# Universidad Técnica Federico Santa María

## Departamento ingeniería mecánica

### Santiago-Chile


# "Modelación numérica de sistema de desalinización HDH con incorporación de PVT"


**Natalia Francisca Jahn Galdames**


**Memoria para optar al título de Ingeniera Civil Mecánica**

**Profesor guía: PhD. Rodrigo Barraza**

**Profesor correferente: Dr. Danilo Estay**

**Agosto 2020**

# 1. AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Rodrigo Barraza, mi profesor guía, por iniciarme en los temas de desalinización y sugerirme continuar un proyecto tan interesante y lleno de futuro como este. También por recibir siempre mis preguntas y en esos momentos de gran confusión, acompañarme en contemplar la pantalla del computador tratando de entender que pasaba.

Agradezco a los señores ingenieros: Mauricio Reyes y Mauricio Rodríguez, memoristas anteriores que contribuyeron al desarrollo de este proyecto. Muchas gracias por su ayuda y paciencia para explicarme las complejidades del sistema y guiarme durante el desarrollo de mi tema.

Agradezco también a mis compañeros en la investigación, Rodrigo Ramírez y Alexandra Dionizis, por ayudarme a resolver dudas, darme ideas y por motivarme cada día con su compromiso con el proyecto. También quiero agradecer a todo el grupo de desalinización HDH por escuchar mis presentaciones, darme sugerencias y por continuar este lindo tema con sus propias investigaciones.

Extiendo mi agradecimiento a mis amigos más cercanos: Rayma, Nico, Benja, Mati y Juan, por ser mi gran apoyo emocional y por motivarme a terminar mi trabajo de una vez con la famosa pregunta: ¿cómo va la tesis?

También a Martin Morales, por esperarme horas a que terminámos las reuniones de la memoria, para que saliéramos después. Gracias por siempre estar conmigo en los momentos más felices y en los más dramáticos.

Agradezco especialmente a mi abuela María Adriana Parra por recibirme mi primer año de universidad, por siempre darme tranquilidad, por enseñarme a caminar hacia mis metas sin apuro y con decisión.

Finalmente, no podría olvidar agradecer a mis padres Claudia Galdames y Kristian Jahn, y a mis hermanas, Isidora y Fernanda. Gracias por darme nuevas perspectivas sobre los problemas que se presentaban y por apoyarme en cada paso de este trabajo y de mi carrera.

# 2. RESUMEN

En este trabajo se desarrolla una simulación transiente de un sistema de desalinización mediante método humidificación-deshumidificación. Los datos de la simulación se validan contra los datos de un sistema real en el cual el de la simulación está basado, este se encuentra instalado en el laboratorio de energía renovables (LER) de la universidad. El modelo numérico se desarrolla en el sistema TRNSYS y su finalidad es evaluar la conveniencia de incorporar un PVT o panel térmico-fotovoltaico, para reducir el número de componentes del sistema y hacerlo más económico. Integrar un PVT también haría que el sistema mejore su eficiencia energética ya que se podría aprovechar de enfriar los paneles fotovoltaicos a la vez que se aprovecha la energía térmica de los mismos, lo que aumentaría la eficiencia de la colección eléctrica y evita el desperdicio de la energía térmica al medio ambiente.

Para este estudio se proponen dos configuraciones diferentes de PVT, una de ellas dentro de un ciclo de agua salada y otra dentro de un ciclo de fluido térmico, que este caso sería agua potable. Por lo tanto, ambas configuraciones involucran un PVT que funcione con un fluido líquido. El modelo matemático que se usa para el PVT es el propuesto por J. Bilbao y A. B. Sproul de la Universidad de New South Wales [24]. Este modelo es recibido en lenguaje Fortran y luego implementado en TRNSYS.

Los resultados indican que las configuraciones 2 y 3 son recomendadas ya que pueden producir más energía eléctrica con menor área de instalación que el sistema 1, con una pequeña disminución en la producción de destilado. Además, el sistema 3 es especialmente recomendable cuando se utiliza un PVT con cubierta ya que en ese caso se podría conseguir incluso mayor producción de destilado que el sistema base. Los resultados también indican que valores bajos de flujo de agua salada y que altos valores de radiación son muy beneficiosos para la producción de destilado. El mejor funcionamiento se encuentra en los menores flujos de agua salada del rango analizado y en las regiones de Antofagasta y Atacama donde la radiación es alta gracias a la poca humedad ambiental y baja nubosidad.

Finalmente se concluye que la tecnología PVT tiene mucha investigación por si sola, sin embargo, no tiene tanta investigación al mezclarla con HDH. A pesar de esto se considera que usarla en sistemas HDH es una alternativa que entrega varios beneficios, como lo mostraron las simulaciones desarrolladas en TRNSYS. Estas simulaciones se llevaron a cabo gracias a la posibilidad de desarrollar un modelo numérico de un sistema HDH en ese software. De las tres configuraciones analizadas, se recomienda aquella en que un campo de PVT reemplaza completamente los colectores (configuración 3), por ser la más económica y entregar los mejores resultados en términos de cogeneración, es decir, producir tanto agua como energía eléctrica. Este modelo numérico entrega varias posibilidades para evaluar la modificación de estos sistemas HDH, con lo cual se abre una gran variedad de trabajos futuros en este mismo software.

# 3. GLOSARIO

**Aire saturado:** Se refiere al aire cuando su humedad relativa ha alcanzado el valor máximo de 100% a la temperatura y presión de trabajo correspondiente.

**Colector solar:** Es un dispositivo que recoge la energía recibida del sol y eleva la temperatura de una red con vistas a su aprovechamiento.

**Desalinización/Desalación:** Proceso de reducción del contenido de sal en el agua de forma que el agua sea apta para determinados usos [1]

**Déficit hídrico/ Sequía hidrológica:** Período de tiempo anormalmente seco, lo suficientemente prolongado para ocasionar una escasez de agua, que se refleja en una disminución apreciable en el caudal de los ríos y en el nivel de los lagos y/o en el agotamiento de la humedad del suelo y el descenso de los niveles de aguas subterráneas por debajo de sus valores normales (RT) [1].

**HDH:** Humidificación-Deshumidificación.

**Humedad absoluta:** Masa de agua contenida por unidad de volumen de aire húmedo [1].

**Humedad relativa:** Relación porcentual a una presión y temperaturas dadas entre el peso molecular en gramos del vapor de agua y el peso molecular en gramos que el aire tendría si estuviese saturado de agua a la misma presión y temperatura. [1]

**PV:** Panel fotovoltaico

**PVT, PV/T:** Panel térmico-fotovoltaico. Sistema híbrido que produce tanto energía fotovoltaica como térmica. Se logra combinando un panel fotovoltaico con un sistema de colección de calor.

**Sistema transiente:** Son sistemas de transferencia de calor cuyas propiedades varían en el tiempo.

**Solar Still, SS:** Destilador solar o de Invernadero.

**TRNSYS:** Software de simulación de sistemas transientes desarrollado por la universidad de Wisconsin.

# 4. Índice

## CONTENIDO


1. Agradecimientos ..... II
2. Resumen ..... III
3. Glosario ..... IV
4. Índice ..... V
5. Listado de figuras ..... VII
6. Listado de tablas ..... IX
7. Introducción ..... 1
7.1. Contexto ..... 1
7.2. Desalinización solar ..... 1
7.3. Desalinización solar usando HDH ..... 2
7.4. Propuesta ..... 5
8. Objetivos ..... 6
8.1. Objetivo general ..... 6
8.2. Objetivos específicos ..... 6
9. Estado del arte ..... 7
9.1. Sistemas PVT ..... 7
9.2. Sistemas PVT en desalinización solar HDH ..... 10
10. Metodología ..... 15
10.1. Herramienta principal: Software TRNSYS ..... 15
10.2. Descripción de las configuraciones ..... 16
10.3. Modelos matemáticos de los elementos ..... 20
10.4. Validación del sistema base ..... 31
11. Resultados ..... 38
11.1. Parámetros de simulación ..... 38
11.2. índices de comparación de desaladoras ..... 39
11.3. Resulatados anuales: Promedios mensuales en El Olivar, Valparaiso. ..... 40
11.4. Promedios Mes de enero: Comparación de ciudades ..... 44
11.5. Promedios Mes de enero: Comparación de cubiertas ..... 46
11.6. Promedios Mes de enero: Comparación de flujos de agua salada ..... 48
11.7. Análisis de resultados ..... 51
12. Conclusiones ..... 52
13. Trabajos Futuros ..... 53
14. Referencias ..... 54
15. Apéndices ..... 56
15.1. Apéndice 1: Modelo numérico de los colectores ..... 56
15.2. Apéndice 2: Comparación de sistemas y tablas de errores (Colectores) ..... 58
15.3. Apéndice 3: Comparación de sistemas y tablas de errores (Deshumidificador Humidificador y destilado) ..... 1
15.4. Apéndice 4: Resultados mensuales para la simulación de un año en Valparaíso. ..... 4
15.5. Apéndice 5: comparación de Ciudades ..... 8

15.6. Apéndice 6: Comparación de Cubiertas ..... 9
15.7. Apéndice 7: Comparación de Flujos ..... 10

# 5. LISTADO DE FIGURAS

Figura 7.1 Alternativas de sistema de desalinización con energía solar, obtenido de la referencia [2]. ..... 2

Figura 7.2 Esquema de planta desalinizadora por HDH conectada a campo de colectores. Fuente: extraída de referencia [6] ..... 3

Figura 7.3 Memorias anteriores en el tema de desalinización HDH. Fuente: elaboración propia. ..... 4

Figura 9.1 Esquema de tipos de PVT más comunes. Fuente: elaboración propia con imágenes de [9] y [10]. ..... 7

Figura 9.2 Estudio de modelos de PVT/a de ventilación natural de Tonui et al.. Fuente: extraído de referencia [11]. ..... 8

Figura 9.3 Estudio de modelos de PVT/a de ventilación natural y forzada de Adel A.Hegazy. Fuente: extraído de referencia [12]. ..... 8

Figura 9.4 Modelo PVT/w propuesto por Aste et al.. Fuente: extraído de referencia [14]. ..... 9

Figura 9.5 Modelo PVT/w propuesto por Aste et al.. Fuente: extraído de referencia [14]. ..... 9

Figura 9.6 Variaciones de PVT/w estudiadas por Aste et al.. Fuente: extraído de referencia [15]. ..... 10

Figura 9.7 Sistema propuesto por Giwa et al. . Fuente: extraído de referencia [18]. ..... 10

Figura 9.8 Modelo de PVT utilizado por Giwa et al. . Fuente: extraído de referencia [18]. ..... 11

Figura 9.9 CPVT utilizado por Amin. M. Elsafi. Fuente: extraído de referencia [19]. ..... 11

Figura 9.10 Sistema propuesto por Amin. M. Elsafi. Fuente: extraído de referencia [19]. ..... 12

Figura 9.11 Sistema estudiado por B. Anand y T. Srinivas. Fuente: extraído de referencia [20]. ..... 12

Figura 9.12 Modelo propuesto por Amir Mahmoud et al.. Fuente: extraído de referencia [21] ..... 13

Figura 9.13 Sistema estudiado por Gabrielli et al.. Fuente: extraído de referencia [22]. ..... 14

Figura 10.1 Logo del Software utilizado. ..... 15

Figura 10.2 Esquema de la primera configuración modelada numéricamente. Fuente: Elaboración propia. ..... 16

Figura 10.3 Layout de la primera configuración en el software TRNSYS. Fuente: Elaboración propia. ..... 17

Figura 10.4 Esquema de la segunda configuración modelada numéricamente. Fuente: Elaboración propia. ..... 18

Figura 10.5 Layout de la segunda configuración en el software TRNSYS. Fuente: Elaboración propia. ..... 18

Figura 10.6 Esquema de la tercera configuración modelada numéricamente. Fuente: Elaboración propia. ..... 19

Figura 10.7 Layout de la tercera configuración en el software TRNSYS. Fuente: Elaboración propia. ..... 19

Figura 10.8 Esquema de un típico PVT con cubierta. Fuente: Extraído de referencia [24]. ..... 21

Figura 10.9 Esquema del intercambiador. Fuente: Extraído de referencia [27]. ..... 24

Figura 10.10 Calculadoras del sistema ..... 25

Figura 10.11 Ajuste de curva de capacidad calorífica del agua. Fuente: elaboración propia. ..... 26

Figura 10.12 Ajuste de curva de capacidad calorífica del aire. Fuente: elaboración propia. ..... 27

Figura 10.13 Ajuste de curva de temperatura del aire. Fuente: elaboración propia. ..... 28

Figura 10.14 Comparación de sistemas, producción de destilado, día 26. Fuente: Elaboración propia. ..... 32

Figura 10.15 Comparación de sistemas, temperatura de agua salada a la salida del deshumidificador, día 26. Fuente: Elaboración propia. ..... 33

Figura 10.16 Comparación de sistemas, temperatura de agua salada a la salida del intercambiador de calor, día 26. Fuente: Elaboración propia. ..... 33

Figura 10.17 Comparación de sistemas, temperatura del aire a la salida del humidificador, día 26. Fuente: Elaboración propia. ..... 34

Figura 10.18 Comparación de sistemas, temperatura del aire a la salida del deshumidificador, día 26. Fuente: Elaboración propia. ..... 34

Figura 10.19 Comparación de sistemas, producción de destilado, día 27. Fuente: Elaboración propia. ..... 35

Figura 10.20 Comparación de sistemas, temperatura de agua salada a la salida del deshumidificador, día 27. Fuente: Elaboración propia. ..... 35

Figura 10.21 Comparación de sistemas, temperatura de agua salada a la salida del intercambiador de calor, día 27. Fuente: Elaboración propia. ..... 36

Figura 10.22 Comparación de sistemas, temperatura del aire a la salida del humidificador, día 27. Fuente: Elaboración propia. ..... 36

Figura 10.23 Comparación de sistemas, temperatura del aire a la salida del deshumidificador, día 27. Fuente: Elaboración propia. ..... 37

Figura 11.1 Grafico comparativo de producción de caudal media mensual de destilado para los tres sistemas analizados en El Olivar. Fuente: elaboración propia. ..... 41

Figura 11.2 Grafico comparativo de producción diaria media mensual de destilado para los tres sistemas analizados en El Olivar. Fuente: elaboración propia. ..... 41

Figura 11.3 GOR promedio mensual de un año simulado en Valparaíso. Fuente: Elaboración propia. ..... 42

Figura 11.4 1/SIDR promedio mensual de un año simulado en Valparaíso. Fuente: Elaboración propia. ..... 42

Figura 11.5 Energía eléctrica producida por unidad de área en un año de simulación en Valparaiso. Fuente: Elaboración propia. ..... 43

Figura 11.6 Distribución de energía absorbida en cada ciudad. Fuente: Elaboración propia. ..... 44

Figura 11.7 Cantidad de destilado promedio producido en cada ciudad. Fuente: Elaboración propia. ..... 45

Figura 11.8 Gráfico de destilado versus radiación. Fuente: Elaboración propia. ..... 45

Figura 11.9 Comparación de Totales y distribución de energía absorbida en sistemas con PVT con y sin cubierta. Fuente: Elaboración propia. ..... 46

Figura 11.10 Destilado producido en cada sistema, PVT con y sin cubierta. Fuente: Elaboración propia. ..... 47

Figura 11.11 GOR y 1/SIDR al comparar sistemas con PVT con y sin cubierta. Fuente: Elaboración propia. ..... 48

Figura 11.12 Producción de destilado de los sistemas para diferentes flujos de SW. Fuente: Elaboración propia. ..... 49

Figura 11.13 GOR de los sistemas para diferentes flujos de SW. Fuente: Elaboración propia. ..... 49

Figura 11.14 Valor de 1/SIDR de los sistemas para diferentes flujos de SW. Fuente: Elaboración propia. ..... 50

Figura 11.15 Energía eléctrica por unidad de área de los sistemas para diferentes flujos de SW. Fuente: Elaboración propia. ..... 50

# 6. LISTADO DE TABLAS

Tabla 10.1 Parámetro de funcionamiento ingresados en Type538. ..... 20

Tabla 10.2 Parámetros de funcionamiento del Type850. ..... 23

Tabla 11.1 Parámetros de construcción de los sistemas estudiados. ..... 38

Tabla 11.2 Parámetros climáticos de la simulación. ..... 40

# 7. INTRODUCCIÓN

## 7.1. CONTEXTO

En la actualidad existe una gran cantidad de países que se enfrentan a problemas de escasez hídrica. En Chile el estrés hídrico es muy preocupante en la zona norte del país, agravando los problemas de salud pública y de desarrollo económico.

Chile cuenta con un montón de pequeñas localidades que reciben agua proveniente de camiones aljibes. Esto significa costos altísimos de transporte para proveer de un bien básico a estas comunidades, muchas de las cuales son costeras. Cabe notar que los lugares en que la escasez hídrica es más presente son también los lugares en que la radiación solar es mayor. Es bajo esta consideración que el desarrollo de la desalinización solar se vuelve más significativo.

Sin embargo, al hablar de plantas de desalinización en Chile, también se suman otros problemas operacionales. Las regiones en la cuales el agua es más escaza son a su vez regiones muy apartadas de la capital, donde no abundan personas con capacitación adecuada, ni tampoco materiales o repuestos para la correcta realización del control de producción y mantenimiento. Es más, debido a la mala conectividad que presenta algunos de estos lugares (lejanía de aeropuertos, pocos caminos, lejanía de las tomas eléctricas, poca o nula conexión a internet), el monitoreo de estas plantas también se torna dificultoso.

La realidad de estos lugares pide un sistema que sea capaz de proveer agua con los recursos disponibles de la zona. Eso significa que no necesite de una conexión a la red eléctrica, por lo que debe ser autónomo y que no requiera de monitoreo ni reparaciones constantes, por lo que debería ser simple y robusto.

## 7.2. DESALINIZACIÓN SOLAR

La desalinización es el proceso de tratamiento de agua mediante el cual el agua salada pierde su salinidad para potabilizarla o para condicionarla para procesos industriales y agrícolas. Desalinización solar se le llama al proceso que consigue esto usando principalmente fuentes de energía proveniente de la radiación solar, venga esta en forma de calor o de energía eléctrica.

Las plantas de desalinización solar tienen diferentes configuraciones. En general constan de un campo de colectores cuando requieren de energía térmica para su funcionamiento y uno de paneles fotovoltaicos en caso de requerir energía eléctrica. Cuando un sistema utiliza esta energía para destilar y también para entregar energía eléctrica a la red, suelen llamarse sistemas de cogeneración.

Existen muchos tipos de sistemas de desalinización que utilizan energía solar. Algunos de ellos ocupan solamente la energía eléctrica, como es el caso de RO (reverse osmosis) que la ocupa para propulsar los sistemas de alto consumo eléctrico necesarios para el proceso de osmosis inversa.

Otras tecnologías ocupan la energía térmica solar como son: MD (membrane distillation o destilación de membrana), SS o SD (solar Still, Solar distilation o destilación solar) y H/D o HDH (humidification-dehumidification o humidificación-deshumidificación).

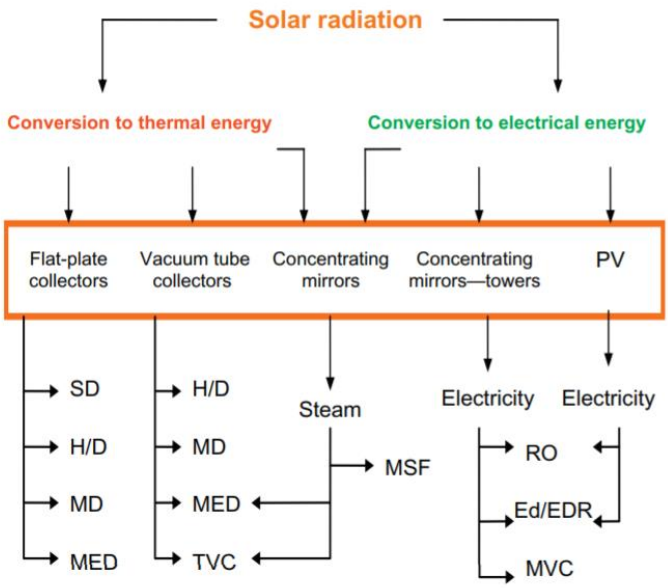



**Figura 7.1 Alternativas de sistema de desalinización con energía solar, obtenido de la referencia [2].**

Los sistemas de desalinización térmica-solar, como SS y HDH poseen la gran ventaja de ser sistemas robustos. Esto se debe a que los componentes con que se construyen no requieren de un mantenimiento complejo, ni de reparaciones constantes. Por otro lado, estos sistemas recrean el ciclo natural del agua ocupando energía solar, sin la necesidad de una supervisión constante, ni la incorporación manual de materia prima o energía. Esto los hace perfectamente adecuados para la realidad de pequeñas comunidades con cercanía a las costas u otras fuentes de agua salobre.

Además, SS puede ser completamente autónomo en caso de que ocupe la circulación natural de las corrientes de aire y agua, o de que se conecten sus componentes mecánicos a un campo de paneles fotovoltaicos. El mismo caso se aplica a HDH que normalmente utiliza elementos de bajo consumo eléctrico como bombas y ventiladores.

Entre SS y HDH, normalmente son los sistemas HDH los que entregan mayores caudales de destilado ya que contienen elementos específicamente diseñados para aumentar y disminuir la humedad del aire con mayor eficacia. Sin embargo, esto hace que los sistemas HDH sean dependientes de la presencia de energía eléctrica, mientras que en el caso de SS no requiere de ella. En cambio, SS necesita grandes áreas de instalación para producir la misma cantidad de destilado que HDH, lo que aumenta los costos de inversión y también de control del sistema.

## 7.3. DESALINIZACIÓN SOLAR USANDO HDH

Los sistemas de desalinización HDH funcionan con un proceso llamado humidificación-deshumidificación. En este se aumenta la humedad absoluta de un flujo de aire usando un aparato llamado "humidificador", para luego disminuir esta humedad en un "deshumidificador" o

condensador, rescatando en este último paso el condensado de agua destilada. Con esto el sistema trata de imitar el ciclo natural del agua dentro de un sistema controlado, para lo cual debe constar con al menos un ciclo de aire y uno de agua.

Debido a que el sistema es dependiente de la presencia de energía eléctrica, para que éste sea autónomo se debe conectar a un campo de paneles fotovoltaicos. Además, la necesidad de energía térmica requiere a su vez de la conexión a un campo de colectores solares. Estos dos campos de colección solar son los encargados de mover el sistema.

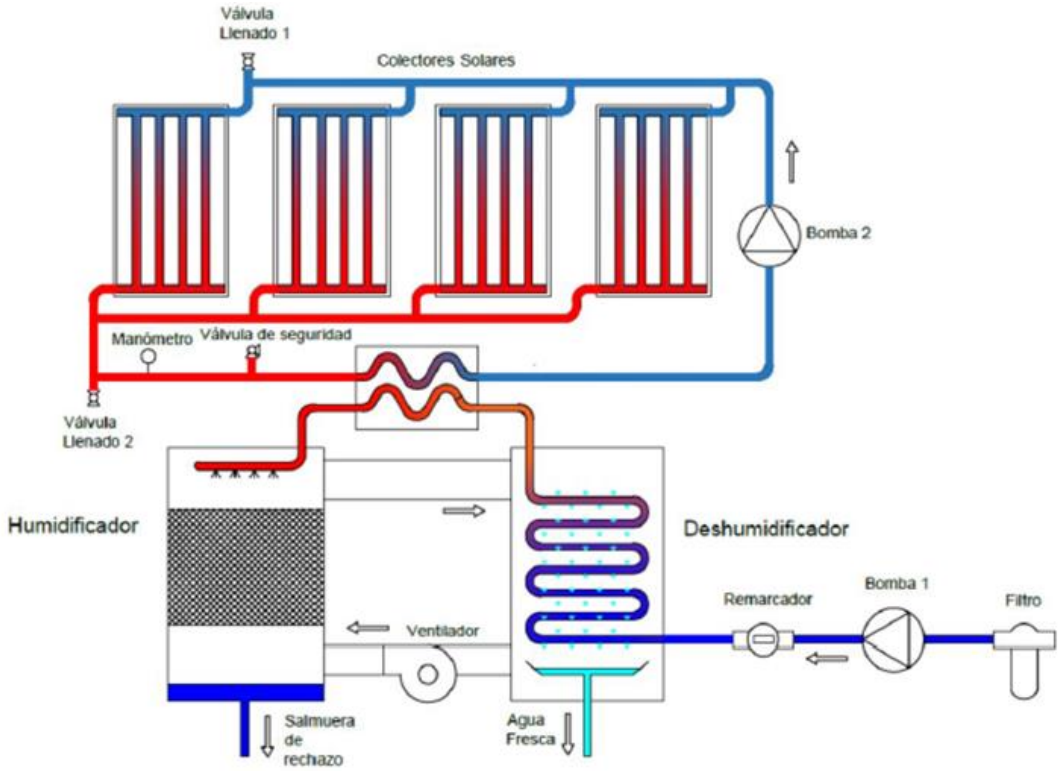



**Figura 7.2 Esquema de planta desalinizadora por HDH conectada a campo de colectores. Fuente: extraída de referencia [6]**

La desalinización por HDH cuenta como mínimo con un flujo de agua salada y un flujo de aire. Los sistemas tienen diferentes comportamientos dependiendo de cómo se construyan estos ciclos. Si después de haber recorrido todos los componentes del ciclo, un fluido vuelve a entrar inmediatamente al primer componente para repetir la secuencia anterior, se puede decir que el ciclo está cerrado. En cambio, si el fluido no vuelve a entrar al sistema después de terminar el recorrido, o si pasa mucho tiempo antes de volver a entrar, de forma que cambien sus propiedades de salida desde el último elemento (como la temperatura), Podemos decir que el ciclo está abierto.

De esta forma obtenemos las 4 configuraciones usuales para los sistemas HDH, según si los ciclos de agua salada y de aire son abiertos o cerrados. OA se refiere a Open Air o aire abierto, mientras que OW se refiere a Open Water o agua abierto. De la misma manera CA y CW significaran aire y agua cerrados. Así las configuraciones posibles son OAOW, OACW, CAOW y finalmente CACW. Los

sistemas CA en general pueden mantener mayores temperaturas de funcionamiento, por lo que suelen ser preferidos, mientras que la preferencia por sistema OW o CW suele estar dividida.

Otra de las clasificaciones comunes para sistemas HDH son el número de etapas que tiene el sistema. Tener más de una etapa significa que los flujos utilizados en un primer paso de desalinización también pueden participar de un segundo paso al transferirse a un segundo grupo de componentes. Esto entrega ventajas al momento de querer utilizar la energía térmica de los flujos residuales, en lugar de desecharlos inmediatamente. También significa que, en el caso de seguir utilizado la salmuera proveniente de una primera etapa, se puede conseguir un mayor índice de recuperación de agua con el mismo flujo.

En Valparaíso se encuentra construido un sistema de desalinización, el cual ha sido diseñado y construido en memorias anteriores del Departamento de Ingeniería Mecánica desde el año 2015. Este sistema ha pasado por diversas actualizaciones, en pos de mejorar su costo de construcción, eficiencia energética y producción de agua.

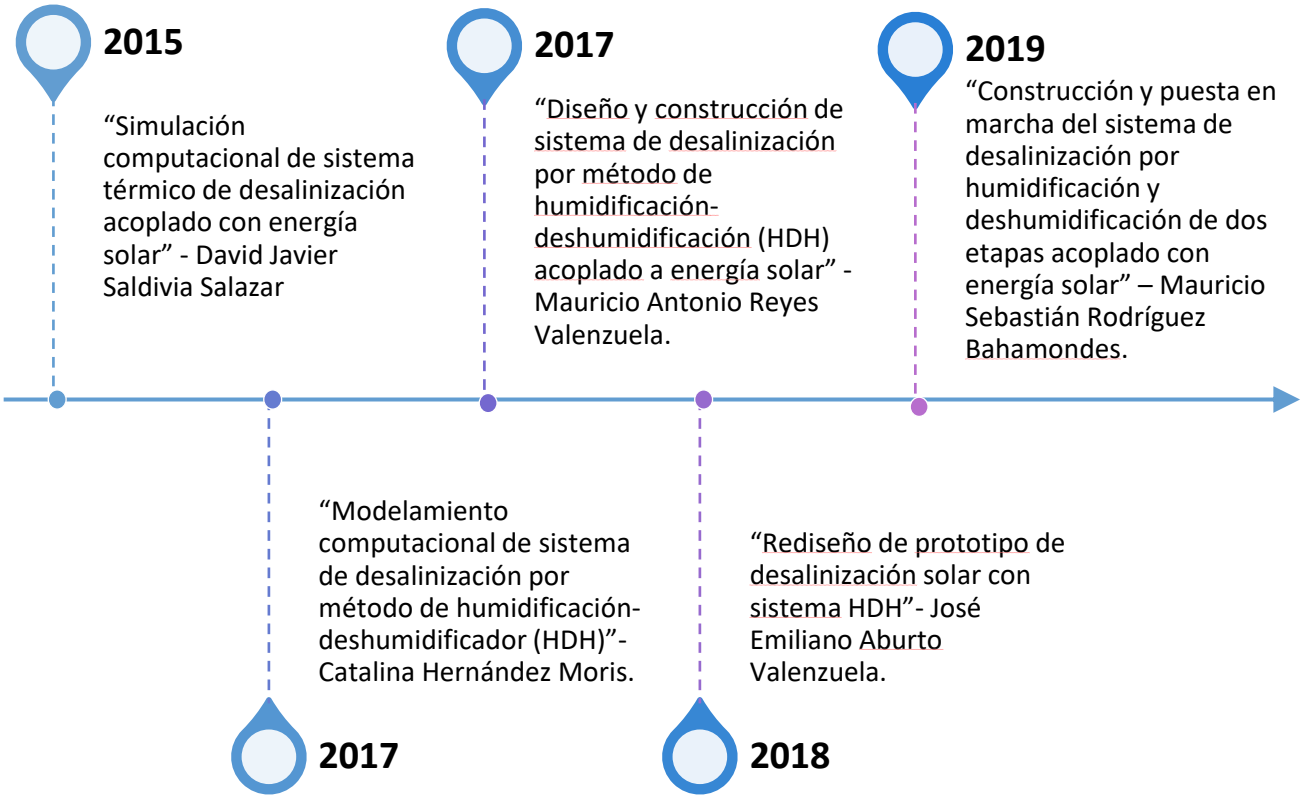



**Figura 7.3 Memorias anteriores en el tema de desalinización HDH. Fuente: elaboración propia.**

Esta tesis sigue la línea de los trabajos anteriores en cuanto busca mejorar el sistema al agregar o cambiar elementos al sistema térmico. Por lo mismo este sistema se basa en el construido por Mauricio Reyes el 2017 y sigue una configuración simple de CAOW, con una sola etapa.

## 7.4. PROPUESTA

Esta memoria estudia la conveniencia de incorporar un sistema de recuperación térmica desde paneles fotovoltaicos (o PVT) al sistema HDH construido por memoristas anteriores. Para ello se simulan tres configuraciones: una base, que está hecha en base al sistema actual y dos con la incorporación de PVT.

# 8. OBJETIVOS

## 8.1. OBJETIVO GENERAL

Modelar numéricamente el sistema de desalinización solar HDH, mediante el uso del software TRNSYS, e incorporar en este modelo un sistema de recuperación térmica en paneles fotovoltaicos (PVT), para evaluar con esto la conveniencia de usar un sistema combinado.

## 8.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

a) Analizar el estado del arte correspondiente a la integración de PVT en sistemas de desalinización

b) Simular sistema de HDH existente mediante software TRNSYS.

c) Añadir sistema PVT a la simulación anterior en dos o más configuraciones.

d) Seleccionar y recomendar alternativa de configuración que consigue mejor desempeño del sistema.

# 9. ESTADO DEL ARTE

## 9.1. SISTEMAS PVT

Los sistemas PVT son módulos de paneles solares a los cuales se les extrae el calor acumulado en las celdas fotovoltaicas, a través del flujo de un fluido refrigerante. Desde 1970 la investigación de este tipo de sistemas ha sido abundante, especialmente en aplicaciones que buscan unirlos con sistemas de calefacción domiciliaria u otros sistemas térmicos [9].

Actualmente existe una gran cantidad de configuraciones de PVT. Estas cambian según cual sea la función principal del sistema, como mantener la temperara de los PV bajo ciertos valores o aprovechar la energía térmica del mismo. Las configuraciones más antiguas son las que se basan en placas de PV con colectores planos por delante o por detrás de las celdas. Estas versiones más antiguas de PVT se destacan por ser de construcción simple y por generar altas temperaturas de fluido en perjuicio de la colección eléctrica. Otros modelos más nuevos y complejos son los PVT de inmersión líquida, y los de heat pipe (o caloductos). Estos últimos tienen un mayor enfoque en el proceso refrigerante que en el proceso de recuperación y reutilización del calor [10].

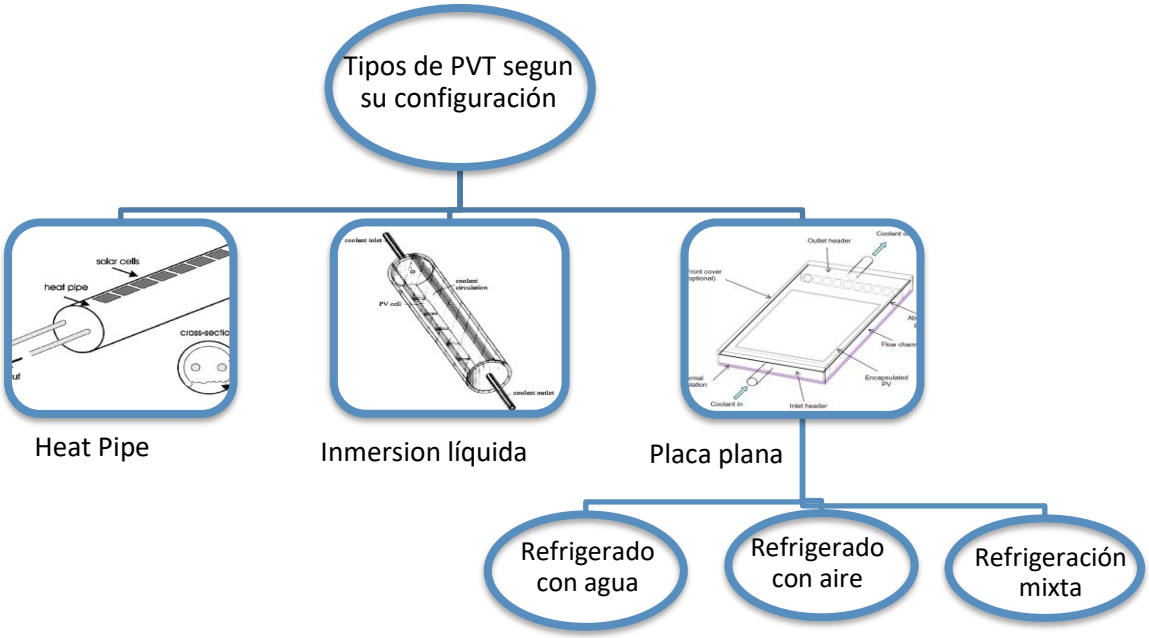



**Figura 9.1 Esquema de tipos de PVT más comunes. Fuente: elaboración propia con imágenes de [9] y [10].**

Los PVT planos en general se clasifican en PVT de aire calentado (PVT/a) o de agua calentada (PVT/w), aunque también existen modelos de funcionamiento mixto (agua y aire), así como otros que funcionan con distintos fluidos de trabajo. En cuanto a los PVT de aire calentado, estos pueden funcionar con circulación natural de aire o con circulación forzada. Tonui et al. comparó dos modelos

de PVT/a con ventilación natural consiguiendo un mayor rendimiento del panel fotovoltaico en arreglos de bajo costo [11], mientras que Adel A.Hegazy comparo cuatro configuraciones de PVT/a considerando ventilación natural y forzada [12]. Los esquemas de estos estudios se muestran en Figura 9.2 y Figura 9.3.

