



**UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH**

Desarrollo de un kit de control y monitorización telemática de bajo coste para sistemas de energía solar térmica en multivivienda

Aitor González Valero

ADVERTIMENT La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del repositori institucional UPCommons (<http://upcommons.upc.edu/tesis>) i el repositori cooperatiu TDX (<http://www.tdx.cat/>) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual **únicament per a usos privats** emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei UPCommons o TDX. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a UPCommons (*framing*). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

ADVERTENCIA La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del repositorio institucional UPCommons (<http://upcommons.upc.edu/tesis>) y el repositorio cooperativo TDR (<http://www.tdx.cat/?locale-attribute=es>) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual **únicamente para usos privados enmarcados** en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio UPCommons No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a UPCommons (*framing*). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

WARNING On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the institutional repository UPCommons (<http://upcommons.upc.edu/tesis>) and the cooperative repository TDX (<http://www.tdx.cat/?locale-attribute=en>) has been authorized by the titular of the intellectual property rights **only for private uses** placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized neither its spreading nor availability from a site foreign to the UPCommons service. Introducing its content in a window or frame foreign to the UPCommons service is not authorized (*framing*). These rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author.



Desarrollo de un kit de control y monitorización telemática de bajo coste para sistemas de energía solar térmica en multivivienda.

Tesis doctoral.

Programa de doctorado en sostenibilidad
Universitat Politècnica de Catalunya
Grupo de investigación en tecnologías renovables GreenTech
Mayo 2018

Autor:

Aitor González Valero

RDmes Technologies S.L.

Doctorado Industrial (AGAUR): número de expediente 2015 DI001

Tesis presentada para obtener el título de Doctor en el Instituto Universitario de Investigación en Ciencia y Tecnologías de la Sostenibilidad por la Universitat Politècnica de Catalunya

Directores:

Ricard Consul Serracanta

Rafael Ruiz Mansilla

Universitat Politècnica de Catalunya, Departament de Màquines i Motors Tèrmics

Abstract

Los sistemas de energía solar térmica para agua caliente sanitaria en edificios residenciales de viviendas son una tecnología madura con jugadores consolidados y conectados. Sin embargo, esta tecnología no está funcionando como se esperaba debido a la aplicación de herramientas y procedimientos débiles durante el funcionamiento de los sistemas. En el proyecto, se desarrolla una nueva herramienta de operación y mantenimiento para mejorar la comunicación entre todos los organismos implicados durante el funcionamiento del sistema y, a la vez, lograr una medición inteligente rentable con la finalidad de contribuir de forma indirecta (mediante la implantación de la herramienta) a que los sistemas de energía solar térmica funcionen según lo esperado. Para ello, sólo es necesario adaptar los controladores y el software de gestión de operación y mantenimiento. Esta adaptación se llevará a cabo dentro del proyecto mediante un desarrollo incremental de los diferentes controladores y de partes de la plataforma en la nube de RDmes Technologies S.L.

Palabras claves: sistemas de energía solar térmica, contador de energía, monitorización.

Solar domestic hot water for residential apartment buildings is already a mature technology with consolidated and connected players. However, this technology is not performing as expected due to the application of weak tools and procedures during operation of the systems. In the project, a new tool for operation and maintenance is developed in order to enhance communication between all bodies involved during system operation and, at the same time, to achieve cost effective intelligent metering in order to contribute indirectly (through the implementation of the tool) to make the solar thermal systems work as expected. To do so, only the controller and the operation and maintenance management software need to be adapted. This adaptation will be carried out within the project by an incremental development of the various controllers and parts of the cloud platform from RDmes Technologies S.L.

Keywords: solar thermal systems, energy counter, monitoring.

Prefacio

La consolidación de la tecnología solar térmica para el calentamiento de agua caliente sanitaria, y la aparición de nuevas normativas solares en países como España, Italia, Portugal y Chile, ha dado lugar a un incremento considerable en el número de edificios multivivienda que utilizan esta tecnología. Se estima que a nivel mundial el número total de edificios multivivienda con sistema solar de agua caliente sanitaria supera la cifra de un millón. Concretamente en España, a finales de 2014, se estima que los sistemas instalados y en operación alcanzan los 3.500.000 m² de superficie llegando a superar los 2,4 GWth y con un valor de crecimiento en implantación del 9% respecto al año anterior.

Lamentablemente, si se analiza con detalle el funcionamiento de este tipo de instalaciones, se puede observar como un porcentaje importante de estas no está funcionando correctamente, de manera que no contribuyen al ahorro energético esperado, generando indirectamente una mala reputación para este tipo de tecnología.

Además, gran parte de los propietarios de este tipo de instalaciones no tienen una percepción real del ahorro económico asociado al buen funcionamiento de su sistema solar térmico, lo que desencadena, en muchos casos, a que estos se nieguen hacer el esfuerzo económico o la inversión requerida para garantizar el buen funcionamiento de ellas, prefiriendo, generalmente, realizar las intervenciones mínimas para pasar las inspecciones obligatorias.

Para solucionar esta situación, y a la vez conseguir una revalorización de la tecnología solar para el calentamiento de agua sanitaria, es necesario el desarrollo de métodos y soluciones de bajo coste para dar soporte a los servicios de operación y mantenimiento en estos sistemas. Por ejemplo, un sistema de monitorización remota podría favorecer un mantenimiento eficaz en este tipo de instalaciones, ya que mediante este se podría llegar a determinar si la instalación requiere de alguna intervención y a su vez, se podría disponer de datos para realizar análisis de ahorro energético y económico. Análisis que podrían ser de interés para los propietarios.

En la actualidad ya existen soluciones pensadas para dar soporte a servicios de operación y mantenimiento, pero estas no han sido desarrolladas particularmente para este mercado (solar térmica para agua caliente sanitaria en edificios residenciales multivivienda), no cubriendo así toda la problemática presentada y resultando excesivamente caras de implementar, especialmente desde el punto de vista económico y en relación con el valor aportado.

Con la intención de contribuir a solucionar los problemas comentados, esta tesis se centra en el desarrollo de un equipo de control y monitorización telemática de bajo coste para sistemas de energía solar térmica en multivivienda (aplicable a pabellones, escuelas, etc) que permita tener controlada la instalación para actuar sobre ella siempre que sea necesario y, a la vez, que registre históricos de datos de variables de producción como la energía producida o el ahorro. La metodología empleada, a grandes rasgos, se basa en la integración de a) técnicas avanzadas TIC, en b) sistemas de comunicación automática que mantengan informados a los agentes involucrados en la instalación durante su operatividad (empresas de mantenimiento, propietarios, agencias de la energía...) y, en la c) contabilización inteligente de la energía producida y otras variables.

Sumario

1	Introducción.....	7
1.1	Motivaciones.....	9
1.1.1	Motivaciones personales.....	9
1.1.2	Motivaciones empresariales.....	9
1.1.3	Motivaciones sociales.....	10
1.2	Antecedentes.....	10
1.3	Metodología.....	11
1.4	Alcance.....	12
1.5	Objetivos.....	12
1.6	Contribuciones.....	14
2	Estado del arte.....	15
2.1	La energía solar térmica.....	15
2.1.1	Sistemas de energía solar térmica.....	17
2.1.2	Sistemas de energía solar térmica de ACS para multivivienda.....	17
2.2	La energía solar térmica en España.....	24
2.3	La energía solar térmica en Cataluña.....	25
2.4	Sistemas actuales de monitorización.....	27
2.5	Conclusiones.....	29
3	Diseño del equipo de control y monitorización.....	30
3.1	Bases del diseño.....	30
3.2	Componentes.....	31
3.3	Conexionado.....	32
3.4	Protocolos de comunicación.....	33
3.4.1	Entre la unidad contadora y la unidad de registro y comunicación de datos:.....	33
3.4.2	Entre el módulo 01 y el módulo 02 del equipo.....	34
3.5	Infraestructura TIC.....	35
3.6	Notificaciones: alertas de estado.....	36
3.7	Servicios desarrollados para los <i>grupos objetivo</i>	38
3.7.1	Aplicación SeYe.....	39
3.8	Análisis y decisiones principales para el diseño.....	49
4	Ejemplo de implantación y funcionamiento.....	60
5	Equipos pre-comerciales.....	63
5.1	Los equipos.....	63
5.2	Validación.....	64
5.2.1	Validación respecto a la contabilización de la producción.....	64
5.2.2	Validación funcional de campo en 46 instalaciones.....	71
6	Integración con terceros: Sentilo.....	75
6.1	Actuaciones específicas para la integración.....	75

6.1.1	Actuaciones en Sentilo.....	76
6.1.2	Actuaciones en el equipo de control y monitorización.....	76
6.2	Flujo de datos.....	77
6.3	Resultados	78
6.4	Conclusiones	80
7	Resultados y conclusiones finales.....	81
8	Bibliografía	83
9	Nomenclatura	90
10	Listado de abreviaturas y símbolos.....	92
11	Glosario	93

Anexos:

Anexo A.	Esquemas de los diferentes sistemas de energía solar térmica según RDmes Technologies S.L.....	95
Anexo B.	Validación de campo - Ejemplo de informe de auditoría	101
Anexo C.	SeYe - Ficha Comercial.....	109
Anexo D.	Manual de instalación del equipo de control y monitorización.....	110
Anexo E.	Tabla de análisis de las comunicaciones entre módulos.	128

Listado de ilustraciones

Ilustración 1:	Cadena de valor de la solar térmica para ACS en edificios residenciales	14
Ilustración 2:	Esquema general y simplificado de un sistema de energía solar térmica de ACS.....	19
Ilustración 3:	Esquema simplificado de un tipo de sistema centralizado de energía solar térmica para ACS.	19
Ilustración 4:	Esquema simplificado de un tipo de sistema de energía solar térmica para ACS parcialmente centralizado	20
Ilustración 5:	Esquema simplificado de un tipo de sistema de energía solar térmica para ACS descentralizado.	20
Ilustración 6:	Esquema simplificado de un sistema de energía solar térmica para ACS con acumulador centralizado; tres circuitos (primario, secundario y de distribución); sistema auxiliar centralizado y aportación de calor directa a vivienda.	22
Ilustración 7:	Esquema simplificado de un sistema de energía solar térmica para ACS con acumulador centralizado; tres circuitos (primario, secundario y de distribución); sistema auxiliar descentralizada e intercambiador de calor en vivienda.	23
Ilustración 8:	Esquema simplificado de un sistema de energía solar térmica para ACS con acumulador descentralizado y dos circuitos (primario con distribución).....	23
Ilustración 9:	Evolución de la superficie solar térmica estimada en Cataluña desde el 1999 hasta el 2012.	26
Ilustración 10:	Estimación del estado operativo de las instalaciones solares térmicas de ACS en Barcelona por la “Agència d’Energia de Barcelona” en el año 2013 [35].....	26
Ilustración 11:	Diseño conceptual del equipo de control y monitorización telemática de bajo coste para sistemas de energía solar térmica en multivivienda.	30
Ilustración 12:	SeYe: pasos para reclamar un equipo de monitorización y control.....	39
Ilustración 13:	SeYe: pasos para crear una planta.	40
Ilustración 14:	SeYe: pasos para sincronizar una planta con un equipo.	40

Ilustración 15: SeYe: ejemplo de la visualización de datos energéticos de una planta.	41
Ilustración 16: SeYe: pasos para generar un informe de la producción energética mensual.	42
Ilustración 17: SeYe: informe de la producción energética mensual.	42
Ilustración 18: SeYe: pasos para generar un informe comparativo de las plantas.	43
Ilustración 19: SeYe: pasos para gestionar las notificaciones vía planta.	43
Ilustración 20: SeYe: pasos para gestionar las notificaciones vía usuario.	44
Ilustración 21: SeYe: ejemplo de notificación vía correo electrónico de las alertas horarias.	44
Ilustración 22: SeYe: ejemplo de notificación vía correo electrónico de las alertas diarias.	45
Ilustración 23: Descripción gráfica de la modularidad de la infraestructura TIC del módulo 02 del equipo solar de control y monitorización de bajo coste	54
Ilustración 24: Descripción visual de la instalación empleada en el ejemplo de implantación y funcionamiento del equipo.	60
Ilustración 25: Partes principales del equipo de control y monitorización con relación a la validación. Esquema conceptual.	66
Ilustración 26: Instalación solar térmica de la comparativa experimental juntos a los equipos analizados y su implantación.	67
Ilustración 27: Resultados experimentales. Evolución del rendimiento energético y de la potencia contabilizada para cada uno de los equipos de monitorización analizados. Días 1, 2 y 3.	69
Ilustración 28: Resultados experimentales. Evolución del rendimiento energético y de la potencia contabilizada para cada uno de los equipos de monitorización analizados. Días 4, 5, 6 y 7.	70
Ilustración 29: Situación geográfica de 22 de los 46 equipos implantados en la validación funcional de campo.	72
Ilustración 30: Esquema del flujo de datos entre el sistema de energía solar térmico y los usuarios a través del equipo de control y monitorización inteligente y Sentilo.	77
Ilustración 31: Geolocalización y datos básicos del equipo solar inteligente de bajo coste tal como se muestran en la interfaz de Sentilo.	79
Ilustración 32: Geolocalización de un equipo solar inteligente junto a algunos datos históricos de la producción energética transmitida por este tal como se muestran en la interfaz de Sentilo.	79
Ilustración 33: Geolocalización de un equipo solar inteligente junto a algunos datos históricos de estado de la instalación transmitidos por este tal como se muestran en la interfaz de Sentilo.	79
Ilustración 34: Esquema simplificado de un sistema de energía solar térmica para ACS con acumulación solar centralizada, dos circuitos (primario y distribución), sistema auxiliar centralizado y sin intercambiador al final.	95
Ilustración 35: Esquema simplificado de un sistema de energía solar térmica para ACS con acumulación solar centralizada, dos circuitos (primario y distribución), sistema auxiliar centralizado y con intercambiador de calor al final.	95
Ilustración 36: Esquema simplificado de un sistema de energía solar térmica para ACS con acumulación solar centralizada, dos circuitos (primario y distribución), sistema auxiliar descentralizado y sin intercambiador al final.	96
Ilustración 37: Esquema simplificado de un sistema de energía solar térmica para ACS con acumulación solar centralizada, dos circuitos (primario y distribución), sistema auxiliar descentralizado y con intercambiador de calor al final.	96
Ilustración 38: Esquema simplificado de un sistema de energía solar térmica para ACS con acumulación solar centralizada, dos circuitos (primario y distribución), sistema auxiliar descentralizado y con acumulador al final.	97
Ilustración 39: Esquema simplificado de un sistema de energía solar térmica para ACS con acumulación solar centralizada, tres circuitos (primario, secundario y distribución), sistema auxiliar centralizado y sin intercambiador al final.	97

Ilustración 40: Esquema simplificado de un sistema de energía solar térmica para ACS con acumulación solar centralizada, tres circuitos (primario, secundario y distribución), sistema auxiliar centralizado y con intercambiador de calor al final.....	98
Ilustración 41: Esquema simplificado de un sistema de energía solar térmica para ACS con acumulación solar centralizada, tres circuitos (primario, secundario y distribución), sistema auxiliar descentralizado y sin intercambiador al final.	98
Ilustración 42: Esquema simplificado de un Sistema de energía solar térmica para ACS con acumulación solar centralizada, tres circuitos (primario, secundario y distribución), sistema auxiliar descentralizado y con intercambiador de calor al final.....	99
Ilustración 43: Esquema simplificado de un sistema de energía solar térmica para ACS con acumulación solar centralizada, tres circuitos (primario, secundario y distribución), sistema auxiliar descentralizado y con acumulador al final.	99
Ilustración 44: Esquema simplificado de un sistema de energía solar térmica para ACS con acumulación descentralizado y un circuito (primario).	100
Ilustración 45: Esquema simplificado de un sistema de energía solar térmica para ACS con acumulación descentralizado y dos circuitos (primario y distribución).....	100

Listado de tablas

Tabla 1: Agrupación de las tipologías para clasificar sistemas de energía solar térmica según criterio de Rdmes Technologies S.L.	21
Tabla 2: Estados de una planta y criterios de detección.	36
Tabla 3: Disfunciones más comunes en instalaciones solares térmicas de agua caliente sanitaria en relación a las alertas generadas por el equipo de control y monitorización inteligente.	37
Tabla 4: Disfunciones propias del dispositivo en relación a las alertas que pueden generar.	37
Tabla 5: Pechos y emisiones según la fuente de energía del sistema auxiliar.	48
Tabla 6: Rendimiento de la transformación energética según la tecnología utilizada por el sistema auxiliar.....	49
Tabla 7: Regulación de los actuadores del sistema de energía solar térmica según la tipología de este.	52
Tabla 8: Equipos pre-comerciales desarrollados y sus características.	63
Tabla 9: principales características técnicas de los equipos pre-comerciales analizados.	66
Tabla 10: Resultados experimentales. Energía diaria contabilizada por los equipos pre-comerciales analizados. Análisis de las diferencias absolutas y relativas de la energía contabilizada por los equipos A, B y C respecto a los valores obtenidos por el sistema de medición de referencia R.	68
Tabla 11: Sensores del componente "equipo de monitorización y control solar inteligente" para Sentilo.	76

1 Introducción

La mayoría de los sistemas térmicos utilizados en aplicaciones de producción de agua caliente sanitaria, refrigeración, climatización y calor de procesos industriales, hacen uso de un líquido caloportador que circula por tuberías impulsado por bombas eléctricas y que transfiere el calor desde su producción hasta el punto de distribución, pasando por posibles puntos intermedios de almacenaje. A menudo se utilizan válvulas de una o varias vías actuadas eléctricamente para gobernar la circulación del fluido en función de los criterios de producción, almacenaje y distribución.

Los circuitos por los que circula el fluido caloportador generalmente son montados por instaladores in situ haciendo uso de uniones no soldadas para empalmar las tuberías con los elementos intermedios (filtros, válvulas, bombas de circulación, tanques, aireadores, etc.). La existencia de estas uniones no soldadas, junto con la corrosión de los elementos integrados en los circuitos, hace que la avería más común de estos sistemas venga originada por una fuga en las uniones o puntos de corrosión, que provoca un vaciado parcial o total del líquido caloportador lo que puede, además, ocasionar daños a los otros elementos del sistema.

Los sistemas de energía solar térmica son un caso particular de los sistemas térmicos, en los que el fluido caloportador se calienta en los elementos de captación de energía solar (captadores), y se transporta hacia un depósito de acumulación pasando por uno o varios intercambiadores intermedios del tipo compacto, serpentín o doble envolvente.

La energía solar térmica para producción de agua caliente sanitaria es una tecnología madura y competitiva respecto otras formas convencionales de energía. Esto ha motivado que algunos países, regiones y organizaciones locales en todo el mundo (España, Portugal, Italia, Chile...) hayan implementado ordenanzas y regulaciones que obligan al uso de la energía solar térmica u otras energías renovables en edificios nuevos o rehabilitados. Como consecuencia, el número de edificios con sistemas solares de producción de agua caliente sanitaria ha incrementado considerablemente. Sólo en España se estima que hay construidos más de 50.000 edificios multi-residenciales (pisos) con estos sistemas, y a nivel mundial se estima que hay más de 1 millón.

Desafortunadamente, la experiencia ha demostrado que un número muy importante de los sistemas solares térmicos en estos edificios no están funcionando correctamente, lo que resulta en una reducción del ahorro energético esperado, y en una mala reputación para el sector de la energía solar térmica.

La clave para resolver esta situación es la realización de un correcto mantenimiento, pero para poderlo llevar a cabo es necesario disponer de herramientas de apoyo al mantenimiento que permitan una contabilización efectiva y continua de la producción energética, y una comunicación ininterrumpida entre la instalación y los diferentes agentes involucrados en el mantenimiento (usuarios, propietarios, organizaciones e institucionales principalmente).

En el mercado ya existen sistemas inteligentes de medición de la producción de la energía térmica y generadores de alertas de disfunción. Son soluciones diseñadas para mantenimiento genérico de sistemas térmicos, normalmente utilizados en edificios comerciales e institucionales por grandes empresas de servicios.

Estos sistemas están diseñados de manera que el contador energético y los elementos de evaluación y generación de alertas se ubican en la propia instalación, y hacen un uso extensivo de las comunicaciones a nivel telemático para poder informar a los responsables de la instalación de su estado y de posibles alertas.

No obstante, estas soluciones aplicadas a sistemas de baja producción térmica, como los que son objetivo de esta tesis, resultarían sobredimensionadas tanto en funcionalidad como en volumen de datos a transmitir.

Simultáneamente, gran parte de las disfunciones operativas, en los sistemas térmicos convencionales, son detectadas, en última instancia, por los usuarios o por los sistemas de protección; especialmente por los primeros, cuando debido a las disfunciones, el sistema no es capaz de cumplir con los requerimientos de la demanda. En otras ocasiones, para detectar ciertas disfunciones (por ejemplo, de consumo energético o malos rendimientos), es necesario realizar mediciones específicas a largo plazo en la instalación, siendo especialmente útil que los sistemas de medición cuenten con elementos de soporte para los usuarios o empresas de operación y mantenimiento. Elementos de soporte, como algoritmos informáticos, que tras procesar los datos de mediciones de forma continuada (en tiempo real) sean capaces de detectar las disfunciones y comunicarla a los interesados.

Estos factores hacen necesaria la existencia de dispositivos ajustados a sistemas de baja producción térmica, que, de forma automática, sean capaces de detectar disfunciones y, a la vez, de informar a las partes interesadas para que puedan actuar sobre ellas o, simplemente, para que sean conocedoras de lo que está pasando en tiempo real en una instalación. Con ello en mente, en esta tesis se ha investigado sobre la utilización de contadores térmicos y generadores de alertas en plantas térmicas de baja producción (hasta 70 kW térmicos pico de potencia) con comunicación continua con los responsables de la instalación. En estas plantas, la producción energética en términos económicos es reducida y, debido a ello, la investigación se ha centrado en como minimizar el coste de un dispositivo que sea capaz de contabilizar la energía producida por el sistema y generar mensajes de alerta. Como resultado de esta investigación se proponen diseños no sólo de dispositivos contadores térmicos con comunicación continua con internet, sino que también de los protocolos y criterios de comunicación, así como de los procedimientos de post proceso de los datos obtenidos para generar mensajes de alertas simples y robustos.

La investigación se ha fundamentado en un análisis del estado del arte, así como en el diseño, desarrollo y validación de prototipos. Todo el trabajo realizado se ha materializado en un equipo solar térmico inteligente de bajo coste que se ha implementado en un conjunto de 46 plantas piloto de diferentes tipologías y distribuidas a lo largo de la geografía catalana.

En lo referente a la estructura del presente documento, este se divide en ocho capítulos principales: “1. Introducción”, “2. Estado del arte”, “3. Diseño del equipo de control y monitorización”, “4. Ejemplo de implantación y funcionamiento”, “5. Equipos pre-comerciales”, “6. Integración con terceros: Sentilo” y “7. Resultados y conclusiones”.

En este capítulo, capítulo “1. Introducción”, se documentan las motivaciones, antecedentes y las metodologías empleadas para el desarrollo de la tesis, así como su alcance, sus objetivos y sus contribuciones.

En el capítulo “2. Estado del arte” se realiza una revisión del estado del arte en relación a la temática de la tesis. En concreto se presenta una descripción del estado de la técnica y del mercado de las instalaciones solares térmicas

en España en general y en Cataluña en particular. Adicionalmente se analizan diferentes sistemas para la monitorización de estas instalaciones. Como resultado de ello se define los requerimientos que debe cumplir un equipo de control y monitorización telemática de bajo coste para sistemas de energía solar térmica

En el capítulo “3. Diseño del equipo de control y monitorización” se presenta el diseño del equipo de control y monitorización, desde su vertiente más física (hardware) a su vertiente más virtual (software).

En el capítulo “4. Ejemplo de implantación y funcionamiento” se presenta un ejemplo de aplicación del equipo con tal de facilitar su comprensión y utilidad.

En el capítulo “5. Equipos pre-comerciales” se documentan los equipos pre-comerciales resultantes de la materialización del diseño junto a sus validaciones.

Ya en el capítulo “6. Integración con terceros: Sentilo” se muestra un ejemplo de integración del equipo con un servicio de terceros basado en la plataforma open data Sentilo (plataforma web para la publicación de datos de sensores).

Y para finalizar, en el capítulo “7. Resultados y conclusiones”, se presentan las conclusiones y resultados finales derivadas del desarrollo de la tesis junto a posibles líneas futuras de investigación y/o desarrollo.

1.1 Motivaciones

Son varias las motivaciones que han desencadenado el inicio de esta tesis de investigación aplicada. Motivaciones que podríamos clasificar a grandes rasgos como personales, de carácter empresarial y de carácter social. Indispensables cada una de ellas para el desarrollo de esta, puesto que sin ninguna de ellas la tesis carecería de sentido o del suficiente empuje para que finalizara con éxito.

1.1.1 Motivaciones personales

Las motivaciones personales son aquellas que, a mí, como autor, me han hecho decidirme dar el paso para enrolarme en esta aventura. Tenemos básicamente dos motivaciones a destacar: a) realización profesional y b) auto superación, muy ligado a mi carácter.

Realización profesional: la tesis como el camino donde aprender, madurar mis conocimientos, aplicar mis estudios y ver que tienen una aplicación real y tangible.

Auto superación: la tesis como el camino donde afrontar los obstáculos, donde alcanzar y superar mis límites.

1.1.2 Motivaciones empresariales

Las motivaciones empresariales son aquellas directamente relacionadas con RDmes Technologies S.L., parte implicada en la tesis. Como toda empresa la motivación principal es la continuidad a futuro.

Al ser una tesis de carácter aplicado, si este se desarrolla con éxito, proporciona a RDmes Technologies S.L. la tecnología y el desarrollo necesario para que pueda introducir al mercado una solución competitiva que solvente algunos de los problemas a los que se afronta la energía solar térmica en multivivienda, como sería la pérdida de credibilidad, aportándole solvencia económica y continuidad a futuro, a corto y medio alcance.

Como empleado de dicha empresa, parte de esta motivación forma parte de mis motivaciones profesionales del día a día.

1.1.3 Motivaciones sociales

Las motivaciones sociales son aquellas relacionadas con la conciencia colectiva para mejorar nuestro entorno. Esta conciencia viene directamente ligada a la responsabilidad socio-ambiental.

Contribuir al buen funcionamiento de las instalaciones de energía solar térmica es contribuir a una reducción de la contaminación atmosférica por CO₂, lo que implica un beneficio para la sociedad y el medioambiente, cumpliendo en parte con nuestra responsabilidad socio-ambiental.

1.2 Antecedentes

Esta tesis sigue las líneas marcadas por tres proyectos previos en los que he colaborado de forma activa. Estos proyectos son a) “Disseny d’un sistema de monitorització per auditories i manteniments d’instal·lacions solars tèrmiques d’ACS. Aplicació a una instal·lació real” de David Pérez [12], b) “Disseny, construcció i implementació d’un sistema de monitorització remota per a instal·lacions solars tèrmiques d’ACS” de Ian Vila [13] y c) “SeYe, una aplicació web integrada a un sistema de baix cost de monitorització d’instal·lacions solars tèrmiques d’ACS” de Iván Ruiz Lozano [14].

a) “Disseny d’un sistema de monitorització per auditories i manteniments d’instal·lacions solars tèrmiques d’ACS. Aplicació a una instal·lació real.” de David Pérez [12]: Este proyecto contiene: un primer diseño del sistema de control y monitorización a nivel de hardware basado en los visores ópticos de la empresa Northstar Telemetrys y, la validación del sistema mediante la implantación de un prototipo en una instalación real.

Contribución por parte del autor de esta tesis: soporte TIC (tecnologías de la información y la comunicación) para el diseño de la infraestructura TIC destinada a almacenar y ofrecer los datos obtenidos mediante el sistema de monitorización diseñado en el proyecto por David Pérez en colaboración con Northstar Telemetrys y RDmes Technologies S.L., así como el primer diseño conceptual de la plataforma web para el análisis de los datos.

b) “Disseny, construcció i implementació d’un sistema de monitorització remota per a instal·lacions solars tèrmiques d’ACS” de Ian Vila [13]: En relación con el proyecto de David Pérez, este proyecto define las variables de control para el sistema de monitorización diseñado, define un protocolo de instalaciones y adquisición de datos y, un primer diseño para informes energéticos.

Además, presenta: un nuevo prototipo para el sistema basado en la solución de David Pérez, la validación de este a partir de dos instalaciones reales y, un estudio sobre la viabilidad técnica, económica y ambiental de este con resultados satisfactorios.

Contribución por parte del autor de esta tesis: diseño y desarrollo de la plataforma web a la que se hace referencia en el documento, así como de los informes que se muestran.

c) “SeYe, una aplicació web integrada a un sistema de baix cost de monitorització d’instal·lacions solars tèrmiques d’ACS” de Iván Ruiz Lozano [14]: En colaboración constante con Iván Ruiz se diseñó y desarrolló toda la parte relacionada con las tecnologías de la información que complementan al sistema de monitorización definido en los dos proyectos anteriores.

Principalmente contiene: el diseño de las bases de datos para almacenar la información proporcionada por el hardware; el diseño de la interfaz de usuario para la interacción con el sistema de monitorización por parte de los usuarios así como para la visualización de la información útil derivada de los datos recolectados; las bases para el diseño de los servicios asociados al control y a la monitorización (tratamiento de datos) y, por último, las bases para el diseño de un servicio de notificaciones (alertas). También presenta un estudio sobre la viabilidad técnica y económica con resultados satisfactorios.

En conjunto, los tres proyectos tienen como finalidad el diseño e implementación de un sistema de monitorización remota que haga factible la mejora del mantenimiento de estas instalaciones a un coste menor a las alternativas del mercado. No obstante, los proyectos de David Pérez e Ian Vila actualmente han quedado obsoletos debido a la discontinuidad por parte de Northstar Telemetrics del desarrollo de los visores ópticos y su plataforma de almacenamiento de datos.

Este proyecto contiene puntos comunes con los proyectos mencionados y con el proyecto de Oriol Arribas i Jaén (“Avaluació funcional del comptador solar intel·ligent SeYe-S per a instal·lacions solars tèrmiques d’ACS” [15]), especialmente aquellos puntos que contienen datos definidos y aportados por RDmes Technologies S.L. (clasificación de las plantas, detección de averías, tipos de averías, etc.), por ello, en esta tesis, se pueden encontrar algunas similitudes con estos proyectos.

1.3 Metodología

Las metodologías empleadas en el desarrollo de esta tesis han sido tres: a) la realización de un caso de estudio para el desarrollo del estado del arte, b) la aplicación de una estrategia de diseño y creación para el desarrollo del equipo de control y monitorización en acuerdo con el estado del arte y, c) una estrategia experimental para consolidar el desarrollo y las funcionalidades del equipo.

