



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

Estudio del rendimiento de un colector solar

Autor:

Velasco Llorente, Joel Ricardo

Tutor(es):

**San José Alonso, Julio Fco.
Ingeniería Energética y
Fluidomecánica**

**(Gago Sandoval, Pedro
Empresa Cidersol S.A.)**

Valladolid, Septiembre 2020

RESUMEN

Este Trabajo de Fin de Grado es un estudio de rendimiento de una instalación solar térmica para la producción de agua caliente sanitaria en una vivienda unifamiliar. Se trata de un sistema de circulación forzada. Está compuesto por 3 colectores solares montados en paralelo, depósito acumulador con intercambiador de camisa en el interior, una bomba y una centralita encargada de la regulación y control del sistema. Se pretende evaluar el rendimiento del colector y del sistema, en función de las tres velocidades de flujo que es capaz de aportar la bomba instalada en el circuito primario, con vaciado inicial del acumulador y sin vaciado inicial del acumulador en cada uno de los casos, y encontrar los posibles fallos, que el sistema puesto en el mercado pudiera tener, para su posterior evaluación y mejora. El estudio se lleva a cabo mediante 6 ensayos que nos permiten evaluar el rendimiento energético y las posibles anomalías de funcionamiento.

PALABRAS CLAVE: energía solar, colector solar térmico, rendimiento, ACS, instalación solar térmica

INDICE

1. JUSTIFICACIÓN
2. OBJETIVOS
3. SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS Y SU NORMATIVA
 - 3.1 INTRODUCCIÓN
 - 3.2 SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS PARA PRODUCCIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA (ACS) PARA VIVIENDAS UNIFAMILIARES
 - 3.3 CLASIFICACIÓN
 - 3.3.1 Clasificación en función de la impulsión del fluido caloportador
 - 3.3.2 Clasificación en función del intercambiador
 - 3.3.3 Clasificación en función de la posición del depósito de acumulación
 - 3.3.4 Clasificación en función del tipo de captador
 - 3.4 CAPTADORES SOLARES
 - 3.4.1 Características de los captadores solares
 - 3.4.2 Partes de un captador solar
 - 3.4.3 Rendimiento de un captador solar
 - 3.5 CÁLCULO DE POTENCIAS Y RENDIMIENTO DE LA INSTALACIÓN
 - 3.6 DIMENSIONAMIENTO DE INSTALACIONES DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA
 - 3.7 NORMATIVA
 - 3.8 SOFTWARE DE DISEÑO DE ACCESO GRATUITO
4. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN SOMETIDA A ESTUDIO
 - 4.1. INTRODUCCIÓN
 - 4.2. LA EMPRESA
 - 4.3. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO
 - 4.4. CARACTERÍSTICAS DE LOS ELEMENTOS PRINCIPALES
5. PROCEDIMIENTO DE PREPARACIÓN Y REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS
 - 5.1. Especificaciones de los ensayos realizados
 - 5.2. PROCEDIMIENTO DE LOS ENSAYOS
 - 5.2.1. Objetivo
 - 5.2.2. Condiciones de ensayo
 - 5.2.3. Descripción de los ensayos
 - 5.2.4. Proceso de ensayo
 - 5.2.5. Conformidad y especificaciones de los ensayos propuestos
 - 5.3. ENSAYOS
 - 5.3.1. Ensayo 1.1
 - 5.3.2. Ensayo 1.2
 - 5.3.3. Ensayo 2.1
 - 5.3.4. Ensayo 2.2
 - 5.3.5. Ensayo 3.1
 - 5.3.6. Ensayo 3.2

6. TOMA DE DATOS EXPERIMENTAL

6.1. VARIABLES MEDIDAS

6.2. POSICIONAMIENTO DE LAS VARIABLES MEDIDAS EN EL SISTEMA

6.3. DATOS EXPERIMENTALES OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS PROPUESTOS

6.3.1. Datos obtenidos en el ensayo 1.1

6.3.2. Datos obtenidos en el ensayo 1.2

6.3.3. Datos obtenidos en el ensayo 2.1

6.3.4. Datos obtenidos en el ensayo 2.2

6.3.5. Datos obtenidos en el ensayo 3.1

6.3.6. Datos obtenidos en el ensayo 3.2

7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

7.1. INTRODUCCIÓN

7.2. TABLAS DE RESULTADOS

7.3. DIAGRAMAS DE SANKEY DE LOS ENSAYOS

CONCLUSION

BIBLIOGRAFÍA

1. JUSTIFICACIÓN

Durante la realización de las prácticas curriculares entre los meses de agosto y septiembre de 2017 en la empresa CIDERSOL TECNOLOGÍA SOLAR S.L. se planteó la necesidad de la empresa de testear y estudiar el rendimiento de su colector solar (ACS) "AQUA V3" puesto en el mercado, así como las prestaciones ofrecidas por el panel integrado en una instalación. En este contexto surge este Trabajo de Fin de Grado con el fin de elaborar un análisis detallado de los resultados obtenidos en la integración del panel AQUA V3 en instalaciones solares, con diferentes criterios de funcionamiento.

Este Trabajo de Fin de Grado se ha centrado en el estudio y análisis del sistema funcionando en diferentes condiciones: 1) con vaciado inicial del acumulador, 2) sin vaciado inicial del acumulador, y funcionando la bomba de la instalación a 3 velocidades diferentes, lo que equivale a diferentes flujos en el circuito primario.

En el periodo de prácticas se llevaron a cabo las tareas necesarias para la realización de este TFG incluida la adquisición de datos de los ensayos propuestos.

2. OBJETIVOS

El objetivo fundamental de este Trabajo de Fin de Grado es realizar un análisis energético del funcionamiento del panel CIDERSOL STD en una instalación solar de baja temperatura con circulación forzada, cuando la instalación funciona bajo condiciones estándar de trabajo.

Este equipo es usado para la producción de agua caliente sanitaria (ACS) en viviendas unifamiliares.

Se compararán los resultados en base a las diferentes velocidades y modos de funcionamiento que puede desarrollar la bomba hidráulica integrada en el circuito, se tendrán en cuenta otros aspectos como las diferentes condiciones climatológicas y meses del periodo a estudio.

A partir de este objetivo fundamental se desarrollan los siguientes objetivos secundarios:

- Estudio sistemático del sistema sometido a ensayo, así como sus partes y los parámetros que caracterizan el mismo para comprender su funcionamiento.
- Puesta a punto de los aparatos de medición, posibles errores y análisis de esos errores.
- Obtención de datos climatológicos para una mejor interpretación de los resultados obtenidos.
- Caracterización del sistema sometido a ensayo.
- Seguimiento de los datos obtenidos.
- Análisis de los resultados obtenidos.
- Conclusiones del estudio realizado.

3. SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS Y SU NORMATIVA

3.1 INTRODUCCIÓN

En el capítulo 3 se pretende explicar el funcionamiento de una instalación de ACS para viviendas unifamiliares, identificar los tipos de sistemas solares térmicos, clasificarlos en función a las tecnologías utilizadas, el tipo de movimiento del fluido, las características del sistema y exponer los métodos de cálculo que se han utilizado para el tratamiento posterior de los datos de ensayo.

Este trabajo de fin de grado se centra en un modelo de captación, denominado por la empresa CIDERSOL como colector Cidersol STD. Que normalmente está instalado en una instalación de flujo forzado, para calentamiento de agua a baja temperatura, menor de 100° y sin cambio de fase, para su utilización como generador de ACS para viviendas unifamiliares.

3.2 SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS PARA PRODUCCIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA (ACS) PARA VIVIENDAS UNIFAMILIARES

Las instalaciones solares térmicas transforman la energía que reciben del sol en forma de radiación en calor que utilizan para calentar un fluido, normalmente agua.

Los sistemas de captación solar destinados a la producción de agua caliente sanitaria a baja temperatura tienen básicamente dos circuitos: el primario, por donde circula una mezcla de agua y anticongelante, se encarga de transferir su energía calorífica al secundario, (agua destinada al consumo que se acumula dentro del tanque y se comporta como un circuito abierto) mediante un intercambiador de calor.

Los sistemas solares térmicos tienen la capacidad de cubrir hasta el 75% de la demanda de Agua Caliente Sanitaria de la vivienda para la cual han sido diseñados. El sistema está compuesto básicamente por 5 elementos: captador o colector, intercambiador, depósito acumulador, bomba circuladora y sistema de regulación y control.

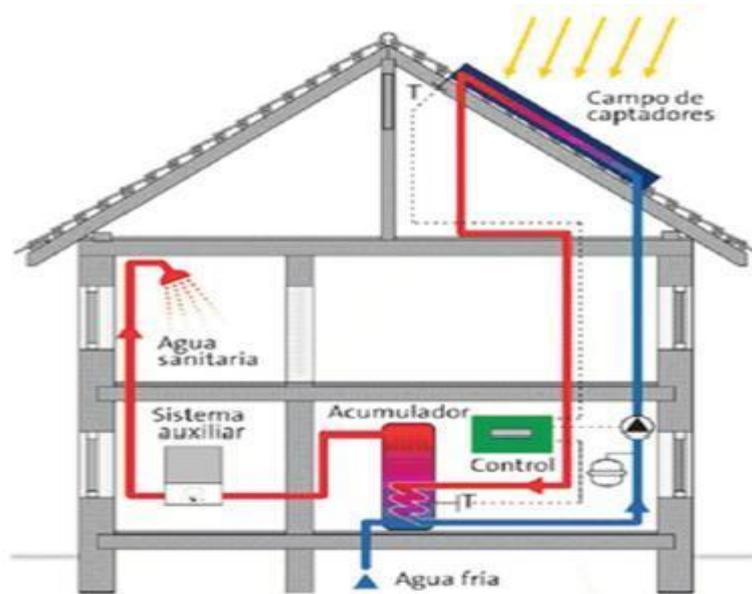


Figura 3.1 Esquema sistema solar térmico de baja temperatura (1)

Captador o colector: Es el elemento encargado de recoger la energía en forma de radiación proveniente del Sol y transferirla al fluido caloportador del circuito primario. Más adelante se expondrá con detalle sus características y los componentes que lo forman.

Acumulador-Intercambiador: se trata de un depósito e intercambiador de calor, para este proyecto se ha utilizado un acumulador de doble camisa. Por la camisa exterior circula el fluido primario y transfiere la energía calorífica al fluido secundario, que se encuentra en el depósito central que hace de acumulador.

Bomba circuladora: al tratarse de un equipo de circulación forzada, se incorpora al circuito primario, a continuación de la salida del fluido caloportador del acumulador, una bomba de impulsión cuya función consiste en ofrecer un caudal de trabajo, que depende de la velocidad de giro que se escoja en dicha bomba.

Regulación y control: la centralita es el elemento encargado de accionar el arranque de la bomba circuladora cuando existe un diferencial positivo entre la temperatura del colector y del acumulador en el punto donde están ubicadas las sondas, este valor suele oscilar entre 4 y 6°C. Por el contrario, la bomba se desconecta cuando la diferencia de temperatura entre el colector y el agua acumulada, es inferior a una temperatura previamente programada.

Los sistemas sin circulador (el fluido se mueve por densidad) son idóneos para lugares en los que no es posible el suministro eléctrico a través de cables o la infraestructura para llevar la red hasta allí resulte muy costosa.

3.3 CLASIFICACIÓN

3.3.1 Clasificación en función de la impulsión del fluido caloportador

Los sistemas solares térmicos independientemente de uso al que vayan a ser destinados se pueden clasificar en sistemas termosifón y sistemas de circulación forzada.

En este proyecto nos centraremos en el equipo de circulación forzada. Concretamente el módulo AQUA V3 propiedad de la empresa CIDERSOL TECNOLOGÍA SOLAR S.L.

Termosifón: el movimiento del fluido se debe a la diferencia de densidades del fluido caloportador a lo largo del circuito primario. El fluido “frío” sale del intercambiador y entra a paneles por la zona más baja del sistema, este fluido se calienta a su paso por los colectores y disminuye su densidad debido al cambio de temperatura (mayor temperatura->menor densidad) y sale de colectores por la parte más alta del sistema para posteriormente entrar al acumulador para intercambiar energía con el fluido del circuito secundario, en mi caso depósito de agua destinada al consumo.

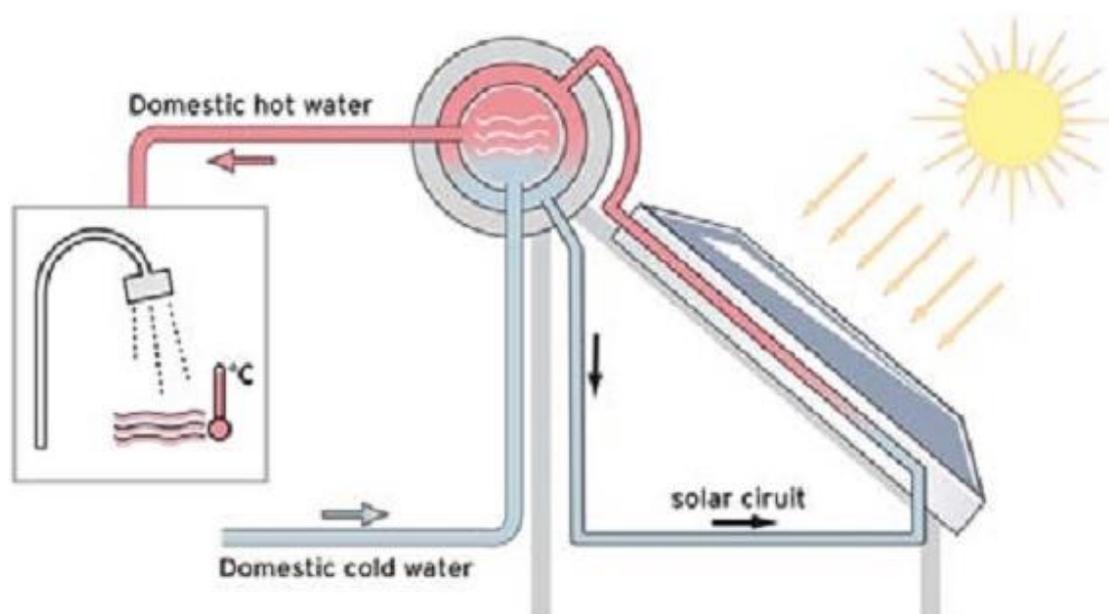


Figura 3.2 Esquema sistema termosifón (2)

Sistema forzado: se diferencia de los sistemas de termosifón por llevar incorporada una bomba de impulsión en el circuito primario, concretamente ubicada entre la salida del acumulador y la entrada a colectores. Esto permite homogenizar el caudal que circula por el sistema, haciendo que este sea constante, a la vez que permite la refrigeración del captador en momentos puntuales del proceso, ya que dependiendo de la radiación incidente se pueden llegar a alcanzar temperaturas demasiado elevadas en el circuito.

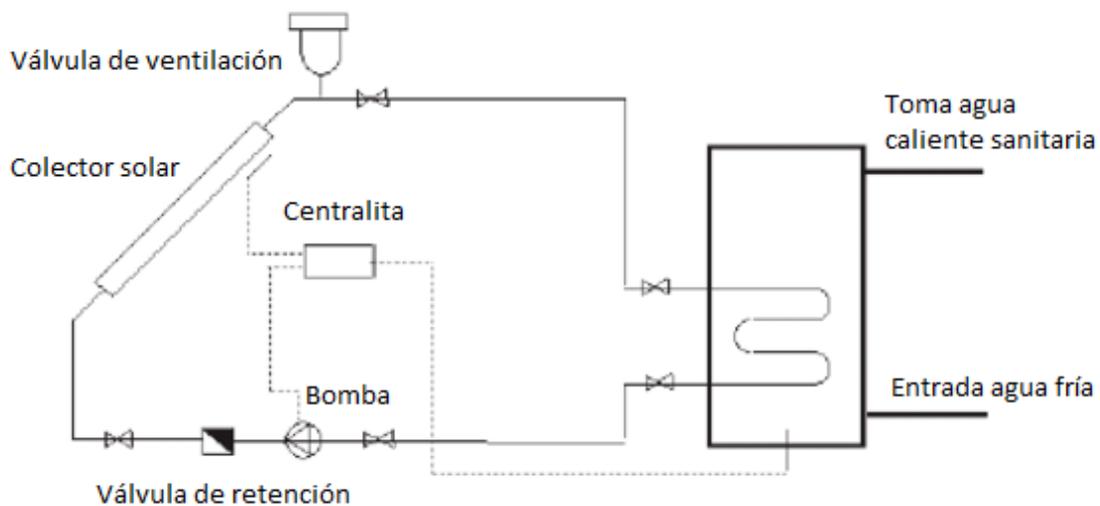


Figura 3.1 Esquema Sistema Forzado (3)

3.3.2 Clasificación en función del Intercambiador

- Sistemas con intercambiador integrado en el acumulador

En este caso el intercambiador forma parte del circuito primario del acumulador y está posicionado en el interior del mismo como en el caso que se va a proceder a su estudio. Esto permite que se reduzcan las longitudes de los tramos de tubería en el circuito y favorece el aislamiento del intercambiador ya que se encuentra dentro de la carcasa de aislamiento del propio acumulador.