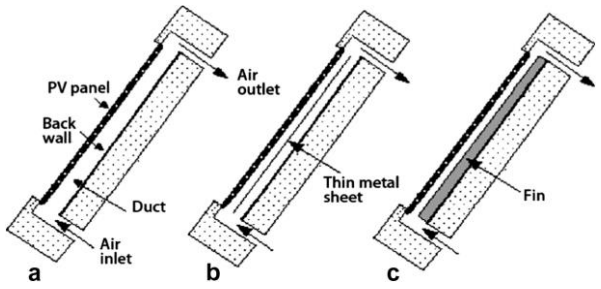



**Figura 9.2 Estudio de modelos de PVT/a de ventilación natural de Tonui et al.. Fuente: extraído de referencia [11].**

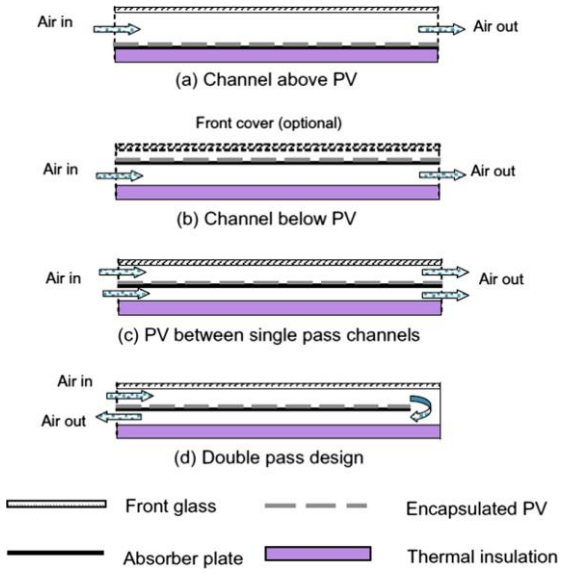



**Figura 9.3 Estudio de modelos de PVT/a de ventilación natural y forzada de Adel A.Hegazy. Fuente: extraído de referencia [12].**

Por otro lado, la refrigeración con agua no suele hacerse en contacto tan directo con las celdas fotovoltaicas, como es el caso del aire. En cambio, los PVT/w usualmente se conforman de una placa de metal de alta conductividad térmica, en la que se encuentran incorporadas las celdas, y un grupo de tubos por donde circula el fluido. El sistema propuesto por Aste et al. el 2015 sigue esta configuración [14], tal como lo muestra la Figura 9.4, las celdas fotovoltaicas se encuentran protegidas por una cubierta de vidrio, y bajo ellas se encuentra una placa o absorbedor de calor, a la cual están incorporados los tubos. La mayoría de los modelos comerciales actualmente tienen una construcción similar a esta.

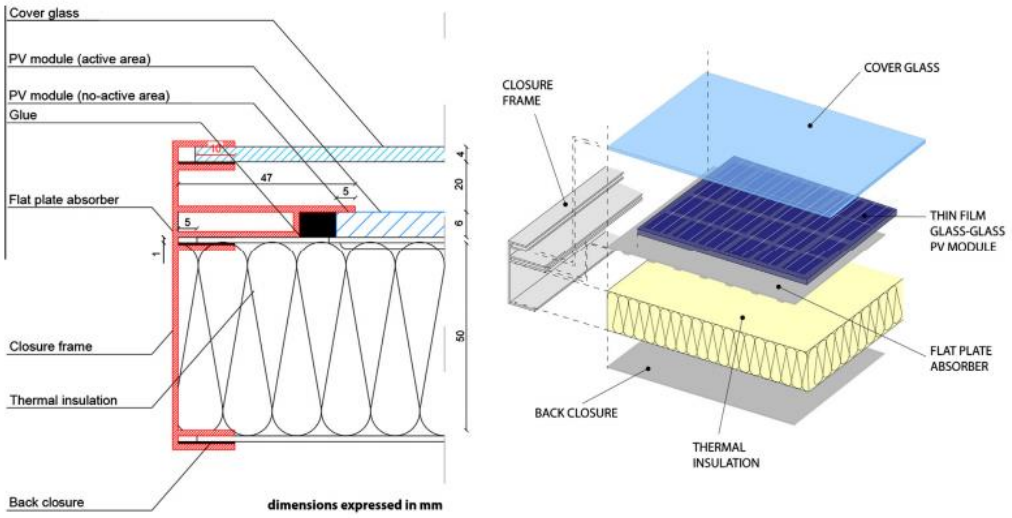



**Figura 9.4 Modelo PVT/w propuesto por Aste et al.. Fuente: extraído de referencia [14].**

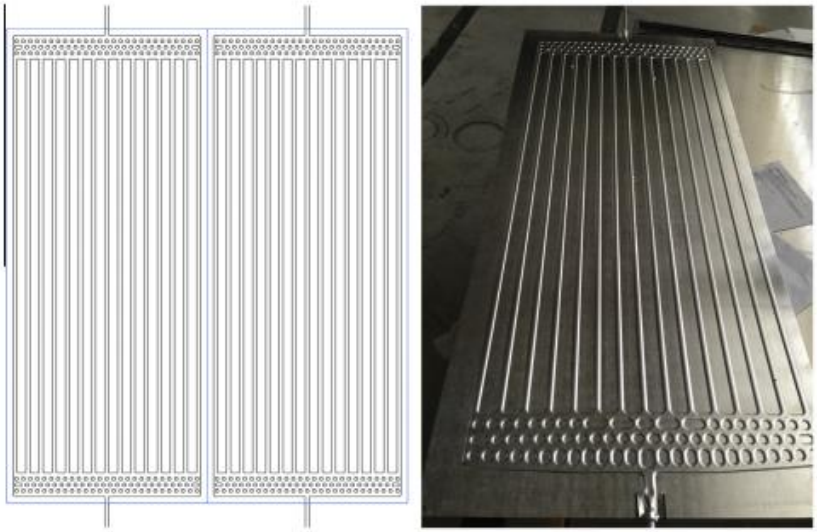


**Figura 9.5 Modelo PVT/w propuesto por Aste et al.. Fuente: extraído de referencia [14].**

Otros estudios como el de Aste et al. el 2017, estudian cómo trabajan variaciones de estos modelos cuando se les agrega una cubierta, dejando un espacio de aire entre la placa absorbedor y la capa de vidrio protectora [15].

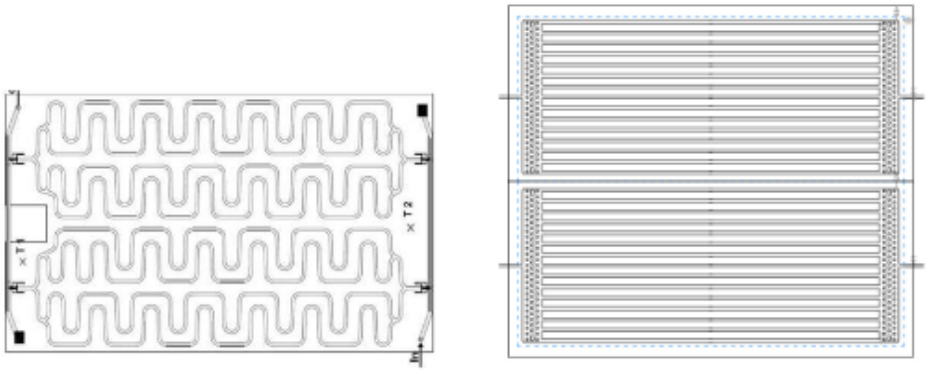


**Figura 9.6 Variaciones de PVT/w estudiadas por Aste et al.. Fuente: extraído de referencia [15].**

Una buena refrigeración del PV abre posibilidades para usar los sistemas concentrados, o CPVT, que significa una mayor colección de energía. También significa una gran posibilidad de mejorar la eficiencia energética de sistemas térmicos, como es el caso de la desalinización HDH. Algunas de estas ventajas de estos sistemas de cogeneración fueron mencionadas también el 2014 por P.Dupeyrat et al. refiriéndose a sistemas domiciliarios, donde la reducción de área al unir componentes (PV y colectores) también era relevante [13].

## 9.2. SISTEMAS PVT EN DESALINIZACIÓN SOLAR HDH

A pesar de que la desalinización HDH se ha acoplado en varias ocasiones con energías solares térmicas y solares eléctricas, la mezcla de HDH y PVT sigue sin ser muy común. Uno de los primeros estudios en proponer ese enfoque es el modelo de Giwa et al. el 2016 [18], en este se propone un sistema CAOW (ciclo de aire cerrado y abierto de agua) donde el PVT participa del ciclo de aire ubicado después del deshumidificador y antes del humidificador. En esta configuración lograron conseguir un aumento del 3.1% de la eficiencia eléctrica de los paneles fotovoltaicos y una producción total de 833 litros anuales de agua (aproximadamente 2.28 [kg/día]) y 278 [kWh] (31.7 [W] como promedio anual) por cada metro cuadrado de instalación de PVT.

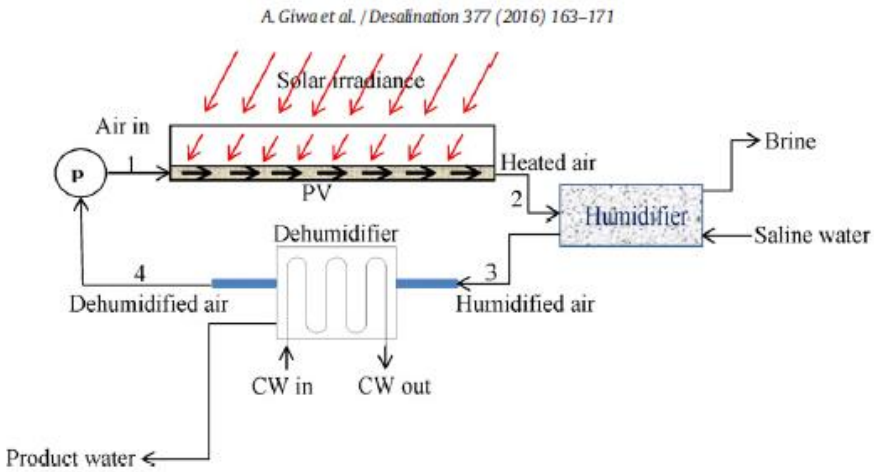



**Figura 9.7 Sistema propuesto por Giwa et al. . Fuente: extraído de referencia [18].**

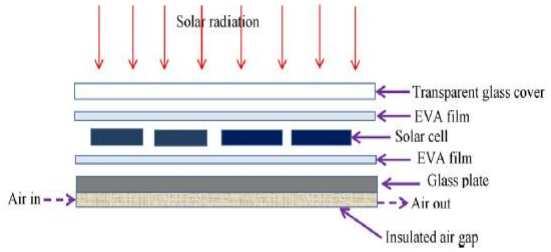



**Figura 9.8 Modelo de PVT utilizado por Giwa et al. . Fuente: extraído de referencia [18].**

Un modelo que considera un concentrador solar en conjunto con un PVT se suele llamar CPVT. Un modelo HDH-CPVT fue propuesto el 2017 por Amin. M. Elsafi [19], en este el PVT también participa del ciclo de aire, pero al contrario del de Giwa et al. se encuentra después del humidificador. En este estudio se utilizaron 3 módulos de colección que incluyen cuatros CPVT cada uno, lo que significa un área de colección térmica de 9 m2 y de colección eléctrica de 4,5 m2.

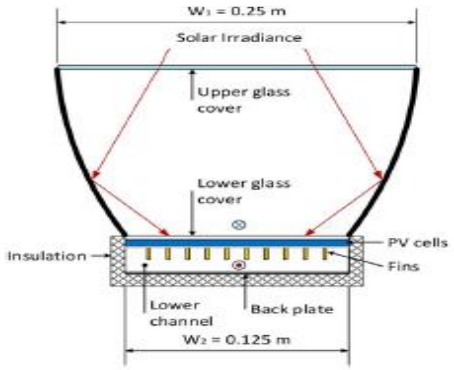



**Figura 9.9 CPVT utilizado por Amin. M. Elsafi. Fuente: extraído de referencia [19].**

Bajo esta configuración, y en un periodo de un año, se produjeron 1333 L de destilado y 213 kWh por cada metro cuadrado de colección, lo que sería en promedio 3.7 kg de destilado y 584 Wh cada día.

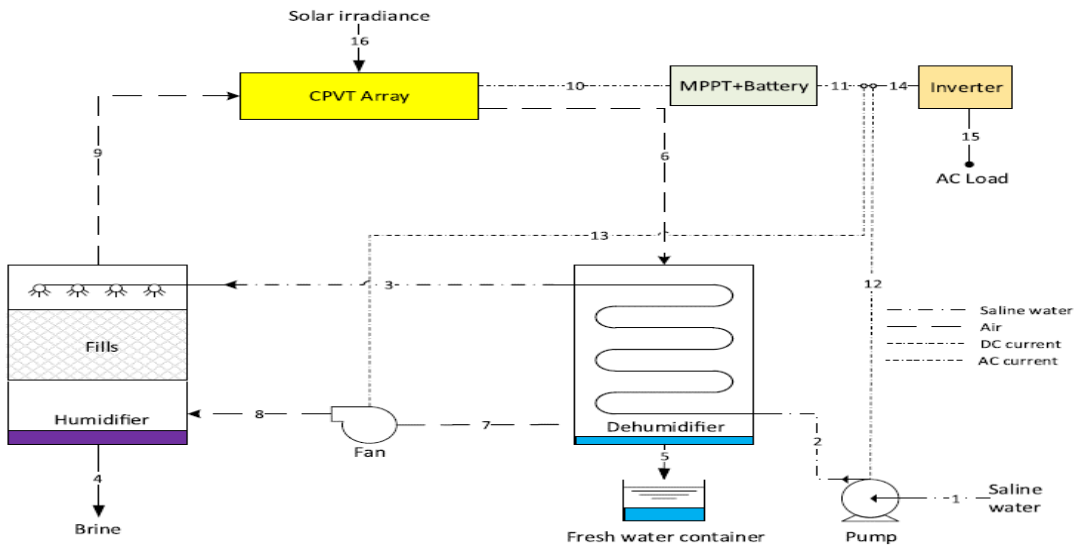



**Figura 9.10 Sistema propuesto por Amin. M. Elsafi. Fuente: extraído de referencia [19].**

Otro estudio el año 2017 estudia cómo afectan los parámetros de entrada: flujo másico de agua y radiación, al desempeño de un sistema HDH-PVT en la configuración OAOW (ciclo de aire abierto, ciclo de agua abierto), analizando las temperaturas de salida del flujo del PVT, la eficiencia de las celdas fotovoltaicas y la producción de destilado. En este estudio de B. Anand y T. Srinivas [20] se utiliza un PVT de agua calentada como única fuente de energía térmica para el sistema.

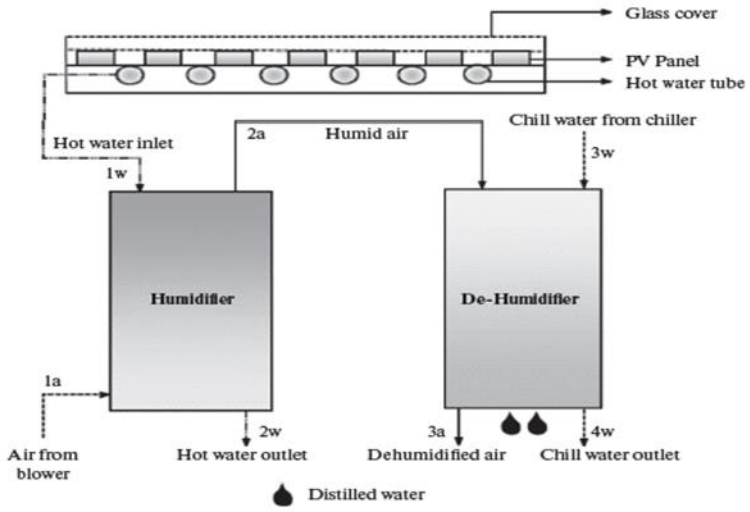



**Figura 9.11 Sistema estudiado por B. Anand y T. Srinivas. Fuente: extraído de referencia [20].**

En este estudio B. Anand y T. Srinivas llegan a la conclusión de que aumentar el flujo másico y por lo tanto la refrigeración del panel, mejora su eficiencia eléctrica, sin embargo, esto también disminuye las temperaturas de salida de los PVT. Además, la temperatura de salida del PVT influye

directamente sobre la producción de destilado, alcanzando ambos su máximo bajo una radiación de 1000 W/m2 y caudal másico de agua a la entrada de 30 kg/hr, con los resultados de 0.41 L/hr de destilado por m2 de área de colección y de 58 C de temperatura de salida de los PVT.

También se han propuesto sistemas más complejos que combinan SS y HDH. Uno de ellos, propuesto por Amir Mahmoud et al. [21] propone una combinación de ese tipo junto a dos tipos de PVT, uno en el ciclo de aire y otro en ciclo de agua. En este modelo dos humidificadores y el deshumidificador se encuentran en una torre, de forma que el ciclo de aire envuelve al estanque de agua del SS (Solar still o alambique solar). De esta forma el aire se precalienta con uno de los PVT y con el SS antes de la entrada de del primer humidificador, mientras que el agua también se precalienta con el otro PVT de agua calentada antes de entrar al segundo humidificador. En este estudio se encontró que el uso de concentradores solares era beneficioso para la producción de destilado, y además que el estanque de agua ayudaba a conservar la energía térmico durante más tiempo.

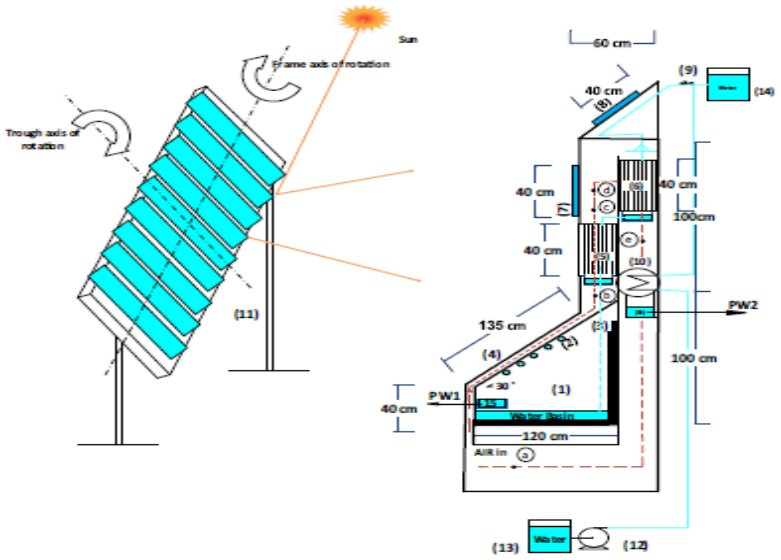



**Figura 9.12 Modelo propuesto por Amir Mahmoud et al.. Fuente: extraído de referencia [21]**

Sin embargo, tal vez uno de los trabajos más actuales en analizar una configuración tipo PVT-HDH es el de Gabrielli et al. el año 2019 [22] en que realiza un análisis tecnológico-económico del rendimiento de una planta CAOW (Aire cerrado y agua abierto) mediante un modelamiento numérico basado en componentes presentes en el mercado. En este estudio se justifica el uso de una planta de este tipo para ambientes en que conectarse a la red eléctrica no sea posible o sea muy caro y que el consumo de agua potable no sea tan grande para justificar plantas de otras tecnologías más caras y complejas.

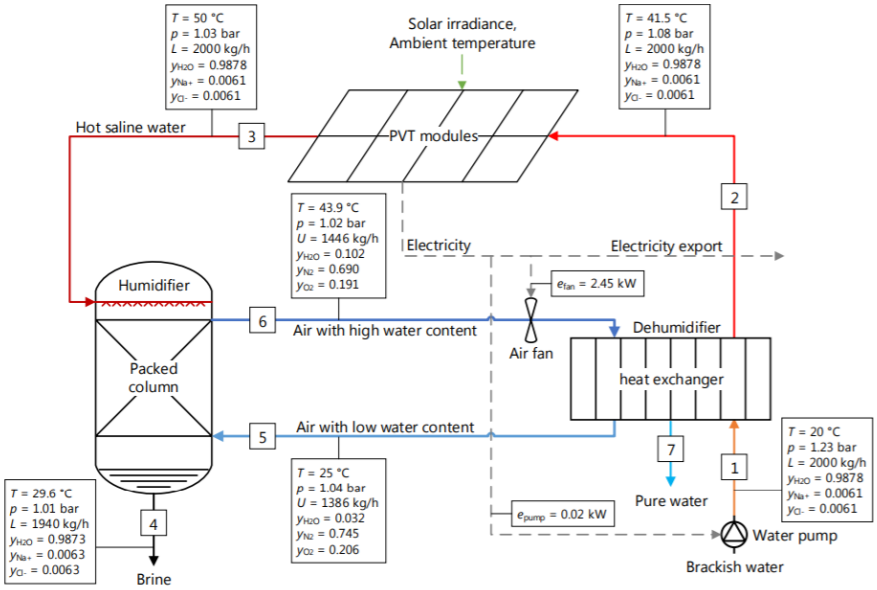



**Figura 9.13 Sistema estudiado por Gabrielli et al.. Fuente: extraído de referencia [22].**

# 10. METODOLOGÍA

## 10.1. HERRAMIENTA PRINCIPAL: SOFTWARE TRNSYS

El software utilizado se llama TRNSYS y es un software de simulación transiente desarrollado por la Universidad de Wisconsin. Este software permite modelar numéricamente sistemas dinámicos, ya que desarrolla ecuaciones para cada intervalo de tiempo usando los resultados del intervalo anterior.

**Figura 10.1 Logo del Software utilizado.**

El funcionamiento del programa se basa en un arreglo modular de los componentes que forman un sistema. Los elementos se distribuyen en el espacio y se conectan entre ellos cada vez que exista un intercambio de información. Por lo tanto, cada conexión puede simular un fluido que pasa a través de los elementos, entregando información sobre la entrada y salida de este a cada elemento. Una conexión puede también simular un flujo de información a través del sistema, o de comandos de control.

A su vez los elementos, módulos o Types del sistema, funcionan como cajas negras, en las cuales se desarrollan las ecuaciones de transferencia de calor y masa, cuyos resultados se pasan al resto de los elementos a través de las ya mencionadas conexiones.

Estos Types se encuentran programados en archivos dentro de las librerías del programa, mediante los lenguajes Fortran, C y C++. A estos elementos se les han ajustado lo parámetros de operación para actuar según el funcionamiento de las plantas experimentales. Sin embargo, uno de los elementos usados en la simulación (Type850) se ha programado de acuerdo con el código que es propuesto por Bilbao et al. en su estudio de modelos computacionales para PVT en Excel y TRNSYS [24].

## 10.2. DESCRIPCIÓN DE LAS CONFIGURACIONES

Se analizan 3 configuraciones del sistema.

### 10.2.1. CONFIGURACIÓN 1

Esta es la configuración básica del sistema. La simulación se basa en el sistema ya existente construido el año 2017 por Mauricio Reyes [6] y se usa como base de comparación para los resultados del resto de los sistemas.

Esta configuración cuenta con un campo de colectores de tubo vaciado, los cuales forman un área de colección térmica de 8 $[m^2]$, y además se conectan todos los elementos mecánicos a un grupo de paneles fotovoltaicos de 4 $[m^2]$.

Se consideran tres ciclos de fluido, uno de aire, uno de fluido térmico y uno de agua salada. En el caso del fluido térmico se utiliza agua potable.

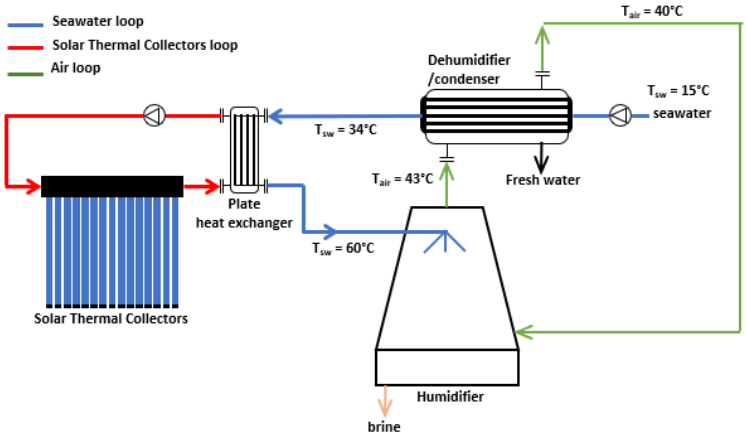



**Figura 10.2 Esquema de la primera configuración modelada numéricamente. Fuente: Elaboración propia.**

En esta configuración en agua salada se precalienta en el condensador, para luego recibir la energía del ciclo de colectores a través del intercambiador de calor (IDC). Luego el agua salada calentada pasa al humidificador donde se rocía sobre un flujo de aire. El aire proviene del ventilador y luego se calienta y humidifica en el humidificador, gracias a la transferencia de masa y calor del flujo de agua salada. Este aire humidificado pasa luego al condensador, donde se enfría con el flujo de agua salada entrante. Al enfriarse el aire disminuye la cantidad de humedad que puede sostener, por lo que el exceso de humedad se condensa. Este destilado se extrae del condensador para luego ser almacenado.

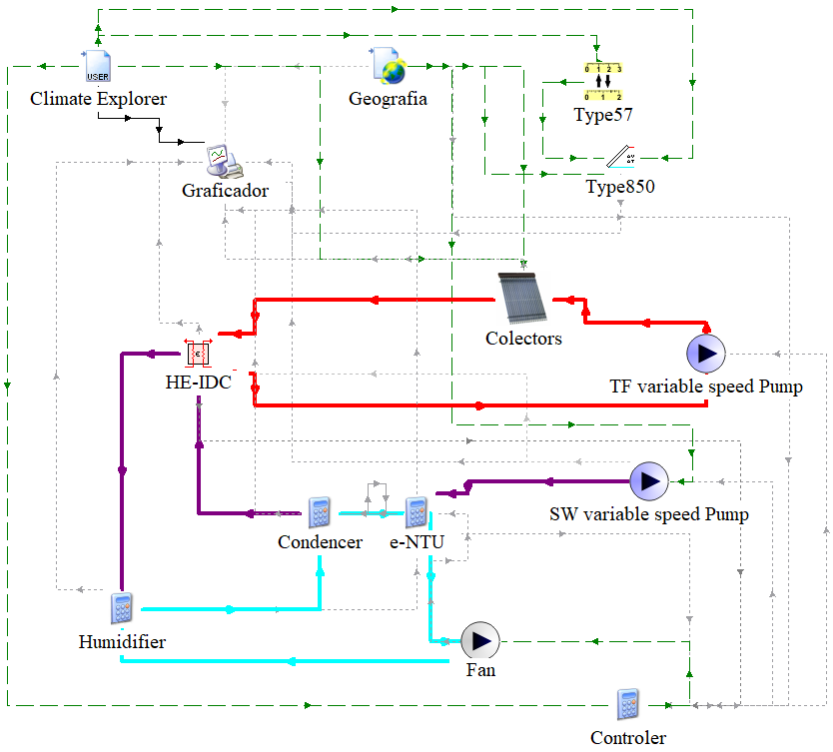



**Figura 10.3 Layout de la primera configuración en el software TRNSYS. Fuente: Elaboración propia.**

## 10.2.2. CONFIGURACIÓN 2

Esta es la primera modificación propuesta para el sistema. Ésta consta de un sistema PVT en el ciclo de agua salada, entre los elementos del condensador y el intercambiador. En esta configuración el agua salada pasaría por dos etapas de precalentamiento antes de entrar al IDC.

Esta configuración cuenta con un campo de colectores de tuvo vaciado, los cuales forman un área de colección térmica de $4\,[m^2]$, además de un campo de PVT de otros $4\,[m^2]$ que entregan tanto energía térmica como eléctrica. Esto significaría un área de colección térmica total de $8\,[m^2]$ y un área de PV de $4\,[m^2]$.

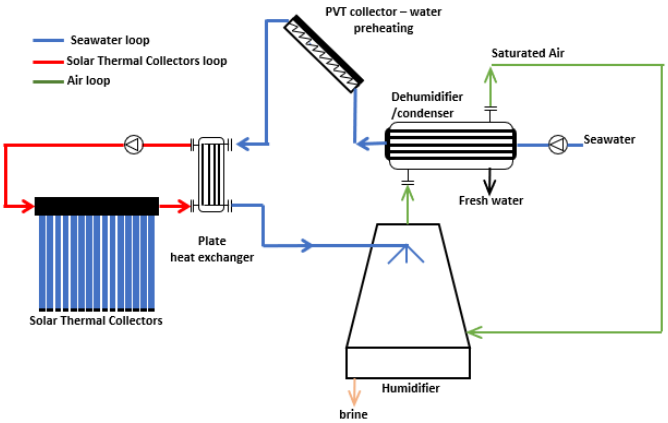



**Figura 10.4 Esquema de la segunda configuración modelada numéricamente. Fuente: Elaboración propia.**

En este caso el agua salada enfría directamente los PV a la vez que recibe su energía. Este proceso sucede antes de recibir la energía del ciclo de colectores, cuyo flujo viene a mayor temperatura.

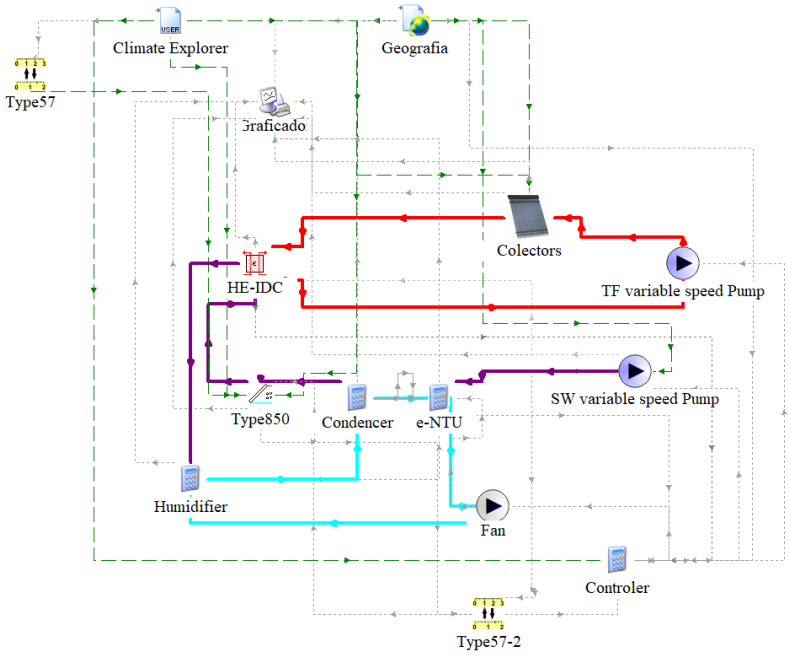



**Figura 10.5 Layout de la segunda configuración en el software TRNSYS. Fuente: Elaboración propia.**

## 10.2.3. CONFIGURACIÓN 3

Esta es la segunda posible modificación del sistema. Se propone un sistema PVT en el ciclo fluido térmico (agua) reemplazando completamente los colectores de tubo evacuado por los PVT como proveedores de la energía térmica.

Esta configuración cuenta con un campo de PVT de $8\,[m^2]$ que entregan tanto energía térmica como eléctrica. Esto significaría un área de colección térmica total de $8\,[m^2]$ y un área de PV de $8\,[m^2]$.

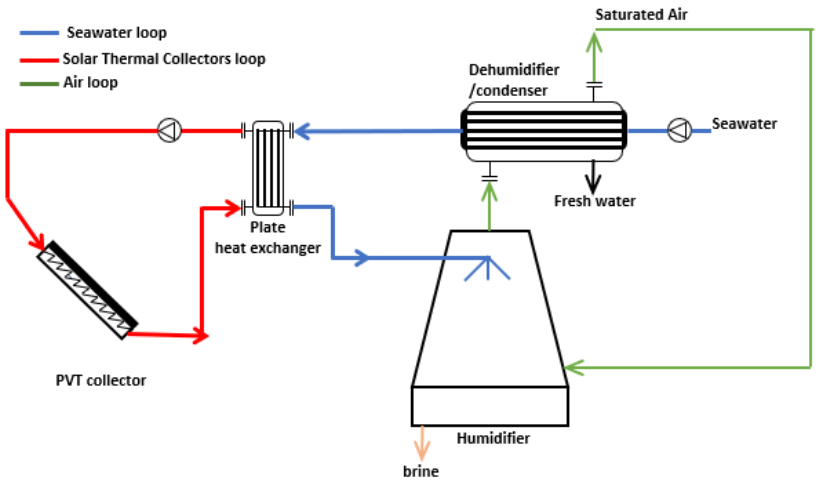



**Figura 10.6 Esquema de la tercera configuración modelada numéricamente. Fuente: Elaboración propia.**

En este caso los PV serían refrigerados con agua en un ciclo cerrado, para luego pasar esa energía al flujo de agua salada a través del IDC.

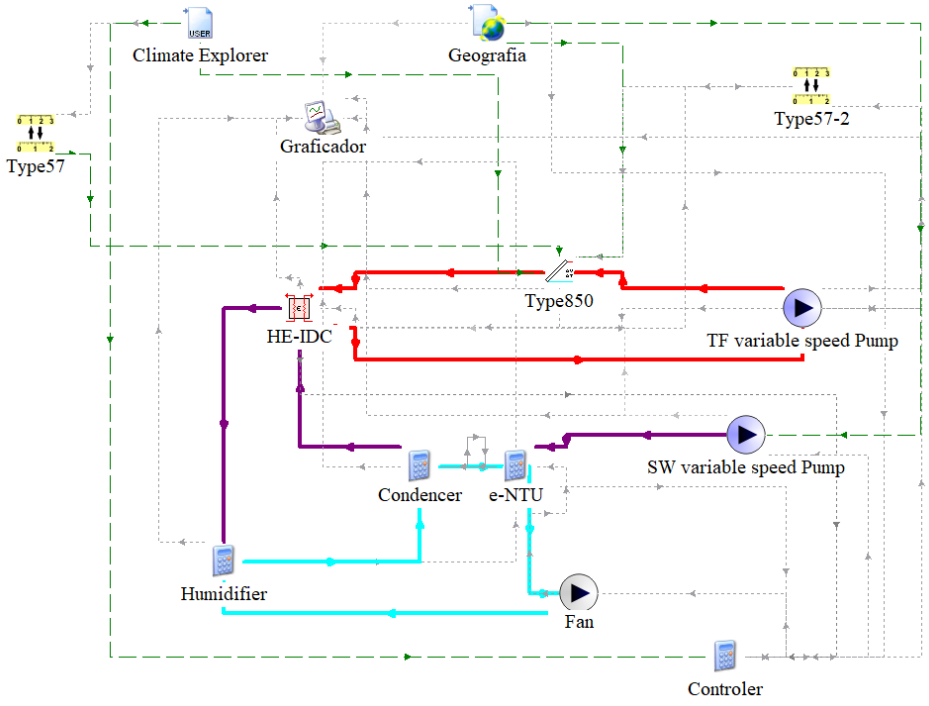



**Figura 10.7 Layout de la tercera configuración en el software TRNSYS. Fuente: Elaboración propia.**

## 10.3. MODELOS MATEMÁTICOS DE LOS ELEMENTOS

### 10.3.1. DATOS CLIMÁTICOS

Se utilizan dos procesadores de clima en la simulación. El primero de ellos es un elemento llamado Type9 cuya función es importar archivos de texto, y recuperar los valores de ellos para entregarlos a la simulación. Cada línea de texto es un paso de tiempo en la simulación. Estos archivos de texto se escriben procesando los datos obtenidos del explorador solar de la Universidad de Chile [25], estos datos son mediciones para varios años desde el 2004, con intervalos de una hora entre cada uno.