Mediante el desarrollo del estado del arte se pretende dar a conocer el estado actual de las instalaciones de energía solar térmica en España y los problemas a la que esta se enfrenta, así como las tecnologías existentes en el mercado que estén directamente relacionadas con el objetivo de esta tesis. Para ello se ha realizado un estudio del contexto nacional y regional a través de revistas, páginas webs y empresas especializadas en el campo de estudio.

Con el diseño y creación del equipo de monitorización y control se pretende dar solución a parte de los problemas detectados en el estado del arte. Este ha sido creado con el objetivo en mente de obtener un equipo comercialmente competitivo con aquellas soluciones ya existentes.

Para ello, durante el desarrollo, se ha contemplado el uso de nuevas tecnologías TIC enfocándonos, principalmente, en el internet de las cosas, las aplicaciones en la nube, el Big Data [16] y el software libre [17], teniendo en mente, en todo momento, el cliente (empresas de mantenimiento, propietarios e incluso agencias de la energía) al que va destinada la solución presentada. En su conjunto, se basa en la integración de a) técnicas avanzadas TIC, en sistemas de b) comunicación automáticos que mantengan informados a los agentes involucrados en la instalación durante su operatividad (empresas de mantenimiento, propietarios y agencias de la energía) y, en la c) contabilización inteligente de la energía producida.

Finalmente, durante la parte experimental, se ha pretendido consolidar la solución mediante instalaciones piloto. Se ha tratado, principalmente, de constatar su fiabilidad y garantizar que cumple con los objetivos establecidos.

Para verificar los datos obtenidos mediante las plantas pilotos, y garantizar que las conclusiones derivadas de estos han sido las correctas, se ha procedido a comparar los resultados con los datos obtenidos de otros sistemas de control y monitorización ya consolidados, a la vez que se ha realizado un análisis crítico de estos en función de las características de las instalaciones.

1.4 Alcance

Esta tesis se centra en el desarrollo de un equipo de control y monitorización telemático de bajo coste enfocado a instalaciones solares térmicas para agua caliente sanitaria en edificios residenciales de más de 15 viviendas, o en su defecto, para cualquier instalación solar de más de 10 m². Pensado, principalmente, para la pequeña y mediana empresa que se encarga de tareas de operación y mantenimiento en este tipo de instalaciones.

El desarrollo incluye tanto la parte de hardware como de software del equipo, el diseño del sistema de comunicación, los sistemas para el análisis de los datos provenientes de la monitorización (Big Data [16]) y, por último, el desarrollo del software específico para que las partes interesadas (empresas de mantenimiento, instituciones, propietarios, etc.) puedan visualizar desde cualquier lugar los datos analizados. Está previsto que todo en su conjunto forme una solución integrada bajo el nombre comercial SeYe, que a su vez esté implementada en la plataforma en la nube OmniluS [18] [19] de RDmes Technologies S.L.

1.5 Objetivos

La tesis tiene como objetivo principal desarrollar un equipo de control y monitorización telemático de muy bajo coste que facilite y mejore las tareas de control y mantenimiento de sistemas solares térmicos en edificios residenciales multivienda con la idea de contribuir a solventar las problemáticas presentes en este tipo de instalaciones y en relación con los equipos ya existentes. Un resumen de estas problemáticas se puede consultar en el apartado “2.5 Conclusiones” del capítulo “2. Estado del arte”.

Los requisitos con los que ha de cumplir el equipo de control y monitorización telemático para solventar la problemática e inconvenientes detectados son tres:

a) **Ha de tener un coste competitivo respecto a las alternativas existentes (barato):** Uno de los problemas actuales sobre los equipos de monitorización y control, tal como se ha comentado previamente, es su alto coste de implantación y mantenimiento (por ejemplo, debido al coste mensual de comunicación). Si el nuevo sistema incurre

en el mismo error, incluso teniendo valor añadido respecto a los sistemas existentes, podría estar condenado de ante mano al fracaso.

b) **Ha de poderse implantar de forma sencilla tanto en las instalaciones existentes como en las nuevas (sencillo):** Es fundamental que el equipo sea sencillo de implementar tanto en las instalaciones existentes como en las nuevas, pues solo así podrá contribuir al buen funcionamiento del parque solar térmico actual. Si el sistema requiriera de un diseño específico y complejo de la instalación solar térmica su volumen de implantación sería escaso y difícilmente podría contribuir una revalorización de la tecnología.

c) **Ha de disponer de elementos que le aporten valor (útil):** El equipo debe desarrollarse en paralelo con elementos que le aporten valor tanto de cara a propietarios de las instalaciones como a empresas de mantenimiento y agencias públicas. De esta forma se puede favorecer su implantación contribuyendo a la revalorización de la tecnología.

En relación con el punto c), algunos de estos elementos que observamos como imprescindibles para cubrir las necesidades reales de propietarios y empresas de mantenimiento serían:

i) **Sistema de monitorización remoto:** permitiría a los interesados visualizar el funcionamiento de su sistema solar térmico sin necesidad de acudir a la instalación. Monitorización continua y efectiva.

ii) **Sistema de análisis de datos e informes (control):** Mediante el análisis de los datos provenientes de la instalación se ha de poder realizar informes que contengan información útil para los interesados. Estos informes podrían contener datos como: la energía producida, el estado de la instalación, el ahorro económico de la energía producida frente al sistema de producción de energía convencional, etc.

Este punto es de los que más contribuirían a la revalorización de la tecnología, pues los interesados podrían disponer de la información más relevante de la instalación en el momento en el que ellos deseen. A las empresas de servicios de mantenimiento les permitiría tomar decisiones sobre estas de forma más eficiente y acertada, especialmente respecto a la planificación del mantenimiento. Y respecto a los propietarios y las agencias públicas les permitirá tener una estimación real del ahorro energético, contribuyendo directamente a mejorar su percepción sobre este tipo de tecnologías.

Se trataría de tener un canal de comunicación continuo con todas las partes involucradas para que estén debidamente informadas sobre la instalación monitorizada.

El coste objetivo para el equipo de monitorización y control, siguiendo la línea de los cálculos realizados en el punto 2.4 y, que cumpla con los requisitos aquí mencionados, debe de oscilar los 500€ como máximo. Un precio acorde al nicho de mercado al que va destinada la solución: a empresas de operación y mantenimiento de edificios residenciales de más de 15 viviendas.

1.6 Contribuciones

Al tratarse de un doctorado de carácter profesional, fuertemente aplicado, la contribución principal es de carácter práctico: aplicable en el mundo real y fruto de la aplicación de las habilidades y del conocimiento profesional en el área de investigación.

Concretamente se contribuye con una solución práctica, en forma de hardware y software, al área de la energía solar térmica para la monitorización y control de las instalaciones de esta índole con la finalidad de solucionar algunas de las problemáticas existentes en estos entornos.

No obstante, también se realiza una contribución en forma de conocimiento al área ya mencionada. Este conocimiento son las pautas (verificadas y contrastadas), fruto de la investigación, que nos permiten determinar el estado de una instalación solar térmica solamente mediante el análisis de los datos de energía obtenidos de esta.

Además, de forma indirecta, con la introducción de la solución desarrollada en la tesis y su implantación en los sistemas solares térmicos, se pretende contribuir a la reducción de la falta de cultura de mantenimiento en los sistemas de energía solar térmica (gracias su precio económico), así como incidir positivamente sobre la imagen distorsionada que hay sobre ellos (mejora de reputación). Simultáneamente, se pretende contribuir a mejorar los tiempos de retorno de inversión (abaratando costes de monitorización y mantenimiento); a detectar errores en el diseño y los circuitos de las instalaciones (mediante el conocimiento aportado); a solventar la falta de elementos de estas características en el parque solar térmico (debido a su coste económico) y, contribuir a la restauración del parque solar térmico (mediante la implantación del kit). En resumen y en términos empresariales, fijándonos en la cadena de valor de la solar térmica para ACS en este contexto (ver Ilustración 1), se trataría de contribuir a mejorar ciertos aspectos de la solar térmica para agua caliente sanitaria incidiendo (de forma indirecta y mediante la implantación del kit fruto del desarrollo) sobre la operación y mantenimiento de este tipo de sistemas.



Ilustración 1: Cadena de valor de la solar térmica para ACS en edificios residenciales

2 Estado del arte

En este capítulo se realiza una revisión del estado del arte relacionada con la temática de la tesis.

En concreto se presenta una descripción del estado de la técnica y del mercado de las instalaciones solares térmicas en España (en general) y en Cataluña (en particular) con el objetivo de resaltar su problemática. A la vez, con tal de situarnos en contexto, se presenta una breve descripción de la tecnología presente en los sistemas de energía solar térmica para el calentamiento de agua caliente sanitaria; temática sobre la que aplica este proyecto.

En detalle, se presenta en el punto 2.1 la definición de un sistema solar térmico, así como la tipología de instalaciones solares de ACS que hacen uso de esta tecnología; en el 2.2 la situación actual de la energía solar térmica en España; en el 2.3 la situación actual de la energía solar térmica en Cataluña; en el 2.4 un análisis de algunos de los sistemas actuales de monitorización más extendidos en el territorio nacional Español y, para finalizar, en el 2.5 las conclusiones derivan del análisis del estado del arte.

2.1 La energía solar térmica

Definimos la energía solar térmica como el aprovechamiento de la energía solar para producir calor mediante el uso de captadores solares térmicos. Algunos argumentos a favor de los sistemas de energía solar térmica son [20]:

- Las instalaciones solares para ACS, con una vida útil media de 20 años, garantizan, en la mayoría de los casos, el retorno de la inversión.
- Al suministrar energía, sin emisión alguna de gases que provoquen el efecto invernadero, contribuyen a la prevención del cambio climático.
- Se eliminan los costes adicionales por el aumento del precio de la energía. El factor económico principal, la importante inversión inicial, se puede calcular su amortización al realizar la inversión, en cambio los costes del combustible variarían considerablemente a lo largo de la vida útil de la instalación, 20 años.
- Requieren un mantenimiento mínimo y un consumo de energía eléctrica muy reducido.
- Mejoran la imagen de los edificios y suponen un valor adicional de los mismos.
- Utilizan una fuente de energía prácticamente inagotable, reducen la factura energética de nuestro país, lo que representa una mayor independencia política y económica.
- Asegura y fomenta el crecimiento y experiencia sobre las tecnologías modernas, así como a la creación de nuevos puestos de trabajo.
- Denota, en su propietario una gran responsabilidad medioambiental, el cual, además, puede beneficiarse de un ahorro considerable anual en el coste de la producción de energía (en sistema para ACS).

En relación al punto dos de la lista previa, la reducción de las emisiones de gases contaminantes se produce en el momento que parte de la generación de ACS producida mediante combustibles fósiles es sustituida por energía solar. Con una instalación de energía solar estándar se puede evitar, en parte, las siguientes emisiones contaminantes [21]:

- **Dióxido de carbono - CO₂:** Se forma durante la combustión de combustibles fósiles como el gasóleo, el gas natural y la biomasa (p.ej. madera). Este producto de combustión es considerado corresponsable del cambio climático global por sus efectos sobre la atmósfera terrestre.
- **Óxidos nítricos - NO_x:** Se forma sobre todo a altas temperaturas de combustión mediante la reacción del oxígeno O₂ con el nitrógeno N₂ del aire. Los óxidos nítricos favorecen la formación de ozono O₃ en las capas bajas de la atmósfera, causante de fuertes irritaciones, sobre todo en las vías respiratorias y los ojos.
- **Monóxido de carbono - CO:** Se forma por la combustión incompleta de combustibles fósiles como el gasóleo, el gas natural y la biomasa (p.ej. madera), cuando se da una insuficiencia de oxígeno en el aire. El CO es denominado también “veneno de la muerte dulce”, porque bloquea la capacidad de fijación del oxígeno por parte de la sangre.
- **Dióxido de azufre - SO₂:** Se forma durante la combustión de combustibles fósiles con contenido en azufre, como p.ej. el gasóleo (en cambio, el gas natural está libre de azufre). El dióxido de azufre reacciona con el vapor de agua contenido en el aire y forma ácido sulfuroso, que ataca las plantas y los edificios (conocido también como “lluvia ácida”).
- **Partículas sólidas:** Se forma durante la combustión de combustibles fósiles con alto contenido en carbono, como p.ej. el gasóleo o la madera. El efecto de las partículas sólidas en forma p.ej. de hollín se considera parcialmente cancerígeno

Además, aunque la producción de ACS se efectúe mediante energía eléctrica en el hogar, la implantación de un sistema de energía solar térmico para su producción también puede contribuir a reducir la emisión de gases contaminantes, puesto que parte de la producción eléctrica en España proviene de combustibles fósiles. Concretamente, a fecha del 2016 [22], el 13.6% de toda la energía eléctrica que se produjo en España fue en una central de carbón, un 2.6% en una de Fuelóleo y 11.2% Gas natural-CC. No obstante, más importante es aún la posible contribución a reducir los residuos nucleares. En España, a fecha del 2016 [22], un 21.4% de la producción eléctrica provino de una central nuclear. En definitiva, la reducción de consumo eléctrico para la producción de ACS no solo puede contribuir a la reducción de las emisiones de gases contaminantes, sino que también puede favorecer la reducción de residuos nucleares.

Por otra parte, en términos generales, la energía solar térmica presenta algunos inconvenientes [23] [24]:

- El nivel de radiación de esta energía fluctúa de una zona a otra, y lo mismo ocurre entre una estación del año y otra, lo que puede no ser tan atractivo para el consumidor.
- Inicialmente requiere una fuerte inversión económica a la que muchos consumidores no están dispuestos a arriesgarse. Sin embargo, también es cierto que, a nivel familiar, este desembolso inicial en unos pocos captadores solares se suele recuperar en un plazo que ronda los 5 o 7 años.
- Muchas veces se debe complementar este método de convertir energía con otros, como, por ejemplo, bombas que hagan circular el fluido o sistemas de respaldo.
- Los captadores solares podrían ser más eficientes. Cada vez hay soluciones más avanzadas en este aspecto, pero lo cierto es que para que los captadores sean eficaces todavía dependen en gran parte de su colocación y situación.

- Hay una alta probabilidad de que la tecnología actual quede obsoleta ya que el campo de la energía solar se ha convertido en un semillero de innovación.
- Los lugares donde hay mayor radiación, son lugares desérticos y alejados. En cuanto zonas desérticas, nos encontraríamos con problemas en el abastecimiento de agua para hacer uso de esta tecnología.
- Pueden afectar a la fauna y cultura debido al uso de materiales que producen brillos y reflejos a la luz del sol.
- El espacio de las instalaciones es limitado, especialmente, cuando son para uso doméstico.

Posteriormente, en el apartado 2.2 y 2.3 se enumeran otros inconvenientes propios del mercado español y catalán, respectivamente; inconvenientes que han sido la semilla para el desarrollo de esta tesis.

2.1.1 Sistemas de energía solar térmica

Los sistemas de energía solar térmica, de forma muy esquemática, funcionan de la siguiente manera:

El captador solar térmico absorbe parte de la radiación solar en forma de energía térmica. Cuando la energía térmica del captador es superior a la del fluido que circular por su interior, se produce un aumento de energía térmica en dicho fluido y una pérdida de energía térmica en dicho captador. Siempre que esto suceda, gracias al aumento de temperatura en el fluido, este podrá ser usado posteriormente para: conseguir agua caliente sanitaria, climatización de piscinas, calefacción, refrigeración (por ejemplo, mediante el aprovechamiento de calor en un proceso de absorción) o para producir energía mecánica con la finalidad de producir energía eléctrica.

En esta tesis nos centraremos únicamente en el estudio de aquellos sistemas destinados a generar agua caliente sanitaria (ACS) en edificios multivivienda, ya que lo que se pretende con el desarrollo de la tesis, es monitorizar y control este tipo de sistemas de forma eficiente para solventar un conjunto de problemáticas existente, especialmente, en el mercado español y catalán; problemática documentada de forma resumida en el apartado “2.5 Conclusiones” del apartado “2 Estado del arte”.

En la actualidad, una instalación de energía solar térmica puede llegar a cubrir hasta el 80% del total de la demanda de agua caliente sanitaria del edificio multivivienda y el 100% de la demanda de piscinas cubiertas climatizadas [25].

2.1.2 Sistemas de energía solar térmica de ACS para multivivienda

Este tipo de sistemas tienen como objetivo principal aprovechar la radiación solar para, posteriormente y tras varias fases, calentar el agua destinada al consumo humano dentro de una vivienda.

Los circuitos hidráulicos que pueden formar parte de un sistema de energía solar térmica para ACS en multivivienda son, generalmente: a) un circuito primario, b) un circuito secundario y c) un circuito de distribución. A continuación, se describe cada circuito y su funcionalidad:

a) **Circuito primario:** es un circuito cerrado, compuesto principalmente por los captadores solares y un conjunto de tuberías. Tuberías que tiene como objetivo transportar el calor (mediante un fluido caloportador) desde los captadores hasta un intercambiador de calor (enlace con el circuito secundario).

Funcionamiento general: por dentro de las tuberías circula un fluido caloportador, el cual es calentado al circular por dentro de los captadores si se dan las condiciones necesarias. Una vez el fluido ha sido calentado viaja a través de las tuberías hasta el intercambiador, donde este es enfriado al transferir su calor al siguiente circuito (generalmente el circuito secundario). Una vez enfriado este retorna, a través de las tuberías, a los captadores para volver a ser calentado cerrando, de esta forma, el circuito y comenzando un nuevo bucle.

Este circuito incluye elementos de seguridad para prevenir su deterioro. Estos elementos tienen como principales objetivos evitar la sobrepresión en los captadores y, los daños por heladas y las altas temperaturas.

El intercambiador de calor existe en el sistema si este contiene un circuito secundario. En caso de no existir, el circuito primario transportaría el calor desde el captador hasta uno o varios acumuladores solares, tal como haría el circuito secundario.

Por normativa, el fluido caloportador no puede ser el agua caliente sanitaria de consumo.

b) **Circuito secundario:** es un circuito compuesto principalmente por uno o varios acumuladores y un conjunto de tuberías. Las tuberías tienen como objetivo transportar el calor (mediante un fluido caloportador) desde el intercambiador de calor hasta el o los acumuladores solares (enlace con el circuito de distribución).

Funcionamiento general: por dentro de las tuberías circula un fluido caloportador, el cual es calentado al circular por dentro del intercambiador de calor si se dan las condiciones necesarias. Una vez el fluido ha sido calentado viaja a través de las tuberías hasta un acumulador solar, donde este es enfriado al transferir su calor al siguiente circuito (generalmente el circuito de distribución). Una vez enfriado este retorna, a través de las tuberías, al intercambiador para volver a ser calentado cerrando, de esta forma, el circuito y comenzando un nuevo bucle.

c) **Circuito de distribución:** este circuito es el encargado de distribuir según demanda el agua desde el acumulador, o los acumuladores solares, por los diferentes puntos de servicio. Según la tipología de sistema enlazará o incluirá sistema auxiliar.

La temperatura del agua de este circuito variará en función de la temperatura del líquido que circula por el circuito secundario, ya que es en el acumulador solar donde se produce la transferencia de calor entre ambos circuitos.

Los circuitos descritos forman parte de un sistema forzado, lo que implica que es necesario la instalación de: a) bombas y b) sistemas de regulación.

a) **Bombas:** las bombas forman parte del sistema hidráulico de los circuitos y son necesarias para proporcionar movimiento al fluido que circula por ellos.

b) **Sistema de regulación:** los sistemas de regulación son los encargados de controlar el buen funcionamiento de los circuitos activando las bombas y los elementos de seguridad cuando fueran necesarios. Por ejemplo, las bombas solo deberían de activarse en casos de disipación (si se contempla) o cuando se pueda producir una ganancia energética.

Además, este tipo de sistemas va acompañado de un sistema auxiliar (de respaldo) para proporcionar ACS en aquellos casos donde este no es suficiente para cubrir la totalidad de la demanda. Los sistemas auxiliares principales son de gas natural, electricidad y gasoil, siendo los más habituales el de gas natural y el de electricidad. Un esquema genérico y simplificado de este tipo de instalaciones se muestra en la Ilustración 2.

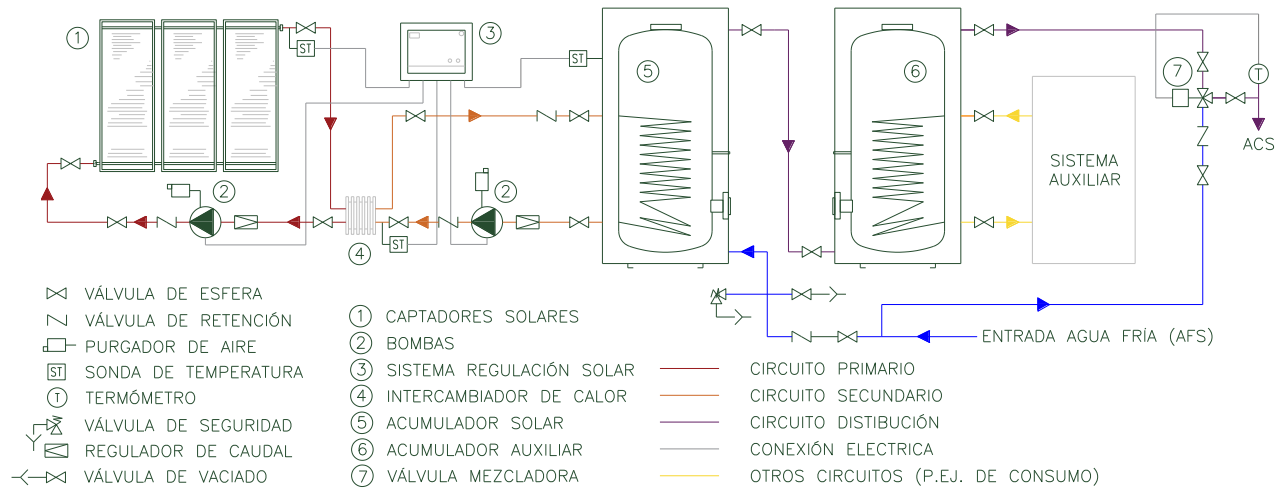


Ilustración 2: Esquema general y simplificado de un sistema de energía solar térmica de ACS.

Por otro lado, según la configuración de los elementos (circuitos, sistemas y componentes) que los componen, se pueden definir diferentes tipologías de sistemas de energía solar térmica para ACS, siendo su clasificación más común en función de la configuración del sistema de acumulación solar (circuito secundario o primario) y el sistema auxiliar (circuito de distribución).

Esta clasificación, donde el circuito primario no varía, engloba todas las tipologías en tres grandes grupos: a) sistemas centralizados, b) sistemas parcialmente centralizados y c) sistemas descentralizados.

a) **Sistemas centralizados:** están formados por un único sistema de acumulación solar y un único sistema auxiliar para todas las viviendas. Común en edificio multivivienda. Un ejemplo de este tipo de sistemas se muestra en la Ilustración 3.

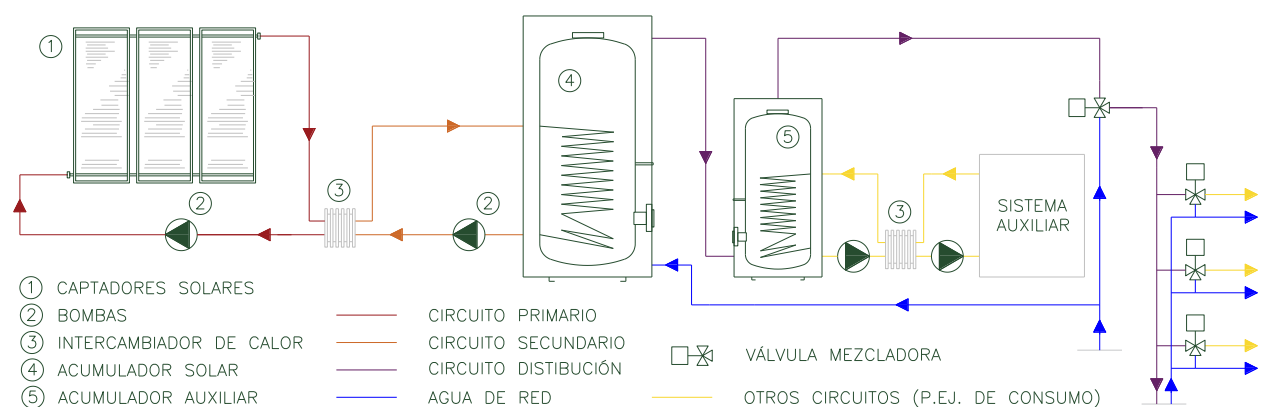


Ilustración 3: Esquema simplificado de un tipo de sistema centralizado de energía solar térmica para ACS.

b) **Sistemas parcialmente centralizados:** está formado por un único sistema de acumulación solar para todas las viviendas teniendo cada una de ellas su propio sistema auxiliar. En la Ilustración 4 se puede ver un ejemplo de este tipo de sistemas.

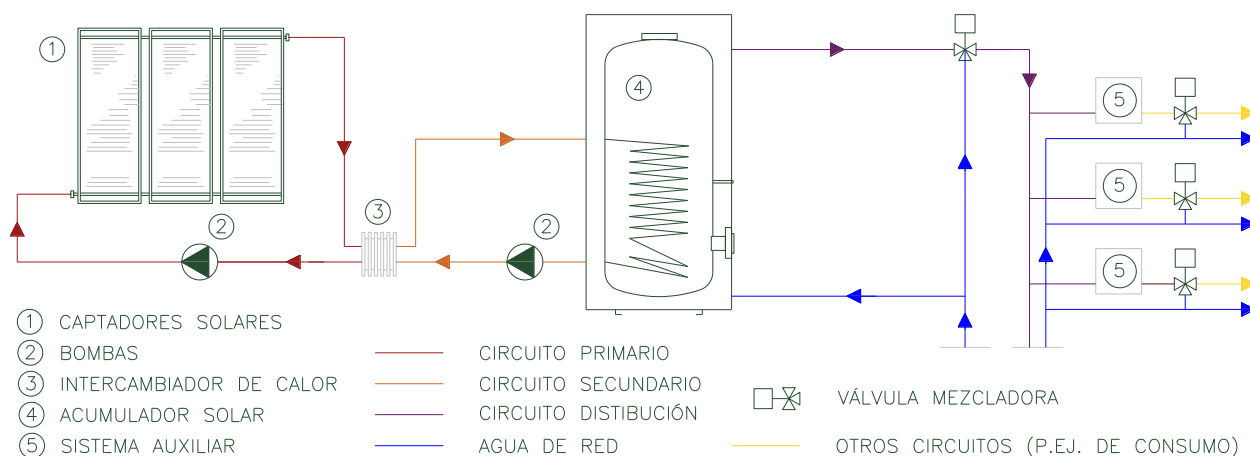


Ilustración 4: Esquema simplificado de un tipo de sistema de energía solar térmica para ACS parcialmente centralizado

c) **Sistemas descentralizados:** cada vivienda cuenta con su propio sistema de acumulación solar, así como con su propio sistema auxiliar. Común en edificios unifamiliares. Un ejemplo de este tipo de sistemas se muestra en la Ilustración 5.

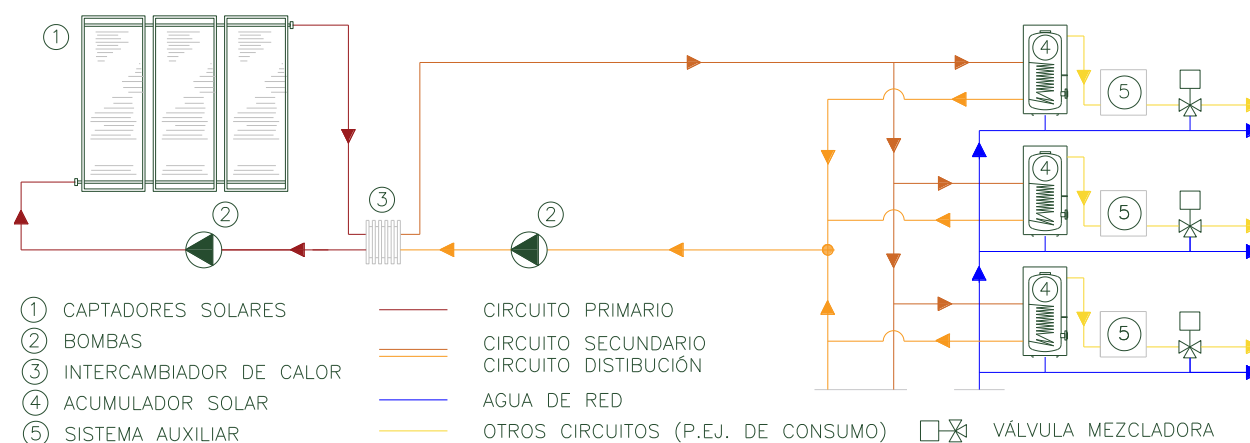


Ilustración 5: Esquema simplificado de un tipo de sistema de energía solar térmica para ACS descentralizado.

Con el fin de detallar más claramente los sistemas, RDmes Technologies S.L., propone considerar las siguientes características: a) la configuración del sistema de acumulación solar, b) el número de circuitos, c) la configuración del sistema auxiliar y d) el tipo de intercambiador final (entre el circuito de distribución y el sistema auxiliar). La definición de estos criterios es la siguiente:

a) **Sistema de acumulación solar:** los acumuladores solares, tal como hemos visto previamente, pueden estar centralizados o descentralizados; centralizado en el caso de que este sea común para todas las viviendas y descentralizado en el caso de que cada vivienda tenga su propio acumulador solar.

b) **Número de circuitos:** los sistemas pueden contener un circuito único, dos circuitos (primario y de distribución) o tres circuitos (primario, secundario y de distribución). No se contemplan los circuitos de consumo u otros para esta clasificación.

c) **Sistema auxiliar:** el sistema auxiliar, igual que los acumuladores solares e independientemente de la fuente de energía usada, puede estar centralizado o descentralizado; centralizado en el caso de que este sea común para todas las viviendas y descentralizado en el caso de cada vivienda tenga su propio sistema auxiliar.

d) **Tipo de intercambiador final:** hace referencia al método por el cual se transmite la energía hacia el usuario final. Se contemplan tres métodos:

- i. **Directo:** el agua que circula por el circuito de distribución será la que consuma el usuario.
- ii. **Mediante un intercambiador de calor:** el circuito de distribución calentará el agua del circuito de consumo mediante el uso de un intercambiador.
- iii. **Mediante un acumulador:** el circuito de distribución calentará el agua del circuito de consumo mediante el uso de un acumulador convencional con serpentín en cada vivienda.

A continuación, en la Tabla 1, se presentan agrupadas todas las tipologías posibles para clasificar sistemas de energía solar térmica según el criterio mencionado.

Tabla 1: Agrupación de las tipologías para clasificar sistemas de energía solar térmica según criterio de Rdmes Technologies S.L.