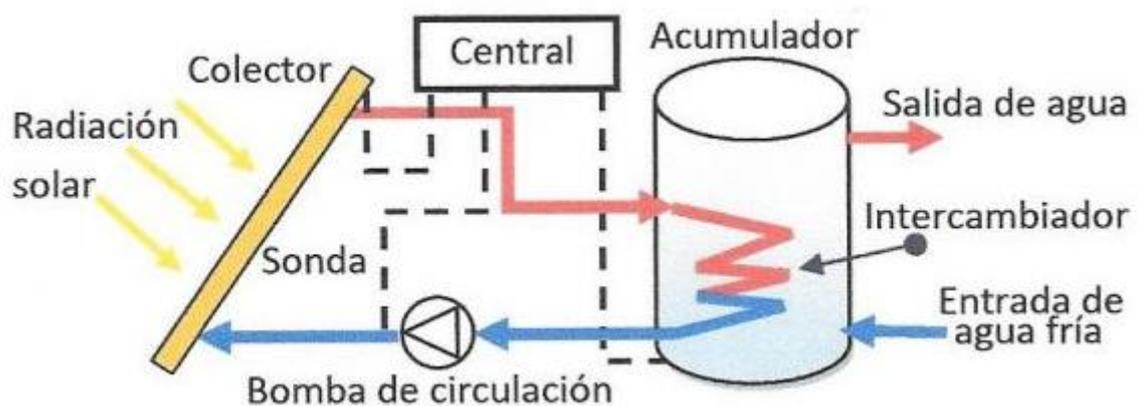


Figura 3.3 Esquema Sistema con intercambiador integrado en el acumulador (4)

Sistemas de intercambio exterior al acumulador

En los sistemas de intercambio indirecto, un fluido, compuesto por agua y anticongelante, se calienta en los paneles solares y circula por el interior del acumulador con el fin de intercambiar (ceder) energía con el circuito secundario (agua destinada al consumo).

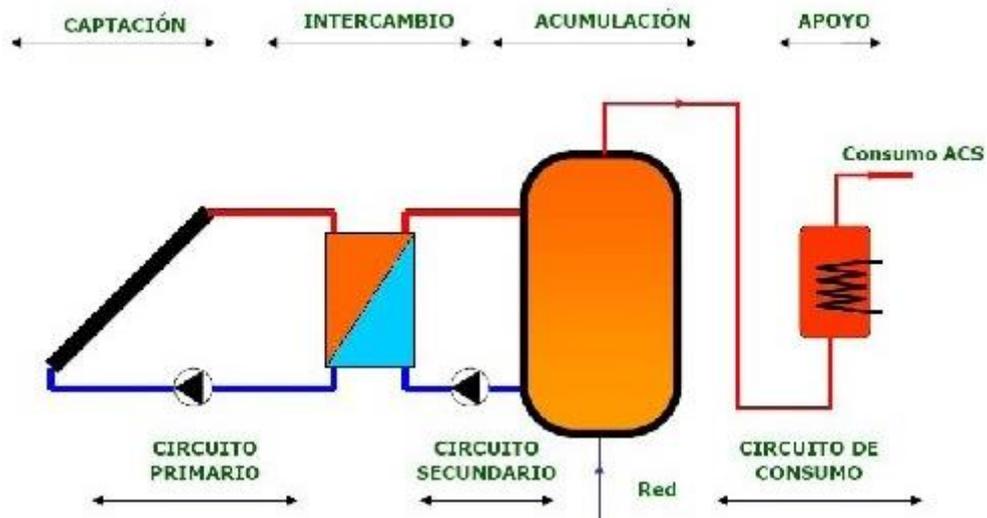


Figura 3.4 Esquema sistema con intercambiador exterior al acumulador (5)

3.3.3 Clasificación en función de la posición del depósito de acumulación

Básicamente, el depósito tiene dos posibles posiciones: vertical y horizontal. El posicionamiento vertical favorece la estratificación del agua. Este posicionamiento es el más adecuado para los equipos de termosifón.



Figura 3.5 a) Depósito acumulador posición vertical, b) Depósito acumulador posición horizontal (6)

3.3.4 Clasificación en función del tipo de captador

En lo que se refiere a captadores, los 4 tipos más comunes son:

Captador solar plano: son los más demandados debido a su buena relación calidad-precio y a su eficacia demostrada. Están indicados para producción de Agua Caliente Sanitaria, calentamiento de piscinas, calefacción de baja temperatura y refrigeración por absorción.



Figura 2.3 Captador plano (6)

Captador con tubos de vacío: están compuestos por un conjunto de tubos cilíndricos, formados por un absorbedor selectivo, situado sobre un asentamiento reflector rodeado de un cilindro de vidrio transparente. Entre el tubo exterior transparente y el absorbedor interior se ha hecho el vacío. Con ello, se evitan las pérdidas por conducción y por convección desde la superficie absorbente, y esto permite alcanzar temperaturas superiores a 100 °C y aprovechar mucho más la radiación solar.

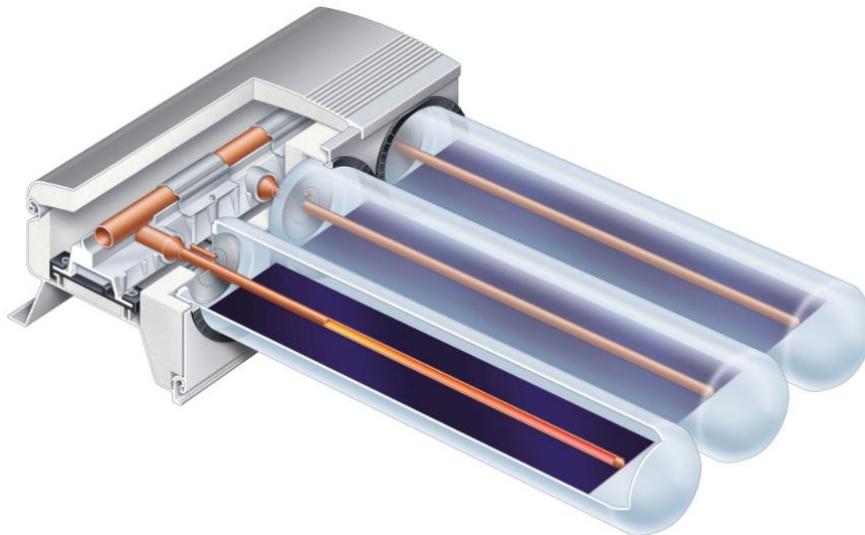


Figura 3.3 Captador de tubos de vacío (7)

Captador de polipropileno: estos captadores no tienen cubierta de vidrio, son de material plástico. Su funcionamiento es similar al de los captadores solares planos. Son los más económicos y sólo se emplean para calentar el agua de piscinas que se encuentran al descubierto, debido a su bajo rendimiento a medias y altas temperaturas de trabajo y en climas fríos. Por esta razón están en desuso.



Figura 3.4 Captador de polipropileno (6)

Captador de concentración: los captadores de concentración utilizan reflectores, lentes u otros elementos ópticos para redireccionar y concentrar sobre el absorbedor la radiación solar incidente con el fin de conseguir altas temperaturas. Estos captadores son los mejores para lugares con cielo claro donde la mayor proporción de radiación solar es recibida mediante radiación directa, usándose para obtener temperaturas mayores a 100°C. La desventaja que presentan es su inconveniencia para el uso en lugares con climas nublados.



Figura 3.5 Captador de concentración (8)

3.4 CAPTADORES SOLARES

3.4.1 Características de un captador solar

Los captadores solares, como núcleo de una instalación solar térmica, deben cumplir unos requisitos mínimos de calidad. Estas prestaciones deben ser certificadas por un laboratorio acreditado y deben seguir un protocolo de ensayo definido. En el caso de la empresa donde he llevado a cabo los ensayos para este estudio están certificados por el laboratorio CENER (Centro Nacional de Energías Renovables). La información técnica que hay que conocer de un captador solar es la siguiente:

- Curvas de rendimiento instantáneo.
- Superficie útil de captación.
- Peso.
- Instrucciones de transporte y manipulación del captador.
- Capacidad y tipo de líquido caloportador recomendado por el fabricante.
- Caudales recomendados y pérdidas de carga.
- Presión máxima de servicio y presión de prueba.
- Materiales de constitución del absorbedor y del circuito del líquido.
- Materiales de constitución de la cubierta y la caja.
- Sistema de sellado.
- Tipos y espesores de aislamiento.
- Temperatura de estancamiento.
- Requisitos para el mantenimiento.

3.4.2 Partes de un captador solar y principios físicos de los mismos

Principalmente tiene 5 partes:

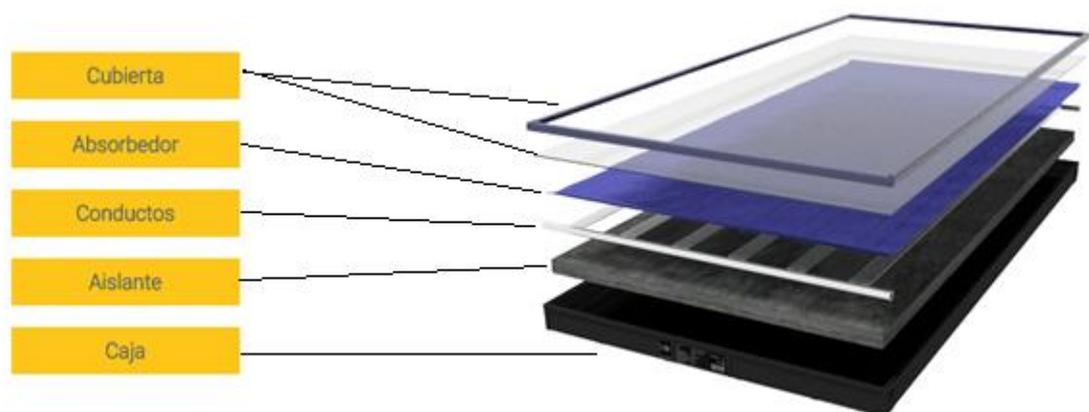


Figura 3.7 Partes de un captador solar (6)

1) Cubierta transparente

Tiene la función de aislar el captador de las condiciones ambientales exteriores, aunque deja pasar la radiación solar, que provoca el efecto invernadero. Normalmente está formada por una sola lámina de vidrio templado (resistente) con bajo contenido en hierro (muy transparente) de 4mm de espesor aproximadamente.

El efecto invernadero

Este efecto se genera en algunos cuerpos transparentes, que normalmente sólo son atravesados por radiaciones con longitud de onda entre 0.3 y 3 micras. Dado que la parte de la radiación solar está comprendida entre 0.3 y 2.4 micras, la luz solar puede atravesar un vidrio. Una vez atravesado, radiación encuentra el absorbedor, que se calienta y emite radiaciones comprendidas entre 4,5 y 7,2 micras para las que el vidrio es opaco.

Esta radiación que no puede salir es reflejada hacia el interior de nuevo. Una parte de esta energía calienta el vidrio y el cristal la remite hacia dentro y hacia fuera.

Algunos plásticos (como el policarbonato) tienen un comportamiento similar al vidrio (dejan pasar las radiaciones de onda corta procedente del Sol y detienen las emisiones de onda larga que proceden de la placa absorbidora).

2) Absorbedor

Es el elemento que intercepta la radiación solar en el interior del captador y es el encargado de transformar la energía solar en energía térmica.

El absorbedor está formado, habitualmente, por una lámina metálica, normalmente de cobre (buen conductor térmico, que se oscurece básicamente con una fina película de pintura negra calórica, que resiste temperaturas de trabajo superiores a los 100 °C. Otra forma de oscurecerla es aplicarle un tratamiento selectivo, basado en deposiciones electroquímicas o pinturas con óxidos metálicos que tienen una alta absorción de la radiación solar (onda corta) y una baja emisividad de calor (onda larga).

El cuerpo negro (Absorbedor):

La radiación solar incidente es parcialmente absorbida por los cuerpos. El resto es reflejado o los atraviesa. La relación entre estos efectos depende:

- La naturaleza del cuerpo.
- El estado de la superficie.
- El grueso del cuerpo.
- El tipo de radiación. La longitud de onda.
- El ángulo de incidencia de los rayos solares.

Los cuerpos oscuros y mates captan mejor la radiación solar que cualquier otro color, por eso el absorbedor del captador solar suele ser de colores oscuros, para aprovechar al máximo la radiación solar.

3) Conductos

El absorbedor incorpora una parrilla de conducciones por donde circulará el fluido caloportador.

4) Aislante

Este elemento, tal como ocurre en el resto de aplicaciones, cumple la función de evitar pérdidas de calor del interior del captador hacia el exterior y está formado

normalmente por planchas de espuma sintéticas (poliuretano, fibra de vidrio, etc.) ubicadas a los lados y en la parte posterior del captador.

5) Carcasa

La carcasa tiene la función de alojar el resto de componentes. Este cierre normalmente está formado por un perfilado de aluminio anodizado que garantiza una resistencia del conjunto, incluso, en las condiciones extrema de trabajo. Asimismo, la carcasa dispondrá de unas perforaciones de desagüe de condensados en la parte inferior.

3.4.3 Rendimiento de un captador solar

Sistema Indirecto

El rendimiento de un colector (η), se define como la relación entre la energía útil captada y la radiación solar recibida en un instante determinado.

Es la recta que relaciona el comportamiento térmico del colector con la diferencia de temperatura entre la entrada del fluido caloportador al captador y la temperatura ambiente, y la irradiación térmica. Se conoce como ecuación de Bliss.

$$\eta = \frac{Qu}{A \cdot I}$$

Qu = calor útil = Energía captada - Energía perdida

A = Área de captación en m^2

I = Irradiación solar incidente sobre la superficie en W/m^2

En la figura 5.8 se muestran los diferentes flujos de energía que se pueden perder en un captador.

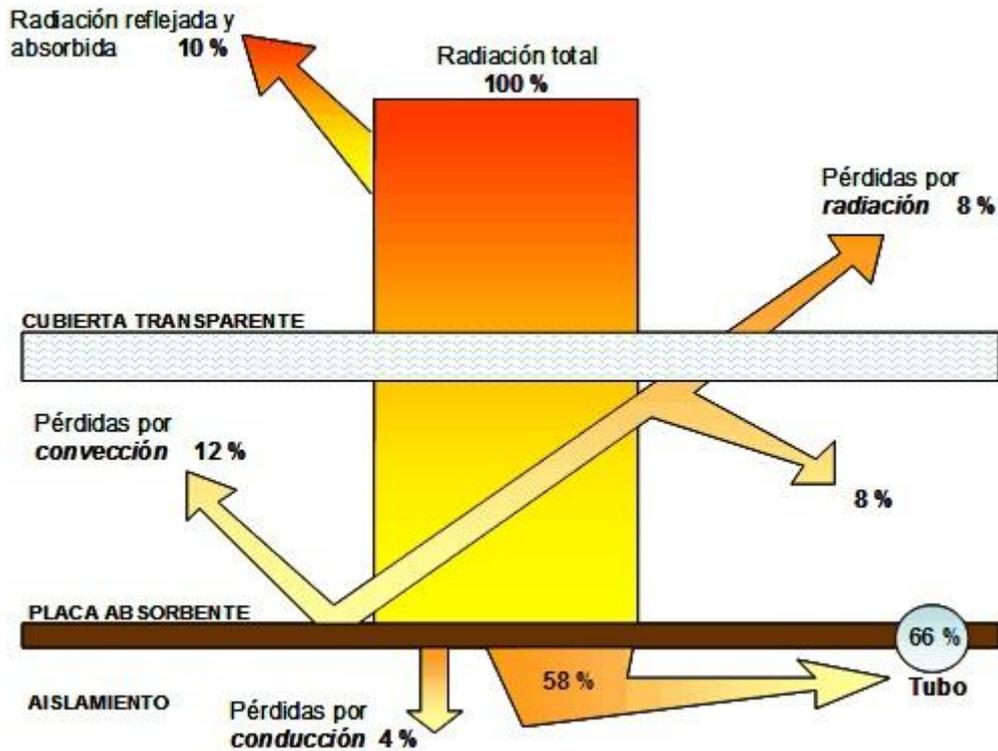


Figura 3.8 Flujos de pérdidas de un sistema solar térmico. (9)

El calor útil o energía útil es la diferencia entre la energía captada y la energía que se pierde.

$$\begin{aligned} \text{Energía captada} &= \tau \cdot \alpha \cdot I \cdot A \\ \text{Energía perdida} &= U \cdot A \cdot (T_{\text{captador}} - T_{\text{aire}}) \end{aligned}$$

τ = transmitancia de la cubierta

α = absortancia del absorbedor

A = área de captación (m²)

U = coeficiente global de trasmisión del captador por unidad de superficie (W/m² °C)

T_{aire} = temperatura ambiente del aire en el que se encuentra el captador (°C)

T_{captador} = La temperatura del captador es un dato muy difícil de obtener y de calcular

Para facilitar los cálculos se introduce un factor FR, conocido como factor de ganancia del colector. Relaciona el flujo de calor útil recuperado con el flujo máximo que podría recuperar. Y nos permite sustituir la temperatura del captador por la temperatura de entrada a los colectores en la energía útil.

$$FR = \frac{\tau \cdot \alpha - U \cdot (T_{\text{captador}} - T_{\text{aire}})}{\tau \cdot \alpha - U \cdot (T_{\text{entrada}} - T_{\text{aire}})}$$

Donde:

Tentrada = temperatura del agua en la entrada al captador (°C)

Eútil = Ecaptada-Eperdida = $\tau \cdot \alpha \cdot I \cdot A - U \cdot A \cdot (T_{\text{captador}} - T_{\text{aire}})$

Eútil = Ecaptada-Eperdida = $\tau \cdot \alpha \cdot I \cdot A \cdot FR - U \cdot A \cdot FR \cdot (T_{\text{entrada}} - T_{\text{aire}})$

Sustituyendo la expresión X en la ecuación del rendimiento del colector llegamos a la siguiente ecuación:

$$\eta = \frac{\tau \cdot \alpha \cdot I \cdot A \cdot FR - U \cdot A \cdot FR \cdot (T_{\text{entrada}} - T_{\text{aire}})}{S \cdot I} = \frac{\tau \cdot \alpha \cdot I \cdot FR - U \cdot FR \cdot (T_{\text{entrada}} - T_{\text{aire}})}{I}$$

$$\eta_{\text{colector}} = FR \cdot \tau \cdot \alpha - FR \cdot U \cdot \frac{(T_{\text{entrada}} - T_{\text{amb}})}{I}$$

A partir de la ecuación anterior podemos deducir que $\tau \cdot \alpha \cdot FR$ es la ordenada en el origen de la ecuación de Bliss, y se conoce como factor óptico del captador, mientras que $FR \cdot U$ es la pendiente de la recta característica del colector.

