

ANEXO A: MODELO EN TRNSYS

En este primer anexo se muestra de manera completa y detallada el esquema del modelo teórico construido en TRNSYS y la relación de todos los equipos incluidos en él. En el esquema presente en el tercer capítulo de la memoria del trabajo algunos elementos están simplificados, mientras que en el expuesto a continuación no se omite ningún detalle del diseño. Por lo tanto, este esquema representa al modelo tal y como se ha utilizado para las tareas de simulación y validación.

Además, se incluye una tabla en la que aparece la descripción de los *types* implementados en el modelo junto con el equipo de la planta que representan.

A.1. Esquema completo

Dada la complejidad del modelo desarrollado y con el fin de facilitar su comprensión, el esquema se presenta dividido en varias partes. También se muestra en la siguiente tabla información sobre las conexiones entre los *types*, a modo de leyenda:

<i>Tipo de conexión</i>	Estilo de línea	Color
<i>Fluido caliente</i>	Continua y gruesa	Rojo / Naranja
<i>Fluido frío</i>	Continua y gruesa	Azul / Turquesa
<i>Sistema eléctrico</i>	A trazos y fina	Fucsia
<i>Señales de control</i>	A trazos y fina	Negra
<i>Información general</i>	Discontinua y fina	Púrpura
<i>Resultados</i>	Discontinua y fina	Turquesa

Tabla A1. Aclaración de las conexiones utilizadas en el modelo teórico.

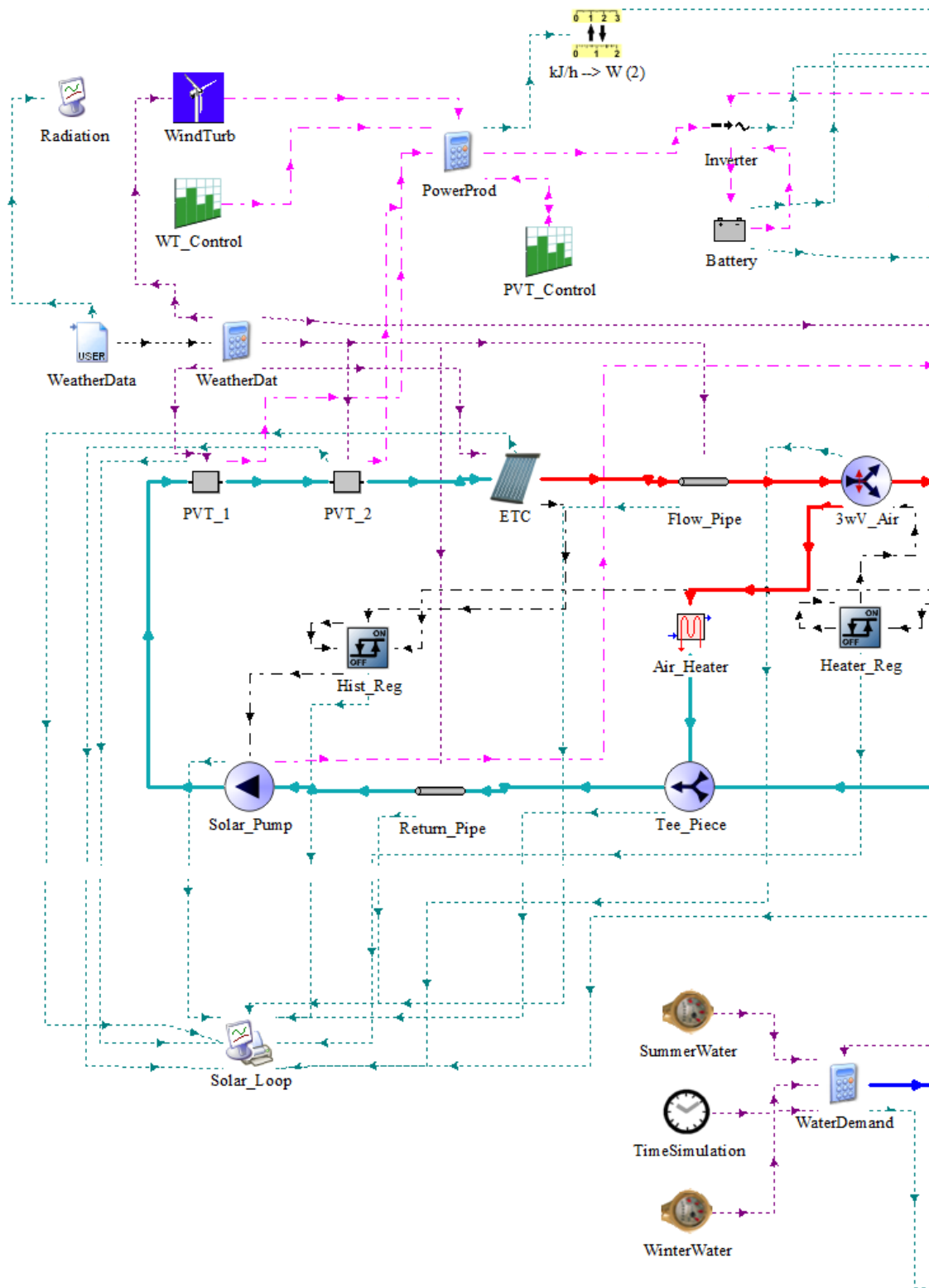


Figura A1. Modelo teórico diseñado en TRNSYS (parte 1).

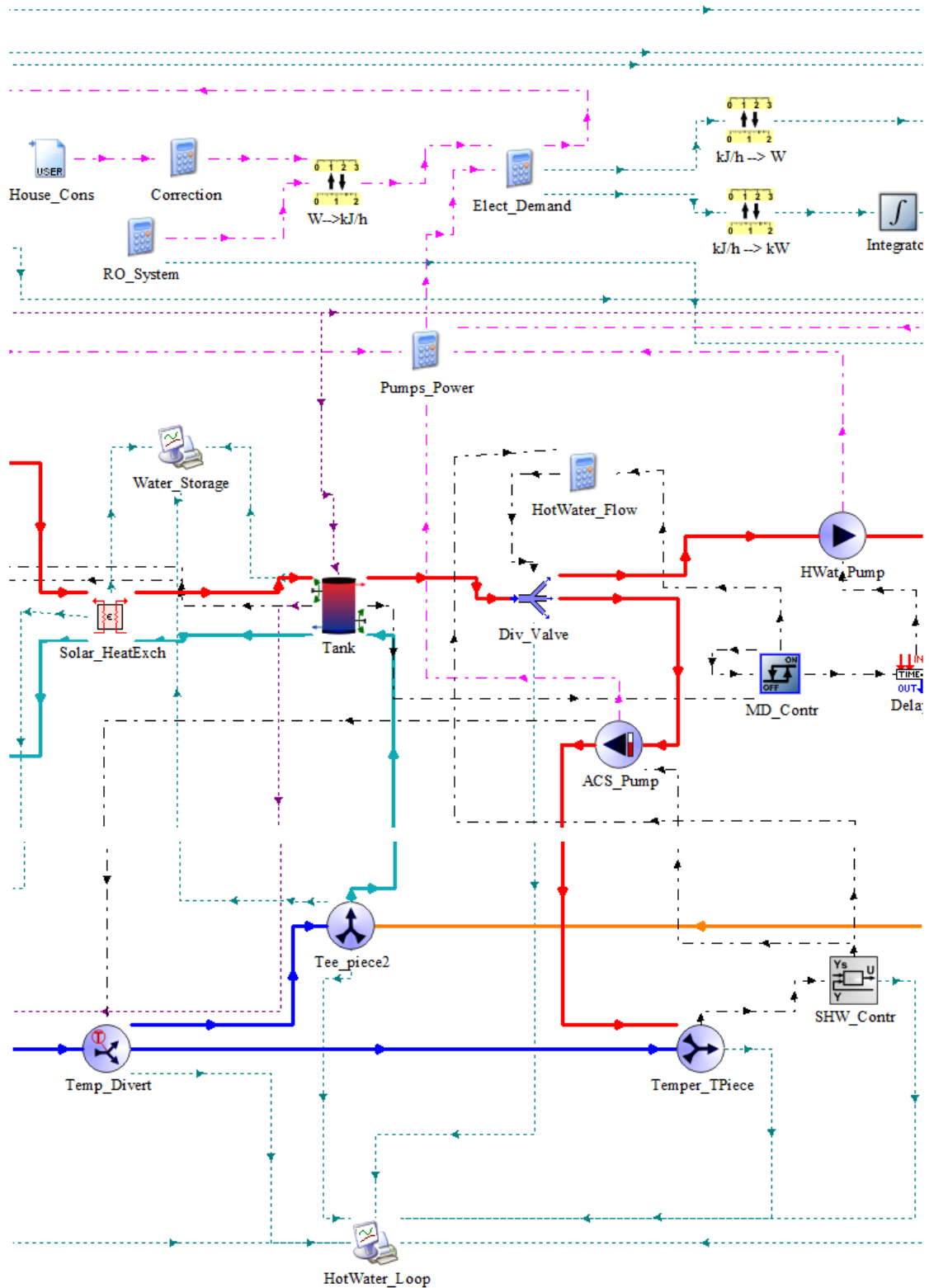


Figura A2. Modelo teórico diseñado en TRNSYS (parte 2).

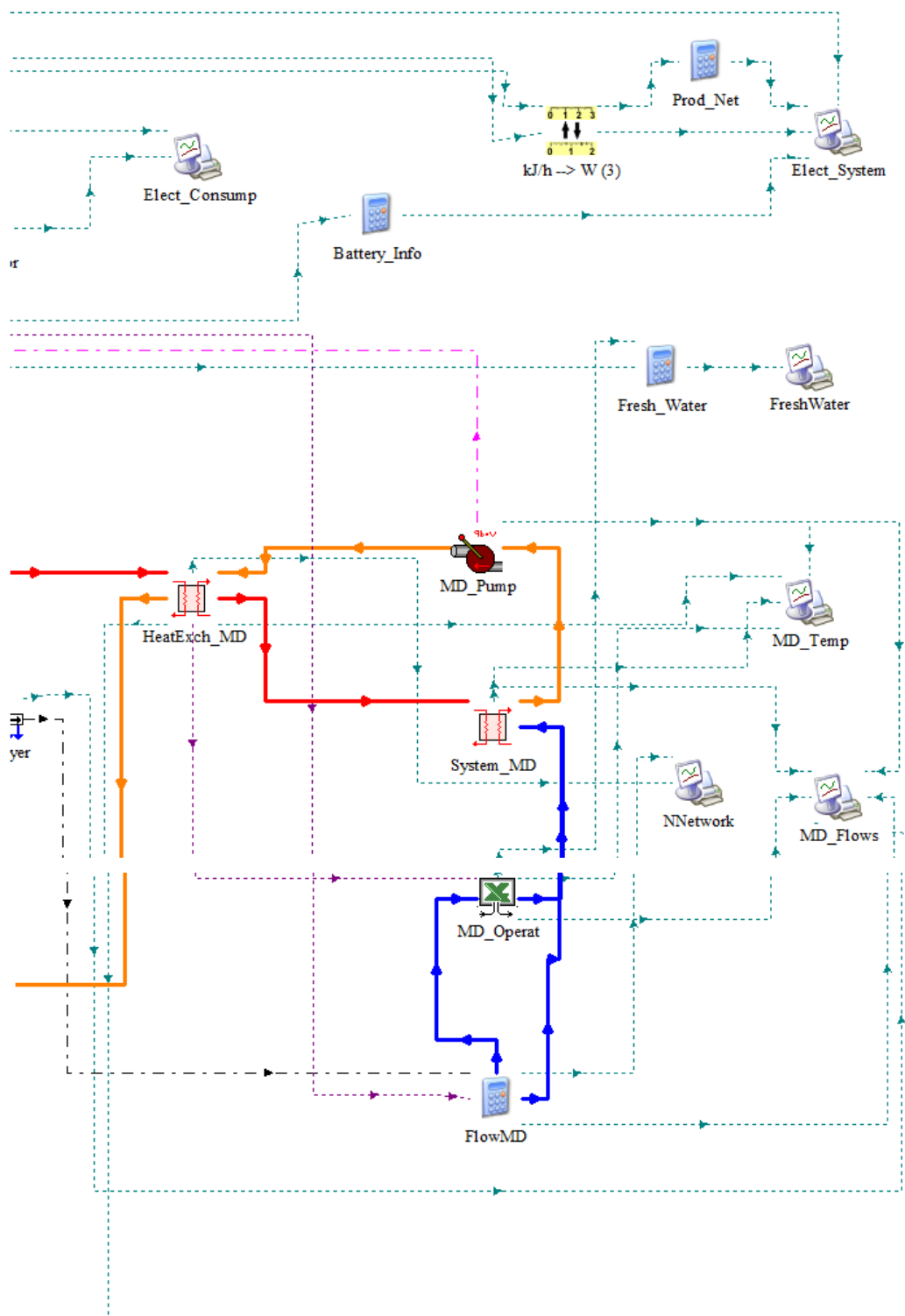


Figura A3. Modelo teórico diseñado en TRNSYS (parte 3).

A.2. Lista de *types*

La descripción de los *types* presentes en el modelo teórico se lleva cabo a través del nombre y número asignado en las librerías de TRNSYS, del nombre con el que aparecen en el esquema y del elemento al que representan en la planta:

Elemento	Nombre modelo	Nombre librería	Número
<i>Panales híbridos</i>	PVT_1 y PVT_2	Creado por el usuario	
<i>Colector de tubos de vacío</i>	ETC	Evacuated tube collector	71
<i>Tubería impulsión</i>	Flow_Pipe	Pipe duct	31
<i>Tubería retorno</i>	Return_Pipe	Pipe duct	31
<i>Válvula de 3 vías</i>	3wV_Air	Flow diverter (other fluids)	11f
<i>Intercambiador serpentín</i>	Solar_HeatExch	Heat exch. (constant effectiveness)	91
<i>Pieza T (mezcla)</i>	Tee_Piece	Tee-piece (other fluids)	11h
<i>Bomba de impulsión</i>	Solar_Pump	Pump (single speed)	114
<i>Aerotermino</i>	Air_Heater	Heat exch. (shell and tube)	5g
<i>Regulador bomba</i>	Hist_Reg	Differential controller (for temperatures, solver 0)	2b
<i>Regulador aerotermino</i>	Heater_Reg	Differential controller (for temperatures, solver 0)	2b
<i>Datos de entrada</i>	WeatherData	Data reader (free format)	9a
<i>Cálculos datos entrada</i>	WeatherDat	New equation	-

Tabla A2. Relación de los *types* del circuito solar en el modelo de TRNSYS.

Elemento	Nombre modelo	Nombre librería	Número
<i>Perfil consumo (verano)</i>	SummerWater	Forcing function (water)	14b
<i>Perfil consumo (invierno)</i>	WinterWater	Forcing function (water)	14b
<i>Simulador tiempo</i>	TimeSimulation	Time values	21
<i>Cálculos demanda</i>	WaterDemand	New equation	-
<i>Válvula reparto</i>	Temp_Divert	Tempering valve (other fl.)	11b

Anexo A: Modelo en Trnsys

<i>Pieza T (mezcla)</i>	Tee_Piece	Tee-piece (other fluids)	11h
<i>Tanque de acumulación</i>	Tank	Stratified storage tank	4c
<i>Válvula distribuidora</i>	Div_Valve	Diverting valve (other fl.)	647
<i>Cálculos distribución</i>	HotWater_Flow	New equation	-
<i>Bomba de impulsión ACS</i>	ACS_Pump	Pump (variable speed)	110
<i>Pieza T (mezcla ACS)</i>	Temper_TPiece	Tee-piece (other fluids)	11h
<i>Controlador bomba ACS</i>	SHW_Contr	Iterative feedback controller	22

Tabla A3. Relación de los types del circuito de ACS en el modelo de TRNSYS.

Elemento	Nombre modelo	Nombre librería	Número
<i>Bomba agua tanque</i>	HWat_Pump	Pump (single speed)	114
<i>Controlador sistema</i>	MD_Contr	Aquastat (cooling mode)	2 - AquastatC
<i>Retrasador de señal</i>	Delayer	Delayed inputs	661
<i>Intercambiador (calent)</i>	HeatExch_MD	Heat exch. (counter flow)	5b
<i>Cálculos MD</i>	FlowMD	New equation	-
<i>Red Neuronal</i>	MD_Operat	Calling external function (Excel)	62
<i>Bomba agua salada</i>	MD_Pump	Pump (input the flow rate, variable-speed)	742
<i>Evaporador/Condensador</i>	System_MD	Heat exch. (counter flow)	5b

Tabla A4. Relación de los types del sistema MD en el modelo de TRNSYS.

Elemento	Nombre modelo	Nombre librería	Número
<i>Turbina eólica</i>	WindTurb	Wind Turbine	90
<i>Control turbina</i>	WT_Control	Forcing function (general)	14h
<i>Control paneles híbridos</i>	PVT_Control	Forcing function (general)	14h
<i>Cálculo generación</i>	PowerProd	New equation	-
<i>Inversor/Regulador</i>	Inverter	Inverter (MPP Tracking)	48c

<i>Batería</i>	Battery	Battery (power as input)	47b*
<i>Consumo vivienda</i>	House_Cons	Data reader (free format)	9a
<i>Corrección consumo</i>	Correction	New equation	-
<i>Consumo ósmosis inversa</i>	RO_System	New equation	-
<i>Conversor unidades</i>	W->kJ/h	Unit conversion routine	57
<i>Consumo bombas</i>	Pumps_Power	New equation	-
<i>Demanda total</i>	Elect_Demand	New equation	-

Tabla A5. Relación de los *types* del sistema eléctrico en el modelo de TRNSYS.

Elemento	Nombre modelo	Nombre librería	Número
<i>Datos radiación</i>	Radiation	Online plotter (without file)	65d
<i>Conversor unidades</i>	kJ/h -> W	Unit conversion routine	57
<i>Integrador</i>	Integrator	Quantity integrator	24
<i>Consumo eléctrico</i>	Elect_Consump	Online plotter (with file)	65b
<i>Cálculos batería</i>	Battery_Info	New equation	-
<i>Cálculos producción neta</i>	Prod_Net	New equation	-
<i>Sistema eléctrico</i>	Elect_System	Online plotter (with file)	65b
<i>Cálculos agua dulce</i>	Fresh_Water	New equation	-
<i>Producción agua dulce</i>	FreshWater	Online plotter (with file)	65b
<i>Temperaturas MD</i>	MD_Temp	Online plotter (with file)	65b
<i>Caudales MD</i>	MD_Flows	Online plotter (with file)	65b
<i>Entrada red neuronal</i>	NNetwork	Online plotter (with file)	65b
<i>Circuito ACS</i>	HotWater_Loop	Online plotter (with file)	65b
<i>Circuito captación solar</i>	Solar_Loop	Online plotter (with file)	65b
<i>Acumulación agua</i>	Water_Storage	Online plotter (with file)	65b

Tabla A5. Relación de los *types* para la salida de datos en el modelo de TRNSYS.

ANEXO B: AJUSTES MODELO

La validación del modelo propuesto depende de la capacidad que este tenga para reproducir el comportamiento de la planta piloto de trigeneración. Para llegar a cumplir con este objetivo, resulta de vital importancia el ajuste de todos los elementos implicados.

La mayoría de las características de los equipos de la instalación forman parte de la información inicial recolectada al comienzo del trabajo y, por tanto, son directamente definidas en el modelo. Sin embargo, existen algunas variables o propiedades desconocidas que hay que tratar de estimar. La introducción de las condiciones ambientales y demás datos de partida es otra de las cuestiones que tienen que ser cuidadosamente analizadas. También el estado inicial de ciertos equipos debe revisarse de manera detallada.

Por consiguiente, en este segundo anexo se van a exponer las principales modificaciones, cálculos y/o estimaciones que se han tenido que llevar a cabo para ajustar el comportamiento del modelo teórico de TRNSYS.