El otro elemento utilizado es el Type15, este utiliza archivos de clima en formato TMY que se encuentran en la librería de climas de TRNSYS. Estos archivos no están disponibles para muchas ciudades de Chile, además de que no tienen datos certeros de radiación y temperatura ambiental. Por lo que solo se utilizan como complemento al primer elemento mencionado, de forma que entregan únicamente la dirección del viento y la temperatura del cielo.

Los lugares analizados en la simulación son distintas localidades costeras de la zona norte: Iquique, Mejillones (Región de Antofagasta), Caldera (Región de Atacama), Totoralillo (Región de Coquimbo) y Valparaíso.

### 10.3.2. COLECTORES

Los colectores se modelan mediante el Type538. Este simula un colector solar de tubo evacuado cuya eficiencia se puede calcular mediante una curva lineal o cuadrática. Los parámetros de construcción del elemento se muestran a continuación en la Tabla 10.1.

**Tabla 10.1 Parámetro de funcionamiento ingresados en Type538.**

| | | |
|---|---|---|
| **Número de colectores en serie** | 0 | – |
| **Calor específico del fluido** | 4.18 | $\frac{kJ}{kg \cdot K}$ |
| **Capacitancia del colector** | 10.0 | $\frac{kJ}{K}$ |
| **Número de nodos** | 100 | – |
| **Flujo másico por unidad de área en condiciones de prueba ($a_0$)** | 468 | $\frac{kJ}{hr \cdot m^2}$ |
| **Calor específico del fluido en condiciones de prueba** | 4.18 | $\frac{kJ}{kg \cdot K}$ |
| **Modo de prueba del colector** | 1 | – |
| **Intercepto de eficiencia de prueba** | 0.4 | – |

| | | |
|---|---|---|
| **Coeficiente de pérdida de eficiencia de prueba en primer orden ($a_1$)** | 14.4 | $\frac{kJ}{hr \cdot m^2 \cdot K}$ |
| **Coeficiente de pérdida de eficiencia de prueba en segundo orden ($a_2$)** | 0.001 | $\frac{kJ}{hr \cdot m^2 \cdot K^2}$ |

El funcionamiento de este elemento se detalla en el Apéndice 1: Modelo numérico de los colectores. El área total de colección es variable ya que dependerá del sistema que se esté analizando. Los datos de radiación, flujos y temperatura provienen de los procesadores de clima.

### 10.3.3. PANEL TÉRMICO FOTOVOLTAICO - PVT

El panel PVT del sistema se programó en lenguaje Fortran y se incorporó en la librería de TRNSYS como Type850. Este elemento está diseñado por Bilbao j. et. al. para funcionar como se indica en su publicación del año 2012 [24].

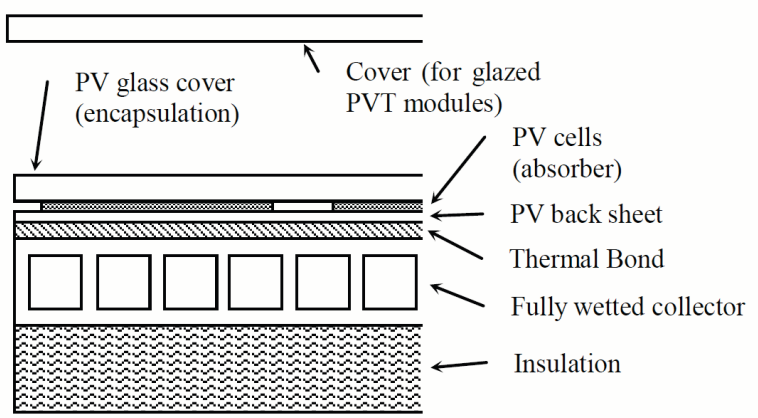



**Figura 10.8 Esquema de un típico PVT con cubierta. Fuente: Extraído de referencia [24].**

El modelo comienza por calcular los $IAM$ para las radiaciones usando las relaciones de Brandemuehl y Beckman (1980). Luego usando la ecuación propuesta por ASHRAE (1978) se calcula la irradiancia incidente global $G_t$, este proceso es detallado en la referencia [24]. La transmitancia a través de la cubierta se calcula mediante la ecuación de Diffie y Beckman (1991) como se muestra en (10.1) y (10.2).

$$(\tau\alpha)_n \cong 1.01 \cdot \tau_e \alpha \tag{10.1}$$

$$\tau_e = \tau_{cubierta} \cdot \tau_{vidrio\ PV} = \tau^{N+1} \tag{10.2}$$

Donde $\tau_e$ es la transmitancia efectiva, tomando en cuenta que $N$ es el número de cubiertas que existen además de la cubierta base que se encuentra directamente sobre las celdas fotovoltaicas

como protección. Por lo tanto, en caso de que $N$ se fije como 0 en el caso de un PV sin cubierta, todavía se contará con una para efectos del cálculo numérico.

Para el cálculo de transferencia de calor se ocupan las ecuaciones empíricas de Akhtar y Mullik (1990) que estima la temperatura de la cubierta $T_c$ de colectores de placa plana. Bilbao J. et al. asegura que esta fórmula es más exacta que otros modelos de cálculo, ya que toma en cuenta la temperatura del cielo $T_s$, en lugar de estimarla a partir de la temperatura ambiente $T_a$. Las ecuaciones que rigen esta estimación son las presentadas en (10.3), (10.4) y (10.5).

$$T_c = \frac{(fT_p + cT_a)}{(1+f)} \tag{10.3}$$

$$f = \frac{\left[12 \cdot 10^{-8}\left(T_a + 0.2T_p\right)^3 + U_w\right]^{-1} + 0.3L_g}{\left[6 \cdot 10^{-8}\left(\varepsilon_p + 0.0029\right)\left(T_p + 0.5T_a\right)^3 + 0.6L^{-0.2}\left\{(T_p - T_a)cos\beta\right\}^{0.25}\right]^{-1}} \tag{10.4}$$

$$c = \frac{\left(\frac{T_s}{T_a} + \frac{U_w}{3.5}\right)}{\left(1 + \frac{U_w}{3.5}\right)} \tag{10.5}$$

Donde $T_p$ es la temperatura de la placa o plato absorbedor y $c$ es un factor de corrección que busca compensar por usar la temperatura del cielo, en lugar de la temperatura ambiente. Cabe notar que en caso de que el PVT no tenga cubierta (N=0) estas tres ecuaciones no se utilizan.

En el caso de que el PVT tenga una o más cubiertas, para calcular las pérdidas de energía $U_L$ por convección y radiación se usa la ecuación (10.6), que luego puede reescribirse en la ecuación (10.7) para dejarla en términos de calor transferido.

$$U_{L_{con\,cub}} = \left[\left(\frac{\sigma({T^2}_p + {T^2}_c)(T_p + T_c)}{\left(\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_c}\right)} + Nu\frac{k_{aire}}{L}\right)^{-1} + \left(\frac{\varepsilon_c({T^4}_p - {T^4}_s)}{(T_c - T_a)} + (5.7 + 3.8v_w)\right)^{-1}\right]^{-1} + U_{BE} \tag{10.6}$$

$$U_{L_{con\,cub}} = \left[\left(U_{rpc} + U_{cpc}\right)^{-1} + (U_{rcs} + U_w)^{-1}\right]^{-1} + U_{BE} \tag{10.7}$$

En esta los términos $U_{rpc}$ y $U_{cpc}$ son las pérdidas convectivas y radiativas entre el plato y la cubierta. $U_{rcs}$ y $U_w$ son las pérdidas convectivas y radiativas de la cubierta. $U_{BE}$ es la energía que se pierde por los costados y la parte trasera del PVT.

Por otro lado, en caso de no haber cubierta, se utiliza la ecuación (10.8).

$$U_{L_{sin\,cub}} = \frac{\varepsilon_c\sigma({T^4}_p - {T^4}_s)}{(T_p - T_a)} + (5.7 + 3.8v_w) + U_{BE} \tag{10.8}$$

Luego con $U_L$ se pueden calcular los factores de eficiencia térmica, como $F'$ a través de la relación mostrada en (10.9) y después, con este valor, se puede calcular $F_R$ con la ecuación estándar de Duffie y Beckman (1991).

$$F' = \frac{1}{1 + U_L/h_f} \tag{10.9}$$

La energía útil térmica y eléctrica se obtienen mediante las fórmulas (10.10) y (10.11), donde $T_{in}$ es la temperatura de entrada del fluido.

$$\dot{q_e} = \frac{\dot{Q}_e}{A_c} = \tau \dot{G}_t \eta_r \left[1 - \beta_r (T_p - T_r)\right] \tag{10.10}$$

$$\dot{q_u} = \frac{\dot{Q}_u}{A_c} = F_r \left[\dot{S} - \dot{q_e} - U_L (T_{in} - T_a)\right] \tag{10.11}$$

Finalmente se calculan las temperaturas de placa y cubierta según

$$T_p = T_a + \frac{\dot{G}_T (\tau\alpha)_n - q_e - q_u}{U_L} \tag{10.12}$$

$$T_c = \frac{(U_{rpc} + U_{cpc}) T_p + (U_{rcs} + U_w) T_a}{(U_{rpc} + U_{cpc} + U_{rcs} + U_w)} \tag{10.13}$$

Una vez la temperatura de la placa $T_p$ es calculada y si el error es mayo a $0.01°C$ la iteración comienza nuevamente. Esta iteración permite la auto corrección de la salida de energía térmica. Sin embargo, en el caso de un PVT sin cubierta, una sola iteración es necesaria.

Los parámetros de funcionamiento usados en este modelo se detallan a continuación en la Tabla 10.2.

**Tabla 10.2 Parámetros de funcionamiento del Type850.**

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Coeficiente de temperatura de la celda fotovoltaica** | $\boldsymbol{\beta_r}$ | 0.0048 | – |
| **Coeficiente de transferencia de calor de la placa al fluido** | $h_f$ | 43 | $\frac{kJ}{kg \cdot K}$ |
| **Coeficiente de pérdida de calor por los lados y la parte de atrás** | $U_{BE}$ | 0 | $\frac{W}{m^2 \cdot °C}$ |
| **Ángulo de inclinación** | $\beta$ | 30 | $grados$ |

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Eficiencia de las celdas en condiciones referenciales** | $\eta_r$ | 0.144 | – |
| **Factor de empaque** | $PF$ | 1 | – |
| **Absortividad de la celda fotovoltaica** | $\alpha$ | 0.900 | – |
| **Emisividad de la cubierta** | $\varepsilon_c$ | 0.850 | – |
| **Emisividad del panel fotovoltaico** | $\varepsilon_p$ | 0.850 | – |
| **Transmisividad de la cubierta** | $\tau$ | 0.9645 | – |
| **Espacio de aire entre la placa y la cubierta** | $AIRGAP$ | 0.05 | $m$ |
| **Grosor de la cubierta** | $\delta$ | 0.005 | $m$ |

El área de colección es variable, ya que cambia dependiendo del sistema a simular. Los datos de radiación, flujos y temperatura provienen de los procesadores de clima.

### 10.3.4. INTERCAMBIADOR DE CALOR – IDC

Para el intercambiador de calor se ocupa el Type91. Este modelo funciona con una efectividad constante y entregada por el usuario. Primero se calculan las tasas de capacidad de los dos fluidos con las fórmulas (10.14) y (10.15) para luego obtener el mínimo entre las dos o $C_{min}$.

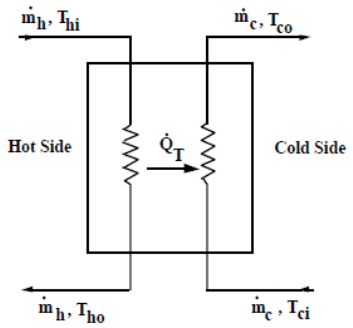



**Figura 10.9 Esquema del intercambiador. Fuente: Extraído de referencia [27].**

$$C_c = \dot{m}_c \cdot C_{pc} \tag{10.14}$$

$$C_h = \dot{m}_h \cdot C_{ph} \tag{10.15}$$

$$C_{min} = Min(C_h, C_c) \tag{10.16}$$

Donde el $C_p$ de ambos fluidos se fija constante en con un valor de $4.18\ \left[\frac{kJ}{kg \cdot K}\right]$. Los flujos másicos son entregados por el resto de los componentes del sistema. Luego el calor transferido máximo se calcula con una relación entre la diferencia de las temperaturas de entrada de los fluidos caliente y frio. Como muestra la ecuación (10.17).

$$Q_{max} = C_{min} \cdot (T_{ih} - T_{ic}) \tag{10.17}$$

Finalmente, el calor transferido real se calcula multiplicando la eficiencia del IDC por la transferencia máxima de calor como se muestra en (10.18). En este sistema la eficiencia ε tiene un valor constante de $0.55\ [-]$. Luego con este calor transferido real se calculan las temperaturas de salida de los flujos mediante las ecuaciones (10.19) y (10.20).

$$Q_{real} = Q_{max} \cdot \varepsilon \tag{10.18}$$

$$T_{oh} = T_{ih} - \frac{Q_{real}}{C_h} \tag{10.19}$$

$$T_{oc} = T_{ic} + \frac{Q_{real}}{C_c} \tag{10.20}$$

### 10.3.5. CONDENSADOR – DESUMIDIFICADOR

El condensador del sistema no usa un elemento específico, sino que las ecuaciones se desarrollan en una calculadora interna del programa llamada "Equation" diseñada para fórmulas más simples. Por esto no requiere de un código en algún lenguaje de programación. Sin embargo, pesar de que puede conectarse a los otros elementos del sistema al igual que los demás Types, no se pueden realizar iteraciones ni llamar a las librerías del programa. Este condensador utiliza dos de estas calculadoras, una para calcular la eficiencia del condensador y otra para las propiedades finales de los flujos.

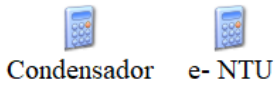



**Figura 10.10 Calculadoras del sistema**

El condensador funciona como un IDC de dos fluidos en flujo cruzado. El calor real y el calor máximo se calculan según las fórmulas (10.17) y (10.18) mencionadas en la sección anterior para el IDC de dos flujos de agua. La eficiencia del sistema no es constante y se calcula para cada iteración según el método e-NTU.

Para este método se comienza por calcular las capacidades caloríficas de los fluidos, los cuales se denotan como $C_{pw}$ y $C_{pa}$ para agua y aire respectivamente. Estos valores son obtenidos mediante el software EES [28] que hace uso de las cartas de propiedades para el agua y para el aire. En este caso se asume aire saturado, o de humedad relativa 100%. Para adecuar las propiedades de los fluidos a sus temperaturas de entrada se realiza un ajuste polinómico en EES, que luego se incorpora en las calculadoras. En las ecuaciones (10.21) y (10.22) se presentan estos ajustes, los cuales también se muestran en Figura 10.11 y Figura 10.12.

$$C_{pw} = 4.22457 - 0.00628338 \cdot T_{iw} + 0.000344193 \cdot {T_{iw}}^2 - 0.00000861545 \cdot {T_{iw}}^3 + 9.89205 \cdot 10^{-8} \cdot \cdot {T_{iw}}^4 - 4.18844 \cdot 10^{-10} \cdot {T_{iw}}^5 \quad (10.21)$$

$$C_{pa} = Max(1, (68.2241 - 18.6266 \cdot T_{ia} + 1.76955 \cdot {T_{ia}}^2 - 0.0758943 \cdot {T_{ia}}^3 + 0.00162003 \cdot {T_{ia}}^4 - 0.0000167509 \cdot {T_{ia}}^5 + 6.71317 \cdot 10^{-8} \cdot {T_{ia}}^6)) \quad (10.22)$$

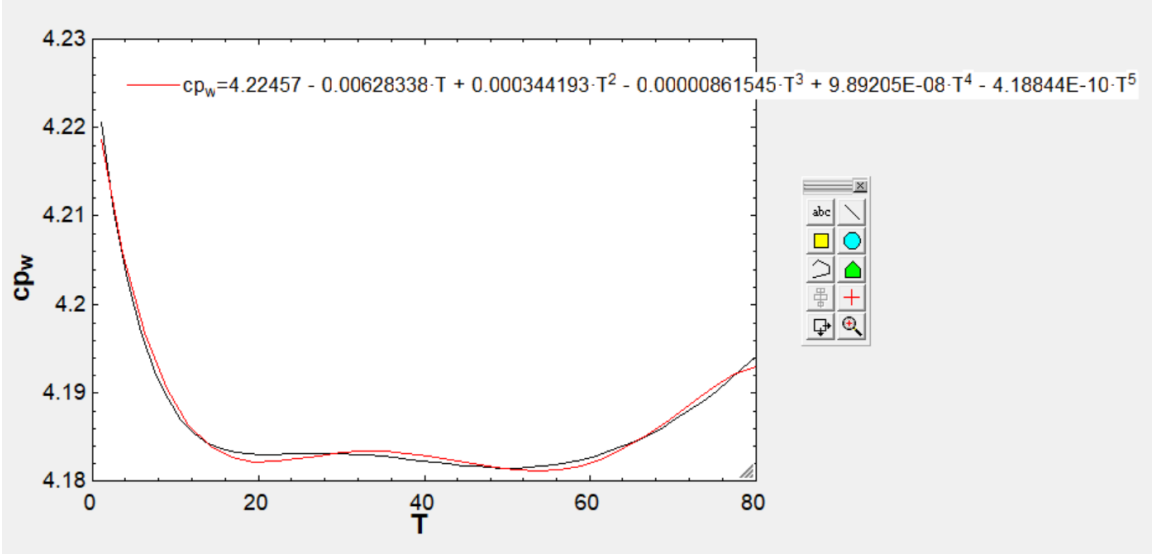



**Figura 10.11 Ajuste de curva de capacidad calorífica del agua. Fuente: elaboración propia.**

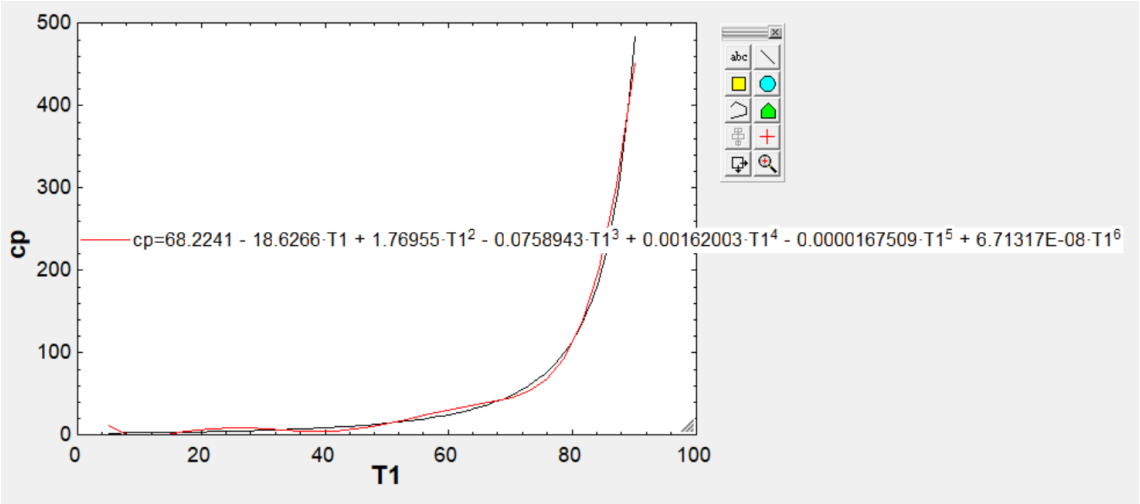



**Figura 10.12 Ajuste de curva de capacidad calorífica del aire. Fuente: elaboración propia.**

Se usan luego las mismas ecuaciones de la sección anterior: (10.14), (10.15) y (10.16). Para obtener $C_a$, $C_w$ y el $C_{min}$.

Uno de los parámetros de construcción de los intercambiadores es el producto $UA$ (el coeficiente global de transferencia de calor por el área de transferencia), al cual se le da un valor constante de $224\left[\frac{kJ}{hr\cdot°K}\right]$. Con este valor y con $C_{min}$ se calcula el valor de $NTU$ como se muestra en (10.23).

$$NTU = Abs\left(\frac{UA}{C_{min}}\right) \tag{10.23}$$

Luego se usan las ecuaciones (10.24) y (10.25) para calcular $C_{max}$ y $C$, que luego se usarán para calcular la eficiencia según la fórmula (10.26). Esta fórmula se obtiene de Çengel, Y. A. [26] con la única modificación en cuanto a que está limitada a un máximo de $\varepsilon = 0.7\ [-]$.

$$C_{max} \quad = \ Max(C_a, C_w\ ) \tag{10.24}$$

$$C = \frac{C_{min}}{C_{max}} \tag{10.25}$$

$$\varepsilon = Min\left(0.7, \left(1 - exp\left(\frac{NTU^{0.22}}{C}\right) \cdot (exp(-C \cdot NTU^{0.78}) - 1\right)\right) \tag{10.26}$$

Se calcula la transferencia de calor usando esta efectividad, en el mismo proceso que en la sección anterior, usando las ecuaciones (10.17) y (10.18). La temperatura de salida del agua se calcula usando la ecuación (10.20), mientras que para el cálculo de la entalpía de salida del aire $h_o$ se ocupan: la entalpía de entrada $h_{in}$, que es entregada por el humidificador y el flujo másico de aire $\dot{m}_a$, en la ecuación (10.27).

$$h_o = h_{in} - \frac{Q_{real}}{\dot{m}_a} \tag{10.27}$$

Finalmente, la temperatura de salida del aire también se calcula con un ajuste polinómico de la curva psicométrica en EES asumiendo en todo momento que está saturado. El ajuste se muestra en la ecuación (10.28) y en la Figura 7.1.

$$T_{oa} = 0.219729 + 0.368874 \cdot h_o - 0.000956558 \cdot {h_o}^2 + 0.00000127433 \cdot {h_o}^3 - 7.98278 \cdot 10^{-10} \cdot {h_o}^4 + 1.86749 \cdot 10^{-13} \cdot {h_o}^5 \tag{10.28}$$

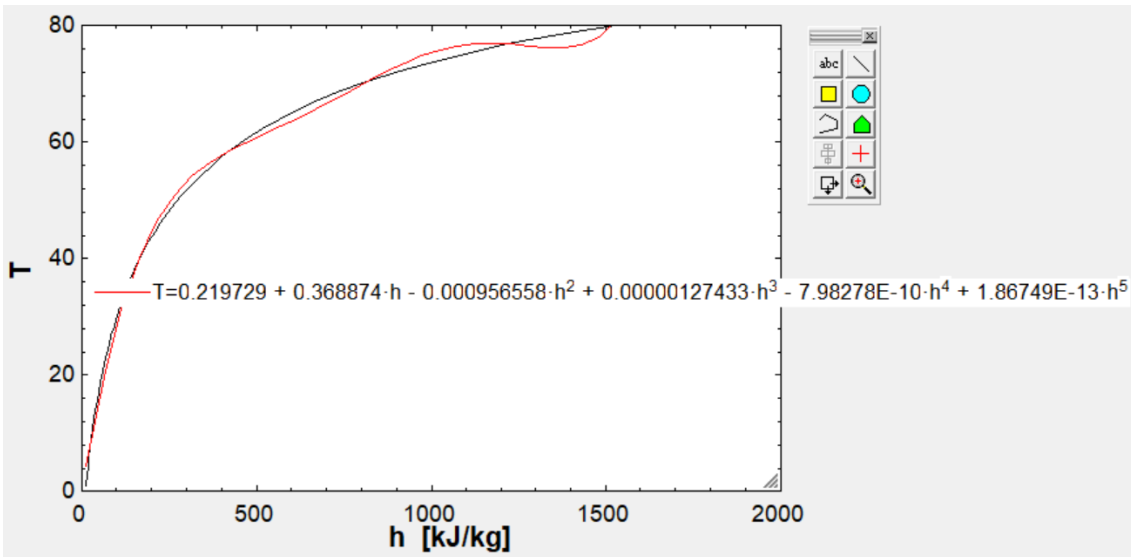



**Figura 10.13 Ajuste de curva de temperatura del aire. Fuente: elaboración propia.**

### 10.3.6. HUMIDIFICADOR

El humidificador, al igual que el condensador, funciona mediante un conjunto de ecuaciones implementadas en una calculadora. Estas ecuaciones se basan en ajustes polinómicos de un humidificador de EES modelado por C. Hernández el 2018 [29]. Las tres ecuaciones que rigen el comportamiento de este elemento se muestran en (10.29), (10.30) y (10.31) y están configuradas para recibir la temperatura de entrada del aire $T_{ia}$, la temperatura de entrada del agua $T_{iw}$ y los flujos másicos de aire $\dot{m}_a$ y agua $\dot{m}_w$.

$$\begin{aligned} T_{oa} = & -1.35497311 + 0.521956749 \cdot T_{iw} - 1.14841501 \cdot 10^{-3} \cdot {T^2}_{iw} + 0.542311457 \cdot T_{ia} \\ & + 4.76792351 \cdot 10^{-3} \cdot {T^2}_{ia} - 14.4877959 \cdot \dot{m}_a + 45.4549287 \cdot {\dot{m}_a}^2 + 49.4659936 \cdot \\ & \cdot \dot{m}_w - 4.99637041 \cdot 10^2 \cdot {\dot{m}_w}^2 - 4.43943785 \cdot 10^{-3} \cdot T_{iw} \cdot T_{ia} - 1.14646367 \cdot T_{iw} \\ & \cdot \dot{m}_a + 2.34623586 \cdot T_{iw} \cdot \dot{m}_w + 1.04639823 \cdot T_{ia} \cdot \dot{m}_a - 2.32971795 \cdot T_{ia} \cdot \dot{m}_w \\ & + 99.7796374 \cdot \dot{m}_a \cdot \dot{m}_w \end{aligned} \tag{10.29}$$

$$h_o = 36.3586 - 6.81542 \cdot T_{oa} + 0.638106 \cdot T^2{}_{oa} - 0.0151089 \cdot T^3{}_{oa} + 0.000137928 \cdot T^4{}_{oa} \quad (10.30)$$

$$RH = 0.00425977 \cdot exp(0.0601182 \cdot T_{oa}) \quad (10.31)$$

### 10.3.7. BOMBAS Y VENTILADORES

Se utilizan Type3 para las bombas. Este elemento permite simular una bomba hidráulica de velocidad variable. Para ello se establecen flujos máximos, de forma que al entregarle una señal de control entre 0 y 1 al elemento, se puede variar el flujo en cada iteración. El flujo de salida de la bomba será la fracción entregada por la señal de control multiplicada por el flujo máximo configurado. La temperatura de salida de la bomba será la misma que la de entrada, la cual proviene de los procesadores de clima o del elemento anterior, en caso de ser un ciclo cerrado.

La bomba del ciclo de fluido térmico se encuentra en un ciclo cerrado, y mantiene un flujo constante de $468\left[\frac{kg}{hr}\right]$ cada vez que el sistema se encuentra en funcionamiento y de $0\left[\frac{kg}{hr}\right]$ cuando el sistema esta apagado. Por otro lado, la bomba del lado del agua salada puede mantener un flujo no menor a $240\left[\frac{kg}{hr}\right]$, excepto por los momentos en que el sistema está apagado, cuando también se hace cero.

El ventilador se simula mediante un Type112. Este modelo fija el flujo de aire y se lo entrega al resto de los elementos dentro del ciclo. Debido a que el ciclo de aire siempre es cerrado la temperatura y humedad que recibe del condensador es la misma que entrega luego al humidificador. Además, al igual que la bomba, el ventilador cuenta con una señal de control que permite modificar el flujo. Sin embargo, el flujo de aire se mantiene constante en todas las simulaciones en un valor de $700\left[\frac{kg}{hr}\right]$ cada vez que el sistema se encuentra en funcionamiento y de $0\left[\frac{kg}{hr}\right]$ cuando el sistema esta apagado.

### 10.3.8. CONTROLADOR

El controlador funciona mediante dos condiciones principales que fijan los horarios de funcionamiento del sistema. Primeramente, se calcula la función $OnOff_{fan}$ con la cual se asegura que el sistema solo funcione cuando la radiación supere los $400\left[\frac{kJ}{hr \cdot m^2}\right]$, cuando no se cumpla esta condición la señal es fijada en cero y enviada a las bombas y ventiladores para "apagarlos" y así asegurar solamente el funcionamiento diurno de los componentes. Luego se calcula la señal para modificar automáticamente el flujo de agua, la cual se llama $Signal_{control}$. Para ello se fijan los valores máximos ($\dot{m}_{SW_{max}}$) y mínimos ($\dot{m}_{SW_{min}}$) de agua salada. También se fija el parámetro $\dot{m}_n$ que es el flujo requerido de agua salada y que puede fijarse en un valor constante o calcularse para cada intervalo de tiempo, para acercarse a una temperatura deseada de salida del IDC. Estas fórmulas se presentan a continuación en (10.32), (10.33) y (10.34).

$$OnOff_{fan} = Min(1, Ent(G_T/400)) \quad (10.32)$$

$$Signal_{control} = Max\left(\left(\frac{\dot{m}_n}{\dot{m}_{SW_{max}}}\right), \left(\frac{\dot{m}_{SW_{min}}}{\dot{m}_{SW_{max}}}\right)\right) \tag{10.33}$$

$$OnOff_{pump} = Min(Signal_{control}, OnOff_{fan}) \tag{10.34}$$

En caso de que se busque calcular $\dot{m}_n$ como una función de la temperatura de salida del IDC, la ecuación utilizada es (10.36). Donde $Q_{DH}$ y $Q_{IDC}$ son el calor transferido en el deshumidificador e intercambiador respectivamente. $T_{SW/o_{IDC}}$ es la temperatura de salida de intercambiador de calor y $T_{SW/i_{DH}}$ es la temperatura de entrada del deshumidificador. Este calor transferido y temperaturas se extraen directamente de los elementos correspondientes para conectarlos a la calculadora.

$$Q_n = Q_{DH} + Q_{IDC} \tag{10.35}$$

$$\dot{m}_n = Max\left(\left(\frac{Q_n}{4.18 \cdot (T_{SW/o_{IDC}} - T_{SW/i_{DH}})}\right), 0\right) \tag{10.36}$$

## 10.4. VALIDACIÓN DEL SISTEMA BASE

El sistema base se valida comparando elementos específicos del sistema, con el construido en el LER (Laboratorio de energías renovables) en Valparaíso. Para ellos se utilizan las mediciones de temperatura a la entrada de estos elementos y luego estas entradas se le entregan a cada uno de los elementos por separado, para luego comparar las salidas de los modelos numéricos con las de los elementos reales. Una vez que se comprueba que los errores de cada elemento por separado no son significativos, se comparan las salidas en el funcionamiento del sistema completo.

Las mediciones que se utilizan como base de comparación son las de 26 y 27 de marzo y se muestran en

Apéndice 2: Comparación de sistemas y tablas de errores (Colectores) y Apéndice 3: Comparación de sistemas y tablas de errores (Deshumidificador Humidificador y destilado). En estas tablas también se encuentran los errores relativos de las temperaturas y producción de destilado. Esta información también se muestra a continuación en los gráficos desde la Figura 10.14 hasta la Figura 10.23.