(AS) Acumulación solar	(NC) Número de circuitos	(EA) Energía auxiliar	(IF) Intercambiador final
(C) Centralizada	(2) Primario con distribución	(C) Centralizada	(D) Directa
			(I) Intercambiador de calor
		(D) Descentralizada	(D) Directa
			(I) Intercambiador de calor
	(3) Primario, secundario y distribución	(C) Centralizada	(D) Directa
			(I) Intercambiador de calor
		(D) Descentralizada	(D) Directa
			(I) Intercambiador de calor
(D) Descentralizada	(1) Circuito único	-	-
	(2) Primario con distribución	-	-

A lo largo del trabajo se harán algunas referencias a las agrupaciones definidos en la Tabla 1. La forma de referencia seguirá la siguiente estructura: de arriba abajo y de izquierda a derecha; iniciales de columna seguidas de iniciales de fila separas por dos puntos y, el par columna - fila separado por un guion.

Por ejemplo: una instalación con acumulador solar (AS) centralizado (C); con un número total de circuitos (NC) de tres (primario, secundario y de distribución) (3); con sistema de energía auxiliar (EA) centralizado (C) y con un intercambiador final (IF) de calor mediante un acumulador (A) correspondería a la referencia:

AS:C - NC:3 - EA:C - IF:A

Para finalizar se describen los tres tipos de instalaciones más comunes según esta clasificación:

a) AS:C - NC:3 - EA:C - IF:D, b) AS:C - NC:3 - EA:D - IF:I y c) AS:D - NC:2.

a) AS:C - NC:3 - EA:C - IF:D: este tipo de configuraciones se encuentran generalmente en edificios para hoteles o hospitales. En la Ilustración 6 se muestra un esquema simplificado de este tipo de instalaciones. Su funcionamiento es el siguiente:

El fluido del circuito primario circula por el captador calentándose. Posteriormente este calor es transferido al circuito secundario mediante un intercambiador de calor. El fluido del circuito secundario, tras ser calentado en el intercambiador, circula por dentro del acumulador solar calentando así el agua almacenada dentro de este proveniente de la red general.

Cuando alguna vivienda demande ACS el agua almacenada en el acumulador solar centralizado circulará hacia un segundo acumulador. Este segundo acumulador está conectado directamente con el circuito de distribución (el cual proveerá de ACS a los usuarios del sistema) y forma parte del sistema de energía auxiliar (encargado de calentar el agua del acumulador si fuera necesario).

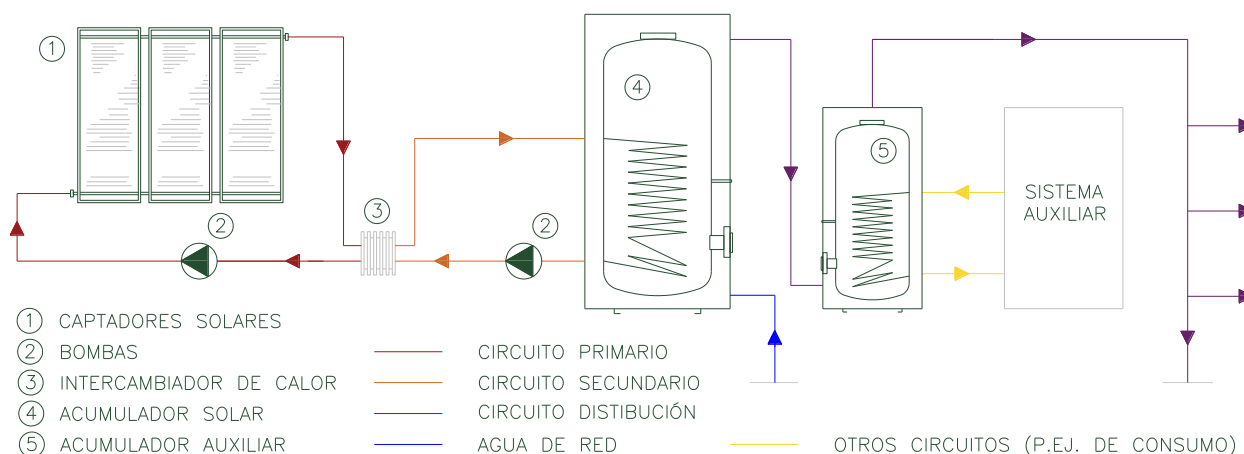


Ilustración 6: Esquema simplificado de un sistema de energía solar térmica para ACS con acumulador centralizado; tres circuitos (primario, secundario y de distribución); sistema auxiliar centralizado y aportación de calor directa a vivienda.

b) AS:C - NC:3 - EA:D - IF:I: en este caso, a diferencia del anterior, el sistema de energía auxiliar es descentralizado. La interacción entre el circuito primario y el secundario es la misma, pero esta vez, tanto el circuito de distribución como el secundario son dos circuitos cerrados conectado entre sí por un acumulador solar central.

Con tal de que las viviendas tengan agua caliente, mediante un intercambiador de calor, se produce una transferencia de calor entre el circuito de distribución y el circuito de consumo (el de la propia vivienda). El agua de

cada vivienda proviene de la red general y, si fuera necesario, esta sería calentada por el sistema auxiliar particular de cada vivienda. Un esquema simplificado de este tipo de instalaciones, donde se puede apreciar el hecho mencionado, se muestra en la Ilustración 7.

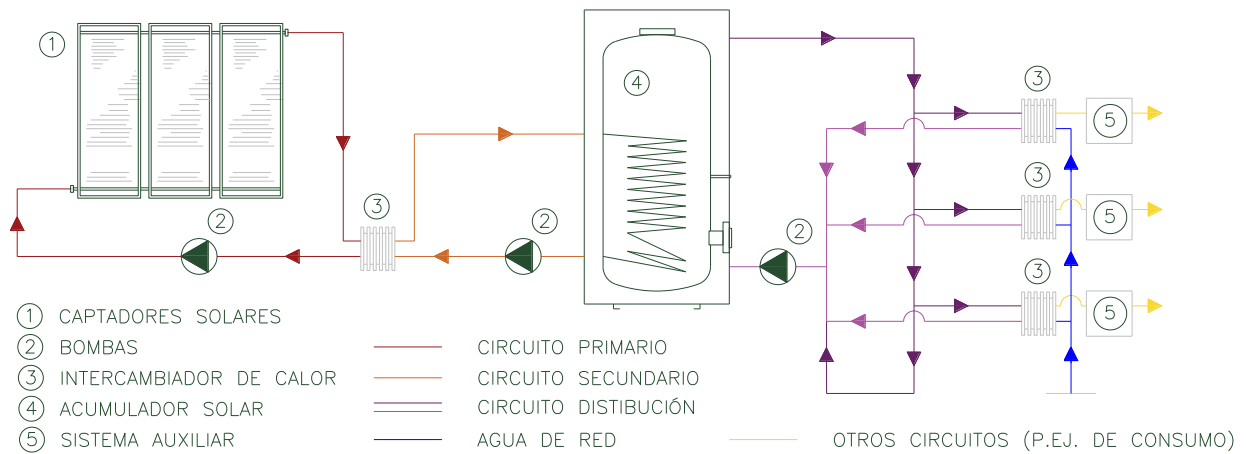


Ilustración 7: Esquema simplificado de un sistema de energía solar térmica para ACS con acumulador centralizado; tres circuitos (primario, secundario y de distribución); sistema auxiliar descentralizada e intercambiador de calor en vivienda.

c) AS:D - NC:2: en este caso el circuito de distribución y el circuito secundario son el mismo circuito cerrado. En la Ilustración 8 se puede ver un esquema simplificado de esta tipología.

Cada vivienda cuenta con su acumulador solar y su propio sistema de energía auxiliar. Mediante el circuito de distribución y un serpentín se calienta al agua del acumulador, la cual, proveniente de la red general, circulará por el circuito de consumo (el de la vivienda) en función de la demanda. Si fuera necesario, esta sería calentada por el sistema auxiliar.

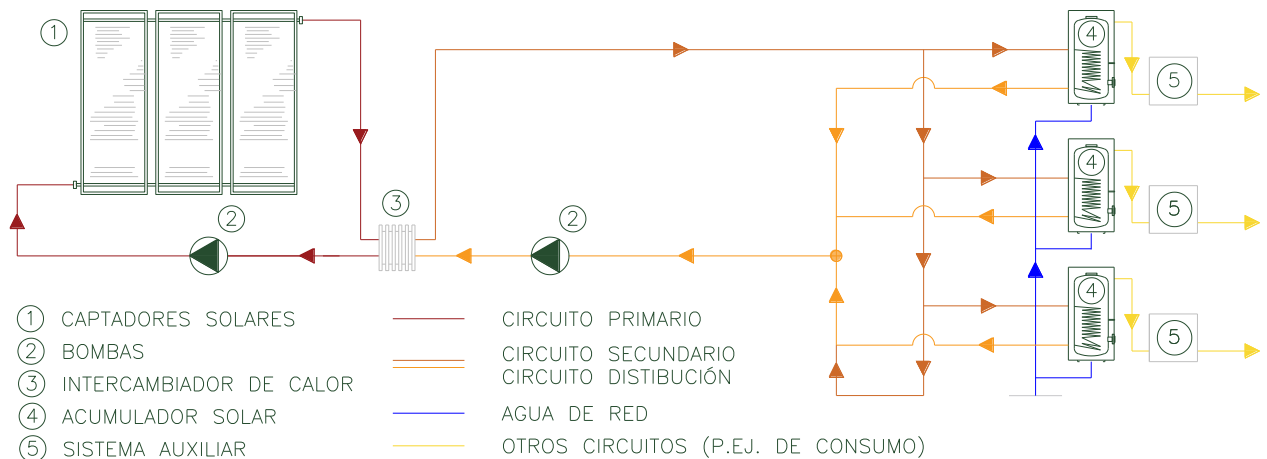


Ilustración 8: Esquema simplificado de un sistema de energía solar térmica para ACS con acumulador descentralizado y dos circuitos (primario con distribución).

Se muestran en el Anexo A los esquemas de las diferentes tipologías de sistemas de energía solar térmica para ACS mostrados en la Tabla 1. No se profundiza más en los componentes de este tipo de instalaciones al no ser relevante para el desarrollo de la tesis.

2.2 La energía solar térmica en España

A principios de los años 80 se produjo el primer crecimiento significativo del mercado relacionado con los sistemas de energía solar térmica. Después de una evolución positiva éste se estancó, principalmente por el descenso del precio de la energía y la poca fiabilidad de las instalaciones (por falta de conocimiento y experiencia) [20].

No es hasta finales de los 90 que se volvió a registrar un nuevo crecimiento significativo, que dio como resultado, hasta finales del 2008, un crecimiento continuo e importante de superficie instalada de captadores. Crecimiento favorecido por los programas de subvenciones a nivel regional, el crecimiento económico del país y a un sector cada vez más especializado de fabricantes e instaladores.

Ordenanzas como la de Barcelona, Sevilla, Pamplona, Madrid, Valencia... y programas como el PROSOL [26] de Andalucía, enfocados a fomentar el uso de la energía solar térmica, fueron y son un importante factor para el crecimiento del mercado, así como la entrada en vigor del CTE [27] y el RITE [28], los cuales establecen las exigencias de ahorro energético de este tipo de sistemas.

A partir del 2008, debido a la entrada de la crisis económica, se fue reduciendo paulatinamente la construcción de nueva vivienda provocando así una regresión en el sector. En el 2009 se produjo un descenso del 15% en superficie de nuevos captadores instalados respecto al año anterior, siendo la cifra de nueva implantación de 300.000m². Para aquel entonces el sector empleaba, aproximadamente, unas 13.000 personas y existían 35 fabricantes nacionales con capacidad de producción anual de 1.900.000m².

Según el último balance de ASIT (Asociación Solar de la Industria Térmica) [29], desde el 2009 hasta el primer semestre del 2014, solo se produjeron dos pequeños crecimientos, siendo el último en el primer semestre del mismo año, suponiendo solamente un incremento de nueva implantación (en superficie de captador) del 7% respecto al primer trimestre del año anterior.

Además, el mercado acumuló un descenso del 50%, aunque superó la cifra de 2.4 GWth en acumulado de potencia instalada (3.500.000 m² instalados y en operación) y, por otra parte, la capacidad de producción de los fabricantes se fue reduciendo paulatinamente hasta los 1.300.000m², fabricando a lo largo del 2013 solamente 241.000m² (el 19% de su potencial), de los cuales solo 140.000m² iban destinados al mercado español.

En lo que respecta al 2015 (fecha de inicio de este análisis) se desconocen los datos exactos, pero según algunos informes y sus objetivos, como el de SOLCASA [25], parece que el desarrollo e instalación de este tipo de instalaciones ha sido muy baja debido a las siguientes problemáticas e inconvenientes:

- Falta de conciencia ecológica y falta de información al usuario final.
- Crisis económica y estallido “burbuja inmobiliaria”.
- Malas prácticas de instalación y operación.
- Falta de mantenimiento que origina un mal funcionamiento de algunas instalaciones (pérdida de reputación).
- Dificultad de integración en edificios y espacio en cubiertas.
- Inversión inicial todavía alta sólo para obtener A.C.S.

Problemáticas que llevan asociadas dos consecuencias principales que afectan al sector:

- Incremento en la mala reputación para la tecnología.
- No se alcanzan los ahorros esperados por cada instalación, tanto económicos como de emisiones.

Por otra banda, en cuanto a mantenimiento de las instalaciones, si nos fijamos en el nicho de mercado de la solar térmica para edificios residenciales, nos damos cuenta que un gran número de clientes están dispersos geográficamente, los contratos son pequeños (600 a 1500€/año) y la comunicación con los clientes es difícil, por lo que las empresas, han de conseguir fidelizar a sus clientes mediante la confianza, focalizarse en sus áreas más inmediatas y reducir al máximo sus costes internos.

Son tiempos difíciles donde las empresas han de adaptarse a la coyuntura económica y reajustar sus presupuestos.

2.3 La energía solar térmica en Cataluña

De cara al desarrollo de la tesis es fundamental conocer el estado actual de la energía solar térmica en Cataluña, pues nos permitirá conocer en nuestro mercado más inmediato el potencial y alcance del sistema de monitorización y control diseñado.

La evolución del parque solar instalado en Cataluña ha transcurrido de forma paralela al mercado español: se produjo un aumento de la superficie de captador instalada desde los años 90 hasta el 2008, gracias, principalmente, a las ordenanzas municipales de Barcelona (1999), Sant Joan Despí (1999), Sabadell (2002) y Terrassa (2002) y, posteriormente, en el año 2006, debido a la entrada en vigor del decreto “d’Eco Eficiència de la Generalitat de Catalunya” y al Código Técnico de Edificación (DB-HE 4). Este último de ámbito estatal. A finales del 2006 había 55 ordenanzas en vigor en Cataluña que cubrían más del 60% de la población catalana.

Hasta el 2008 el sector fue creciendo de forma significativa, pero a partir del 2008 (incluido) el sector vio ralentizado su crecimiento a causa del inicio de la crisis económica y su repercusión en el sector de la construcción.

En el año 2005, en el Plan de la energía de Cataluña 2006-2015 [30] [31] [32] se estimó que para finales del año 2015 la superficie acumulada de captador instalado y operativo sería de 1.250.000 m², de los cuales solo 850.000 m² serían para uso doméstico si entre el 2005-2015 se hubieran construido cerca de 500.000 nuevas viviendas de primera residencia.

La realidad ha sido muy distinta y, entre 2006 y 2015, se construyeron alrededor de 290.611 nuevas viviendas. A falta de datos oficiales, por proporción, equivaldría a un acumulado de superficie de captador instalado y operativo aproximado de 503.232 m² en el tercer trimestre del 2015, algo lejano de los 850.000 m² previstos (teniendo en cuenta que el número total de nueva vivienda entre el 2006-2015 es de 855.330 viviendas siendo la estimación del plan de energía próximo a las 1.444.722 viviendas) [33].

La Ilustración 9 muestra la gráfica sobre la evolución de la superficie solar térmica estimada en Cataluña desde el 1999 hasta el 2012. Esta gráfica está basada en los datos registrados en Barcelona por la “Agència d’Energia de Barcelona” [34] [35], los cuales han sido extrapolados al conjunto de Cataluña, tomando como referencia el valor

poblacional. Se han omitidos los años comprendidos entre el 2013 y el 2015 (inclusive ambos), debido a no disponer de datos de carácter oficial, o fiable, respecto a la evolución de superficie instalada.

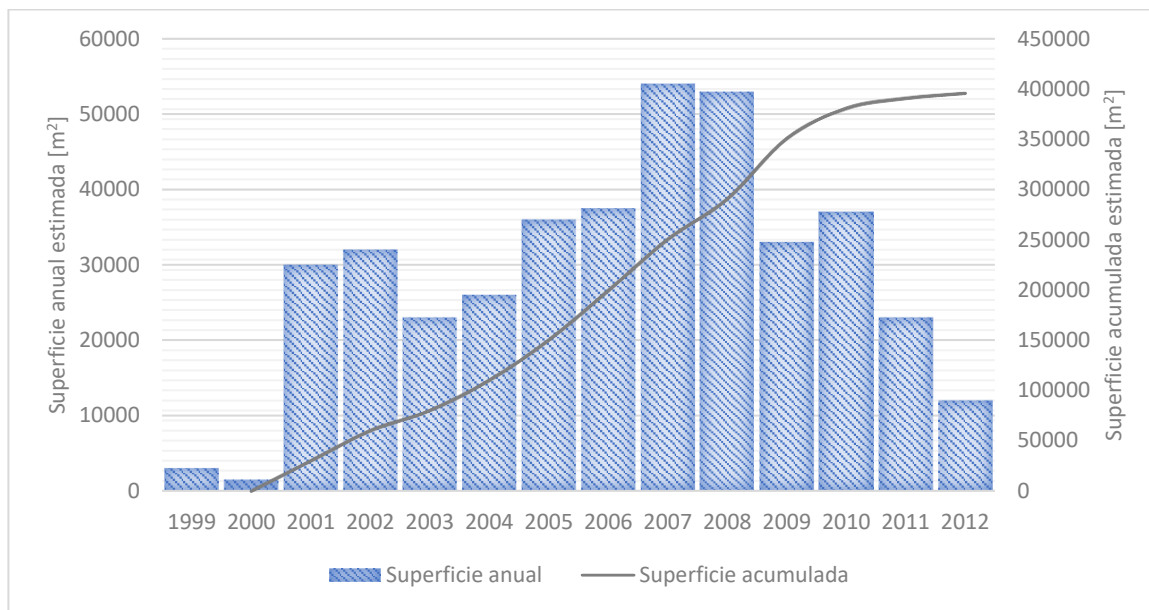


Ilustración 9: Evolución de la superficie solar térmica estimada en Cataluña desde el 1999 hasta el 2012.

Por otra banda, si nos centramos en Barcelona, que sería el primer lugar de entrada al mercado, según un estudio realizado por la “Agència d’Energia de Barcelona” el año 2013 [35], se estima que solo el 59% de las instalaciones solares térmicas presentan un estado de funcionamiento aceptable, que un 15% están por debajo de su rendimiento teórico y que el 22% restante están paradas. (Ver Ilustración 10).

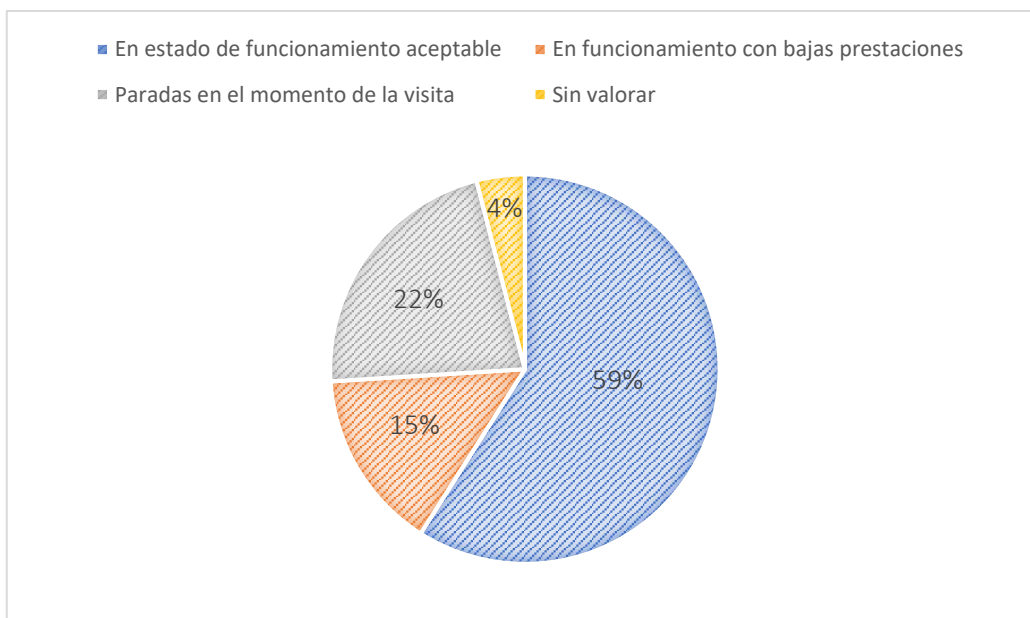


Ilustración 10: Estimación del estado operativo de las instalaciones solares térmicas de ACS en Barcelona por la “Agència d’Energia de Barcelona” en el año 2013 [35].

Además, en un resumen del estudio de la “Agència d’Energia de Barcelona” realizado en el 2016 [36], se indica que las anomalías más frecuentes de este tipo de instalaciones son a) falta de documentación técnica adecuada, b) defectos en la regulación, diseño y operación de los circuitos y, c) falta de elementos de medición energética y seguimiento. A la vez, menciona a las barreras que se enfrenta la energía solar térmica en Barcelona y los principales retos (hoja de ruta) de esta tecnología en Barcelona.

2.4 Sistemas actuales de monitorización

La normativa actual en España, en cumplimiento de la directiva europea 2010/31/UE [37], obliga a la implantación de sistemas de regulación en los sistemas de energía solar térmica para ACS, así como la implantación de elementos que permitan la lectura directa de la presión y de las temperaturas del fluido en los distintos circuitos hidráulicos.

Debido a este hecho, actualmente existen en el mercado una variedad considerable de sistemas de regulación y monitorización con software asociado que permiten tanto hacer un seguimiento de la instalación como la posibilidad de actuar sobre ella (tanto de forma remota como presencial).

Los sistemas más extendidos se basan en la regulación diferencial: controlan la instalación en función de un diferencial de temperatura entre dos puntos concretos del sistema. Si la diferencia de temperatura supera un límite establecido por el mantenedor, el sistema de control actuará sobre la instalación, generalmente, activando o desactivando elementos del sistema, como podrían ser las bombas de los distintos circuitos hidráulicos.

Entre todas las marcas comerciales presentes en el mercado catalán y español de sistemas de regulación y monitorización podemos destacar cuatro: a) Sorel, b) RESOL, c) MundoControl y d) ECOSOL.

a) **Sorel** [38]: Sorel comercializa sistemas de regulación que oscilan entre los 152€ y los 1.315€. A sus sistemas de regulación se les puede añadir un sistema de monitorización que solo permite la visualización de los datos de energía de forma remota: no contempla servicios de notificaciones, servicios de control remoto, etc.; aportando poco valor al producto final, especialmente de cara al propietario de la instalación.

En el caso de optar por el sistema de monitorización, el precio del sistema de regulación con monitorización sería superior en todos los casos a 800€.

b) **RESOL** [39]: los sistemas de regulación de RESOL oscilan entre los 90€ y los 542€ sin incluir las sondas. Son centralitas que actúan sobre la instalación en función de un diferencial de temperatura y que no permiten la monitorización sin el desembolso posterior de entre 304€ o 672€, oscilando el precio final del conjunto entre los 394€ y 1.284€. El sistema de monitorización no aporta ninguna información específica al usuario en relación al funcionamiento del sistema solar; solo permite la visualización de datos en bruto de la instalación, como la energía producida, sin ningún procesado posterior de estos que permita tomar decisiones al usuario.

c) **MundoControl** [20]: dispone de sistemas de regulación con precios comprendidos entre los 90€ y los 194€. Son centralitas que actúan sobre la instalación en función del diferencial de temperatura. Si se les quiere añadir un sistema de control remoto con notificación de alertas a través de teléfono móvil tiene un coste añadido de 268€,

dando como resultado el precio final del conjunto de unos 358€ en el caso más económico. No obstante, no existe ninguna opción para monitorizar la instalación.

d) ECOSOL [20] [40]: el producto principal es un regulador solar para el circuito primario del campo de captación de 832€ que incluye sistema de alertas por SMS sin monitorización remota. Este producto es modular y puede comunicarse con otros sistemas comercializados por ECOSOL para la regulación de los circuitos de las viviendas.

No obstante, existen también otros proveedores como Dexma [41] o Systemtronic S.L. [42] que aportan soluciones más completas a un coste más elevado, incluso algunos con cuotas mensuales de entre 33€ hasta 83€ en función del número de variables de monitorización y el número de sistemas a monitorizar y, a veces, es incluso necesario adaptar la instalación a la solución a implementar.

Como podemos ver, las soluciones de regulación que incorporan seguimiento solar (monitorización remota por software asociado y notificaciones) tiene un precio poco acertado, sobre todo si tenemos en cuenta que, en algunos casos, no son compatibles con cualquier instalación (han de estar contemplados en el diseño) y no aportan un gran valor al propietario de la instalación al permitir únicamente la visualización de datos al mantenedor (no implementan un sistema de notificaciones, estado de operatividad, etc). En el momento que se contemplan soluciones más completas y genéricas, como las de Systemtronic S.L. que implementan un sistema de notificaciones y sondas de alta precisión (NTC y PTC), no encontramos soluciones difíciles de amortizar: requieren adaptar gran parte de la instalación para su implementación elevando sustancialmente el coste final ya siendo elevado el coste de sus componentes.

A la hora de valorar el precio de un equipo de monitorización y control se tiene en cuenta que, el ahorro solar de una familia estándar, en un clima mediterráneo, puede variar entre 125 a 250 euros por año dependiendo de la energía de respaldo utilizada. Lo que implica, que los costes totales de operación y mantenimiento no deberían de superar los 40€ al año si no queremos que el ahorro solar neto sea tan reducido para el propietario que, este, acabe por no valorar el sistema de energía solar térmica pudiendo, finalmente, optar por parar la instalación o desestimar su mantenimiento. Siguiendo esta línea, si nos centramos en un mantenimiento estándar para edificios residenciales de unas 20 viviendas con un coste anual de 1.000€, una empresa de operación y mantenimiento podría llegar a invertir 500€ en un nuevo sistema de monitorización y control telemático si reduce su margen industrial del 30% (margen promedio actual en el sector) al 20% y firma un contrato de mantenimiento de mínimo 5 años (ver cálculos a continuación).

$$1000 \cdot 0.20 = 200 \text{ € nuevo margen industrial anual}$$

$$1000 \cdot 0.30 = 300 \text{ € antiguo margen industrial anual}$$

$$300 - 200 = 100 \text{ € margen de dinero a invertir en 5 años}$$

$$100 \cdot 5 = 500 \text{ € de inversión total}$$

En resumen, para estar en línea con el mercado existente, los sistemas de monitorización con funciones telemáticas destinados a edificios residenciales deberían rondar los 500€. Un precio acorde a mercado favorece la implantación, y en este caso, a mayor implementación satisfactoria mayor aportación a la mejora del parque solar térmico de edificios residenciales.

2.5 Conclusiones

Tras hacer un análisis de los antecedentes (punto 1.2), los sistemas actuales de monitorización (punto 2.4) y el contexto histórico de los sistemas de energía solar térmica para ACS en España (punto 2.2) y Cataluña (punto 2.3), podemos concluir que el desarrollo de un kit de control y monitorización telemática de bajo coste para sistemas de energía solar térmica en multivivienda (objetivo principal de esta tesis) puede ser de gran interés tanto de cara a empresas de mantenimiento como a usuarios, debido a que:

a) Las soluciones existentes de monitorización y control tienen un coste elevado para los sistemas de solar térmica de ACS ya que están enfocadas a instalaciones de otra envergadura o con un objetivo distinto al de la producción de ACS y, aquellos más económicos, carecen de funcionalidades que aporten valor y ayuden a solventar algunos de los inconvenientes en la solar térmica en España (ver 2.2) y Cataluña (ver 2.3). Incluso, en algunos casos, las instalaciones han de estar diseñadas para su implantación o carecen de servicios asociados que aporten valor de cara al propietario o usuario final.

b) Una parte de las instalaciones de solar térmica en España, y especialmente en Cataluña, no funciona en condiciones óptimas, o están paradas, repercutiendo de forma negativa en la reputación de la tecnología sin contribuir al ahorro energético ni a la disminución de la contaminación. Requieren de acciones de mantenimiento que garantice su buen funcionamiento.

Diseñar un kit que solucionase los problemas detectados en las soluciones existentes contribuiría a solucionar una parte de los problemas actuales presentes en la energía solar térmica en España y Cataluña: un kit lo más independiente posible del diseño de la instalación y sencillo de implementar, adecuado al mercado al que va destinado, de bajo coste y con servicios asociados que aporten valor (notificaciones, visualización de datos, detección del estado de operatividad, etc), tanto a propietarios como mantenedores, reduciría las barreras de entrada cara a su implementación.

Por lo tanto, contribuyendo a un aumento de la implantación de kits de esta índole, se contribuiría notablemente a la mejora de rendimiento de las instalaciones existentes, así como a la puesta en marcha de aquellas que actualmente no están en funcionamiento, incrementando el ahorro energético y disminuyendo la contaminación. A la vez, si esto sucede, se estaría contribuyendo de forma indirecta al aumento de la reputación de la tecnología; aumento favorecido de forma directa por los servicios relacionados con el kit, como podrían ser las notificaciones telemáticas de ahorro, de producción de energía, de reducción de contaminación o de estado de la instalación.

3 Diseño del equipo de control y monitorización

En este capítulo se documenta todo aquello relacionado de forma directa con el diseño del equipo, lo que incluye, las bases para el diseño; los componentes y conexiones del equipo; protocolos de comunicación; diseño de la infraestructura TIC; la explicación sobre los servicios asociados y, por último, breves apuntes sobre las decisiones que se han tomado a la hora de elaborar el diseño.

Con tal de facilitar la comprensión del diseño descrito a lo largo de este capítulo se adjunta una figura (Ilustración 11) donde se presenta un esquema conceptual del equipo y de las interacciones entre diferentes módulos y unidades que lo conforman.