DATOS DE ENTRADA AL SISTEMA

Para que el sistema sea capaz de simular el comportamiento del modelo ante una situación externa y una consigna de trabajo es necesario introducir esta información en el esquema de TRNSYS. En este caso, se ha optado por utilizar un *type* que permite leer datos incluidos en un archivo de texto. Este archivo tiene que contener la información numérica necesaria ordenada de manera adecuada.

Las mediciones registradas por el conjunto de instrumentos y sensores de la planta piloto se encontraban clasificadas en hojas de cálculo. El sistema de control de la instalación se encargaba de tomar datos cada minuto. Para construir los archivos de texto de TRNSYS, en primer lugar se han tenido que identificar y separar las variables de interés. En total, se han tomado ocho parámetros: velocidad del viento, radiación solar directa y difusa, radiación sobre la horizontal, ángulo de incidencia, temperatura ambiental, temperatura del agua salada del tanque (entrada al condensador) y caudal de operación del sistema MD. La adecuación de las variables de partida ha tenido en cuenta los siguientes puntos:

- Conversión de unidades
- Toma de datos del periodo a estudiar
- Ajuste temporal

El ajuste de las unidades en las que se encuentra definido cada parámetro se ha implementado en el propio modelo de TRNSYS, mediante el *type* de una calculadora. Hay que tener muy claro el periodo de tiempo que se va a analizar, por lo que hace falta establecer el inicio y el final de la simulación y escoger los valores de ese intervalo. Por último, se ha comprobado la correcta situación temporal de las mediciones, ajustando los datos para que el mediodía solar se corresponda con el momento en el que realmente ocurre cada día del año. Si el proceso aquí descrito se ha seguido adecuadamente, TRNSYS será capaz de tomar para cada minuto (paso) de la simulación el valor de cada uno de estos parámetros. Si, por el contrario, los datos de entrada no se corresponden con los registrados durante las pruebas experimentales, difícilmente se van a encontrar los resultados deseados.

INTERCAMBIADORES DEL SISTEMA MD

El subsistema de desalinización por destilación con membranas está compuesto por dos intercambiadores de calor. El equipo principal es un intercambiador no sólo de calor sino también de materia. Se encuentra dividido en dos zonas: condensador y evaporador. Por cada una de ellas circula todo el caudal de agua salada, y es en el evaporador donde parte del fluido pasa a fase gaseosa para posteriormente poder ser recogido, ya libre del soluto (la sal). El otro equipo se utiliza como precalentador de la corriente de agua salada que se dirige hacia la entrada del evaporador. Para aumentar la temperatura de esta corriente se deriva parte del agua caliente almacenada en el tanque de acumulación.

El equipo evaporador/condensador está formado por una membrana cilíndrica que proporciona un área de intercambio de unos 10 m². Sin embargo, se desconoce más información acerca de los materiales o de su principio de operación. En cambio, el precalentador es un típico intercambiador de placas del que se conocen sus dimensiones externas, pero no sé sabe con certeza el número de placas que lo forman. La modelización de estos elementos en el modelo teórico mediante *types* precisa de información sobre los mecanismos de intercambio de calor. En otras palabras, se debe introducir el valor del coeficiente global de transferencia de calor, U·A. En esta situación, no es posible obtener el dato requerido.

A pesar de los impedimentos encontrados, se ha propuesto un método para estimar el valor aproximado de los coeficientes UA.

Entre los parámetros estudiados en las pruebas experimentales, se encuentran las temperaturas de todas las corrientes de agua que entran y salen de los dos equipos principales de la MD. Observando los procedimientos de dimensionamiento de intercambiadores existentes, el método conocido como la *media logarítmica* se utiliza precisamente en situaciones en las que se desconocen las características del intercambiador, pero sí los niveles de temperatura deseados en cada punto del equipo. Si se combinan las ecuaciones del modelo de la media logarítmica junto con las utilizadas para la caracterización térmica de sustancias, es posible obtener un valor para el coeficiente UA.

Por un lado, se tiene la ecuación del método de la media logarítmica (ec. B.1), en donde Q es el calor intercambiado en el equipo, U es el coeficiente de transferencia de calor, A es el área de intercambio y ΔT_{ml} es la temperatura media logarítmica:

$$Q[kW] = U \left[\frac{kW}{K m^2} \right] A [m^2] \Delta T_{ml} [K] \quad (\text{ec. B.1})$$

Este último factor se calcula según una expresión en la que se tiene en cuenta la diferencia de temperaturas a ambos lados del intercambiador. En este caso, al tratarse de un equipo con flujos a contracorriente, se define como

$$\Delta T_{ml} [K] = \frac{\Delta T_c [K] - \Delta T_f [K]}{\ln \left(\frac{\Delta T_c [K]}{\Delta T_f [K]} \right)} \quad (\text{ec. B.2})$$

siendo ΔT_c la diferencia de temperatura del lado caliente de ambas corrientes y ΔT_f , la diferencia de los valores del lado frío.

Por su parte, la energía cedida (o ganada) por cada una de las corrientes implicadas se puede calcular de manera sencilla a través de las ecuaciones térmicas. Para llevar cabo los cálculos, se tiene en cuenta el calor específico de la sustancia (C_p), la variación de temperatura que sufre (ΔT) y la cantidad de materia o caudal que circula (M):

$$Q[kW] = M \left[\frac{kg}{s} \right] C_p \left[\frac{kJ}{kg K} \right] \Delta T[K] \quad (\text{ec. B.3})$$

Llegados a este punto, se tienen tres ecuaciones y solamente dos incógnitas: la energía intercambiada (Q) y el coeficiente UA ; el resto de valores son todos conocidos. No obstante, el valor del calor calculado tanto desde el lado de una corriente como de la otra debería ser, sino igual, muy parecido. Hacerlo de las dos maneras no sirve más que para comprobar los resultados. En conclusión, siguiendo este procedimiento se puede estimar el valor del coeficiente de transferencia de calor para ambos intercambiadores.

La metodología propuesta es eficaz, pero alberga un claro problema: todas las temperaturas se toman de las mediciones experimentales. A la hora de realizar las simulaciones del modelo, podría ser que la evolución de estas variables en TRNSYS no fuera exactamente igual a la registrada por la instrumentación de la planta durante las pruebas. Por lo tanto, el valor calculado para caracterizar a los intercambiadores no sería válido, y habría que llevar a cabo un proceso iterativo para ajustar el coeficiente UA .

Debido a que no se trata de un procedimiento muy exacto y a que, desgraciadamente, tampoco se puede contar con la ficha de características de los intercambiadores, se ha tomado la siguiente decisión: estimar el parámetro UA , según el método aquí explicado, con el fin de introducirlo en los *types* del modelo inicial; e ir ajustando su valor a medida que se van repitiendo las tareas de simulación y comparación de resultados. En la Tabla B1 se muestra el valor que finalmente se ha dado a estos dos coeficientes:

<i>Equipo</i>	<i>UA (W/K)</i>
<i>Precalentador</i>	1500
<i>Evaporador-Condensador</i>	2100

Tabla B1. Coeficientes de intercambio de calor para los equipos del sistema MD.

DEMANDA ELÉCTRICA DE LA VIVIENDA

La producción eléctrica de los paneles solares híbridos y de la turbina eólica tiene que satisfacer todos los consumos presentes en la planta. La demanda eléctrica total se puede dividir en tres grupos: bombas de impulsión, equipo de ósmosis inversa y consumo de la vivienda unifamiliar. Este último factor está diseñado de una forma un tanto especial.

A pesar de que existen documentos y bases de datos en los que se puede consultar el perfil de consumo eléctrico típico para una vivienda (en cada momento del día y cada día del año), en la planta de pruebas se encuentra modelizado mediante un potenciómetro que establece el valor de una resistencia eléctrica. El gasto energético provocado por esta resistencia es medido durante las pruebas y, por tanto, se tiene constancia de su evolución a lo largo de toda la jornada.

En consecuencia, en el modelo teórico de TRNSYS se ha introducido de la misma manera en la que se habían definido el resto de los datos de entrada y las condiciones ambientales. Se ha creado un archivo de texto en el que se ha ordenado, minuto a minuto, el valor registrado de la resistencia del potenciómetro. No obstante, ha sido necesario añadir el *type* de una calculadora para corregir el consumo de la resistencia. Esto es debido a que los resultados de los instrumentos de medida no se encontraban correctamente calibrados, y el valor marcado por el potenciómetro se estimaba que era en torno a un 15% menor que el real. Por esta razón, también se han corregido los datos experimentales relacionados con la producción eléctrica neta.

ESTADO INICIAL EQUIPOS

Cómo se ha comentado anteriormente, la información que necesita el programa TRNSYS para poder llevar a cabo la simulación del modelo se introduce principalmente a través de la evolución minutar de una serie de variables. Sin embargo, existen otros datos que hace falta ajustar antes de comenzar el proceso de cálculo. Estos parámetros son los que se corresponden con el estado inicial de algunos equipos:

- Temperatura del agua almacenada
- Carga de las baterías (SOC)
- Activación de subsistemas

El agua contenida en tanque de acumulación tiene que encontrarse a una temperatura suficientemente elevada para poder satisfacer la demanda de ACS y poder activar el sistema de la MD. Por lo tanto, existe una gran diferencia entre que en cierto momento el agua acumulada ya esté caliente o que, por el contrario, se tenga que esperar a que el circuito solar sea capaz de elevar su temperatura. Así que hay que tener especial cuidado al realizar el ajuste de este valor en los datos internos del *type* del tanque.

El estado inicial de las baterías también es otro factor clave en la correcta simulación del sistema eléctrico. De hecho, si no se introduce el mismo porcentaje de carga inicial que el medido durante las pruebas experimentales, el proceso de cálculo de TRNSYS puede llegar a informar de errores provocados por la imposibilidad de satisfacer las demandas eléctricas.

Finalmente, hay que comentar que algunos subsistemas como la turbina eólica o la generación fotovoltaica se pueden activar y desactivar en cualquier momento. Si se requiere, la planta de trigeneración permite impedir el funcionamiento de estos equipos. En el modelo teórico se han introducido unos *types* adecuados para controlar la operación de los sistemas mencionados y poder así regular el momento de activación de cada uno de ellos.

OTROS AJUSTES

Además de los aspectos ya comentados, existen otras pequeñas modificaciones que se han tenido que introducir en el modelo de TRNSYS para poder reproducir el funcionamiento de la planta de pruebas. Por ejemplo, los límites de actuación de los reguladores y controladores se han ajustado con respecto a los valores inicialmente establecidos. Al comienzo del trabajo, el control de la bomba de impulsión del circuito solar estaba definido para que la activara cuando la temperatura del fluido caloportador a la salida del colector de tubos de vacío fuera 7

grados mayor a la del agua almacenada en el tanque. Más tarde se detectó que el modelo se comportaba mejor si se reducía esta diferencia a 5 puntos. Tanto en este caso como para el resto de los reguladores de la instalación, se han tenido que introducir las consignas de funcionamiento de cada día, modificando algunos valores en función de los datos registrados cada jornada de pruebas.

Por otro lado, el sistema de control de la MD es algo más complejo debido a que los equipos tienen un periodo de transición el cual conlleva que, una vez dada la señal de activación, pase un cierto tiempo hasta que se ponen en funcionamiento. Este retraso no es un valor fijo, sino que depende de las condiciones en las que se encuentra la planta. En el modelo de TRNSYS se ha implementado un *type* que permite introducir un retraso en las señales enviadas por el controlador. No obstante, se ha tenido que ajustar el tiempo de retraso para cada uno de los cinco días estudiados.

El conjunto de ajustes y modificaciones aquí comentados se unen a la definición de las características de cada uno de los *types* presentes en el modelo teórico. Se ha creído conveniente exponer de manera detallada alguno de los aspectos que van más allá de la introducción del valor de un simple parámetro.

ANEXO C: RESULTADOS COMPLETOS

A continuación, se presentan los resultados completos del proceso de simulación del modelo teórico y de comparación con las pruebas experimentales. La información más importante se expone y comenta en el cuarto capítulo de la memoria, por lo que aquí sólo se muestran las representaciones gráficas y los datos estadísticos comparativos para cada uno de los cinco días de pruebas estudiados.

8 DE SEPTIEMBRE DE 2017

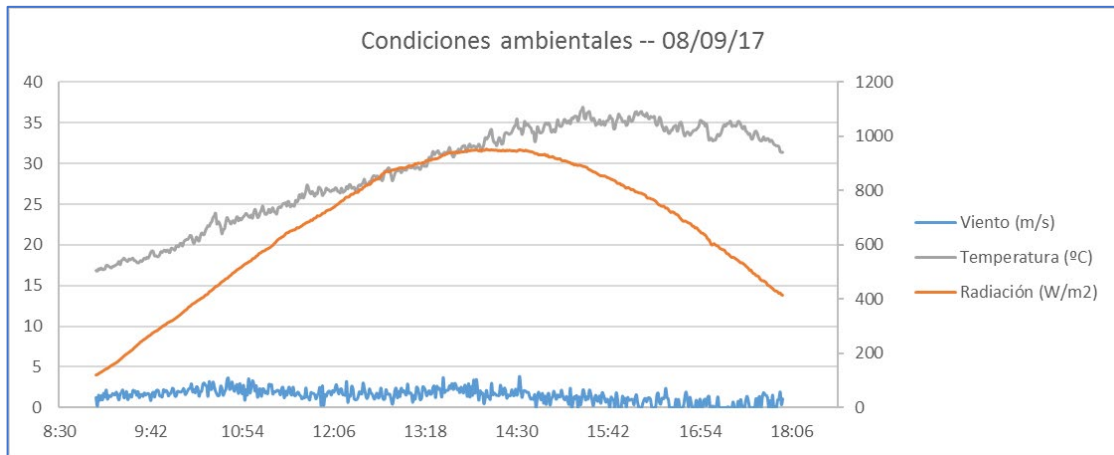


Figura C1. Condiciones ambientales durante las pruebas del 8 de septiembre.

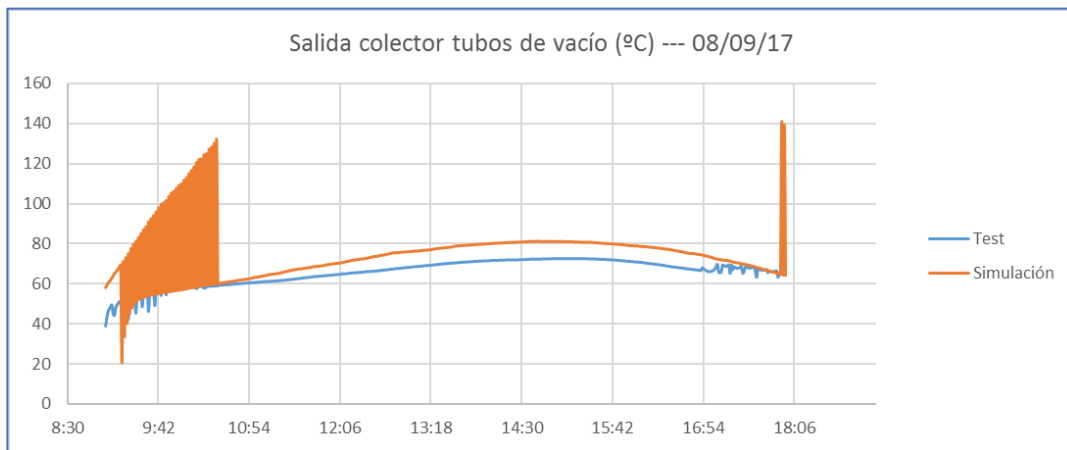


Figura C2. Temperatura del fluido a la salida del colector ETC (8 de septiembre).

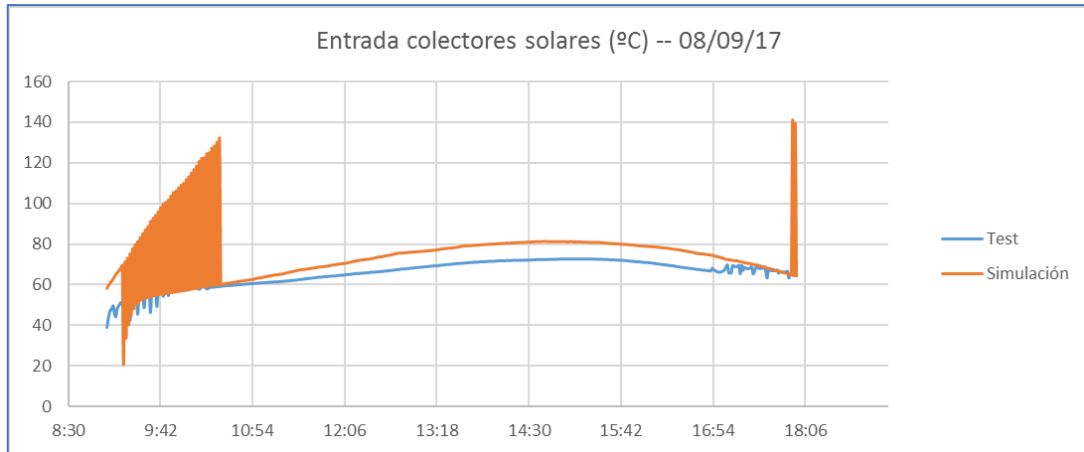


Figura C3. Temperatura del fluido a la entrada de los paneles PVT (8 de septiembre).

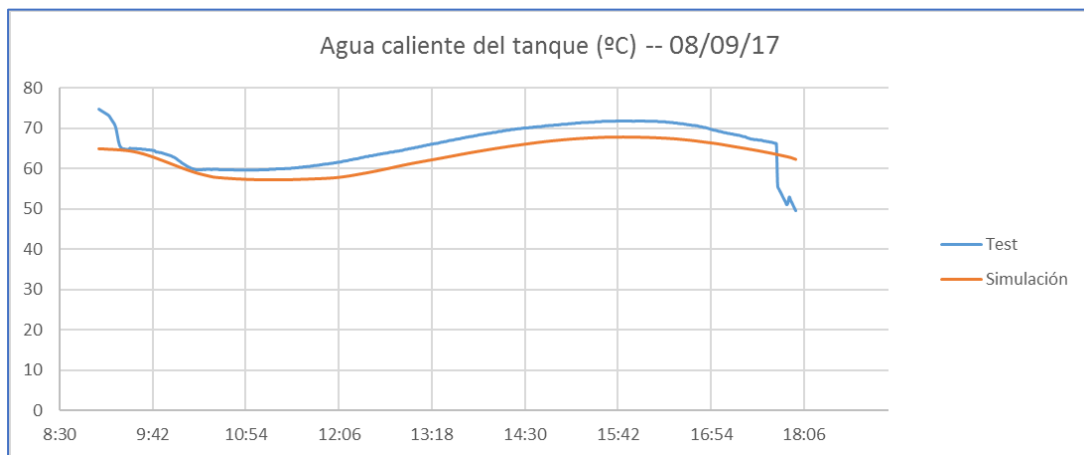


Figura C4. Temperatura del agua caliente extraída del tanque (8 de septiembre).

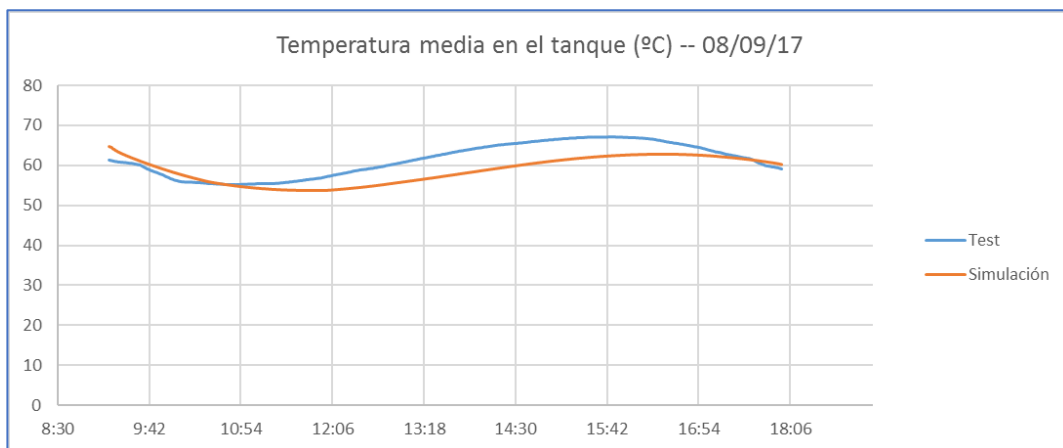


Figura C5. Temperatura media del agua caliente del tanque (8 de septiembre).