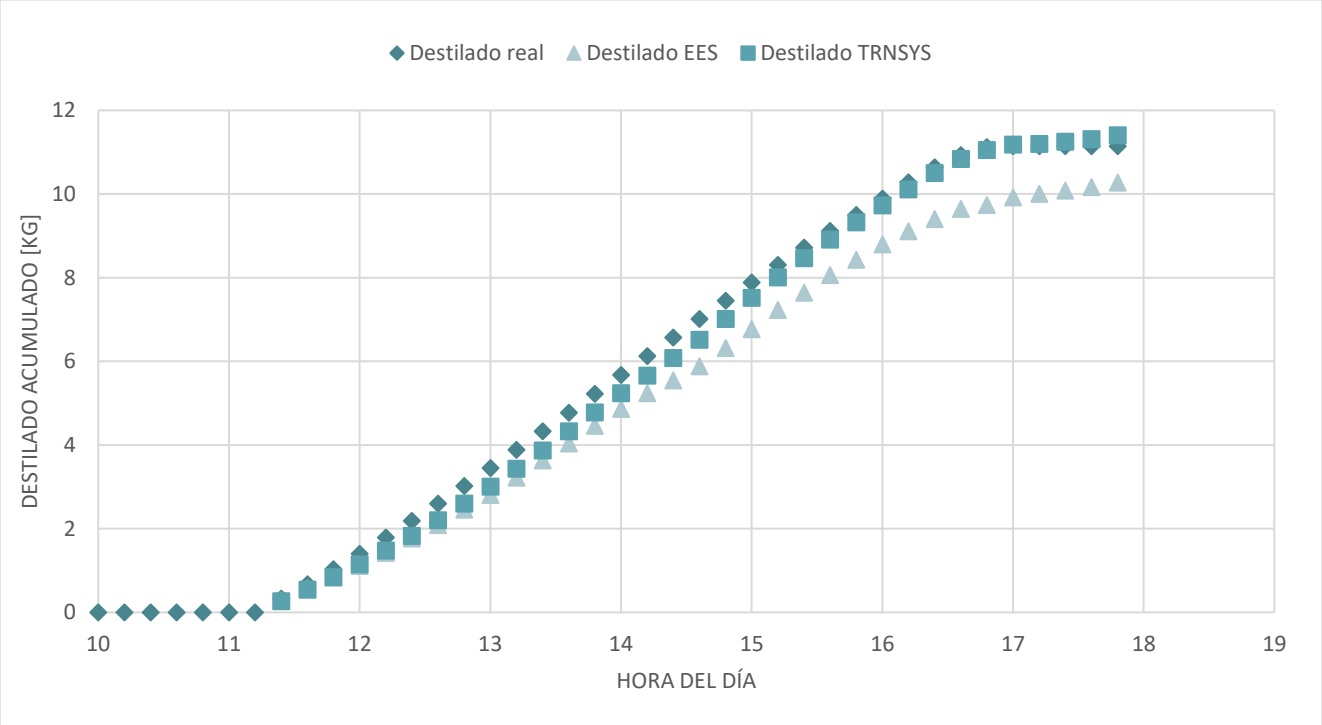



**Figura 10.14 Comparación de sistemas, producción de destilado, día 26. Fuente: Elaboración propia.**

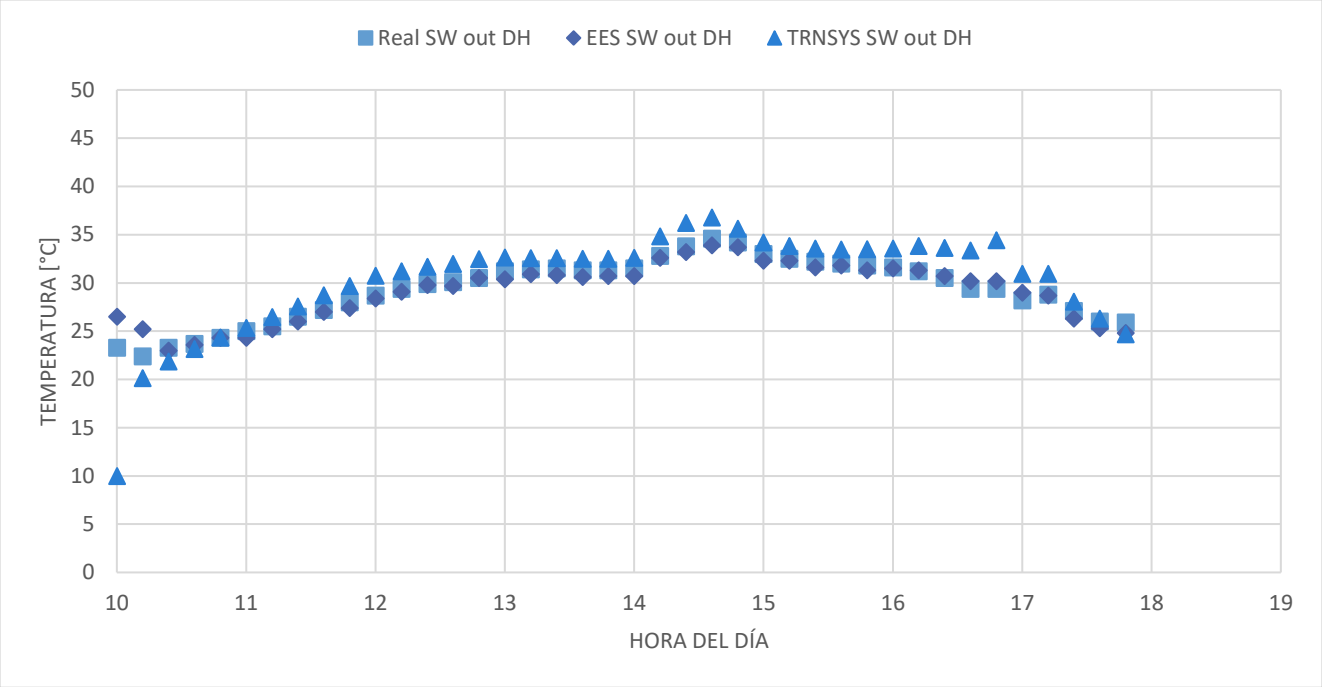



**Figura 10.15 Comparación de sistemas, temperatura de agua salada a la salida del deshumidificador, día 26. Fuente: Elaboración propia.**

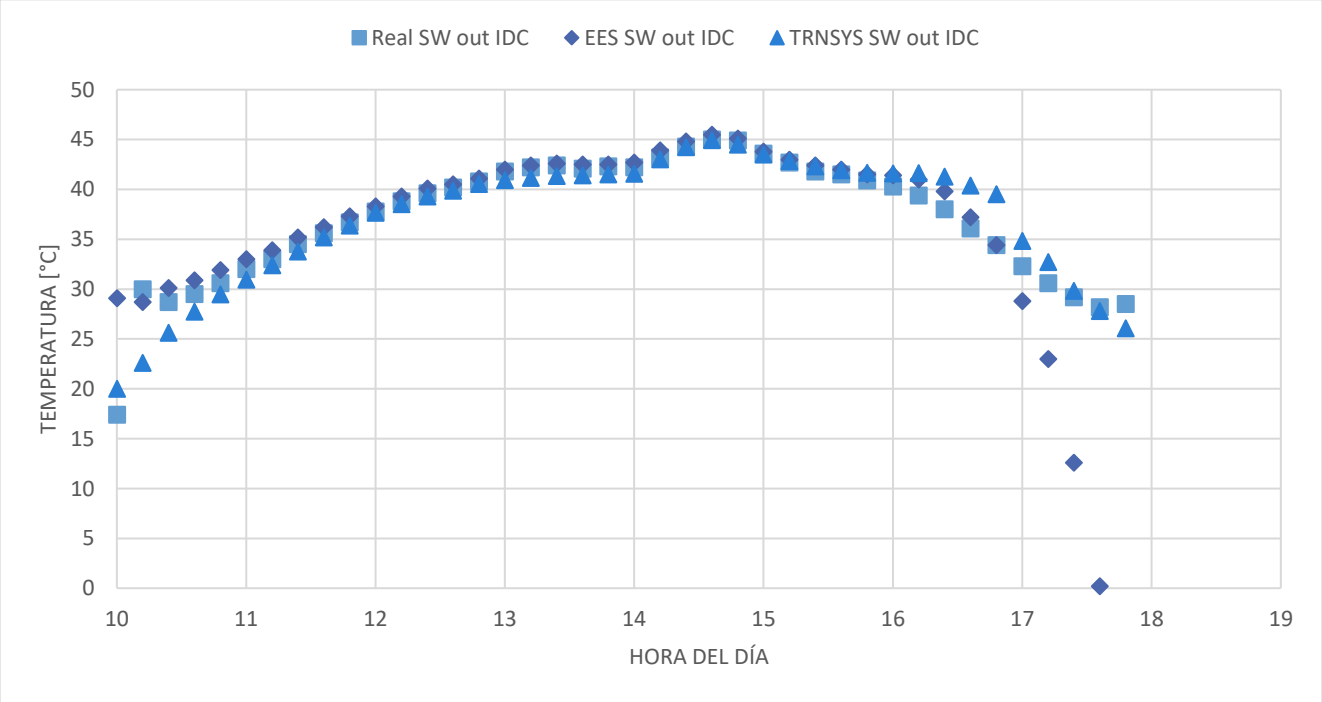



**Figura 10.16 Comparación de sistemas, temperatura de agua salada a la salida del intercambiador de calor, día 26. Fuente: Elaboración propia.**

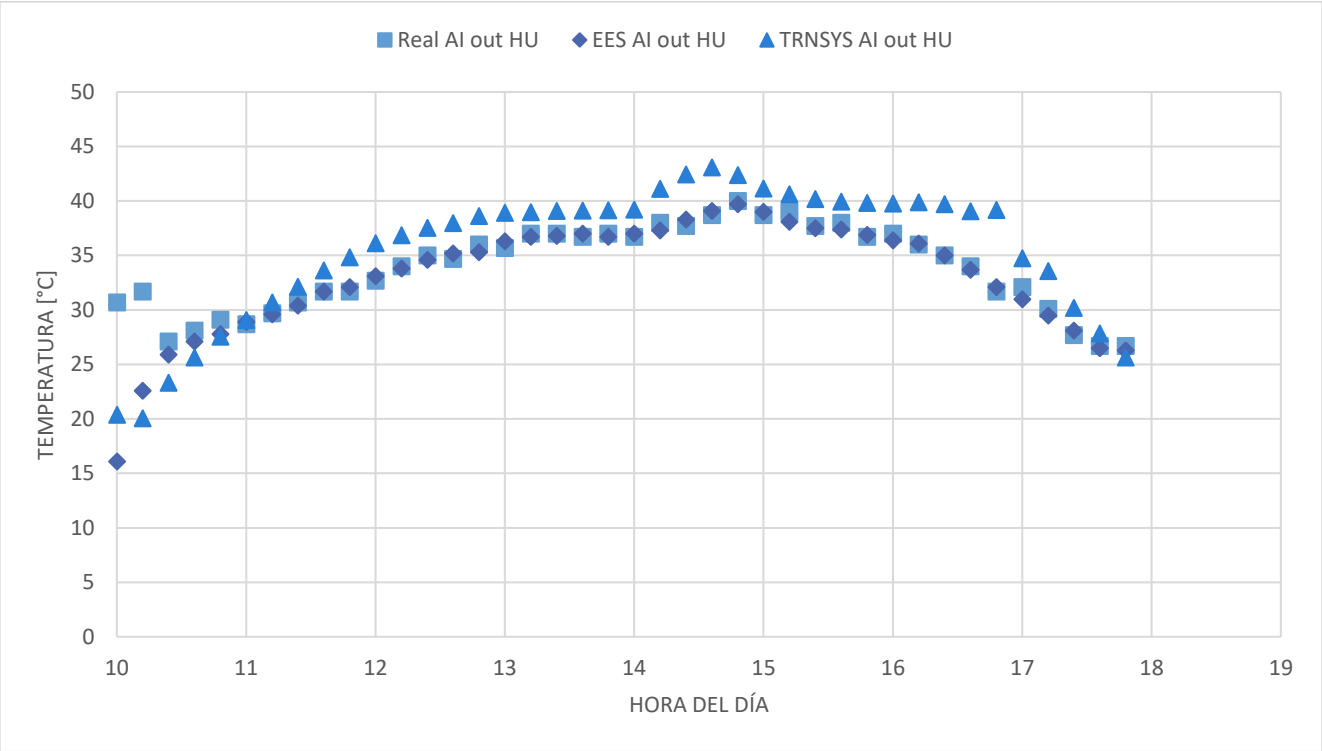



**Figura 10.17 Comparación de sistemas, temperatura del aire a la salida del humidificador, día 26. Fuente: Elaboración propia.**

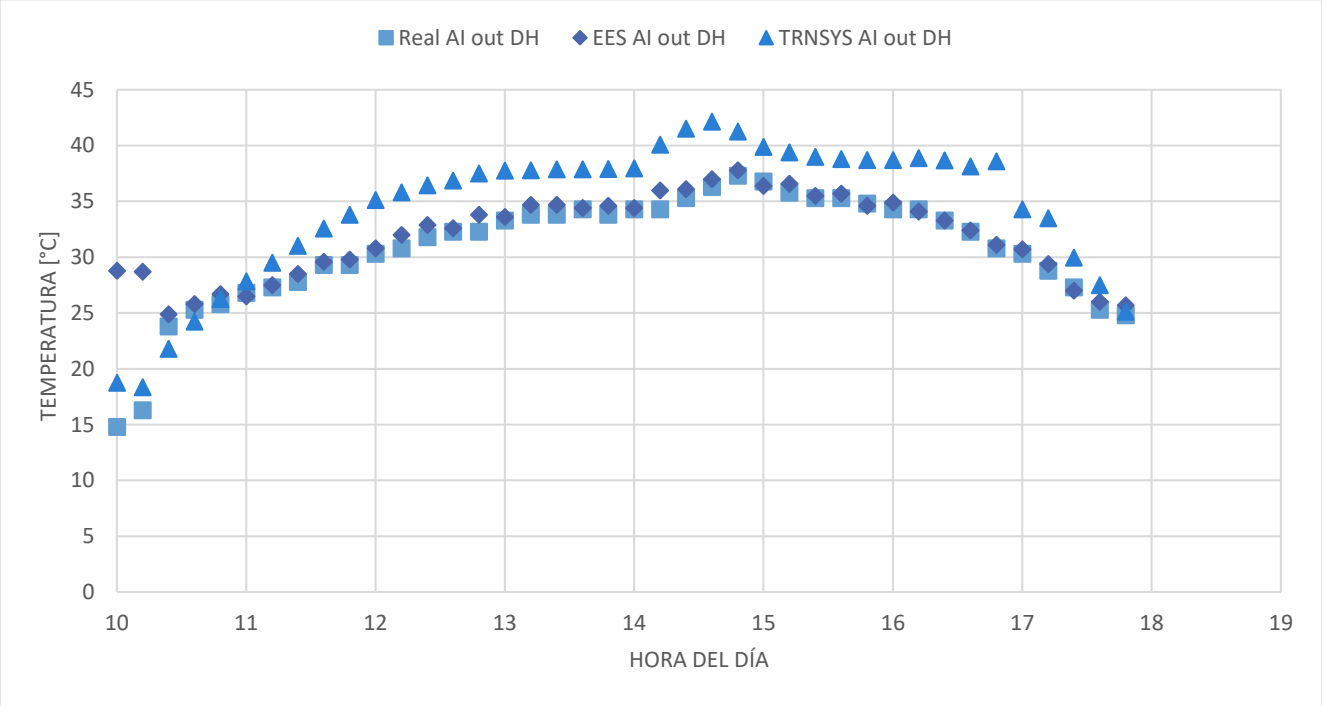



**Figura 10.18 Comparación de sistemas, temperatura del aire a la salida del deshumidificador, día 26. Fuente: Elaboración propia.**

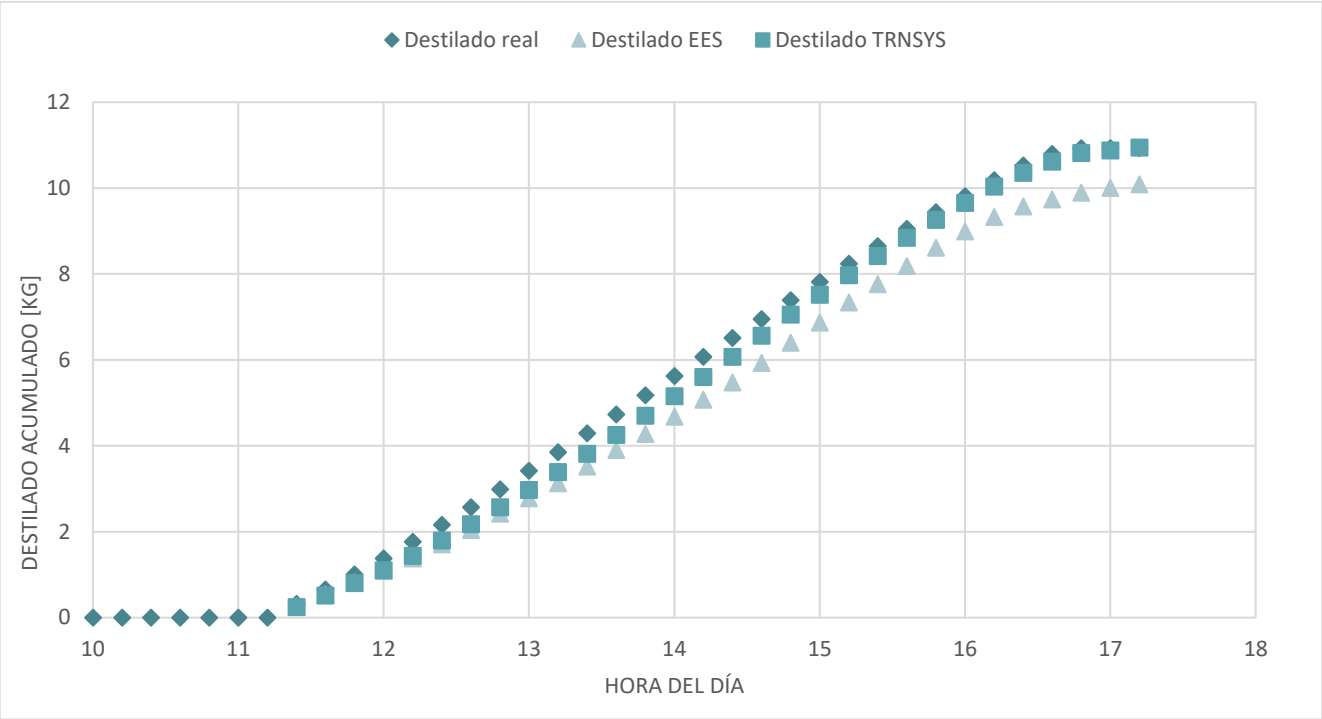



**Figura 10.19 Comparación de sistemas, producción de destilado, día 27. Fuente: Elaboración propia.**

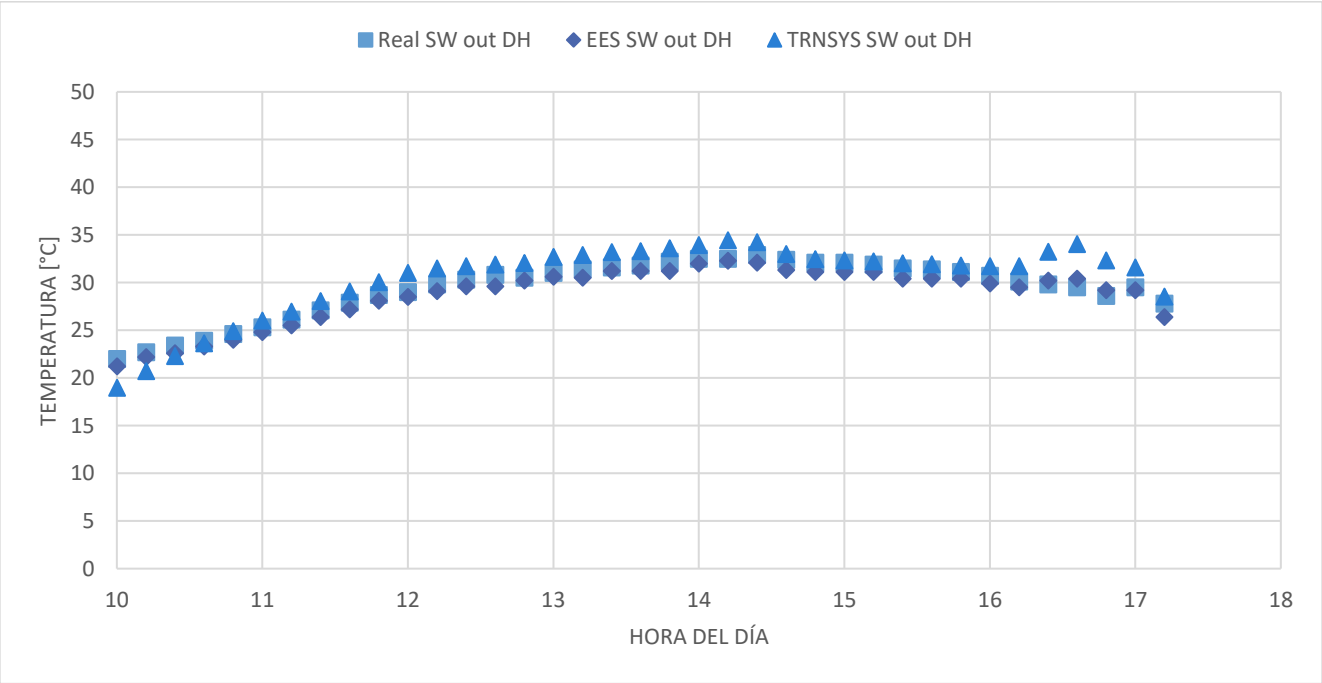



**Figura 10.20 Comparación de sistemas, temperatura de agua salada a la salida del deshumidificador, día 27. Fuente: Elaboración propia.**

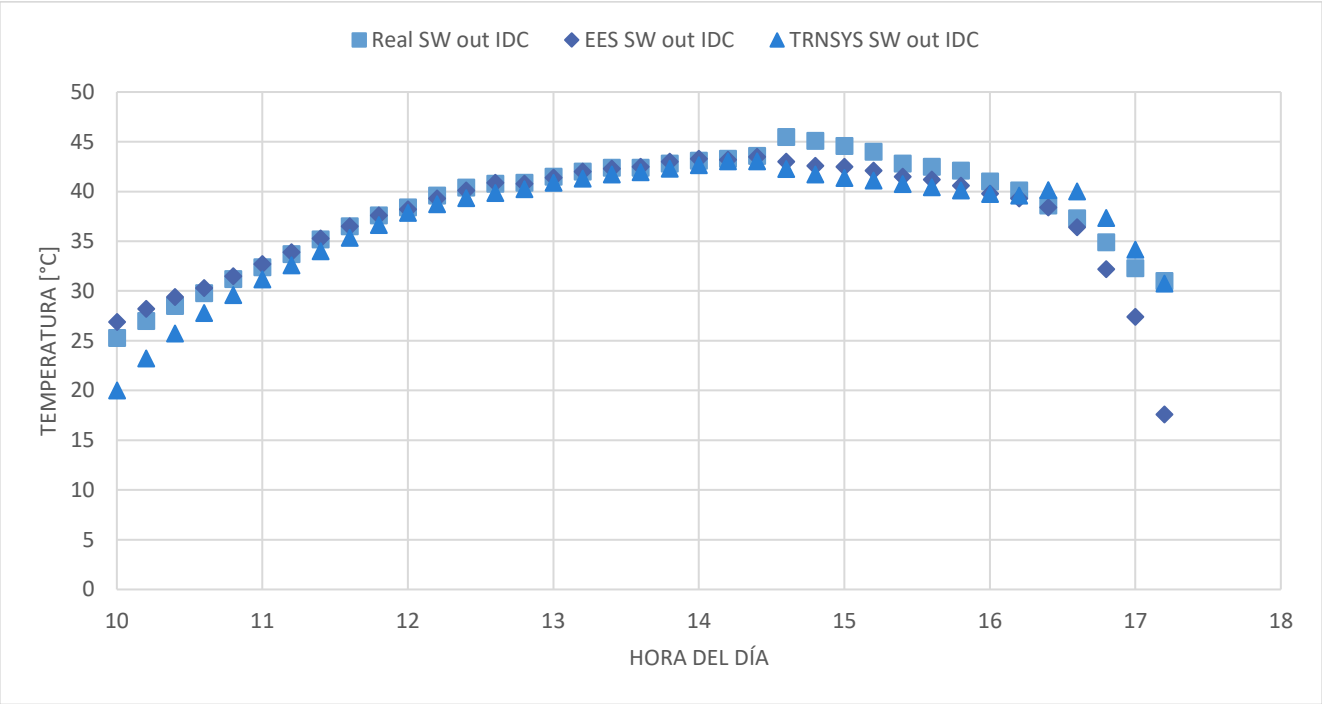



**Figura 10.21 Comparación de sistemas, temperatura de agua salada a la salida del intercambiador de calor, día 27. Fuente: Elaboración propia.**

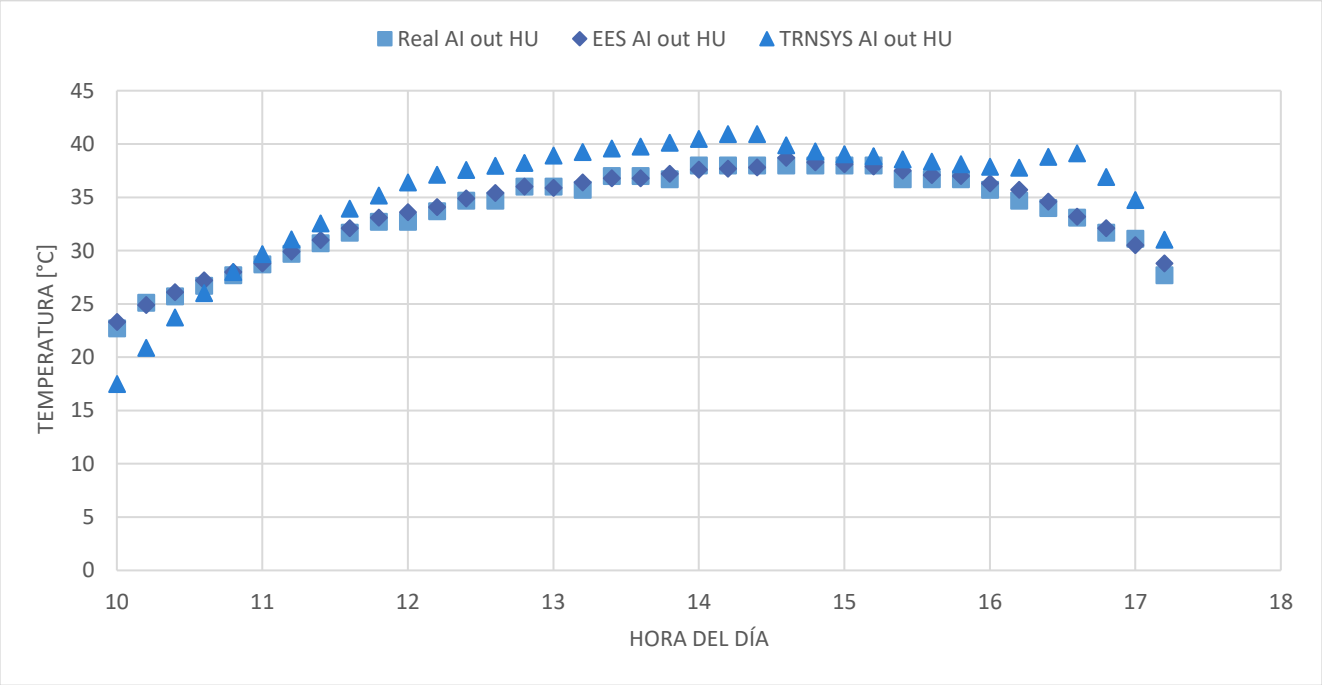



**Figura 10.22 Comparación de sistemas, temperatura del aire a la salida del humidificador, día 27. Fuente: Elaboración propia.**

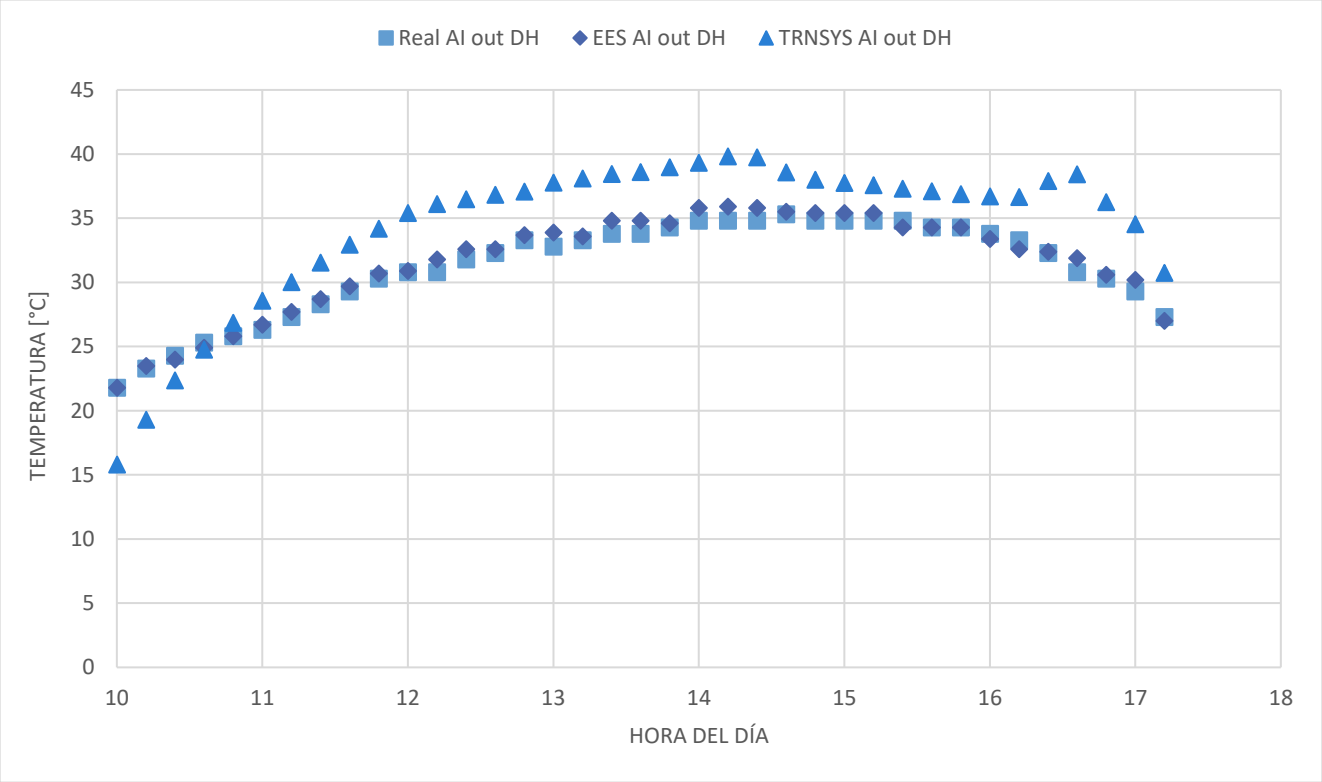



**Figura 10.23 Comparación de sistemas, temperatura del aire a la salida del deshumidificador, día 27. Fuente: Elaboración propia.**

En estos sistemas los errores promedio de las temperaturas en todas las horas analizadas varían entre un 1% y un 3%. Los mayores errores en las temperaturas fueron de 67%, este junto con los demás errores más altos siempre se dan al inicio o al final del día, y se dan en pocos puntos de la simulación. Cabe notar que los mayores errores promedio se dan al estimar la producción de destilado alcanzando un 15% el día 27. Por otro lado, la máxima diferencia entre los valores de destilado entregados por TRNSYS solo se alejan del valor medido en un 22%.

# 11. RESULTADOS

## 11.1. PARÁMETROS DE SIMULACIÓN

Las áreas de colección de cada sistema se detallan a continuación en la Tabla 11.1. Estas permanecen constantes en todas las simulaciones de los sistemas.

**Tabla 11.1 Parámetros de construcción de los sistemas estudiados.**

| Resultados de simulación | Descripción del sistema | Area Colectores | Area PV | Area PVT | Area Colección térmica | Area Colección eléctrica |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $[m^2]$ | $[m^2]$ | $[m^2]$ | $[m^2]$ | $[m^2]$ |
| **Sistema 1** | Basado en el sistema actual, colectores y PV funcionan por separado | 8 | 4 | 0 | 8 | 4 |
| **Sistema 2** | PVT incorporado en el ciclo de agua salada, funcionando en paralelo con colectores | 4 | 0 | 4 | 8 | 4 |
| **Sistema 3** | PVT en el ciclo de fluido térmico en lugar del ciclo de colectores | 0 | 0 | 8 | 8 | 8 |

Todas las simulaciones corren por un periodo ficticio de un año de 365 días. Las ecuaciones se realizan en intervalos de una hora, lo que significa 8760 instantes calculados. El sistema está restringido para funcionar solo en horarios del día en que la radiación global se mayor a 400 $\left[\frac{kJ}{hr \cdot m^2}\right]$. Se analiza cinco lugares con diferentes valores de radiación. Estas son la localidad del Olivar en la región de Valparaíso, la ciudad de Caldera en la región de Atacama, La localidad de Totoralillo en la región de Coquimbo, Mejillones en la región de Antofagasta y la costa de Iquique en la región del mismo nombre.

Sin embargo, solamente en el caso de El Olivar se mostrarán los resultados mes a mes. Mientras que el resto de los lugares analizados se evalúan solo durante el mes de enero.

## 11.2. ÍNDICES DE COMPARACIÓN DE DESALADORAS

Para comparar las desaladoras se puede ocupar un sinfín de índices. Para el análisis en este trabajo se pondrá especial atención a la producción de destilado, a la energía absorbida, la producción de energía eléctrica por unidad de área y a índices que requieren un segundo cálculo como: G.O.R y el S.I.D.R.

Primeramente, definiremos estos últimos dos términos.

$$G.O.R = \frac{\lambda \cdot M_d}{Q_u} \tag{11.1}$$

$$S.I.D.R = \frac{G_T \cdot A_c}{M_d} \tag{11.2}$$

**GOR:** Gained Output Ratio. Mide la efectividad de la producción de agua con respecto a la energía térmica. Buscamos que sea lo más grande posible. Se calcula mediante (11.1) donde $\lambda$ es al calor de vaporización del agua, $M_d$ es la cantidad de destilado producido y $Q_u$ es la energía térmica que se le entrega al sistema.

**SIDR:** Solar Irradiation-Distillate Ratio. Es la cantidad de energía radiativa que se utiliza para producir 1 kg de destilado. Buscamos que sea lo más Pequeño posible. Se calcula según (11.2) donde $G_T$ es la radiación absorbida por la superficie del sistema, $A_c$ es el área de colección y $M_d$ es la cantidad de destilado producido.

En cuanto a este último índice, se utilizará su inverso multiplicativo, es decir, 1/SIDR para evaluar los sistemas, de manera que éste debería ser lo más grande posible.

## 11.3. RESULATADOS ANUALES: PROMEDIOS MENSUALES EN EL OLIVAR, VALPARAISO.

Los resultados obtenidos para la simulación anual con datos de Valparaíso se encuentran en el Apéndice 4: Resultados mensuales para la simulación de un año en Valparaíso.

### 11.3.1. CLIMA EN: EL OLIVAR – REGIÓN DE VALPARAISO

A lo largo de este año, las horas de funcionamiento de los sistemas (componentes encendidos) son de 3310 horas, lo que implica 9.07 horas de funcionamiento diario en promedio. La radiación promedio de este año es de 2108 $\left[\frac{kJ}{hr \cdot m^2}\right]$.

Las horas promedio de trabajo del sistema varían mes a mes. El promedio mensual de radiación global y las horas de trabajo medias para cada mes se detalla en la Tabla 11.2 Parámetros climáticos de la simulación.

**Tabla 11.2 Parámetros climáticos de la simulación.**

| Mes | Radiación global $[\mathrm{kJ}/(\mathrm{hr} \cdot m^2)]$ | Horas diarias de funcionamiento |
|---|---|---|
| **Enero** | 2261.0 | 10.6 |
| **Febrero** | 2233.3 | 10.1 |
| **Marzo** | 2090.1 | 10.2 |
| **Abril** | 2095.5 | 8.4 |
| **Mayo** | 1720.5 | 7.4 |
| **Junio** | 1761.5 | 7.2 |
| **Julio** | 1899.1 | 6.6 |
| **Agosto** | 1993.6 | 7.3 |
| **Septiembre** | 2270.9 | 8.0 |
| **Octubre** | 2213.5 | 9.6 |
| **Noviembre** | 2063.8 | 10.0 |
| **Diciembre** | 2407.8 | 10.8 |

### 11.3.2. PRODUCCIÓN DE DESTILADO

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para la producción de destilado en la localidad de El Olivar. Estos promedios mensuales se obtienen para un flujo constante de 280$\left[\frac{kg}{hr}\right]$ de agua salada y un flujo constante de 700 $\left[\frac{kg}{hr}\right]$ de aire. Además, tal como se menciona más arriba la radiación promedio es de 2108 $\left[\frac{kJ}{hr \cdot m^2}\right]$.

La producción de destilado se presenta en su valor de caudal promedio en la Figura 11.1 y en sus valores de producción media diaria en la Figura 11.2.

