$210.964	Ahorro del costo por producción de un m3 de agua
Costo de operación	\$12.200.000	Costo Fijo
Impuesto utilidades	27%	
Tasa de Descuento	10%	

Año	0	1	2	3	4	5
Precio de venta (P)		\$210.964	\$210.964	\$210.964	\$210.964	\$210.964
Venta (Q)		18,3	19,2	20,2	21,2	22,2
Ingresos por venta		\$3.860.639	\$4.053.671	\$4.256.354	\$4.469.172	\$4.692.630
Costo fijo total		\$-12.200.000	\$-12.200.000	\$-12.200.000	\$-12.200.000	\$-12.200.000
Depreciación		\$-7.005.992	\$-7.005.992	\$-7.005.992	\$-7.005.992	\$-7.005.992
Valor libro		\$-63.053.928	\$-56.047.936	\$-49.041.944	\$-42.035.952	\$-35.029.960
Utilidad antes de Impuestos		\$-78.399.281	\$-71.200.257	\$-63.991.582	\$-56.772.772	\$-49.543.322
Impuestos a las utilidades (27%)		\$-	\$19.224.069	\$17.277.727	\$15.328.648	\$13.376.697
Utilidad despues de Impuestos		\$-78.399.281	\$-51.976.188	\$-46.713.855	\$-41.444.124	\$-36.166.625
Depreciación		\$7.005.992	\$7.005.992	\$7.005.992	\$7.005.992	\$7.005.992
Valor libro		\$63.053.928	\$56.047.936	\$49.041.944	\$42.035.952	\$35.029.960
Inversión activos fijos	-70.059.920					
Flujo Neto de Caja	\$-70.059.920	\$-8.339.361	\$11.077.740	\$9.334.081	\$7.597.820	\$5.869.327

6	7	8	9	10	11	12	13
\$210.964	\$210.964	\$210.964	\$210.964	\$210.964	\$210.964	\$210.964	\$210.964
23,4	24,5	25,7	27,0	28,4	29,8	31,3	32,9
\$4.927.262	\$5.173.625	\$5.432.306	\$5.703.922	\$5.989.118	\$6.288.574	\$6.603.002	\$6.933.152
\$-12.200.000	\$-12.200.000	\$-12.200.000	\$-12.200.000	\$-12.200.000	\$-12.200.000	\$-12.200.000	\$-12.200.000
\$-7.005.992	\$-7.005.992	\$-7.005.992	\$-7.005.992	\$-7.005.992	\$-7.005.992	\$-7.005.992	\$-7.005.992
\$-28.023.968	\$-21.017.976	\$-14.011.984	\$-7.005.992	\$-		\$-63.053.928	\$-56.047.936
\$-42.302.698	\$-35.050.343	\$-27.785.670	\$-20.508.062	\$-13.216.874	\$-5.911.426	\$-75.656.918	\$-68.320.776
\$11.421.728	\$9.463.593	\$7.502.131	\$5.537.177	\$3.568.556	\$-	\$20.427.368	\$18.446.609
\$-30.880.970	\$-25.586.750	\$-20.283.539	\$-14.970.886	\$-9.648.318	\$-5.911.426	\$-55.229.550	\$-49.874.166
\$7.005.992	\$7.005.992	\$7.005.992	\$7.005.992	\$7.005.992		\$7.005.992	\$7.005.992
\$28.023.968	\$21.017.976	\$14.011.984	\$7.005.992	\$-		\$63.053.928	\$56.047.936
					\$-70.059.920		
\$4.148.990	\$2.437.218	\$734.437	\$-958.902	\$-2.642.326	\$-75.971.346	\$14.830.370	\$13.179.762

14	15	16	17	18	19	20
\$210.964	\$210.964	\$210.964	\$210.964	\$210.964	\$210.964	\$210.964
34,5	36,2	38,0	39,9	41,9	44,0	46,2
\$7.279.810	\$7.643.800	\$8.025.991	\$8.427.290	\$8.848.655	\$9.291.087	\$9.755.642
\$-12.200.000	\$-12.200.000	\$-12.200.000	\$-12.200.000	\$-12.200.000	\$-12.200.000	\$-12.200.000
\$-7.005.992	\$-7.005.992	\$-7.005.992	\$-7.005.992	\$-7.005.992	\$-7.005.992	\$-7.005.992
\$-49.041.944	\$-42.035.952	\$-35.029.960	\$-28.023.968	\$-21.017.976	\$-14.011.984	\$-7.005.992
\$-60.968.126	\$-53.598.144	\$-46.209.961	\$-38.802.670	\$-31.375.313	\$-23.926.889	\$-16.456.342
\$16.461.394	\$14.471.499	\$12.476.690	\$10.476.721	\$8.471.335	\$6.460.260	\$4.443.212
\$-44.506.732	\$-39.126.645	\$-33.733.272	\$-28.325.949	\$-22.903.979	\$-17.466.629	\$-12.013.130
\$7.005.992	\$7.005.992	\$7.005.992	\$7.005.992	\$7.005.992	\$7.005.992	\$7.005.992
\$49.041.944	\$42.035.952	\$35.029.960	\$28.023.968	\$21.017.976	\$14.011.984	\$7.005.992
\$11.541.204	\$9.915.299	\$8.302.680	\$6.704.011	\$5.119.989	\$3.551.347	\$1.998.854

Tasa de descuento	10%
TIR	-6%
VAN (año 20)	-\$57.869.113