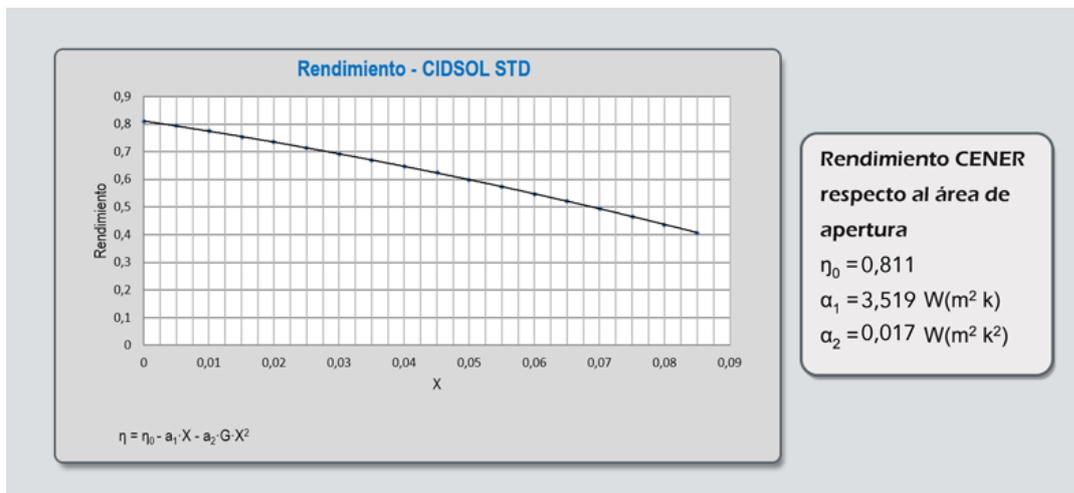


Figura 3.9 Curva de rendimiento captador solar Cidersol STD (6)

La curva característica de un colector debe ser proporcionada por el fabricante en el correspondiente catálogo de características técnicas del colector. Examinando la curva característica, se puede concluir que un colector será más eficiente en cuanto a rendimiento conforme menor sea la pendiente de la curva (FRU), y mayor sea el valor de la ordenada en el origen ($FR \cdot \tau \cdot \alpha$).

Por lo tanto, el rendimiento de un colector no es una constante, sino que depende de las condiciones de funcionamiento, y su cálculo se realiza por medio de su curva característica.

La ecuación de Bliss constituye el método indirecto del cálculo del rendimiento del panel. Sin embargo, para los ensayos realizados he optado por utilizar el método directo, en el cual son necesarios los datos medidos en el equipo experimental y por lo tanto el rendimiento del colector quedará de esta manera.

$$\eta_{\text{colector}} = \frac{\dot{m} \cdot C_{p_agua} \cdot \Delta T_{col}}{I_{corr_media} \cdot A}$$

\dot{m} = flujo másico de agua expresado en l/s

C_p = capacidad calorífica del agua a presión constante 4.180 J/kg°C

ΔT_{col} = es la diferencia de temperatura del fluido caloportador entre la entrada y la salida de colectores expresado °C

I_{corr_media} = irradiación solar multiplicada por el factor de corrección de que depende de la inclinación en la que estén colocados los paneles respecto del plano horizontal, época del año y el lugar geográfico donde se encuentre la instalación.

3.5 Cálculo de potencias y rendimiento de la instalación

A continuación, mostramos las fórmulas utilizadas para el cálculo de las diferentes potencias caloríficas utilizadas en el presente proyecto:

- Potencia del panel

$$Pot\ Panel = \dot{m} \cdot C_{p_agua} \cdot \Delta T_{colector}$$

\dot{m} = flujo másico de agua kg/s

C_p = capacidad calorífica del agua a presión constante 4.180 J/kg°C

$\Delta T_{colector}$ = °C

- *Potencia disponible*

$$Pot\ disponible = S * Ric$$

S = Superficie de captación m²

Ric = Radiación incidente corregida W/m²

- Potencia perdida en el disipador

$$Pot\ disipador = \dot{m} * C_p * (T_{entrada\ al\ disipador} - T_{salida\ disipador})$$

- Potencia cedida al depósito

$$Pot\ deposito = (\dot{m}(\text{depósito}) - \dot{m}(\text{disipador})) * C_p * (T_{entrada\ depósito} - T_{salida\ depósito})$$

- Potencia perdida en la instalación

$$\begin{aligned} & \textit{Pot perdida en la instalación} = \\ & = \textit{Potencia panel} - \textit{Potencia disipador} - \textit{Potencia depósito} \end{aligned}$$

- Rendimiento de la instalación

$$\textit{Rendimiento instalación} = \frac{\textit{Pot depósito}}{\textit{Pot disponible}}$$

3.6 DIMENSIONAMIENTO DE INSTALACIONES DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA

Método de cálculo F-Chart Para el dimensionado de las instalaciones de energía solar térmica se sugiere el método de las curvas f (F-Chart), que permite realizar el cálculo de la cobertura de un sistema solar, es decir, de su contribución a la aportación de calor total necesario para cubrir las cargas térmicas, y de su rendimiento medio en un largo período de tiempo.

Ampliamente aceptado como un proceso de cálculo suficientemente exacto para largas estimaciones, no ha de aplicarse para estimaciones de tipo semanal o diario.

Para desarrollarlo se utilizan datos mensuales medios meteorológicos, y es perfectamente válido para determinar el rendimiento o factor de cobertura solar en instalaciones de calentamiento, en todo tipo de edificios, mediante captadores solares planos.

Su aplicación sistemática consiste en identificar las variables adimensionales del sistema de calentamiento solar y utilizar la simulación de funcionamiento mediante ordenador, para dimensionar las correlaciones entre estas variables y el rendimiento medio del sistema para un dilatado período de tiempo.

La secuencia que suele seguirse en el cálculo es la siguiente:

1. Valoración de las cargas caloríficas para el calentamiento de agua destinada a la producción de A.C.S. o calefacción.
2. Valoración de la radiación solar incidente en la superficie inclinada del captador o captadores.
3. Cálculo del parámetro D1.
4. Cálculo del parámetro D2.
5. Determinación de la gráfica f.
6. Valoración de la cobertura solar mensual.

7. Valoración de la cobertura solar anual y formación de tablas.

(Fuente: <http://konstruir.com/C.T.E/HE-4-Contribucion-solar-minima-de-agua-caliente-sanitaria/Metodo%20F-Chart.pdf>) (10)

3.7 NORMATIVA

En el Código Técnico de la Edificación, el cual es de obligado cumplimiento, existe un apartado referente a la energía solar térmica “DB-HE4 Contribución mínima de energía renovable para cubrir la demanda de agua caliente sanitaria”, en el cual se recogen aspectos tales como:

- Casos de aplicación.
- Caracterización de las exigencias.
- Cuantificación de las exigencias.
- Garantizar el cumplimiento.
- Mantenimiento.

3.8 SOFTWARE DE DISEÑO DE ACCESO GRATUITO

En la red podemos encontrar diferentes programas gratuitos para el cálculo y diseño de una instalación térmica solar para abastecer la demanda de calefacción y/o ACS.

A través de la página web ATECYR encontramos un programa en cual podemos obtener mediante el método f-chart diferentes curvas de ensayo de captadores con diferentes configuraciones y los cálculos de pérdidas por ejemplo por sombras de otros edificios.

<http://www.calculaconatecyr.com/solar.php> (11)

4. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN SOMETIDA A ESTUDIO

4.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presenta la empresa CIDERSOL. Empresa que ha hecho posible a través de su propuesta, la realización y la toma de datos para el presente proyecto en su banco de ensayos.

El equipo sometido a estudio es el denominado “AQUA V3”, se trata de un sistema solar térmico forzado de calentamiento de agua a baja temperatura, menor de 100° y sin cambio de fase, para su utilización como generador de ACS para viviendas unifamiliares.



Figura 4 Sistema solar térmico forzado “AQUA V3” (Fuente: realización propia in situ)

Su principal elemento son los 3 captadores CIDERSOL STD montados en paralelo que absorben la radiación solar y transfieren esa energía al fluido caloportador.

El sistema tiene básicamente dos circuitos, el primario, por donde circula una mezcla de agua y anticongelante, se encarga de transferir su energía calorífica al secundario, (agua destinada al consumo que se acumula dentro del tanque y se comporta como un circuito abierto) mediante un intercambiador de calor.

4.2. LA EMPRESA

CIDERSOL es una empresa fabricante especializada en la energía solar térmica. Está ubicada en el Parque Tecnológico de Boecillo (provincia de Valladolid).

La empresa pertenece al sector de la Energía. Producen sistemas solares térmicos para la generación de Agua Caliente Sanitaria, sistemas de apoyo a la calefacción, calentamiento de piscinas...etc.

Su actividad se enfoca principalmente en la producción y venta de colectores solares térmicos, además de realizar investigaciones para el desarrollo de diferentes sistemas e instalaciones para agua caliente sanitaria y apoyo a la calefacción.

Pertenece al grupo Cidaut. Aunque se creó en 2006, hasta comienzos del 2009 no empezó a producir los diferentes equipos. Las instalaciones cuentan con un proceso de fabricación altamente automatizado.

Los colectores solares que fabrican cuentan con una caja auto aislada de material híbrido con poliuretano, esto favorece que sea totalmente estanca, aspecto fundamental para evitar humedades en el interior y problemas de condensación, al contrario que otros colectores solares del mercado, en los que dicha caja es fabricada en aluminio y puede presentar varios inconvenientes de los antes mencionados. El material del que está hecha la parrilla es solamente aluminio, este material se caracteriza por ser barato y ligero.

En sus instalaciones, cuentan con un banco de ensayos compuesto por equipos de producción de agua caliente sanitaria, que se ubica en la cubierta de la nave con diferentes configuraciones y elementos con el fin de perseguir una combinación de rendimiento-precio óptimo.

4.3. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

Como se ha mencionado anteriormente se trata del sistema "AQUA V3", un equipo solar térmico forzado de calentamiento de agua a baja temperatura, para su utilización como generador de ACS para viviendas unifamiliares.



Figura 4.1 Sistema solar térmico forzado "AQUA V3" (12)

El equipo está dotado de los siguientes componentes:

Circuito primario compuesto por:

- 3 colectores solares modelo CIDERSOL STD montados en paralelo.
- Bomba WILO STAR STG 16/4 instalada antes de la entrada a colectores del fluido caloportador.
- Tubería de 18 mm para unir los distintos elementos aislada con Armaflex.
- Sistema de disipación pasivo Cidersol, formado por:
 - o Válvula termostática que abre el circuito de refrigeración al llegar a 88 °C
 - o Disipador pasivo tipo automoción modelo NRF.

Circuito Secundario compuesto por

- Acumulador de 270 litros con intercambiador de camisa Worthington TSS300.
- Toma de agua de red
- Salida de agua de consumo
- Centralita Resol modelo Deltasol AL E.

En la figura 4.2 se refleja la posición de los distintos elementos que componen el equipo solar térmico AQUA V3.

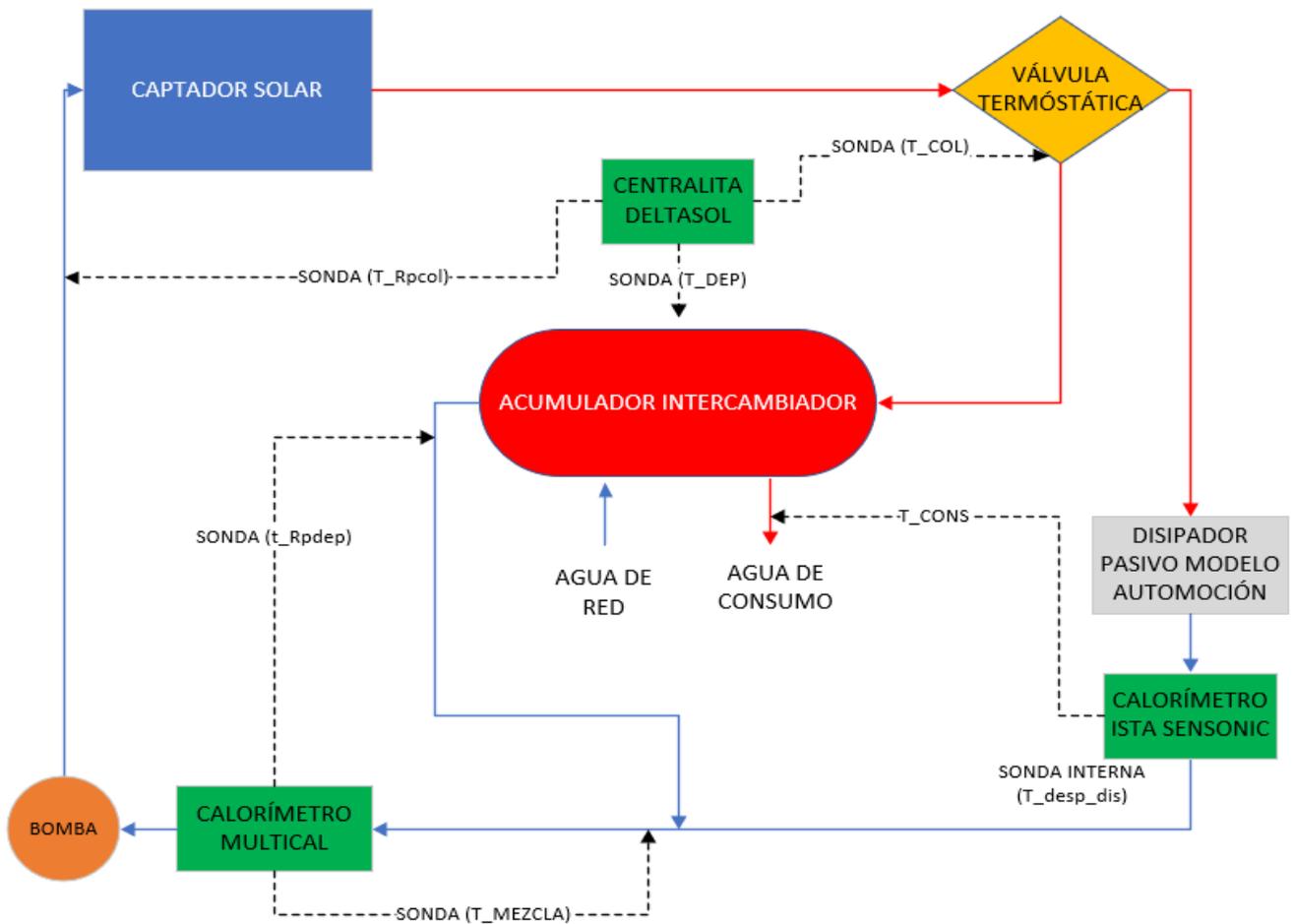


Figura 4.2 Esquema sistema forzado "AQUA V3"

En todos los ensayos la regulación del funcionamiento de la bomba está comandada por una centralita de manera automática en función de los parámetros programados para un funcionamiento normal de la instalación.

Los calorímetros Multical e Ista Sensonic tienen la capacidad de medir caudales.

4.4. CARÁCTERÍSTICAS DE LOS ELEMENTOS PRINCIPALES

- Captador

Se trata del modelo CIDSOL STD fabricado y producido por la empresa CIDERSOL.



Figura 4.3 Captador solar modelo CIDSOL STD (6)

A continuación, se detallan las características técnicas de dicho captador:

Tabla 4.1 Tabla características técnicas captador solar modelo CIDSOL STD (6)

DIMENSIONES	
Longitud	2.022 mm
Ancho	1.022 mm
Alto	78 mm
Área total	2,07 m ²
Área de apertura	1,95 m ²
Área efectiva	1,94 m ²
Peso en vacío	39,2 Kg

CAPACIDADES	
Capacidad	1,1 litros
Temperatura estancamiento	218 °C
Capacidad térmica	17.525 J/K
Presión de prueba	12 bar
Presión Max. de trabajo	8 bar
Caudal recomendado	60-120 l/h m ²

Los colectores solares de Cidersol están formados por una **caja** autoaislada fabricada mediante el moldeo de materiales plásticos e insertos metálicos regularmente distribuidos. Con esto conseguimos una buena combinación de ligereza, resistencia y auto-aislamiento para contener al resto de elementos del colector.

A continuación, hay una capa de **aislamiento térmico** para evitar pérdidas de calor por la parte posterior, seguida de los **conductos** por donde circula el fluido, que están fabricados enteramente en aluminio y cuentan con un diseño optimizado para la transferencia del calor de la placa absorbedor hasta el fluido.

Soldada a los conductos se encuentra la **placa del absorbedor** fabricada también en aluminio y recubierta de un material altamente selectivo para conseguir la máxima captación de energía. Finalmente, para proteger los elementos internos del colector, se coloca la **cubierta**, que debe ser transparente a la radiación incidente y opaca a la emisión térmica.