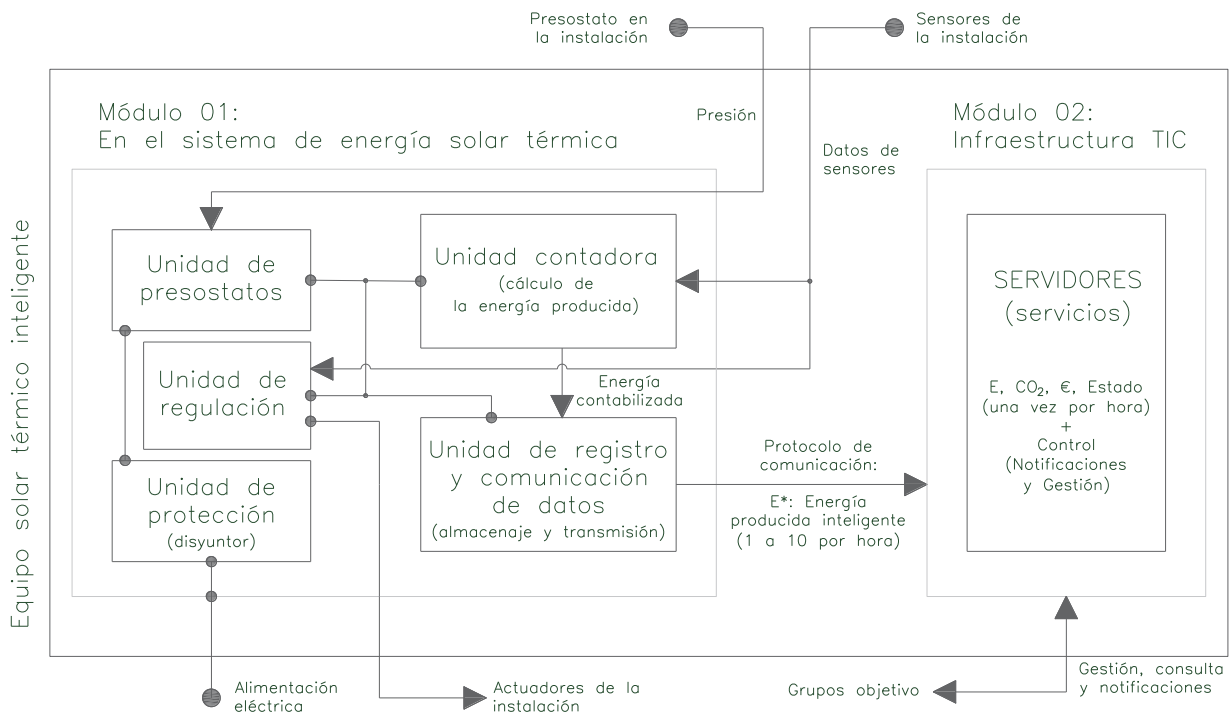


Ilustración 11: Diseño conceptual del equipo de control y monitorización telemática de bajo coste para sistemas de energía solar térmica en multivivienda.

Parte de este capítulo contienen fragmentos traducidos del artículo “Open data solar thermal meter for smart cities” A. González Valero, J. Cadafalch, R. Consul y R. Ruiz [43]. En el artículo se procedió a describir el equipo a nivel de diseño, así como su integración con la plataforma open data Sentilo [44] (un servicio externo asociado al equipo). Además, también contiene información presente en la patente derivada de este proyecto [45].

3.1 Bases del diseño

El diseño del equipo tiene por objeto un equipo de control y monitorización telemática de bajo coste para sistemas de energía solar térmica en multivivienda con una potencia máxima de 70 kW. Equipo que tiene como finalidad contribuir a mejorar el mantenimiento de las instalaciones de energía solar térmica, tanto existentes como nuevas, mediante la obtención de datos de la instalación de forma periódica y el envío de estos, una vez procesados, a aquellas personas que puedan estar interesadas. Estas personas serán identificadas como los *grupos objetivo*.

Con la tecnología actual es posible monitorizar cualquier sistema solar térmico de forma remota mediante la adquisición y envío de datos en pequeños intervalos de tiempo (en el rango de segundos o incluso menor). Sin embargo, cuanto mayor es el número de sensores (mayor número de datos obtenidos) y de intervalos de comunicación más aumentan los costes totales de implantación y comunicación.

Con el fin de que el equipo solar térmico sea aceptado de buen grado por el mercado y, de esta manera contribuya a cumplir con los objetivos planteados, su coste de comunicación y de implantación (mano de obra, intrusión y unidades a instalar incluyendo sensores) debe de ser el menor posible. Por ello, el equipo está diseñado para ser poco intrusivo con la instalación (modularidad - adaptabilidad) así como para automatizar y simplificar tanto como sea posible la comunicación entre los *grupos objetivo* y la planta solar monitorizada. Teniendo en cuenta que, para el objetivo final perseguido, ha de cumplir con dos funcionalidades principales: la posibilidad de visualizar en remoto el histórico de los datos de estado y producción de la planta (para facilitar su monitorización) y, la generación automática de correos electrónicos (para mantener informados a los diferentes *grupos objetivo*); funcionalidades diseñadas para el usuario que le permitan controlar que el funcionamiento de la instalación es el adecuado.

En línea a lo comentado, el desarrollo del diseño se ha llevado a cabo aplicando una implantación integral de tres conceptos:

1. **Técnica avanzadas TIC:** la nube, análisis de datos, algoritmos inteligentes, comunicación M2M (“machine to machine”), etc.
2. **Comunicación automática con todos *grupos objetivo*:** empresas de operación y mantenimiento, propietarios, agencias de la energía o entidades de control.
3. **Medición inteligente:** minimización práctica de los datos medidos para la reducción de coste en planta y en comunicación.

No obstante, hay otros factores que también han influenciado en el desarrollo del diseño, como normativas que se aplican a este tipo de sistemas que indican qué cantidad de variables hay que monitorizar y regular. Estos factores no se documentan en este apartado, sino que están incluidos en el apartado “3.8 Análisis y decisiones principales para el diseño”.

3.2 Componentes

El equipo solar térmico inteligente está dividido en dos módulos: el módulo 01, encargado de contabilizar la energía producida y transmitirla, así como de proteger la instalación, pudiéndose, en algunos casos, acoplar funciones de regulación y, el módulo 02 (común a todos los equipos), encargado de procesarla e interactuar con los *grupos objetivo*.

El módulo 01, implantado en planta, está formado por los siguientes componentes: a) una unidad de protección, b) una unidad de presostatos, c) la unidad de regulación, d) una unidad contadora y, e) una unidad de registro y comunicación de datos. La unidad de control y la unidad contadora en algunos casos pueden ser la misma.

a) **Unidad de protección:** está constituida por un disyuntor, fusible o elemento equivalente que limita la potencia eléctrica máxima (entre 250 W y 2500 W en función de la aplicación).

b) **Unidad de presostatos:** está constituida por un circuito que dirige la corriente proveniente de la unidad de protección a las otras unidades del módulo. La unidad puede cortar la alimentación eléctrica de las demás unidades en función de la presión de la instalación.

c) **Unidad de regulación:** está constituida por un elemento electrónico que lee los valores de los sensores de la instalación y los procesa con el fin de dar las órdenes de actuación a los actuadores de la instalación para su correcto funcionamiento. La unidad puede ser un regular externo ya existente adaptado al equipo o uno nuevo con parámetros estandarizados integrado en él. En algunos casos, la unidad de regulación y la unidad contadora son la misma unidad formada por un dispositivo (externo o no) que hace las funciones de ambas unidades.

d) **Unidad contadora:** está constituida por un elemento electrónico que lee los valores de los sensores de la instalación y calcula la energía térmica producida.

e) **Unidad de registro y comunicación de datos:** está constituida por un micro ordenador conectado a Internet que lee los valores de la energía contabilizada en la unidad contadora, los almacena y los transmite al módulo 02 en intervalos de tiempo prefijados.

Por otra parte, el módulo 01 también cuenta con el siguiente conjunto de bornes: bornes de conexión para los sensores de la instalación, bornes de salidas de tensión para operar sobre los actuadores de la instalación (bombas, ventiladores, válvulas, etc.), bornes de conexión para la línea de presostatos y, por último, bornes de entrada general para alimentar el propio módulo y todos los sensores y elementos eléctricos del sistema solar.

Respecto al módulo 02, situado en la nube, está formado por una infraestructura TIC encargada de gestionar los datos que le transmite el módulo 01 y procesarlos con el fin de generar alertas y datos característicos de la producción permitiendo así un control sobre el correcto funcionamiento de la instalación.

3.3 Conexionado

Las conexiones entre el módulo 01 y la alimentación general de corriente, así como la conexión de las distintas unidades del módulo 01 a la instalación térmica, se realizan a través de cuatro conjuntos de bornes de conexión: bornes de conexión de sensores, bornes de salidas de tensión, bornes de la línea de presostatos y bornes de entrada de tensión.

El conexionado es el siguiente:

- La unidad contadora se conecta a través de los bornes de sensores al conjunto de sensores de la instalación. Conjunto constituido por sensores necesarios para hacer la lectura de la energía producida. Típicamente son sensores de temperatura y caudal.
- La unidad de regulación se conecta a través de los bornes de salida de tensión a los actuadores de la instalación los cuales pueden ser bombas, ventiladores, válvulas 3 vías, etc. Esta unidad también se conecta a través de bornes de sensores a los sensores necesario (típicamente sondas de temperatura) para tomar las decisiones de control sobre la instalación.
- La unidad de registro y comunicación de datos se conecta a través de un circuito interno a la unidad contadora.

- La unidad de presostatos se conecta a través de los bornes de línea de presostatos a la línea de presostatos de la instalación. Línea constituida por un presostato (relé de presión) ubicado en cada uno de los circuitos hidráulicos del sistema térmico cuya bomba quiera protegerse, y conectados en serie a los bornes de la línea de presostatos. Con esta configuración en caso de bajada de presión en uno o varios circuitos hidráulicos, el circuito eléctrico de alimentación queda abierto, y la unidad de registro y comunicación de datos dejará de comunicar la energía térmica producida al módulo 02.
- La unidad de protección se conecta a través de los bornes de entrada de tensión a la alimentación eléctrica. Todas las demás unidades reciben alimentación eléctrica a través de esta unidad y la unidad de presostatos (en ese orden), de esta manera, los módulos y elementos de la instalación quedan protegidos ante consumos eléctricos excesivos no deseados.

3.4 Protocolos de comunicación

Para la transmisión de datos entre módulos y unidades se usan diferentes protocolos de comunicación. A continuación, se describen los principales:

3.4.1 Entre la unidad contadora y la unidad de registro y comunicación de datos:

Entre estas dos unidades se han usado dos protocolos distintos para la transmisión de la energía producida. Estos protocolos varían en función de la tecnología empleada por la unidad contadora y son: a) el protocolo Bus CAN y b) el protocolo por pulsos eléctricos.

a) El protocolo Bus CAN: es un protocolo diseñado por Robert Bosch GmbH usado principalmente en el sector automovilístico para la comunicación entre los distintos sensores y la centralita presente en un automóvil.

En el equipo este protocolo solamente se utiliza para consultar los datos de energía que la unidad contadora va volcando a la red (cableado entre unidades): es la unidad contadora la que va informando a la red de su estado y de los datos energéticos que ha contabilizado a través de tramas (mensajes) predefinidas (según protocolo) en hexadecimal y, es la unidad de registro y comunicación la encargada de ir escuchando la red para identificar las tramas que contienen los valores de energía producida y, posteriormente, registrar el valor. Cada trama tiene dos dígitos hexadecimales que permite identificar su naturaleza, por ejemplo, según la implantación del protocolo, si al final de la sección para datos de la trama hay un 01 podría ser un dato de energía, o si hay un 03 un dato de estado de relé.

El dato de energía volcado a la red por la unidad contadora es el valor de energía producida acumulada total (desde la implantación y puesta en marcha de la unidad) y, por lo tanto, el registrador, al identificar en la red una trama que contiene este valor, se ha de encargar de calcular el dato incremental de energía producida antes de su transmisión al módulo 02 del equipo.

Las tramas con valores de energía producida acumulada total son transmitidas a la red cada vez que se produce en la unidad contadora un aumento de la producción contabilizada del orden de un 1kWh.

A grandes rasgos, la implantación de este protocolo es sencilla. La unidad de registro y comunicación de datos va registrando todas las tramas CAN de la red en un fichero. Cuando es el momento de transmitir la energía incremental producida al módulo 02 esta unidad busca la última trama de energía acumulada total registrada en el fichero de tramas CAN y el último valor de energía acumulada total empleado en la transmisión anterior (este se

actualiza y se registra en otro fichero con cada transmisión), resta ambos valores y obtiene el incremental de energía producida entre la transmisión anterior y la actual. Posteriormente, transmite el valor calculado al módulo 02 y, una vez transmitido correctamente, procede a poner a 0 el fichero de tramas CAN (es importante de cara a gestionar el espacio disponible en la unidad) y a actualizar el último valor de energía acumulada total empleado, para así, de cara a la nueva transmisión, poder volver a calcular correctamente el valor incremental de energía producida a transmitir. Si de cara a la primera o siguiente transmisión no hay tramas de energía en el fichero de tramas CAN se asume que no ha habido producción energética, y, por lo tanto, se enviaría un incremento de energía producida al módulo 02 del orden de 0 kWh. De la misma forma, si no está registrado el valor de la producción de energía total acumulada de la transmisión anterior usado en el cálculo, se asume que este valor es 0 (esta última situación solo se da en la primera transmisión).

Por otro lado, si la transmisión de energía no se produce de forma satisfactoria debido a un problema en el módulo 02, no se pone a 0 por completo el fichero de tramas CAN ni se actualiza el fichero con el último valor de energía acumulada total empleada. Se procederá con la mecánica descrita en la próxima transmisión de datos planeada. Bajo algunos supuestos, se volverá a intentar una transmisión cada 5 minutos (siempre con valores de energía actualizados).

Para más información sobre este protocolo (formato de tramas, conexas, etc.) se pueden consultar la siguiente referencia: [46] [47].

b) **Protocolo por pulsos eléctricos:** es uno de los protocolos más extendidos en todo tipo de contadores. La unidad contadora va conectada mediante un esquema eléctrico de dos hilos y una resistencia a la unidad de registro y comunicación de datos. Cuando se produce un aumento en la energía producida del orden de $n \text{ kWh}$ la unidad contadora envía un pulso eléctrico hacia la unidad de registro y comunicación de datos. Esta última, lo percibe y los registra en un fichero. En el momento de transmitir la energía incremental al módulo 02, la unidad de registro y comunicación de datos procesa el fichero donde tiene registrado todos los pulsos y calcula la energía a transmitir (número de pulsos registrados multiplicado por $n \text{ kWh}$). Una vez la transmite pone a 0 el fichero donde se han ido registrando los pulsos, para así, de cara a la siguiente transmisión, pueda volver a calcular de forma correcta el de energía producida incremental a transmitir. Si de cara a la primera o siguiente transmisión no hay ningún pulso registrado se asume que la energía producida incremental es del orden de 0 kWh.

Por otro lado, parecido al otro protocolo descrito, si la transmisión de energía no se produce de forma satisfactoria debido a un problema en el módulo 02, no se pone a 0 el fichero con los pulsos contabilizados. Se procederá con la mecánica descrita en la próxima transmisión de datos planeada. Bajo algunos supuestos, se volverá a intentar una transmisión cada 5 minutos (siempre con valores de energía actualizados).

3.4.2 Entre el módulo 01 y el módulo 02 del equipo.

Entre el módulo 01 y el módulo 02 se transmite el valor de energía incremental junto al identificador del equipo. Se aplican dos protocolos para la comunicación entre el módulo 01 y el módulo 02: a) el protocolo TCP/IP y b) un protocolo de cifrado para la securización de los datos.

a) **Protocolo TCP/IP:** es el protocolo principal utilizado para la comunicación entre dispositivos/ordenadores vía internet. Ambos extremos de la comunicación deben de tener asociada una dirección IP para que la comunicación entre dispositivos se realice de forma correcta.

Sin extendernos mucho en su funcionamiento, en nuestro caso, cada unidad de registro y comunicación de datos del módulo 01 tiene registrada una dirección DNS, a través de la cual, obtiene una dirección IP a la que transmitir el valor de energía incremental producida junto al identificador del equipo. Esta dirección IP está asociado a un servidor en el módulo 02, encargado de recibir el mensaje, procesarlo y, posteriormente, almacenarlo en una base de datos.

Este protocolo se puede asociar tanto a redes (interconexión entre dispositivos) cableadas como a redes inalámbricas. En el diseño se usan redes inalámbricas para la transmisión de los datos entre el módulo 01 y el módulo 02, pero es totalmente compatibles con redes cableadas.

La transmisión entre módulos no es bidireccional, siempre se produce desde la unidad de registro y comunicación de datos hacia el módulo 02. De hecho, por cuestiones de seguridad, los equipos no son accesibles desde máquinas de fuera de su red y sin una conexión previamente iniciada por ellos.

Para más información sobre Internet o sobre este protocolo ver: [1] [48].

b) **Protocolo de cifrado:** los valores de energía (que van junto al identificador del equipo) transmitidos desde el módulo 01 al módulo 02 van cifrados mediante un algoritmo de cifrado simétrico por bloques llamado Rijndael [49].

Cuando un valor va a ser transmitido al módulo 02 por la unidad de registro y comunicación de datos, esta lo cifra mediante el algoritmo mencionado utilizando una clave conocida entre el dispositivo y el servidor destino en el módulo 02. Una vez el servidor recibe el dato, este lo descifra, ya que conoce la clave original de cifrado, y, posteriormente, separa el valor de energía del número de identificación de dispositivo y procede a almacenar el par dispositivo-energía en una base de datos.

3.5 Infraestructura TIC

La infraestructura TIC que forma parte el módulo 02 no ha sido exclusivamente diseñada para dar respuesta al equipo desarrollado en el marco de esta tesis, sino que también forma parte de otros proyectos relacionados con energías renovables, por ello, su estructura y capacidad computacional está por encima de los requerimientos para este proyecto y no se va a documentar a ese nivel de detalle.

En línea con el párrafo anterior, la complejidad y dimensiones de la infraestructura (en relación con el equipo) variará en función de los servicios que se quieran prestar, el número de datos a tratar, el número de datos a almacenar y el número de transmisiones (no necesariamente simultaneas) recibidas y emitidas. Cuanto más usuarios, más servicios, más transmisiones y más carga de datos, más probabilidad de que sea necesario aumentar o reorganizar la infraestructura TIC para dar soporte a la carga de trabajo. A más infraestructura TIC más alto sería el coste final de esta.

El factor que más determinaría la complejidad o las dimensiones de la infraestructura sería la cantidad de plantas monitorizadas, ya que este factor está estrechamente relacionado con el número de transmisiones a recibir o emitir y, la cantidad de datos finales a almacenar y tratar. A más plantas monitorizadas más transmisiones entrantes a la infraestructura y, por lo tanto, más datos a generar y guardar y, simultáneamente, más datos a transmitir desde la infraestructura a los *grupos objetivos*.

En la actualidad, la infraestructura está compuesta por dos servidores: a) el servidor de aplicativos y b) el servidor de datos.

a) El servidor de aplicativos: este servidor contiene todos los servicios enfocados a los *grupos objetivo*, por lo tanto, es el encargado de procesar los datos de energía, ejecutar los servicios de alertas (entre de otros) y de almacenar y poner a disposición de los *grupos objetivo* los diferentes aplicativos relacionados con el equipo (visualización de datos, gestión de equipos, gestión de *mailing*, etc.).

b) El servidor de datos: este servidor contiene todas las bases de datos necesarias para que el servidor de aplicativos pueda realizar sus funciones (por ejemplo, las bases de datos de usuarios de los aplicativos, así como de las configuraciones de sus instalaciones). Además, es el encargado de recibir las transmisiones des de los módulos 01 del equipo, procesarla y almacenar los datos que contenga.

3.6 Notificaciones: alertas de estado

Las alertas forman parte de la columna vertebral del equipo desarrollado puesto que estas añaden la capacidad de controlar el estado de la instalación a un precio muy reducido (casi 0) diferenciándolo y aportándole valor respecto a los equipos existentes. La detección de una disfunción mediante una alerta automática permite reducir los tiempos en los que los sistemas están parados por disfunciones (o no funcionan como debería debido a ellas). En sí, una alerta es un aviso del estado de una instalación.

En términos generales se han definido cuatro tipos de estados para una instalación junto a dos periodicidades de detección diferentes: una instantánea (cada hora) y una diaria (cada 24 horas); dando como resultado dos estados simultáneos para la instalación de entre los cuatro tipos definidos y según el periodo de detección. A modo resumen, se describe en la Tabla 2 los tipos de estados junto a la periodicidad de detección y los criterios utilizados para ella.

Tabla 2: Estados de una planta y criterios de detección.

Estado	Instantáneo (cada hora)	Diario (cada 24 horas)
N No Lectura	No hay datos	Al finalizar el día hay más de un X % de “no lectura” (N) instantáneas.
E+ Sobreproducción	Lectura superior a X kWh	Al finalizar el día se ha producida una E+ instantánea o bien la producción mensual es superior al X % de la producción mensual proyectada.
E- Baja producción	Lectura inferior a X kWh	Al finalizar el día la producción mensual es inferior al X % de la producción mensual proyectada.
Ok Sin alertas	No hay alertas instantáneas	No hay alertas diarias

La relación entre estado y disfunción pretende ser una guía para identificar cual es la disfunción probable que la ha generado y, en consecuencia, identificar aquellos elementos que se deberían de revisar. No se pretenden cubrir todas las disfunciones posibles, sino poner énfasis sobre aquellas causas más comunes para, de cara a inspeccionar la instalación, priorizar los elementos más susceptibles de haber ocasionada la alerta.

En la Tabla 3 se muestra un listado de las disfunciones más frecuentes que se pueden producir en una planta junto a las alertas de disfunción que generan siendo E+ una alerta de sobre producción, E- una alerta de baja producción y un N una alerta de no lectura.

Tabla 3: Disfunciones más comunes en instalaciones solares térmicas de agua caliente sanitaria en relación a las alertas generadas por el equipo de control y monitorización inteligente.

Disfunción	Alerta instantánea			Alerta diaria		
	N	E+	E-	N	E+	E-
D1. Fuga *	X			X		
Este tipo de disfunción se caracteriza por una generación de alerta de “no lectura” (N) que no desaparece en el tiempo.						
D2. Bajadas de presión *	X			X		
Este tipo de disfunción se caracteriza por una generación de alerta de “no lectura” (N) en intervalos de tiempos delimitados, como, por ejemplo, en horas nocturnas.						
D3. Corte de alimentación	X			X		
Este tipo de disfunción se caracteriza por una generación de alerta de “no lectura” (N) que no desaparece en el tiempo o que se produce de forma puntual un único día (sin patrón aparente).						
D4. Errores en sondas o contador		X	X		X	X
Las sondas defectuosas o mal colocadas, así como contadores energéticos en mal estado o defectuosos, pueden causar errores en las mediciones. Estos errores pueden generar alertas de baja producción o sobreproducción.						
D5. Errores en válvulas			X			X
Los problemas causados por las válvulas en el control del flujo pueden generar alertas de baja producción.						
D6. Suciedad y aire			X			X
La suciedad y el aire dificultan la circulación del líquido caloportador en el sistema solar pudiendo causar pérdidas de rendimiento. Estas pérdidas de rendimiento pueden generar en una alerta de baja producción.						
D7. Defectos en bombas			X			X
Los defectos en bombas pueden afectar al rendimiento del sistema solar al ser las responsables de hacer circular el líquido caloportador. Esta pérdida de rendimiento puede generar una alerta de baja producción.						

Por otra banda, hay alertas que pueden ser causadas por disfunciones asociadas al dispositivo desarrollado y su configuración. Estas están documentadas en la Tabla 4.

Tabla 4: Disfunciones propias del dispositivo en relación a las alertas que pueden generar.

Disfunción	Alerta instantánea			Alerta diaria		
	N	E+	E-	N	E+	E-
P1. El dispositivo no comunica	X			X		
La disfunción se caracteriza por una de alerta de “no lectura” (N) que no desaparece en el tiempo. Ante un periodo de “no lectura” de más de 3 días seguidos y, descartadas otras disfunciones, revisar la conexión del dispositivo.						
P2. Errores en proyecto		X	X		X	X
Alertas asociadas a una proyección errónea de la producción energética mensual esperada de la planta.						

3.7 Servicios desarrollados para los *grupos objetivo*

Todos los servicios enfocados a los *grupos objetivo* y asociados al equipo de control y monitorización están implementados en el módulo 02 de éste, es decir, en la infraestructura TIC.

Cuando hablamos de servicio de forma genérica, nos referimos a la voluntad de la empresa de RDmes Technologies S.L. de ofrecer aplicaciones (autónomas o no) a los *grupos objetivo* que permitan la gestión del equipo, la visualización de datos, la generación de informes y el envío de alertas. Todas las aplicaciones han sido desarrolladas durante la ejecución de este proyecto y están bajo la denominación de SeYe.

SeYe es una aplicación web integrada en la plataforma web Omnilus de RDmes Technologies S.L y, en línea a lo mencionado con anterioridad, acoge todas las aplicaciones desarrolladas para dar servicio a los *grupos objetivo*. La aplicación está estructurada en dos partes principales: el front-end y el back-end.

El front-end, a grandes rasgos, es la interfaz de usuario, es decir, la parte del aplicativo web a través de la cual los *grupos objetivo* interactúan con las herramientas desarrolladas. Esta parte está desarrollada mediante un lenguaje de maquetación como HTML [50], un lenguaje de scripting como JavaScript (ECMAScript) [51] [52] y paquetes de software libre [17] como ExtJS [53].

El back-end constituye todo el software encargado de gestionar y ejecutar las peticiones de los usuarios. Este se compone de un conjunto de paquetes de software que se ejecutan o están en ejecución constante en aquel sistema operativo que los contiene. Estos paquetes usan lenguajes de base de datos como SQL [54] [55] y están mayormente desarrollados en Python [56] [57] y C++ [58] [59]. A la vez, los paquetes, en muchas de sus operaciones, usan librerías de terceros que entrarían en el ámbito del software libre como: la biblioteca científica GNU GSL [60] para cálculos de detalle técnico y algoritmos matemáticos, el motor de diseño gráfico GLE [61] para gráficas y, el sistema de preparación de documentos LaTeX [62]. Por otra parte, se utiliza lenguajes como XML [63] y JSON [64] para el almacenaje de cierta información y el traspaso de esta entre aplicativos (también entre back-end y el front-end).

La parte web del back-end que forma parte del aplicativo web está desarrollado en el lenguaje PHP [65].

Todo el aplicativo web y todos los documentos que se generan a través de él residen en el servidor de aplicativos de la infraestructura TIC. Por otro lado, todos los datos utilizados y generados por la aplicación se almacenan en una base de datos relacional en el servidor de datos. Ambos servidores están gobernados, cada uno de forma independiente, por un sistema operativo Linux.

Para utilizar la aplicación web SeYe y, por lo tanto, las herramientas que contiene, primero se han de realizar los siguientes pasos:

1. Registrarse en la plataforma web Omnilus mediante un correo electrónico y una clave. El correo electrónico equivale a un usuario de la plataforma y la clave a las credenciales de acceso a esta.
2. Acceder a la plataforma mediante el correo electrónico y la clave introducida en el registro.
3. Una vez se accede, crear un perfil. Un usuario puede crear múltiples perfiles y estar en tantos otros (ya sean creados por él o mediante la invitación de otro usuario). Cada perfil contiene todas las aplicaciones integradas en Omnilus y su propia configuración (nombre, moneda, usuarios y sus permisos, contactos, etc.). Un usuario puede cambiar indistintamente entre perfiles de los que es partícipe. Son el contexto en el que se engloba las acciones de un usuario con una aplicación.
4. Acceder a un perfil del que somos partícipe y acceder a la aplicación SeYe.

3.7.1 Aplicación SeYe

La aplicación SeYe, en su conjunto, permite la gestión de la monitorización y control de estado de una instalación de energía solar térmica. Esta instalación tiene que estar dotada de un sistema de monitorización capaz de transmitir datos de energía incrementales a la infraestructura TIC. El sistema de monitorización a emplear puede ser el equipo aquí diseñado u otro distinto que haya adoptado el protocolo de comunicación entre módulos que éste emplea.

Una vez se accede a SeYe, para poder monitorizar una instalación lo primero que hay que hacer es reclamar los equipos que se tienen en posesión, para que, de esta manera, a posterior, ningún otro perfil lo pueda utilizar y lo podamos sincronizar con una planta (ente a crear). Para ello hay que acceder a la herramienta pertinente (menú administrar > dispositivos) y proceder a reclamarlo mediante el número de serie y la clave asociada a él. En la Ilustración 12 se muestran los pasos para ello.

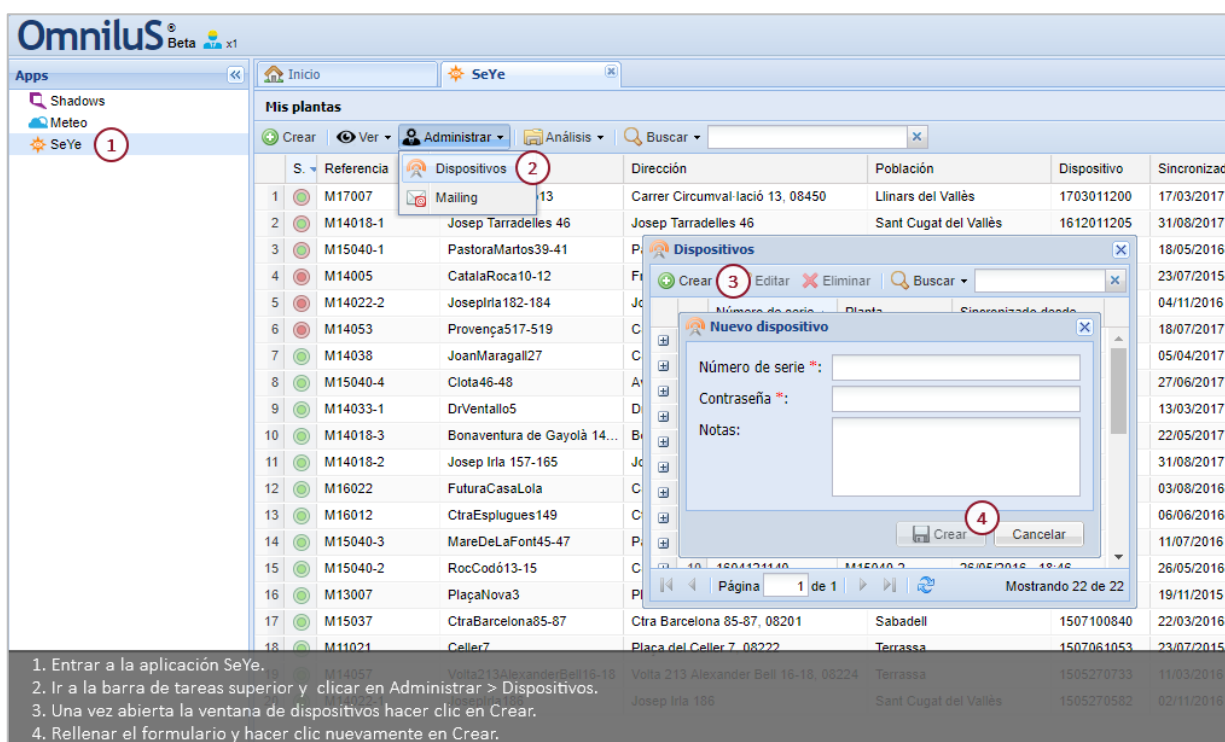


Ilustración 12: SeYe: pasos para reclamar un equipo de monitorización y control.