**La temperatura media se corresponde con la media aritmética de las dos sondas instaladas en el interior del tanque.*

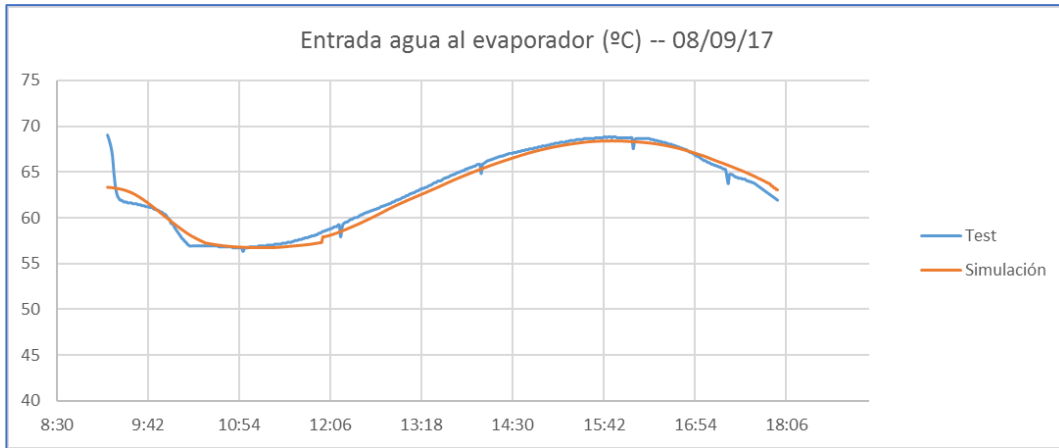


Figura C6. Temperatura del agua salada al entrar al evaporador (8 de septiembre).

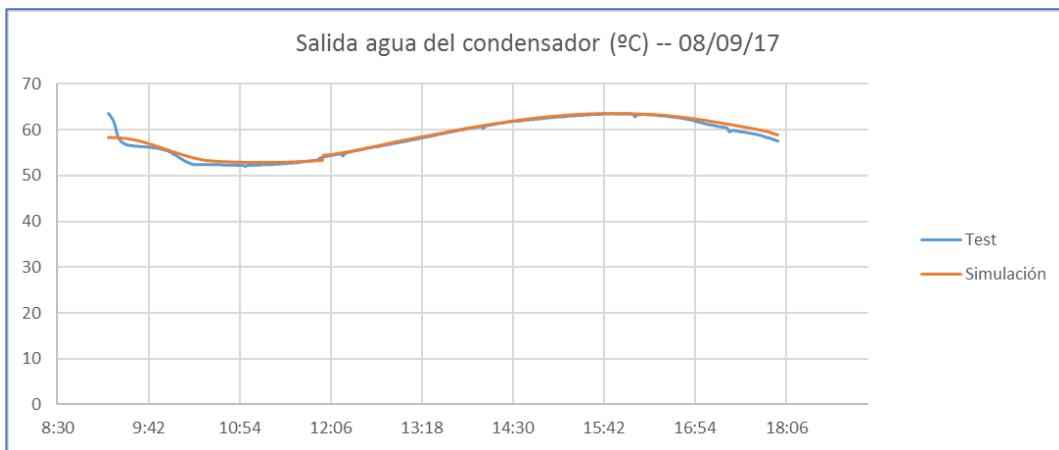


Figura C7. Temperatura del agua salada al salir del condensador (8 de septiembre).

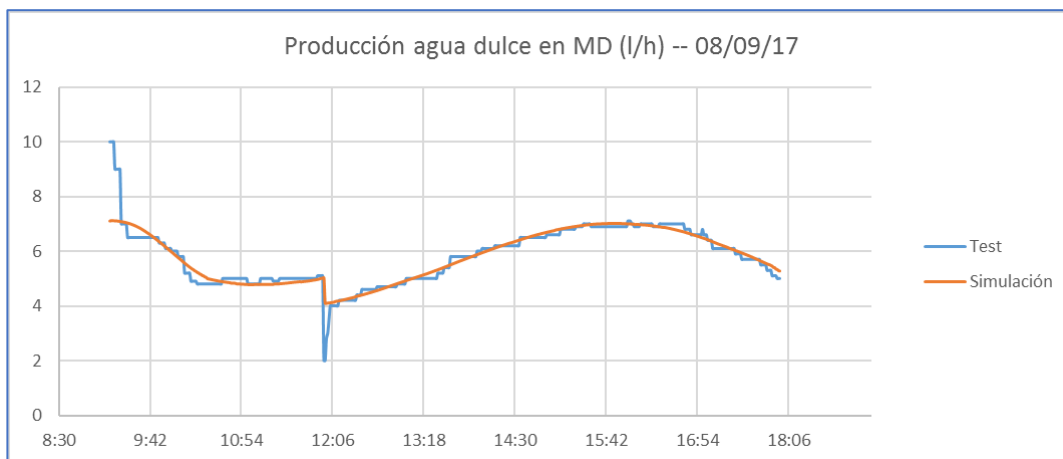


Figura C8. Producción de agua dulce en el sistema MD (8 de septiembre).

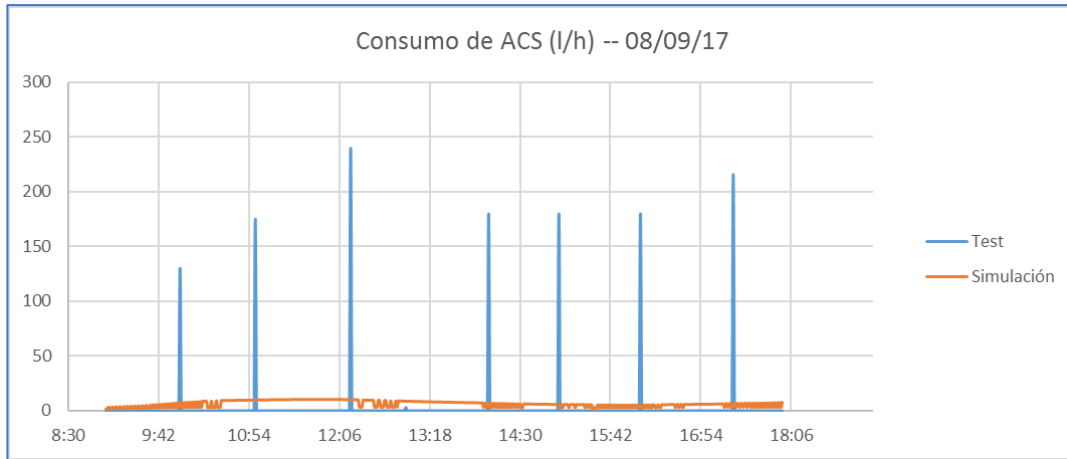


Figura C9. Perfil de consumo de ACS (8 de septiembre).

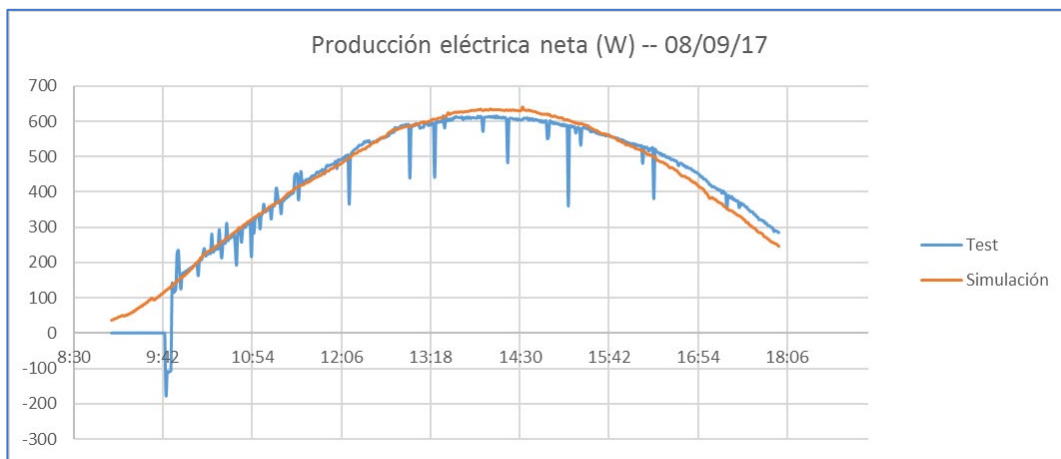


Figura C10. Producción eléctrica neta (8 de septiembre).

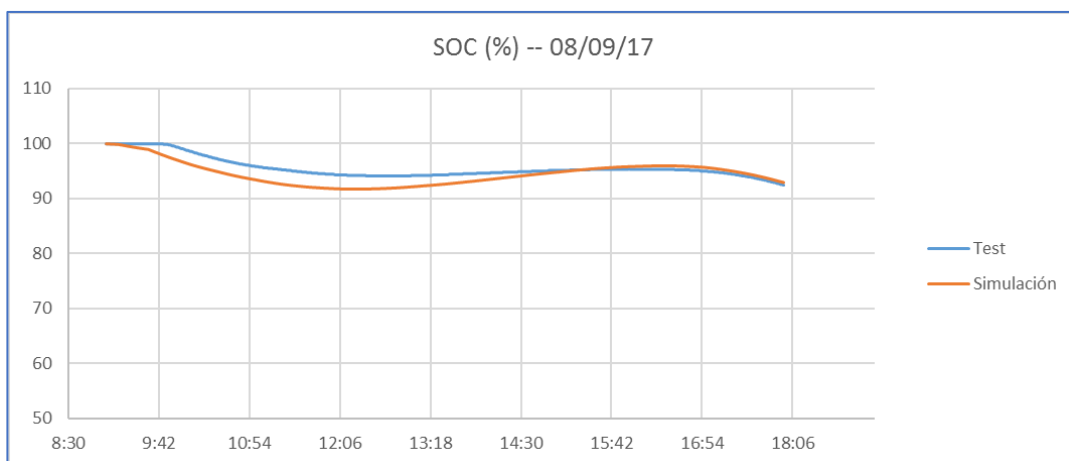


Figura C11. Estado de carga de las baterías (8 de septiembre).

Variable	Error (%)	Media		Desv. Típica	
		Exp.	Sim.	Exp.	Sim.
Temperatura salida colectores	9,08	67,89	74,13	3,91	6,13
Temperatura agua caliente tanque	4,98	65,67	62,97	4,81	3,76
Temperatura entrada evaporador	1,92	63,15	63,01	4,22	4,13
Temperatura salida condensador	1,86	58,36	58,70	3,92	3,85
Producción MD	2,85	5,81	5,82	0,93	0,91
Producción eléctrica neta	4,98	468,69	468,26	131,18	139,34
SOC Baterías	1,49	95,55	94,43	1,86	2,13

Tabla C1. Comparación estadística de la operación de la planta (8 de septiembre).

7 DE MARZO DE 2018

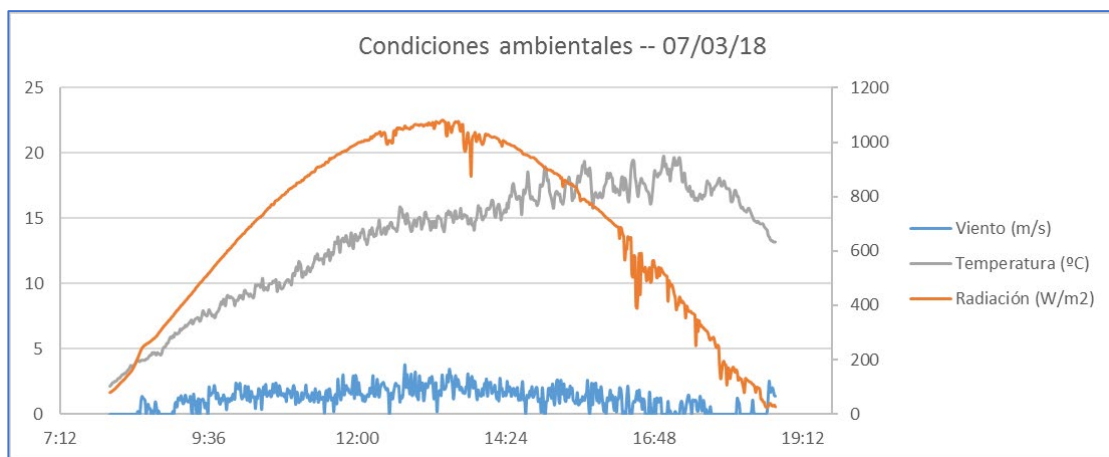


Figura C12. Condiciones ambientales durante las pruebas del 7 de marzo.

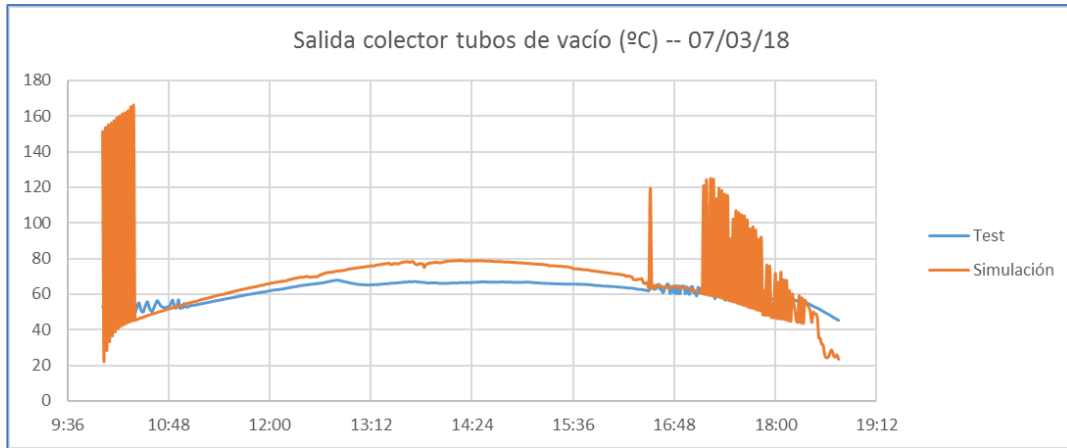


Figura C13. Temperatura del fluido a la salida del colector ETC (7 de marzo).

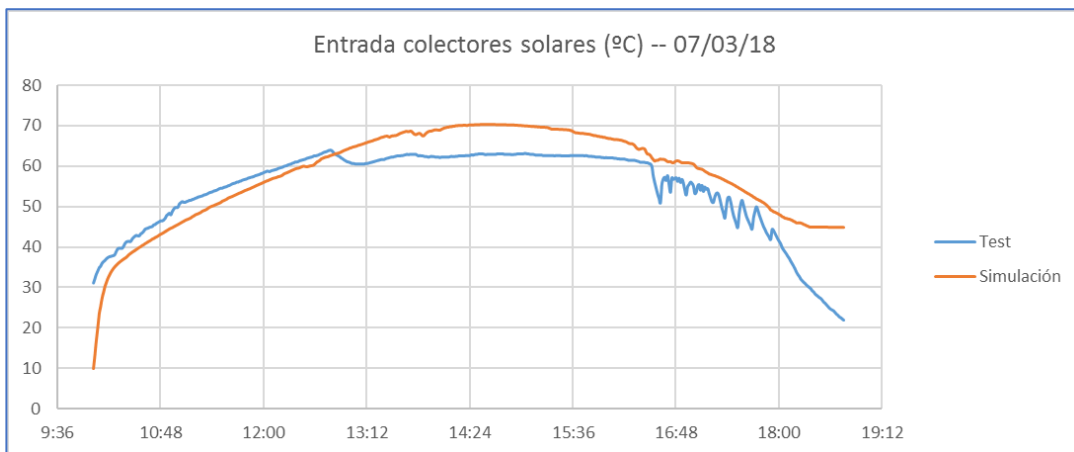


Figura C14. Temperatura del fluido a la entrada de los paneles PVT (7 de marzo).

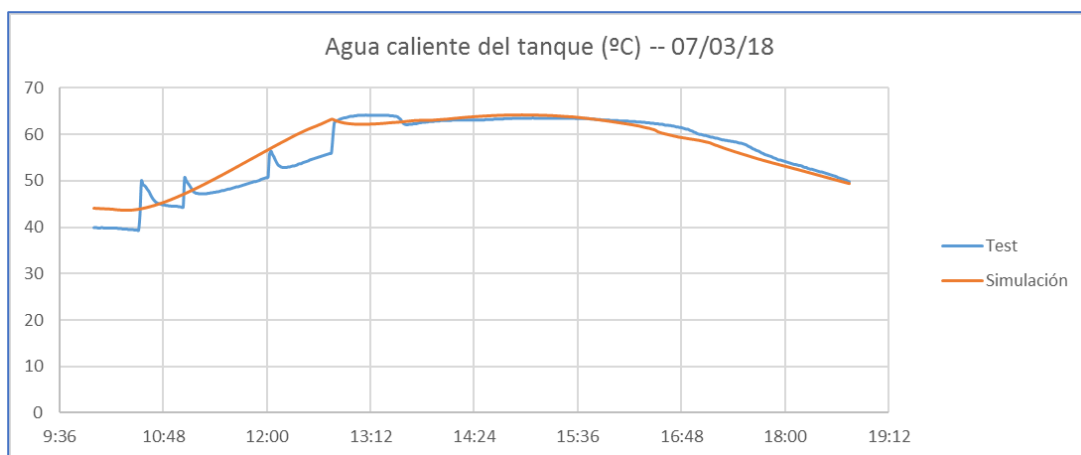


Figura C15. Temperatura del agua caliente extraída del tanque (7 de marzo).

**La temperatura media se corresponde con la media aritmética de las dos sondas instaladas en el interior del tanque.*

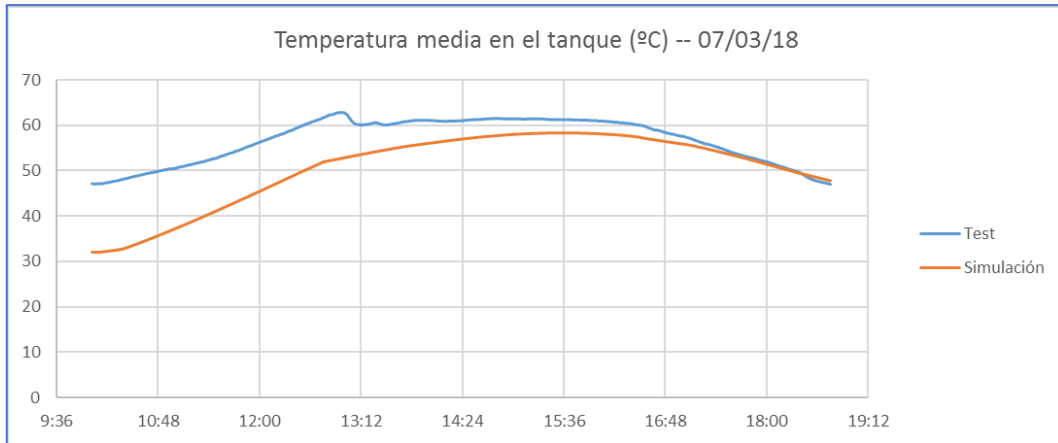


Figura C16. Temperatura media del agua caliente del tanque (7 de marzo).