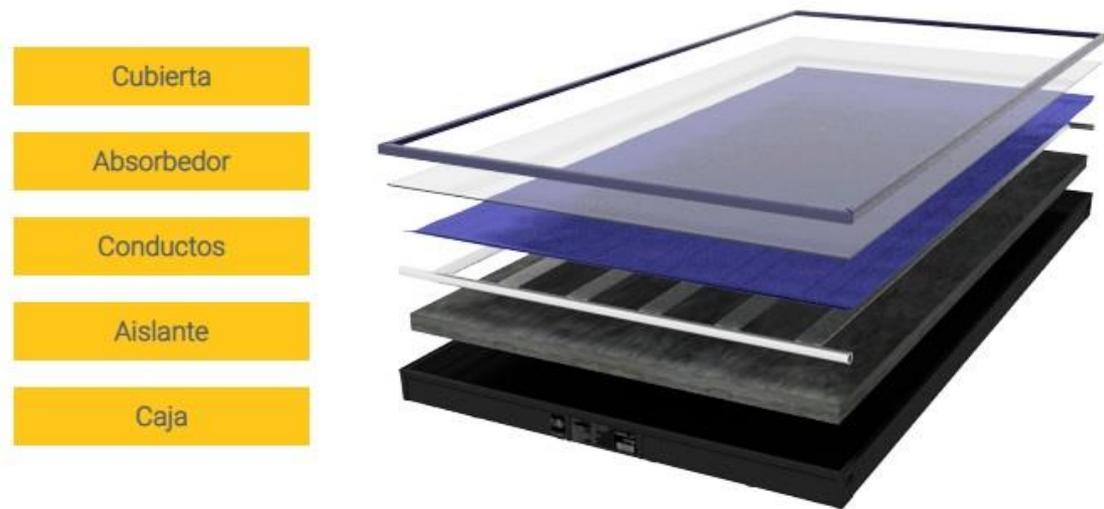


Figura 4.5 Partes de un captador (6)

- Depósito

En el equipo "AQUA V3" tenemos un depósito acumulador de 270 litros de la marca Worthington, colocado en posición horizontal. Se trata de un depósito intercambiador de calor de doble camisa, esto favorece el intercambio de calor entre el circuito primario y el secundario, debido a una mayor superficie de intercambio respecto a otros intercambiadores. El fluido caloportador que proviene de los colectores solares pasa en el circuito primario al interior de la camisa del tanque, donde se produce la transferencia de calor entre el fluido y el agua destinada al consumo que contiene el depósito.

Tabla 4.2 Características del acumulador Worthington TSS300. (13)

Peso	En vacío	116 kg
	Aprox. En funcionamiento	410 kg
Volumen	Circuito secundario	270 L
	Circuito primario	12 L
P máx. de trabajo	Circuito secundario	10 bar
	Circuito primario	2,5 bar
Diámetro exterior		580 mm
Longitud		1830 mm
Materiales	Deposito	Acero al carbono preparado para esmaltado a 850 °C
	Camisa	Acero al carbono
	Aislamiento	Poliuretano, 38 mm de grosor y 40 kg/m ³ de densidad
	Acabado exterior	Chapa de acero galvanizada pintada en el color RAL 7035

Los circuitos primario y secundario presentes en el interior del acumulador están separados del exterior por una capa de material aislante, poliuretano. Además, el depósito se encuentra protegido interiormente por una capa de esmalte vitrificado para evitar la corrosión del acero.

1. Acumulador
2. Entrada para el cable de alimentación de la resistencia eléctrica.
3. Conexión de entrada de agua fría y válvula de presión (válvula no incluida).
4. Conexión de retorno a paneles.
5. Conexión de salida de agua caliente de consumo.
6. Conexión de ida del panel al circuito primario del depósito.
7. Entrada para llenado del fluido caloportador.
8. Conexión de la válvula de seguridad para el circuito primario del depósito.

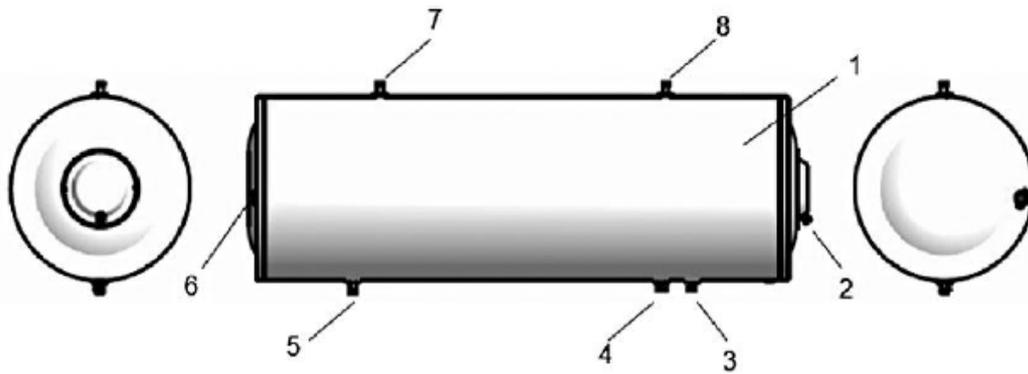


Figura 4.6 Esquema del acumulador Worthington TSS300 (13)

- Bomba

Se trata de una bomba de impulsión de la marca WILO modelo STAR STG 16/4. Pertenece al circuito primario, y se encuentra ubicada entre la salida del acumulador y la entrada a colectores. Es una bomba con 3 velocidades de regulación manual comandada por la centralita

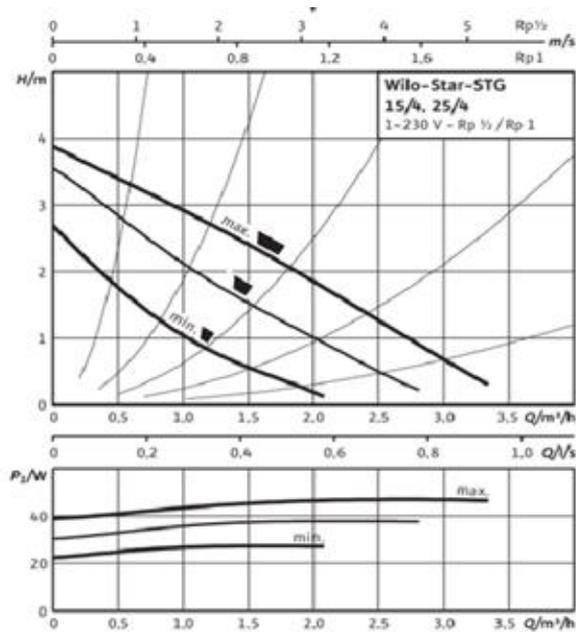


Figura 4.7 Curvas características (14)

Tabla 4.3 Características técnicas de la bomba (14)

Fluidos admisibles (se pueden solicitar otros)	
Agua de calefacción (según VDI 2035)	•
Mezclas de agua/glicol (máx. 1:1; a partir de un 20 % de aditivo se deben comprobar los datos de impulsión)	•
Campo de aplicación autorizado	
Rango de temperaturas con temperatura ambiente máx. +40 °C	-10...+110 °C (en servicio de corta operación 2h: +120 °C)
Presión de trabajo máxima admisible P_{max}	10 bar
Conexiones de tubería	
Racor	Rp 1
Rosca	G 1½
Longitud efectiva $L0$	180 mm
Motor/componentes electrónicos	
Compatibilidad electromagnética	EN 61800-3
Emisión de interferencias	EN 61000-6-3
Resistencia a interferencias	EN 61000-6-2
Tipo de protección	IP 44
Clase de aislamiento	F
Alimentación eléctrica	1~230 V, 50 Hz
Velocidad n	1440 - 2350 / 1910 - 2630 / 2140 - 2720 rpm
Consumo de potencia P_1	28 / 38 / 48 W
Intensidad absorbida I	0,13 / 0,17 / 0,21 A
Protección de motor	no requerida(resistente al bloqueo)
Prensaestopas PG	1x11
Materiales	
Carcasa de la bomba	Fundición gris (EN-GJL-200)
Rodete	Polipropileno
Eje de la bomba	Acero inoxidable (X40Cr13)
Cojinete	Carbono, impregnado de metal
Altura de entrada mín. en la boca de aspiración para evitar la cavitación a la temperatura de impulsión del agua	
Altura de entrada mín. a 50/95/110 °C	0,5 / 3 / 10 m
Información de pedido	
Marca	Wilo
Tipo	Star-STG 25/4
Ref.	4050265
Peso aprox. m	2,52 kg

- Centralita de control del sistema

En el equipo "AQUA V3" se ha utilizado una centralita de la marca Resol, modelo DeltaSol AL E convenientemente aislada para que no se viese afectada por la climatología. Esta centralita comanda el arranque/parada de la bomba en los diferentes escenarios de funcionamiento (normal, anti-hielo, refrigeración del captador), en base a los valores registrados por las sondas de temperatura que incorpora dicha centralita.

Además de las sondas de la centralita se han utilizado otras sondas en diversos puntos del sistema con el fin de estudiar diferentes aspectos relacionados con el ensayo.



Figura 4.8 Centralita RESOL Deltasol AL E (15)

En la tabla 4.4 se describen los parámetros fijados en la centralita que comandan el funcionamiento del sistema de captación solar:

Tabla 4.4 Parámetros fijados en la centralita (15)

Parámetro	Descripción	Valor
<i>DT O</i>	<i>Diferencia de temperatura de conexión</i>	<i>3.5 °C</i>
<i>DT F</i>	<i>Diferencia de temperatura de desconexión</i>	<i>2 °C</i>
<i>S MAX</i>	<i>Temperatura máxima del acumulador</i>	<i>90 °C</i>
<i>CEM</i>	<i>Temperatura de seguridad del captador</i>	<i>170 °C</i>
<i>OCCO</i>	<i>Función refrigerador del captador</i>	<i>Off</i>
<i>C MAX</i>	<i>Temperatura máxima del captador</i>	<i>-</i>
<i>OCMN</i>	<i>Opción limitación mínima del captador</i>	<i>ON</i>
<i>CMIN</i>	<i>Temperatura mínima del captador para entrar en funcionamiento la bomba</i>	<i>10 °C</i>
<i>OCFR</i>	<i>Función anticongelante</i>	<i>ON</i>
<i>CFRO</i>	<i>Temperatura de conexión de la función anticongelante</i>	<i>1 °C</i>

<i>CFRF</i>	<i>Temperatura de desconexión de la función anticongelante</i>	<i>3 °C</i>
<i>OSTC</i>	<i>Opción refrigeración del acumulador</i>	<i>Off</i>

Sondas

Se trata de sensores RDT (Resistencia Dependiente de la Temperatura). En el equipo de estudio se pueden encontrar dos clases diferentes, Pt500 y Pt1000.

La sonda Pt1000 es una resistencia de platino de 1000 Ohms a 0 °C, que varía con la temperatura a razón de 3.28 Ohm/°C

Mientras que la sonda Pt500 es un sensor también de platino pero con valor de 500 Ohms a la referencia de 0 °C

La sonda más común es la Pt100 aunque las Pt1000 y las Pt500 ofrecen una mayor variación de impedancia respecto al mismo cambio de temperatura por lo que son sensores más sensibles que las Pt100.

Estas sondas están presentes en los calorímetros ISTA Sensonic y Multical instalados en el sistema (ambos pueden actuar como caudalímetros).



Figura 4.9 Sonda pt1000 (16)

Célula fotovoltaica

Se trata de un dispositivo formado por una célula fotovoltaica capaz de medir la radiación incidente sobre él estando en la misma disposición que el colector solar plano a estudio.

5. PROCEDIMIENTO DE PREPARACIÓN Y REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS

5.1 ESPECIFICACIONES DE LOS ENSAYOS REALIZADOS

En este apartado se describe la metodología llevada a cabo para la realización de los ensayos.

El objetivo fundamental de los ensayos es estudiar el rendimiento del colector y del sistema completo, y las energías presentes en la evolución del sistema a partir de los datos obtenidos experimentalmente.

Para ello, se deja que el sistema evolucione libremente, en función de las consignas fijadas en la centralita para su funcionamiento, durante las horas de ensayo y cada 30 minutos se anotan los valores de las variables que se utilizarán en los cálculos posteriores.

Se realizarán 2 tipos de ensayos:

1. Evolución del sistema sin vaciado inicial del acumulador
2. Evolución del sistema con vaciado inicial del acumulador.

A su vez, se hicieron 3 variaciones de la consigna de impulsión de la bomba del primario, con el fin de estudiar los aspectos térmicos de la instalación y sobre todo aspectos relacionados con el colector solar.

Se Pretende comparar la evolución del sistema con un vaciado inicial del acumulador y sin un vaciado previo.

En estos ensayos cabe destacar la dependencia de factores externos. Por ello se anotan las condiciones climatológicas presentes en cada ensayo, tales como: viento, nubes, lluvia, temperatura atmosférica, temperatura de agua de red.

Tabla 5.1 Ensayos realizados

ENSAYO 1	CON VACIADO INICIAL DEL ACUMULADOR	Flujo 1	1.1
	SIN VACIADO INICIAL DEL ACUMULADOR	Flujo 1	1.2
ENSAYO 2	CON VACIADO INICIAL DEL ACUMULADOR	Flujo 2	2.1
	SIN VACIADO INICIAL DEL ACUMULADOR	Flujo 2	2.2
ENSAYO 3	CON VACIADO INICIAL DEL ACUMULADOR	Flujo 3	3.1
	SIN VACIADO INICIAL DEL ACUMULADOR	Flujo 3	3.2

Variables medidas en el sistema

A continuación, se detallan las variables medidas en los ensayos

T_COL → Temperatura del fluido caloportador a la salida de colectores

T_DEP → Temperatura interior del acumulador

T_CONS → Temperatura del agua de consumo

T_RPdep → Temperatura de retorno del primario a la salida del acumulador

T_RPcol → Temperatura de retorno del primario a la entrada a colectores

T_amb → Temperatura ambiente

T_red → Temperatura de agua de red

T_ant_dis → Temperatura antes del disipador

T_desp_dis → Temperatura después del disipador

Rad_corr → Radiación incidente corregida

Vol_ext → volumen extraído del acumulador

Caudal → caudal suministrado por la bomba

Caudal_dis → caudal que circula por el disipador

Q1 → Caudal 1, correspondiente a la velocidad 1 de la bomba (aprox. 750 l/h)

Q2 → Caudal 2, correspondiente a la velocidad 2 de la bomba (aprox. 970 l/h)

Q3 → Caudal 3, correspondiente a la velocidad 3 de la bomba (aprox. 1090 l/h)

5.1.2 Programación del ensayo y preparación de la instalación

En la figura 5 se puede observar el procedimiento de programación del ensayo y preparación de la instalación.

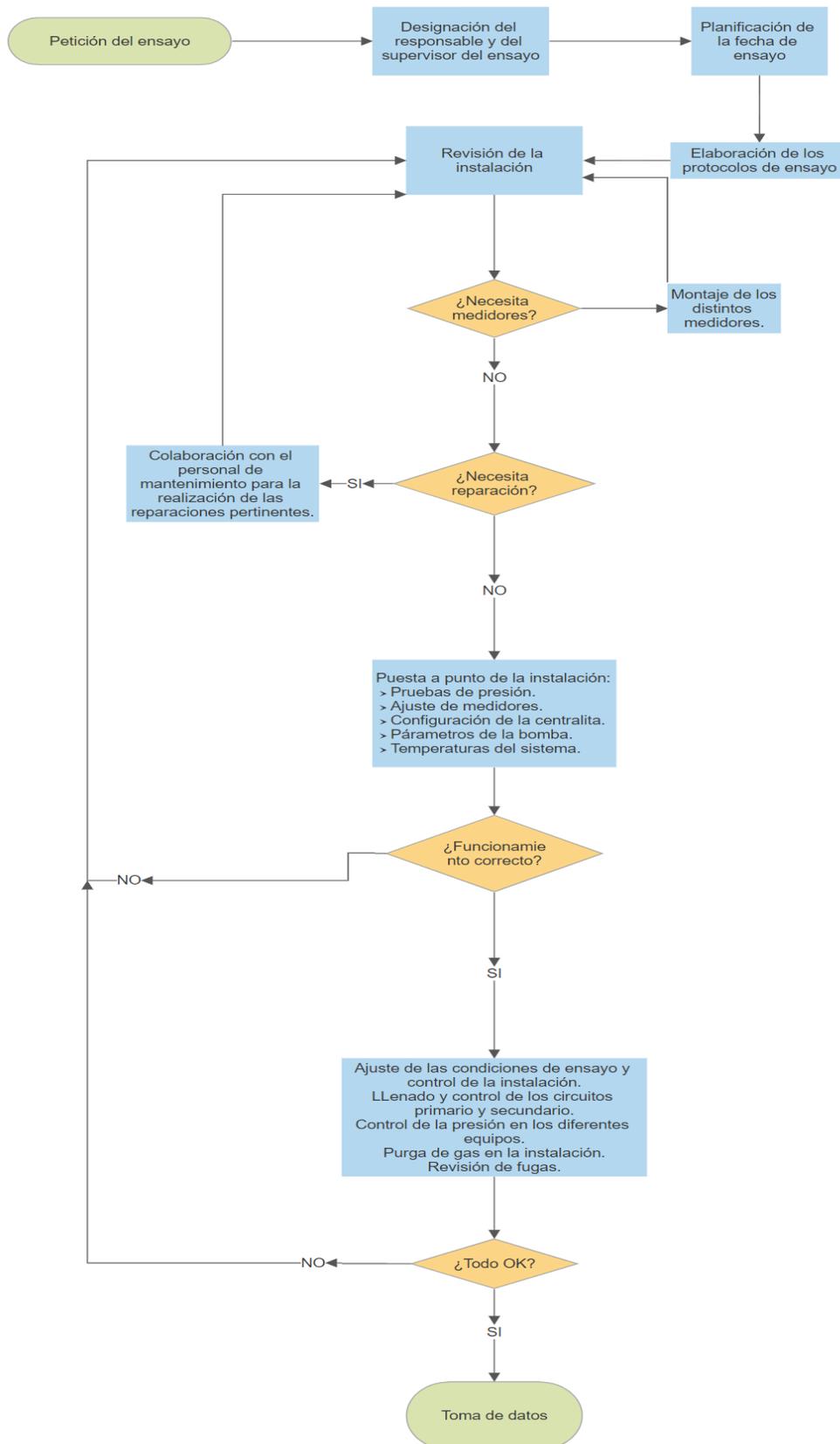


Figura 5 Procedimiento de programación del ensayo y preparación de la instalación

5.2 PROCEDIMIENTO DE LOS ENSAYOS

5.2.1 Objetivo

El objetivo de estos ensayos es obtener el rendimiento y potencia del colector solar, así como el rendimiento del equipo, calores intercambiados y disipados en la instalación y potencia del acumulador, con el fin de observar la evolución del sistema.