Una vez se ha reclamado un equipo, aparte de asociarlo a una planta, se le puede asociar una breve descripción o renunciar a él.

Tras reclamar un equipo es el momento de asociarlo o sincronizarlo a una planta. Una planta es una entidad de SeYe que representa un sistema de energía solar térmica. Cada planta debe ser creada y definida en su totalidad para el buen funcionamiento de los algoritmos de generación de alertas e informes. Esto incluye especificar, para cada una de las plantas, valores como la producción mensual proyectada o el tipo de sistema de respaldo utilizado.

La herramienta para crear una planta está situada en la barra de tareas principal de la aplicación y la herramienta para sincronizarla con un equipo se encuentra en el menú contextual de una planta ya creada. En la Ilustración 13 se muestra cómo crear una planta y en la Ilustración 14 como sincronizarla con un equipo.

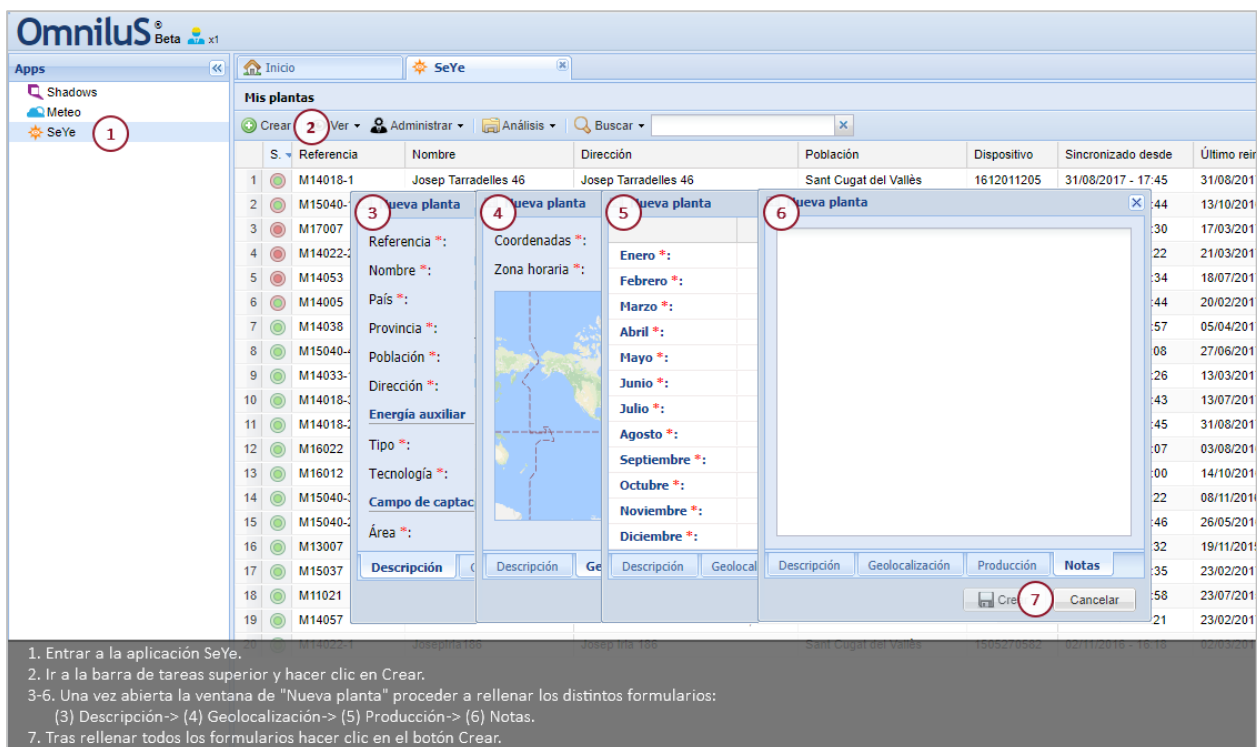


Ilustración 13: SeYe: pasos para crear una planta.

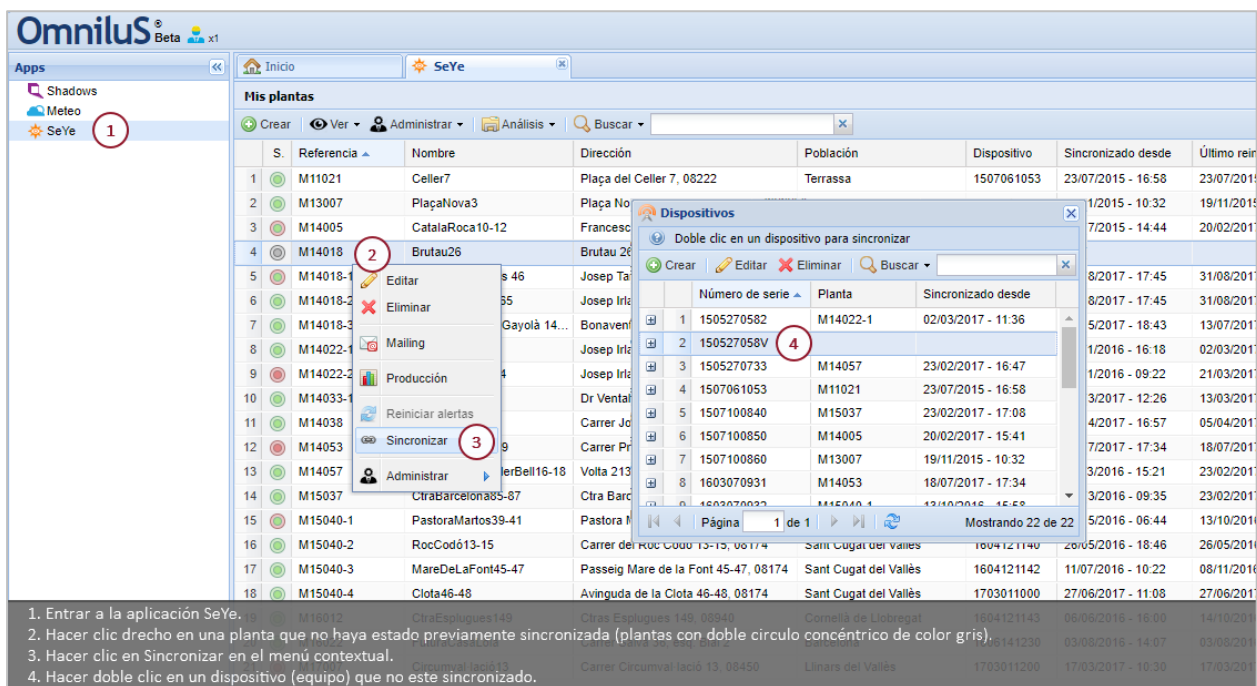


Ilustración 14: SeYe: pasos para sincronizar una planta con un equipo.

Una planta ya creada se puede editar, borrar, cambiar de usuario y cambiar de perfil. Las plantas creadas se muestran en una lista o en un mapa geolocalizadas donde a simple vista, en dos círculos concéntricos, se puede ver el estado horario y diario de la planta, así como sus datos más identificativos.

Sincronizar una planta con un equipo es el paso primordial para que se comiencen a generar datos energéticos, alertas e informes. Sin este paso los algoritmos autónomos encargados de ello omiten procesar los valores energéticos transmitidos por el módulo 01. Se consideran huérfanos (no pertenecen a ninguna planta) a la espera de ser reclamados. Hay que tener en cuenta que lo importante del equipo es lo que nos aporta, que en este caso son valores de energía incrementales. Estos valores, si se asocian al equipo y no a un sistema de energía solar térmica carecen de valor. El equipo es la herramienta que proporciona los valores pertenecientes a un sistema para su monitorización, por ello, a nivel de aplicación es fundamental crear el vínculo entre una entidad digital que represente el sistema monitorizado y el sistema real. Una entidad que permita asociarle los valores de energía pertinentes. Además, es importante conservar los históricos de los datos energéticos de un sistema ante, por ejemplo, un cambio de equipo de monitorización en el lugar. Algo difícil de garantizar si los datos se asocian solamente al dispositivo de monitorización. A fin y a cuentas, una planta real es “estática”, pero, sin embargo, puede contener diferentes equipos de monitorización a lo largo de su existencia.

Tras la sincronización se puede: a) visualizar los datos energéticos, b) generar informes y c) configurar las notificaciones de alertas e informes. Además, en todo momento una planta sincronizada se puede desincronizar sin perder los datos de energía ya generados.

a) **Visualizar los datos energéticos:** los datos energéticos que se pueden visualizar son de orden mensual, diario y horario; y son fruto de la monitorización del sistema de energía solar térmica. En concreto, los datos son valores de producción energética, de ahorro económico y de reducción de emisiones de CO₂. Además, en el caso de los datos horarios y diarios se incluye valores representativos del estado de la instalación monitorizada.

Los datos se muestran en forma de tabla, aunque los valores mensuales de la producción energética se pueden visualizar en forma de gráfica (ver Ilustración 15). Las tablas se pueden descargar en formato Excel o csv y las gráficas en formato png.

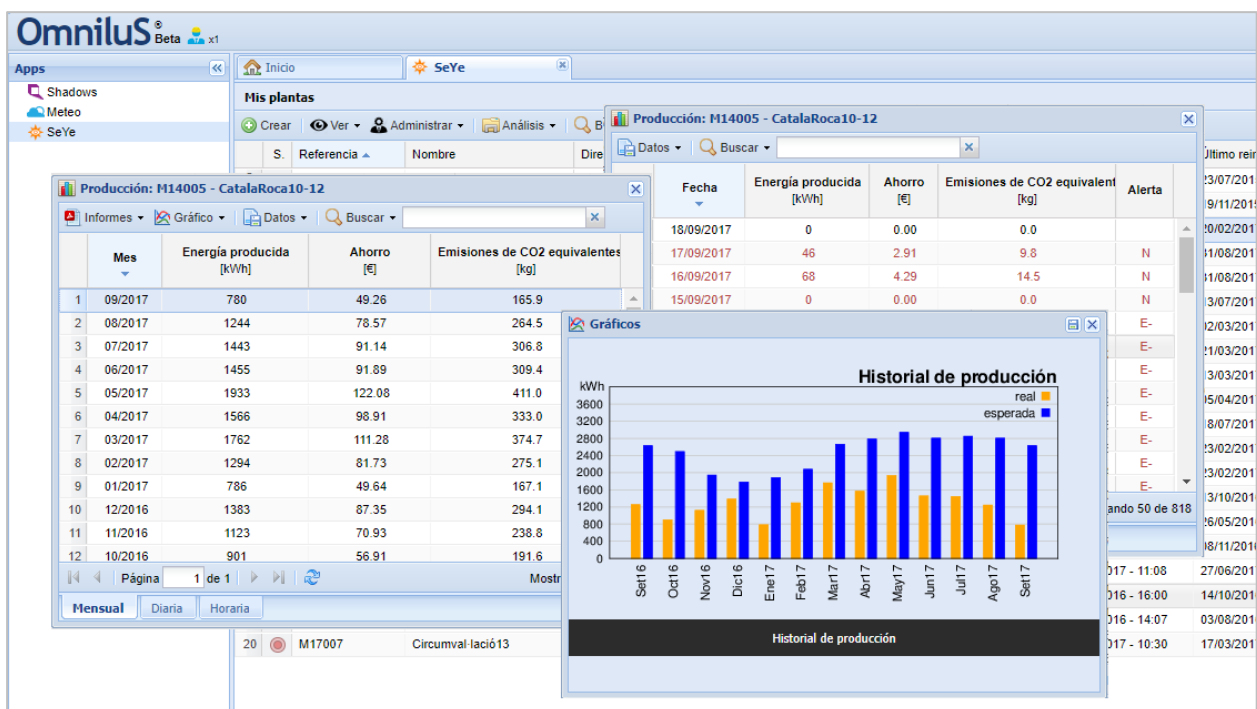


Ilustración 15: SeYe: ejemplo de la visualización de datos energéticos de una planta.

b) **Generar informes:** se pueden generar dos informes. El primer informe es sobre la producción energética mensual de una planta y muestra, para una planta, los datos energéticos para un mes solicitado junto a un análisis de la producción anual acumulada y una gráfica comparativa mes a mes entre la producción real y la estimada en el periodo de un año. La Ilustración 16 muestra como generar este informe y la Ilustración 17 el informe en sí.

1. Entrar a la aplicación SeYe.

2. Hacer clic derecho en una planta y hacer clic sobre Producción.

3. En pestaña mensual de la ventana producción seleccionar un registro de datos energéticos mensual y hacer clic derecho.

4. Navegar hacia informe mensual por el menú textual hasta informe comparativo:
 Descargar-> Informes-> Comparativo.

Ilustración 16: SeYe: pasos para generar un informe de la producción energética mensual.

INFORME MENSUAL
 Fecha del informe: 18 Set 2017
 Periodo de análisis: Set 2017

Energía producida 782.0 kWh
Ahorros 49.4 €
Emisiones equivalentes de CO₂ 166.3 kg

Historial de producción

Mes	Producción Real (kWh)	Producción Esperada (kWh)
Set16	1200	2500
Oct16	1000	2400
Nov16	1100	2000
Dic16	1300	1800
Ene17	1400	1900
Feb17	1500	2100
Mar17	1600	2300
Abr17	1700	2400
May17	1800	2500
Jun17	1900	2400
Jul17	2000	2300
Ago17	2100	2200
Set17	2200	2100

Producción anual acumulada
 Periodo de análisis: Oct 2016 hasta Set 2017
Energía producida: 15672 kWh
Ahorros: 990 €
Emisiones equivalentes de CO₂: 3332 kg

Cliente
 Dirección: Francesc Català Roca 10-12, 08222
 Localidad: Terrassa
 Referencia: M14005

Detalles del cálculo
 Energía de apoyo: Gas natural
 Caldera de condensación
 $\eta = 0.95$

Ahorros
 $782.0 \text{ kWh} \cdot 1/\eta \cdot 0.060 \text{ €/kWh} = 49.4 \text{ €}$

Emisiones equivalentes
 $782.0 \text{ kWh} \cdot 1/\eta \cdot 0.202 \text{ kgCO}_2/\text{kWh} = 166.3 \text{ kgCO}_2$

Ilustración 17: SeYe: informe de la producción energética mensual.

El segundo informe es un informe comparativo entre todas las plantas en forma de tabla para un intervalo de tiempo dado. En él, para cada planta, se muestran datos de interés como la ratio producción real /estimada, entre de otros. La Ilustración 18 muestra una previa del informe en SeYe y como este se puede generar.

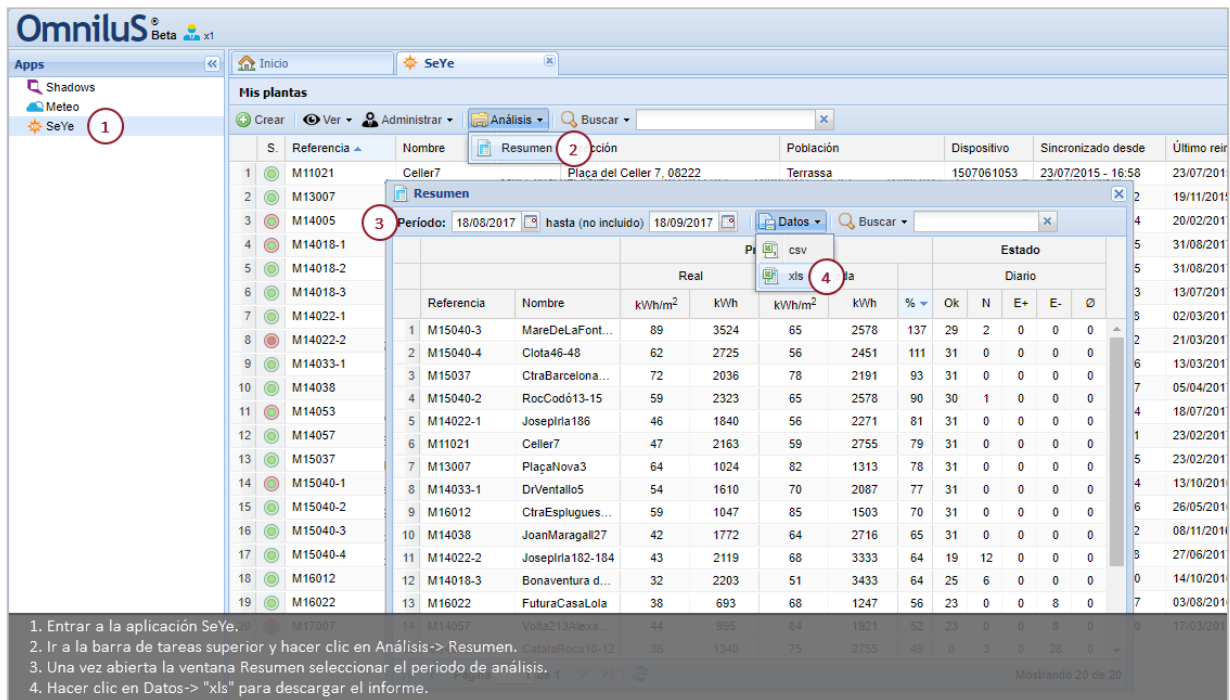


Ilustración 18: SeYe: pasos para generar un informe comparativo de las plantas.

c) **Configurar las notificaciones de alertas e informes:** Existen tres tipos de notificaciones: de alertas diarias, de alertas horarias e informes mensuales; configurables vía planta (ver Ilustración 19) o vía usuario (ver Ilustración 20).

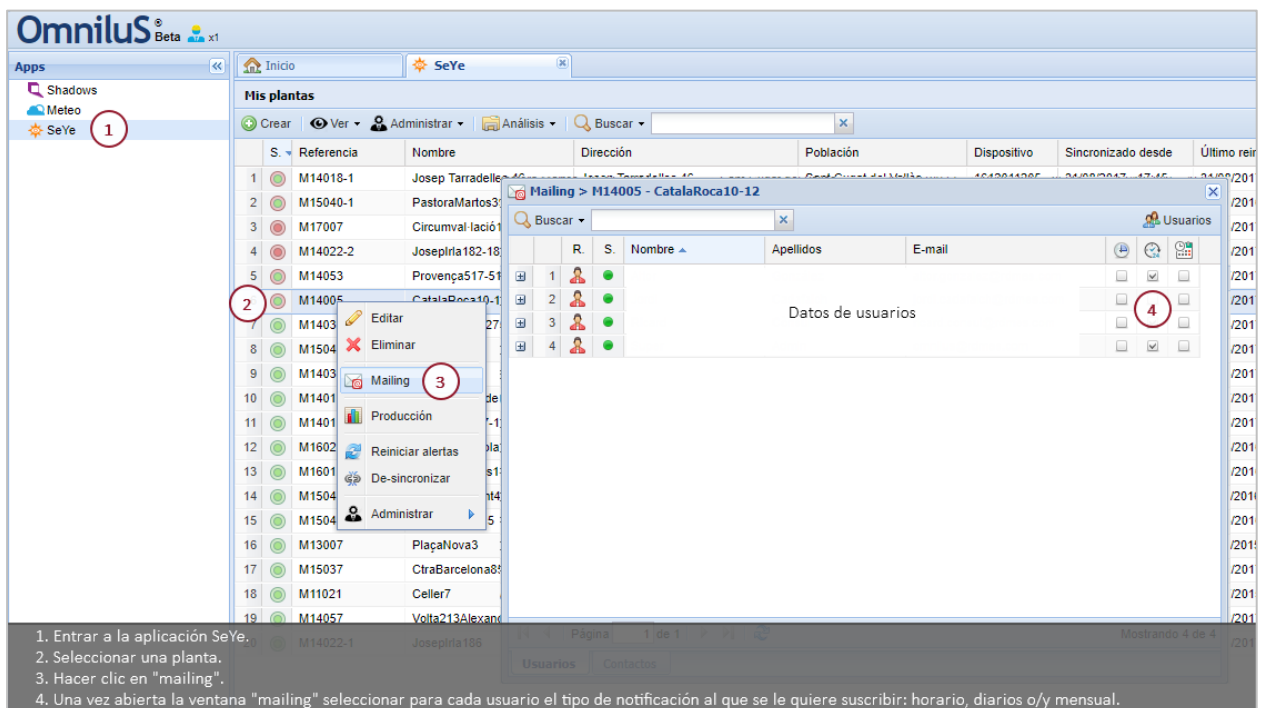


Ilustración 19: SeYe: pasos para gestionar las notificaciones vía planta.

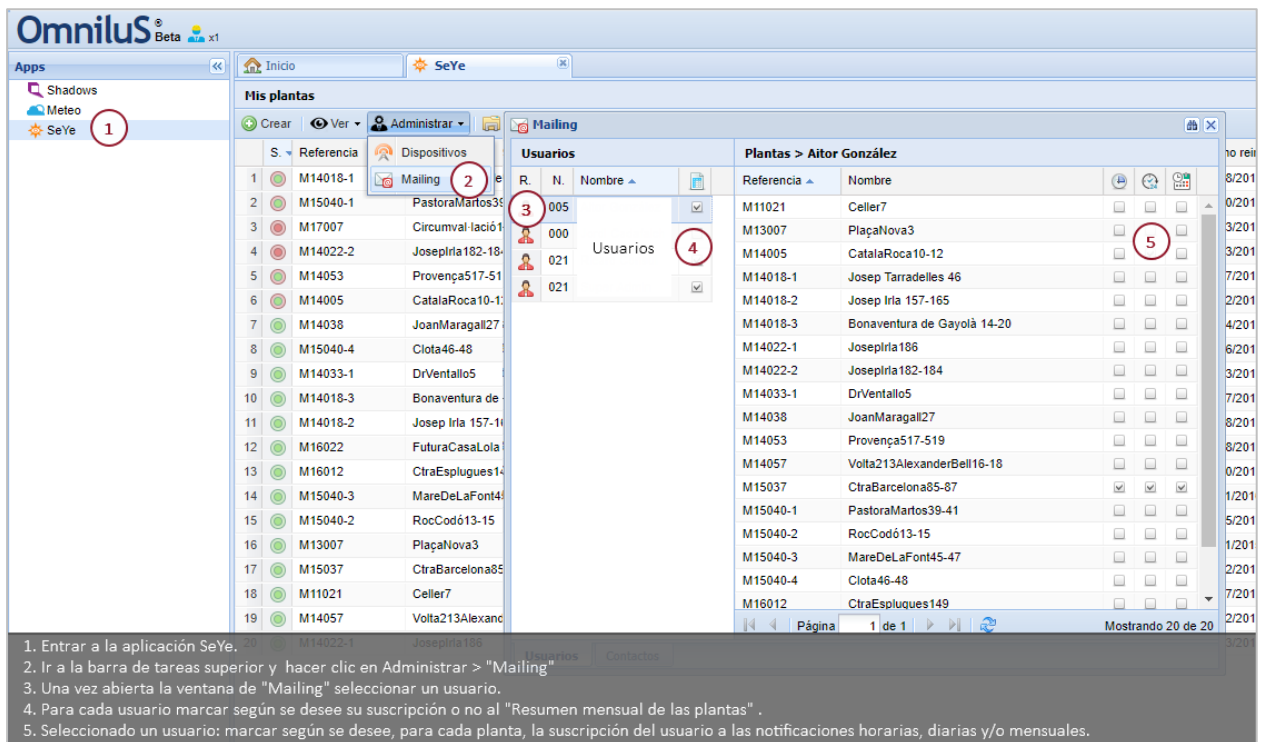


Ilustración 20: SeYe: pasos para gestionar las notificaciones vía usuario.

Las alertas horarias son alertas específicas de una planta. Se generan y se notifican cada hora para aquellas plantas en las que se ha producido un cambio de estado, por ejemplo, de "no lectura" a un estado de "normalidad". La Ilustración 21 muestra un ejemplo de este tipo de alertas.

SeYe - RDmes			Fecha del informe: 21/09/2016 12:00:00
Referencia	Nombre	Dirección	Nuevo estado
M15040-3	MareDeLaFont45-47	Passeig Mare de la Font 45-47, 08174, Sant Cugat del Vallès	N

Ilustración 21: SeYe: ejemplo de notificación vía correo electrónico de las alertas horarias.

En lo referente a las alertas diarias, son alertas que se generan y notifican al final de cada día mediante un análisis histórico de la producción de la planta. Todas las alertas se envían de forma conjunta para una misma dirección de correo. En el caso de que no se produzca ninguna alerta diaria se envía un correo de notificación informando de ello. Un ejemplo de las notificaciones de alertas diarias se muestra en Ilustración 22.

SeYe - RDmes			Data de l'informe: 17/09/2017	
Referència	Nom	Adreça	Estat	Estat des de
M14005	CatalaRoca10-12	Francesc Català Roca 10-12, 08222, Terrassa	N	15/09/2017
M15037	CtraBarcelona85-87	Ctra Barcelona 85-87, 08201, Sabadell	OK	08/08/2017

Ilustración 22: SeYe: ejemplo de notificación vía correo electrónico de las alertas diarias.

Para las alertas diarias existe una opción que permite reiniciar el periodo de análisis utilizado para la generación de estas. Esta opción recibe el nombre de “Reiniciar alertas” y solo afecta a la planta en la que se usa. Es especialmente útil, por ejemplo, cuando tenemos una planta que está dando alertas diarias de baja producción de forma constante. Si intervenimos para solucionar el problema en el sistema real, las alertas seguirán llegando, ya que esta alarma se genera a través de un análisis histórico de la producción energética de la planta durante 30 días. Para ver si la intervención ha sido correcta, es necesario restablecer el intervalo de análisis, es decir, que comience de cero de tal forma que no se analice el histórico que estaba causando alertas de baja producción antes de la intervención.

Finalmente, los informes mensuales son informes que se generan y se envían de forma automática a final de cada mes. Todos los informes se envían de forma conjunta para una misma dirección de correo. Este se puede ver en la Ilustración 17.

Es importante la configuración de este servicio para que este sepa a quien ha de enviar la notificación: las notificaciones son el resultado de un proceso automático encargado de generar alertas e informes y enviarlos a los *grupos objetivo* vía correo electrónico.

Procesos autoejecutables

Lo documentado hasta el momento no sería posible sin los tres procesos recurrentes que se encargan de procesar los datos energéticos. Ni tampoco sin las bases de datos que dan soporte a todo el ecosistema (SeYe + Omnilus + procesos).

Los procesos reciben el nombre en función de su periodicidad de auto ejecución y son tres: a) HourlyProcess, b) DailyProcess y c) MonthlyProcess.

a) **HourlyProcess**: es el proceso encargado de tratar cada hora los valores de energía recibidos en la infraestructura TIC. Genera los datos energéticos (producción energética, ahorro económico y reducción de emisiones de CO₂) para todas las plantas y, es el encargado de detectar, registrar y notificar alertas horarias. Además, es el responsable de ir actualizando los datos diarios y mensuales conforme va generando los horarios.

Es necesario (para su funcionamiento) que a las plantas tengan seleccionada de forma correcta su energía de respaldo.

b) **DailyProcess**: se encarga de generar, registrar y notificar las alertas diarias de todas las plantas. Se ejecuta en intervalos de un día. Notifica las alertas a la media noche en función de la franja horaria seleccionada durante la creación de una planta.

Es necesario para que el algoritmo sea de utilidad que a las plantas tengan introducida de forma correcta la producción energética mensual proyectada.

c) **MonthlyProcess**: genera y envía informes de producción mensual para todas las plantas como el presentado en la Ilustración 17. Sigue la misma lógica de ejecución que el DailyProcess.

Al igual que el DailyProcess, es necesario para este algoritmo que a las plantas tengan introducida de forma correcta la producción energética mensual proyectada, ya que el informe incluye una gráfica comparativa entre la producción real y la proyectada.

Hay más información sobre los procesos en el apartado “4 Ejemplo de implantación y funcionamiento”, bajo el nombre de servicios a tiempo real (HourlyProcess), servicios diarios (DailyProcess) y servicios mensuales (MonthlyProcess). En especial, información sobre la tipología de las alertas y sobre cómo se generan.

En cuanto a las bases de datos, se utilizan cuatro en total: a) la del perfil, b) las de SeYe, c) la de datos comunes y d) la de datos temporales.

a) **Base de datos de perfil**: cada perfil creado en Omnilus tiene su correspondiente base de datos. Su principal función es almacenar toda la información de configuración del perfil, así como de los usuarios que forman parte de este. Con respecto a SeYe, contiene: un registro de las plantas que han sido creadas en el perfil, un registro de los equipos de monitorización reclamados en el perfil y, por cada planta creada, un registro histórico de alertas de los datos energéticos horarios, diarios y mensuales.

b) **Base de datos de SeYe:** esta base de datos contiene toda la información necesaria para la aplicación SeYe. Esto incluye: el registro de todas las plantas creadas con su información (inclusive a que perfil pertenece), la información perteneciente a la sincronización entre una planta y un equipo y, todos los equipos fabricados.

c) **Base de datos de datos comunes:** es la base de datos encargada de contener toda la información que es susceptible de ser utilizada por una o más herramientas integradas en Omnilus. Esta información incluye datos sobre monedas, energías, lenguaje, unidades, países, roles, etc. Es usada por SeYe para obtener los datos sobre las energías de respaldo y las localizaciones de las plantas.

d) **Base de datos de datos temporales:** esta base de datos es la encargada de almacenar los valores energéticos transmitidos por la unidad de registro y comunicación de datos. Al ser datos históricos en bruto se ha optado por dejar un histórico máximo de dos meses. Está compuesta por un único registro de tres campos: identificación del equipo, energía incremental recibida y fecha del registro.

Mientras que las otras bases de datos son utilizadas por todas las herramientas y procesos, sobre esta solo opera el proceso HourlyProcess. A cada hora, HourlyProcess accede a los datos registrados, calcula los datos energéticos y los registra en el perfil al que pertenecen; identifica a que perfil pertenecen a través de la relación entre equipo-planta (una vez sincroniza), existente en la base de datos SeYe.

Cálculo de los datos energéticos

Solo se calculan los datos energéticos de equipos de monitorización a los que se ha sincronizado una planta. Esto es debido a que la entidad planta de SeYe es la que contiene información asociada imprescindible para realizar los cálculos. En relación a esto, cuando a lo largo de las explicaciones de este apartado se usan expresiones como “para cada equipo” o “para cada planta” nos estamos refiriendo a: “para cada planta sincronizada a un equipo”.

Los datos energéticos que se calculan para cada planta mediante los valores de energía incremental transmitidos por la unidad de registro y comunicación de datos, tal como se ha ido documentando, son los valores horarios, diarios y mensuales de la producción energética, de ahorro económico y de reducción de emisiones de CO₂.