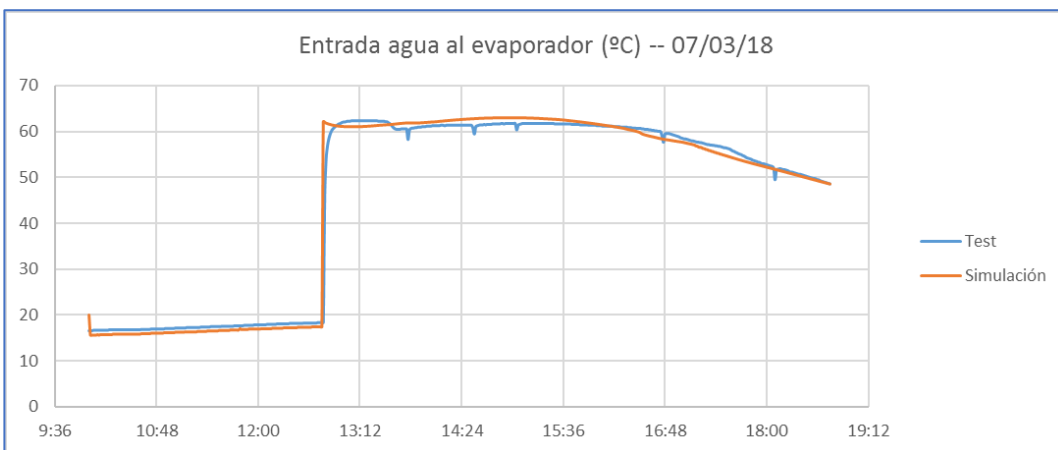


Figura C17. Temperatura del agua salada al entrar al evaporador (7 de marzo).

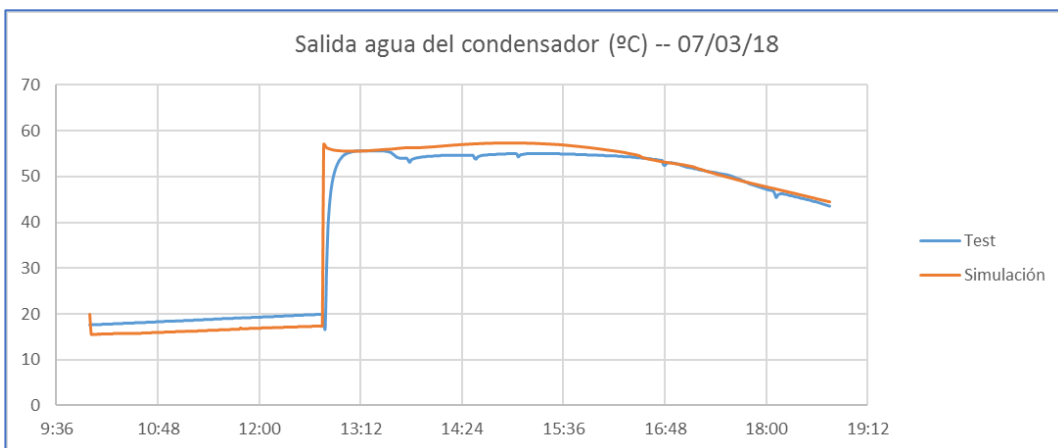


Figura C18. Temperatura del agua salada al salir del condensador (7 de marzo).

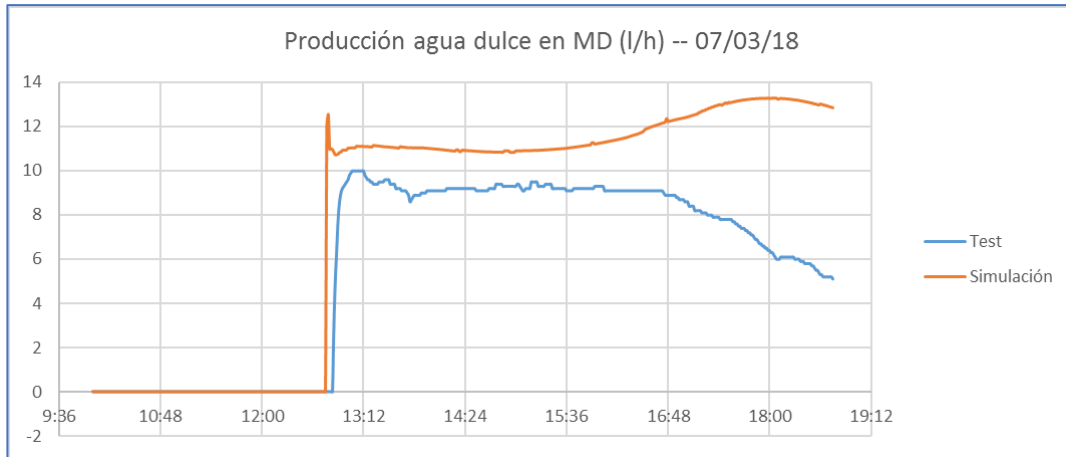


Figura C19. Producción de agua dulce en el sistema MD (7 de marzo).

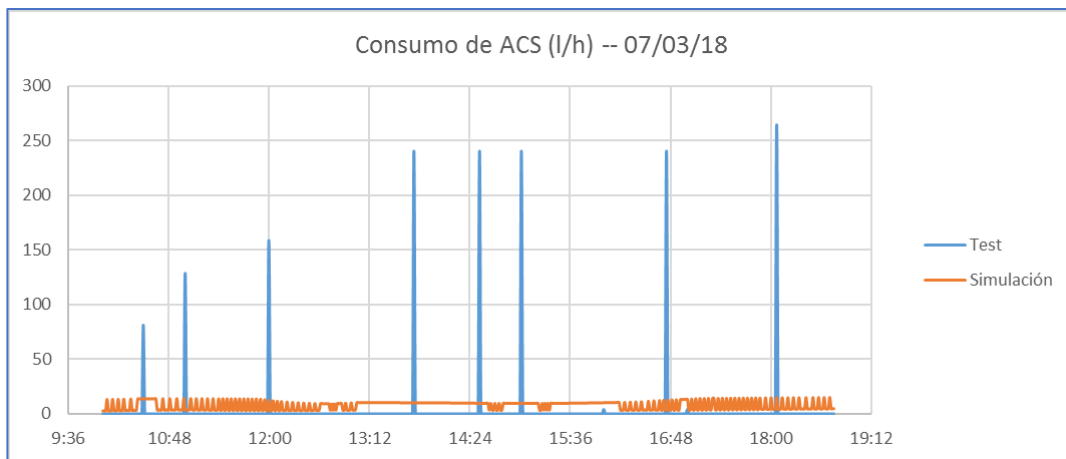


Figura C20. Perfil de consumo de ACS (7 de marzo).

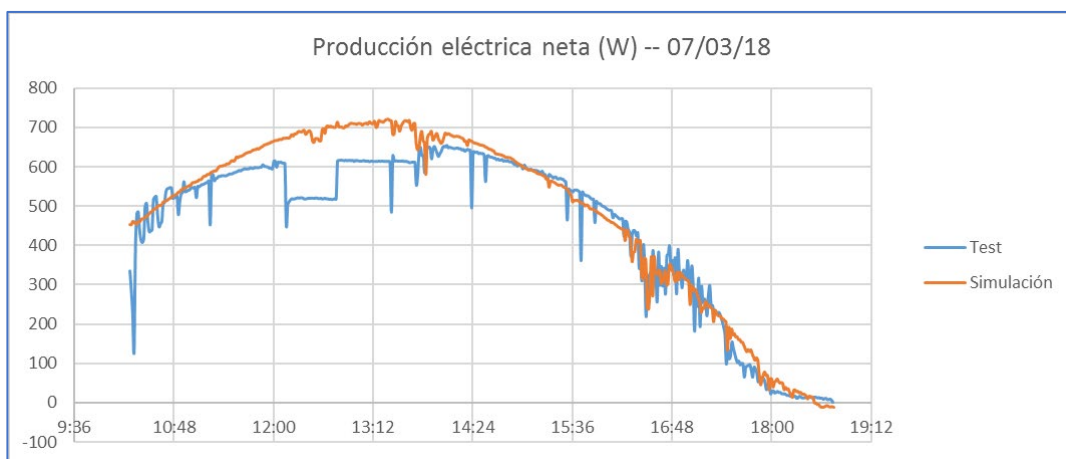


Figura C21. Producción eléctrica neta (7 de marzo).

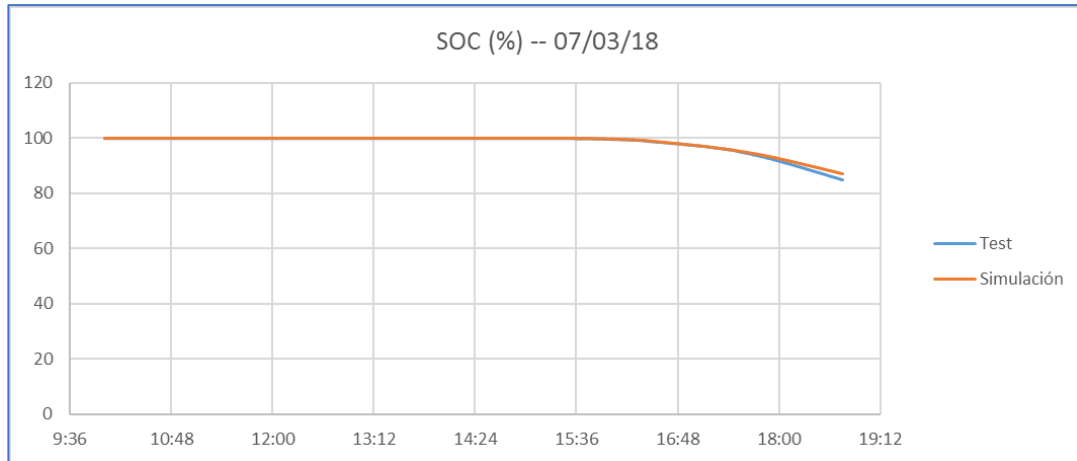


Figura C22. Estado de carga de las baterías (7 de marzo).

Variable	Error (%)	Media		Desv. Típica	
		Exp.	Sim.	Exp.	Sim.
<i>Temperatura salida colectores</i>	19,51	61,48	69,10	5,57	20,5
<i>Temperatura agua caliente tanque</i>	3,05	56,70	57,31	7,4	6,6
<i>Temperatura entrada evaporador</i>	3,28	42,26	42,59	15,82	17,42
<i>Temperatura salida condensador</i>	6,55	42,26	42,59	15,82	17,42
Producción MD	44,42	8,47	11,72	1,30	0,93
<i>Producción eléctrica neta</i>	25,35	450,58	485,36	203,70	222,5
SOC Baterías	0,21	98,22	98,41	3,58	3,14

Tabla C2. Comparación estadística de la operación de la planta (7 de marzo).

10 DE AGOSTO DE 2017

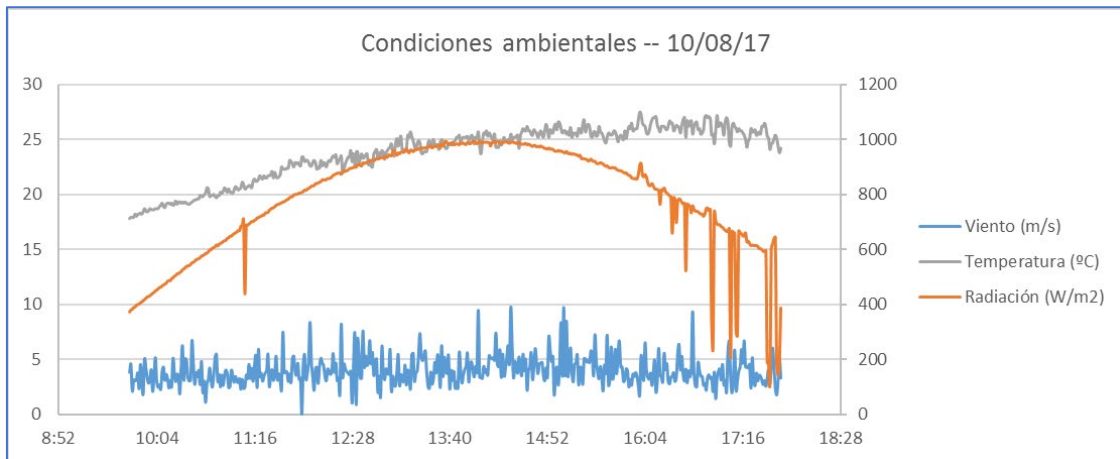


Figura C23. Condiciones ambientales durante las pruebas del 10 de agosto.

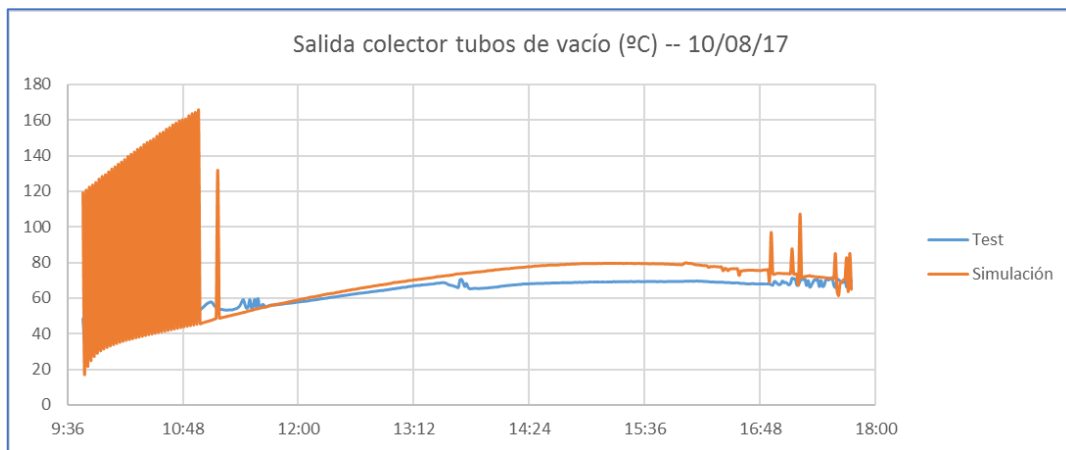


Figura C24. Temperatura del fluido a la salida del colector ETC (10 de agosto).

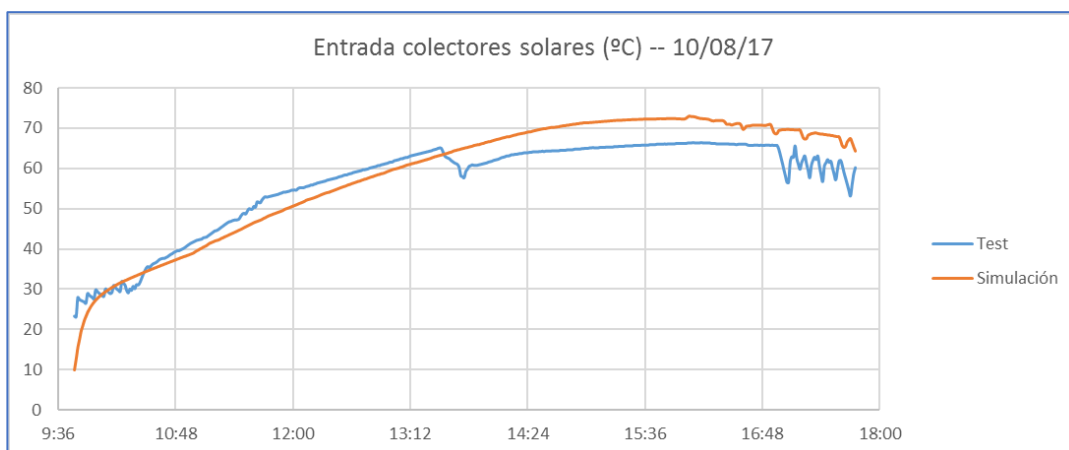


Figura C25. Temperatura del fluido a la entrada de los paneles PVT (10 de agosto).

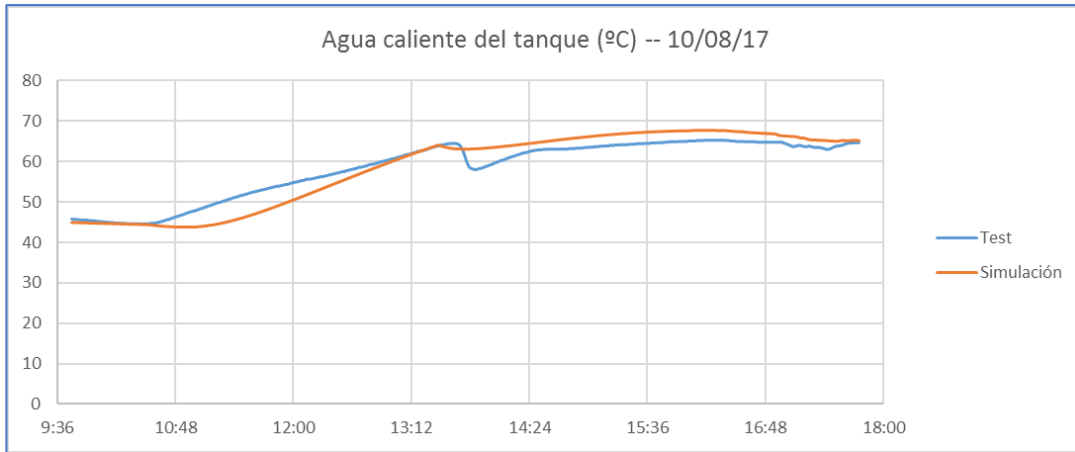


Figura C26. Temperatura del agua caliente extraída del tanque (10 de agosto).

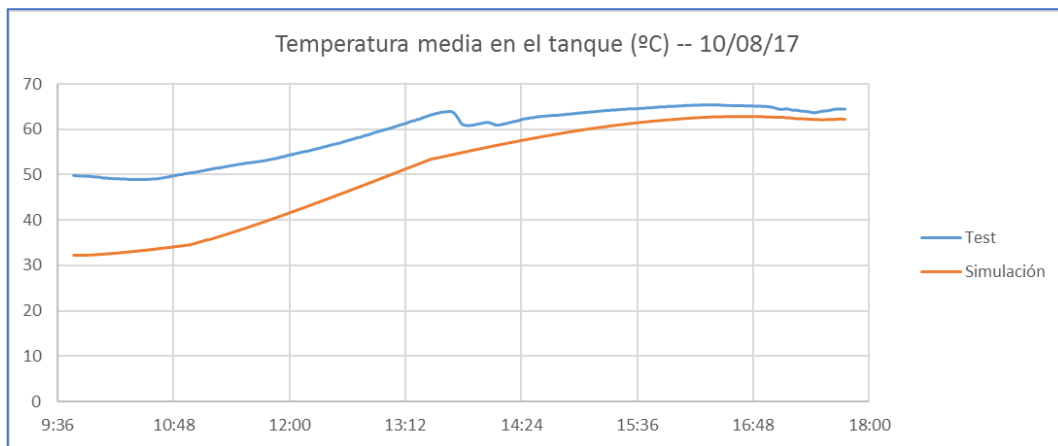


Figura C27. Temperatura media del agua caliente del tanque (10 de agosto).

**La temperatura media se corresponde con la media aritmética de las dos sondas instaladas en el interior del tanque.*

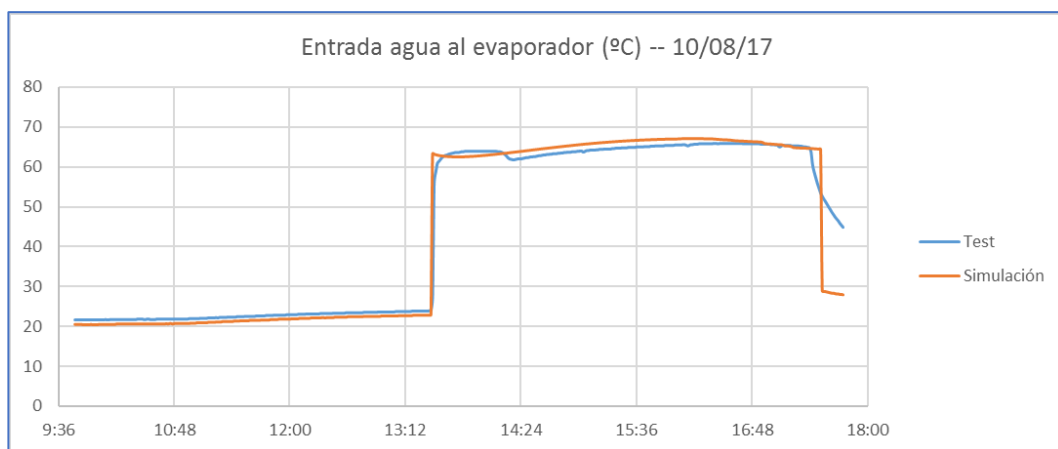


Figura C28. Temperatura del agua salada al entrar al evaporador (10 de agosto).