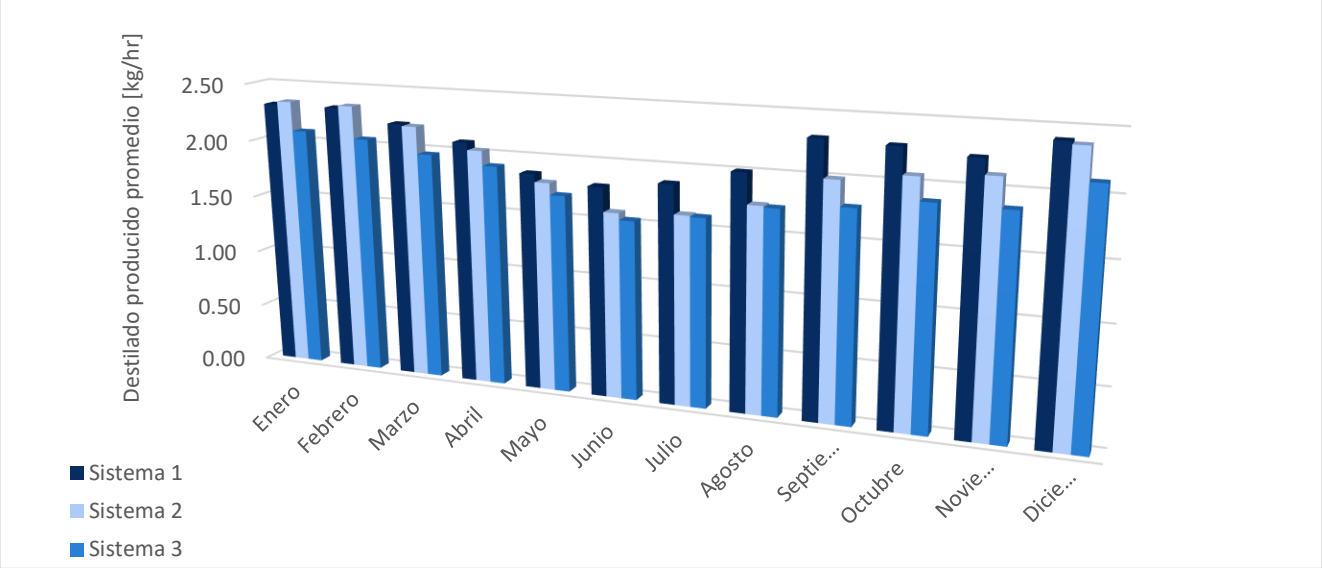



**Figura 11.1 Grafico comparativo de producción de caudal media mensual de destilado para los tres sistemas analizados en El Olivar. Fuente: elaboración propia.**

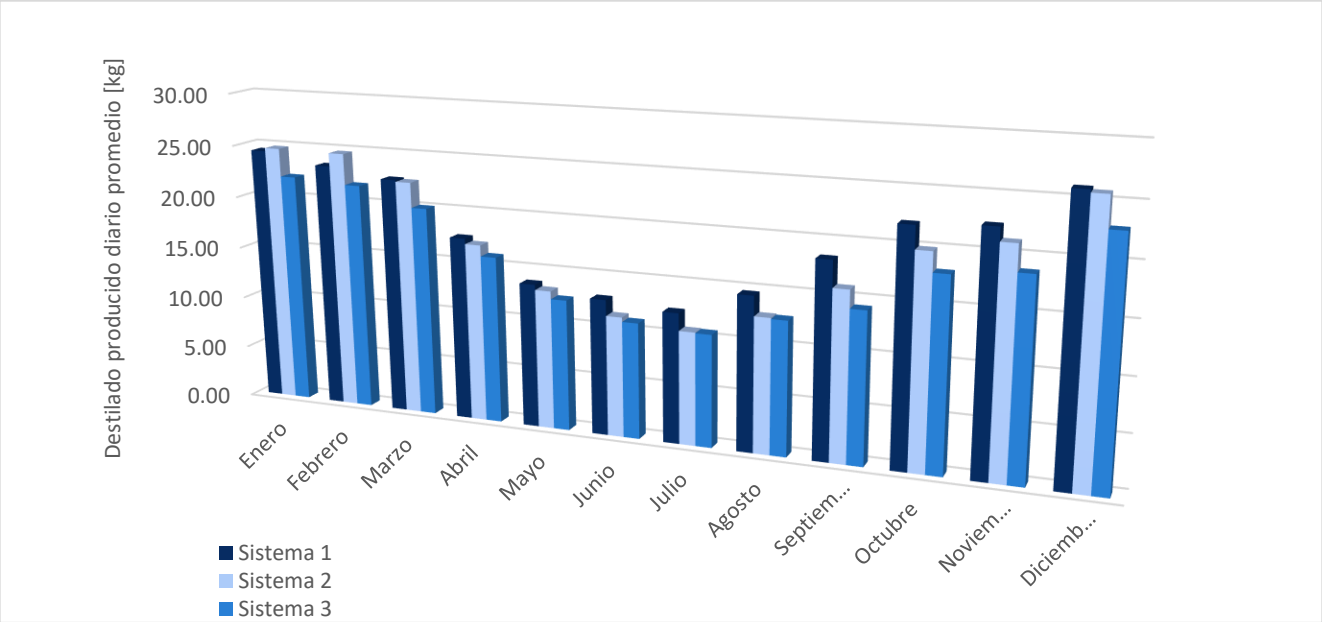



**Figura 11.2 Grafico comparativo de producción diaria media mensual de destilado para los tres sistemas analizados en El Olivar. Fuente: elaboración propia.**

Se puede notar como el sistema 2 consigue una mejor producción de destilado en los meses de enero, febrero y marzo, mientras que el resto del año el sistema 1 consigue los mejores resultados. Esto se debe probablemente a que el sistema 2 puede aprovechar mucho mejor el calor de los primeros meses, gracias a la forma en que lo reparte en el sistema. Por otro lado, el sistema 1 solo depende de los colectores de tubo evacuado, lo que permite que pueda seguir acumulando calor a

pesar de los aumentos en la velocidad del viento y de la disminución de la temperatura ambiental que tiene el resto de los meses. El sistema 3 tiene la menor producción de los tres, teniendo una disminución máxima en el caudal promedio mensual de un 22.7% Durante el mes de septiembre.

### 11.3.3. PARÁMETROS DE COMPARACIÓN GOR Y 1/SIDR

Se obtienen promedios mensuales del GOR y el valor de 1/SIDR y se grafican también en la Figura 11.3 y la Figura 11.4.

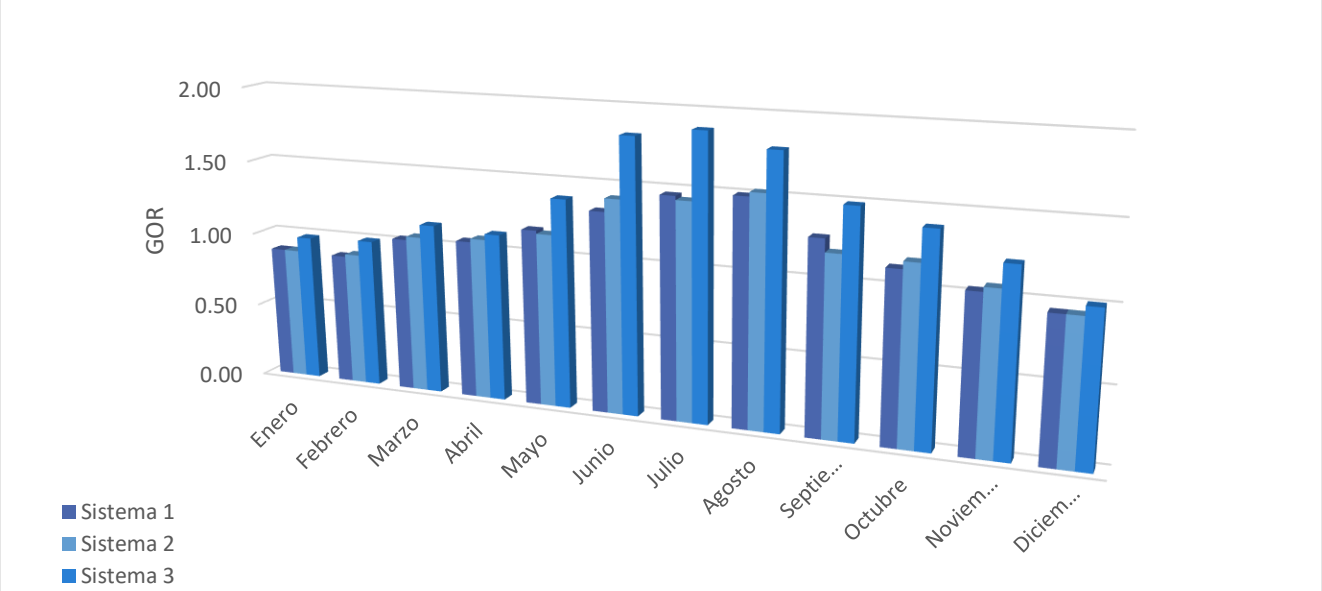



**Figura 11.3 GOR promedio mensual de un año simulado en Valparaíso. Fuente: Elaboración propia.**

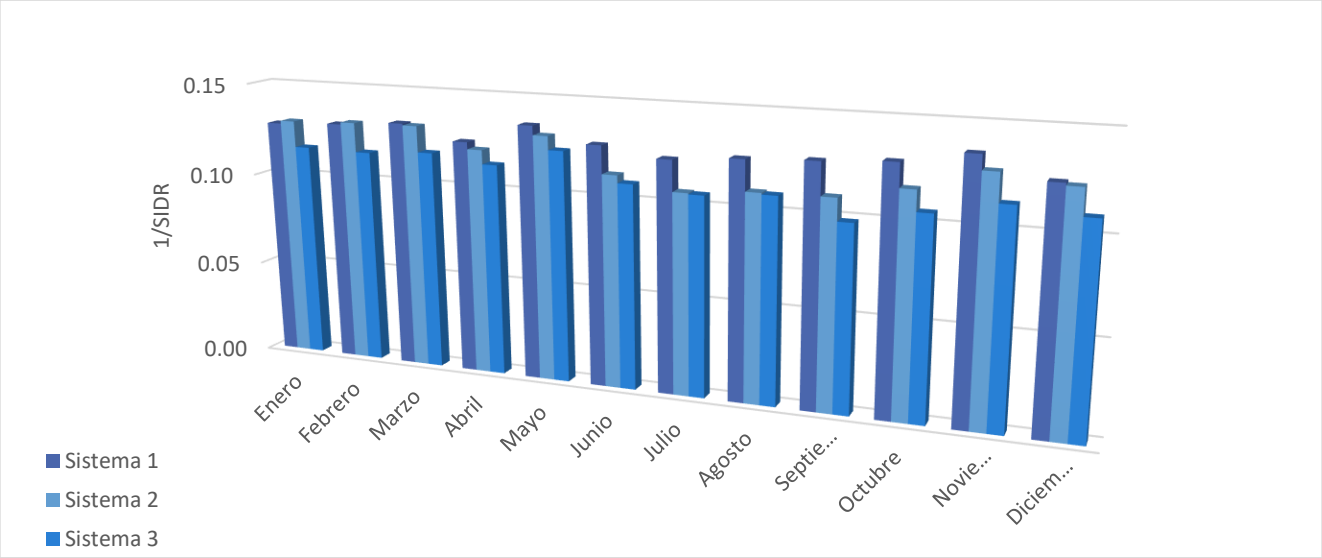



**Figura 11.4 1/SIDR promedio mensual de un año simulado en Valparaíso. Fuente: Elaboración propia.**

En todos los meses el GOR es mayor en el sistema 3. Esto indica que hace un uso más eficiente de la energía térmica que absorbe el sistema que las otras dos primeras opciones. Por otro lado, el sistema 1 consigue un mejor 1/SIDR en casi todos los meses evaluados, lo que indica que este sistema aprovecha mejor la radiación en términos de producción de destilado.

### 11.3.4. COLECCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

En la Figura 11.5 se muestra la colección promedio mensual de energía eléctrica.

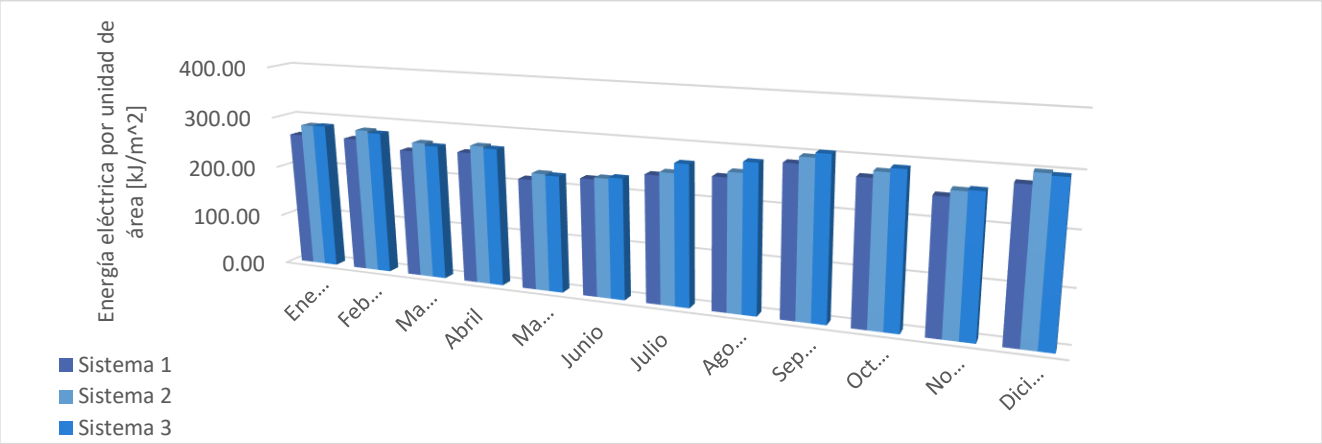



**Figura 11.5 Energía eléctrica producida por unidad de área en un año de simulación en Valparaiso. Fuente: Elaboración propia.**

Los sistemas 2 y 3 muestran la mejor colección de energía eléctrica debido a la refrigeración de los paneles fotovoltaicos. El que consigue la mejor eficiencia eléctrica es el sistema 3, probablemente debido a que el flujo de agua es mayor. Cabe notar que además este último sistema tiene el doble del área de colección que los otros dos, por lo que conseguiría más del doble de la producción total de energía eléctrica que las dos opciones anteriores.

## 11.4. PROMEDIOS MES DE ENERO: COMPARACIÓN DE CIUDADES

La distribución y cantidad de energía absorbida se muestra en la Figura 11.6 para cada una de las ciudades analizadas y durante el mes de enero. Los valores se encuentran en $\left[\frac{kJ}{hr}\right]$. Las tablas de comparación de ciudades se encuentran en las tablas del

Apéndice 5: comparación de Ciudades.

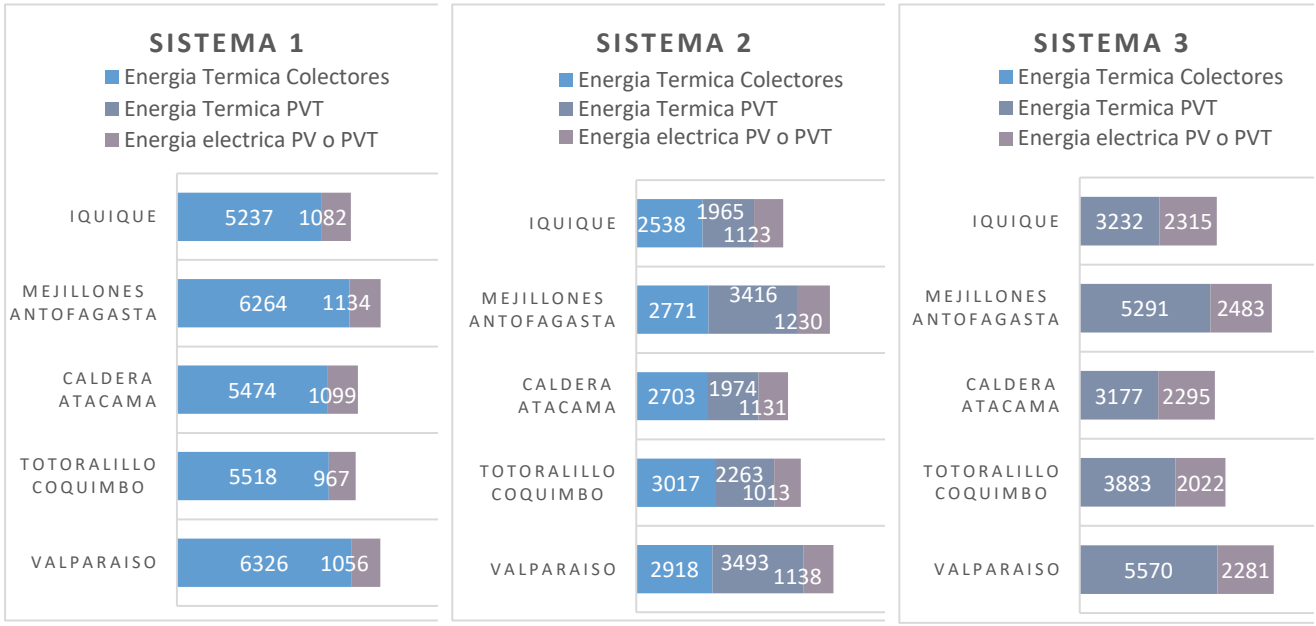
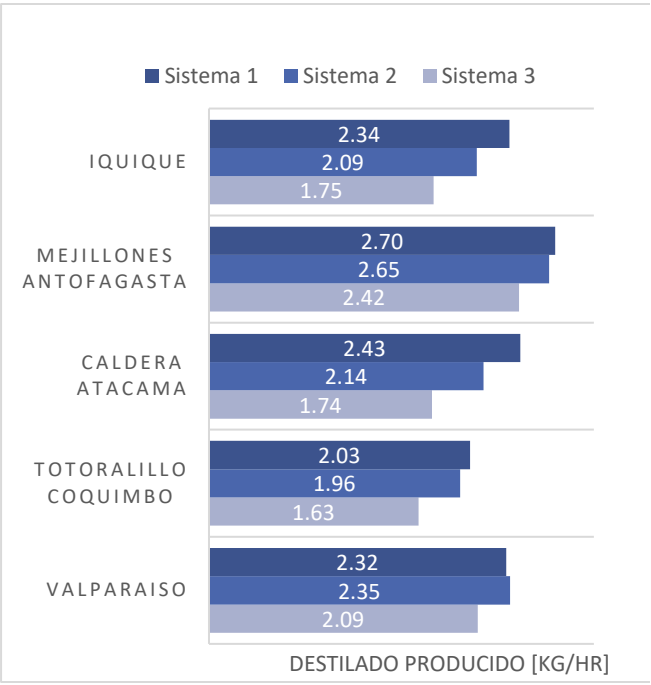



**Figura 11.6 Distribución de energía absorbida en cada ciudad. Fuente: Elaboración propia.**

El destilado producido también se muestra a continuación para cada ciudad analizada y con cada uno de los tres sistemas en la Figura 11.7.



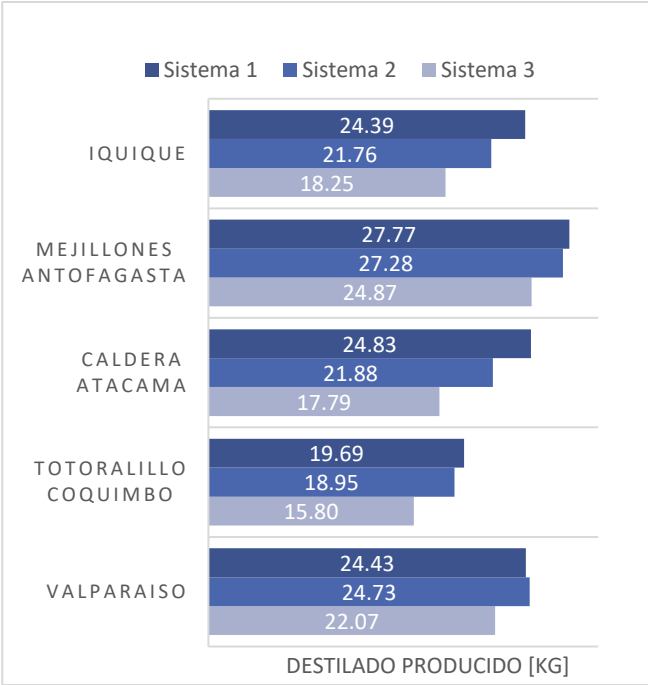




**Figura 11.7 Cantidad de destilado promedio producido en cada ciudad. Fuente: Elaboración propia.**

Además, teniendo la cantidad de radiación de cada una de estas ciudades se puede realizar una correlación entre la radiación y el destilado medio producido. La relación parece ser lineal, a pesar de que se tienen diferentes valores de destilado para radiaciones similares.

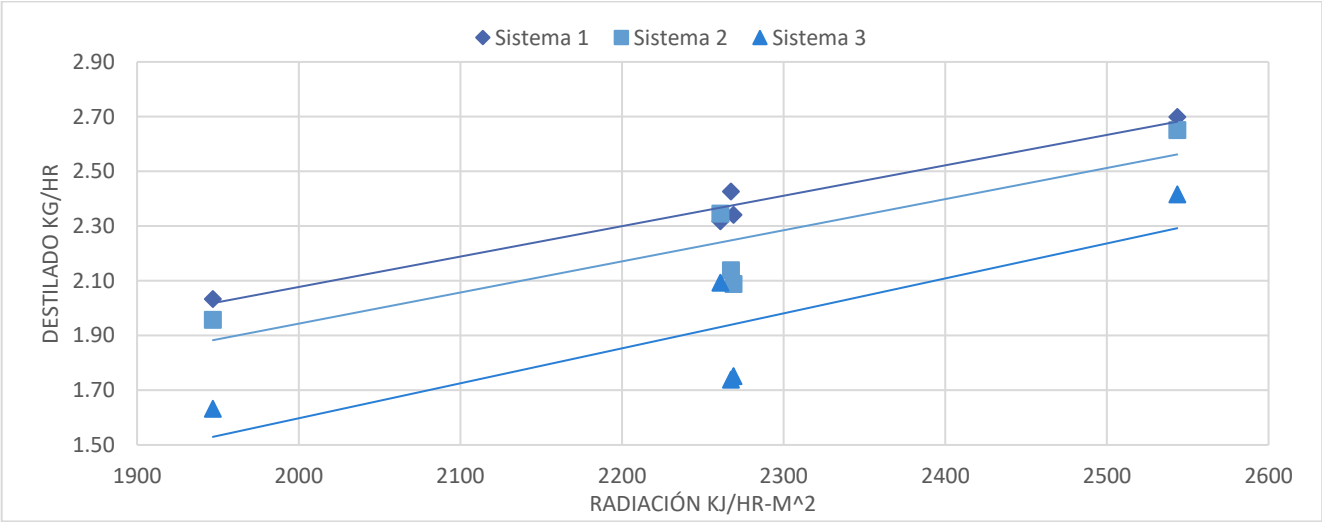



**Figura 11.8 Gráfico de destilado versus radiación. Fuente: Elaboración propia.**

## 11.5. PROMEDIOS MES DE ENERO: COMPARACIÓN DE CUBIERTAS

El sistema PVT tiene una cubierta de vidrio ubicada justo por sobre las celdas fotovoltaicas, que tiene una función de protección, por lo que realmente se le considera un sistema no cubierto. Además de esta cubierta base, se tiene la opción de agregar una segunda, de forma que se deja un espacio de aire entre ella y el panel. Esta opción se evalúa comparándola con el sistema normal, ya que el espacio de aire permite una mejor acumulación de la energía térmica en perjuicio de la energía eléctrica. Los resultados del análisis se muestran en las tablas del

Apéndice 6: Comparación de Cubiertas y se grafican en la Figura 11.9.

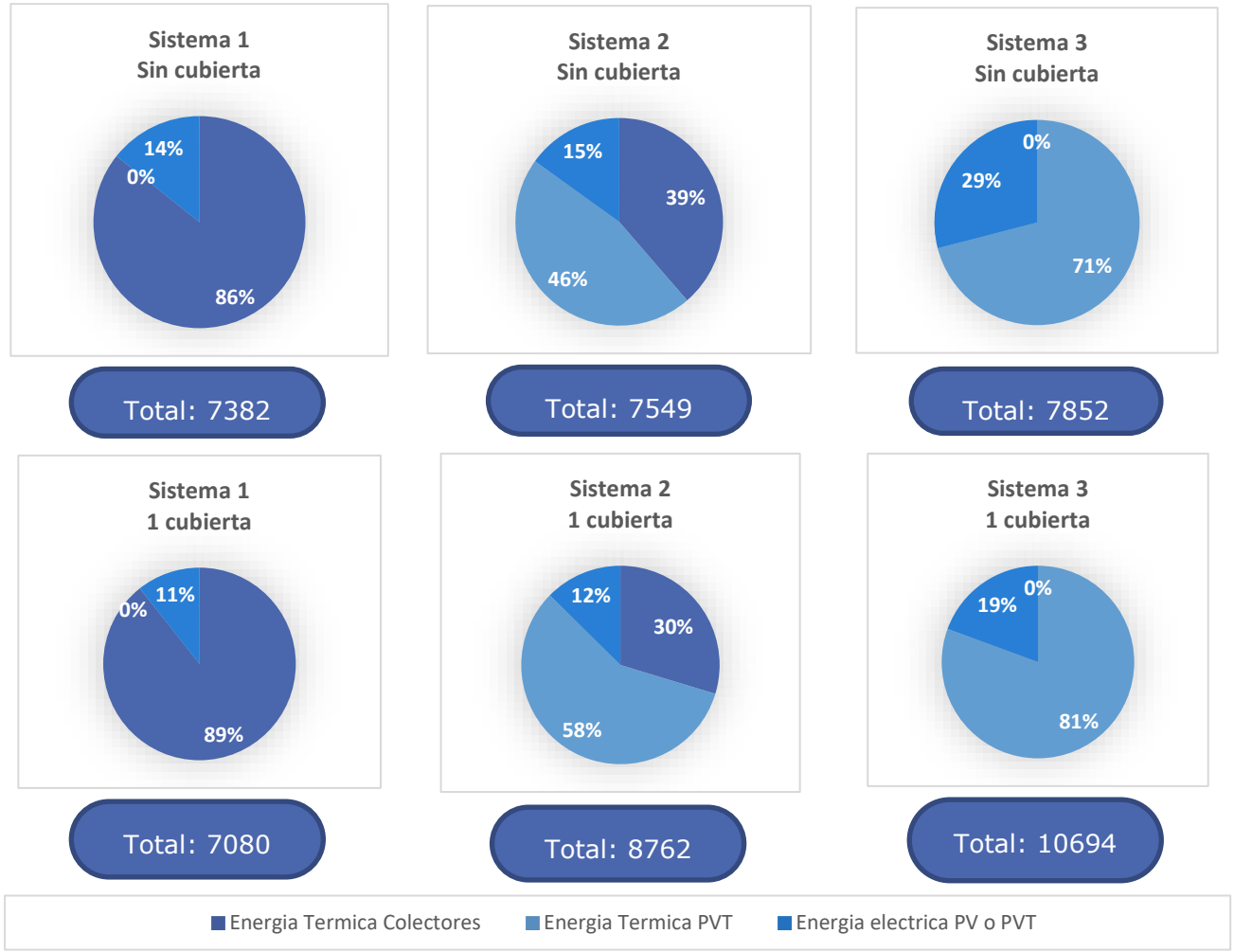



**Figura 11.9 Comparación de Totales y distribución de energía absorbida en sistemas con PVT con y sin cubierta. Fuente: Elaboración propia.**

En cuanto a la producción de destilado, se muestra en la Figura 11.10. En ella se nota un aumento de un 19% en caso del sistema 2 con cubierta y de un 39% en el sistema 3 con cubierta, respecto del sistema base. Es interesante notar que, si bien el sistema 3 es el que menor produce en

condiciones normales, con una simple adición de una cubierta, se pueden alcanzar producciones mayores que con el sistema de colectores.

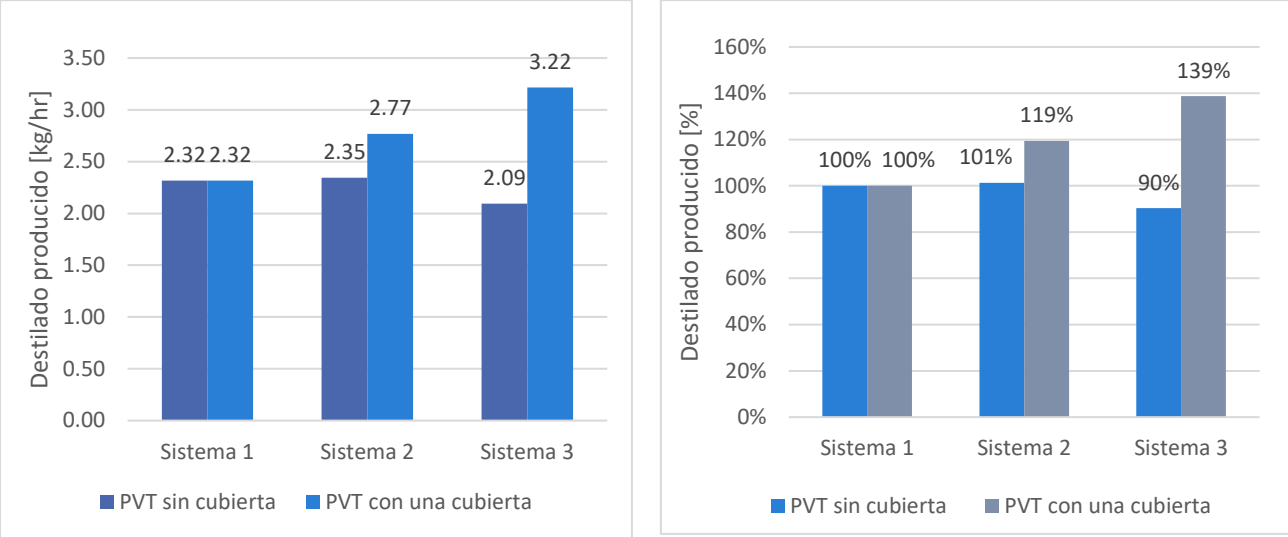



**Figura 11.10 Destilado producido en cada sistema, PVT con y sin cubierta. Fuente: Elaboración propia.**

Por otro lado, al comparar el GOR y el 1/SIDR en la Figura 11.11. Se puede observar como el GOR es preferible en el sistema 3 en ambos casos (con y sin cubierta), a pesar de que es mejor al tener un sistema sin cubierta. Probablemente esto se debe a que el caso de una cubierta entrega significativamente más energía térmica que en un sistema no cubierto, esto disminuye el GOR a pesar de que la cantidad de destilado también aumenta. Por otro lado 1/SIDR aumenta para los dos sistemas cubiertos y con PVT, siendo aun mayor el aumento en el sistema 3. Esto significa un mejor uso de la energía de la radiación en términos de la producción de agua. Sin embargo, cabe notar que la colección de energía eléctrica por unidad de área disminuye a un 90% de la del no cubierto en el caso del sistema 3 y a un 97% en el caso del sistema 2.

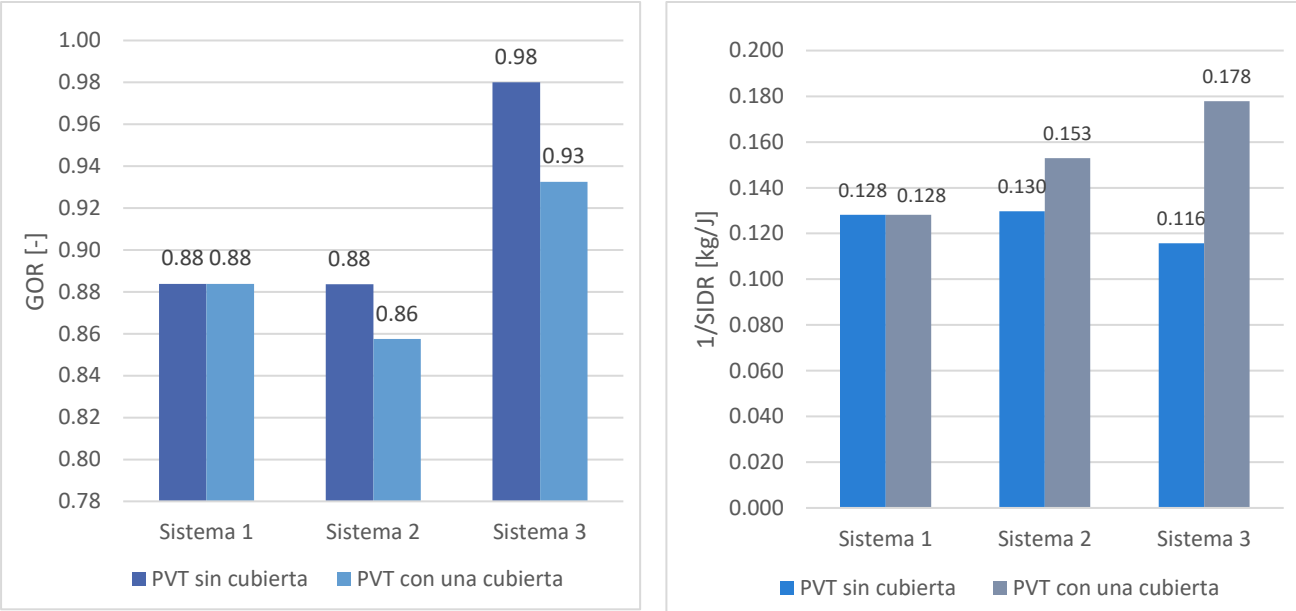



**Figura 11.11 GOR y 1/SIDR al comparar sistemas con PVT con y sin cubierta. Fuente: Elaboración propia.**

## 11.6. PROMEDIOS MES DE ENERO: COMPARACIÓN DE FLUJOS DE AGUA SALADA

Los resultados de la comparación del sistema con diferentes flujos de agua salada se muestran en el

Apéndice 7: Comparación de Flujos. Estos también se presentan en las figuras: Figura 11.12, Figura 11.13, Figura 11.14 y Figura 11.15. Se compara el desempeño para cuatro flujos diferentes de agua salada manteniendo el resto de los parámetros constantes. La simulación se desarrolla para el mes de enero, desde la hora 0 hasta la hora 744.