El valor horario de la producción energética es calculado por el proceso HourlyProcess. Este proceso se encarga de calcular para cada equipo la energía incremental en intervalos de una hora, para ello, se ejecuta cada hora en punto. Puede ser que, en función de la configuración del equipo, una unidad de registro y comunicación de datos envíe diversos valores en una misma hora. Por ejemplo, si tenemos que para un equipo X se han registrado entre las 13:00 y las 14:00 horas dos datos de energía: 3 kWh y 5 kWh; y, posteriormente, entre las 14:00 y 15:00 horas otros dos datos de energía: 10 kWh y 6 kWh; cuando el HourlyProcess se ejecute a las 14:00 horas obtendrá que el valor de la producción horario entre las 13:00 y 14:00 horas es del valor del orden de 8 kWh (3 kWh + 5 kWh) y, cuando posteriormente, a la siguiente hora se ejecute (a las 15:00 horas), obtendrá que el valor de la producción horario entre las 14:00 y 15:00 horas es del orden de 16 kWh (10 kWh + 6 kWh).

Una vez obtenido el valor horario de producción para cada planta, HourlyProcess procede a calcular el ahorro económico y la reducción de emisiones de CO₂ equivalentes a cada producción energética horaria obtenida. El valor de ahorro económico y de reducción de emisiones de CO₂ son valores que se deducen de contemplar la producción de la energía contabilizada con el sistema auxiliar indicado durante la creación de una planta.

En línea con lo expresado, a la hora de calcular ambos datos energéticos, HourlyProcess consulta, para cada planta, cuál es el sistema de respaldo indicado y, a través de la base de datos de datos comunes, obtiene el precio (€/kWh) y las emisiones (kg CO₂/kWh) de la fuente de energía que dicho sistema emplea y, simultáneamente, el rendimiento de la tecnología que lo caracteriza. Las ecuaciones usadas para los cálculos son:

$$E_{ahorrada} [kWh] = \frac{\text{Valor horario de producción energética [kWh]}}{\text{Rendimiento tecnología sistema auxiliar}}$$

$$\text{Ahorro económico [€]} = E_{ahorrada} [kWh] \cdot \text{Precio} \left[\frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right]$$

$$\text{Reducción de emisiones [kg CO}_2] = E_{ahorrada} [kWh] \cdot \text{Emissions} \left[\frac{\text{kg CO}_2}{\text{kWh}} \right]$$

En la Tabla 5 y Tabla 6 se muestran los datos que se utilizan para los cálculos aquí presentados. Concretamente la Tabla 5 presenta los datos sobre las fuentes de energía de los sistemas auxiliares contempladas en el desarrollo junto a su precio y emisiones; datos necesarios para el cálculo del ahorro económico y de la reducción de emisiones. Estos datos varían con el tiempo y es necesario irlos actualizando.

Tabla 5: Precios y emisiones según la fuente de energía del sistema auxiliar.

	Precio	Emisiones
	€/kWh	kg CO ₂ /kWh
Diesel	0.07 ⁽¹⁾	0.30 ⁽⁴⁾
Gas	0.05 ⁽²⁾	0.20 ⁽⁵⁾
Electricidad	0.18 ⁽³⁾	0.36 ⁽⁶⁾

(1) Poder calorífico inferior de 11.80 kWh/kg en el 2014 según el Instituto para la Diversificación y ahorro de la Energía (IDAE) - Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital del Gobierno de España [66]. Precio de 0.678 €/l según Expansión (datos macro) [67].

$$\frac{11.80 \text{ kWh}}{1 \text{ kg}} \cdot \frac{0.80 \text{ kg}}{1 \text{ l}} = \frac{9.44 \text{ kWh}}{1 \text{ l}} \quad \frac{0.678 \text{ €}}{1 \text{ l}} \cdot \frac{1 \text{ l}}{9.44 \text{ kWh}} = \frac{0.07 \text{ €}}{1 \text{ kWh}}$$

(2) Precio en el primer semestre del 2017 sin tasas para un consumo doméstico anual entre 20GJ y 200GJ según Eurostat [68].

(3) Precio en el primer semestre del 2017 sin tasas para un consumo doméstico anual entre 2500 kWh y 5000 kWh según Eurostat [69] y según el Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital del Gobierno de España [70].

(4) Factor de emisión en el 2016 de 2.868 kg CO₂/l según el Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente del Gobierno de España [71]. Poder calorífico inferior de 11.80 kWh/kg en el 2014 según el Instituto para la Diversificación y ahorro de la Energía (IDAE) - Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital del gobierno de España [66].

$$\frac{11.80 \text{ kWh}}{1 \text{ kg}} \cdot \frac{0.80 \text{ kg}}{1 \text{ l}} = \frac{9.44 \text{ kWh}}{1 \text{ l}} \quad \frac{2.868 \text{ kgCO}_2}{1 \text{ l}} \cdot \frac{1 \text{ l}}{9.44 \text{ kWh}} = \frac{0.30 \text{ kgCO}_2}{1 \text{ kWh}}$$

(5)(6) Factor de emisión en el 2016 según el Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente del Gobierno de España [71].

Por otro lado, la Tabla 6 presenta el rendimiento térmico del sistema auxiliar según la tecnología empleada por este para la producción de ACS; datos necesarios para el cálculo de la energía ahorrada. La tabla ha sido proporcionada por RDmes Technologies S.L.

Tabla 6: Rendimiento de la transformación energética según la tecnología utilizada por el sistema auxiliar.

	Tecnología	Rendimiento (η)
Electricidad	Resistencia	95%
	Bomba de calor	260% (COP=2.6)
Gas natural	Caldera convencional	65%
	Caldera de baja temperatura	85%
	Caldera de condensación	95%
Gasoil	Caldera convencional	65%
	Caldera de baja temperatura	85%

Para finalizar, la suma de todos los valores horarios de la producción energética de una planta que forman parte de un día natural es equivalente al valor diario de la producción energética de dicha planta. Siguiendo la misma lógica, la suma de todos los valores horarios de la producción energética de una planta que forman parte de un mes natural es equivalente al valor mensual de la producción energética de dicha planta.

La suma de los valores horarios para el cálculo de la producción energética diaria y mensual se efectúa en el mismo momento que se calcula el valor horario de producción energética, por lo tanto, en el visualizador de producción en SeYe, se llegan a mostrar valores diarios y mensuales parciales para aquellos días o meses que no han finalizado. Son valores que se actualizan cada hora. El mismo concepto se aplica para el cálculo del resto de datos energéticos (ahorro económico y reducción de emisiones de CO₂).

3.8 Análisis y decisiones principales para el diseño

A continuación, se documentan algunos análisis previos al diseño y las decisiones tomadas respecto a estos, así como algunas decisiones llevadas a cabo durante el desarrollo del diseño.

Se habla en términos generales de equipo, pero hay que tener en cuenta la división de este, documentada en “3.2 Componentes”. No obstante, en cada apartado y con tal de situarnos en contexto, en el título, se hace una pequeña referencia a la división del equipo que afecta.

3.8.1 Módulo 01. Sobre la separación por unidades

La separación en unidades del módulo 01 nace de la necesidad de que esta parte del equipo, la que se ha de instalar en la instalación, sea lo más adaptable posible, tanto en el momento de implementarse en la instalación como en el momento de adoptar nuevas tecnologías. Para ilustrar las ventajas de la división en unidades se presentan dos ejemplos:

Ejemplo 01: Adaptación a los requisitos del cliente o la instalación.

Contexto: El cliente no desea que el equipo ejerza de regulador ni de contabilizador de energía ya que tiene los suyos propios en la instalación a monitorizar.

Implicaciones: En el peor de los casos habría que compatibilizar la unidad de registro y comunicación del módulo con la unidad contadora presente en la instalación. En definitiva, se trataría de un módulo 01 (a un precio más reducido del objetivo) sin unidad de regulación ni unidad contadora que tuviera una unidad de registro y comunicación capaz de comunicarse con la unidad contadora ya implementada en la instalación. Al tener un diseño dividido en unidades, esto es posible de forma sencilla. Además, como la unidad de registro y comunicación ya está diseñada pensando en los diferentes protocolos de comunicación existentes de las unidades contadoras, la probabilidad de iniciar un nuevo desarrollo para la compatibilización es pequeña.

Ejemplo 02: Adaptación a la obsolescencia de la tecnología o averías del módulo 01.

Contexto: para dar paso al 5G se “apaga” la red 3G de telecomunicaciones.

Implicaciones: En el módulo 01 las comunicaciones forman parte de la unidad de registro y comunicación. Si el elemento de comunicación de esta unidad no fuera compatible con el nuevo medio de comunicación, adaptar el equipo y actualizar los ya instalados sería tan sencillo como cambiar el elemento de comunicación de cada unidad. Si el módulo 01 fuera todo integrado, un dispositivo completo, como un smartphone, esto no sería posible, y nos veríamos forzados a sustituir todos los dispositivos por nuevos.

Actualmente cambiar el elemento de comunicación de la unidad implicada se puede hacer de forma presencial en la instalación (in-situ).

Este mismo concepto es aplicable a las averías que se pudieran producir en las distintas unidades del módulo 01: al no ser un dispositivo todo integrado, si, por ejemplo, se averiara el módulo contador solo habría que reemplazar este por uno de nuevo.

3.8.2 Módulo 01. Sobre la necesidad de una unidad de protección eléctrica del sistema

El cuadro eléctrico de las salas de máquina de los edificios multivivienda varía de una instalación a otra, lo que implica que los elementos de protección, como los disyuntores, sean diferentes entre instalaciones.

Con tal de proteger el sistema solar térmico y el equipo de forma homogénea se ha optado por añadir un disyuntor al equipo a través del cual se alimenta eléctricamente todos sus componentes y los de la instalación solar térmica. El disyuntor forma parte de la unidad de protección del módulo 01.

La centralización de la alimentación de todos los sensores y actuadores de la instalación nos asegura máxima protección de la instalación térmica a sobrecargas eléctricas. Las sobrecargas eléctricas no deseadas son generalmente producidas por averías en alguno de los componentes de la instalación, avería/s que puede/n acabar creando una cadena de averías sobre los otros componentes si siguen actuando. El corte de la alimentación general por parte del módulo de protección en caso de sobrecarga, evita que se genere la cadena de averías dejando protegidos todos los demás componentes.

3.8.3 Módulo 01. Sobre la necesidad de una unidad de protección ante bajadas de presión

Para proteger el sistema por bajadas de presión se ha optado por situar un presostato (o enseriado de presostatos) entre la unidad de protección del equipo y el resto de componentes del propio equipo y del sistema. De esta manera, ante una baja de presión evitamos el funcionamiento de los actuadores del sistema y, por lo tanto, de posibles averías derivadas de su funcionamiento en condiciones no deseadas. El presostato o presostatos usados con los fines comentados forman parte de la unidad de presostatos del equipo.

3.8.4 Módulo 01. Sobre las variables de monitorización contempladas

Las variables de monitorización contempladas en el desarrollo del diseño son aquellas que se han considerado imprescindibles (las justas y necesarias) para la regulación y monitorización de la instalación. Su selección parte de la premisa de reducción de costes (a más variables, más sondas, más costes) así como de la normativa vigente.

La normativa actual en España (Código Técnico de la Edificación – CTE [27]), en cumplimiento de la directiva europea 2010/31/UE [37], obliga a la implantación de sistemas de regulación en los sistemas de energía solar térmica para ACS, así como la implantación de elementos que permitan la lectura directa de la presión (presostatos) y de las temperaturas del fluido (sondas de temperatura) en los distintos circuitos hidráulicos. En la práctica, equivale, como mínimo, a tres variables enfocadas a la regulación del sistema: una variable de presión y dos de temperatura. No obstante, para el cálculo de la energía producida por el sistema se requiere de una nueva variable. Esta nueva variable es el valor del caudal en el circuito primario de la instalación. Con tal de reducir costes, este valor puede ser prefijado y no hace falta que se obtenga mediante un nuevo elemento de lectura (sonda de caudal), ya que el valor, si la instalación funciona correctamente, se mantiene constante. Sin embargo, si se quiere obtener un valor más preciso de la energía producida por el sistema, es conveniente usar nuevos elementos de lectura complementarios a los obligados por la normativa, concretamente, una sonda de caudal junto a dos nuevas sondas de temperatura, las cuales irán situadas, en la mayoría de casos, en lugares distintos (no necesariamente en primario) al de las sondas de temperatura utilizadas para la regulación. En este caso, además de las tres variables mínimas por normativa para la regulación, tendríamos tres nuevas variables para el cálculo de producción energética. Un total de seis variables equivalente a seis sondas distintas: una variable de presión, cuatro de temperatura y una de caudal.

En cuanto al equipo solar térmico inteligente desarrollado, con el fin de reducir costes y tras las validaciones realizadas (ver punto “5.2. Validación”), se ha planteado el uso de cinco variables: dos de temperatura para la regulación; dos de temperatura (una ya utilizada para la regulación) junto a la constante de caudal (en primario) para la contabilización de la producción energética en primario; y, por último, una variable de presión para la detección y protección de la instalación ante caídas de presión. En total, cinco variables equivalentes a cuatro sondas: una variable de presión y tres de temperatura. Todo y ello, el equipo es compatible con múltiples unidades de regulación y contabilización de energía, por lo que en el caso de que se considerara utilizar más sondas para la monitorización no sería un problema siempre que se asumieran los costes añadidos, de la misma forma, que si se decide prescindir de la regulación se reducirían los costes del equipo al eliminar la unidad de regulación y una de sus sondas.

3.8.5 Módulo 01. Sobre la unidad de regulación

El equipo fue diseñado teniendo en mente el 95% del tipo de instalaciones de energía solar térmica que nos podemos encontrar en los edificios multivivienda. Según el tipo de instalación los elementos a regular por el equipo son distintos. En la Tabla 7 se recoge un resumen de ello.

Tabla 7: Regulación de los actuadores del sistema de energía solar térmica según la tipología de este.

Instalación tipo	Bomba de primario	Bomba de secundario	Sistema de disipación
Circuito primario Disipación pasiva	X		
Circuito primario Disipación activa en paralelo a la carga	X		X
Circuito primario más circuito secundario Disipación pasiva	X	X	
Circuito primario más circuito secundario Disipación activa en paralelo con el intercambiado de calor	X	X	X

No obstante, este no es un factor relevante en el diseño ya que la unidad de regulación puede ser opcional a la hora de implantar el equipo. Como intento de homogeneizar los equipos, se ha planteado un equipo de regulación estándar como unidad de regulación y de forma opcional.

En cuanto a las condiciones bajo las que se realiza la regulación depende de la unidad de regulación empleada y del sistema a controlar y, por ello, se ha decidido no profundizar más en este tema.

3.8.6 Módulo 01. Sobre la comunicación entre la unidad contadora y de registro

Las distintas tecnologías empleadas para la comunicación entre la unidad contadora y la unidad de registro y comunicación de datos son fruto de exigencias de mercado. La mayoría de contadores de producción energética para este tipo de sistemas suelen emplear pulsos eléctricos, puertos ópticos o un puerto MBUS [72] [73] [74] [75] para, entre de otras funcionalidades, transmitir (o poder consultar) la energía que van contabilizando.

En este caso, se ha compatibilizado la unidad de registro y comunicación del equipo con unidades contadoras con comunicación de la producción energética vía pulsos y, a su vez, con unidades con comunicación de valores de energía vía protocolo CAN. La comunicación por pulsos es la tecnología más extendida en todo tipo de contadores (y generalmente ya existente en las instalaciones que no son monitorizadas por nuestro equipo). La comunicación por CAN fue desarrollada en colaboración con el fabricante SOREL (uno de los fabricantes de referencia de reguladores solares). La colaboración con SOREL nos permite unificar la unidad de regulación y la unidad contadora.

3.8.7 Módulo 02. Sobre la temporalidad y el canal de comunicación de alertas e informes

Con la irrupción y extensa adopción del smartphone y el internet móvil (sistema universal de telecomunicaciones móviles - UTMS) el correo electrónico ha advenido uno de los mejores canales de comunicación, especialmente para las alertas, ya que al igual que el SMS (tradicionalmente usado), permite que los usuarios reciban notificaciones allí donde estén, y en este caso, sin coste añadido (generalmente los SMS tienen coste de emisión). Poco a poco, las

empresas adoptan cada vez más programas de mensajería instantánea (por ejemplo, Whatsapp) para la notificación de eventos (por ejemplo, recordatorio de visitas médicas) debido a que tienen las mismas ventajas que el correo electrónico. Quizás, en un futuro próximo, sería conveniente contemplar esta última opción, pero en la actualidad, las alertas son notificadas por correo electrónico.

En el caso de informes, también se ha optado por enviarlos adjuntos por correo electrónico, debido a la simplicidad de gestión. Una de las alternativas más inmediatas sería crear un repositorio de ficheros por usuario donde ir almacenando cada informe generado para que éste los pudiera consultar y descargar, pero esta alternativa tiene un impacto económico en cuanto a mantenimiento y gestión como en cuanto a requerimiento hardware (capacidad de almacenamiento), que actualmente, asume la propia infraestructura de correo electrónico usado por cada usuario.

En cuanto a la temporalidad, las alertas de tipología horaria sólo se notifican cuando se produce un cambio de estado en la instalación para no generar mal estar en los usuarios que las reciben. Tras varios días de prueba, era algo persistente e incluso agobiante, recibir cada hora una alerta de una instalación que se encontraba, por ejemplo, en un estado constante en el tiempo de no lectura (N).

Respecto a los informes, estos se generan y envían a media noche a los *grupos objetivo* que lo deseen, para que, de esta forma, de cara a su siguiente jornada laboral o día, puedan conocer el estado de las instalaciones y actuar en consecuencia a la información recibida.

3.8.8 Módulo 02. Sobre la modularidad de la infraestructura TIC

La estructura TIC que actualmente se está empleando para dar servicios a los equipos y los *grupos objetivo* está diseñada teniendo en mente la escalabilidad de la misma, por ello, se ha optado por dividirla en varios servidores que se han clasificado en dos grupos: (Grupo 1) aquellos destinados a interactuar con los grupos objetivos (servicios que tratan y generan datos, así como aplicativos de usuario) y (Grupo 2) aquellos destinados a almacenar los datos para los aplicativos (bases de datos) y a dar servicios a los equipos (recepción de datos y almacenaje). Hay una separación clara entre aquello estrictamente enfocado a usuario (servidor de aplicativos) y aquellos estrictamente enfocado a datos (servidor de datos). A nivel lógico es una arquitectura de tres capas: capa de presentación (Grupo 1. Capa de usuario. Aplicativo web. Interfaz), capa de negocio (Grupo 1. Aplicativos, servicios y respuesta a las interacciones de los usuarios) y capa de datos (Grupo 2. Almacenaje de los datos. Gestor de base de datos). Y, simultáneamente, es una arquitectura dividida en dos niveles físicos: Grupo 1 (capa de presentación más capa de negocio) y Grupo 2 (capa de repositorio). Para una descripción visual ver la Ilustración 23.

Esta estructura permite absorber con cierta facilidad el aumento de equipos y usuarios, ya que permite la reutilización de capas. Por ejemplo, si hubiera un aumento exponencial de usuarios e hiciera falta añadir un nuevo servidor para darles servicio, con esta estructura, sería suficiente con añadir un nuevo servidor al Grupo 1 y poner un balanceador de carga entre los usuarios y el Grupo 1 para redistribuir las conexiones; sin necesidad de replicar la capa de datos. Sin embargo, si todas las capas estuvieran en un nivel, es decir, en un solo servidor, también sería necesario replicar la capa de datos, las cuales deberían de estar sincronizadas entre ellas, especialmente al ser un ente transversal a todos los usuarios y en constante cambio.

Además, la división permite operar sobre el servidor de aplicaciones sin perjudicar en la recepción y almacenaje de datos energéticos. No obstante, debido a la naturaleza de los aplicativos del equipo desarrollado contenidos en el Grupo 1, ha sido necesario dotar de cierta inteligencia a los algoritmos de alertas y cálculos de datos energéticos para las fases de mantenimiento y actualización de aplicativos.

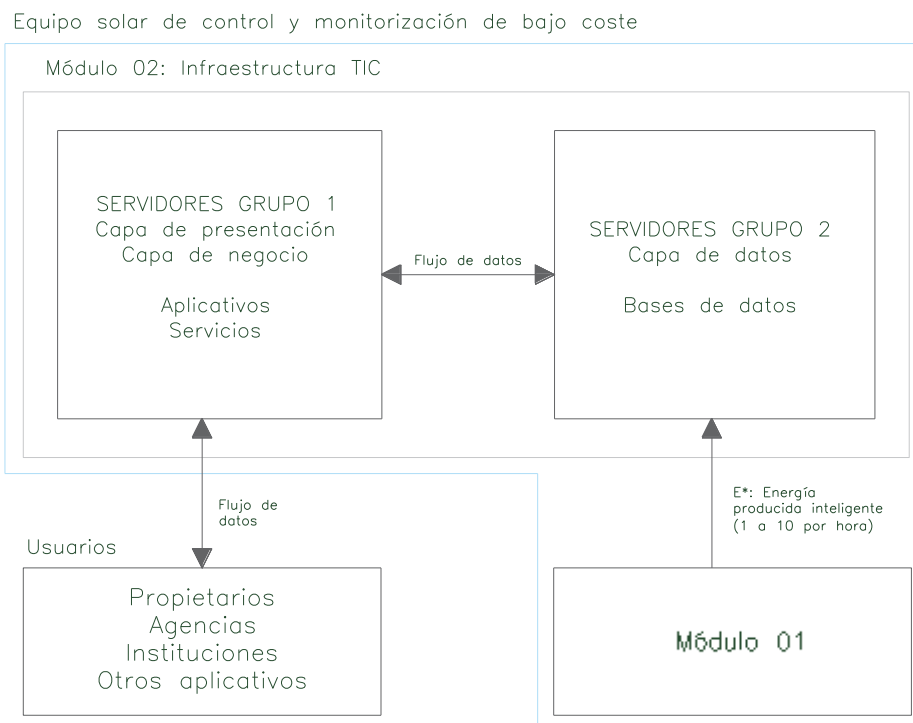


Ilustración 23: Descripción gráfica de la modularidad de la infraestructura TIC del módulo 02 del equipo solar de control y monitorización de bajo coste

La actualización de los aplicativos y mejora de los servicios es constante, y en algunos casos, requieren de horas de mantenimiento o reinicios del servidor. Para que estos hechos no tengan un impacto significativo sobre los servicios prestados, los algoritmos de cálculo y alertas trabajan en intervalos horarios. Por ejemplo, si la inactividad por mantenimiento del Grupo 1 se extiende durante dos horas y media, en el momento que se ejecutasen los algoritmos se calcularían los datos energéticos y las alertas horarias de cada hora que, en este caso, sería para cada una de las tres horas comprendidas entre el tiempo de inicio del mantenimiento y su finalización. El impacto real sobre el servicio a usuario sería solamente la pérdida de notificaciones de alertas horarias durante el intervalo de mantenimiento, pero no perdería los datos energéticos correspondientes a cada hora comprendida en el mantenimiento. Se ha de tener en cuenta que los algoritmos se ejecutan a las horas en punto. Si el mantenimiento entrase en funcionamiento a las 12:30 y terminara a las 16:10, la siguiente vez que se ejecutase los algoritmos sería a las 17:00 y este calcularía y generaría alertas para cada una de las 5 horas comprendidas en el intervalo: de 12:00 a 13:00 (1); de 13:00 a 14:00 (2); de 14:00 a 15:00 (3); de 15:00 a 16:00 (4) y de 16:00 a 17:00 (5).

A continuación, se presenta un resumen de las ventajas de esta estructura [76] [77]:

- Reduce el tráfico de información en la red por lo que mejora el rendimiento de los sistemas (especialmente respecto a la estructura en dos planos).

- Brinda una mayor flexibilidad de desarrollo y de elección de plataformas sobre la cual montar las aplicaciones. Provee escalabilidad horizontal y vertical.
- Se mantiene la independencia entre el código de la aplicación (reglas y conocimiento del negocio) y los datos, mejorando la portabilidad de las aplicaciones.
- Dado que mejora el rendimiento al optimizar el flujo de información entre componentes, permite construir sistemas críticos de alta fiabilidad.
- El mismo hecho de localizar las reglas del negocio en su propio ambiente, en vez de distribuirlos en la capa de interfaz de usuario, permite reducir el impacto de hacer mantenimiento, cambios urgentes de última hora o mejoras al sistema (no hace falta replicar los cambios en cada ordenador de usuario).
- Disminuye el número de usuarios (licencias) conectados a la base de datos (en este caso solo se conecta la capa de negocio y el resto de la base de datos en la capa de datos, lo que equivale a dos usuarios).

3.8.9 Módulo 02. Sobre la correlación entre disfunciones y alertas

Las alertas se han definido tras analizar las averías típicas de un sistema de energía solar térmico y como estas afectan a la producción energética. El análisis, realizado por RDmes Technologies S.L., partió de las averías típicas de estos sistemas listadas en el apartado de mantenimiento preventivo de instalaciones del CTE DB HE 2013. Como resultado se obtuvo la Tabla 3 del apartado “3.6 Notificaciones: alertas de estado”.

3.8.10 Ambos módulos. Sobre las alertas de baja presión

Una de las disfunciones más comunes en los sistemas de energía solar térmica son las bajadas de presión en el sistema. Con tal de que el equipo fuera capaz de detectar este tipo de incidencias se desarrolló un sistema simple basado en el uso de presostatos (ver apartado “3.8.3 Módulo 01. Sobre la necesidad de una unidad de protección ante bajadas de presión”). Cuando la unidad de presostatos corta la corriente al equipo (debido a una baja de presión) está cortando, a su vez, la alimentación de unidad de registro y comunicación de datos y, por lo tanto, esta deja de enviar la energía producida. Este hecho, es detectado en el módulo 02 del equipo, y genera una alerta instantánea a los grupos objetivo que así lo deseen.

Hay otros factores que pueden generar la misma alerta, como un corte de la alimentación por sobre tensión. No obstante, la alerta que se difunde es genérica, pero visualizando los datos históricos, se pueden apreciar patrones para la detección de averías, como, por ejemplo, en bajadas de presión nocturnas donde se puede contemplar en el histórico de datos la falta de valores durante las noches en intervalos de horas determinados.

3.8.11 Ambos módulos. Sobre las fases para el cálculo de los datos energéticos

La obtención de los datos energéticos a los cuales tienen acceso los *grupos objetivo* es fruto de dos fases: en la primera fase, en el módulo 01, se obtiene el valor de energía producida incremental en un intervalo de tiempo y, posteriormente, se transmite al módulo 02 y; en la segunda fase, ya en el módulo 02, se procesa el valor energético recibido y, a partir de dicho valor, se calculan los datos energéticos de interés para los *grupos objetivo*.

El uso de dos fases para el cálculo de los datos energéticos es en respuesta a dos restricciones: los costes de comunicación entre ambos módulos ha de ser la menor posible y son necesarios datos adicionales por instalación a la hora de realizar los cálculos y generar las alertas.

En resumen, se podría prescindir de ambos pasos, sin embargo, esto introduciría dos dificultades. Por un lado, la cantidad de datos a transmitir desde el módulo 01 al módulo 02 (la nube) aumentaría significativamente, lo que resultaría en mayores costes de comunicación. Por otro lado, los datos que se calculan en segunda fase (emisiones de CO₂ equivalente, ahorro económico y estado de la planta), requieren información específica de la planta, que en caso de que hubiera que actualizarlos o transmitirlos desde del módulo 01 al módulo 02 para proceder al cálculo, requeriría de un diseño de comunicación más complejo en su gestión y costoso en términos de mantenimiento y monetarios. Esta solución obligaría al módulo 02 a tener una base de datos con cada equipo bien identificado incluyendo sus direcciones web. Esto sería algo difícil de mantener y supondría un aumento del coste de los recursos destinados a la comunicación al ser necesario asignar a cada equipo un DNS debidamente registrado.

3.8.12 Ambos módulos. Sobre el canal de comunicación entre módulos

Se realizó un estudio de los servicios y canales de comunicación existentes en el mercado que se podían emplear para transmitir los datos de energía entre el módulo 01 y el módulo 02. El estudio se centró en analizar los precios y límites asociados a cada servicio o canal, así como la complejidad de su implantación y su versatilidad.

No obstante, antes del estudio y con tal de poder identificar adecuadamente aquel canal o servicio que mejor se adaptase a las necesidades del equipo, se establecieron los requisitos a cumplir en este contexto. Estos requisitos, a modo resumen, son:

- (Servicio) El servicio escogido ha de permitir la transmisión estimada (en términos de cantidad) entre ambos módulos. La transmisión entre ambos módulos tiene una cantidad de datos informáticos mensual de 1.5 MB, por lo tanto, el servicio empleado, si tiene límite en la cantidad de datos a transmitir, este debería de ser igual o superior a 2 MB por equipo.
- (Servicio) El coste mensual y de implantación deben de ser lo más barato posibles.
- (Servicio) El desarrollo para su implantación debe de ser mínimo.
- (Canal) Ha de ser un protocolo de comunicación seguro.
- (Canal) Ha de ser un protocolo de comunicación ampliamente extendido.
- (Canal) Preferiblemente que no requiera de conexión cableada en la instalación o de instalación de dispositivos adicionales en ella.

Tras un análisis en cuanto a canales de comunicación (GPRS, MMS, SMS, UMTS, etc.) y protocolos asociados, teniendo en cuenta la tecnología presente en la unidad de registro y comunicación de datos, por cuestiones de simplicidad y extensión principalmente, se obtuvo como resultado que aquellos canales que podrían cumplir con los requisitos planteados y ofrecer los servicios deseados eran aquellos que podían usar la red de internet y sus protocolos como base para la comunicación.

Finalmente, al desear un canal preferiblemente inalámbrico, el canal escogido para el estudio de los servicios enfocados a la transmisión entre módulos fue la red UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), que es la red que permite la conexión a internet a dispositivos de forma inalámbrica y, comúnmente, mediante una tarjeta SIM (subscriber identity module). En términos coloquiales, es la red para los dispositivos móviles (2G y 3G) a través de la cual las operadoras telefónicas ofrecen internet a sus usuarios.

Del estudio de los servicios que se ofrecen a través de la red UMTS, se concluyó que el servicio M2M (machine to machine) es el que mejor cumplía los requisitos planteados y, por lo tanto, es el servicio que actualmente se está empleando. Este servicio tiene un coste de línea mensual por dispositivo inferior a 3€ con un límite mensual de datos a transmitir superior a 2.5 MB. Para poder usar este servicio en la unidad de registro y comunicación de datos es suficiente con adquirir un módem 2G/3G (coste aprox. 35€), insertarle una tarjeta SIM y conectarlo a la unidad (vía USB, ethernet o pin de entrada/salida de propósito general - GPIO).

Al usar dos estándares (internet y red 2G/3G) en la comunicación, el sistema operativo utilizado en la unidad de registro y transmisión de datos ya contiene todo el software necesario para utilizar esta tecnología y sólo es necesario programar la ejecución de una línea de código para que se realice la conexión y otra línea de código para transmitir el dato de energía en el momento deseado. Es prácticamente *plug & play*.