5.2.2 Condiciones del ensayo

Anotaremos las condiciones climatológicas presentes durante la realización de los ensayos propuestos y otros aspectos tales como la fecha de realización de cada ensayo, litros vaciados del acumulador, en caso de haberlo, velocidad de funcionamiento de la bomba

La radiación se ha medido con una célula de radiación instalada por Cidersol, con la misma inclinación que los paneles del ensayo.

5.2.3 Descripción de los ensayos

Desde las 8:30 hasta las 14:30 se anotaron todas las variables requeridas para el estudio en intervalos de media hora. Estas medidas se tomaron habiendo dejado previamente el sistema evolucionando, el día anterior, con la velocidad de flujo fijada para el ensayo, con el arranque/parada de la bomba comandada por la centralita en base a las consignas fijadas.

5.2.4 Proceso de ensayo

En la figura 5.1 se puede observar el proceso de los ensayos con vaciado inicial del acumulador.

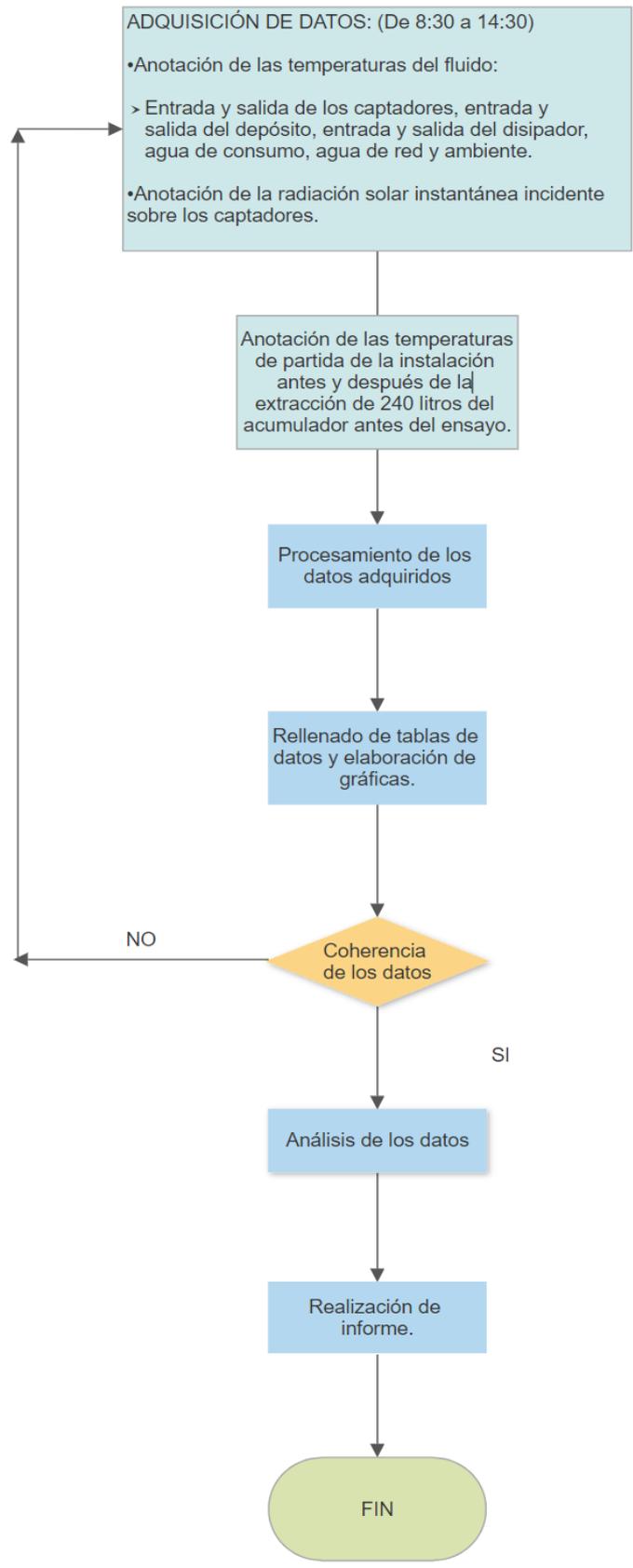


Figura 5.1 Esquema del proceso de los ensayos con vaciado inicial del acumulador

En la figura 5.2 se puede observar el proceso de los ensayos sin vaciado inicial del acumulador

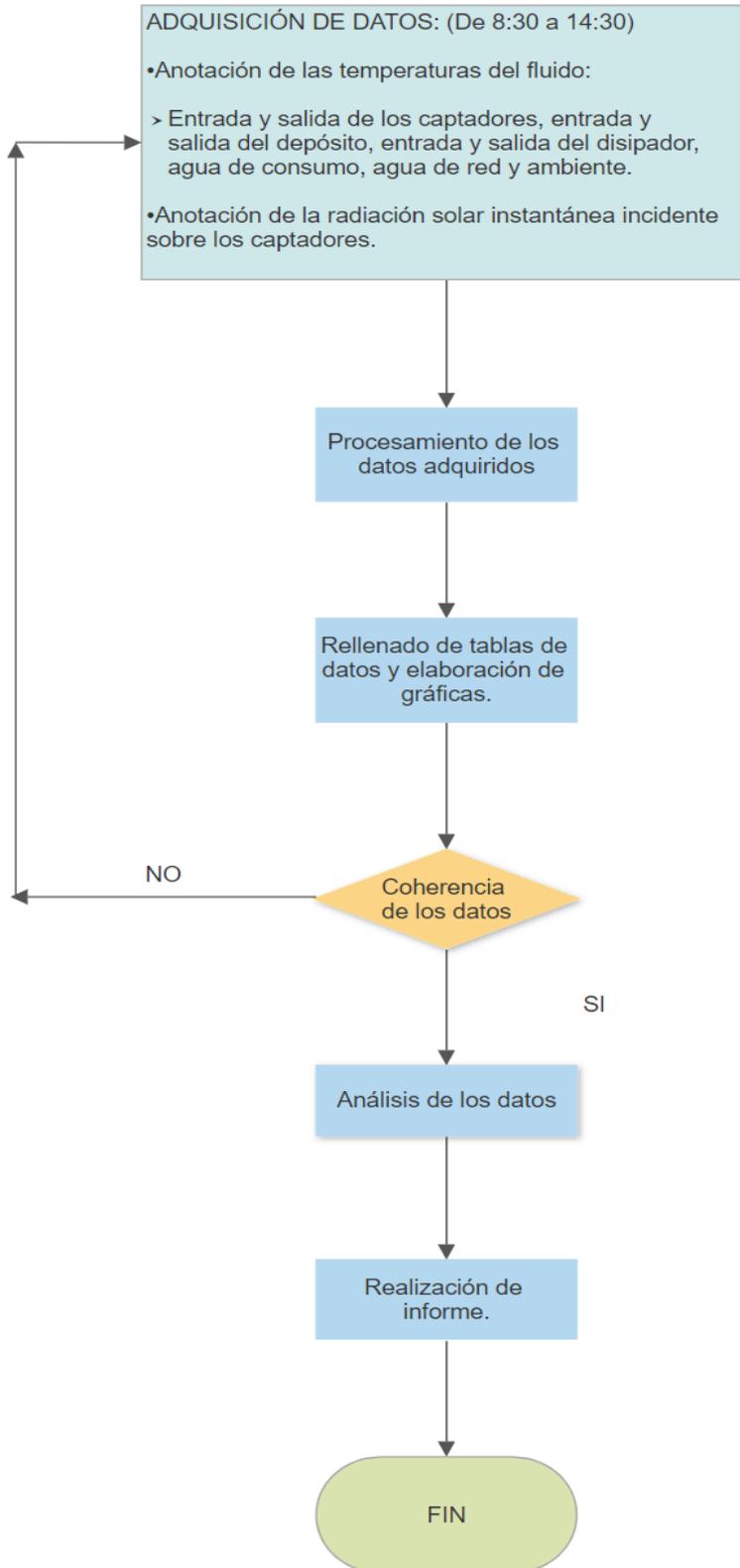


Figura 5.2 Esquema del proceso de los ensayos sin vaciado inicial del acumulador

5.2.5 Conformidad y especificaciones de los ensayos propuestos

Para que los ensayos se consideren conformes a las especificaciones se verifican las siguientes circunstancias:

- Recogida de información entre las 9:00 y las 18:00.
- El sistema ha evolucionado libremente durante toda la tarde y la noche anterior.

Anotaremos las condiciones iniciales, diferentes en cada caso, en función de las condiciones climáticas de las horas anteriores.

5.3 ENSAYOS

A continuación, se muestra la información detallada de las condiciones de cada ensayo.

5.3.1 Ensayo 1.1

En la tabla 5.2 se muestran las condiciones del ensayo 1.1

Tabla 5.2 Condiciones del ensayo 1.1

CONDICIONES DEL ENSAYO 1.1	
Fecha	04/09/2017
Litros vaciados del acumulador al inicio	240 litros
Condiciones de viento	Aprox. 9 km/h
Rango de temperaturas del día	Min 13 ⁰ C - Max 27 ⁰ C
Regulación de la bomba	Comandada por la centralita en modo automático
Velocidad de flujo de la bomba	1
Condiciones Climatológicas	El día permaneció soleado hasta las 12 horas, momento en el que aparecen intervalos nubosos abundantes hasta el final del ensayo.
Posición válvula disipador	Abierta

5.3.2 Ensayo 1.2

En la tabla 5.3 se muestran las condiciones del ensayo 1.2

Tabla 5.3 Condiciones del ensayo 1.2

CONDICIONES DEL ENSAYO 1.2	
Fecha	13/09/2017
Litros vaciados del acumulador al inicio	0 litros
Condiciones de viento	Aprox. 13 km/h
Rango de temperaturas del día	Min 12 ^o C - Max 27 ^o C
Regulación de la bomba	Comandada por la centralita en modo automático
Velocidad de flujo de la bomba	1
Condiciones Climatológicas	El día permaneció soleado hasta el final del ensayo.
Posición válvula disipador	Abierta

5.3.3 Ensayo 2.1

En la tabla 5.4 se muestran las condiciones del ensayo 2.1

Tabla 5.4 Condiciones del ensayo 2.1

CONDICIONES DEL ENSAYO 2.1	
Fecha	05/09/2017
Litros vaciados del acumulador al inicio	240 litros
Condiciones de viento	Aprox. 10 km/h
Rango de temperaturas del día	Min 14 ^o C - Max 31 ^o C
Regulación de la bomba	Comandada por la centralita en modo automático
Velocidad de flujo de la bomba	2
Condiciones Climatológicas	El día permaneció soleado hasta las 12 horas, momento en el que aparecen algunos intervalos nubosos hasta el final del ensayo
Posición válvula disipador	Abierta

5.3.4 Ensayo 2.2

En la tabla 5.5 se muestran las condiciones del ensayo 2.2

Tabla 5.5 Condiciones del ensayo 2.2

CONDICIONES DEL ENSAYO 2.2	
Fecha	07/09/2017
Litros vaciados del acumulador al inicio	0 litros
Condiciones de viento	Aprox. 13 km/h
Rango de temperaturas del día	Min 6 ^o C - Max 26 ^o C
Regulación de la bomba	Comandada por la centralita en modo automático
Velocidad de flujo de la bomba	2
Condiciones Climatológicas	El día permaneció soleado hasta el final del ensayo.
Posición válvula disipador	Abierta

5.3.5 Ensayo 3.1

En la tabla 5.6 se muestran las condiciones del ensayo 3.1

Tabla 5.6 Condiciones del ensayo 3.1

CONDICIONES DEL ENSAYO 3.1	
Fecha	29/08/2017
Litros vaciados del acumulador al inicio	240 litros
Condiciones de viento	Aprox. 12 km/h
Rango de temperaturas del día	Min 15 ^o C - Max 26 ^o C
Regulación de la bomba	Comandada por la centralita en modo automático
Velocidad de flujo de la bomba	3
Condiciones Climatológicas	El día permaneció soleado hasta las 13 horas, momento en el que aparecen algunos intervalos nubosos hasta el final del ensayo
Posición válvula disipador	Abierta

5.3.6 Ensayo 3.2

En la tabla 5.7 se muestran las condiciones del ensayo 3.2

Tabla 5.7 Condiciones del ensayo 3.2

CONDICIONES DEL ENSAYO 3.2	
Fecha	11/09/2017
Litros vaciados del acumulador al inicio	0 litros
Condiciones de viento	Aprox. 20 km/h
Rango de temperaturas del día	Min 10 ^o C - Max 27 ^o C
Regulación de la bomba	Comandada por la centralita en modo automático
Velocidad de flujo de la bomba	3
Condiciones Climatológicas	El día permaneció soleado con viento racheado hasta el final del ensayo
Posición válvula disipador	Abierta

6. TOMA DE DATOS EXPERIMENTAL

En este apartado se describen y se exponen todos los datos recogidos experimentalmente durante la realización de los ensayos así como el posicionamiento de las diferentes variables medidas en el sistema.

6.1 VARIABLES MEDIDAS

T_COL → Temperatura del fluido caloportador a la salida de colectores

T_DEP → Temperatura interior del acumulador

T_CONS → Temperatura del agua de consumo

T_RPdep → Temperatura de retorno del primario a la salida del acumulador

T_RPcol → Temperatura de retorno del primario a la entrada a colectores

T_amb → Temperatura ambiente

T_red → Temperatura de agua de red

T_ant_dis → Temperatura antes del disipador

T_desp_dis → Temperatura después del disipador

Rad_corr → Radiación incidente corregida

Vol_ext → volumen extraído del acumulador

Caudal → caudal suministrado por la bomba

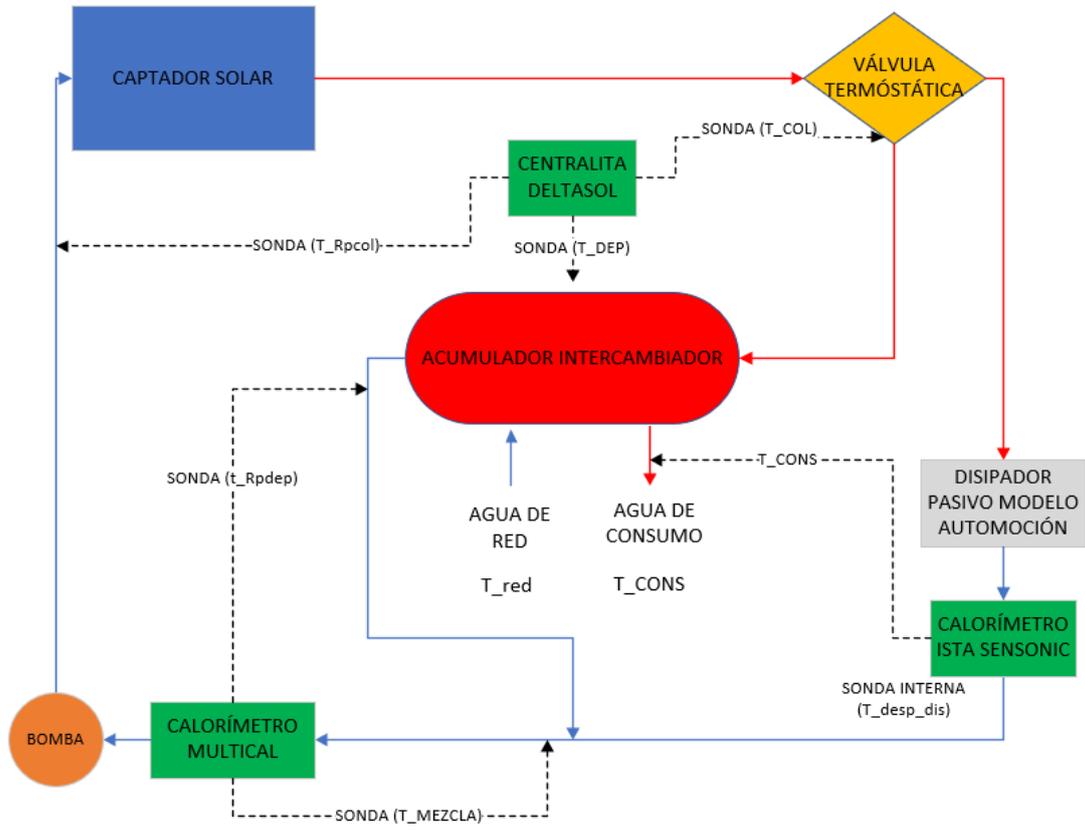
Caudal_dis → caudal que circula por el disipador

Q1 → Caudal 1, correspondiente a la velocidad 1 de la bomba (aprox. 750 l/h)

Q2 → Caudal 2, correspondiente a la velocidad 2 de la bomba (aprox. 970 l/h)

Q3 → Caudal 3, correspondiente a la velocidad 3 de la bomba (aprox. 1090 l/h)

6.2 POSICIONAMIENTO DE LAS VARIABLES MEDIDAS EN EL SISTEMA



6.3 DATOS EXPERIMENTALES OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS PROPUESTOS

A continuación, se muestran las tablas de los datos obtenidos experimentalmente en los 6 ensayos.