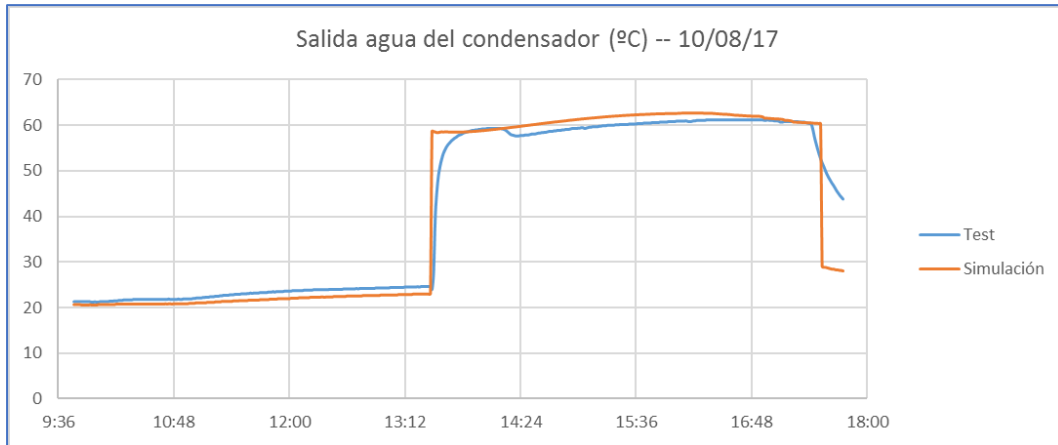


Figura C29. Temperatura del agua salada al salir del condensador (10 de agosto).

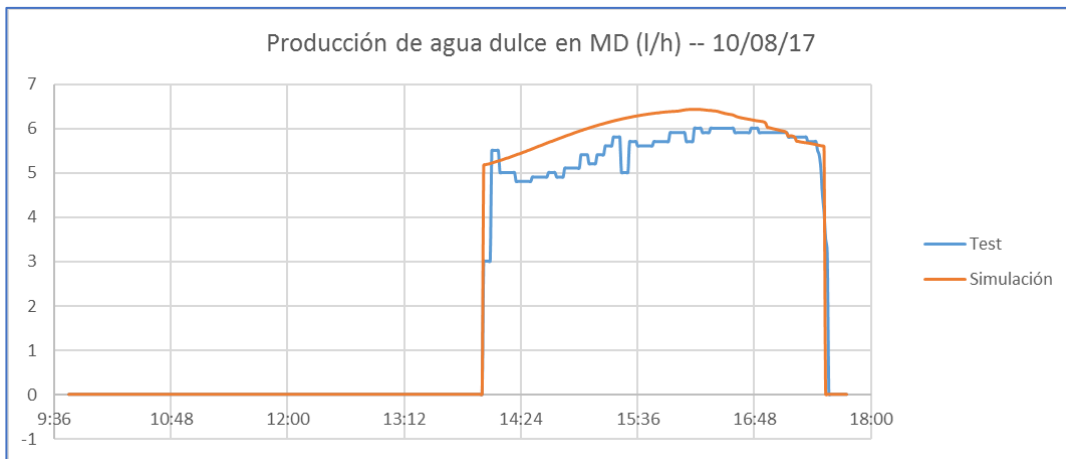


Figura C30. Producción de agua dulce en el sistema MD (10 de agosto).

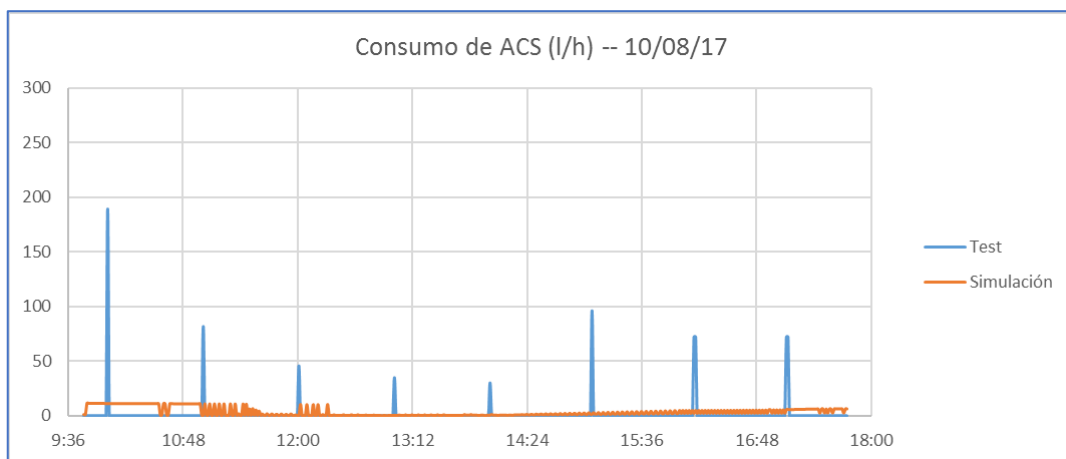


Figura C31. Perfil de consumo de ACS (10 de agosto).

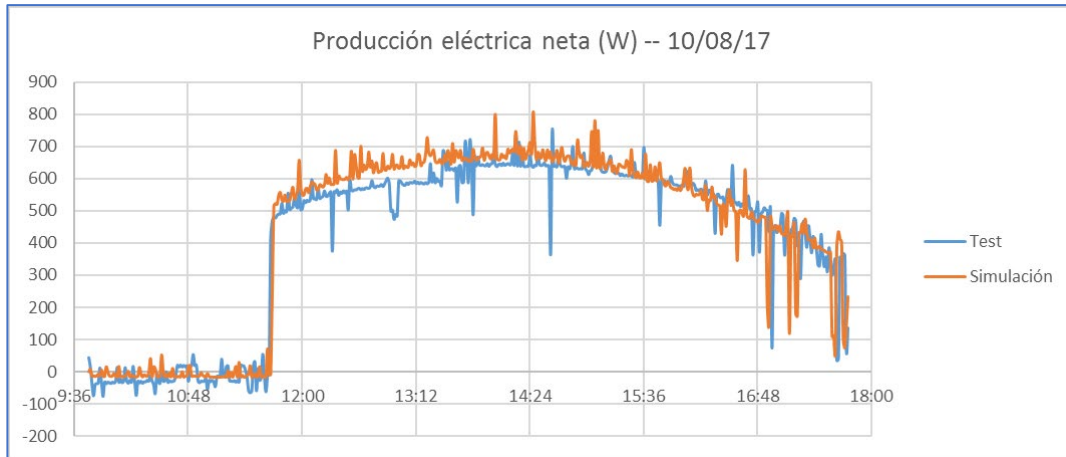


Figura C32. Producción eléctrica neta (10 de agosto).

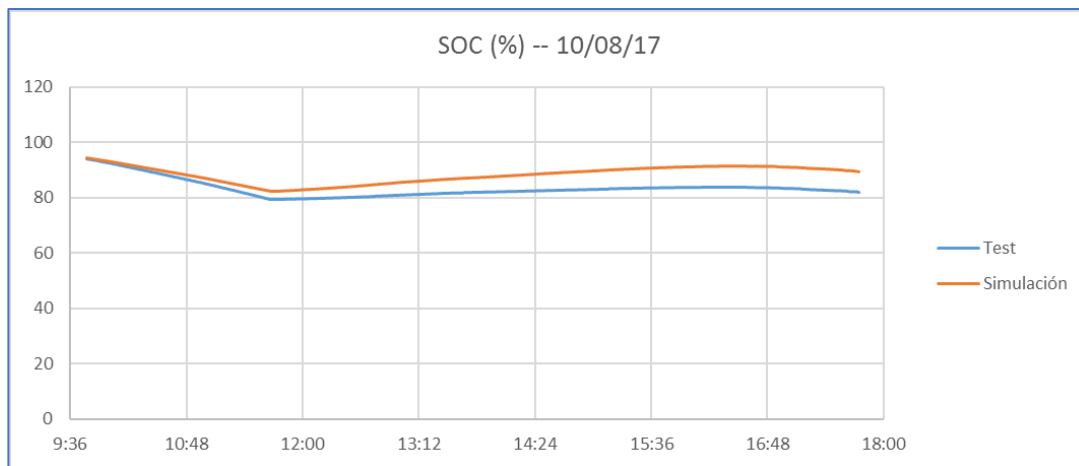


Figura C33. Estado de carga de las baterías (10 de agosto).

Variable	Error (%)	Media		Desv. Típica	
		Exp.	Sim.	Exp.	Sim.
Temperatura salida colectores	24,88	63,19	74,19	7,17	24,31
Temperatura agua caliente tanque	3,08	58,54	58,66	7,08	9,12
Tª entrada evaporador	4,55	44,39	43,91	20,63	21,70
Tª salida condensador	6,11	42,02	41,76	18,00	19,59
Producción MD	9,19	5,53	6,03	0,426	0,334
Producción eléctrica neta	36,58	420,26	439,16	261,32	272,47
SOC Baterías	6,00	83,35	88,30	3,24	2,98

Tabla C3. Comparación estadística de la operación de la planta (10 de agosto).

2 DE OCTUBRE DE 2017

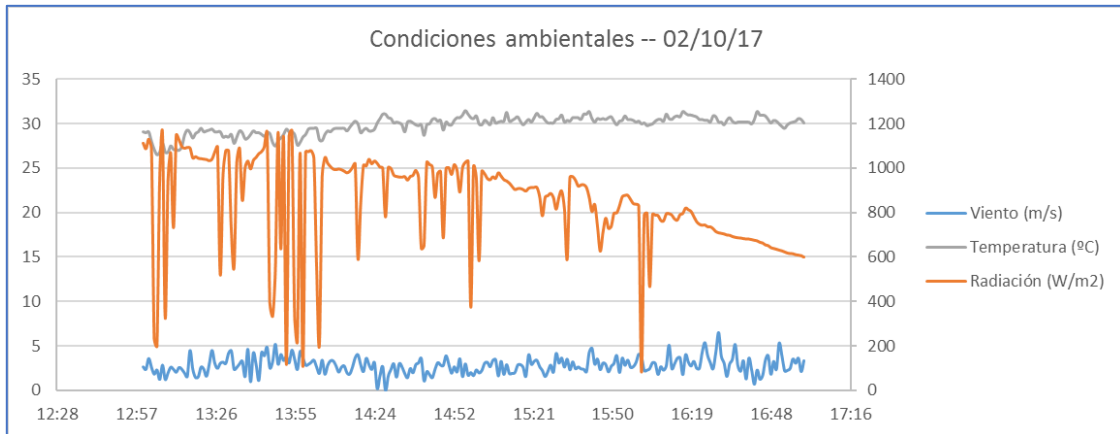


Figura C34. Condiciones ambientales durante las pruebas del 2 de octubre.

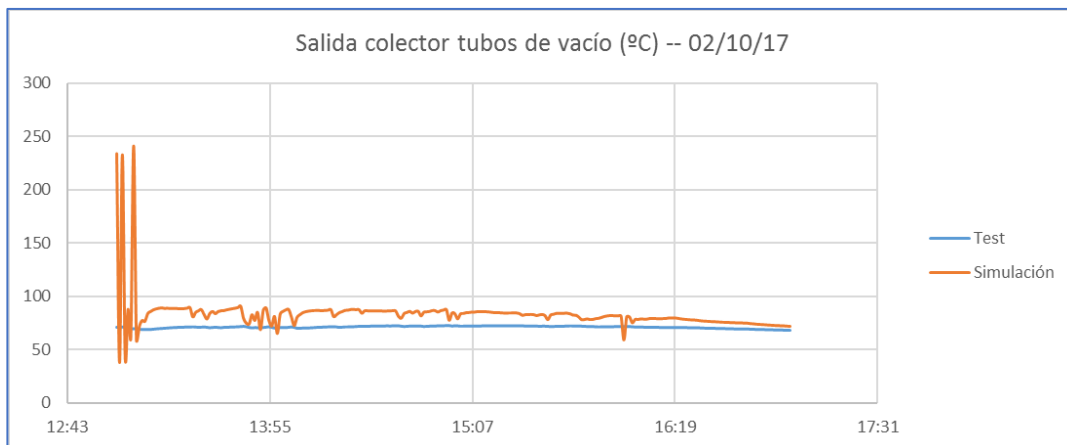


Figura C35. Temperatura del fluido a la salida del colector ETC (2 de octubre).

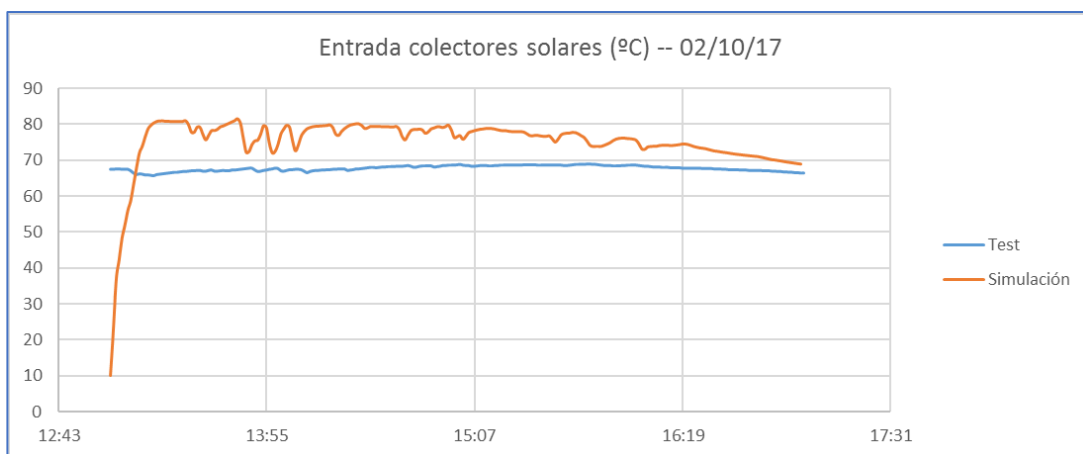


Figura C36. Temperatura del fluido a la entrada de los paneles PVT (2 de octubre).

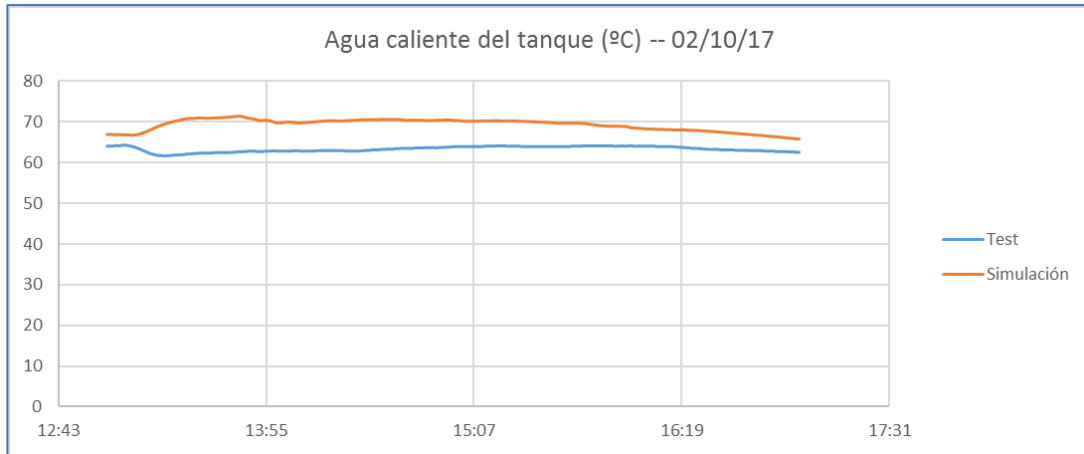


Figura C37. Temperatura del agua caliente extraída del tanque (2 de octubre).

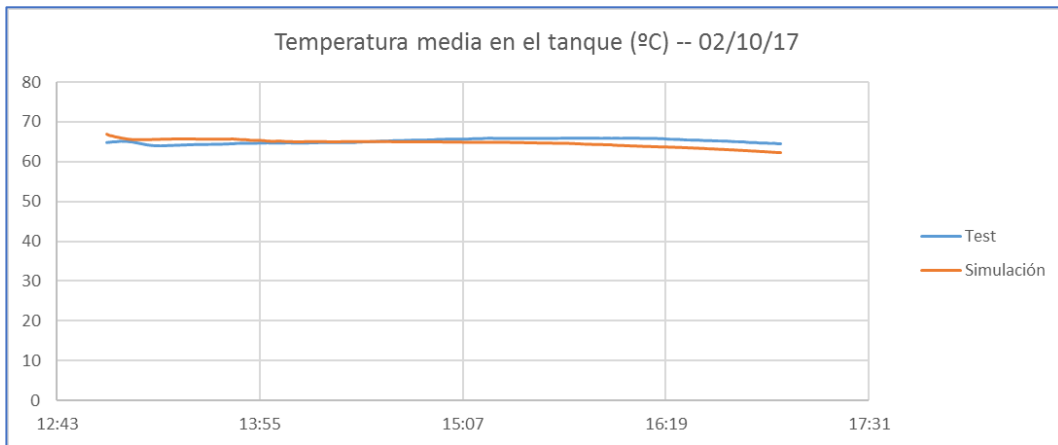


Figura C38. Temperatura media del agua caliente del tanque (2 de octubre).

**La temperatura media se corresponde con la media aritmética de las dos sondas instaladas en el interior del tanque.*

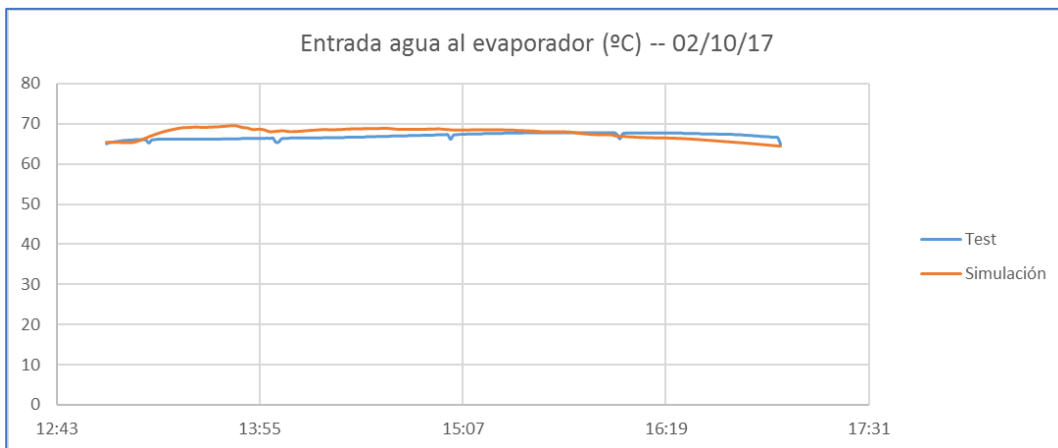


Figura C39. Temperatura del agua salada al entrar al evaporador (2 de octubre).

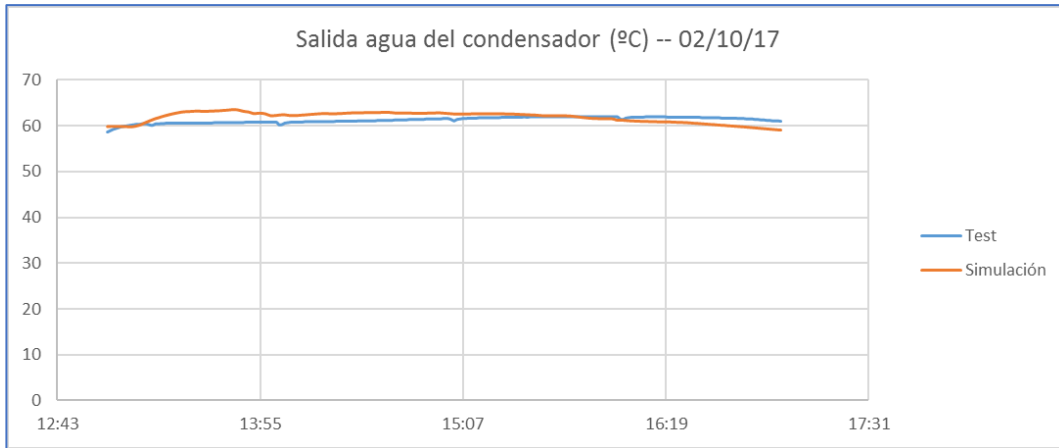


Figura C40. Temperatura del agua salada al salir del condensador (2 de octubre).