El proveedor de servicio de redes UMTS empleado integra otros servicios adicionales que son de especial ayuda a la hora de gestionar las comunicaciones y las tarjetas. Estos servicios son: un gestor para la activación y desactivación de tarjetas SIM (líneas) online, permite tramitar grandes pedidos de tarjetas SIM sin que ello incurran en ningún gasto hasta su activación, permite la autogestión de tarifas, la cantidad de datos transmitidas mensualmente se prorroga entre todas las tarjetas activadas, trabaja con múltiples operadores y, por último, proporciona tarjetas SIM multi-operador (el equipo que lleva insertado una de estas tarjetas siempre iniciara las transmisiones por aquel operador con el que tenga mayor cobertura) que se pueden usar fuera del territorio nacional.

En cuanto a lo referente a la seguridad de la comunicación, en el desarrollo del equipo se ha optado por transmitir los datos previamente cifrados (evita la suplantación de equipos) y por una comunicación solamente unidireccional desde el módulo 01 al módulo 02 (todas las conexiones no preestablecidas que intenten acceder al módulo 01 son denegadas). A parte, esta direccionalidad en la transmisión del dato (desde 01 a 02), también responde a una reducción de costes y de complejidad en la comunicación. En términos prácticos, a todos los niveles, es más sencillo y menos costoso que cada módulo 01 transmita el valor de energía y no que el módulo 02 deba de ir preguntando a cada módulo 01 qué valor de energía tiene registrado.

Para más información sobre este tema, en el Anexo E, se presenta una tabla compacta y resumida del análisis de las comunicaciones que se realizó en el momento de escoger aquella tecnología o servicio más adecuado para transmitir los datos de energía entre los módulos del equipo de control y monitorización de bajo coste. Un análisis más amplio de otros canales o sistemas de comunicación se pueden consultar en la siguiente fuente [78], donde se presenta un nuevo sistema de comunicación después de analizar los ya existentes.

3.8.13 Ambos módulos. Sobre la existencia de dos módulos diferenciados

La decisión de realizar dos módulos diferenciados responde principalmente a uno de los requisitos del sistema: la necesidad de que al equipo vayan asociados servicios que le aporten valor. Este requisito, a su vez, ha de ir alienado con el de bajo coste del dispositivo.

Si unificamos todo el equipo en un solo módulo en planta, aun dejando de lado la complejidad que supondría la gestión y mantenimiento de los equipos, se podrían prestar los servicios, pero sería complicado cumplir con el

requisito de bajo coste. A continuación, se documentan de forma superficial algunas de las consecuencias de unificar los módulos:

- **Aumento del coste por unidad de registro y comunicación:** esta unidad debería de estar dotada de las capacidades necesarias para el calcular los datos energéticos y el almacenaje de datos históricos. Así como de las que le permitan almacenar y procesar todo el software (y los datos que este usa) destinado a la generación de informes y alertas (ficheros en correos). Sería necesario el aumento de las prestaciones de los equipos lo que implicaría un aumento de los costes por unidad.
- **Aumento del coste de comunicación:** los costes de comunicación se dispararían, principalmente, debido a dos factores: al *mailing* de las alertas y a la consulta de históricos por parte de los *grupos objetivo*.

Tal como está diseñado el equipo, el coste de comunicación entre módulos es alto debido a que se emplean canales de comunicación que tienen un límite mensual muy restrictivo respecto al volumen de datos que se pueden transmitir (incluso con un coste elevado por mega transmitido si el límite de megas mensual es superado), debido a ello, cuanto menos se usa el canal de comunicación menores son los costes finales.

Al enviarse sólo datos de energía (cadena de texto) entre módulos, este coste es bastante reducido, pero si, por lo contrario, se unificaran los módulos y se pasara a enviar informes (archivos) directamente desde planta, este coste se vería aumentado significativamente. De la misma forma sucedería si un usuario del dispositivo quisiera acceder a ver el histórico de los datos energéticos de una instalación, ya que estos, ahora, serían transmitidos desde planta hasta el usuario.

En la actualidad, el coste de comunicación asociado a estos dos factores (en cuanto al ratio precio- volumen de datos) es prácticamente 0.

- **Aumento en la complejidad de la gestión y de los costes de mantenimiento:** este hecho es especialmente visible en el momento de actualizar las aplicaciones que dan servicio a los *grupos objetivo* (o en la implantación de nuevas), incluyendo los datos que estas utilizan (como el coste de las energías auxiliares). Para cada nueva aplicación a actualizar o a implementar, sería necesario tener localizados cada equipo instalado, ya sea para operar sobre él en remoto o de forma presencial. Sea cual sea el método utilizado para operar sobre él, aumentaría la complejidad de la gestión, ya que haría falta una base de datos para tener localizado cada dispositivo. Simultáneamente, aumentaría los costes de mantenimiento de los servicios, ya que habría que ir presencialmente a operar sobre cada equipo o abrir canales en remoto para ello.

No sería coherente que un software transversal a todos los módulos 01 y que presta servicios susceptibles de irse mejorando y actualizando con asiduidad estuviese implementado en planta, principalmente, por la complejidad de ir actualizando cada equipo instalado. En un símil con el desarrollo de software, es preferible centralizar en una función un fragmento de código que es susceptible de ser usado constantemente que ir repitiendo dicho fragmento a lo largo del desarrollo, puesto que, si hay un fallo en el fragmento, si este está centralizado en una función, modificando la función se solventaría el fallo en todo el programa. En caso de no estar centralizado, haría falta buscar las múltiples copias del fragmento e ir las corrigiendo. En términos de coste, la centralización resulta beneficiosa.

Además, en la misma línea, al estar centralizados todos los datos de todas las instalaciones en la nube, en el módulo 02, se pueden desarrollar servicios predictivos de disfunciones o análisis estadísticos del parque solar térmico monitorizado. Algo complejo si sólo existiera el equipo en planta.

- Pérdida de compatibilidad con terceros: al estar el equipo dividido en dos módulos, terceros pueden desarrollar equipos equivalentes al módulo 01. Equipos que, haciendo uso de los protocolos descritos en esta tesis, sean capaces de enviar datos al módulo 02 para hacer uso de los servicios prestados por este (alertas, monitorización, plataforma de gestión, etc). Si unificamos los módulos esta funcionalidad se perdería.
- Pérdida de movilidad del equipo: actualmente el módulo 01 no está ligado a una instalación. Este se puede ir moviendo entre instalaciones. Si se unifican los módulos esto se complicaría, ya que habría que personalizar cada equipo para la instalación a la que iría destinado y, a la vez, haría falta desarrollar un software para que el propietario del equipo pudiera modificar los datos para los cálculos energéticos en planta o en remoto. Se aumentaría la complejidad del diseño para perder una ventaja existente sin aportar ningún valor de más, ya que las modificaciones de los datos para los cálculos energéticos ya se pueden realizar en el módulo 02.

Si se opta por no desarrollar el software de configuración, este factor, a su vez, aumentaría la complejidad de la fabricación y distribución del dispositivo, puesto que cada dispositivo fabricado tendría que pasar un proceso de configuración en fábrica previo a su distribución e implantación.

En resumen, sin esta modularidad, en general, se encarecería la transmisión de datos (envío de informes y alertas desde planta, gestión en remoto, consulta de datos de monitorización a equipo en planta, etc.) y el coste por equipo implantado (aumento por equipo de capacidades de cálculo y almacenamiento para que pueda llevar a cabo todas las funciones) y, simultáneamente, aumentaría la complejidad de la infraestructura debido a que para cada modificación o actualización de software sería necesario operar sobre el equipo en planta o en remoto, requiriendo para ello una base centralizada de equipos implantados y su localización.

4 Ejemplo de implantación y funcionamiento

En este capítulo se presenta un ejemplo, sencillo y no extrapolable a otras instalaciones, con la finalidad de mostrar la implantación y el funcionamiento del equipo para regular, monitorizar y controlar una instalación solar térmica para producción de agua caliente sanitaria. Sirva la Ilustración 24 como referencia para el caso presentado, en la cual se puede apreciar el tipo de instalación e implantación descrita en dicho caso.

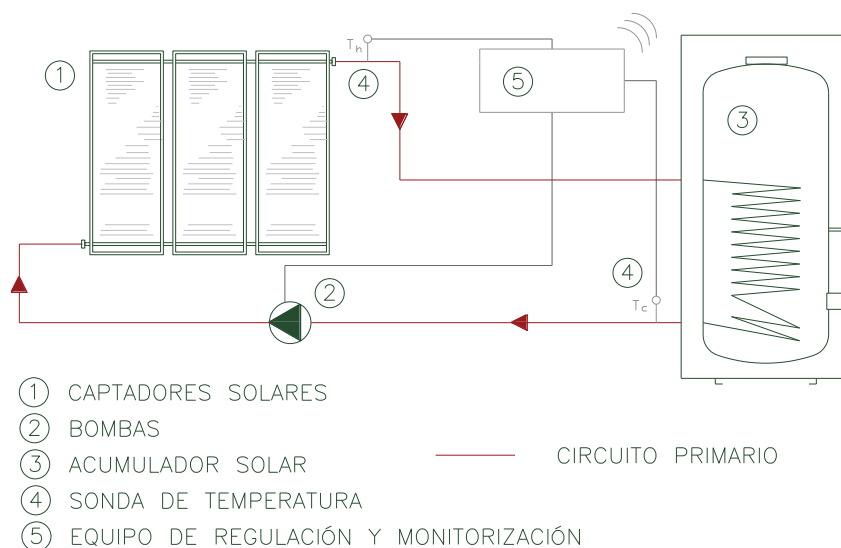


Ilustración 24: Descripción visual de la instalación empleada en el ejemplo de implantación y funcionamiento del equipo.

El ejemplo es el siguiente:

La instalación solar térmica está conformada por un campo de captadores solares con una potencia pico total de 10 kW y una sala técnica solar instaladas en la cubierta de un edificio. La energía generada en el campo de captadores se acumula en un acumulador solar con serpentín interno ubicado en la sala térmica. Para conectar el campo de captación con el serpentín del acumulador solar se utiliza un solo circuito hidráulico cerrado (circuito solar o primario) compuesto por tuberías de cobre y una bomba solar de circulación. Se utiliza agua como fluido caloportador. Cuando la bomba está activa el caudal de circulación del agua se mantiene constante y tiene un valor de \dot{m} . La potencia eléctrica máxima que consume la bomba es de 250 W.

Se instala en el circuito primario un presostato que cierra el circuito eléctrico cuando la presión en el circuito es superior a 2 bar, y abre el circuito eléctrico cuando la presión es inferior a 2 bar. El presostato se conecta a la entrada de la unidad de presostatos.

Se instalan en el circuito primario dos sondas de temperatura del tipo PT1000, que se identificarán con las referencias T_h y T_c . La sonda T_h (temperatura caliente) se instala a la salida del campo de captadores y la sonda T_c (temperatura fría) se instala a la salida del serpentín del acumulador solar e irán conectada a la unidad contadora y a la unidad de regulación.

La unidad de protección del equipo está constituida por un magnetotérmico de 500 W (también puede utilizarse un fusible equivalente) e irá conectada a la corriente eléctrica.

En este caso la unidad de regulación y la unidad contadora están integradas en un mismo dispositivo. El dispositivo utiliza dos sondas de entrada (T_h y T_c) y una salida tipo relé de tensión (para alimentar la bomba solar). Esta activa o desactiva la bomba en función de los valores de las sondas T_h y T_c siguiendo los criterios estándares de activación de bombas en circuitos solares. A la vez, contabiliza la energía producida por el sistema solar E_l en incrementos de tiempo $Dt_l = 1 \text{ seg}$ partiendo de los valores instantáneos de T_c y T_h y según la fórmula $E_l = \dot{c} \cdot cp \cdot (T_h - T_c)$, donde cp es la capacidad calorífica del agua y donde $\dot{c} = \dot{m}$ cuando la bomba está activa, y $\dot{c} = 0$ cuando la bomba está parada. Finalmente, el dispositivo contabiliza la energía producida acumulada total.

La unidad registradora y de comunicación de datos está constituida por un micro ordenador con un dispositivo que permite comunicaciones M2M a través de 3G (comunicación vía internet). Esta unidad se comunica con la unidad de control en intervalos de $Dt_c = 30 \text{ min}$ y lee el valor actual de la energía producida acumulada total. Sabiendo el valor de la energía producida acumulada total correspondiente al intervalo de comunicación Dt_c anterior, calcula el valor de la energía producida acumulada E_c en el último intervalo Dt_c , y lo transmite junto al identificador del equipo al módulo 02, donde este es almacenado junto a su identificador en una base de datos ubicada en la nube. El dato enviado a la infraestructura TIC en la nube es el valor entero de la energía acumulada en un intervalo de tiempo de 30 minutos, los decimales sobrantes se acumulan a la E_c del intervalo de comunicación posterior.

Con el procedimiento de comunicación descrito, siendo la potencia máxima de los captadores de 10 kW y el envío de la energía cada 30 minutos (Dt_c), el valor de E_c máximo posible en cada comunicación es del orden de 5 kWh. A raíz de ello, el volumen de datos a comunicar es de un dígito entero cada 30 min, lo que resulta en un total de 2 bytes por hora, lo que son aproximadamente 1.5 kilobytes por mes de datos transmitidos de energía. No obstante, este valor asciende a casi dos megabytes mensuales debido al uso del protocolo de comunicación TCP/IP y la securización de la transmisión (cifrado del par identificación equipo – valor energético acumulado).

En la infraestructura TIC en la nube, ya en el segundo módulo, se integran unos programas informáticos (servicios) que procesan los datos recibidos a tiempo real (servicios a tiempo real), en intervalos de una hora (servicios horarios), un día (servicios diarios) y en intervalos mensuales (servicios mensuales).

Una vez el valor E_c ha sido recibido y almacenado por la infraestructura TIC, los servicios a tiempo real leen el dato y calculan las emisiones de CO₂ equivalentes y el ahorro económico correspondiente a la producción energética solar y, en base al valor recibido, generan 4 tipos de estados instantáneos de la instalación:

1. Estado OK: no se ha detectado ningún problema en la instalación.
2. Estado E+: Alerta de sobreproducción. En caso de que el valor de E_c recibido sea superior a la capacidad de producción de la instalación en el intervalo de comunicación $Dt_c = 30 \text{ min}$, es decir, en caso que E_c sea superior a 5 kWh.
3. Estado E-: Alerta de baja producción. En caso de que el valor E_c recibido sea negativo.
4. Estado N: Alerta de no lectura. Generada en caso de que el dato de E_c no haya llegado a la infraestructura en la nube (no esté disponible).

Los estados instantáneos de la instalación, las emisiones de CO₂ equivalentes y el ahorro económico, son registrados en una base de datos de la infraestructura TIC en la nube. En caso de que se haya producido una alerta instantánea, se envía un mensaje de alerta por email a los responsables de la instalación.

Los servicios diarios son ejecutados a las 0 horas de cada día y estos analizan los valores de E_c y las alertas generadas durante las 24 horas del día anterior. El valor de la energía total diaria producida $E_{día}$ es la suma de todos los valores de E_c durante las 24 horas anteriores. Con el valor de $E_{día}$ de los últimos 30 días se obtiene el valor de producción diario promediado $E_{día.promedio}$. El valor de $E_{día.promedio}$ se compara con el valor esperado de producción solar promediada de dicha instalación $E_{día.teórico}$. El valor $E_{día.teórico}$ se ha calculado con procedimientos estándares de cálculo predictivo de las instalaciones solares térmicas (método F-Chart [79] más CTE [80]).

En función de los valores de E_c durante las 24 horas y las alertas instantáneas de las últimas 24 horas, así como del valor de producción diario promediado contabilizado $E_{día.promedio}$ y teórico $E_{día.teórico}$, los servicios diarios generan 4 tipos de estado de la instalación:

1. Estado OK: no se ha detectado ningún problema en la instalación en cuanto alertas sucedidas en ese día y en respecto al valor $E_{día.promedio}$ de los últimos 30 días.
2. Estado E+: Alerta de sobre producción. En caso que $E_{día.promedio}$ sea un 50% superior al $E_{día.teórico}$ en los últimos 30 días o en caso que durante las últimas 24 horas los servicios a tiempo real hayan generado alguna alerta instantánea del tipo E+.
3. Estado E-: Alerta de baja producción. En caso que $E_{día.promedio}$ sea un 50% inferior al $E_{día.teórico}$ en los últimos 30 días o en caso que durante las últimas 24 horas los servicios a tiempo real hayan generado alguna alerta instantánea del tipo E-.
4. Estado N: Alerta de no lectura. Cuando en las últimas 24 h exista un 30% de alertas instantáneas de no lectura sobre el total de las lecturas en dicho periodo.

Finalmente, en caso de que se haya producido una alerta diaria (estado de la instalación diario diferente que OK) se envía un mensaje por correo electrónico a los responsables de la instalación informando de la alerta.

Los servicios mensuales envían un informe por planta a los responsables de la instalación al finalizar cada mes natural, informando de la energía producida durante el último mes, indicando las emisiones de CO₂ y el ahorro económico equivalente. En caso de que el que propietario lo desee, también se le envía un informe que contiene todas las instalaciones de las que él es propietario en forma de comparativa en función de la ratio producción real / producción estimada.

5 Equipos pre-comerciales

Este capítulo contiene información sobre los equipos desarrollados mediante la materialización del diseño descrito en el capítulo 3 y que serían candidatos a ser comercializados.

El capítulo se divide en dos partes: en la primera parte se presenta una descripción de los equipos pre-comerciales desarrollados y las diferencias entre ellos y, en la segunda parte se introduce información sobre la validación de los equipos y se presenta un análisis comparativo hecho para evaluar la fiabilidad de los servicios vinculados a la contabilización de energía.

5.1 Los equipos

Se han desarrollada un total de cuatro equipos pre-comerciales (equipos E1, E2, E3 y E4) que se diferencian principalmente por: la integración o no de una unidad de regulación, la tecnología del sensor de caudal y el protocolo de comunicación empleado entre la unidad de contadora y la de registro. En concreto se han desarrollado dos equipos (E1 y E2) con unidad de regulación integrada, dos equipos con comunicación entre la unidad contadora y de registro vía CAN (E1 y E2) y dos con comunicación vía pulsos (E3 y E4) y, finalmente, un equipo con sensor de caudal de vórtice (E2) [81], uno con caudal constante (E1), uno con sensor de caudal de chorro único (E3) [82] y uno con medidor de caudal por ultra sonido [84].

Para ilustrar los equipos pre-comerciales desarrollados y las diferencias entre ellos, que solo existen a nivel de módulos 01, se adjunta la Tabla 8.

Tabla 8: Equipos pre-comerciales desarrollados y sus características.

Unidades, elementos y características		Equipos			
		E1	E2	E3	E4
Unidad de protección		Si		Si	
Unidad de presostatos		Si		Si	
Unidad de regulación		Si		No	
Unidad contadora		Si		Si	
Sensores	Temperatura	Tipo resistencia (x2)		Tipo resistencia (x2)	
	Caudal (x1)	Constante	Vórtice	Chorro único	Ultra sonido
Unidad de registro y comunicación		Si		Si	
Comunicación entre unidad contadora y unidad de registro...	Protocolo	CAN		Pulsos	
	Frecuencia	Constante		Cada kWh contado	
	Amplitud	-		0.4 < 0.6 ms	0.09 < 0.2 ms
Comunicación entre módulos	Resolución	1 kWh		1 kWh	
	Cada...	30 min		30 min	
	Red	UMTS		UMTS	
	Protocolo	TCP/IP		TCP/IP	
Infraestructura TIC		Módulo 02		Módulo 02	

5.2 Validación

A lo largo del desarrollo de los equipos se han ido realizando distintas validaciones funcionales que son propias del proceso de desarrollo o, dicho de otra forma, que pertenecen al ciclo del desarrollo (diseño, desarrollo, prueba, y en caso de detectar una falla, vuelta a empezar). Este tipo de validaciones no han sido documentadas, puesto que se escapan del alcance de esta tesis, de la misma forma, tampoco se documenta el proceso de validación funcional de cada equipo pre-comercial fabricado, aunque cada uno de ellos pasa un periodo de validación y una serie de pruebas antes de ser instalado. Un proceso de pruebas y validaciones que ha surgido a raíz de experiencias previas en la instalación de los equipos pre-comerciales y, experiencias que, en más de una ocasión, han propiciado cambios en las versiones pre-comerciales.

Por otro lado, en el punto “5.2.1. Validación respecto a la contabilización de la producción” se documenta un análisis de la contabilización de la producción de los equipos pre-comerciales desarrollados realizado mediante una comparativa experimental entre dichos equipos y un contador de energía solar que, debido al detalle de sus mediciones y su precisión, se usa habitualmente para auditorías. El análisis tenía como objetivo determinar la fiabilidad de los servicios vinculados a la contabilización de energía. Para ello, se evaluó el valor de la energía que se transmite entre el módulo 01 y el módulo 02, así como el tiempo establecido entre cada transmisión.

Además, dicho esto, en este apartado, merece especial mención el proyecto “Avaluació funcional del comptador solar intel·ligent SeYe-S per a instal·lacions solars tèrmiques d’ACS” donde Oriol Arribas i Jaén [15], en colaboración con la empresa RDmes Technologies S.L. y el autor de esta tesis, realizó una evaluación de uno de los equipos de control y monitorización aquí desarrollados, concretamente del equipo A (nombrado en el proyecto como equipo SeYe-S). Un equipo que integra funciones de regulación, control y monitorización y que efectúa la contabilización de la energía en base al uso de dos sondas de temperatura y un valor constante de caudal.

La evaluación se centró en validar las funciones de regulación del equipo (en laboratorio), en determinar cómo afecta el caudal como constante en la contabilización de la energía, y, por último, en determinar la precisión de los datos de energía contabilizados por el equipo en comparación con un sistema de medición de más precisión.

En estas evaluaciones se concluyó que el sistema de regulación funcionaba correctamente, que el error relativo máximo diario de poner un caudal constante a la hora de contabilizar la energía producida era del orden de un 10%, y, por último, que el error relativo en la contabilización de los datos de energía final, del periodo de estudio de trece días consecutivos en una instalación real, eran de un 5%. Estos errores se consideraron y se consideran tolerables para la funcionalidad del equipo.

Simultáneamente a estas evaluaciones, Oriol Arribas i Jaén realizó una pre-validación de los servicios asociados al módulo 02 del equipo, especialmente del servicio de alertas. La mayoría de estos servicios estaban en desarrollo y los datos no son del todo concluyentes. Finalmente, la validación en profundidad del módulo 02 se ha llevado a cabo en el marco de esta tesis mediante una validación funcional de campo descrita en el punto “5.2.2. Validación funcional de campo en 46 instalaciones”.

5.2.1 Validación respecto a la contabilización de la producción

Este apartado es una traducción parcial del Artículo “Comparative experimental analysis of solar thermal energy counters”, A. González-Valero, J. Cadafalch, R. Consul, R. Ruiz [83].

Como ya se ha comentado en el punto anterior, esta validación tiene como objetivo determinar la fiabilidad de los servicios vinculados a la contabilización de la producción mediante una comparativa experimental de la producción contabilizada por los equipos pre-comerciales desarrollados. En detalle, se evalúa los valores de energía transmitidos entre el módulo 01 y el módulo 02 para tres de los equipos desarrollados (equipos E1, E2 y E3) y en comparación con las mediciones obtenidos por un equipo de referencia. Cabe destacar que el tiempo de comunicación de la energía producida en los equipos pre-comerciales es de una vez cada treinta minutos, cuando en el equipo de referencia es una vez cada minuto.

Esta validación se efectúa debido a que las tecnologías de cada unidad contadora que forma parte del módulo 01 de cada equipo pre-comercial son distintas (sensores, resolución de los valores, etc), lo que implica discrepancias entre los equipos en lo referente a los valores de energía transmitidos por cada unidad de registro de datos. Acotar o identificar estas discrepancias es importante para determinar el grado de fiabilidad de cada unidad contadora y, por lo tanto, para identificar el grado de fiabilidad de los servicios desarrollados vinculados a la contabilización de la energía. Por lo que respecta al intervalo de transmisión establecido para el valor de energía producida, hecho que forma parte de la unidad de registro y comunicación de datos de cada módulo 01, es importante identificar como afecta este a los servicios del módulo 02 en comparación a intervalos de transmisión más pequeños para, de esta forma, determinar si el intervalo definido es el adecuado o, de lo contrario, no permite disponer de suficiente información para evaluar la instalación.

La validación se ha estructurado de la siguiente forma: primero, para situarnos en contexto, se procede hacer una introducción del funcionamiento general de los equipos de control y monitorización; en segunda instancia, para cada equipo usado en la comparativa, se procede a documentar las características que pueden influir en los datos de energía transmitidos; en tercer lugar, se describe la configuración del entorno y de los equipos implicados y, para finalizar, se presentan los resultados junto a las conclusiones.

Descripción conceptual y simplificada del sistema de monitorización

En el ámbito de esta tesis y en el contexto de la validación, el equipo de control y monitorización de energía térmica es un instrumento que contabiliza la energía térmica producida en un sistema de energía solar térmica para ACS y transmite el valor energético (el contabilizado) a través de un canal de comunicación (ethernet, GSM, etc) a un servidor, el cual, después de almacenar el valor, lo trata y lo pone a disposición de cualquier persona interesada en él. Los elementos de medición y transmisión, tal como se ha documentado en “3 Diseño del equipo de control y monitorización”, formarían parte del módulo 01 del equipo, mientras que el servidor y los servicios que presta formarían parte del módulo 02.

En el caso que nos ocupa (la validación), tienen especial relevancia todos aquellos elementos que influyen en el valor energético final (el valor que forma parte de los servicios prestados en el módulo 02). Estos elementos son, por cada módulo 01 de cada equipo, los sensores, la unidad contadora y la configuración del intervalo de transmisión para el dato energético. En la Ilustración 25, teniendo en cuenta este hecho, se muestra un esquema simplificado del equipo junto al flujo de información.

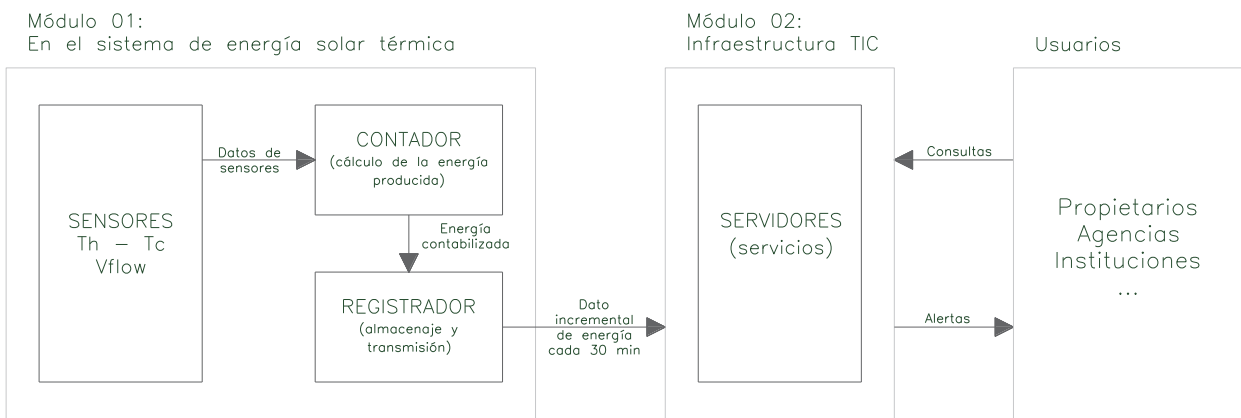


Ilustración 25: Partes principales del equipo de control y monitorización con relación a la validación. Esquema conceptual.

Según el equipo, para contabilizar la energía producida por el sistema, se usan de dos a tres sensores físicos; dos para medir la temperatura del fluido y otro para medir su flujo volumétrico.

Los sensores que se utilizan para medir la temperatura del fluido térmico están situados en los dos puntos de la instalación entre los cuales se quiere medir la energía térmica; a los que se hará referencia como Th (temperatura caliente) y Tc (temperatura fría). Por otra banda, al sensor de flujo volumétrico se hará referencia como V_{flow} , pero este puede ser un sensor físico o virtual (parámetro constante configurado en el contabilizador).

Las demás partes de la Ilustración 25 siguen la funcionalidades descrita en “3 Diseño del equipo de control y monitorización”, siendo de especial importancia en este caso el hecho de que se produzca una transmisión cada treinta minutos del dato incremental de energía entre el módulo 01 y el módulo 02 para todos los equipos pre-comerciales.

Características de los equipos de la comparativa

En la validación se han analizado tres de los cuatro equipos pre-comerciales desarrollados, y para el análisis, se ha utilizado un contador de referencia con sensores no intrusivos de gran precisión y con intervalos de medición de un minuto.

Los principales parámetros técnicos de los cuatro equipos de monitorización se presentan en la Tabla 9. Por temas propios de la empresa RDmes Technologies S.L. no están identificados los equipos con sus nombres reales.

Tabla 9: principales características técnicas de los equipos pre-comerciales analizados.

Nombre	Sensores			Comunicación		Infraestructura TIC
	Th	Tc	V_{flow}	Resolución	Cada...	
A	PT-1000 Inmersa	PT-1000 Inmersa	De chorro único [81]	1 kWh	30 min	Módulo 02
B	PT-1000 En vaina	PT-1000 En vaina	Constante Pre-calibración	1 kWh	30 min	Módulo 02
C	PT-1000 En vaina	Sensor V_{flow}	De vórtice [82]	1 kWh	30 min	Módulo 02
R	PT-100	PT-100	Por ultra sonido [84]	0.01 kWh	Minuto	En la instalación

Los equipos A, B y C, que son los equipos pre-comerciales E3, E1 y E2 respectivamente; comunican entre módulos el valor de la energía incremental cada treinta minutos, aunque los servicios asociadas al módulo 02 usan los valores de energía incremental en intervalos de una hora con una resolución de 1 kWh, factor que determina la escala de tiempo en la cual se ha hecho la comparativa experimental. Por otro lado, el equipo R registra datos de energía de forma interna cada minuto con una resolución de 0.01 kWh.

En el caso de los equipos A, B y C, la energía transmitida entre módulos cada media hora también tiene una resolución de 1 kWh: si la energía producida registrada es, por ejemplo, de 14'6 kWh, la unidad de registro y comunicación de datos, en el momento de transmitirla al módulo 02, transmitirá 14 kWh. El restante 0'6 kWh se añadirá al siguiente valor de energía a transmitir. Es decir, en este caso solo se transmiten valores enteros cada ahora, pero los decimales no se desechan, sino que se contemplan de cara a las siguientes transmisiones.