6.3.1 Datos obtenidos en el ensayo 1.1

En la tabla 6.1 se muestran los datos experimentales del ensayo 1.1

Tabla 6.1 Ensayo 1.1 -> Con vaciado inicial del acumulador

Q1	(°C)									(W/m2)	(m3/s)	(kg/s)
HORA	T_COL	T_DEP	T_CONS	T_RPdep	T_Rpcol	T_amb	T_ant_dis	T_desp_dis	T red	Rad_corr	Caudal	Caudal_dis
8:30	42,2	54,6	58	24,06	19,7	15,3	-	-	17	153,1	0,000000	-
30 litros	41,9	48,9	58	23	18,9	15,3	-	-	17	153,1	0,000000	-
60 litros	43,2	41,1	57	23,45	21,8	15,3	-	-	17	153,1	0,000000	-
90 litros	33,6	31,6	55	29,34	31,6	15,3	-	-	17	153,1	0,000000	-
120 litros	35,2	28,2	51	33,67	33,9	15,3	-	-	17	153,1	0,000000	-
150 litros	34,9	27,7	46	33,5	33,6	15,3	-	-	17	153,1	0,000000	-
180 litros	34,2	27,2	39	32,52	32,9	15,3	-	-	17	153,1	0,000000	-
210 litros	33,1	26,9	32	31,27	31,8	15,3	-	-	17	153,1	0,000000	-
240 litros	32,9	26,7	29	30,95	31,1	17	-	-	17	153,1	0,000000	-
10:00	34,9	28	31	32,67	32,6	17,7	-	-	17	499,2	0,000202	-
10:30	39,6	30,8	35	37,06	36,7	18,7	-	-	17	639,5	0,000211	-
11:00	44	33,6	37	41,08	40,6	20,4	44	36	17	692,9	0,000209	0,00611111
11:30	47,9	37,5	42	44,61	44,3	21,4	47,9	38	17	815,9	0,000195	0,00611111
12:00	43	40,4	44	43,18	42,2	21,8	43	32	17	201,7	0,000198	0,00583333
12:30	48,1	43,5	47	47,92	47,1	23,3	48,1	38	17	238,6	0,000206	0,00583333
13:00	54,6	45,6	49	51,09	50,7	23,3	54,6	45	17	965,4	0,000201	0,00666667
13:30	51,8	48,7	51	44,4	42,7	24,6	51,8	38	17	185,1	0,000205	0,00416667
14:00	64,3	52,3	55	59,26	58,5	26,2	64,3	56	17	1051,5	0,000200	0,00611111
14:30	62,7	55,7	59	61,16	60,4	27	62,7	56	17	258,9	0,000197	0,00666667

6.3.2 Datos obtenidos en el ensayo 1.2

En la tabla 6.2 se muestran los datos experimentales del ensayo 1.2

Tabla 6.2 Ensayo 1.2 -> Sin vaciado inicial del acumulador

Q1	(°C)									(W/m2)	(m3/s)	(kg/s)
HORA	T_COL	T_DEP	T_CONS	T_RPdep	T_Rpcol	T_amb	T_ant_dis	T_desp_dis	T red	Rad_corr	Caudal	Caudal_dis
8:30	45,7	50,9	55	9,36	12,6	9,3	-	-	17	137,7	0	0
9:00	35,6	49,3	54	14,76	13,5	11,0	-	-	17	266,7	0	0
9:30	46,8	48,1	53	23,26	18,9	13,1	-	-	17	390,2	0	0
10:00	49,5	48,9	52	32,71	34,7	15,3	-	-	17	501,8	0	0
10:30	53,6	50,0	52	44,73	45,6	17,0	-	-	17	605,4	0,000210	0
11:00	55,4	51,0	53	53,07	51,8	19,3	55,4	51	17	693,3	0,000209	0,0069
11:30	60,1	53,3	56	56,68	56,2	20,6	60,1	54	17	764,1	0,000222	0,0067
12:00	63,2	57,0	58	60,46	59,9	22,5	63,2	55	17	819,1	0,000205	0,0069
12:30	66,6	60,9	62	63,52	63,0	24,3	66,6	57	17	857,7	0,000194	0,0069
13:00	66,4	63,2	66	64,20	63,0	24,8	66,4	55	17	880,9	0,000211	0,0069
13:30	69,8	66,6	68	67,71	66,4	25,6	69,8	50	17	889,4	0,000204	0,0069
14:00	71,3	68,7	69	69,80	68,2	26,0	71,3	47	17	883,2	0,000205	0,0067
14:30	74,2	72,1	73	69,08	67,2	27,3	74,2	44	17	860,9	0,000214	0,0075

6.3.3 Datos obtenidos en el ensayo 2.1

En la tabla 6.3 se muestran los datos experimentales del ensayo 1.2

Tabla 6.3 Ensayo 2.1 -> Con vaciado inicial del acumulador

Q2	(°C)									(W/m2)	(m3/s)	(kg/s)
HORA	T_COL	T_DEP	T_CONS	T_RPdep	T_Rpcol	T_amb	T_ant_dis	T_desp_dis	T red	Rad_corr	Caudal	Caudal_dis
8.30	33,1	44,8	48	19,52	15,3	12,2	-	-	17	139,8	0,000000	-
30 litros	33,6	41,7	48	22,13	15,9	12,2	-	-	17	139,8	0,000000	-
60 litros	35,2	36,2	47	22,97	16,9	12,2	-	-	17	139,8	0,000000	-
90 litros	30,5	29	45	28,41	26,9	12,2	-	-	17	139,8	0,000000	-
120 litros	31,6	26,7	43	31,19	30	12,2	-	-	17	139,8	0,000000	-
150 litros	31,8	26,2	39	31,3	30,5	12,2	-	-	17	139,8	0,000000	-
180 litros	31,8	26,2	33	30,81	30,3	12,2	-	-	17	139,8	0,000000	-
210 litros	31,6	25,9	29	30,69	30,3	12,2	-	-	17	139,8	0,000000	-
240 litros	31,6	25,9	27	30,51	30	12,2	-	-	17	139,8	0,000000	-
10:00	36,2	27,7	31	34,32	33,4	18,5	36,2	34	17	491,1	0,000268	0,00666667
10:30	39,9	30,3	34	38,34	37,5	19,6	39,9	36	17	595,8	0,000277	0,00694444
11:00	45	33,9	38	43,19	42,2	21,7	45	43	17	684,4	0,000271	0,00694444
11:30	49,4	37,3	41	46,82	45,6	23,3	49,4	48	17	760	0,000263	0,0075
12:00	52,8	41,4	45	50,33	48,9	25,6	52,8	49	17	817	0,000265	0,0075
12:30	57	46,3	51	54,77	53,6	27,3	57	54	17	859,4	0,000263	0,0075
13:00	60,6	51,8	55	58,65	57,5	27,9	60,6	53	17	887,5	0,000269	0,00777778
13:30	63,5	55,9	59	61,75	60,1	29,2	63,5	51	17	897,2	0,000264	0,00777778
14:00	67,7	60,1	62	65,57	63,8	29,9	67,7	59	17	891,5	0,000268	0,00833333
14:30	69,2	63,5	65	67,87	65,8	30,3	69,2	52	17	871,9	0,000256	0,00833333

6.3.4 Datos obtenidos en el ensayo 2.2

En la tabla 6.4 se muestran los datos experimentales del ensayo 2.2

Tabla 6.4 Ensayo 2.2 -> Sin vaciado inicial del acumulador

Q2	(°C)									(W/m2)	(m3/s)	(kg/s)
HORA	T_COL	T_DEP	T_CONS	T_RPdep	T_Rpcol	T_amb	T_ant_dis	T_desp_dis	T red	Rad_corr	Caudal	Caudal_dis
8:30	45,3	50,5	54	9,36	12,3	6,7	-	-	17	88,9	0	0
9:00	35,2	48,9	53	14,04	13,3	7,7	-	-	17	191,0	0	0
9:30	46,3	48,7	52	23,26	18,9	9,2	-	-	17	297,1	0,000005	0
10:00	49,2	48,9	51	32,71	34,2	11,5	-	-	17	409,6	0,000009	0
10:30	49,8	49,4	51	44,37	42,3	13,6	-	-	17	519,8	0,000006	0
11:00	51,5	50,0	52	46,15	44,5	14,9	-	-	17	601,2	0,000008	0
11:30	54,1	50,7	53	52,77	51,0	16,8	54,1	52	17	668,7	0,000264	0,0083
12:00	57,2	52,8	55	55,76	53,6	17,9	57,2	47	17	739,0	0,000270	0,0083
12:30	60,1	55,7	57	58,47	56,2	19,1	60,1	47	17	796,8	0,000264	0,0083
13:00	64,3	59,9	61	62,08	59,9	21,5	64,3	53	17	841,6	0,000280	0,0083
13:30	67,7	62,5	63	66,10	64,0	22,8	67,7	59	17	872,7	0,000269	0,0083
14:00	69,0	65,6	68	67,39	65,8	24,2	69,0	61	17	854,3	0,000276	0,0083
14:30	70,3	67,4	69	68,63	67,4	24,7	70,3	60	17	836,1	0,000267	0,0078

6.3.5 Datos obtenidos en el ensayo 3.1

En la tabla 6.5 se muestran los datos experimentales del ensayo 3.1

Tabla 6.5 Ensayo 3.1 -> Con vaciado inicial del acumulador

Q3	(°C)									(W/m2)	(m3/s)	(kg/s)
HORA	T_COL	T_DEP	T_CONS	T_RPdep	T_Rpcol	T_amb	T_ant_dis	T_desp_dis	T_red	Rad_corr	Caudal	Caudal_dis
8:30	15,1	39,3	40	12,96	12,5	12	-	-	19	38,3	0,000000	-
30 litros	29,8	38	40	12,69	15,1	12	-	-	19	155,7	0,000000	-
60 litros	26,2	33,4	39	13,36	15,1	12,1	-	-	19	155,7	0,000000	-
90 litros	24,6	28,7	39	18,58	14,8	12,2	-	-	19	155,7	0,000000	-
120 litros	24,6	26,7	38	21,69	14,6	12,3	-	-	19	155,7	0,000000	-
150 litros	24,1	26,2	36	22,21	14,6	12,4	-	-	19	155,7	0,000000	-
180 litros	29	25,6	31	23,31	18,4	12,5	-	-	19	155,7	0,000000	-
210 litros	28,2	25,4	27	27,84	29	12,7	-	-	19	155,7	0,000000	-
240 litros	30,3	25,6	26	29,15	30,3	12,8	-	-	19	155,7	0,000000	-
10:00	34,7	26,9	30	33,15	34,7	15,4	-	-	19	467,7	0,000307	-
10:30	38	29	33	36,41	38	17,3	-	-	19	571,2	0,000309	-
11:00	41,7	31,8	36	40,01	41,7	18,7	-	-	19	655,9	0,000306	-
11:30	46,1	35,5	38	43,96	46,1	20,2	-	-	19	736,7	0,000305	-
12:00	50,7	40,6	46	48,46	50,7	21,8	-	-	19	802,1	0,000324	-
12:30	53,6	44,8	49	50,65	52,3	22,9	-	-	19	852,7	0,000306	-
13:00	59,6	48,7	52	56,56	57,5	23,7	-	-	19	995,9	0,000300	-
13:30	55,7	51,5	53	51,13	54,9	23,4	-	-	19	756,3	0,000301	-
14:00	59,1	54,1	55	57,11	57	24,7	-	-	19	247,8	0,000313	-
14:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

6.3.6 Datos obtenidos en el ensayo 3.2

En la tabla 6.6 se muestran los datos experimentales del ensayo 3.2

Tabla 6.6 Ensayo 3.2 -> Sin vaciado inicial del acumulador

Q3	(°C)									(W/m2)	(m3/s)	(kg/s)
HORA	T_COL	T_DEP	T_CONS	T_RPdep	T_Rpcol	T_amb	T_ant_dis	T_desp_dis	T_red	Rad_corr	Caudal	Caudal_dis
8:30	43,2	52,8	57	16,41	16,6	10,7	-	-	17	117,5	0	0
9:00	38,8	52,6	57	24,29	16,1	12,3	-	-	17	248,9	0	0
9:30	53,1	51,5	56	27,26	25,1	14,7	-	-	17	382,4	0,000007	0
10:00	47,9	51,8	55	39,30	39,6	16,3	-	-	17	488,0	0,000011	0
10:30	54,4	52,6	56	45,89	45,0	17,4	54,4	18	17	593,4	0,000004	0,0061
11:00	55,7	53,6	57	46,41	48,4	18,6	55,7	24	17	686,9	0,000297	0,0075
11:30	58,8	55,2	57	52,83	53,1	20,1	58,8	46	17	756,8	0,000323	0,0108
12:00	59,3	57,0	59	58,84	57,5	21,0	59,3	43	17	831,8	0,000303	0,0094
12:30	63,5	60,9	63	62,28	61,4	22,5	63,5	39	17	909,1	0,000297	0,0103
13:00	64,8	63,0	66	62,34	59,9	23,3	64,8	37	17	917,8	0,000311	0,0086
13:30	66,9	65,6	68	66,91	65,3	24,1	66,9	53	17	933,3	0,000289	0,0108
14:00	68,2	67,7	69	67,07	65,8	24,5	68,2	46	17	1008,5	0,000303	0,0108
14:30	65,8	68,2	70	65,47	63,8	24,9	65,8	48	17	939,9	0,000302	0,0092

Mediante la observación de las tablas, se puede comprobar que la válvula termostática no solo actúa de forma térmica, sino que si se cumplen ciertas condiciones de presión-temperatura unido al caudal que suministra la bomba, la válvula pasa a funcionar también de manera mecánica y no con el propósito con el que fue introducida en el sistema de producción de agua caliente sanitaria. Se puede ver que existe caudal a través del dissipador cuanto todavía no se han alcanzado los 83°C que marca el fabricante de temperatura de comienzo de apertura de la válvula termostática.

7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

7.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se muestran los resultados de los cálculos realizados, mediante la formulación expuesta en los capítulos “3.4 Rendimiento de un captador solar” y “3.5 CÁLCULOS DE POTENCIAS Y RENDIMIENTOS DE LA INSTALACIÓN”.

Todos los datos de las tablas están expresados en kW

7.2. TABLAS DE RESULTADOS

Tabla 7.1 Ensayo 1.1 -> Con vaciado inicial del acumulador y velocidad uno de la bomba

	Potencia del panel	Potencia disponible	Potencia perdida disipador	Potencia de pérdidas de la instalación	Potencia cedida al depósito
8:30	0	0,891	0	0	0
9:00	0	0,891	0	0	0
9:30	0	0,891	0	0	0
10:00	1,944	2,905	0,000	0,059	1,885
10:30	2,559	3,722	0,000	0,318	2,241
11:00	2,977	4,033	0,204	0,237	2,536
11:30	2,934	4,749	0,253	0,023	2,658
12:00	0,660	1,174	0,268	0,540	-0,147
12:30	0,860	1,389	0,246	0,460	0,154
13:00	3,274	5,619	0,268	0,087	2,919
13:30	7,798	1,077	0,240	1,252	6,305
14:00	4,842	6,120	0,212	0,458	4,172
14:30	1,893	1,507	0,187	0,451	1,256
Total	29,742	34,076	1,878	3,885	23,979

Tabla 7.2 Ensayo 1.2 -> Sin vaciado inicial del acumulador y velocidad uno de la bomba

	Potencia del panel	Potencia disponible	Potencia perdida disipador	Potencia de pérdidas de la instalación	Potencia cedida al depósito
	0	0,801	0	0	0
8:30	0	1,552	0	0	0
9:00	0	2,271	0	0	0
9:30	0	2,920	0	0	0
10:00	7,032	3,523	0,000	-0,765	7,796
10:30	3,139	4,035	0,128	1,047	1,964
11:00	3,614	4,447	0,170	0,370	3,074
11:30	2,832	4,767	0,238	0,322	2,272
12:00	2,922	4,992	0,279	0,233	2,410
12:30	2,996	5,127	0,331	0,790	1,875
13:00	2,894	5,176	0,575	0,601	1,718
13:30	2,660	5,140	0,677	0,738	1,245
14:00	6,258	5,010	0,947	0,895	4,417
14:30	34,346	49,763	3,344	4,231	26,771

Tabla 7.3 Ensayo 2.1 -> Con vaciado inicial del acumulador y velocidad dos de la bomba

	Potencia del panel	Potencia disponible	Potencia perdida disipador	Potencia de pérdidas de la instalación	Potencia cedida al depósito
8:30	0	0,814	0	0	0
9:00	0	0,814	0	0	0
9:30	0	0,814	0	0	0
10:00	3,137	2,858	0,061	0,984	2,092
10:30	2,776	3,468	0,113	0,871	1,792
11:00	3,167	3,983	0,058	1,076	2,032
11:30	4,183	4,423	0,044	1,321	2,817
12:00	4,325	4,755	0,119	1,488	2,717
12:30	3,742	5,002	0,094	1,213	2,435
13:00	3,488	5,165	0,247	1,064	2,176
13:30	3,746	5,222	0,406	1,428	1,913
14:00	4,361	5,189	0,303	1,697	2,361
14:30	3,644	5,074	0,599	1,632	1,412
Total	36,568	46,766	2,045	12,775	21,748

Tabla 7.4 Ensayo 2.2 -> Sin vaciado inicial del acumulador y velocidad dos de la bomba