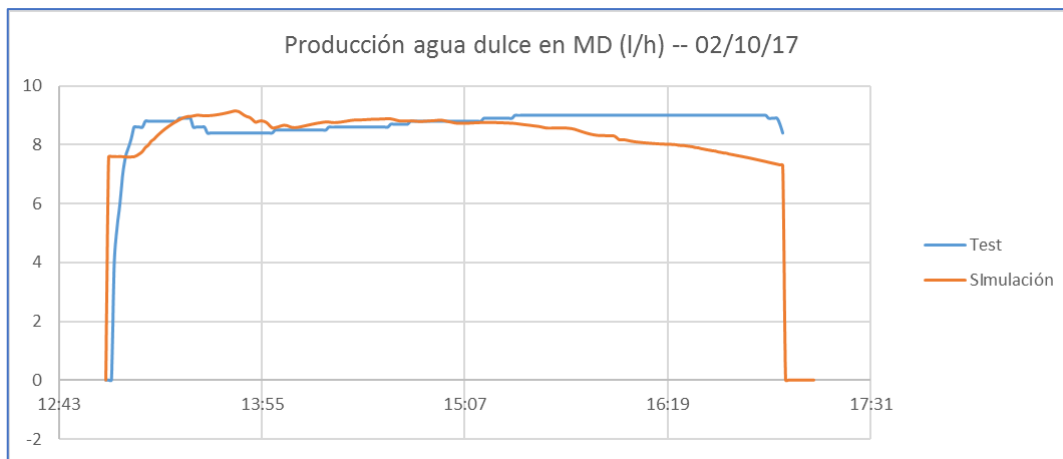


Figura C41. Producción de agua dulce en el sistema MD (2 de octubre).

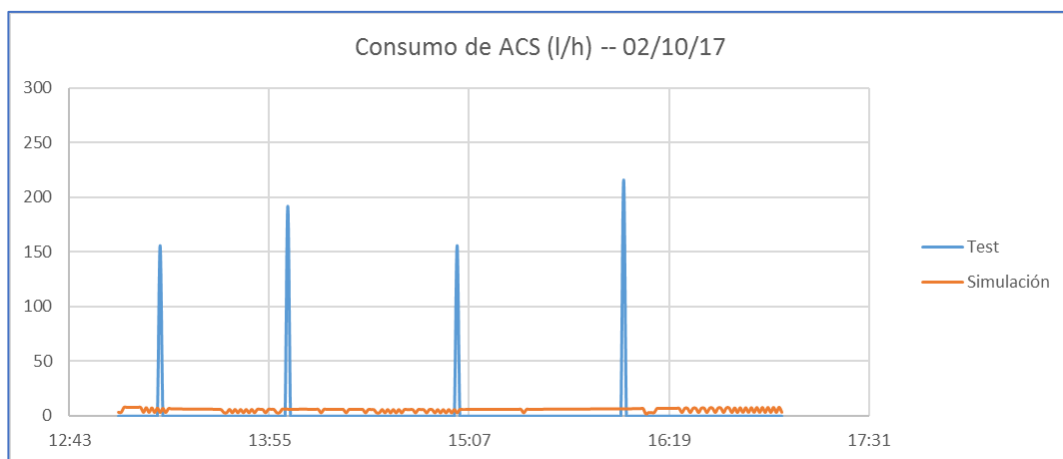


Figura C42. Perfil de consumo de ACS (2 de octubre).

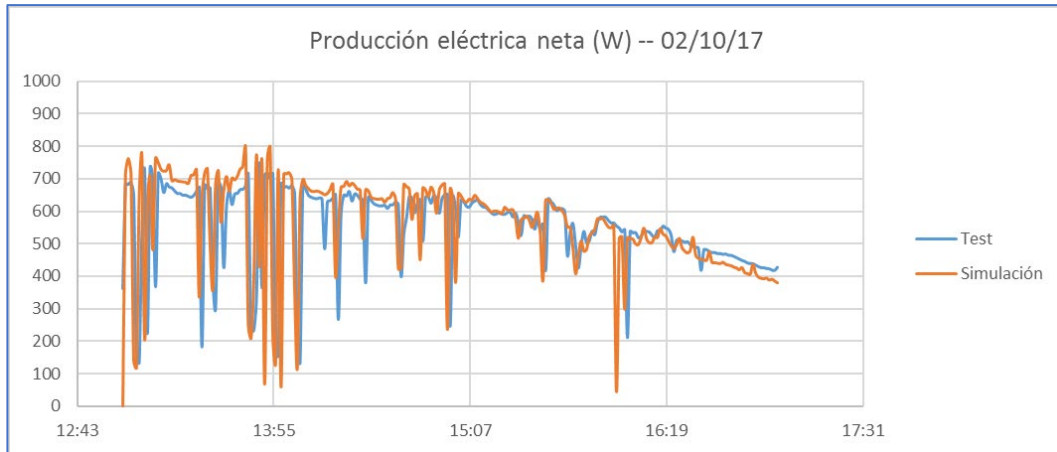


Figura C43. Producción eléctrica neta (2 de octubre).

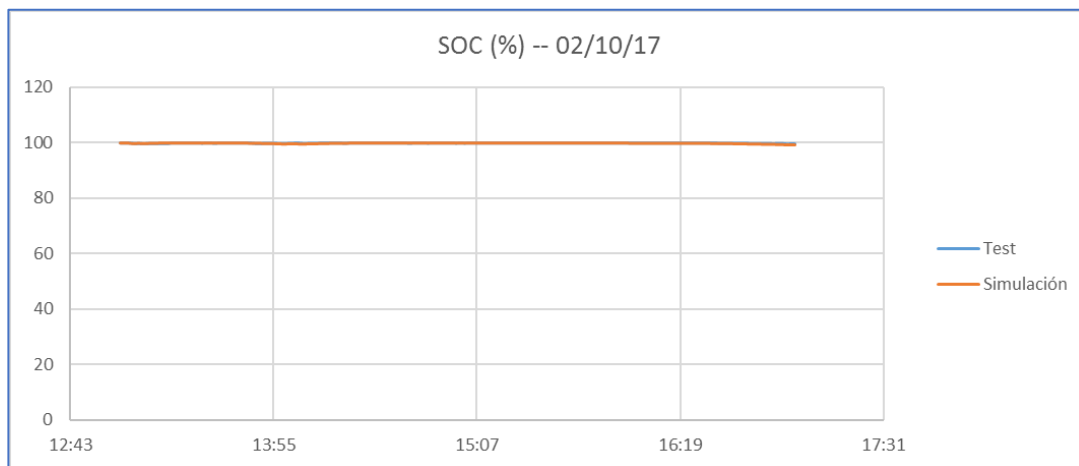


Figura C44. Estado de carga de las baterías (2 de octubre).

Variable	Error (%)	Media		Desv. Típica	
		Exp.	Sim.	Exp.	Sim.
Temperatura salida colectores	18,50	71,26	83,72	1,07	18,39
Temperatura agua caliente tanque	9,59	63,28	69,34	0,68	1,44
Tª entrada evaporador	2,25	67,04	67,74	0,64	1,32
Tª salida condensador	2,19	61,35	62,00	0,55	1,15
Producción MD	5,95	8,79	8,48	0,22	0,47
Producción eléctrica neta	20,61	559,08	561,89	114,65	137,61
SOC Baterías	0,09	99,95	99,88	0,10	0,18

Tabla C4. Comparación estadística de la operación de la planta (2 de octubre).

6 DE MARZO DE 2018

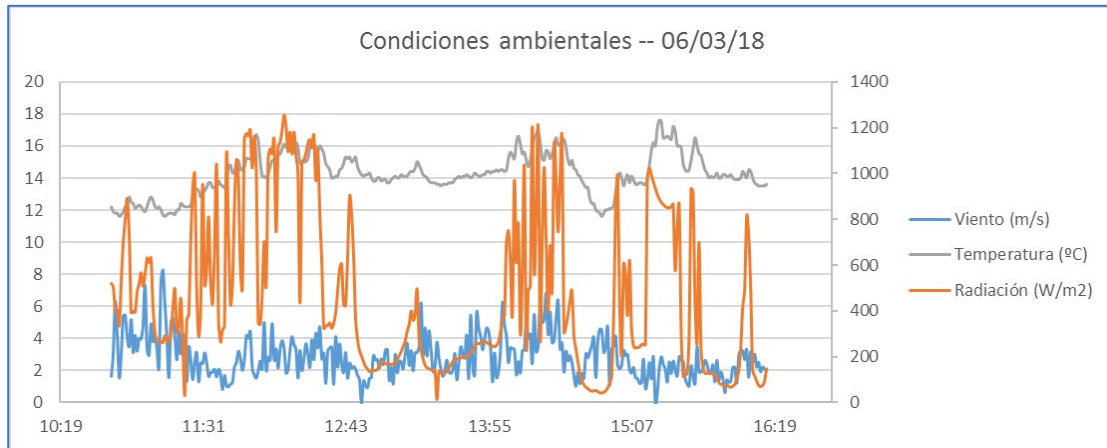


Figura C45. Condiciones ambientales durante las pruebas del 6 de marzo.

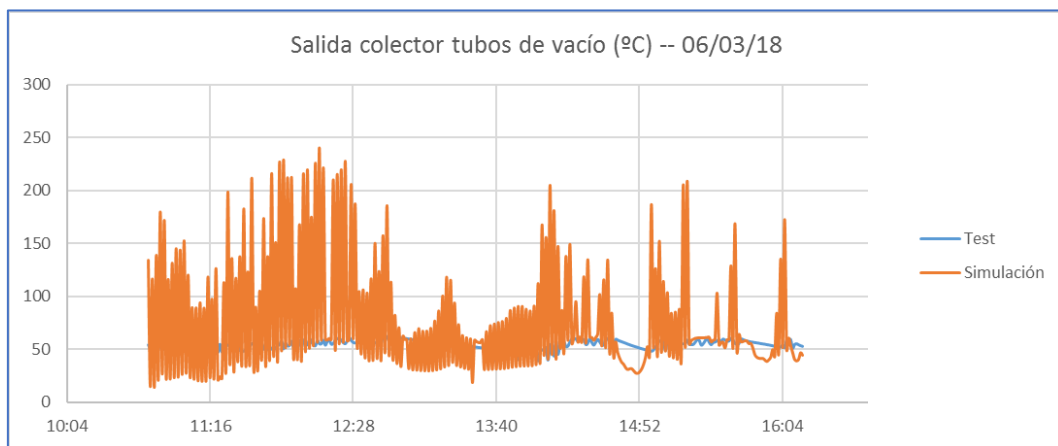


Figura C46. Temperatura del fluido a la salida del colector ETC (6 de marzo).

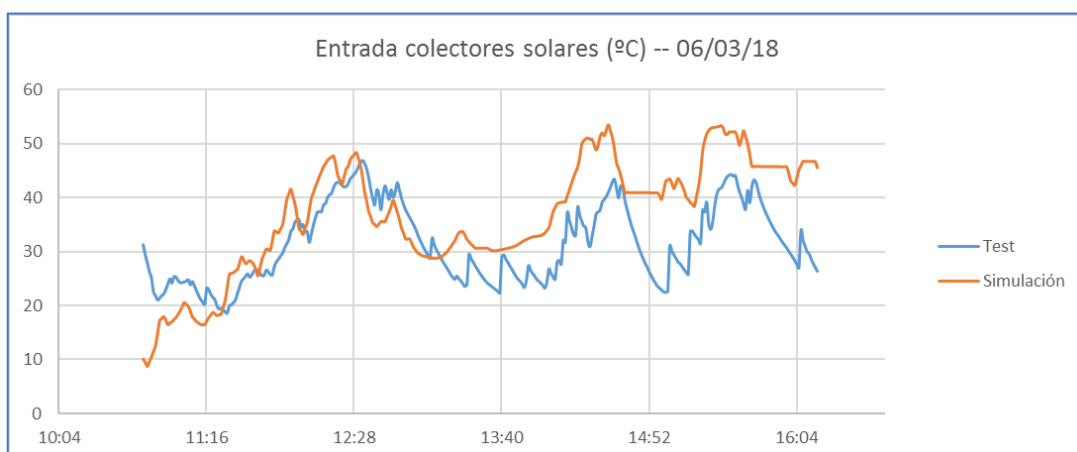


Figura C47. Temperatura del fluido a la entrada de los paneles PVT (6 de marzo).

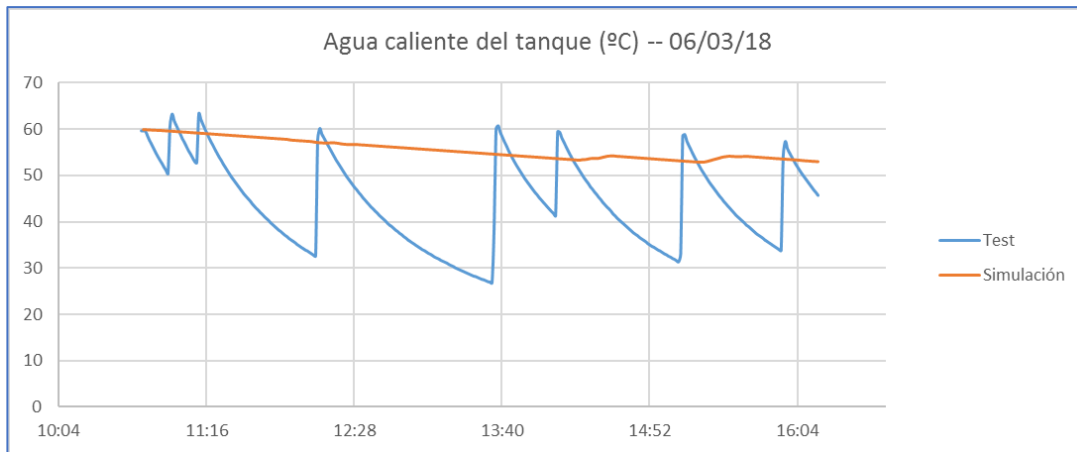


Figura C48. Temperatura del agua caliente extraída del tanque (6 de marzo).

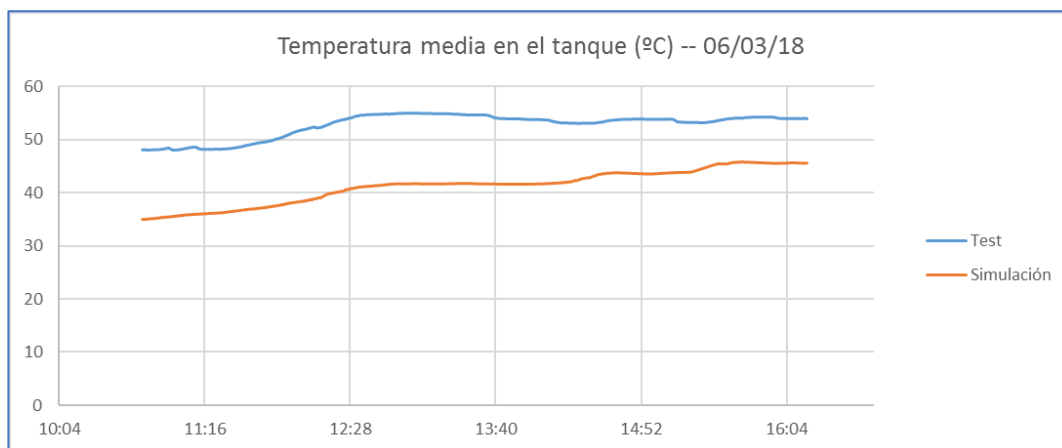


Figura C49. Temperatura media del agua caliente del tanque (6 de marzo).

**La temperatura media se corresponde con la media aritmética de las dos sondas instaladas en el interior del tanque.*

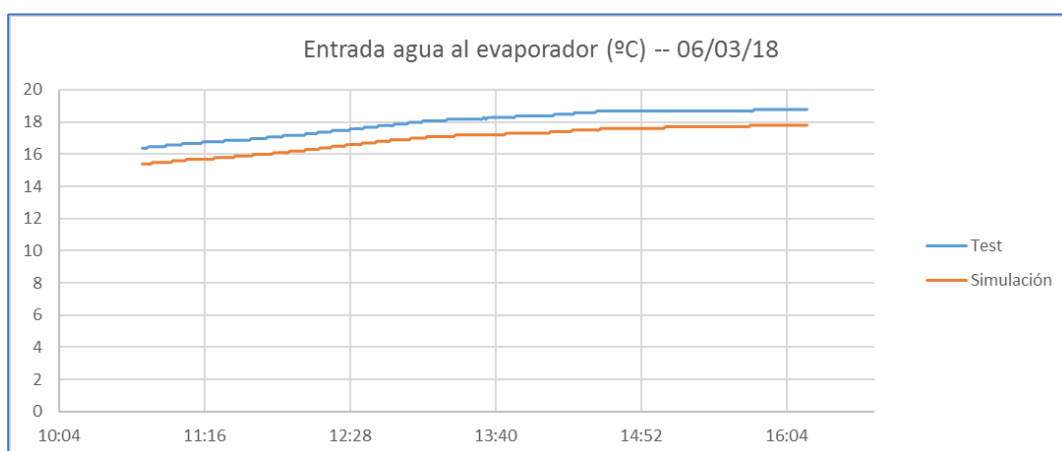


Figura C50. Temperatura del agua salada al entrar al evaporador (6 de marzo).

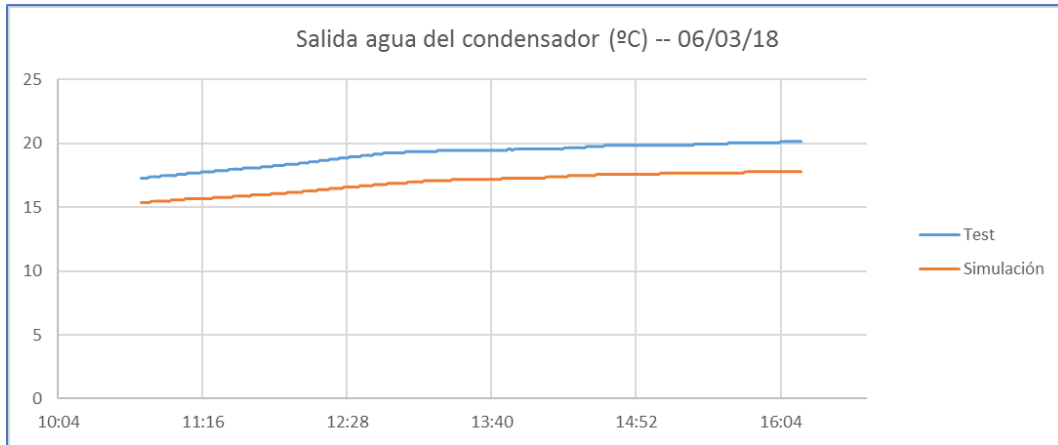


Figura C51. Temperatura del agua salada al salir del condensador (6 de marzo).