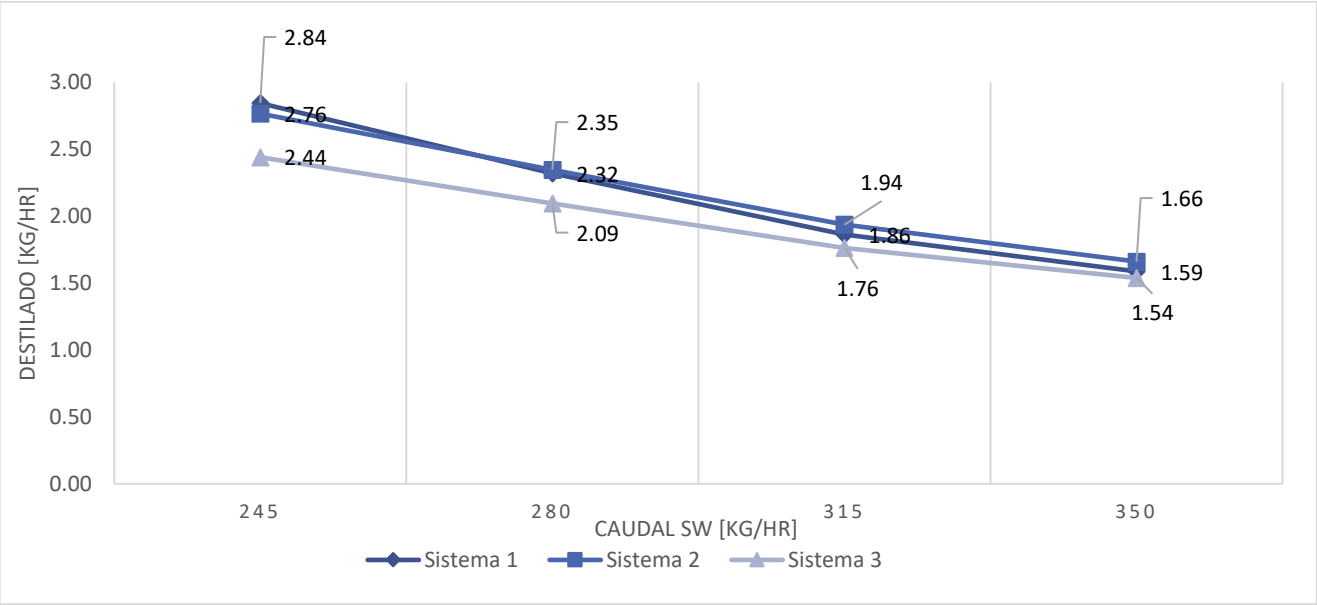



**Figura 11.12 Producción de destilado de los sistemas para diferentes flujos de SW. Fuente: Elaboración propia.**

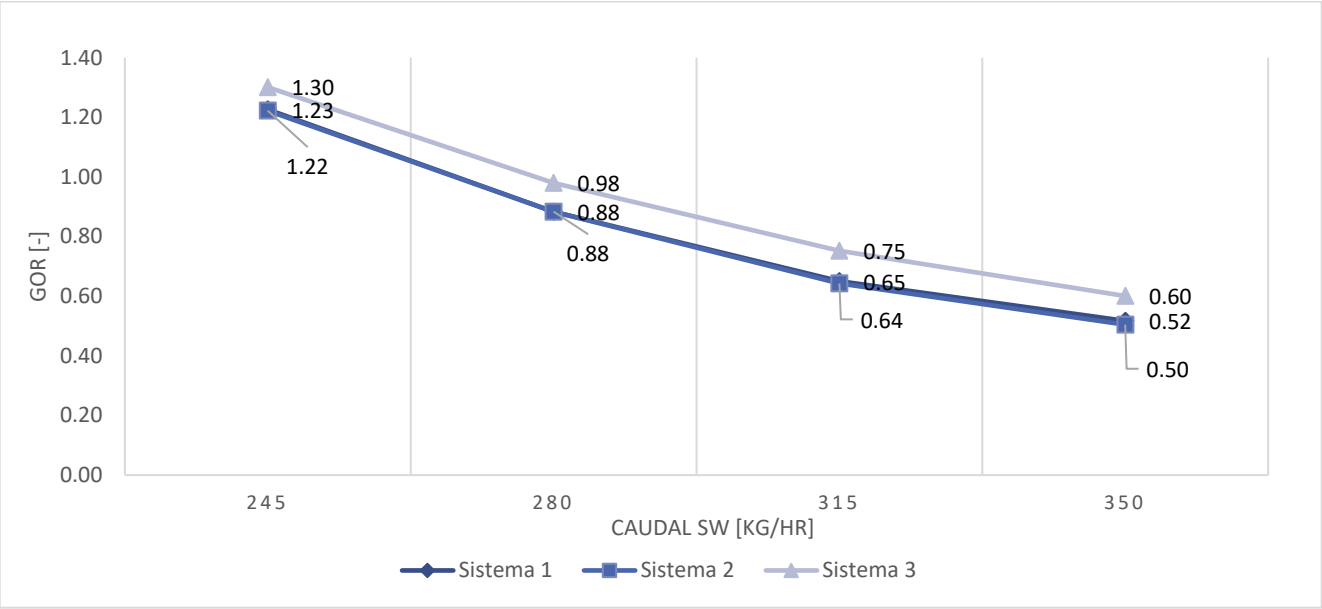



**Figura 11.13 GOR de los sistemas para diferentes flujos de SW. Fuente: Elaboración propia.**

Se puede ver un aumento del Destilado producido a medida que disminuye el flujo de agua salada. La misma tendencia se repite en los índices de desempeño GOR y 1/SIDR. Esta tendencia es común a los tres sistemas y con una pendiente un poco más marcada en el caso del sistema 1 o base. Por otro lado, la colección de energía eléctrica se ve perjudicada por esta disminución de flujo en los

sistemas 2 y 3. Este efecto se da con mayor pendiente en el sistema 2, lo que indica que el sistema 2 es más sensible a los cambios de temperatura causados por los cambios de flujo.

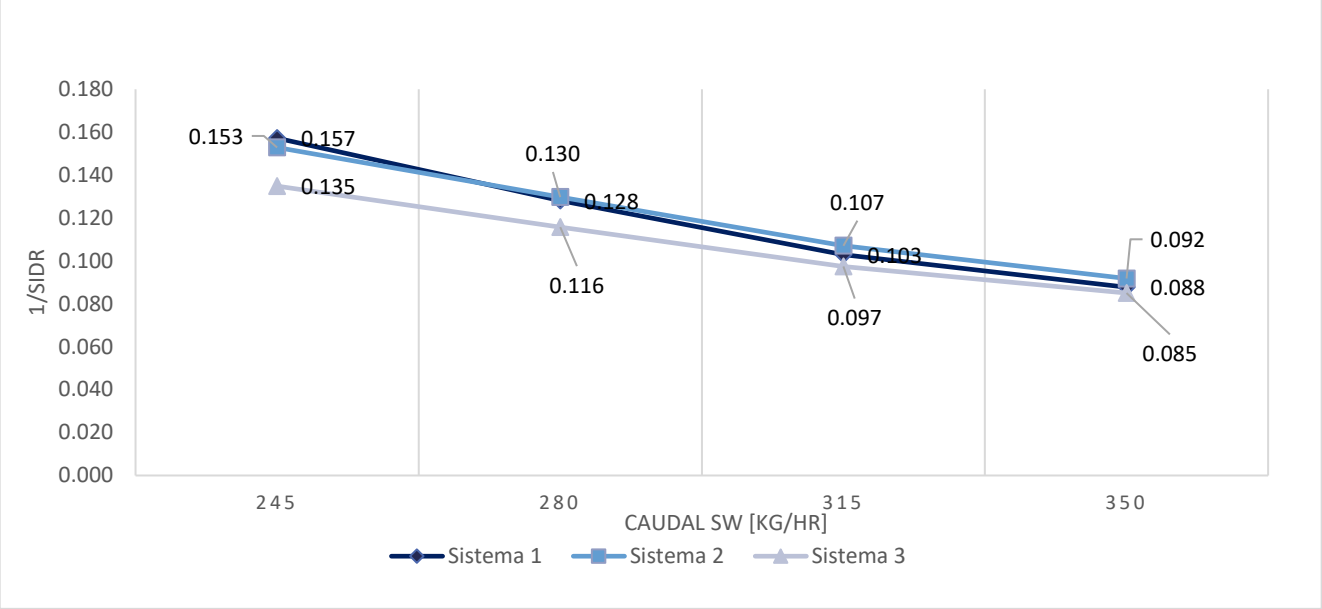



**Figura 11.14 Valor de 1/SIDR de los sistemas para diferentes flujos de SW. Fuente: Elaboración propia.**

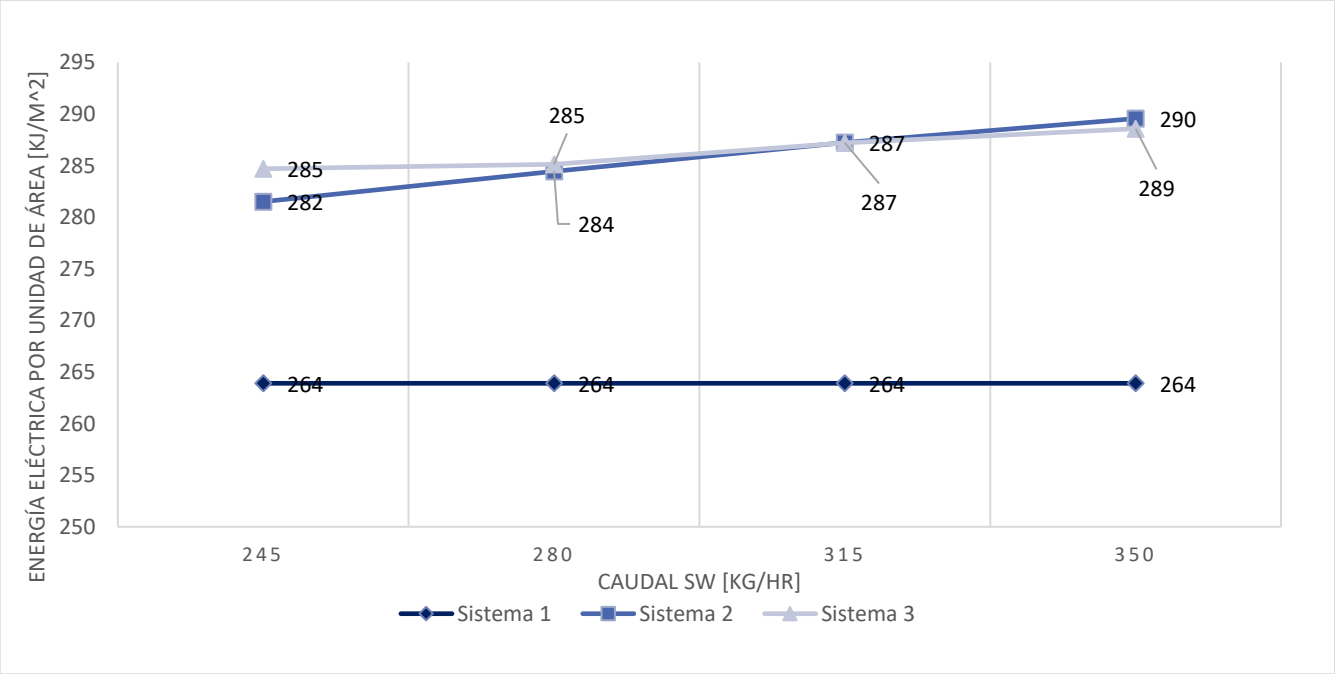



**Figura 11.15 Energía eléctrica por unidad de área de los sistemas para diferentes flujos de SW. Fuente: Elaboración propia.**

## 11.7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Gracias a la versatilidad del modelo numérico se pudieron hacer diferentes análisis ubicando los tres sistemas evaluados en diferentes condiciones climática y de construcción. En casi todos los casos evaluados el sistema 1 tiene mejor producción de agua, seguido por el sistema 2 y el sistema 3. Sin embargo, estos últimos dos tienen una mejor colección de energía eléctrica y mayores eficiencias energéticas, las cuales se evalúan con los índices GOR y 1/SIDR.

Todos los sistemas muestran un buen desempeño en las regiones de la zona norte para las cuales fueron evaluados, especialmente para las regiones de Antofagasta, Atacama y Valparaíso, donde los efectos de bruma costera son menos perjudiciales para la radiación total. En suma, el sistema trabaja mejor con mayores radiaciones, por lo que es recomendable buscar estas condiciones.

Si bien el sistema 2 y el sistema 3 presentan una disminución de la producción de agua, también son sistemas que ocupan menos espacio de instalación y que son más baratos ya que también utilizan menos elementos. Además, en caso de utilizar una cubierta en los PVT, los sistemas 2 y 3 consiguen mayores producciones de agua gracias a la mayor energía térmica absorbida.

Por otro lado, el sistema 3 tiene la capacidad de producir más del doble de energía térmica que los dos primeros sistemas, ocupando la misma cantidad de área instalada que el sistema 2 y menos área instalada que el sistema 1. Esta diferencia de energía eléctrica se mantiene incluso para el caso de un PVT con cubierta, por lo que el sistema 3 sería capaz de obtener más del doble de la energía eléctrica, con menor área y mayor producción de agua que el sistema base. Por lo mismo el sistema 3 cubierto se recomienda para la construcción de futuras versiones de la desalinizadora HDH.

Debido a las restricciones del sistema numérico la disminución de los flujos de aire y agua se hace difícil bajo los límites evaluados. Sin embargo, se puede notar que dentro del rango analizado la disminución del flujo de agua salada mejora el rendimiento del sistema en términos de producción de destilado.

# 12. CONCLUSIONES

Del análisis del estado del arte se puede comprender que existe un gran desarrollo en tecnologías de sistemas PVT, siendo un elemento cuyo diseño se actualiza constantemente, para responder a las nuevas posibilidades en materiales y métodos productivos. Su creciente presencia en el mercado también justifica su mayor utilización en diversas aplicaciones, de las cuales la desalinización en una de las más prometedoras. Especialmente en desalinización por métodos que utilizan la energía térmica, los sistemas PVT tienen una posibilidad de integración, a pesar de que este tipo de integración haya comenzado a estudiarse solamente en los años recientes.

Se consiguió simular mediante el software TRNSYS un sistema HDH basado en el funcionamiento de uno real. Este sistema fue validado en cada uno de sus elementos, por separado y luego, en conjunto. La existencia de este modelo numérico asegura un aumento de las posibilidades de investigación en este tipo de sistema, ya que cualquier adición, modificación o rediseño de este, puede aplicarse con facilidad en la simulación.

Se logró programar un elemento PVT en base al modelo numérico desarrollado por Bilbao J. [24], para luego añadir este "Type" a la simulación ya mencionada. El sistema se evalúa en dos configuraciones diferentes de funcionamiento del PVT, las cuales se compararon con el funcionamiento del sistema base.

Según el análisis de los resultados presentados, se llega a la recomendación de implementar sistemas PVT en reemplazo del campo de colectores solares, debido a que esta alternativa consigue aumentar la producción de energía eléctrica y con un bajo perjuicio de la producción de destilado. Esta también es la alternativa que consigue una mejor producción de destilado, con relación al área de instalación ocupada. En suma, esto significa un mayor potencial de cogeneración, a la vez que requiere un menor costo de instalación.

# 13. TRABAJOS FUTUROS

El modelo construido tiene mucho potencial para futuras investigaciones. La ventaja del software TRNSYS es que permite probar múltiples configuraciones y diversas tecnologías. Mientras exista el modelo numérico, se podrán programar Types que permitan simular distintas posibilidades para este sistema.

Una de las restricciones de modelo numérico actual es que está restringido a flujos de aire mayores a los $700\left[\frac{kg}{hr}\right]$ y de agua salada mayores a $240\left[\frac{kg}{hr}\right]$ . Esto se debe a que el ciclo de aire solo funciona en condiciones en que el aire se satura completamente, ya que no es capaz de evaluar las curvas psicométricas fuera de esa condición. Por lo tanto, futuros trabajos deben ir enfocados en cambiar las calculadoras que representan deshumidificado y humidificador, por elementos programados o Types, que funcionen en diversas condiciones. Esto también ayudaría a mejorar la estabilidad numérica del sistema evitando los errores.

Otras opciones futuras para el sistema es evaluar el cambio del desempeño al agregar estanques. Estos podrían funcionar como baterías térmicas, incrementando los horarios de funcionamiento del sistema. También se podían evaluar combinaciones de configuraciones en dos o tres etapas para aumentar la producción o la recuperación de destilado. Finalmente se pueden probar sistemas PVT en redes más complejas de cogeneración, enfocados a una conexión con sistemas domiciliarios o con sistemas de producción industrial.

# 14. REFERENCIAS


[1] WMO/Unesco Panel on Terminology. International Glossary of Hydrology: Glossaire International D'hydrologie. [Mezhdunarodnyĭ Gidrologicheskiĭ Slovar' (romanized Form)] Glosario Hidrológico Internacional. Secretariat of the World Meteorological Organization, 1974.

[2] Belessiotis, V., Kalogirou, S., & Delyannis, E. Desalination Methods and Technologies—Water and Energy. Thermal Solar Desalination, 1–19, 2016.

[3] Mauricio Sebastián Rodríguez Bahamondes. Construcción y puesta en marcha del sistema de desalinización por humidificación y deshumidificación de dos etapas acoplado con energía solar. B.S. thesis, Santiago/Universidad Técnica Federico Santa María, 2019.

[4] José Emiliano Aburto Valenzuela. Rediseño de prototipo de desalinización solar con sistema hdh. B.S. thesis, Santiago/Universidad Técnica Federico Santa María, 2018.

[5] Esteban Ignacio Leiva Flores. Modelamiento numérico y análisis de configuraciones de sistemas de destilación por humidificación y deshumidificación(hdh). B.S. thesis, Santiago/Universidad Técnica Federico Santa María A, 2018.

[6] Mauricio Antonio Reyes Valenzuela. Diseño y construcción de sistema de desalinización solar por método de humidificación-deshumidificación (hdh) acoplado con energía solar. B.S. thesis, Santiago/Universidad Técnica Federico Santa María, 2017.

[7] Hernandez C. . Modelamiento computacional de sistema de desalinización por método de humidificación-deshumidificación. (Memoria de pregrado inédita). Universidad Técnica Federico Santa María, 2017.

[8] David Javier Saldivia Salazar. Simulación computacional de sistema térmico de desalinización acoplado con energía solar. B.S. thesis, Valparaíso/Universidad técnica Federico Santa María, 2015.

[9] T.T. Chow, A review on photovoltaic/thermal hybrid solar technology, Applied Energy, Volume 87, Issue 2, Pages 365-379, 2010.

[10] Du, D., Darkwa, J. & Kokogiannakis, G. Thermal management systems for Photovoltaics (PV) installations: A critical review. Solar Energy, 97 (November), 238-254, 2013.

[11] J.K. Tonui, Y. Tripanagnostopoulos, Performance improvement of PV/T solar collectors with natural air flow operation, Solar Energy, Volume 82, Issue 1, 1-12, 2008.

[12] Adel A. Hegazy, Comparative study of the performances of four photovoltaic/thermal solar air collectors, Energy Conversion and Management, Volume 41, Issue 8, 861-881, 2000.

[13] Dupeyrat, P., Ménézo, C., & Fortuin, S. Study of the thermal and electrical performances of PVT solar hot water system. Energy and Buildings, 68, 751–755, 2014.

[14] Aste, N., Leonforte, F., & Del Pero, C. Design, modeling and performance monitoring of a photovoltaic–thermal (PVT) water collector. Solar Energy, 112, 85–99, 2015.

[15] N. Aste, C. Del Pero, F. Leonforte, Water PVT Collectors Performance Comparison, Energy Procedia, Volume 105, Pages 961-966, 2017.

[16] Brahim, Taoufik & Jemni, Abdelmajid. Economical assessment and applications of photovoltaic/thermal hybrid solar technology: A review. 153, 540–561, 2017.

[17] Tiwari, G. N., & Gaur, A. . Photovoltaic thermal (PVT) systems and its applications. 2nd International Conference on Green Energy and Technology, 2014.

[18] Giwa Adewale, Fath Hassan, and W. Hasan. Shadi. Humidification dehumidification desalination process driven by photovoltaic thermal energy recovery (pv-hdh) for small-scale sustainable water and power production, Desalination 377, pages 163–171, 2016.

[19] Amin M. Elsafi, Integration of humidification-dehumidification desalination and concentrated photovoltaic-thermal collectors: Energy and exergy-costing analysis, Desalination, Volume 424, 17-26, 2017.

[20] Anand, B., Srinivas, T. Performance evaluation of photovoltaic/thermal–HDH desalination system. Appl. Sol. Energy 53, 243–249, 2017.

[21] Amir Mahmoud, Hassan Fath, Mahmoud Ahmed, Enhancing the performance of a solar driven hybrid solar still/humidification-dehumidification desalination system integrated with solar concentrator and photovoltaic panels, Desalination, Volume 430, Pages 165-179, 2018.

[22] Gabrielli, P., Gazzani, M., Novati, N., Sutter, L., Simonetti, R., Molinaroli, L., ... & Mazzotti, M. Combined water desalination and electricity generation through a humidification-dehumidification process integrated with photovoltaic-thermal modules: Design, performance analysis and techno-economic assessment. Energy Conversion and Management: X, 1, 100004, 2019.

[23] R. Santosh, T. Arunkumar, R. Velraj, G. Kumaresan, Technological advancements in solar energy driven humidification-dehumidification desalination systems - A review, Journal of Cleaner Production, Volume 207, Pages 826-845, 2019.
[24] Bilbao, J., Sproul, A. B. Analysis of Flat Plate Photovoltaic-Thermal (PVT) Models, World Renewable Energy Forum (WREF) Including World Renewable Energy Congress XII and Colorado Renewable Energy Society (CRES) Annual Conference, Denver, Colorado, USA, 2012.
[25] Ministerio de Energía. Explorador Solar para Autoconsumo. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile. 2016. Disponible en: http://walker.dgf.uchile.cl/Explorador/Solar/doc/Manual_explorador_solar_Noviembre_2015_final.pdf
[26] Çengel, Y. A., & Ghajar, A. J.. Heat and mass transfer: Fundamentals & applications. New York: McGraw-Hill. 2011.
[27] TRNSYS. TRNSYS 17 Reference Manual. Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin-Madison; 2012.
[28] Klein, S. A., and Alvarado, F.L., 2001, Engineering Equation Solver (EES), F-Chart Software, Madison. WI
[29] Hernández C, Reyes M, Barraza R, Rheinschmidt U, Saldivia D, Vasquez-Padilla R. Experimental and numerical evaluation of a humidification dehumidification desalination unit driven by solar energy. AIP Conf Proc. 2033, 2018.

# 15. APÉNDICES

## 15.1. APÉNDICE 1: MODELO NUMÉRICO DE LOS COLECTORES

La ecuación general en primer orden para modelar un fluido en un colector solar propuesta por Duffie y Beckman en 1991, se presenta en (15.1).

$$C\frac{dT}{dt} = F' \cdot \left(S - A \cdot U_L(T - T_a)\right) - \dot{m} \cdot C_p \cdot (T - T_{in}) \tag{15.1}$$

Donde $C$ es la capacitancia del colector, incluido el fluido y $F'$ es el factor de eficiencia de aleta del colector. $U_L$ es el coeficiente de pérdida de calor global por unidad de área. Los valores $\dot{m}_c$ y $C_{pc}$ son el flujo másico y el calor especifico del fluido de trabajo. $T$ es la temperatura del fluido en cada punto, $T_a$ es la temperatura ambiente y $T_{in}$ la temperatura de entrada del fluido al colector.

$$S = (\tau\alpha)_n \cdot IAM \cdot A \cdot I_\gamma \tag{15.2}$$

Además $S$ es el valor de la irradiación absorbida por el colector y se calcula mediante la fórmula (15.2), donde $(\tau\alpha)$ es el producto de la transmitancia de la cubierta y la absortancia de la placa absorbedora, que se calcula para cada una de las radiaciones. Los $IAM$ son los modificadores de ángulo de incidencia, que multiplican cada una de las radiaciones recibidas para ajustar su magnitud según su ángulo de impacto. $A$ es el área del colector. Por último $I_\gamma$ representa las diferentes radiaciones que recibe el colector: directa, normal, difusa y reflejada.

Se utiliza una ecuación más exacta que considera una variación del coeficiente de pérdida en forma cuadrática y no lineal como en el caso de la fórmula (15.1). En este caso el coeficiente de pérdida cuadrático es $U_{L/T}$ en la ecuación (15.3).

$$C\frac{dT}{dt} = F' \left(\left(S - A \cdot U_L(T - T_a)\right) - A \cdot U_{L/T}(T - T_a)|(T - T_a)|\right) - \dot{m} \cdot C_p(T - T_{in}) \tag{15.3}$$

Luego el colector se discretiza en nodos isotérmicos, cuya ecuación gobernante es (15.4).

$$C_j\frac{dT_j}{dt} = F' \left(\left(S_j - A_j \cdot U_L(T_j - T_a)\right) - A_j \cdot U_{L/T}(T_j - T_a)|(T_j - T_a)|\right) - \dot{m} \cdot C_p(T_j - T_{in,j}) \tag{15.4}$$

Donde:

$$C_j = \frac{C}{\#Nodos} \tag{15.5}$$

$$A_j = \frac{A}{\#Nodos} \tag{15.6}$$

$$S_j = \frac{S}{\#Nodos} \tag{15.7}$$

Luego esta ecuación se resuelve de forma analítica al dejarla en la forma de la ecuación (15.8).

$$\frac{dT_j}{dt} = a \cdot T^2{}_j + b \cdot T_j + c \tag{15.8}$$

Donde los coeficientes $a$, $b$ y $c$ se calculan de forma diferenciada para cada caso con $T > T_a$, $T < T_a$ y $T = T_a$. Luego con estos coeficientes se puede obtener la temperatura final de cada nodo, en una solución que también se separa por casos dependiendo del valor de $a$. La solución completa a esta ecuación diferencial se encuentra en los manuales de referencia [27].

La transferencia de energía se calcula mediante la eficiencia del colector según la ecuación (15.9).

$$\eta = \frac{Q_u}{A \cdot I_\gamma} \tag{15.9}$$

$$\eta = F_R \cdot (\tau\alpha)_n - F_R \cdot U_L \cdot \frac{(T_i - T_a)}{I_\gamma} - F_R \cdot U_{L/T} \cdot \frac{(T_i - T_a)|(T_i - T_a)|}{I_\gamma} \tag{15.10}$$

En el sistema presentado el colector funciona en el modo de prueba 1, lo que significa que la eficiencia se calcula de forma cuadrática en base a los parámetros entregados al sistema. Por lo que al reescribir la ecuación esta quedaría de la manera es que se muestra en (15.11).

$$\eta = a_0 - a_1 \cdot \frac{(\Delta T)}{I_\gamma} + a_2 \cdot \frac{(\Delta T)|(\Delta T)|}{I_\gamma} \tag{15.11}$$

$$\Delta T = T_i - T_a \tag{15.12}$$

Los coeficientes $a_0$, $a_1$ y $a_2$ son entregados para las condiciones de prueba. De esta manera se pueden obtener los coeficientes $F_R$, $U_L$ y $U_{L/T}$. Luego $F'$ puede obtenerse por una relación con $F_R$ que se detalla en la referencia [28].

## 15.2. APÉNDICE 2: COMPARACIÓN DE SISTEMAS Y TABLAS DE ERRORES (COLECTORES)

| Dia 26 | Real | | TRNSYS | | | | EES | | | | TRNSYS sobre EES | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Hora | T agua out | T agua out | T agua out | error | T agua out | error | T agua out | | T aire out | | T agua out | error | T agua out | error |
| | Colectores | IDC | Colectores | | IDC | | Colectores | | IDC | | Colectores | | IDC | |
| **10** | 38.6 | 17.4 | 26.5 | 31% | 24.6 | 41% | 33.6 | 13 % | 29.1 | 67 % | 26.5 | 21% | 24.6 | 16% |
| **10.2** | 36.6 | 30 | 31.1 | 15% | 27.5 | 8% | 33.7 | 8% | 28.7 | 4% | 31.1 | 8% | 27.5 | 4% |
| **10.4** | 33.7 | 28.7 | 34.1 | 1% | 29.4 | 2% | 35.4 | 5% | 30.1 | 5% | 34.1 | 4% | 29.4 | 2% |
| **10.6** | 34.7 | 29.5 | 36.2 | 4% | 30.8 | 5% | 36.6 | 5% | 30.9 | 5% | 36.2 | 1% | 30.8 | 0% |
| **10.8** | 36.4 | 30.6 | 38.0 | 4% | 32.1 | 5% | 37.9 | 4% | 31.9 | 4% | 38.0 | 0% | 32.1 | 1% |
| **11** | 38.1 | 32 | 39.5 | 4% | 33.2 | 4% | 39.3 | 3% | 33 | 3% | 39.5 | 1% | 33.2 | 1% |
| **11.2** | 39.6 | 33 | 41.1 | 4% | 34.5 | 5% | 40.5 | 2% | 33.9 | 3% | 41.1 | 1% | 34.5 | 2% |
| **11.4** | 41.4 | 34.5 | 42.4 | 2% | 35.6 | 3% | 42.1 | 2% | 35.2 | 2% | 42.4 | 1% | 35.6 | 1% |
| **11.6** | 43 | 35.6 | 43.7 | 2% | 36.6 | 3% | 43.3 | 1% | 36.2 | 2% | 43.7 | 1% | 36.6 | 1% |
| **11.8** | 44.1 | 36.7 | 44.9 | 2% | 37.6 | 3% | 44.5 | 1% | 37.3 | 2% | 44.9 | 1% | 37.6 | 1% |
| **12** | 45.5 | 37.8 | 46.2 | 1% | 38.6 | 2% | 45.7 | 0% | 38.3 | 1% | 46.2 | 1% | 38.6 | 1% |
| **12.2** | 46.9 | 38.8 | 47.3 | 1% | 39.4 | 2% | 46.9 | 0% | 39.3 | 1% | 47.3 | 1% | 39.4 | 0% |
| **12.4** | 47.8 | 39.6 | 48.2 | 1% | 40.0 | 1% | 47.8 | 0% | 40.1 | 1% | 48.2 | 1% | 40.0 | 0% |
| **12.6** | 48.6 | 40.2 | 49.0 | 1% | 40.7 | 1% | 48.5 | 0% | 40.5 | 1% | 49.0 | 1% | 40.7 | 0% |
| **12.8** | 49.3 | 40.8 | 49.9 | 1% | 41.5 | 2% | 49.2 | 0% | 41.1 | 1% | 49.9 | 1% | 41.5 | 1% |
| **13** | 50.7 | 41.8 | 50.6 | 0% | 42.0 | 0% | 50.2 | 1% | 42 | 0% | 50.6 | 1% | 42.0 | 0% |
| **13.2** | 51.3 | 42.2 | 51.2 | 0% | 42.3 | 0% | 50.7 | 1% | 42.4 | 0% | 51.2 | 1% | 42.3 | 0% |
| **13.4** | 51.6 | 42.4 | 51.5 | 0% | 42.4 | 0% | 51 | 1% | 42.6 | 0% | 51.5 | 1% | 42.4 | 0% |
| **13.6** | 51.5 | 42.1 | 51.7 | 0% | 42.5 | 1% | 51.1 | 1% | 42.5 | 1% | 51.7 | 1% | 42.5 | 0% |
| **13.8** | 51.4 | 42.3 | 51.9 | 1% | 42.7 | 1% | 51.2 | 0% | 42.5 | 0% | 51.9 | 1% | 42.7 | 0% |
| **14** | 51.5 | 42.2 | 52.4 | 2% | 43.5 | 3% | 51.3 | 0% | 42.7 | 1% | 52.4 | 2% | 43.5 | 2% |
| **14.2** | 52.1 | 43.2 | 53.0 | 2% | 44.3 | 3% | 52.4 | 1% | 43.9 | 2% | 53.0 | 1% | 44.3 | 1% |
| **14.4** | 53.2 | 44.3 | 53.6 | 1% | 45.0 | 2% | 53.1 | 0% | 44.8 | 1% | 53.6 | 1% | 45.0 | 0% |
| **14.6** | 53.8 | 45 | 53.8 | 0% | 45.0 | 0% | 53.7 | 0% | 45.5 | 1% | 53.8 | 0% | 45.0 | 1% |
| **14.8** | 53.9 | 44.9 | 53.4 | 1% | 44.3 | 1% | 53.2 | 1% | 45.1 | 0% | 53.4 | 0% | 44.3 | 2% |
| **15** | 52.7 | 43.6 | 52.7 | 0% | 43.7 | 0% | 51.9 | 2% | 43.8 | 0% | 52.7 | 2% | 43.7 | 0% |
| **15.2** | 51.5 | 42.7 | 52.0 | 1% | 43.1 | 1% | 51 | 1% | 43 | 1% | 52.0 | 2% | 43.1 | 0% |
| **15.4** | 50.5 | 41.8 | 51.3 | 2% | 42.7 | 2% | 50.3 | 0% | 42.4 | 1% | 51.3 | 2% | 42.7 | 1% |
| **15.6** | 49.7 | 41.5 | 50.6 | 2% | 42.2 | 2% | 49.6 | 0% | 42 | 1% | 50.6 | 2% | 42.2 | 0% |
| **15.8** | 48.9 | 40.9 | 50.2 | 3% | 41.9 | 2% | 48.9 | 0% | 41.5 | 1% | 50.2 | 3% | 41.9 | 1% |
| **16** | 48.2 | 40.3 | 49.9 | 3% | 41.5 | 3% | 48.9 | 1% | 41.4 | 3% | 49.9 | 2% | 41.5 | 0% |
| **16.2** | 47 | 39.4 | 48.9 | 4% | 40.6 | 3% | 48.4 | 3% | 41 | 4% | 48.9 | 1% | 40.6 | 1% |
| **16.4** | 44.7 | 38 | 46.7 | 4% | 38.9 | 2% | 46.8 | 5% | 39.8 | 5% | 46.7 | 0% | 38.9 | 2% |
| **16.6** | 41.9 | 36.1 | 43.0 | 3% | 36.9 | 2% | 43.1 | 3% | 37.2 | 3% | 43.0 | 0% | 36.9 | 1% |
| **16.8** | 38.3 | 34.4 | 37.0 | 3% | 33.1 | 4% | 38.1 | 1% | 34.4 | 0% | 37.0 | 3% | 33.1 | 4% |
| **17** | 34.6 | 32.3 | 33.0 | 5% | 31.1 | 4% | 29.1 | 16 % | 28.8 | 11 % | 33.0 | 14% | 31.1 | 8% |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **17.2** | 32.4 | 30.6 | 30.5 | 6% | 29.0 | 5% | 17.9 | 45 % | 23 | 25 % | 30.5 | 70% | 29.0 | 26% |
| **17.4** | 32.5 | 29.2 | 28.6 | 12% | 27.5 | 6% | | | | | 28.6 | | 27.5 | |
| **17.6** | 36.1 | 28.2 | 27.5 | 24% | 26.8 | 5% | | | | | 27.5 | | 26.8 | |
| **17.8** | 38.6 | 28.5 | 21.2 | 45% | 16.2 | 43% | | | | | 21.2 | | 16.2 | |
| | | | MAX | 45% | MAX | 43% | MAX | 45 % | MAX | 67 % | MAX | 70% | MAX | 26% |
| | | | MIN | 0% | MIN | 0% | MIN | 0% | MIN | 0% | MIN | 0% | MIN | 0% |
| | | | PROM | 5% | PROM | 5% | PROM | 3% | PROM | 4% | PROM | 4% | PROM | 2% |