Total	Potencia del panel	Potencia disponible	Potencia perdida disipador	Potencia de pérdidas de la instalación	Potencia cedida al depósito
8:30	0	0,517	0	0	0
9:00	0	1,112	0	0	0
9:30	0,541	1,729	0	0,086	0,455
10:00	0,575	2,384	0	-0,057	0,632
10:30	0,174	3,025	0	0,048	0,126
11:00	0,219	3,499	0	0,052	0,168
11:30	3,419	3,892	0,073	1,926	1,421
12:00	4,067	4,301	0,355	2,135	1,577
12:30	4,306	4,637	0,456	2,107	1,743
13:00	5,150	4,898	0,394	2,235	2,521
13:30	4,167	5,079	0,303	2,118	1,746
14:00	3,697	4,972	0,279	1,614	1,804
14:30	3,233	4,866	0,335	1,090	1,807
Total	29,549	44,912	2,195	13,354	13,999

Tabla 7.5 Ensayo 3.1 -> Con vaciado inicial del acumulador y velocidad tres de la bomba

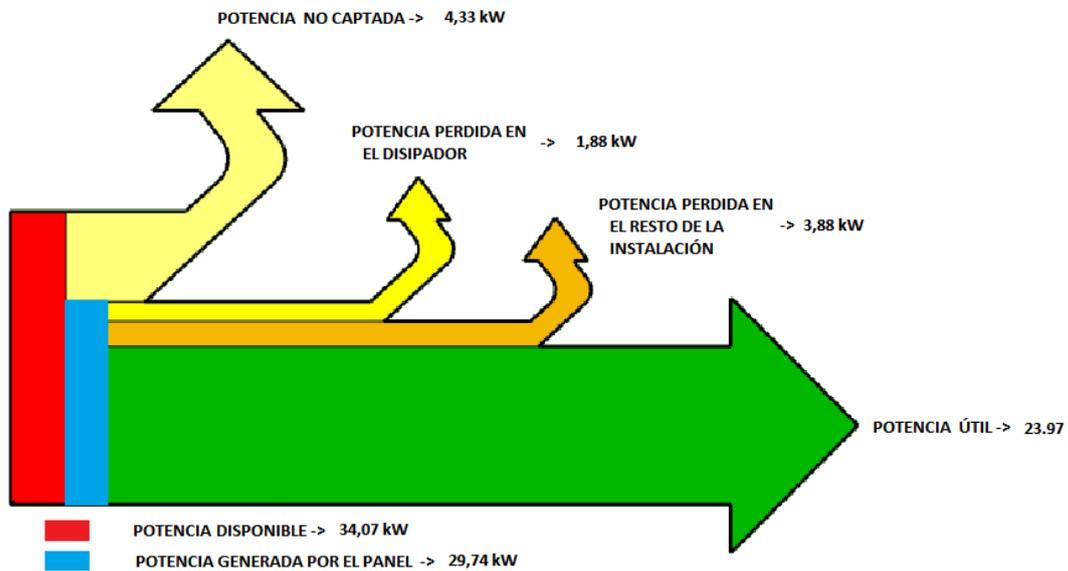
	Potencia del panel	Potencia disponible	Potencia perdida disipador	Potencia de pérdidas de la instalación	Potencia cedida al depósito
8:30	0	0,906	0	0	0
9:00	0	0,906	0	0	0
9:30	0	0,906	0	0	0
10:00	0	0,906	0	0	0
10:30	0	2,722	0	-1,987	1,987
11:00	0	3,324	0	-2,053	2,053
11:30	0	3,817	0	-2,164	2,164
12:00	0	4,288	0	-2,726	2,726
12:30	0	4,668	0	-3,030	3,030
13:00	1,665	4,963	0	-2,113	3,778
13:30	2,631	5,796	0	-1,178	3,809
14:00	1,005	4,402	0	-4,736	5,741
14:30	2,746	1,442	0	0,144	2,602
Total	8,047	37,235	0	-19,843	27,890

Tabla 7.6 Ensayo 3.2 -> Sin vaciado inicial del acumulador y velocidad tres de la bomba

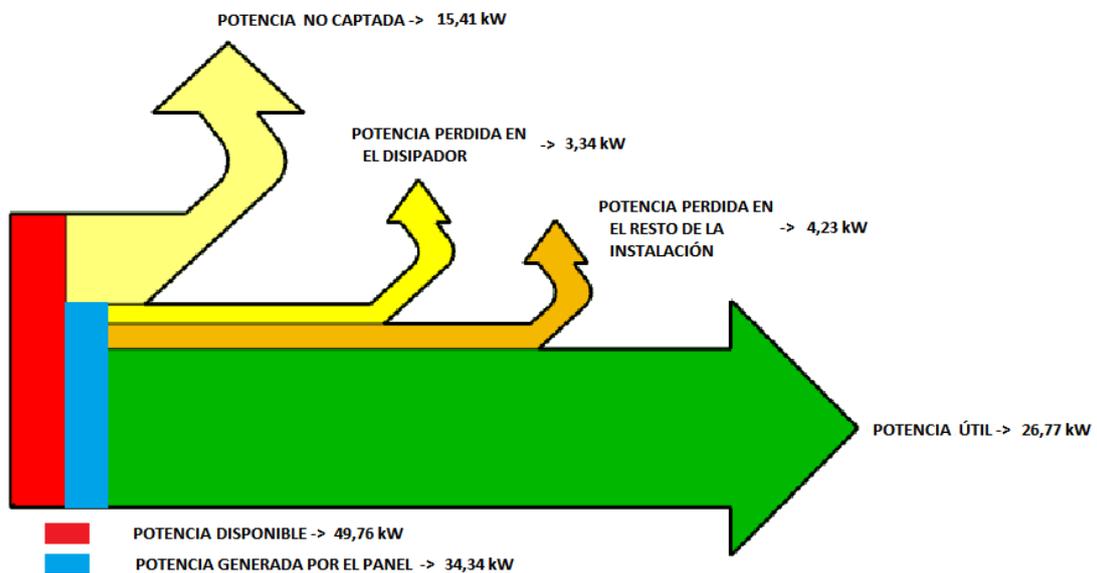
	Potencia del panel	Potencia disponible	Potencia perdida disipador	Potencia de pérdidas de la instalación	Potencia cedida al depósito
8:30	0	0,68385	0	0	0
9:00	0	1,448598	0	0	0
9:30	0,78	2,226	0	0,06	0,72
10:00	0,395	2,84	0	-0,014	0,409
10:30	0,153	3,454	0,93	-0,698	-0,079
11:00	9,061	3,998	0,994	-3,173	11,24
11:30	7,697	4,405	0,58	-0,674	7,791
12:00	2,276	4,841	0,643	1,069	0,563
12:30	2,609	5,291	1,053	0,093	1,463
13:00	6,372	5,342	1,001	2,261	3,111
13:30	1,93	5,432	0,629	1,312	-0,012
14:00	3,043	5,869	1,005	0,656	1,382
14:30	2,524	5,47	0,682	1,438	0,404
Total	36,841	51,299	7,517	2,332	26,993

7.3. DIAGRAMAS DE SANKEY DE LOS ENSAYOS

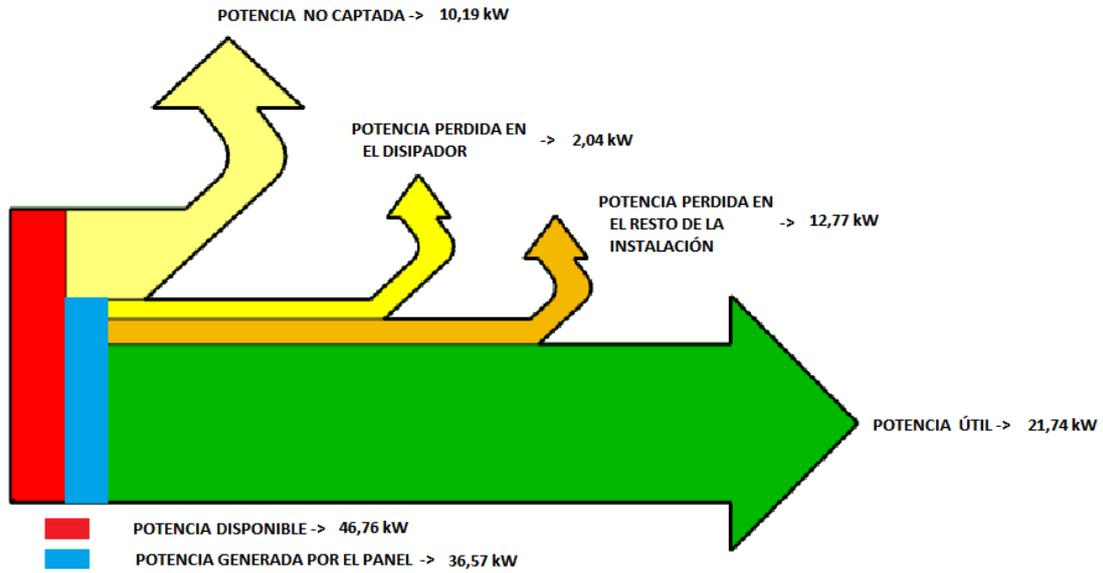
Ensayo 1.1 -> Con vaciado inicial del acumulador y velocidad uno de la bomba



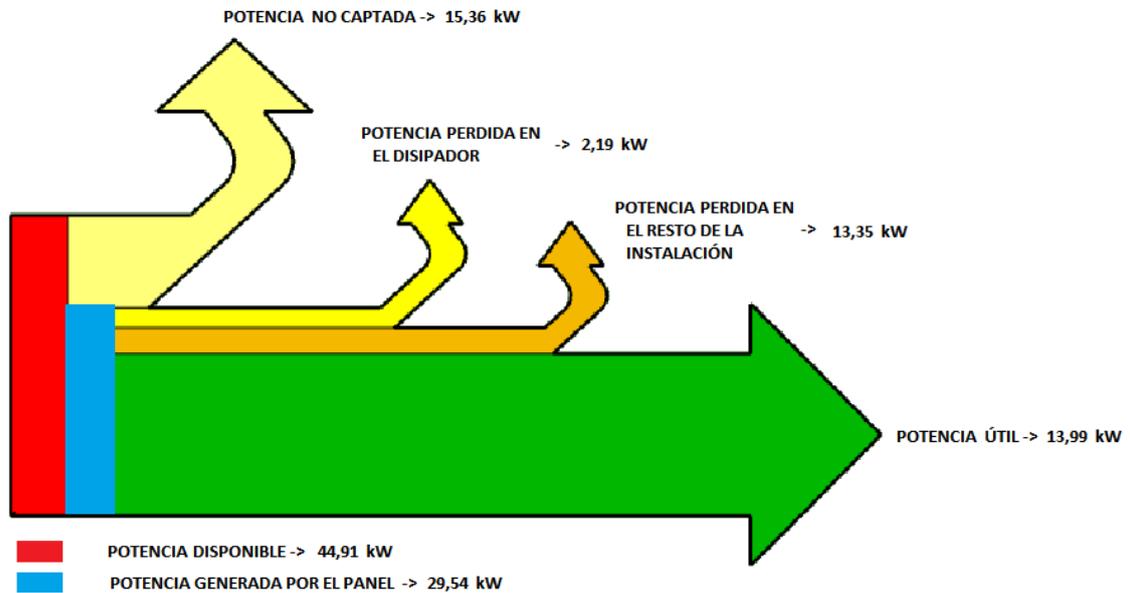
Ensayo 1.2 -> Sin vaciado inicial del acumulador y velocidad uno de la bomba



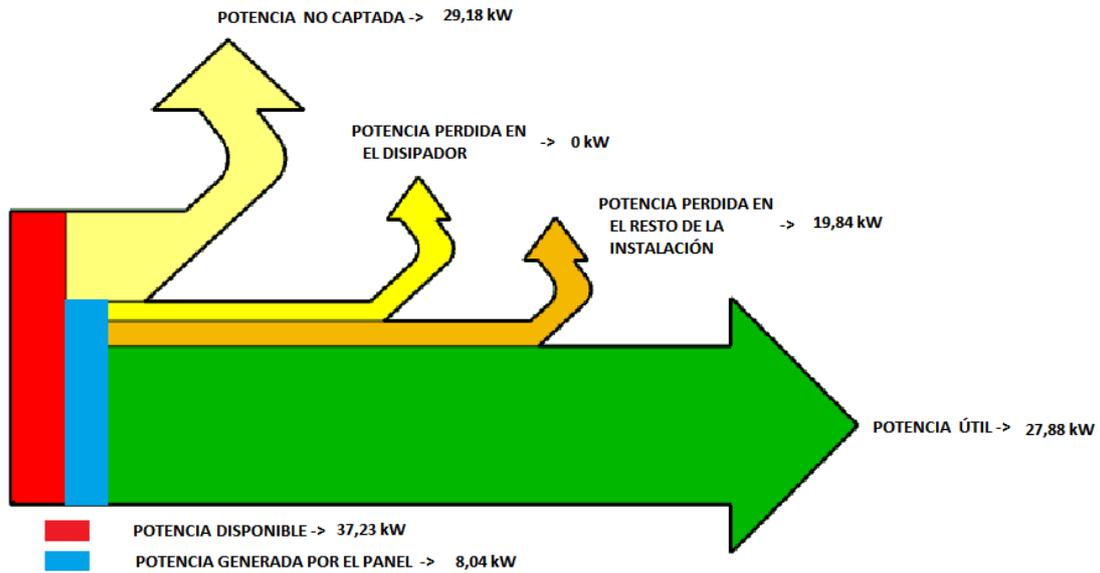
Ensayo 2.1 -> Con vaciado inicial del acumulador y velocidad dos de la bomba



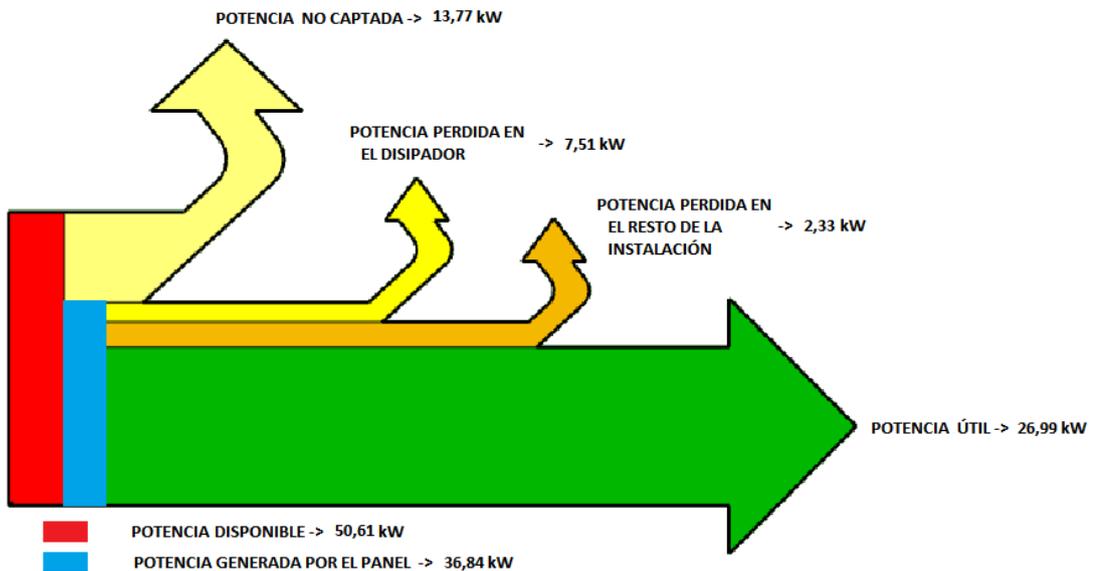
Ensayo 2.2 -> Sin vaciado inicial del acumulador y velocidad dos de la bomba



Ensayo 3.1 -> Con vaciado inicial del acumulador y velocidad tres de la bomba



Ensayo 3.2 -> Sin vaciado inicial del acumulador y velocidad tres de la bomba



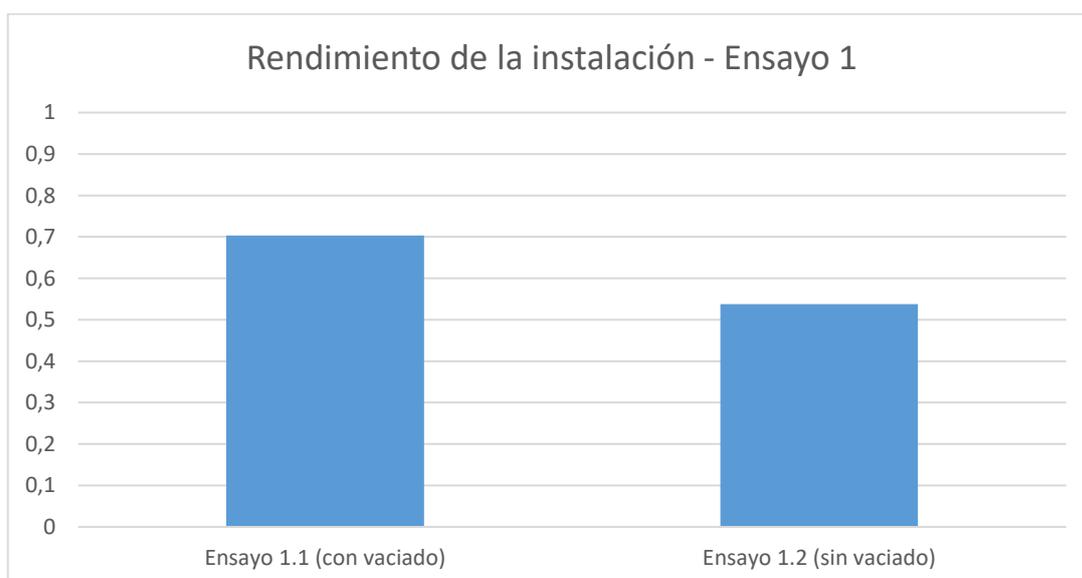
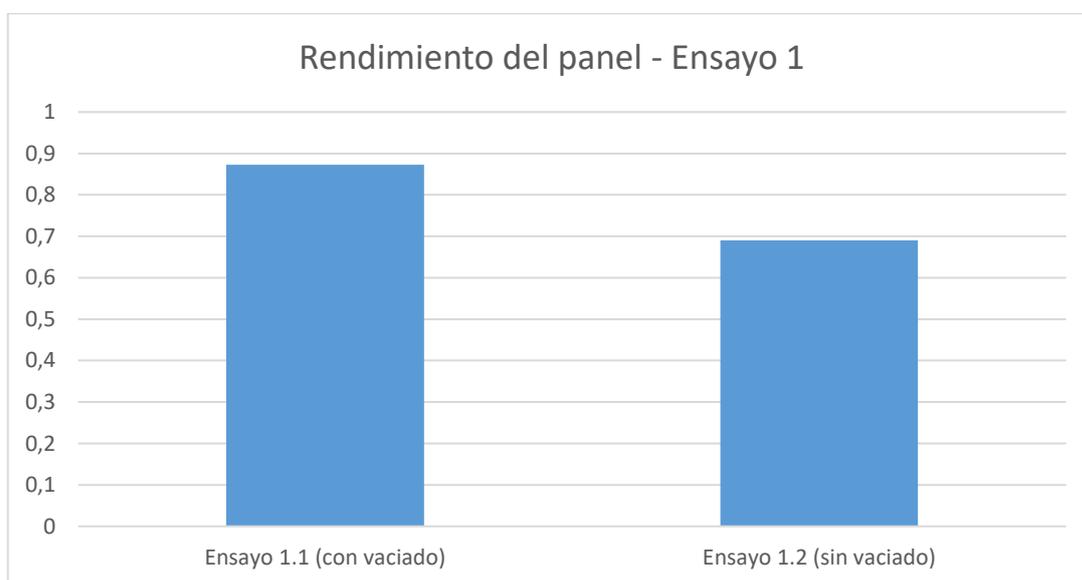
7.4. RENDIMIENTOS DEL COLECTOR Y DE LA INSTALACIÓN