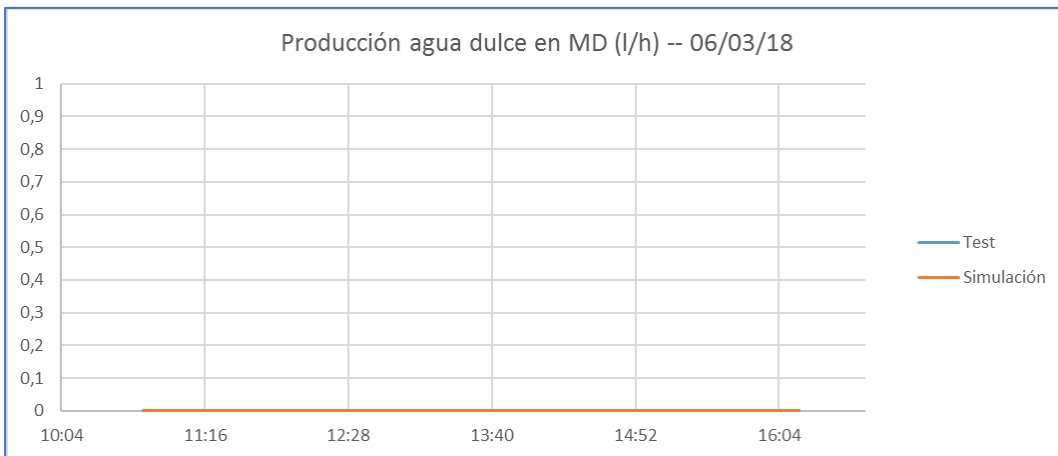


Figura C52. Producción de agua dulce en el sistema MD (6 de marzo).

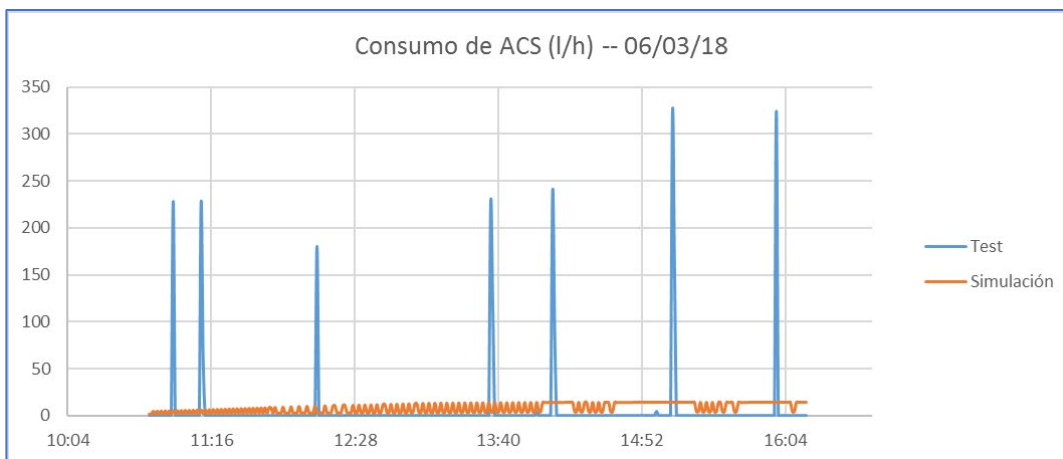


Figura C53. Perfil de consumo de ACS (6 de marzo).

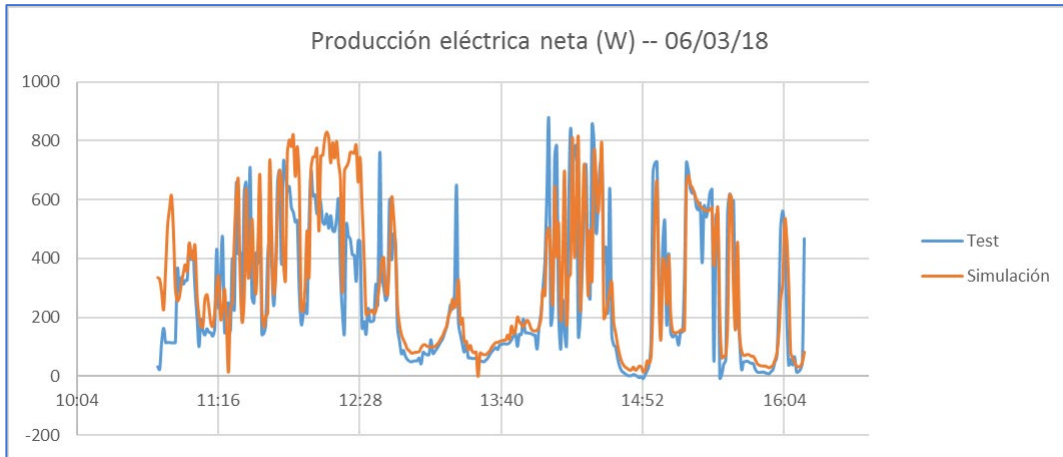


Figura C54. Producción eléctrica neta (6 de marzo).

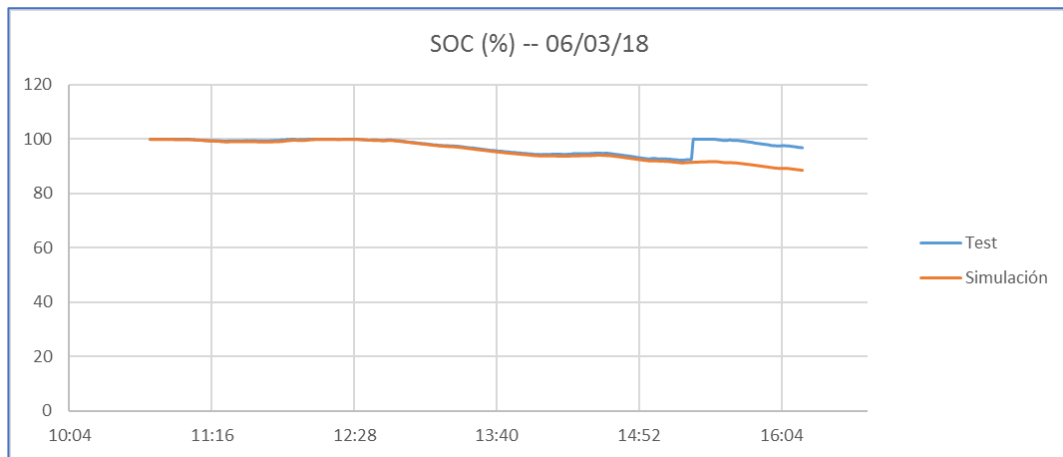


Figura C55. Estado de carga de las baterías (6 de marzo).

Variable	Error (%)	Media		Desv. Típica	
		Exp.	Sim.	Exp.	Sim.
Temperatura salida colectores	68,20	54,42	76,20	4,11	52,98
Temperatura agua caliente tanque	32,42	44,27	55,57	9,35	2,17
Tª entrada evaporador	5,75	18,02	16,99	0,72	0,72
Tª salida condensador	11,74	19,25	16,99	0,79	0,72
Producción MD	-	-	-	-	-
Producción eléctrica neta	108,81	283,63	309,98	232,33	237,59
SOC Baterías	1,62	97,44	95,80	2,59	3,57

Tabla C5. Comparación estadística de la operación de la planta (6 de marzo).

ANEXO D: ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

En este cuarto anexo se van a presentar los resultados de un pequeño estudio de la sensibilidad del comportamiento del sistema. El análisis se centra en aquellas características desconocidas inicialmente cuyo valor ha tenido que ser estimado a lo largo de las labores de simulación y validación del modelo. Por lo tanto, este procedimiento está fuertemente relacionado con el proceso de ajuste de las variables mencionadas.

El estudio de sensibilidad se ha llevado a cabo con los resultados obtenidos para el primer día de pruebas validado, el 8 de septiembre de 2017.

COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR EN LOS INTERCAMBIADORES

El coeficiente global de transferencia de los dos equipos intercambiadores del sistema de desalinización por MD era inicialmente desconocido. Para calcular su valor, se ha seguido el procedimiento de cálculo explicado en el *Anexo B*, que consiste en utilizar el método de la media logarítmica a partir de los datos recogidos experimentalmente. El valor fijado finalmente en el modelo de TRNSYS ha sido probado también a través de la repetición de la simulación del sistema.

En primer lugar, se ha analizado que es lo que ocurre si se modifica el valor del coeficiente UA del precalentador del sistema MD (equipo en el que entra en juego la corriente de agua salada y el agua caliente del tanque). El efecto de estos cambios se puede ver en la Figura D1, donde se representa la producción de agua dulce en función de diferentes valores.

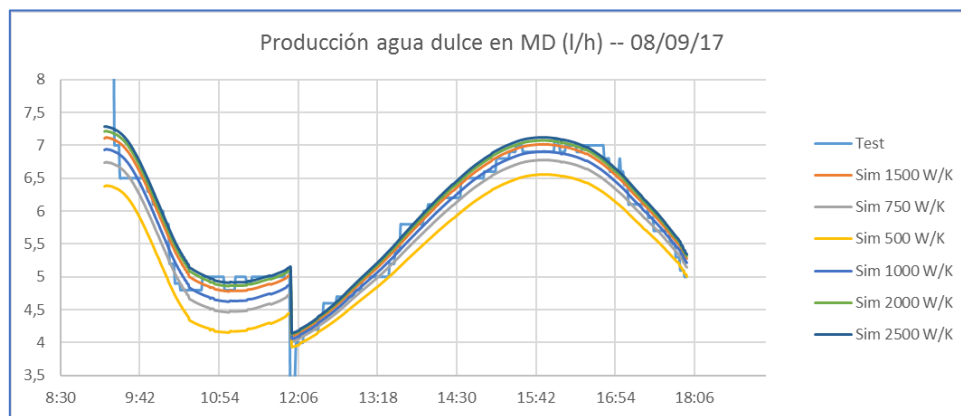


Figura D1. Producción de agua dulce en la MD en función del valor del coeficiente UA del precalentador.

Si se aumenta el coeficiente UA del precalentador, se observa apenas una pequeña diferencia. La producción de agua dulce no sufre cambios si el valor crece desde 1500 W/K hasta 2500 W/K. El efecto es mucho más importante si lo que sucede es que el valor se reduce hasta 1000 o 500 W/K. De todos modos, hay que modificar notablemente el coeficiente UA de este intercambiador para que los resultados sufran un cambio a tener en cuenta.

En cuanto al equipo condensador/evaporador, el análisis de sensibilidad demuestra que la importancia del ajuste de sus características térmicas es mucho mayor (ver Figura D2). Pequeñas variaciones del coeficiente de intercambio de calor (apenas 100 o 200 W/K)

provocan unos cambios mucho más grandes que los encontrados al modificar en el precalentador. Los parámetros de operación de este segundo equipo afectan a la temperatura de la corriente de agua salada en dos puntos: salida del condensador y entrada del evaporador. Por lo tanto, es lógico que la producción de agua dulce dependa en gran medida de este equipo y no del precalentador.

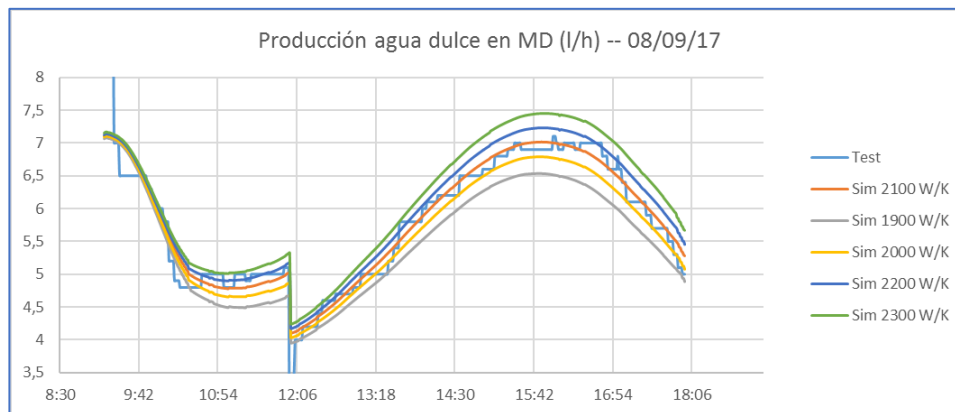


Figura D2. Producción de agua dulce en la MD en función del valor del coeficiente UA del equipo condensador/evaporador.

CARACTERÍSTICAS DEL AGUA SALADA

La corriente de agua que circula por los sistemas de potabilización tiene un nivel de salinidad determinado. En la planta piloto, este valor se regula mediante la adición de agua de la red al tanque de agua salada. La corriente tratada en la planta de pruebas tiene, en principio, una salinidad de 35.000 ppm. No obstante, su valor no es constante y puede verse expuesto a cambios.

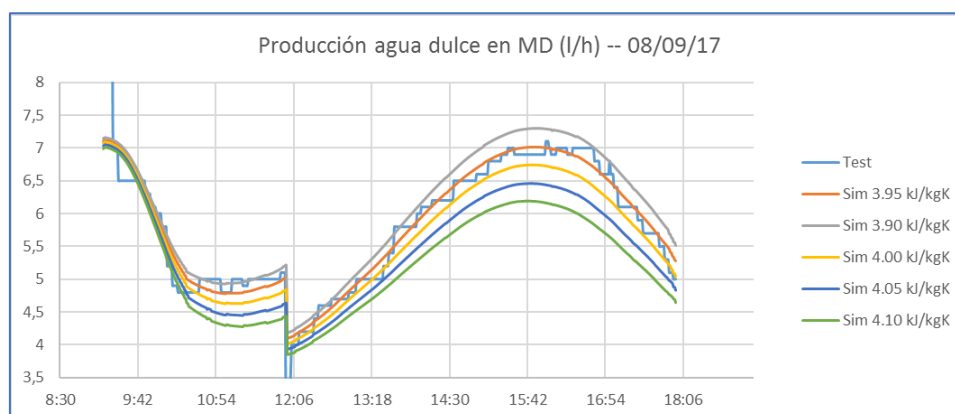


Figura D3. Producción de agua dulce en la MD en función del valor del calor específico de la corriente de agua salada.

La disolución de sal en agua conlleva un cambio de sus características, como por ejemplo ocurre con el calor específico. Este parámetro depende tanto del nivel de salinidad como de la temperatura a la que se encuentre la corriente de agua. Ninguno de estos valores es constante en el subsistema de la MD, por lo que se trata de otro de los parámetros que se ha tenido que estimar y ajustar debidamente. Tras consultar documentación sobre el tema y comparar los resultados obtenidos tras las simulaciones, se ha optado por establecer un calor

específico de 3.95 kJ/kg-K (para el agua pura el valor es superior, 4.19 kJ/kg-K). Para comprobar la sensibilidad del sistema ante esta característica, en la Figura D3 se muestra la evolución del caudal de agua depurado en la MD en función del calor específico de la corriente de agua salada.

Otra característica de la corriente de agua salada que también puede verse alterada es su densidad. En el modelo final se ha establecido en 1025 kg/m³ (superior a la del agua dulce) aunque es posible que alcance valores mayores, hasta de 1030 kg/m³. No obstante, la densidad del fluido no influye prácticamente nada en los niveles de temperatura y la producción de agua dulce de la MD. El único factor al que puede afectar levemente es al consumo eléctrico de la bomba y, por tanto, a la simulación del sistema eléctrico.

DEMANDA ELÉCTRICA DE LA VIVIENDA

La demanda eléctrica de la vivienda unifamiliar está representada en la planta de pruebas mediante la resistencia regulable de un potenciómetro. El resto de los consumos de la instalación presenta unos valores bastante estables (las bombas de impulsión y el sistema de ósmosis inversa), pero la medida de la resistencia no resulta completamente fiable. Por otro lado, la demanda de una vivienda puede cambiar en cualquier momento o presentar máximos y mínimos puntuales. Por estas razones, y aprovechando la existencia en el modelo de un *type* corrector del valor del potenciómetro, se ha realizado la simulación en TRNSYS para leves modificaciones de la resistencia inicial.

En la Figura D4 se observa como la dependencia del sistema eléctrico con respecto a la demanda de la vivienda es más que apreciable. El estado de cargas de las baterías puede caer varios puntos si el valor de la resistencia del potenciómetro se eleva hasta un 10 o un 20%. La situación inversa sucede si el consumo desciende.

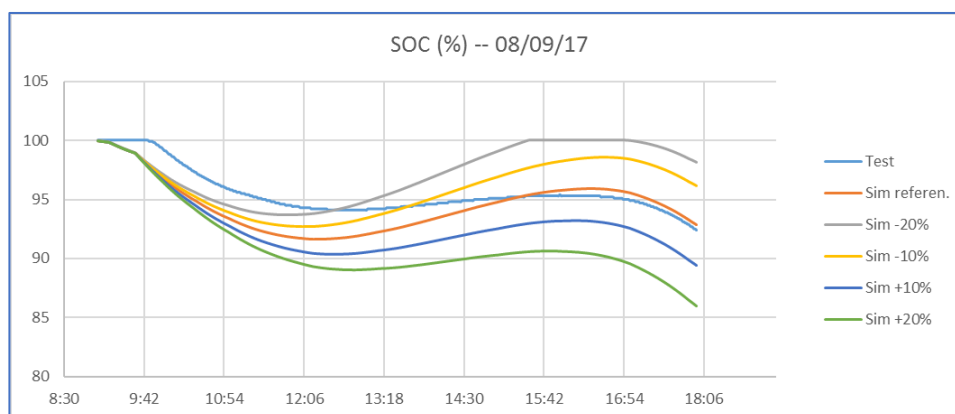


Figura D4. Estado de carga de las baterías en función del consumo eléctrico de la vivienda unifamiliar.

SUPERFICIE DE CAPTACIÓN DE LOS PANELES SOLARES

Por último, se ha estudiado que ocurriría si el área efectiva de captación de los paneles solares se viera afectada por algún tipo de problema, como por ejemplo la presencia de suciedad. La pérdida de parte de la superficie útil conlleva un descenso en el aprovechamiento energético de la radiación solar. En consecuencia, tanto la producción térmica en los

colectores como la generación eléctrica en la placa fotovoltaica del panel híbrido se verían perjudicadas.

Para comprobar el efecto de este problema sobre el funcionamiento del resto del sistema, se ha hecho un análisis comparativo de la producción de agua dulce y del estado del sistema eléctrico. La reducción del área de captación se ha modelado mediante la modificación de este parámetro en los *types* de los paneles solares. Cada panel híbrido ha pasado de tener una superficie de 1.65 a 1.5m², así que cada pareja conectada en paralelo ha perdido 0.3 m². Por su parte, se ha reducido también el área de captación del colector de tubos de vacío en la misma cantidad. En la Figura D5 se muestra el análisis de sensibilidad de la producción de agua dulce en la destilación por membranas.

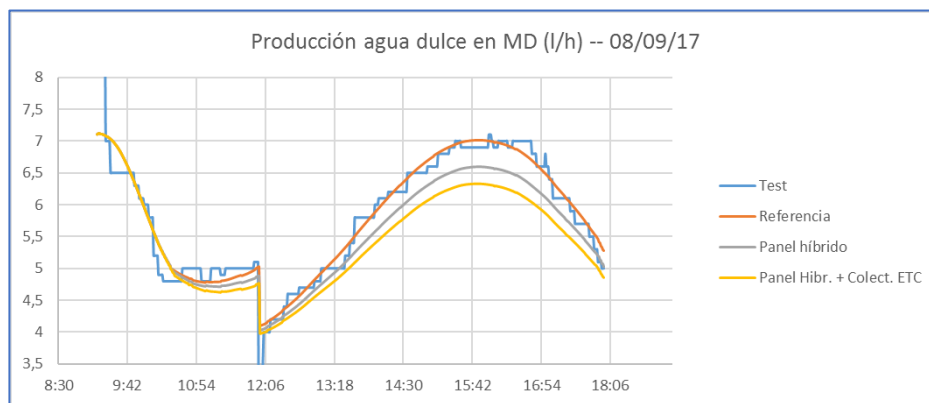


Figura D5. Cambios en la producción de agua dulce al reducir el área de captación de los paneles solares.

Así como la modificación del colector ETC sólo influye en el subsistema térmico de la planta, los paneles híbridos afectan también a la producción eléctrica. A continuación (Figura D6) se representa la evolución del estado de las baterías ante diferentes superficies de captación fotovoltaica.