| **Día 27** | **Real** | | **TRNSYS** | | | | **EES** | | | | **TRNSYS sobre EES** | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Hora** | T agua out | T agua out | T agua out | error | T agua out | error | T agua out | | T aire out | | T agua out | error | T agua out | error |
| | Colectores | IDC | Colectores | | IDC | | Colectores | | IDC | | Colectores | | IDC | |
| **10** | 28.2 | 25.3 | 31.2 | 11 % | 27.7 | 9% | 31.1 | 10 % | 26.9 | 6% | 31.2 | 0% | 27.7 | 3% |
| **10.2** | 30.7 | 27 | 33.7 | 10 % | 29.3 | 8% | 32.7 | 7% | 28.2 | 4% | 33.7 | 3% | 29.3 | 4% |
| **10.4** | 32.9 | 28.5 | 35.7 | 9% | 30.7 | 8% | 34.3 | 4% | 29.4 | 3% | 35.7 | 4% | 30.7 | 4% |
| **10.6** | 34.8 | 29.8 | 37.5 | 8% | 32.0 | 7% | 35.7 | 3% | 30.3 | 2% | 37.5 | 5% | 32.0 | 6% |
| **10.8** | 36.7 | 31.2 | 39.2 | 7% | 33.3 | 7% | 37.3 | 2% | 31.5 | 1% | 39.2 | 5% | 33.3 | 6% |
| **11** | 38.4 | 32.4 | 40.9 | 6% | 34.7 | 7% | 38.8 | 1% | 32.7 | 1% | 40.9 | 5% | 34.7 | 6% |
| **11.2** | 40.2 | 33.7 | 42.5 | 6% | 35.9 | 7% | 40.4 | 0% | 33.9 | 1% | 42.5 | 5% | 35.9 | 6% |
| **11.4** | 41.9 | 35.2 | 44.0 | 5% | 37.1 | 5% | 42.1 | 0% | 35.3 | 0% | 44.0 | 4% | 37.1 | 5% |
| **11.6** | 43.7 | 36.5 | 45.2 | 3% | 37.9 | 4% | 43.6 | 0% | 36.5 | 0% | 45.2 | 4% | 37.9 | 4% |
| **11.8** | 45.1 | 37.6 | 46.4 | 3% | 38.9 | 4% | 45 | 0% | 37.6 | 0% | 46.4 | 3% | 38.9 | 4% |
| **12** | 46.2 | 38.4 | 47.5 | 3% | 39.8 | 4% | 45.8 | 1% | 38.2 | 1% | 47.5 | 4% | 39.8 | 4% |
| **12.2** | 47.6 | 39.6 | 48.6 | 2% | 40.6 | 2% | 47.2 | 1% | 39.3 | 1% | 48.6 | 3% | 40.6 | 3% |
| **12.4** | 48.7 | 40.4 | 49.3 | 1% | 40.8 | 1% | 48.2 | 1% | 40.1 | 1% | 49.3 | 2% | 40.8 | 2% |
| **12.6** | 49.5 | 40.8 | 49.9 | 1% | 41.4 | 1% | 49.1 | 1% | 40.9 | 0% | 49.9 | 2% | 41.4 | 1% |
| **12.8** | 49.8 | 40.9 | 50.6 | 2% | 41.9 | 3% | 49.2 | 1% | 40.8 | 0% | 50.6 | 3% | 41.9 | 3% |
| **13** | 50.2 | 41.5 | 51.1 | 2% | 42.3 | 2% | 49.9 | 1% | 41.4 | 0% | 51.1 | 2% | 42.3 | 2% |
| **13.2** | 51 | 42 | 51.5 | 1% | 42.6 | 2% | 50.6 | 1% | 42 | 0% | 51.5 | 2% | 42.6 | 2% |
| **13.4** | 51.6 | 42.4 | 52.0 | 1% | 43.1 | 2% | 51 | 1% | 42.3 | 0% | 52.0 | 2% | 43.1 | 2% |
| **13.6** | 51.6 | 42.4 | 52.4 | 1% | 43.4 | 2% | 51.3 | 1% | 42.5 | 0% | 52.4 | 2% | 43.4 | 2% |
| **13.8** | 51.9 | 42.8 | 52.5 | 1% | 43.5 | 2% | 51.8 | 0% | 43 | 0% | 52.5 | 1% | 43.5 | 1% |
| **14** | 52.4 | 43.1 | 52.7 | 1% | 43.8 | 2% | 52.1 | 1% | 43.3 | 0% | 52.7 | 1% | 43.8 | 1% |
| **14.2** | 52.4 | 43.3 | 52.6 | 0% | 43.5 | 1% | 52 | 1% | 43.2 | 0% | 52.6 | 1% | 43.5 | 1% |
| **14.4** | 52.8 | 43.6 | 52.5 | 1% | 43.3 | 1% | 52.2 | 1% | 43.5 | 0% | 52.5 | 1% | 43.3 | 0% |
| **14.6** | 54.8 | 45.5 | 52.2 | 5% | 43.2 | 5% | 51.6 | 6% | 43 | 5% | 52.2 | 1% | 43.2 | 0% |
| **14.8** | 54.3 | 45.1 | 51.9 | 5% | 42.9 | 5% | 51.2 | 6% | 42.6 | 6% | 51.9 | 1% | 42.9 | 1% |
| **15** | 53.9 | 44.6 | 51.3 | 5% | 42.4 | 5% | 51 | 5% | 42.5 | 5% | 51.3 | 1% | 42.4 | 0% |
| **15.2** | 53 | 44 | 50.8 | 4% | 42.1 | 4% | 50.5 | 5% | 42.1 | 4% | 50.8 | 1% | 42.1 | 0% |
| **15.4** | 51.6 | 42.8 | 50.1 | 3% | 41.6 | 3% | 49.7 | 4% | 41.5 | 3% | 50.1 | 1% | 41.6 | 0% |
| **15.6** | 51.1 | 42.5 | 49.3 | 4% | 40.9 | 4% | 49.2 | 4% | 41.2 | 3% | 49.3 | 0% | 40.9 | 1% |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **15.8** | 50.2 | 42.1 | 48.6 | 3% | 40.3 | 4% | 48.4 | 4% | 40.6 | 4% | 48.6 | 0% | 40.3 | 1% |
| **16** | 49 | 41 | 47.6 | 3% | 39.6 | 3% | 47.3 | 3% | 39.8 | 3% | 47.6 | 1% | 39.6 | 1% |
| **16.2** | 47.5 | 40.1 | 45.4 | 4% | 38.3 | 5% | 46.8 | 1% | 39.3 | 2% | 45.4 | 3% | 38.3 | 3% |
| **16.4** | 45 | 38.6 | 41.0 | 9% | 35.5 | 8% | 45.4 | 1% | 38.4 | 1% | 41.0 | 10% | 35.5 | 8% |
| **16.6** | 42.7 | 37.3 | 35.5 | 17 % | 32.8 | 12% | 42 | 2% | 36.4 | 2% | 35.5 | 16% | 32.8 | 10 % |
| **16.8** | 39.5 | 34.9 | 32.0 | 19 % | 30.2 | 14% | 35.1 | 11 % | 32.2 | 8% | 32.0 | 9% | 30.2 | 6% |
| **17** | 36.6 | 32.3 | 33.7 | 8% | 28.6 | 11% | 25.7 | 30 % | 27.4 | 15 % | 33.7 | 31% | 28.6 | 4% |
| **17.2** | 38.9 | 31 | 34.9 | 10 % | 29.7 | 4% | 9 | 77 % | 17.6 | 43 % | 34.9 | 288 % | 29.7 | 69 % |
| **17.4** | 0 | 0 | | | | | 0 | | 0 | | 0.0 | | 0.0 | |
| **17.6** | 0 | 0 | | | | | 0 | | 0 | | 0.0 | | 0.0 | |
| **17.8** | 0 | 0 | | | | | 0 | | 0 | | 0.0 | | 0.0 | |
| | | | MAX | 19 % | MAX | 14% | MAX | 77 % | MAX | 43 % | MAX | 288 % | MAX | 69 % |
| | | | MIN | 0% | MIN | 1% | MIN | 0% | MIN | 0% | MIN | 0% | MIN | 0% |
| | | | PROM | 5% | PROM | 5% | PROM | 5% | PROM | 3% | PROM | 12% | PROM | 5% |

## 15.3. APÉNDICE 3: COMPARACIÓN DE SISTEMAS Y TABLAS DE ERRORES (DESHUMIDIFICADOR HUMIDIFICADOR Y DESTILADO)

| Día | Real | | | | | TRNSYS | | Ciclo cerrado de aire | | | | | | | | | EES | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 26 | Destilado | | | | | Destilado | Destilado | error | | error | | error | | error | | error | Destilado | | error | | error | | error | | error | | error |
| Hora | kg | Tsal. SW DH | Tsal. SW IDC | Tsal AI HU | Tsal AI DH | kg/hr | Kg | | Tsal. SW DH | | Tsal. SW IDC | | Tsal AI HU | | Tsal AI DH | | kg | | | Tsal. SW DH | | Tsal. SW IDC | | Tsal AI HU | | Tsal AI DH | |
| 10 | 0 | 23.3 | 17.4 | 30.7 | 14.8 | 0.00 | | | 10.0 | 57% | 20.00 | 15% | 20.39 | 34% | 18.75 | 27% | 1.25 | | | 27 | 14% | 29.1 | 67% | 16.1 | 48% | 28.8 | 95% |
| 10.2 | 0 | 22.4 | 30 | 31.7 | 16.3 | 0.97 | | | 20.1 | 10% | 22.61 | 25% | 20.07 | 37% | 18.36 | 13% | 1.96 | | | 25 | 13% | 28.7 | 4% | 22.6 | 29% | 28.7 | 76% |
| 10.4 | 0 | 23.3 | 28.7 | 27.1 | 23.8 | 1.07 | | | 21.9 | 6% | 25.62 | 11% | 23.33 | 14% | 21.79 | 8% | 1.12 | | | 23 | 1% | 30.1 | 5% | 25.9 | 4% | 24.9 | 5% |
| 10.6 | 0 | 23.7 | 29.5 | 28.1 | 25.3 | 1.14 | | | 23.2 | 2% | 27.73 | 6% | 25.65 | 9% | 24.24 | 4% | 1.26 | | | 24 | 0% | 30.9 | 5% | 27.1 | 4% | 25.8 | 2% |
| 10.8 | 0 | 24.3 | 30.6 | 29.1 | 25.8 | 1.18 | | | 24.4 | 0% | 29.49 | 4% | 27.56 | 5% | 26.25 | 2% | 1.38 | | | 24 | 0% | 31.9 | 4% | 27.8 | 4% | 26.7 | 3% |
| 11 | 0 | 25 | 32 | 28.7 | 26.8 | 1.24 | | | 25.3 | 1% | 30.94 | 3% | 29.08 | 1% | 27.83 | 4% | 1.26 | | | 24 | 3% | 33 | 3% | 28.9 | 1% | 26.5 | 1% |
| 11.2 | 0 | 25.5 | 33 | 29.7 | 27.3 | 1.28 | | | 26.5 | 4% | 32.41 | 2% | 30.68 | 3% | 29.51 | 8% | 1.33 | | | 25 | 1% | 33.9 | 3% | 29.6 | 0% | 27.5 | 1% |
| 11.4 | 0.33 | 26.5 | 34.5 | 30.7 | 27.8 | 1.33 | 0.3 | 19% | 27.6 | 4% | 33.79 | 2% | 32.13 | 5% | 31.01 | 12% | 1.40 | 0.28 | 15% | 26 | 2% | 35.2 | 2% | 30.4 | 1% | 28.5 | 3% |
| 11.6 | 0.6736 | 27.2 | 35.6 | 31.7 | 29.3 | 1.38 | 0.5 | 19% | 28.7 | 6% | 35.17 | 1% | 33.62 | 6% | 32.56 | 11% | 1.44 | 0.57 | 16% | 27 | 1% | 36.2 | 2% | 31.7 | 0% | 29.6 | 1% |
| 11.8 | 1.03 | 28 | 36.7 | 31.7 | 29.3 | 1.46 | 0.8 | 19% | 29.7 | 6% | 36.38 | 1% | 34.84 | 10% | 33.81 | 15% | 1.32 | 0.83 | 19% | 27 | 2% | 37.3 | 2% | 32.1 | 1% | 29.8 | 2% |
| 12 | 1.401 | 28.7 | 37.8 | 32.7 | 30.3 | 1.53 | 1.1 | 19% | 30.7 | 7% | 37.65 | 0% | 36.12 | 10% | 35.12 | 16% | 1.36 | 1.10 | 21% | 28 | 1% | 38.3 | 1% | 33.1 | 1% | 30.8 | 2% |
| 12.2 | 1.787 | 29.4 | 38.8 | 34 | 30.8 | 1.67 | 1.5 | 17% | 31.2 | 6% | 38.51 | 1% | 36.86 | 8% | 35.81 | 16% | 1.57 | 1.42 | 21% | 29 | 1% | 39.3 | 1% | 33.8 | 1% | 32 | 4% |
| 12.4 | 2.186 | 29.9 | 39.6 | 35 | 31.8 | 1.77 | 1.8 | 16% | 31.7 | 6% | 39.29 | 1% | 37.52 | 7% | 36.45 | 15% | 1.71 | 1.76 | 19% | 30 | 0% | 40.1 | 1% | 34.6 | 1% | 32.9 | 3% |
| 12.6 | 2.596 | 30.1 | 40.2 | 34.7 | 32.3 | 1.88 | 2.2 | 15% | 32.0 | 6% | 39.86 | 1% | 37.99 | 9% | 36.88 | 14% | 1.64 | 2.09 | 20% | 30 | 1% | 40.5 | 1% | 35.2 | 1% | 32.6 | 1% |
| 12.8 | 3.016 | 30.5 | 40.8 | 36 | 32.3 | 1.95 | 2.6 | 14% | 32.5 | 7% | 40.54 | 1% | 38.62 | 7% | 37.51 | 16% | 1.82 | 2.45 | 19% | 31 | 0% | 41.1 | 1% | 35.3 | 2% | 33.8 | 5% |
| 13 | 3.444 | 31.2 | 41.8 | 35.7 | 33.3 | 2.04 | 3.0 | 13% | 32.6 | 5% | 40.94 | 2% | 38.91 | 9% | 37.77 | 13% | 1.76 | 2.81 | 19% | 30 | 3% | 42 | 0% | 36.3 | 2% | 33.6 | 1% |
| 13.2 | 3.882 | 31.4 | 42.2 | 37 | 33.8 | 2.13 | 3.4 | 12% | 32.6 | 4% | 41.17 | 2% | 38.99 | 5% | 37.81 | 12% | 2.05 | 3.22 | 17% | 31 | 2% | 42.4 | 0% | 36.7 | 1% | 34.7 | 3% |
| 13.4 | 4.325 | 31.5 | 42.4 | 37 | 33.8 | 2.20 | 3.9 | 11% | 32.6 | 3% | 41.34 | 3% | 39.09 | 6% | 37.88 | 12% | 2.07 | 3.63 | 16% | 31 | 2% | 42.6 | 0% | 36.8 | 1% | 34.7 | 3% |
| 13.6 | 4.773 | 31.3 | 42.1 | 36.7 | 34.3 | 2.27 | 4.3 | 9% | 32.5 | 4% | 41.42 | 2% | 39.13 | 7% | 37.88 | 10% | 2.05 | 4.04 | 15% | 31 | 2% | 42.5 | 1% | 37 | 1% | 34.4 | 0% |
| 13.8 | 5.224 | 31.3 | 42.3 | 37 | 33.8 | 2.28 | 4.8 | 9% | 32.5 | 4% | 41.50 | 2% | 39.16 | 6% | 37.90 | 12% | 2.10 | 4.46 | 15% | 31 | 2% | 42.5 | 0% | 36.7 | 1% | 34.6 | 2% |
| 14 | 5.674 | 31.5 | 42.2 | 36.7 | 34.3 | 2.27 | 5.2 | 8% | 32.6 | 4% | 41.59 | 1% | 39.22 | 7% | 37.98 | 11% | 2.03 | 4.87 | 14% | 31 | 3% | 42.7 | 1% | 37 | 1% | 34.4 | 0% |
| 14.2 | 6.123 | 32.8 | 43.2 | 38 | 34.3 | 2.11 | 5.7 | 8% | 34.8 | 6% | 43.02 | 0% | 41.12 | 8% | 40.09 | 17% | 1.84 | 5.23 | 15% | 33 | 1% | 43.9 | 2% | 37.3 | 2% | 36 | 5% |
| 14.4 | 6.568 | 33.8 | 44.3 | 37.7 | 35.3 | 2.10 | 6.1 | 7% | 36.2 | 7% | 44.25 | 0% | 42.45 | 13% | 41.51 | 18% | 1.55 | 5.54 | 16% | 33 | 2% | 44.8 | 1% | 38.3 | 2% | 36.1 | 2% |
| 14.6 | 7.011 | 34.6 | 45 | 38.7 | 36.3 | 2.18 | 6.5 | 7% | 36.8 | 6% | 44.95 | 0% | 43.09 | 11% | 42.16 | 16% | 1.67 | 5.88 | 16% | 34 | 2% | 45.5 | 1% | 39.1 | 1% | 37 | 2% |
| 14.8 | 7.45 | 34.2 | 44.9 | 40 | 37.3 | 2.48 | 7.0 | 6% | 35.6 | 4% | 44.49 | 1% | 42.38 | 6% | 41.26 | 11% | 2.21 | 6.32 | 15% | 34 | 1% | 45.1 | 0% | 39.7 | 1% | 37.8 | 1% |
| 15 | 7.884 | 33 | 43.6 | 38.7 | 36.8 | 2.54 | 7.5 | 5% | 34.2 | 4% | 43.49 | 0% | 41.14 | 6% | 39.90 | 8% | 2.22 | 6.76 | 14% | 32 | 2% | 43.8 | 0% | 39 | 1% | 36.4 | 1% |
| 15.2 | 8.305 | 32.5 | 42.7 | 39 | 35.8 | 2.43 | 8.0 | 4% | 33.8 | 4% | 42.87 | 0% | 40.63 | 4% | 39.41 | 10% | 2.31 | 7.23 | 13% | 32 | 1% | 43 | 1% | 38.1 | 2% | 36.6 | 2% |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **15.4** | 8.716 | 32.2 | 41.8 | 37.7 | 35.3 | 2.31 | 8.5 | 3% | 33.6 | 4% | 42.32 | 1% | 40.19 | 7% | 39.00 | 10% | 2.07 | 7.64 | 12% | 32 | 2% | 42.4 | 1% | 37.5 | 1% | 35.5 | 1% |
| **15.6** | 9.115 | 32 | 41.5 | 38 | 35.3 | 2.20 | 8.9 | 2% | 33.5 | 5% | 41.93 | 1% | 39.94 | 5% | 38.79 | 10% | 2.11 | 8.06 | 12% | 32 | 1% | 42 | 1% | 37.4 | 2% | 35.7 | 1% |
| **15.8** | 9.501 | 31.8 | 40.9 | 36.7 | 34.8 | 2.09 | 9.3 | 2% | 33.5 | 5% | 41.66 | 2% | 39.82 | 9% | 38.72 | 11% | 1.82 | 8.43 | 11% | 31 | 2% | 41.5 | 1% | 36.9 | 1% | 34.6 | 1% |
| **16** | 9.889 | 31.6 | 40.3 | 37 | 34.3 | 2.02 | 9.7 | 2% | 33.6 | 6% | 41.59 | 3% | 39.78 | 8% | 38.72 | 13% | 1.84 | 8.80 | 11% | 32 | 0% | 41.4 | 3% | 36.4 | 2% | 34.9 | 2% |
| **16.2** | 10.28 | 31.2 | 39.4 | 36 | 34.3 | 1.92 | 10.1 | 2% | 33.8 | 8% | 41.63 | 6% | 39.88 | 11% | 38.88 | 13% | 1.58 | 9.11 | 11% | 31 | 0% | 41 | 4% | 36.1 | 0% | 34.1 | 1% |
| **16.4** | 10.64 | 30.5 | 38 | 35 | 33.3 | 1.93 | 10.5 | 1% | 33.6 | 10% | 41.30 | 9% | 39.71 | 13% | 38.69 | 16% | 1.42 | 9.40 | 12% | 31 | 1% | 39.8 | 5% | 35 | 0% | 33.3 | 0% |
| **16.6** | 10.93 | 29.4 | 36.1 | 34 | 32.3 | 1.69 | 10.8 | 1% | 33.4 | 13% | 40.37 | 12% | 39.06 | 15% | 38.13 | 18% | 1.22 | 9.64 | 12% | 30 | 3% | 37.2 | 3% | 33.7 | 1% | 32.4 | 0% |
| **16.8** | 11.12 | 29.4 | 34.4 | 31.7 | 30.8 | 1.06 | 11.0 | 1% | 34.4 | 17% | 39.51 | 15% | 39.17 | 24% | 38.60 | 25% | 0.46 | 9.73 | 12% | 30 | 3% | 34.4 | 0% | 32.1 | 1% | 31.1 | 1% |
| **17** | 11.14 | 28.2 | 32.3 | 32.1 | 30.3 | 0.67 | 11.2 | 0% | 31.0 | 10% | 34.83 | 8% | 34.76 | 8% | 34.29 | 13% | 0.94 | 9.92 | 11% | 29 | 3% | 28.8 | 11% | 31 | 3% | 30.7 | 1% |
| **17.2** | 11.14 | 28.8 | 30.6 | 30.1 | 28.8 | 0.09 | 11.2 | 1% | 30.9 | 7% | 32.70 | 7% | 33.56 | 12% | 33.50 | 16% | 0.41 | 10.00 | 10% | 29 | 0% | 23 | 25% | 29.5 | 2% | 29.4 | 2% |
| **17.4** | 11.14 | 27.1 | 29.2 | 27.7 | 27.3 | 0.24 | 11.2 | 1% | 28.0 | 4% | 29.83 | 2% | 30.19 | 9% | 29.96 | 10% | 0.40 | 10.08 | 9% | 26 | 3% | 12.6 | 57% | 28.1 | 1% | 27 | 1% |
| **17.6** | 11.14 | 26 | 28.2 | 26.7 | 25.3 | 0.32 | 11.3 | 2% | 26.3 | 1% | 27.80 | 1% | 27.85 | 4% | 27.51 | 9% | 0.41 | 10.16 | 9% | 25 | 3% | 0.2 | 99% | 26.5 | 1% | 26 | 3% |
| **17.8** | 11.14 | 25.9 | 28.5 | 26.7 | 24.8 | 0.44 | 11.4 | 2% | 24.7 | 5% | 26.06 | 9% | 25.65 | 4% | 25.11 | 1% | 0.54 | 10.27 | 8% | 25 | 4% | -13.9 | 149% | 26.3 | 1% | 25.7 | 4% |
| | | | | | | MAX | | 19% | MAX | 57% | MAX | 25% | MAX | 37% | MAX | 27% | MAX | | 21% | MAX | 14% | MAX | 149% | MAX | 48% | MAX | 95% |
| | | | | | | MIN | | 0% | MIN | 0% | MIN | 0% | MIN | 1% | MIN | 1% | MIN | | 8% | MIN | 0% | MIN | 0% | MIN | 0% | MIN | 0% |
| | | | | | | PROM | | 8% | PROM | 7% | PROM | 4% | PROM | 10% | PROM | 12% | PROM | | 14% | PROM | 2% | PROM | 12% | PROM | 3% | PROM | 6% |

| **Día** | **Real** | | | | | **TRNSYS** | | | | | | | | | | | **EES** | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **27** | Destilado | | | | | Destilado | | error | | error | | error | | error | | error | Destilado | | error | | error | | error | | error | | error |
| **Hora** | kg | Tsal. SW DH | Tsal. SW IDC | Tsal AI HU | Tsal AI DH | kg/hr | Kg | | Tsal. SW DH | | Tsal. SW IDC | | Tsal AI HU | | Tsal AI DH | | kg | kg/hr | | Tsal. SW DH | | Tsal. SW IDC | | Tsal AI HU | | Tsal AI DH | |
| **10** | 0 | 22 | 25.3 | 22.7 | 21.8 | 0.82 | | | 19.0 | 14% | 20.02 | 21% | 17.48 | 23% | 15.80 | 28% | 0.39 | | | 21 | 4% | 26.9 | 6% | 23.3 | 3% | 21.8 | 0% |
| **10.2** | 0 | 22.7 | 27 | 25.1 | 23.3 | 0.94 | | | 20.7 | 9% | 23.21 | 14% | 20.88 | 17% | 19.31 | 17% | 0.75 | | | 22 | 2% | 28.2 | 4% | 24.9 | 1% | 23.5 | 1% |
| **10.4** | 0 | 23.4 | 28.5 | 25.7 | 24.3 | 0.99 | | | 22.3 | 5% | 25.75 | 10% | 23.74 | 8% | 22.36 | 8% | 0.82 | | | 23 | 3% | 29.4 | 3% | 26.1 | 2% | 24 | 1% |
| **10.6** | 0 | 23.9 | 29.8 | 26.7 | 25.3 | 1.03 | | | 23.6 | 1% | 27.80 | 7% | 26.01 | 3% | 24.76 | 2% | 0.94 | | | 23 | 3% | 30.3 | 2% | 27.2 | 2% | 24.9 | 2% |
| **10.8** | 0 | 24.6 | 31.2 | 27.7 | 25.8 | 1.06 | | | 24.9 | 1% | 29.60 | 5% | 28.00 | 1% | 26.86 | 4% | 1.04 | | | 24 | 2% | 31.5 | 1% | 28 | 1% | 25.8 | 0% |
| **11** | 0 | 25.3 | 32.4 | 28.7 | 26.3 | 1.12 | | | 26.0 | 3% | 31.18 | 4% | 29.66 | 3% | 28.58 | 9% | 1.13 | | | 25 | 2% | 32.7 | 1% | 28.8 | 0% | 26.7 | 2% |
| **11.2** | 0 | 26.1 | 33.7 | 29.7 | 27.3 | 1.18 | | | 27.0 | 3% | 32.57 | 3% | 31.07 | 5% | 30.01 | 10% | 1.23 | | | 26 | 2% | 33.9 | 1% | 29.9 | 1% | 27.7 | 1% |
| **11.4** | 0.3193 | 27.1 | 35.2 | 30.7 | 28.3 | 1.25 | 0.3 | 22% | 28.1 | 4% | 34.00 | 3% | 32.56 | 6% | 31.54 | 11% | 1.30 | 0.26 | 18% | 26 | 3% | 35.3 | 0% | 31 | 1% | 28.7 | 1% |
| **11.6** | 0.6572 | 27.9 | 36.5 | 31.7 | 29.3 | 1.34 | 0.5 | 21% | 29.1 | 4% | 35.36 | 3% | 33.93 | 7% | 32.93 | 12% | 1.37 | 0.54 | 19% | 27 | 3% | 36.5 | 0% | 32.1 | 1% | 29.7 | 1% |
| **11.8** | 1.011 | 28.7 | 37.6 | 32.7 | 30.3 | 1.43 | 0.8 | 20% | 30.0 | 5% | 36.62 | 3% | 35.18 | 8% | 34.19 | 13% | 1.44 | 0.82 | 19% | 28 | 2% | 37.6 | 0% | 33.1 | 1% | 30.7 | 1% |
| **12** | 1.38 | 29 | 38.4 | 32.7 | 30.8 | 1.51 | 1.1 | 20% | 31.0 | 7% | 37.86 | 1% | 36.39 | 11% | 35.42 | 15% | 1.31 | 1.09 | 21% | 29 | 2% | 38.2 | 1% | 33.6 | 3% | 30.9 | 0% |
| **12.2** | 1.764 | 29.8 | 39.6 | 33.7 | 30.8 | 1.65 | 1.4 | 18% | 31.5 | 6% | 38.73 | 2% | 37.13 | 10% | 36.11 | 17% | 1.47 | 1.38 | 22% | 29 | 2% | 39.3 | 1% | 34.1 | 1% | 31.8 | 3% |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **12.4** | 2.161 | 30.3 | 40.4 | 34.7 | 31.8 | 1.78 | 1.8 | 17% | 31.7 | 5% | 39.33 | 3% | 37.56 | 8% | 36.49 | 15% | 1.66 | 1.71 | 21% | 30 | 2% | 40.1 | 1% | 34.9 | 1% | 32.6 | 3% |
| **12.6** | 2.572 | 30.8 | 40.8 | 34.7 | 32.3 | 1.90 | 2.2 | 15% | 31.9 | 4% | 39.85 | 2% | 37.95 | 9% | 36.83 | 14% | 1.66 | 2.04 | 21% | 30 | 4% | 40.9 | 0% | 35.4 | 2% | 32.6 | 1% |
| **12.8** | 2.991 | 30.5 | 40.9 | 36 | 33.3 | 1.98 | 2.6 | 14% | 32.0 | 5% | 40.24 | 2% | 38.23 | 6% | 37.08 | 11% | 1.91 | 2.42 | 19% | 30 | 1% | 40.8 | 0% | 36 | 0% | 33.7 | 1% |
| **13** | 3.418 | 31 | 41.5 | 36 | 32.8 | 2.01 | 3.0 | 13% | 32.7 | 5% | 40.89 | 1% | 38.91 | 8% | 37.79 | 15% | 1.80 | 2.78 | 19% | 31 | 1% | 41.4 | 0% | 35.9 | 0% | 33.9 | 3% |
| **13.2** | 3.852 | 31.4 | 42 | 35.7 | 33.3 | 2.09 | 3.4 | 12% | 32.9 | 5% | 41.30 | 2% | 39.24 | 10% | 38.10 | 14% | 1.73 | 3.13 | 19% | 31 | 3% | 42 | 0% | 36.4 | 2% | 33.6 | 1% |
| **13.4** | 4.291 | 31.6 | 42.4 | 37 | 33.8 | 2.14 | 3.8 | 11% | 33.2 | 5% | 41.71 | 2% | 39.59 | 7% | 38.44 | 14% | 1.95 | 3.52 | 18% | 31 | 1% | 42.3 | 0% | 36.8 | 1% | 34.8 | 3% |
| **13.6** | 4.733 | 31.8 | 42.4 | 37 | 33.8 | 2.20 | 4.3 | 10% | 33.3 | 5% | 41.93 | 1% | 39.77 | 7% | 38.60 | 14% | 1.95 | 3.91 | 17% | 31 | 2% | 42.5 | 0% | 36.8 | 1% | 34.8 | 3% |
| **13.8** | 5.18 | 32.2 | 42.8 | 36.7 | 34.3 | 2.22 | 4.7 | 9% | 33.6 | 4% | 42.30 | 1% | 40.12 | 9% | 38.97 | 14% | 1.84 | 4.28 | 17% | 31 | 3% | 43 | 0% | 37.2 | 1% | 34.6 | 1% |
| **14** | 5.629 | 32.5 | 43.1 | 38 | 34.8 | 2.25 | 5.2 | 8% | 33.9 | 4% | 42.64 | 1% | 40.47 | 7% | 39.33 | 13% | 2.04 | 4.68 | 17% | 32 | 2% | 43.3 | 0% | 37.6 | 1% | 35.8 | 3% |
| **14.2** | 6.074 | 32.5 | 43.3 | 38 | 34.8 | 2.24 | 5.6 | 8% | 34.4 | 6% | 43.04 | 1% | 40.93 | 8% | 39.83 | 14% | 1.95 | 5.07 | 16% | 32 | 1% | 43.2 | 0% | 37.7 | 1% | 35.9 | 3% |
| **14.4** | 6.517 | 32.9 | 43.6 | 38 | 34.8 | 2.37 | 6.1 | 7% | 34.2 | 4% | 43.04 | 1% | 40.92 | 8% | 39.75 | 14% | 2.02 | 5.48 | 16% | 32 | 2% | 43.5 | 0% | 37.8 | 1% | 35.8 | 3% |
| **14.6** | 6.956 | 32.4 | 45.5 | 38 | 35.3 | 2.46 | 6.6 | 6% | 33.0 | 2% | 42.27 | 7% | 39.88 | 5% | 38.59 | 9% | 2.27 | 5.93 | 15% | 31 | 3% | 43 | 5% | 38.7 | 2% | 35.5 | 1% |
| **14.8** | 7.391 | 32.1 | 45.1 | 38 | 34.8 | 2.43 | 7.1 | 5% | 32.5 | 1% | 41.72 | 7% | 39.32 | 3% | 37.99 | 9% | 2.35 | 6.40 | 13% | 31 | 3% | 42.6 | 6% | 38.3 | 1% | 35.4 | 2% |
| **15** | 7.82 | 32.1 | 44.6 | 38 | 34.8 | 2.34 | 7.5 | 4% | 32.3 | 1% | 41.37 | 7% | 39.05 | 3% | 37.75 | 8% | 2.35 | 6.87 | 12% | 31 | 3% | 42.5 | 5% | 38.1 | 0% | 35.4 | 2% |
| **15.2** | 8.242 | 31.9 | 44 | 38 | 34.8 | 2.28 | 8.0 | 3% | 32.2 | 1% | 41.11 | 7% | 38.86 | 2% | 37.58 | 8% | 2.35 | 7.34 | 11% | 31 | 3% | 42.1 | 4% | 37.9 | 0% | 35.4 | 2% |
| **15.4** | 8.653 | 31.5 | 42.8 | 36.7 | 34.8 | 2.21 | 8.4 | 3% | 32.0 | 2% | 40.74 | 5% | 38.56 | 5% | 37.30 | 7% | 2.12 | 7.77 | 10% | 30 | 3% | 41.5 | 3% | 37.5 | 2% | 34.3 | 1% |
| **15.6** | 9.054 | 31.4 | 42.5 | 36.7 | 34.3 | 2.14 | 8.8 | 2% | 31.9 | 2% | 40.43 | 5% | 38.35 | 4% | 37.11 | 8% | 2.12 | 8.19 | 10% | 30 | 3% | 41.2 | 3% | 37.1 | 1% | 34.3 | 0% |
| **15.8** | 9.443 | 31.1 | 42.1 | 36.7 | 34.3 | 2.07 | 9.3 | 2% | 31.8 | 2% | 40.12 | 5% | 38.10 | 4% | 36.89 | 8% | 2.12 | 8.61 | 9% | 30 | 2% | 40.6 | 4% | 37 | 1% | 34.3 | 0% |
| **16** | 9.815 | 30.7 | 41 | 35.7 | 33.8 | 1.97 | 9.7 | 2% | 31.7 | 3% | 39.77 | 3% | 37.88 | 6% | 36.72 | 9% | 1.90 | 8.99 | 8% | 30 | 3% | 39.8 | 3% | 36.3 | 2% | 33.4 | 1% |
| **16.2** | 10.19 | 30.1 | 40.1 | 34.7 | 33.3 | 1.91 | 10.0 | 2% | 31.7 | 5% | 39.60 | 1% | 37.79 | 9% | 36.65 | 10% | 1.69 | 9.33 | 8% | 30 | 2% | 39.3 | 2% | 35.7 | 3% | 32.6 | 2% |
| **16.4** | 10.53 | 29.8 | 38.6 | 34 | 32.3 | 1.60 | 10.4 | 2% | 33.2 | 11% | 40.14 | 4% | 38.79 | 14% | 37.90 | 17% | 1.22 | 9.58 | 9% | 30 | 1% | 38.4 | 1% | 34.6 | 2% | 32.4 | 0% |
| **16.6** | 10.8 | 29.5 | 37.3 | 33.1 | 30.8 | 1.31 | 10.6 | 2% | 34.0 | 15% | 40.01 | 7% | 39.14 | 18% | 38.43 | 25% | 0.82 | 9.74 | 10% | 30 | 3% | 36.4 | 2% | 33.2 | 0% | 31.9 | 4% |
| **16.8** | 10.93 | 28.6 | 34.9 | 31.7 | 30.3 | 1.02 | 10.8 | 1% | 32.3 | 13% | 37.34 | 7% | 36.90 | 16% | 36.27 | 20% | 0.79 | 9.90 | 9% | 29 | 2% | 32.2 | 8% | 32.1 | 1% | 30.6 | 1% |
| **17** | 10.93 | 29.5 | 32.3 | 31.1 | 29.3 | 0.29 | 10.9 | 0% | 31.6 | 7% | 34.16 | 6% | 34.74 | 12% | 34.54 | 18% | 0.56 | 10.01 | 8% | 29 | 1% | 27.4 | 15% | 30.5 | 2% | 30.2 | 3% |
| **17.2** | 10.93 | 27.8 | 31 | 27.7 | 27.3 | 0.32 | 10.9 | 0% | 28.5 | 3% | 30.74 | 1% | 31.02 | 12% | 30.74 | 13% | 0.38 | 10.09 | 8% | 26 | 5% | 17.6 | 43% | 28.8 | 4% | 27 | 1% |
| **17.4** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.27 | | | 23.8 | | 29.13 | | 27.01 | | 25.54 | | | | | | | | | | | | |
| **17.6** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.29 | | | 23.9 | | 29.39 | | 27.17 | | 25.71 | | | | | | | | | | | | |
| **17.8** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | MAX | | 22% | MAX | 15% | MAX | 21% | MAX | 23% | MAX | 28% | MAX | | 22% | MAX | 5% | MAX | 43% | MAX | 4% | MAX | 4% |
| | | | | | | MIN | | 0% | MIN | 1% | MIN | 1% | MIN | 1% | MIN | 2% | MIN | | 8% | MIN | 1% | MIN | 0% | MIN | 0% | MIN | 0% |
| | | | | | | PROM | | 9% | PROM | 5% | PROM | 4% | PROM | 8% | PROM | 13% | PROM | | 15% | PROM | 2% | PROM | 3% | PROM | 1% | PROM | 2% |