Ensayo 1.1 -> Con vaciado inicial del acumulador y velocidad uno de la bomba

Rendimiento del panel	Rendimiento de la instalación
0,87283561	0,703702712

Ensayo 1.2 -> Sin vaciado inicial del acumulador y velocidad uno de la bomba

Rendimiento del panel	Rendimiento de la instalación
0,69019426	0,537974513

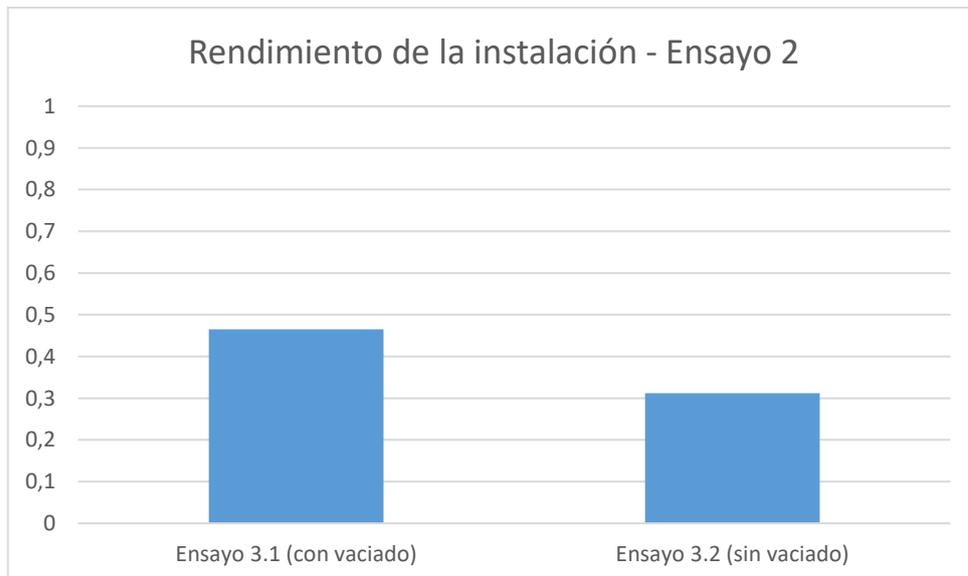
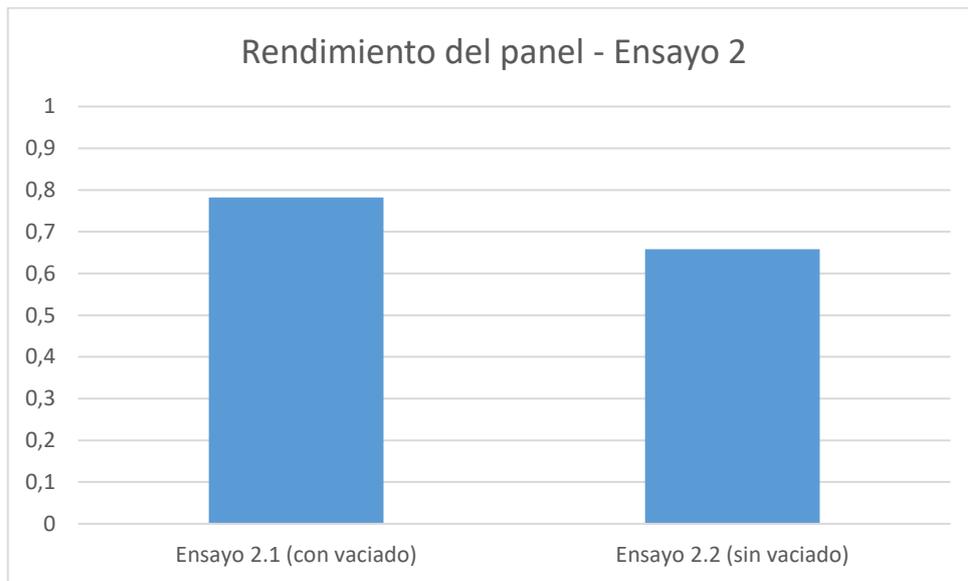


Ensayo 2.1 -> Con vaciado inicial del acumulador y velocidad dos de la bomba

Rendimiento del panel	Rendimiento de la instalación
0,781938322	0,465044082

Ensayo 2.2 -> Sin vaciado inicial del acumulador y velocidad dos de la bomba

Rendimiento del panel	Rendimiento de la instalación
0,657929188	0,311708906



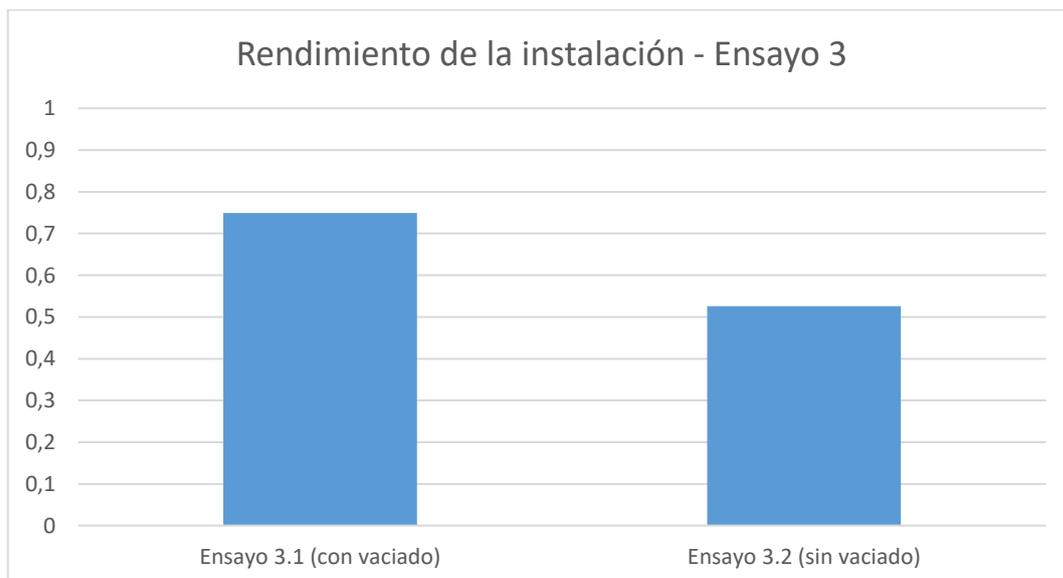
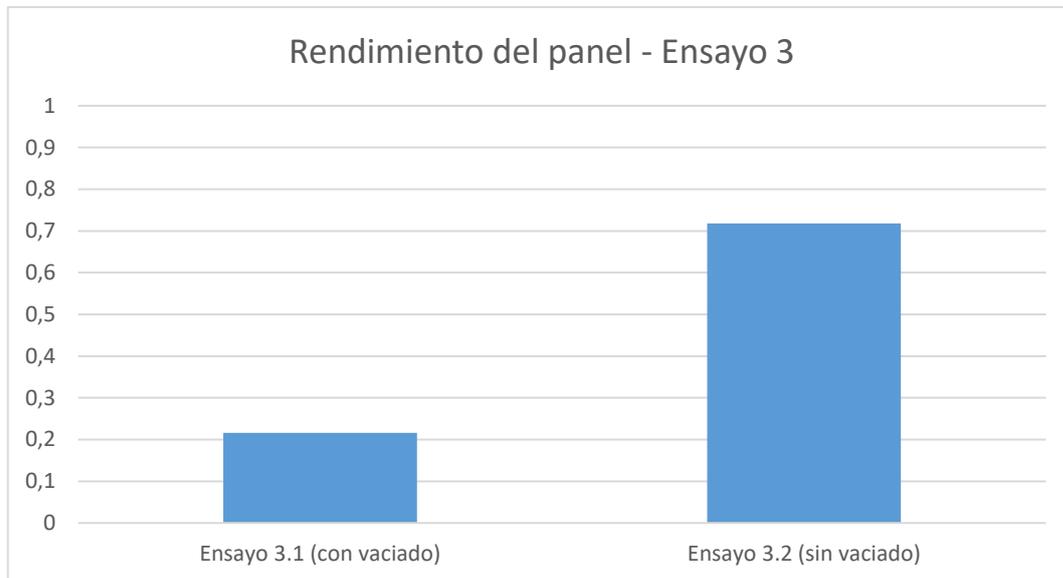
Se puede observar que el rendimiento del panel decrece a medida que aumenta la velocidad de flujo proporcionada por la bomba. Al igual que el rendimiento de la instalación.

Ensayo 3.1 -> Con vaciado inicial del acumulador y velocidad tres de la bomba

Rendimiento del panel	Rendimiento de la instalación
0,216102683	0,749031858

Ensayo 3.2 -> Sin vaciado inicial del acumulador y velocidad tres de la bomba

Rendimiento del panel	Rendimiento de la instalación
0,718159189	0,526182527



Los valores más altos de rendimiento del panel se dan en los casos en los que se procede al vaciado del acumulador, excepto en el ensayo 3.1 en cual, la diferencia de temperaturas entre la entrada y salida de colectores apenas varía durante las primeras horas del ensayo.

En este ensayo la válvula termostática permanece cerrada y hace que no circule caudal a través del disipador, y por lo tanto en ese ensayo no se pierde energía a través del disipador por un funcionamiento anómalo de la válvula termostática.

CONCLUSIONES

En general el comportamiento del sistema con los 3 caudales viene a ser muy similar en cuanto a prestaciones: temperaturas de consumo, potencias... Por lo que el caudal óptimo para este estudio realizado corresponde con el caudal de menor gasto eléctrico, Q1. ¿Para qué gastar más energía eléctrica en algo que con menos gasto hace el mismo trabajo?

Una de las mejoras aplicables al sistema sería la búsqueda de una válvula termostática adecuada, que permita disminuir las pérdidas de energía innecesarias debidas al paso de agua por el dissipador a una temperatura inferior a la que está fijada la apertura de dicha válvula.

Podemos observar que la máxima temperatura alcanzada por el fluido caloportador a la salida de colectores corresponde con la menor velocidad desarrollada por la bomba y por lo tanto la de menor consumo eléctrico. Esto puede deberse a que, al ser el menor caudal desarrollado, el tiempo que tarda el fluido caloportador en recorrer el circuito interno de los colectores es mayor, y por lo tanto, el tiempo en el que se produce transferencia de calor del panel al fluido también será mayor.

La temperatura en el interior del acumulador registrada tiene un comportamiento similar al registrado en la temperatura a la salida de colectores, con el mismo razonamiento anterior, el menor caudal estará más tiempo dentro del circuito intercambiador del acumulador y por lo tanto el tiempo de transferencia de calor será mayor en ese caso, lo que hace que, para ese caudal, el agua acumulada destinada a consumo reciba más energía calorífica procedente del circuito primario.

Cuando se procede al vaciado inicial del acumulador, la diferencia de temperaturas entre el circuito primario y el secundario al inicio del ensayo, es mayor, y por lo tanto, al sistema tardará menos tiempo en subir la temperatura del acumulador, mientras que en los casos en los que no se procede al vaciado inicial, esa diferencia de temperaturas es menor, y por lo tanto, costará más tiempo calentar el agua del circuito secundario.

El salto térmico que se da de media entre la entrada y la salida de colectores viene a estabilizarse en torno a los 5°C. Los valores iniciales en los que el salto térmico es muy elevado en comparación con el régimen de salto "permanente", se debe a que, para esos instantes, los parámetros de diferencia de temperatura entre la salida de colectores y el interior del acumulador que comanda el arranque/parada de la bomba, hacen que ésta no llegue a ponerse en funcionamiento hasta las 10:00/10:30 aproximadamente. Al no haber caudal, el fluido caloportador se mueve por densidad y hasta ese periodo de tiempo el sistema se comporta como un sistema termosifón.

La instalación del disipador a la salida de colectores resulta indispensable como mecanismo de autoprotección para el propio sistema. Ante situaciones de riesgo como corte de suministro eléctrico o parada de la bomba, el disipador ayudará a que el funcionamiento de la instalación sea por termosifón, y así proteger la misma para que el estancamiento no sea tan crítico. Sin el disipador, se alcanzaría mucha más temperatura lo que podría provocar fallos en la instalación.

Puede considerarse un sistema muy útil de producción de agua caliente sanitaria si se ubica en lugares con las condiciones climatológicas adecuadas, con la consiguiente contribución al medio ambiente a través del uso de esta energía renovable

Cualquier proyecto debe quedar abierto a posibles mejoras y optimizaciones en un futuro, resulta evidente que es necesaria la continuación de la optimización y mejora de la instalación para lograr un rendimiento óptimo.

Otra posible dirección de investigación sería estudiar el sistema con el depósito ubicado en el interior de la vivienda.

BIBLIOGRAFÍA Y WEBGRAFÍA

- (1) <https://docplayer.es/2034177-Aplicaciones-de-la-energia-solar-termica-como-alternativa-promisoria-para-galapagos.html> (día de última consulta: 15/09/2020)
- (2) <https://dismad.com/tienda/inicio/14-equipo-termosifon-vsh2-circuitos-solar-termica.html> (día de última consulta: 15/09/2020)
- (3) <https://cecu.es/campanas/medio%20ambiente/res&rue/htm/dossier/3%20solar%20termica.htm> (día de última consulta: 15/09/2020)
- (4) <https://www.aulafacil.com/cursos/medio-ambiente/energia-solar-termica-1/circulacion-forzada-l37735> (día de última consulta: 15/09/2020)
- (5) <https://www.energiasrenovablesdecarmona.com/energ%C3%ADa-solar-t%C3%A9rmica/> (día de última consulta: 15/09/2020)
- (6) <http://www.cidersol.es/> (día de última consulta: 15/09/2020)
- (7) <http://www.lansolar.com/paginas/tubo-vacio-solar-termica.html> (día de última consulta: 15/09/2020)
- (8) <http://www.revistanoticias.sener/news/inicio-de-la-construccion-de-la-planta-termosolar-de-ouarzazate/46/> (día de última consulta: 15/09/2020)
- (9) <https://juanfrancisco207.wordpress.com/2015/01/31/conceptos-de-energia-solar-termica/> (día de última consulta: 15/09/2020)
- (10) <http://konstruir.com/C.T.E/HE-4-Contribucion-solar-minima-de-agua-caliente-sanitaria/Metodo%20F-Chart.pdf> (día de última consulta: 15/09/2020)
- (11) <http://www.calculaconatecyr.com/solar.php> (día de última consulta: 15/09/2020)
- (12) http://www.cidersol.es/data/sistema_forzado_kfa.pdf (día de última consulta: 15/09/2020)
- (13) Worthington. “Catálogo de acumuladores para ACS”. 2014.

(14) Catálogo circuladores WILO

http://productfinder.wilo.com/es/ES/product/0000000000017a0a0001003a/fc_product_datasheet

(15) Resol. “Ficha técnica centralita Resol DeltaSol AL E”. 2014.

(16) <https://potermic.com/familia/sondas-pt100-pt-1000-y-ntc-para-medida-y-control-de-temperatura/>

Ista. “Ficha técnica calorímetro Ista Sensonic” 2014

Kamstrup. “Ficha técnica calorímetro Multical”. 2014

<https://certificacionenergetica.info/el-metodo-f-chart/> (día de última consulta: 15/09/2020)

<http://www.calculaconatecyr.com/solar.php> (día de última consulta: 15/09/2020)

<http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn188.html> (día de última consulta: 15/09/2020)

CENER (Centro Nacional de Energías Renovables). “Ficha y certificado de homologación del panel CIDSOL-STD”. 2014.

Rey, F.J.; San José, J. F. y otros. “Libro de apuntes de Ingeniería Térmica”. 2014

Solarpraxis. “Sistemas solares térmicos de baja temperatura”. 2001

Richard Schlicht, M. R. “Sistemas solares térmicos de baja temperatura. Curso para instaladores”. 2003