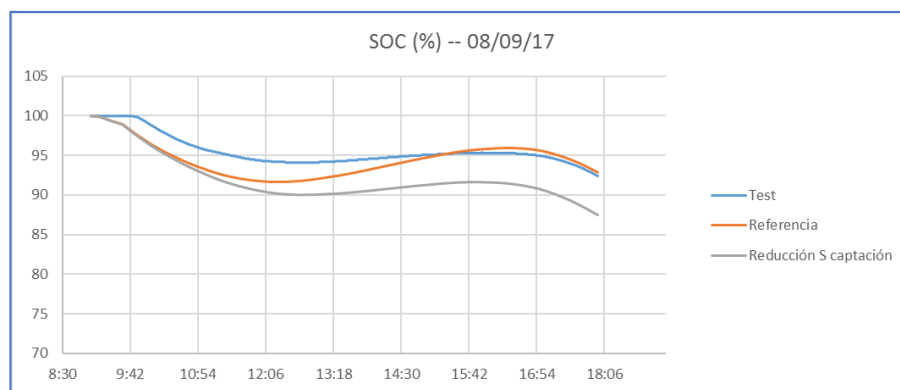


Figura D6. Cambios en el estado de carga de las baterías al reducir la superficie de captación de los paneles solares híbridos.

Cómo se ha podido comprobar, la representación gráfica de los resultados de las simulaciones es más que suficiente para poder determinar cual es el ajuste más adecuado. Aunque aquí se expone solamente la validación del modelo con los datos de las pruebas del 8 de septiembre, el proceso de comparación y ajuste ha sido llevado a cabo también con el resto de las jornadas de pruebas para así poder alcanzar una conclusión correcta.

ANEXO E: RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

En este quinto y último anexo se exponen algunos de los problemas que se han detectado a lo largo del proceso de validación del modelo teórico. En algunos casos se trata de simple errores o desajustes a los que se ha tenido que buscar una solución, mientras que otros aspectos están más relacionados con las limitaciones del modelo a la hora de reproducir el comportamiento de la planta de pruebas.

Los problemas que se van a explicar a continuación son los siguientes:

- Exceso de generación eléctrica
- Errores en *types*
- Perfil demanda de ACS
- Estado inicial del tanque de acumulación
- Limitaciones de la red neuronal
- Ruido en simulación circuito solar
- Estudio del error

GENERACIÓN ELÉCTRICA

Los resultados de la simulación del sistema eléctrico muestran que la generación neta alcanza valores superiores a los registrados durante las pruebas experimentales. En los ejemplos que aparecen en la Figura E1 se puede observar como esta diferencia se maximiza en las horas centrales del día, cuando mayor es la radiación solar incidente.

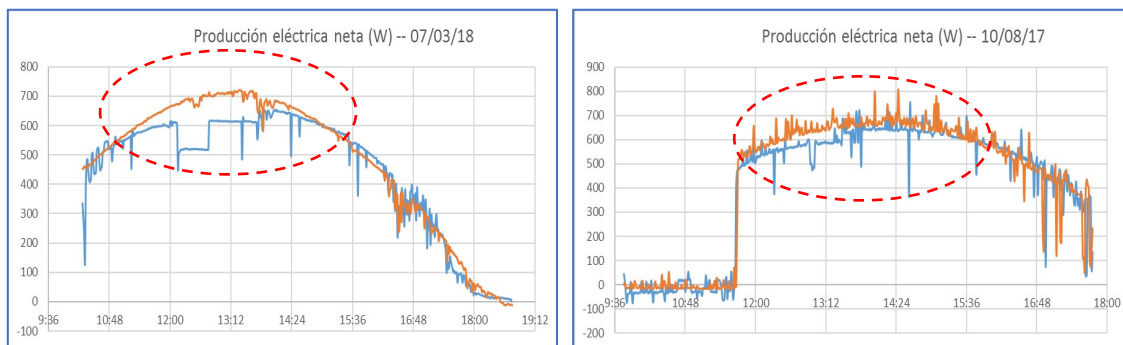


Figura E1. Producción eléctrica durante distintas jornadas de pruebas.

Aparentemente, las variables implicadas en el cálculo de la producción eléctrica no dependen de muchos otros factores. Es decir, así como la producción de agua dulce en el sistema MD está relacionada con todo el circuito de agua caliente, la generación eléctrica sólo depende de las propiedades de los equipos generadores y del recurso natural que estos aprovechan. La aportación de la turbina eólica se puede considerar insignificante, por lo que el origen del problema tiene que estar relacionado con los paneles híbridos.

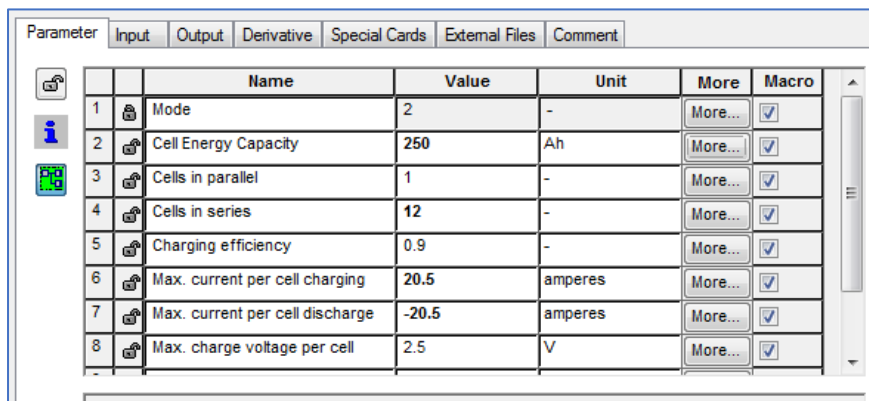
Los parámetros que definen los *types* de los paneles están tomados de su ficha de características, así que, en principio, no se deberían de modificar. Tras no cosechar una mejora de los resultados tratando de ajustar levemente el valor alguno de estos parámetros, se ha

llegado a la conclusión de que el error podría estar relacionado con la falta de otros *types* que representen a los equipos adheridos a los paneles fotovoltaicos.

A pesar de que la razón del error en los resultados del sistema eléctrico pueda deberse a esta falta de modelización del rendimiento real del seguidor de máxima potencia, lo cierto es que se considera que existen otros aspectos que también pueden afectar. Por ejemplo, el propio desfase temporal del registro de los datos puede hacer que en un instante dado se considere activa una bomba que no lo está, o viceversa. La toma de datos durante las pruebas se llevó a cabo minuto a minuto, pero la información de cada instrumento podría haber sido registrada en cualquiera de los 60 segundos de ese minuto. Por lo tanto, este hecho puede conllevar pequeñas diferencias entre la simulación y las pruebas experimentales.

ERRORES INTERNOS DE LOS *TYPES*

Casi la totalidad de los equipos presentes en la instalación de trigeneración están modelizados en las librerías de TRNSYS a través de *types*. A pesar de ser un programa muy completo y fiable, no se libra de contener algunos errores. Esto es lo que ocurre con el *type* 47b, utilizado para implementar la batería del sistema eléctrico.



	Name	Value	Unit	More	Macro
1	Mode	2	-	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
2	Cell Energy Capacity	250	Ah	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Cells in parallel	1	-	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
4	Cells in series	12	-	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
5	Charging efficiency	0.9	-	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
6	Max. current per cell charging	20.5	amperes	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
7	Max. current per cell discharge	-20.5	amperes	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
8	Max. charge voltage per cell	2.5	V	More...	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura E2. Pantalla de ajuste del *type* de la batería en TRNSYS.

Entre los parámetros que necesita conocer TRNSYS (ver Figura E2), se pide introducir el valor de la capacidad de una celda en Ah (amperios-hora). El programa informa de que la capacidad total se calcula como el producto de la capacidad de una celda por el número de celdas en serie y en paralelo. Al tratarse de un grupo de 12 células que en total presentan una capacidad de 250 Ah, el valor a introducir en TRNSYS debería ser la doceava parte de este valor, es decir, 20.83 Ah. Sin embargo, tras llevar cabo las primeras simulaciones, se detectó que los resultados no sólo no eran parecidos a los de las pruebas de la planta piloto, sino que además el estado de carga de la batería (SOC) se comportaba de manera extraña.

Se tomó la decisión de realizar una serie de cálculos a mano para comprobar como debería ser la evolución del estado de la batería. Este pequeño estudio demostró que el *type* estaba mal definido y que en la casilla *cell energy capacity* habría que introducir el valor de la capacidad total y no el de una única célula de almacenamiento.

DEMANDA DE ACS

Cómo se ha comentado a lo largo de todo el trabajo, de los tres productos que se obtienen del funcionamiento de la planta de trigeneración (agua potable, electricidad y agua caliente sanitaria) es la demanda de ACS el único de ellos que no se ha conseguido reproducir en las simulaciones del modelo teórico.

Tal y como se encuentra diseñado el modelo en TRNSYS actualmente, el perfil del suministro de ACS calculado es totalmente distinto al medido durante las pruebas experimentales. Mientras los resultados de la simulación muestran una evolución continua y variable del caudal de agua caliente, la planta piloto extrae unas cantidades puntuales cada cierto periodo de tiempo (ver Figura E3). Si se realizara la suma del caudal de agua total consumido al final del día, los valores serían muy similares. Sin embargo, cada sistema satisface esta demanda de un modo diferente.

Realmente, durante las labores de ajuste y validación del modelo si se ha conseguido encontrar una manera de que la extracción de ACS se asemejara a la que sucede en las pruebas de la planta piloto. No obstante, la solución desarrollada supondría forzar al sistema a que se comportara así. El objetivo del trabajo era construir un modelo que, a través de un conjunto de datos de entrada y de consignas de trabajo, consiguiese operar de manera similar a la planta real. Por lo tanto, al considerar que la alternativa propuesta suponía obligar -en cierto modo- a que el sistema de ACS funcionara de acuerdo a los valores experimentales, se decidió desechar esta posibilidad y mantener el modelo inicial.

Merece la pena comentar que es probable que, si se tratase de una planta instalada en una vivienda real, el perfil del consumo de ACS no se asemejaría a ninguna de las dos opciones. El gasto de agua en una vivienda es un hecho más o menos puntual (abrir un grifo, funcionamiento de la lavadora, etc.) que puede ocurrir en cualquier momento del día. El perfil de consumo introducido en TRNSYS está creado a partir de los consumos medios horarios, y el programa los interpreta como un valor continuo. Por otro lado, la planta de pruebas extrae todo ese caudal en un pequeño instante, cuando la realidad tampoco es así: lo más habitual es que sean consumos repartidos a lo largo del tiempo.

ESTADO INICIAL DEL TANQUE

Otro problema al que ha habido que hacer frente es a los niveles de temperatura de los fluidos en la zona de intercambio entre el circuito solar y el circuito de almacenamiento. Se ha tenido que estudiar con paciencia el diseño del modelo de estos subsistemas para encontrar la mejor solución posible.

La primera cuestión por resolver fue si llevar el fluido caloportador del circuito solar hasta el tanque de acumulación o si, por el contrario, conectarlos a través de un intercambiador externo. Se optó por la segunda alternativa, ya que presentaba la ventaja de poder ajustar con mayor detalle las características del intercambio de calor en el serpentín. Así, se podrían ajustar algunos parámetros si era necesario.

Los mayores problemas se encontraron a la hora de simular el modelo. Resulta que, al indicar el estado inicial de temperaturas en el tanque de acumulación, el valor indicado para la zona inferior de este es el que TRNSYS adopta también para el retorno de la otra corriente. En

las situaciones en las que el agua se encuentra muy caliente, el retorno también lo está y provoca que el nivel de temperatura tanto a la entrada como a la salida del intercambiador con el fluido caloportador sea muy elevado. Esto hace que la temperatura del flujo del circuito solar aumente casi de manera instantánea, algo que realmente no ocurre. En consecuencia, el periodo durante el que sistema se calienta hasta que el controlador activa la bomba de los colectores solares se ve reducido drásticamente, provocando un error con respecto al funcionamiento real de la planta.

Para resolver este inconveniente, se ha considera que la mejor solución era la modificación de la temperatura inicial de la parte inferior del tanque. Las simulaciones de los días en los que el sistema ya comenzaba en un estado caliente no han necesitado ninguna modificación. Sin embargo, las jornadas en las que todo el sistema térmico tarda en activarse, ha habido que colocar una temperatura muy baja en la zona inferior del tanque, aunque esto conllevara que la temperatura media en el interior difiera bastante de la medida experimentalmente hasta el momento de activación de las bombas de impulsión.

Aunque la solución desarrollada consigue evitar los errores de la simulación, lo cierto es que si el modelo se utilizara para reproducir el funcionamiento continuo de la planta habría que buscar otra posibilidad más avanzada.

LIMITACIONES DE LA RED NEURONAL

Por último, uno de los mayores problemas encontrados en el desarrollo de las simulaciones es la capacidad de cálculo de la red neuronal. El modelo de la red fue elaborado en otros trabajos de investigación anteriores, y su diseño trasladado a una hoja de cálculo ha podido ser introducido directamente en el esquema de TRNSYS.

La red neuronal está concebida con el objetivo de ser útil para calcular la producción de agua dulce en el equipo de desalinización por destilación con membranas. Los resultados de la operación de este sistema dependen de las condiciones de trabajo a las que se enfrenta. Estas condiciones son, principalmente, los caudales que circulan por ambos lados del intercambiador y la temperatura a la que se entran los flujos. El modelo de la red está perfectamente probado y ante unos niveles de temperatura y caudal, proporciona un valor para la producción de agua dulce que apenas difiere de los resultados reales.

Sin embargo, el diseño propuesto se encuentra validado solamente para un cierto intervalo de valores. A medida que se han ido repitiendo las simulaciones del modelo teórico en TRNSYS, se ha detectado que el valor calculado por la red en algunos casos no es el que debería. La manera de comprobar este error ha sido muy sencilla: introducir a mano los datos de los que depende el proceso de cálculo en el Excel de la red neuronal, y comparar el resultado dado con el valor registrado en las pruebas. Uniendo este pequeño análisis al repaso de la documentación sobre el tema, se ha concluido que efectivamente la red neuronal tiene algunas limitaciones. El rango de valores de entrada para el que la red neuronal presenta un buen comportamiento es el siguiente:

- Caudal de agua salada: 200 – 500 kg/h
- Tª entrada condensador: 15 – 35°C
- Tª entrada evaporador: 10 – 60°C superior a la Tª de entrada al condensador

A pesar de este inconveniente, el estudio de validación del modelo de la planta ha podido seguir adelante sin mayores incidencias. Como se ha comentado, la producción en la MD depende de las temperaturas y de los caudales a través del intercambiador de membranas. El caudal, igual por ambos lados, es un valor conocido. La temperatura del agua salada a la entrada del condensador también es otro dato de partida. Por lo tanto, el resultado de la red neuronal sólo depende de la temperatura del flujo en la entrada al evaporador. Así que las tareas se han centrado en analizar la evolución de esta última variable. Si el error con respecto a los valores experimentales se minimizaba, también se mejoraban los resultados de la producción de agua dulce en la MD.

RUIDO EN SIMULACIÓN DEL CIRCUITO SOLAR

La representación gráfica de los resultados de la simulación del circuito de captación muestra un comportamiento algo extraño. En los periodos de activación y desactivación de la bomba de impulsión se puede observar como el nivel de temperatura en los paneles solares sufre un estado inestable en el que se alcanzan valores muy elevados (ver Figura E3).

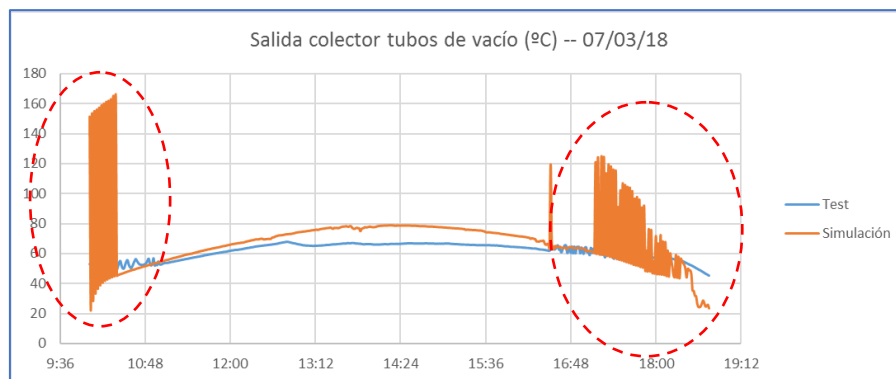


Figura E3. Ejemplo de la evolución de la temperatura a la salida de los colectores.

El gran calentamiento que aparentemente sufre el fluido caloportador y la oscilación de los valores se debe a que TRNSYS realiza los cálculos como si el líquido se calentara sin estar en circulación. Cuando el sistema se estabiliza, la situación retorna a un estado de temperaturas en el que el fluido sí que se mueve a lo largo del sistema de captación. En consecuencia, para llevar a cabo el cálculo del error medio se ha considerado conveniente omitir los datos pertenecientes a estos intervalos de tiempo, con el fin de evitar la desviación de los resultados.

ESTUDIO DEL MÉTODO DE CÁLCULO DEL ERROR

El estudio comparativo del modelo teórico y de las pruebas experimentales se ha realizado principalmente a través del cálculo del error medio entre ambas distribuciones. Como se ha comentado ya anteriormente, existen algunos casos en los que el valor del error puede desvirtuar la situación real. Uno de estos casos es, por ejemplo, el ruido en las temperaturas del circuito solar en los momentos de activación y parada de este. Sin embargo, la situación que más habitualmente se ha encontrado es la mostrada en la Figura E4. Aquí se puede observar una serie de datos cercanos a cero frente a otros algo más alejados. Si el error se calcula con respecto a un número que es prácticamente cero, el resultado puede llegar a

alcanzar valores estratosféricos. A efectos del cálculo de la media, el valor de un solo minuto de la simulación podría cambiar notablemente el resultado total.

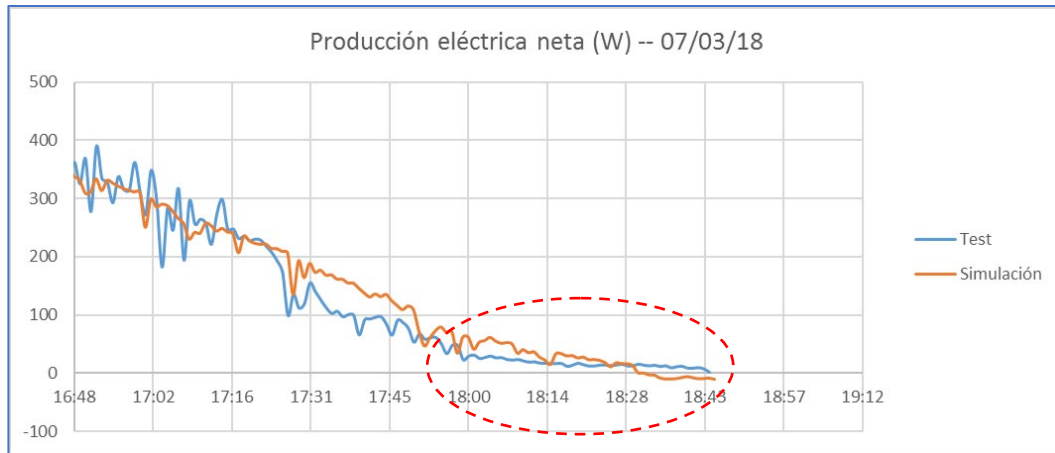


Figura E4. Conjunto de datos en los que el cálculo del error altera el resultado final.

Supóngase un caso en el que en cierto momento en valor experimental sea de 50 puntos y el teórico de 55. El error cometido sería de un 10%. En otro momento, el dato experimental desciende hasta 0,1 puntos y el simulado hasta 3 puntos. En este segundo instante, el valor del error aumentaría muchísimo, hasta más o menos un 3000%. Mientras la distancia entre el resultado experimental y el teórico es mucho más reducida en el segundo caso, el cálculo del error hace que parezca todo lo contrario.

En consecuencia, se han tratado de eliminar los valores conflictivos del proceso de cálculo del error. No obstante, se podría proponer alguna otra solución basada, por ejemplo, en la ponderación de los valores. El objetivo de esta ponderación sería el de dar una mayor importancia a los datos más alejados de cero y minimizar así el efecto en la media de los valores más desorbitados.