## 15.4. APÉNDICE 4: RESULTADOS MENSUALES PARA LA SIMULACIÓN DE UN AÑO EN VALPARAÍSO.

| Enero | Energía térmica Colectores | Energía térmica PVT | Energía eléctrica PV o PVT | Energía total | Destilado producido | Destilado producido | Destilado producido normalizado | Temperatura SW entrada humidificador | PV temperatura | Eficiencia DH | Costo energético de 1 kg de destilado | Energía eléctrica por área | Energía eléctrica por área normalizada | Energía térmica por área | Energía total por área total | GOR | | Radiación global | 1/SIDR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Horas diarias** | [kJ/hr] | [kJ/hr] | [kJ/hr] | [kJ/hr] | [kg/hr] | [kg/dia] | [%] | [C] | [C] | [-] | [kJ] | [kJ/m^2] | | [kJ/m^2] | [kJ/m^2] | [-] | | [kJ/hr-m^2] | [kg/J] |
| **Sistema 1** | 6326 | 0 | 1056 | 7382 | 2.32 | 24.45 | 100% | 28.1 | 41.3 | 0.67 | 3185 | 263.91 | 100% | 790.77 | 615.15 | 0.88 | 100.00 % | 2261 | 0.13 |
| **Sistema 2** | 2918 | 3493 | 1138 | 7549 | 2.35 | 24.75 | 101% | 28.3 | 30.1 | 0.67 | 3218 | 284.45 | 108% | 801.35 | 943.58 | 0.88 | 99.98 % | | 0.13 |
| **Sistema 3** | 0 | 5570 | 2281 | 7852 | 2.09 | 22.09 | 90% | 26.2 | 33.3 | 0.67 | 3750 | 285.14 | 108% | 696.31 | 981.45 | 0.98 | 110.89 % | | 0.12 |

| Febrero | Energía térmica Colectores | Energía térmica PVT | Energía eléctrica PV o PVT | Energía total | Destilado producido | Destilado producido | Destilado producido normalizado | Temperatura SW entrada humidificador | PV temperatura | Eficiencia DH | Costo energético de 1 kg de destilado | Energía eléctrica por área | Energía eléctrica por área normalizada | Energía térmica por área | Energía total por área total | GOR | | Radiación global | 1/SIDR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Horas diarias** | [kJ/hr] | [kJ/hr] | [kJ/hr] | [kJ/hr] | [kg/hr] | [kg/dia] | [%] | [C] | [C] | [-] | [kJ] | [kJ/m^2] | | [kJ/m^2] | [kJ/m^2] | [-] | | [kJ/hr-m^2] | [kg/J] |
| **Sistema 1** | 6386 | 0 | 1057 | 7443 | 2.32 | 23.41 | 100% | 27.9 | 41.1 | 0.67 | 3211 | 264.34 | 100% | 798.20 | 620.24 | 0.88 | 100.00 % | 2233 | 0.13 |
| **Sistema 2** | 2917 | 3531 | 1132 | 7581 | 2.34 | 24.68 | 101% | 28.1 | 29.9 | 0.67 | 3240 | 283.07 | 107% | 806.08 | 947.62 | 0.89 | 101.90 % | | 0.13 |
| **Sistema 3** | 0 | 5497 | 2233 | 7731 | 2.06 | 21.73 | 89% | 25.7 | 32.6 | 0.67 | 3753 | 279.14 | 106% | 687.18 | 966.32 | 0.99 | 113.53 % | | 0.12 |

| Marzo | Energía térmica Colectores | Energía térmica PVT | Energía eléctrica PV o PVT | Energía total | Destilado producido | Destilado producido | Destilado producido normalizado | Temperatura SW entrada humidificador | PV temperatura | Eficiencia DH | Costo energético de 1 kg de destilado | Energía eléctrica por área | Energía eléctrica por área normalizada | Energía térmica por área | Energía total por área total | GOR | | Radiación global | 1/SIDR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Horas diarias** | [kJ/hr] | [kJ/hr] | [kJ/hr] | [kJ/hr] | [kg/hr] | [kg/dia] | [%] | [C] | [C] | [-] | [kJ] | [kJ/m^2] | | [kJ/m^2] | [kJ/m^2] | [-] | | [kJ/hr-m^2] | [kg/J] |
| **Sistema 1** | 5793 | 0 | 1000 | 6793 | 2.21 | 22.55 | 100% | 27.1 | 39.2 | 0.68 | 3070 | 250.00 | 100% | 724.15 | 566.10 | 1.03 | 100.00 % | 2090 | 0.13 |
| **Sistema 2** | 2592 | 3167 | 1069 | 6828 | 2.20 | 22.40 | 99% | 27.0 | 28.7 | 0.68 | 3105 | 267.28 | 107% | 719.87 | 853.51 | 1.05 | 102.25 % | | 0.13 |
| **Sistema 3** | 0 | 4941 | 2102 | 7043 | 1.97 | 20.03 | 89% | 24.9 | 31.2 | 0.68 | 3582 | 262.76 | 105% | 617.58 | 880.34 | 1.14 | 110.75 % | | 0.12 |

| Abril | Energía térmica Colectores | Energía térmica PVT | Energía eléctrica PV o PVT | Energía total | Destilado producido | Destilado producido | Destilado producido normalizado | Temperatura SW entrada humidificador | PV temperatura | Eficiencia DH | Costo energético de 1 kg de destilado | Energía eléctrica por área | Energía eléctrica por área normalizada | Energía térmica por área | Energía total por área total | GOR | | Radiación global | 1/SIDR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Horas diarias** | [kJ/hr] | [kJ/hr] | [kJ/hr] | [kJ/hr] | [kg/hr] | [kg/dia] | [%] | [C] | [C] | [-] | [kJ] | [kJ/m^2] | | [kJ/m^2] | [kJ/m^2] | [-] | | [kJ/hr-m^2] | [kg/J] |
| **Sistema 1** | 5185 | 0 | 1024 | 6209 | 2.09 | 17.51 | 100% | 27.1 | 39.7 | 0.67 | 2968 | 255.94 | 100% | 648.12 | 517.39 | 1.06 | 100.00% | 2096 | 0.12 |
| **Sistema 2** | 2106 | 2916 | 1082 | 6104 | 2.03 | 16.99 | 97% | 26.5 | 28.3 | 0.68 | 3006 | 270.45 | 106% | 627.79 | 763.02 | 1.08 | 102.19% | | 0.12 |
| **Sistema 3** | 0 | 4532 | 2136 | 6668 | 1.91 | 15.95 | 91% | 25.3 | 31.1 | 0.67 | 3498 | 266.96 | 104% | 566.50 | 833.46 | 1.12 | 105.92% | | 0.11 |

| Mayo | Energía térmica Colectores | Energía térmica PVT | Energía eléctrica PV o PVT | Energía total | Destilado producido | Destilado producido | Destilado producido normalizado | Temperatura SW entrada humidificador | PV temperatura | Eficiencia DH | Costo energético de 1 kg de destilado | Energía eléctrica por área | Energía eléctrica por área normalizada | Energía térmica por área | Energía total por área total | GOR | | Radiación global | 1/SIDR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Horas diarias** | [kJ/hr] | [kJ/hr] | [kJ/hr] | [kJ/hr] | [kg/hr] | [kg/dia] | [%] | [C] | [C] | [-] | [kJ] | [kJ/m^2] | | [kJ/m^2] | [kJ/m^2] | [-] | | [kJ/hr-m^2] | [kg/J] |
| **Sistema 1** | 4109 | 0 | 857 | 4967 | 1.87 | 13.72 | 100% | 26.3 | 35.4 | 0.67 | 2660 | 214.27 | 100% | 513.68 | 413.88 | 1.17 | 100.00% | 1721 | 0.14 |
| **Sistema 2** | 1804 | 2171 | 909 | 4884 | 1.80 | 13.23 | 96% | 25.6 | 26.8 | 0.67 | 2713 | 227.30 | 106% | 496.86 | 610.51 | 1.15 | 98.28% | | 0.13 |
| **Sistema 3** | 0 | 3459 | 1800 | 5259 | 1.70 | 12.50 | 91% | 24.4 | 28.7 | 0.67 | 3091 | 225.02 | 105% | 432.40 | 657.42 | 1.39 | 118.69% | | 0.12 |

| Junio | Energía térmica Colectores | Energía térmica PVT | Energía eléctrica PV o PVT | Energía total | Destilado producido | Destilado producido | Destilado producido normalizado | Temperatura SW entrada humidificador | PV temperatura | Eficiencia DH | Costo energético de 1 kg de destilado | Energía eléctrica por área | Energía eléctrica por área normalizada | Energía térmica por área | Energía total por área total | GOR | | Radiación global | 1/SIDR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Horas diarias** | [kJ/hr] | [kJ/hr] | [kJ/hr] | [kJ/hr] | [kg/hr] | [kg/dia] | [%] | [C] | [C] | [-] | [kJ] | [kJ/m^2] | | [kJ/m^2] | [kJ/m^2] | [-] | | [kJ/hr-m^2] | [kg/J] |
| **Sistema 1** | 3596 | 0 | 902 | 4498 | 1.80 | 12.92 | 100% | 27.1 | 32.4 | 0.67 | 2496 | 225.48 | 100% | 449.54 | 374.85 | 1.33 | 100.00% | 1762 | 0.13 |
| **Sistema 2** | 1467 | 1617 | 916 | 4000 | 1.59 | 11.43 | 88% | 24.8 | 25.7 | 0.68 | 2510 | 228.98 | 102% | 385.52 | 500.01 | 1.42 | 106.56% | | 0.11 |
| **Sistema 3** | 0 | 2573 | 1854 | 4427 | 1.54 | 11.02 | 85% | 24.1 | 27.4 | 0.67 | 2880 | 231.72 | 103% | 321.66 | 553.39 | 1.82 | 137.04% | | 0.11 |

| Julio | Energía térmica Colectores | Energía térmica PVT | Energía eléctrica PV o PVT | Energía total | Destilado producido | Destilado producido | Destilado producido normalizado | Temperatura SW entrada humidificador | PV temperatura | Eficiencia DH | Costo energético de 1 kg de destilado | Energía eléctrica por área | Energía eléctrica por área normalizada | Energía térmica por área | Energía total por área total | GOR | | Radiación global | 1/SIDR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Horas diarias** | [kJ/hr] | [kJ/hr] | [kJ/hr] | [kJ/hr] | [kg/hr] | [kg/dia] | [%] | [C] | [C] | [-] | [kJ] | [kJ/m^2] | | [kJ/m^2] | [kJ/m^2] | [-] | | [kJ/hr-m^2] | [kg/J] |
| **Sistema 1** | 3606 | 0 | 973 | 4578 | 1.87 | 12.35 | 100% | 28.4 | 32.7 | 0.67 | 2450 | 243.15 | 100% | 450.70 | 381.52 | 1.47 | 100.00% | 1899 | 0.12 |
| **Sistema 2** | 1562 | 1560 | 998 | 4121 | 1.62 | 10.72 | 87% | 26.0 | 26.8 | 0.68 | 2541 | 249.61 | 103% | 390.30 | 515.10 | 1.44 | 98.23% | | 0.11 |
| **Sistema 3** | 0 | 2672 | 2146 | 4818 | 1.61 | 10.66 | 86% | 26.0 | 29.4 | 0.67 | 2987 | 268.22 | 110% | 333.99 | 602.22 | 1.88 | 128.46% | | 0.11 |

| Agosto | Energía térmica Colectores | Energía térmica PVT | Energía eléctrica PV o PVT | Energía total | Destilado producido | Destilado producido | Destilado producido normalizado | Temperatura SW entrada humidificador | PV temperatura | Eficiencia DH | Costo energético de 1 kg de destilado | Energía eléctrica por área | Energía eléctrica por área normalizada | Energía térmica por área | Energía total por área total | GOR | | Radiación global | 1/SIDR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Horas diarias** | [kJ/hr] | [kJ/hr] | [kJ/hr] | [kJ/hr] | [kg/hr] | [kg/dia] | [%] | [C] | [C] | [-] | [kJ] | [kJ/m^2] | | [kJ/m^2] | [kJ/m^2] | [-] | | [kJ/hr-m^2] | [kg/J] |
| **Sistema 1** | 3955 | 0 | 1000 | 4955 | 2.01 | 14.62 | 100% | 29.2 | 34.7 | 0.67 | 2470 | 250.03 | 100% | 494.33 | 412.90 | 1.50 | 100.00% | 1994 | 0.13 |
| **Sistema 2** | 1638 | 1741 | 1041 | 4421 | 1.75 | 12.75 | 87% | 26.9 | 27.8 | 0.67 | 2527 | 260.36 | 104% | 422.38 | 552.56 | 1.52 | 101.87% | | 0.11 |
| **Sistema 3** | 0 | 3023 | 2245 | 5269 | 1.74 | 12.66 | 87% | 27.1 | 30.9 | 0.67 | 3034 | 280.67 | 112% | 377.92 | 658.59 | 1.79 | 119.75% | | 0.11 |

| Septiembre | Energía térmica Colectores | Energía térmica PVT | Energía eléctrica PV o PVT | Energía total | Destilado producido | Destilado producido | Destilado producido normalizado | Temperatura SW entrada humidificador | PV temperatura | Eficiencia DH | Costo energético de 1 kg de destilado | Energía eléctrica por área | Energía eléctrica por área normalizada | Energía térmica por área | Energía total por área total | GOR | | Radiación global | 1/SIDR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Horas diarias** | [kJ/hr] | [kJ/hr] | [kJ/hr] | [kJ/hr] | [kg/hr] | [kg/dia] | [%] | [C] | [C] | [-] | [kJ] | [kJ/m^2] | | [kJ/m^2] | [kJ/m^2] | [-] | | [kJ/hr-m^2] | [kg/J] |
| **Sistema 1** | 5037 | 0 | 1137 | 6174 | 2.31 | 18.44 | 100% | 30.8 | 35.9 | 0.67 | 2668 | 284.30 | 100% | 629.61 | 514.51 | 1.28 | 100.00% | 2271 | 0.13 |
| **Sistema 2** | 2233 | 2088 | 1188 | 5509 | 2.00 | 15.95 | 86% | 28.7 | 29.4 | 0.67 | 2753 | 296.99 | 104% | 540.08 | 688.57 | 1.19 | 93.20% | | 0.11 |
| **Sistema 3** | 0 | 3369 | 2444 | 5812 | 1.79 | 14.25 | 77% | 27.4 | 31.6 | 0.67 | 3250 | 305.46 | 107% | 421.10 | 726.55 | 1.49 | 116.73% | | 0.10 |

| Octubre | Energía térmica Colectores | Energía térmica PVT | Energía eléctrica PV o PVT | Energía total | Destilado producido | Destilado producido | Destilado producido normalizado | Temperatura SW entrada humidificador | PV temperatura | Eficiencia DH | Costo energético de 1 kg de destilado | Energía eléctrica por área | Energía eléctrica por área normalizada | Energía térmica por área | Energía total por área total | GOR | | Radiación global | 1/SIDR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Horas diarias** | [kJ/hr] | [kJ/hr] | [kJ/hr] | [kJ/hr] | [kg/hr] | [kg/dia] | [%] | [C] | [C] | [-] | [kJ] | [kJ/m^2] | | [kJ/m^2] | [kJ/m^2] | [-] | | [kJ/hr-m^2] | [kg/J] |
| **Sistema 1** | 5280 | 0 | 1080 | 6359 | 2.29 | 22.03 | 100% | 30.2 | 37.9 | 0.67 | 2774 | 269.97 | 100% | 659.94 | 529.95 | 1.13 | 100.00 % | 2214 | 0.13 |
| **Sistema 2** | 2405 | 2329 | 1127 | 5861 | 2.07 | 19.90 | 90% | 28.5 | 29.3 | 0.67 | 2831 | 281.75 | 104% | 591.78 | 732.65 | 1.18 | 104.27 % | | 0.12 |
| **Sistema 3** | 0 | 3884 | 2315 | 6199 | 1.88 | 18.05 | 82% | 26.9 | 31.8 | 0.67 | 3300 | 289.37 | 107% | 485.48 | 774.86 | 1.39 | 123.14 % | | 0.11 |

| Noviembre | Energía térmica Colectores | Energía térmica PVT | Energía eléctrica PV o PVT | Energía total | Destilado producido | Destilado producido | Destilado producido normalizado | Temperatura SW entrada humidificador | PV temperatura | Eficiencia DH | Costo energético de 1 kg de destilado | Energía eléctrica por área | Energía eléctrica por área normalizada | Energía térmica por área | Energía total por área total | GOR | | Radiación global | 1/SIDR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Horas diarias** | [kJ/hr] | [kJ/hr] | [kJ/hr] | [kJ/hr] | [kg/hr] | [kg/dia] | [%] | [C] | [C] | [-] | [kJ] | [kJ/m^2] | | [kJ/m^2] | [kJ/m^2] | [-] | | [kJ/hr-m^2] | [kg/J] |
| **Sistema 1** | 5469 | 0 | 995 | 6464 | 2.24 | 22.42 | 100% | 28.8 | 37.3 | 0.67 | 2883 | 248.74 | 100% | 683.63 | 538.66 | 1.04 | 100.00 % | 2064 | 0.14 |
| **Sistema 2** | 2602 | 2499 | 1041 | 6142 | 2.11 | 21.14 | 94% | 27.8 | 28.6 | 0.67 | 2905 | 260.19 | 105% | 637.66 | 767.75 | 1.07 | 102.87 % | | 0.13 |
| **Sistema 3** | 0 | 4177 | 2103 | 6280 | 1.87 | 18.68 | 83% | 25.5 | 30.8 | 0.67 | 3362 | 262.88 | 106% | 522.17 | 785.06 | 1.22 | 117.70 % | | 0.11 |

| Diciembre | Energía térmica Colectores | Energía térmica PVT | Energía eléctrica PV o PVT | Energía total | Destilado producido | Destilado producido | Destilado producido normalizado | Temperatura SW entrada humidificador | PV temperatura | Eficiencia DH | Costo energético de 1 kg de destilado | Energía eléctrica por área | Energía eléctrica por área normalizada | Energía térmica por área | Energía total por área total | GOR | | Radiación global | 1/SIDR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Horas diarias** | [kJ/hr] | [kJ/hr] | [kJ/hr] | [kJ/hr] | [kg/hr] | [kg/dia] | [%] | [C] | [C] | [-] | [kJ] | [kJ/m^2] | | [kJ/m^2] | [kJ/m^2] | [-] | | [kJ/hr-m^2] | [kg/J] |
| **Sistema 1** | 6352 | 0 | 1120 | 7472 | 2.41 | 26.00 | 100% | 29.3 | 42.9 | 0.67 | 3104 | 279.92 | 100% | 794.00 | 622.64 | 0.95 | 100.00 % | 2408 | 0.12 |
| **Sistema 2** | 2849 | 3421 | 1201 | 7471 | 2.38 | 25.73 | 99% | 29.1 | 30.8 | 0.67 | 3136 | 300.31 | 107% | 783.72 | 933.88 | 0.95 | 99.99 % | | 0.12 |
| **Sistema 3** | 0 | 5379 | 2373 | 7752 | 2.12 | 22.84 | 88% | 27.0 | 33.8 | 0.67 | 3665 | 296.68 | 106% | 672.37 | 969.04 | 1.01 | 106.32 % | | 0.11 |

## 15.5. APÉNDICE 5: COMPARACIÓN DE CIUDADES

| Valparaíso | Radiación | Energía térmica Colectores | Energía térmica PVT | Energía eléctrica PV o PVT | Energía total | Destilado producido | Destilado producido | Destilado producido normalizado | Costo energético de 1 kg de destilado | Energía eléctrica por área | Energía eléctrica por área normalizada | Energía térmica por área | Energía total por área total | GOR | | 1/SIDR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Horas** | [kJ/hr-m^2] | [kJ/hr] | [kJ/hr] | [kJ/hr] | [kJ/hr] | [kg/hr] | [kg/dia] | [%] | [kJ] | [kJ/m^2] | | [kJ/m^2] | [kJ/m^2] | [-] | | [kg/J] |
| **Sistema 1** | 2261 | 6326 | 0 | 1056 | 7382 | 2.32 | 24.43 | 100% | 3185 | 263.91 | 100% | 790.77 | 615.15 | 0.88 | 100% | 0.128 |
| **Sistema 2** | 2261 | 2918 | 3493 | 1138 | 7549 | 2.35 | 24.73 | 101% | 3218 | 284.45 | 108% | 801.35 | 943.58 | 0.88 | 100% | 0.130 |
| **Sistema 3** | 2261 | 0 | 5570 | 2281 | 7852 | 2.09 | 22.07 | 90% | 3750 | 285.14 | 108% | 696.31 | 981.45 | 0.98 | 111% | 0.116 |

| Totoralillo Coquimbo | Radiación | Energía térmica Colectores | Energía térmica PVT | Energía eléctrica PV o PVT | Energía total | Destilado producido | Destilado producido | Destilado producido normalizado | Costo energético de 1 kg de destilado | Energía eléctrica por área | Energía eléctrica por área normalizada | Energía térmica por área | Energía total por área total | GOR | | 1/SIDR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Horas** | [kJ/hr-m^2] | [kJ/hr] | [kJ/hr] | [kJ/hr] | [kJ/hr] | [kg/hr] | [kg/dia] | [%] | [kJ] | [kJ/m^2] | | [kJ/m^2] | [kJ/m^2] | [-] | | [kg/J] |
| **Sistema 1** | 1947 | 5518 | 0 | 967 | 6485 | 2.03 | 19.69 | 100% | 3188 | 241.76 | 100% | 689.74 | 540.41 | 0.85 | 100% | 0.131 |
| **Sistema 2** | 1947 | 3017 | 2263 | 1013 | 6293 | 1.96 | 18.95 | 96% | 3215 | 253.26 | 105% | 659.99 | 786.62 | 0.85 | 100% | 0.126 |
| **Sistema 3** | 1947 | 0 | 3883 | 2022 | 5905 | 1.63 | 15.80 | 80% | 3617 | 252.72 | 105% | 485.38 | 738.11 | 1.16 | 136% | 0.105 |

| Caldera Atacama | Radiación | Energía térmica Colectores | Energía térmica PVT | Energía eléctrica PV o PVT | Energía total | Destilado producido | Destilado producido | Destilado producido normalizado | Costo energético de 1 kg de destilado | Energía eléctrica por área | Energía eléctrica por área normalizada | Energía térmica por área | Energía total por área total | GOR | | 1/SIDR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Horas** | [kJ/hr-m^2] | [kJ/hr] | [kJ/hr] | [kJ/hr] | [kJ/hr] | [kg/hr] | [kg/dia] | [%] | [kJ] | [kJ/m^2] | | [kJ/m^2] | [kJ/m^2] | [-] | | [kg/J] |
| **Sistema 1** | 2267 | 5474 | 0 | 1099 | 6573 | 2.43 | 24.83 | 119% | 2708 | 274.72 | 114% | 684.22 | 547.72 | 1.15 | 100% | 0.134 |
| **Sistema 2** | 2267 | 2703 | 1974 | 1131 | 5809 | 2.14 | 21.88 | 105% | 2716 | 282.85 | 117% | 584.65 | 726.08 | 1.17 | 101% | 0.118 |
| **Sistema 3** | 2267 | 0 | 3177 | 2295 | 5472 | 1.74 | 17.79 | 85% | 3147 | 286.91 | 119% | 397.08 | 683.99 | 1.42 | 123% | 0.096 |

| Mejillones Antofagasta | Radiación | Energía térmica Colectores | Energía térmica PVT | Energía eléctrica PV o PVT | Energía total | Destilado producido | Destilado producido | Destilado producido normalizado | Costo energético de 1 kg de destilado | Energía eléctrica por área | Energía eléctrica por área normalizada | Energía térmica por área | Energía total por área total | GOR | | 1/SIDR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Horas** | [kJ/hr-m^2] | [kJ/hr] | [kJ/hr] | [kJ/hr] | [kJ/hr] | [kg/hr] | [kg/dia] | [%] | [kJ] | [kJ/m^2] | | [kJ/m^2] | [kJ/m^2] | [-] | | [kg/J] |
| **Sistema 1** | 2544 | 6264 | 0 | 1134 | 7399 | 2.70 | 27.77 | 100% | 2741 | 283.58 | 100% | 783.05 | 616.56 | 1.15 | 100% | 0.133 |
| **Sistema 2** | 2544 | 2771 | 3416 | 1230 | 7417 | 2.65 | 27.28 | 98% | 2797 | 307.62 | 108% | 773.34 | 927.15 | 1.12 | 98% | 0.130 |
| **Sistema 3** | 2544 | 0 | 5291 | 2483 | 7774 | 2.42 | 24.87 | 90% | 3217 | 310.36 | 109% | | 971.75 | 1.15 | 100% | 0.119 |

| Iquique | Radiación | Energía térmica Colectores | Energía térmica PVT | Energía eléctrica PV o PVT | Energía total | Destilado producido | Destilado producido | Destilado producido normalizado | Costo energético de 1 kg de destilado | Energía eléctrica por área | Energía eléctrica por área normalizada | Energía térmica por área | Energía total por área total | GOR | | 1/SIDR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Horas** | [kJ/hr-m^2] | [kJ/hr] | [kJ/hr] | [kJ/hr] | [kJ/hr] | [kg/hr] | [kg/dia] | [%] | [kJ] | [kJ/m^2] | | [kJ/m^2] | [kJ/m^2] | [-] | | [kg/J] |
| **Sistema 1** | 2269 | 5237 | 0 | 1082 | 6319 | 2.34 | 24.39 | 100% | 2700 | 270.54 | 100% | 654.64 | 526.61 | 1.16 | 100% | 0.129 |
| **Sistema 2** | 2269 | 2538 | 1965 | 1123 | 5626 | 2.09 | 21.76 | 89% | 2694 | 280.63 | 104% | 562.95 | 703.27 | 1.18 | 101% | 0.115 |
| **Sistema 3** | 2269 | 0 | 3232 | 2315 | 5546 | 1.75 | 18.25 | 75% | 3166 | 289.35 | 107% | 403.96 | 693.31 | 1.39 | 119% | 0.097 |

## 15.6. APÉNDICE 6: COMPARACIÓN DE CUBIERTAS

| PVT sin cubierta | Energía térmica Colectores | Energía térmica PVT | Energía eléctrica PV o PVT | Energía total | Destilado producido | Destilado producido | Destilado producido normalizado | Temperatura SW entrada humidificador | PV temperatura | Eficiencia DH | Costo energético de 1 kg de destilado | Energía eléctrica por área | Energía eléctrica por área normalizada | Energía térmica por área | Energía total por área total | GOR | | 1/SIDR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [kJ/hr] | [kJ/hr] | [kJ/hr] | [kJ/hr] | [kg/hr] | [kg/dia] | [%] | [C] | [C] | [-] | [kJ] | [kJ/m^2] | | [kJ/m^2] | [kJ/m^2] | [-] | | [kg/J] |
| **Sistema 1** | 6326 | 0 | 1056 | 7382 | 2.32 | 24.43 | 100% | 28.1 | 41.3 | 0.67 | 3185 | 263.91 | 100% | 790.77 | 615.15 | 0.88 | 100% | 0.128 |
| **Sistema 2** | 2918 | 3493 | 1138 | 7549 | 2.35 | 24.73 | 101% | 28.3 | 30.1 | 0.67 | 3218 | 284.45 | 108% | 801.35 | 943.58 | 0.88 | 100% | 0.130 |
| **Sistema 3** | 0 | 5570 | 2281 | 7852 | 2.09 | 22.07 | 90% | 26.2 | 33.3 | 0.67 | 3750 | 285.14 | 108% | 696.31 | 981.45 | 0.98 | 111% | 0.116 |

| PVT sin cubierta | Energía térmica Colectores | Energía térmica PVT | Energía eléctrica PV o PVT | Energía total | Destilado producido | Destilado producido | Destilado producido normalizado | Temperatura SW entrada humidificador | PV temperatura | Eficiencia DH | Costo energético de 1 kg de destilado | Energía eléctrica por área | Energía eléctrica por área normalizada | Energía térmica por área | Energía total por área total | GOR | | 1/SIDR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [kJ/hr] | [kJ/hr] | [kJ/hr] | [kJ/hr] | [kg/hr] | [kg/dia] | [%] | [C] | [C] | [-] | [kJ] | [kJ/m^2] | | [kJ/m^2] | [kJ/m^2] | [-] | | [kg/J] |
| **Sistema 1** | 6326 | 0 | 754 | 7080 | 2.32 | 24.43 | 100% | 28.1 | 83.8 | 0.67 | 3055 | 188.44 | 100% | 790.74 | 589.97 | 0.88 | 100% | 0.128 |
| **Sistema 2** | 2603 | 5055 | 1105 | 8762 | 2.77 | 29.17 | 119% | 30.8 | 34.7 | 0.67 | 3166 | 276.14 | 147% | 957.24 | 1095.31 | 0.86 | 97% | 0.153 |
| **Sistema 3** | 0 | 8618 | 2076 | 10694 | 3.22 | 33.90 | 139% | 32.3 | 43.2 | 0.67 | 3325 | 259.44 | 138% | 1077.31 | 1336.75 | 0.93 | 106% | 0.178 |

## 15.7. APÉNDICE 7: COMPARACIÓN DE FLUJOS

| Flujo SW 245 kg/hr | Energía térmica Colectores | Energía térmica PVT | Energía eléctrica PV o PVT | Energía total | Destilado producido | Destilado producido | Destilado producido normalizado | Temperatura SW entrada humidificador | PV temperatura | Eficiencia DH | Costo energético de 1 kg de destilado | Energía eléctrica por área | Energía eléctrica por área normalizada | Energía térmica por área | Energía total por área total | GOR | | 1/SIDR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Horas diarias** | [kJ/hr] | [kJ/hr] | [kJ/hr] | [kJ/hr] | [kg/hr] | [kg/dia] | [%] | [C] | [C] | [-] | [kJ] | [kJ/m^2] | | [kJ/m^2] | [kJ/m^2] | [-] | | [kg/J] |
| **Sistema 1** | 5489 | 0 | 1056 | 6545 | 2.84 | 29.97 | 100% | 31.2 | 41.3 | 0.70 | 2302 | 264 | 100% | 686.17 | 545.42 | 1.23 | 100% | 0.157 |
| **Sistema 2** | 2454 | 2894 | 1126 | 6474 | 2.76 | 29.14 | 97% | 30.9 | 31.9 | 0.70 | 2342 | 282 | 107% | 668.47 | 809.22 | 1.22 | 100% | 0.153 |
| **Sistema 3** | 0 | 4585 | 2278 | 6863 | 2.44 | 25.71 | 86% | 28.8 | 35.0 | 0.70 | 2814 | 285 | 108% | 573.15 | 857.85 | 1.30 | 106% | 0.135 |

| Flujo SW 280 kg/hr | Energía térmica Colectores | Energía térmica PVT | Energía eléctrica PV o PVT | Energía total | Destilado producido | Destilado producido | Destilado producido normalizado | Temperatura SW entrada humidificador | PV temperatura | Eficiencia DH | Costo energético de 1 kg de destilado | Energía eléctrica por área | Energía eléctrica por área normalizada | Energía térmica por área | Energía total por área total | GOR | | 1/SIDR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Horas diarias** | [kJ/hr] | [kJ/hr] | [kJ/hr] | [kJ/hr] | [kg/hr] | [kg/dia] | [%] | [C] | [C] | [-] | [kJ] | [kJ/m^2] | | [kJ/m^2] | [kJ/m^2] | [-] | | [kg/J] |
| **Sistema 1** | 6326 | 0 | 1056 | 7382 | 2.32 | 24.43 | 100% | 28.1 | 41.3 | 0.67 | 3185 | 264 | 100% | 790.77 | 615.15 | 0.88 | 100% | 0.128 |
| **Sistema 2** | 2918 | 3493 | 1138 | 7549 | 2.35 | 24.73 | 101% | 28.3 | 30.1 | 0.67 | 3218 | 284 | 108% | 801.35 | 943.58 | 0.88 | 100% | 0.130 |
| **Sistema 3** | 0 | 5570 | 2281 | 7852 | 2.09 | 22.07 | 90% | 26.2 | 33.3 | 0.67 | 3750 | 285 | 108% | 696.31 | 981.45 | 0.98 | 111% | 0.116 |

| Flujo SW 315 kg/hr | Energía térmica Colectores | Energía térmica PVT | Energía eléctrica PV o PVT | Energía total | Destilado producido | Destilado producido | Destilado producido normalizado | Temperatura SW entrada humidificador | PV temperatura | Eficiencia DH | Costo energético de 1 kg de destilado | Energía eléctrica por área | Energía eléctrica por área normalizada | Energía térmica por área | Energía total por área total | GOR | | 1/SIDR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Horas diarias** | [kJ/hr] | [kJ/hr] | [kJ/hr] | [kJ/hr] | [kg/hr] | [kg/dia] | [%] | [C] | [C] | [-] | [kJ] | [kJ/m^2] | | [kJ/m^2] | [kJ/m^2] | [-] | | [kg/J] |
| **Sistema 1** | 7141 | 0 | 1056 | 8197 | 1.86 | 19.63 | 100% | 25.2 | 41.3 | 0.62 | 4401 | 264 | 100% | 892.64 | 683.06 | 0.65 | 100% | 0.103 |
| **Sistema 2** | 3411 | 4091 | 1149 | 8651 | 1.94 | 20.40 | 104% | 25.9 | 28.4 | 0.62 | 4469 | 287 | 109% | 937.75 | 1081.36 | 0.64 | 99% | 0.107 |
| **Sistema 3** | 0 | 6530 | 2298 | 8827 | 1.76 | 18.57 | 95% | 24.0 | 31.7 | 0.62 | 5010 | 287 | 109% | 816.21 | 1103.41 | 0.75 | 116% | 0.097 |

| Flujo SW 350 kg/hr | Energía térmica Colectores | Energía térmica PVT | Energía eléctrica PV o PVT | Energía total | Destilado producido | Destilado producido | Destilado producido normalizado | Temperatura SW entrada humidificador | PV temperatura | Eficiencia DH | Costo energético de 1 kg de destilado | Energía eléctrica por área | Energía eléctrica por área normalizada | Energía térmica por área | Energía total por área total | GOR | | 1/SIDR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Horas diarias** | [kJ/hr] | [kJ/hr] | [kJ/hr] | [kJ/hr] | [kg/hr] | [kg/dia] | [%] | [C] | [C] | [-] | [kJ] | [kJ/m^2] | | [kJ/m^2] | [kJ/m^2] | [-] | | [kg/J] |
| **Sistema 1** | 7774 | 0 | 1056 | 8830 | 1.59 | 16.72 | 100% | 22.8 | 41.3 | 0.58 | 5565 | 264 | 100% | 971.76 | 735.81 | 0.52 | 100% | 0.088 |
| **Sistema 2** | 3827 | 4533 | 1158 | 9518 | 1.66 | 17.50 | 105% | 23.7 | 26.9 | 0.58 | 5733 | 290 | 110% | 1044.99 | 1189.77 | 0.50 | 98% | 0.092 |
| **Sistema 3** | 0 | 7308 | 2309 | 9617 | 1.54 | 16.21 | 97% | 22.3 | 30.4 | 0.60 | 6254 | 289 | 109% | 913.55 | 1202.12 | 0.60 | 116% | 0.085 |