Configuración del entorno y de los equipos

Los equipos A, B y C (equipos pre-comerciales E3, E1 y E2 respectivamente) analizados han sido instalados junto con el equipo de referencia R en una planta termo solar situada en las instalaciones de RDmes Technologies S.L. La instalación solar térmica está formada por un campo de captadores solares con una potencia pico total de 18'9 kW y una sala técnica solar instalada en las oficinas de RDmes Technologies S.L. La energía generada en el campo de captadores se acumula en un tanque solar de 1000 litros con serpentín interno ubicado en la sala térmica. Para conectar el campo de captación con el serpentín del tanque solar se utiliza un solo circuito hidráulico cerrado (circuito solar/primario) compuesto por tuberías de cobre y una bomba solar de circulación. Se utiliza agua como fluido caloportador. Una ilustración de la instalación junto a los equipos se puede ver en la Ilustración 26.

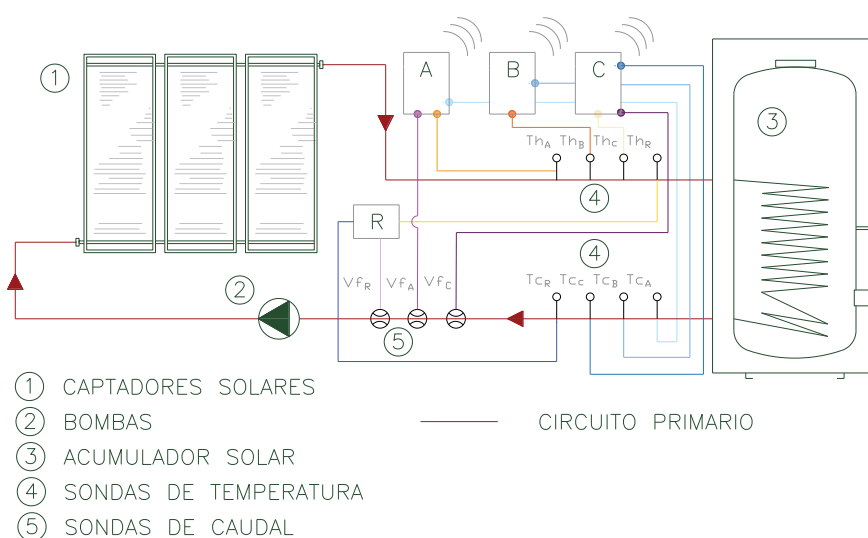


Ilustración 26: Instalación solar térmica de la comparativa experimental juntos a los equipos analizados y su implantación.

Los sensores de flujo volumétricos (caudal) y de temperatura se instalan en el circuito solar; a la entrada y salida del serpentín del tanque solar con tal de medir la producción solar del sistema. Todos ellos han sido cuidadosamente aislados. Además, allí donde era necesario, se ha usado crema térmica de silicona para asegurar el contacto térmico entre el fluido caloportador y los sensores térmicos (detectores de temperatura resistivos).

Cada sensor ha sido conectado a su unidad contadora correspondiente con tal de que esta pueda calcular la potencia térmica instantánea de la instalación y, para que, de esta manera, a posteriori, el registrador pueda transmitir el valor de la producción energética al módulo O2. Los equipos A, B y C transfieren dicho valor entre ambos módulos una vez cada media hora. Por otro lado, la producción energética y la potencia instantánea medida por el sistema de medición de referencia R se registran en el propio contador, de forma interna, en intervalos de un minuto.

No se ha realizado una calibración específica de los sensores y de las unidades contadoras de energía usadas en cada equipo de monitorización, por lo tanto, se han obtenido datos directamente con los instrumentos y sensores suministrados por los fabricantes sin post-procesamiento adicional.

Resultados y conclusiones

Los datos de siete días consecutivos se presentan en la Tabla 10 y de forma gráfica en la Ilustración 27 y la Ilustración 28. En concreto, en la Ilustración 27 y la Ilustración 28, se muestra, para cada día y en intervalos de una hora, la evolución de la producción energética y de la potencia contabilizada para cada uno de los equipos utilizados y, en la Tabla 10, de forma comparativa, los valores diarios contabilizados de la producción energética de los mismos, mostrando simultáneamente, las diferencias absolutas y relativas respecto a los datos diarios medidos por el equipo de referencia R.

Tabla 10: Resultados experimentales. Energía diaria contabilizada por los equipos pre-comerciales analizados. Análisis de las diferencias absolutas y relativas de la energía contabilizada por los equipos A, B y C respecto a los valores obtenidos por el sistema de medición de referencia R.

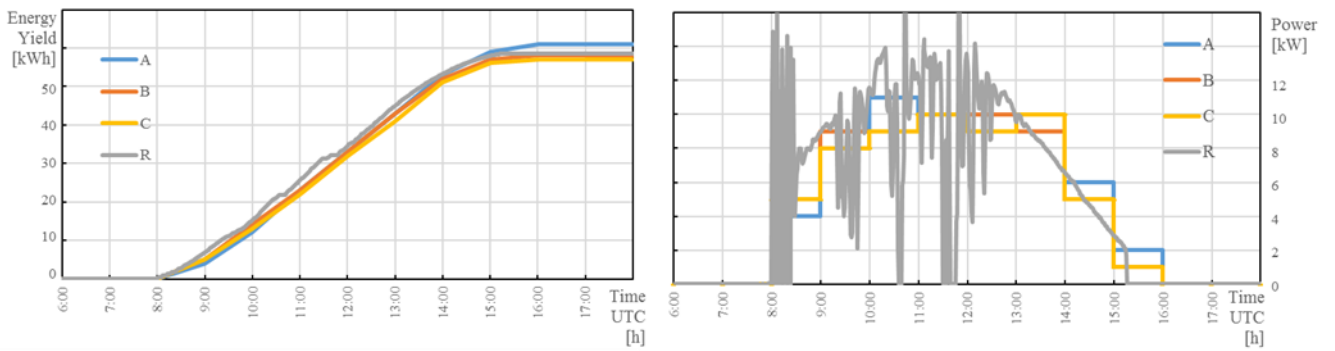
Dia	A			B			C			R
	Valor	Diferencia		Valor	Diferencia		Valor	Diferencia		Valor
	[kWh]	Abs. [kWh]	Rel. [%]	[kWh]	Abs. [kWh]	Rel. [%]	[kWh]	Abs. [kWh]	Rel. [%]	[kWh]
1	61	2,5	4,2	58	-0,5	-0,9	57	-1,5	-2,6	58,5
2	61	1,9	3,3	60	0,9	1,6	58	-1,1	-1,8	59,1
3	46	0,4	0,9	45	-0,6	-1,3	44	-1,6	-3,5	45,6
4	39	0,1	0,3	39	0,1	0,3	38	-0,9	-2,3	38,9
5	62	1,0	1,7	61	0,0	0,0	60	-1,0	-1,6	61,0
6	29	-0,2	-0,6	29	-0,2	-0,6	28	-1,2	-4,0	29,2
7	57	0,9	1,6	55	-1,1	-1,9	55	-1,1	-1,9	56,1

Como se muestra en la Tabla 10, las diferencias absolutas de la producción energética diaria medida con los equipos A, B y C con respecto a los datos obtenidos con el equipo R son inferiores a 2,5 kWh por día, lo que se traduce en diferencias relativas entorno al 5%.

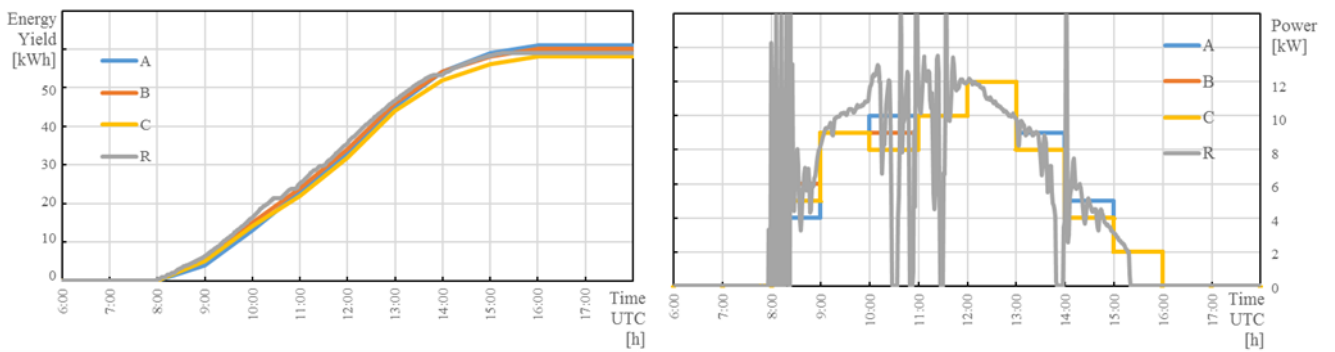
Respecto a las gráficas en la Ilustración 27 y la Ilustración 28, se puede observar que la evolución de la producción energética diaria acumulada medida por los equipos A, B y C es bastante similar a la evolución de la producción energética diaria acumulada medida con el equipo de medición detallado R, aunque las especificaciones entre ellos

sean bien distintas, tanto en los tiempos de adquisición de datos como en la tecnología de las sondas y el número de ellas utilizadas. También se observa que los equipos A, B y C no pueden medir fenómenos a pequeña escala de tiempo (minutos) y, por lo tanto, no son apropiados para una auditoría detallada del sistema térmico. Sin embargo, son capaces de predecir la energía diaria producida razonablemente.

Día 1



Día 2



Día 3

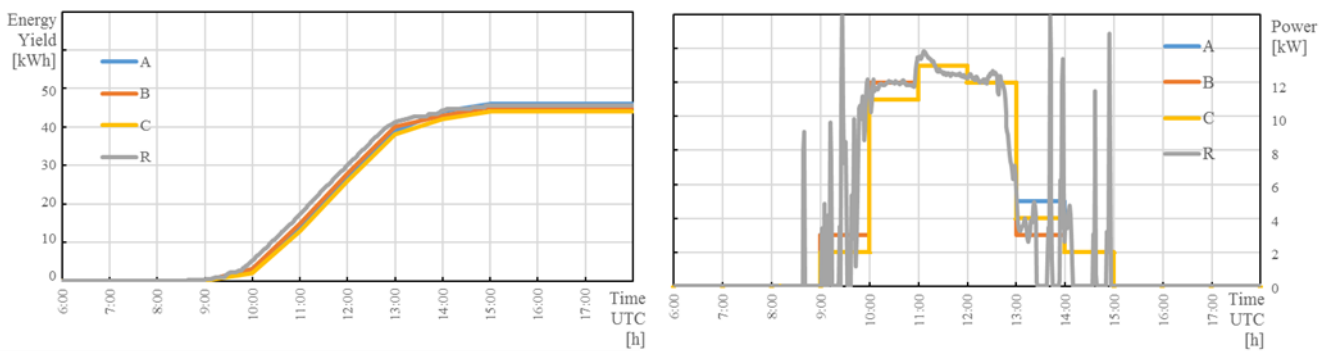
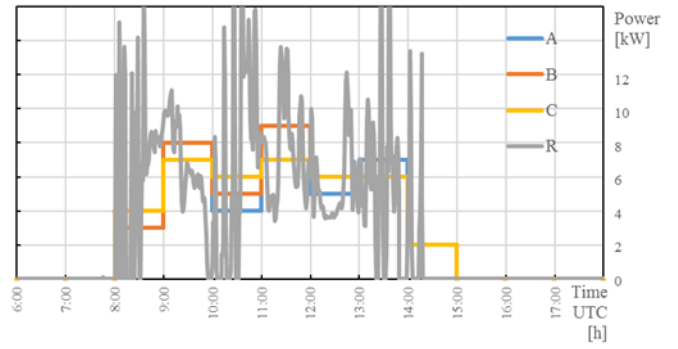
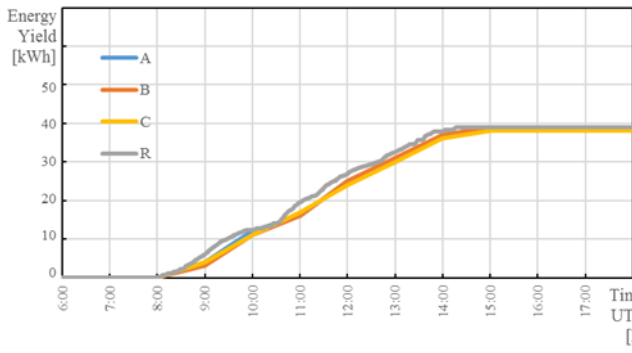
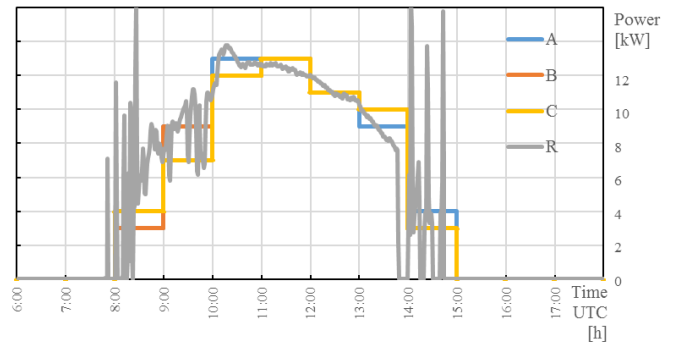
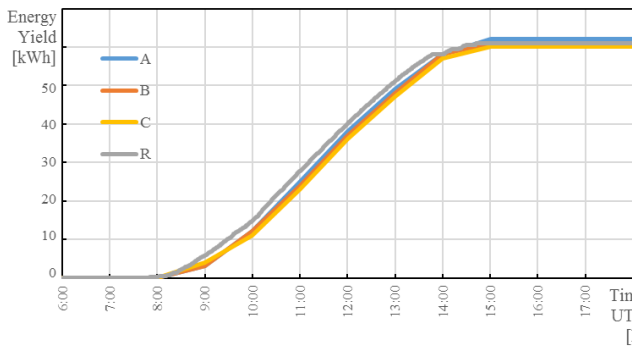


Ilustración 27: Resultados experimentales. Evolución del rendimiento energético y de la potencia contabilizada para cada uno de los equipos de monitorización analizados. Días 1, 2 y 3.

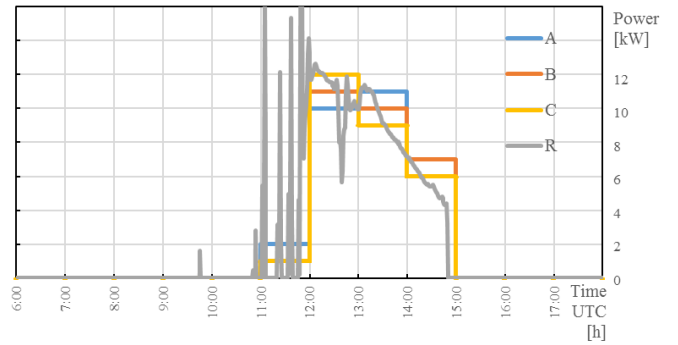
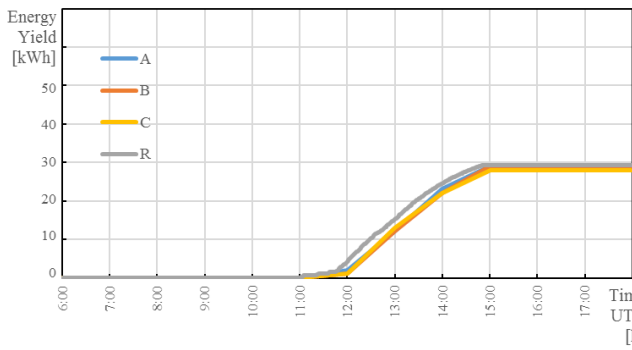
Día 4



Día 5



Día 6



Día 7

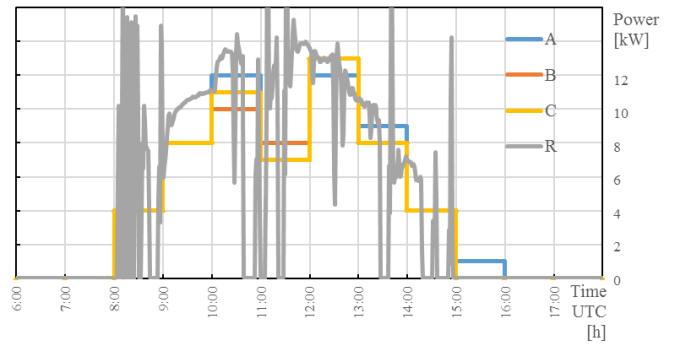
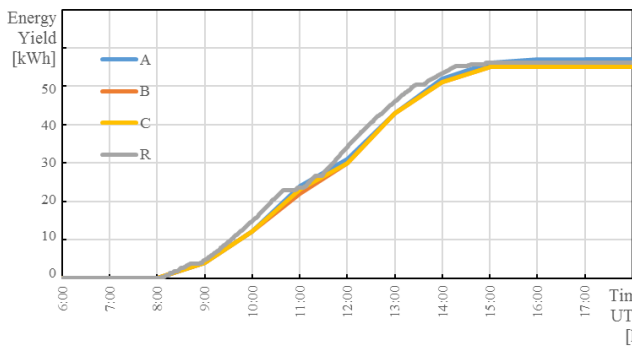


Ilustración 28: Resultados experimentales. Evolución del rendimiento energético y de la potencia contabilizada para cada uno de los equipos de monitorización analizados. Días 4, 5, 6 y 7.

Además, durante los días de monitorización no se han apreciado pérdidas de valores en las transmisiones. Este hecho se ha corroborado comparando el valor total de la energía recibida por el módulo 02 para cada equipo de monitorización con el valor absoluto de energía registrado por el módulo 01 de cada equipo.

Para finalizar, tras el análisis de los resultados, podemos concluir que la transmisión de datos durante las pruebas ha sido estable y, que la monitorización y los servicios del módulo 02 vinculados a la contabilización de la energía son fiables al existir una diferencia relativa máxima entorno al 5% en las mediciones respecto a un equipo de medición preciso. Si lo miramos desde otro punto de vista, concluimos que los diferentes módulos 01 de los equipos pre-comerciales desarrollados son lo suficiente precisos como para no afectar a la fiabilidad de los servicios que presta el módulo 02 vinculados a la contabilización de la energía, de la misma forma, que el intervalo de tiempo fijado para las comunicaciones entre módulos parece ser suficiente y no afecta a los resultados.

5.2.2 Validación funcional de campo en 46 instalaciones

Tal como ha quedado reflejado en la introducción de esta tesis, los análisis que se han realizado sobre el funcionamiento real de las instalaciones de energía solar térmica desde los organismos públicos, como la Agència de l'Habitatge de Catalunya y, desde organismos privados, como RDmes Technologies S.L, han concluido que un gran porcentaje de estas instalaciones no funciona correctamente y que la mayoría de ellas están produciendo por debajo de su capacidad o están paradas.

Para solucionar este problema la empresa RDmes Technologies S.L., impulsora de esta tesis, en colaboración con la Universitat Politècnica de Catalunya, realizaron un proyecto donde se concluyó que era necesaria la aplicación de un programa de mantenimiento inteligente que garantizase la producción energética y la rentabilidad económica de las instalaciones. En base a esta necesidad se inició otro proyecto que obtuvo como resultado un programa de mantenimiento inteligente donde se incluyó el equipo de control y monitorización solar térmico aquí desarrollado como parte de él (equipos pre-comerciales E1, E2, E3 y E4). En general, el programa de mantenimiento inteligente, consta de las siguientes fases:

1. Aplicación de una auditoria estandarizada de la instalación.
2. Puesta a cero de la instalación minimizando los costes de inversión.
Esta parte implica la instalación del equipo de control y monitorización solar inteligente descrito en esta tesis.
3. Aplicación de un programa de mantenimiento con precios ajustados a la rentabilidad y con soporte TIC. El soporte TIC está formado en parte por los aplicativos de la infraestructura TIC del módulo 02 del equipo solar térmico inteligente, concretamente, por los aplicativos que permite la generación automática de alertas y de informes de producción.

Este último proyecto ha sido incluido en un “projecte tractor” de renovación energética para l’ECREE (“Estrategia catalana para la renovación energética de edificios”) [85] que tenía y tiene como objetivo rehabilitar las instalaciones solares térmicas de un conjunto de edificios basándose en la aplicación del programa de mantenimiento inteligente mencionado. Simultáneamente, con este proyecto y por parte de RDmes Technologies S.L., se pretende demostrar la viabilidad técnica y económica del programa para posteriormente poderlo aplicar a una escala mayor y, de esta forma, contribuir a mejorar el parque solar térmico actual garantizando su producción energética y su rentabilidad económica.

Que el equipo de monitorización y control aquí desarrollado forme parte del programa de mantenimiento inteligente ha facilitado enormemente su validación de campo en cuanto a su funcionalidad. En concreto se han instalado 46 equipos de control y monitorización inteligentes de diversas configuraciones.

A lo largo de su funcionamiento, en cada instalación, se han ido detectando tanto fallos de las propias instalaciones como del equipo, lo que ha permitido ir mejorando continuamente tanto los sistemas monitorizados como los equipos en sí. Se podría decir que esta parte, aunque no esté incluida en el desarrollo podría formar parte de él, ya que ha sido una de las principales partes que ha propiciado la detección de errores en los equipos, así como la creación de nuevos servicios asociados a estos. De la misma forma, ha contribuido a la creación de protocolos de validación en las fabricaciones de los equipos como a la hora de instalarlos. En la Ilustración 29 se muestra la situación geográfica de 22 de los 46 equipos implantados.

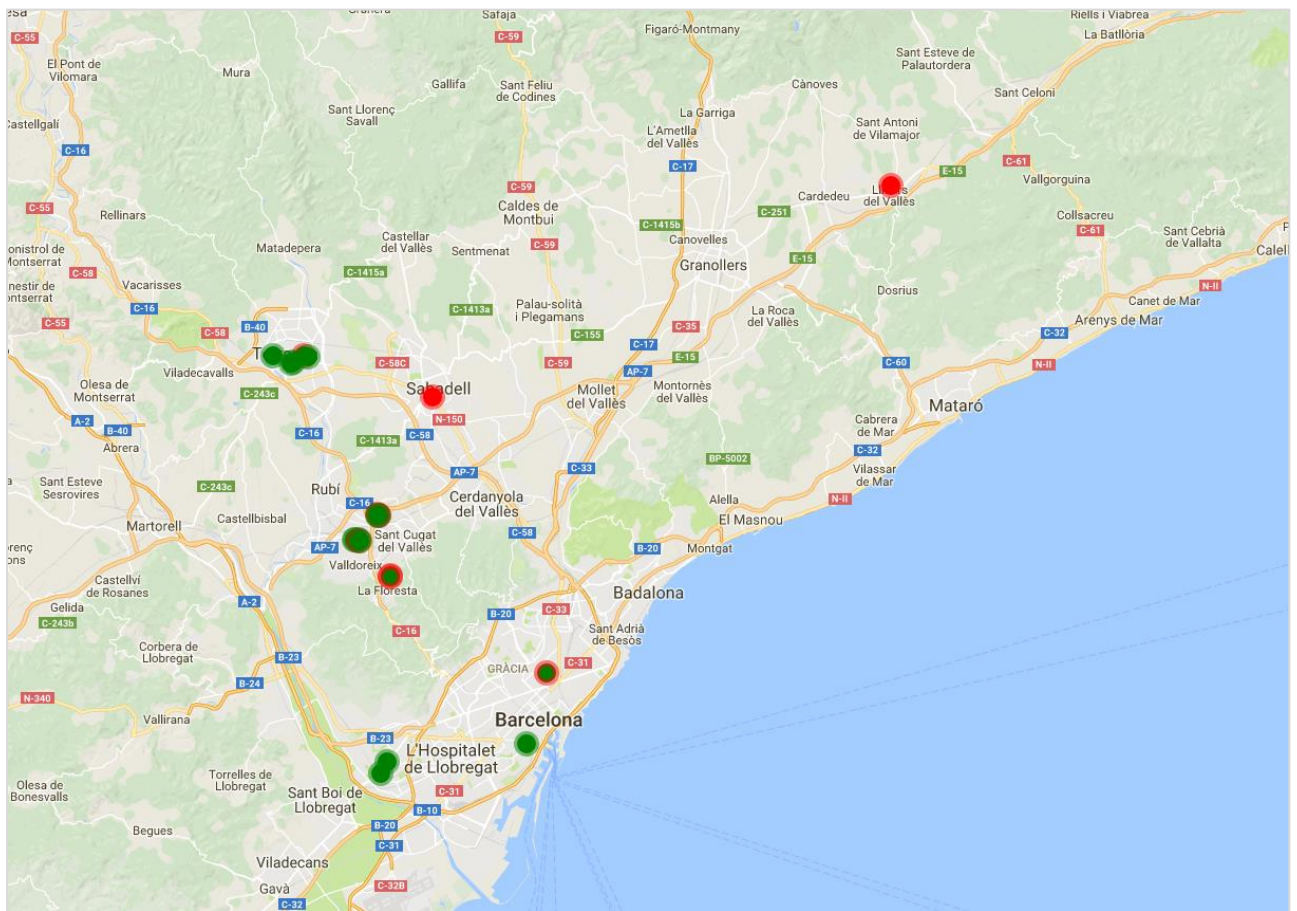


Ilustración 29: Situación geográfica de 22 de los 46 equipos implantados en la validación funcional de campo.

A continuación, se hace una breve descripción del “proyecto tractor”, del programa de mantenimiento inteligente y, de los resultados y conclusiones parciales del proyecto.

Breve descripción del proyecto

El proyecto, que se inició en enero del 2015, tiene una durada de 5 años. Está previsto que finalice en diciembre de 2019.

Se ha realizado la rehabilitación del sistema solar térmico de 46 edificios donde 33 de ellos son de titularidad pública (“Agència de l’Habitatge, “Ajuntament de Granollers” y “Ajuntament d’Avià”) y 16 de titularidad privada. De los 46 edificios, 41 son edificios residenciales, 4 son pabellones polideportivos y uno es un centro de día.

La superficie de captación de los sistemas de energía solar térmica rehabilitados y monitorizados va desde los 7’2 m² del más pequeño hasta los 92 m² del más grande, con una media de 30’4 m² y una superficie total de 1397’2 m².

El consumo anual de agua caliente sanitaria de los 46 edificios se estima en 1.123.000 kWh. El potencial de producción solar anual de todas las instalaciones es de 730.000 kWh, lo que correspondería a un ahorro económico anual de 69.345 € (1.507’5 €/instalación) y una reducción anual total de emisiones de CO₂ de 277 toneladas.

Se ha aplicado el programa de mantenimiento inteligente a cada uno de los sistemas. El procedimiento, como se ha mencionado en el apartado previo, consta de 3 fases: 1) auditoria, 2) puesta a cero de la instalación e instalación del equipo solar inteligente y, 3) mantenimiento preventivo con soporte TIC.

Durante el 2015 y el 2016 se inició el programa de mantenimiento en las 46 instalaciones. A principios del 2017 ya se encontraban todas las instalaciones en la fase 3: mantenimiento preventivo con soporte TIC. Las primeras instalaciones iniciaron esta fase a mediados del 2015 y las ultimas a finales del 2016.

Programa de mantenimiento inteligente

Cada fase del programa tiene un conjunto de características asociadas: coste, tareas, etc. A continuación, con tal de dar a conocer algunas de estas características, se describe cada fase en relación a la envergadura de este proyecto:

Fase 1: Auditoria.

Tiempo estimado: 15 días.

Descripción: Se realiza una visita a la instalación para analizar su estado actual e identificar las actuaciones correctivas a realizar para garantizar su correcto funcionamiento. Como conclusión de esta fase se presenta un informe (ver ejemplo de informe en el Anexo B) en que se proponen las acciones correctivas a realizar. Adicionalmente, se presenta un presupuesto para la puesta a cero de la instalación en la fase 2 y, para posteriormente, el mantenimiento inteligente en la fase 3.

Coste recomendado: gratuito.

Coste total: 0€

Fase 2: Puesta a cero e instalación del equipo solar inteligente.

Tiempo estimado: 2 meses.

Descripción: Según el resultado de la auditoria de la fase 1 se aplican las medidas correctivas necesarias y se procede a la instalación del equipo de control y monitorización inteligente desarrollado en la tesis.

Coste unitario promedio: 53’2€/m² de captación; 1.615’0 €/instalación *

Coste total: 74.289 € *

Los costes indicados incluyen todas las medidas correctivas (cambios de bomba, válvulas, etc.) así como el coste y la instalación del equipo solar de monitorización.

Fase 3: Mantenimiento preventivo.

Durada: la del contrato.

Descripción: Se aplica el programa de mantenimiento preventivo estándar que marca la legislación vigente con el soporte inteligente del equipo desarrollado, que gracias a su infraestructura TIC, nos permite identificar alertas en las plantas de forma instantánea y tener el control de la producción real.

Coste unitario promedio anual: 27'9 €/m² de captación; 846'6 €/instalación *

Coste total: 38.945 €/año *

* Todos los costes incluyen IVA.

Resultados y conclusiones

Aunque es un proyecto de larga duración que está previsto que finalice en el 2019, si podemos concluir, tras el tiempo que lleva el proyecto en marcha, que el equipo de monitorización ha contribuido de forma eficiente a la monitorización y buen funcionamiento de las instalaciones, gracias a que ha facilitado que todos los agentes implicados en la instalación conozcan en tiempo real el estado de esta y su producción.

Proporcionar a los usuarios o propietarios de la instalación información sobre estas en tiempo real les ha dotado de recursos para poder exigir garantías a las empresas mantenedoras y, esta posible exigencia de garantías por parte de un usuario, fomenta el buen mantenimiento de la instalación así como una mayor rapidez en las actuaciones correctivas a realizar por la empresa mencionada (generalmente por tema reputación y contrato), implicando, de esta forma, la reducción de los tiempos de mal funcionamiento de la instalación o del tiempo de inactividad por avería.

Por otro lado, también hemos apreciado que permite una mejor gestión del mantenimiento por parte de la empresa de mantenimiento ya que no requiere que esta desplace a sus empleados a cada instalación cada cierto tiempo para corroborar que esta funciona correctamente o, en su defecto, esperar a que un usuario les avise.

Simultáneamente este proyecto ha servido para madurar las versiones piloto y pre-comerciales de los equipos al permitir su validación en entornos reales con usuarios reales.

6 Integración con terceros: Sentilo

La modularidad del equipo inteligente desarrollado permite su integración con servicios de terceros. Uno de esos servicios es Sentilo [44]: una plataforma de sensores y actuadores *open source* diseñada para encajar en la arquitectura *smart city* de cualquier ciudad que quiera una fácil interoperabilidad y gran apertura. Esta está estrechamente relacionada con los conceptos *big data* [16], *open data* [7] e IoT (internet de las cosas) [4].

La plataforma se encarga de recibir y registrar los datos que le transmiten los sensores distribuidos por la ciudad. Sensores que previamente han de estar registrados en la plataforma.

Sentilo consta de un front-end y un back-end configurable y adaptable a la mayoría de casuísticas: desde gestión de permisos para sensores y usuarios hasta adaptabilidad a infraestructuras IT distintas. Como esta parte se escapa del marco de esta tesis no se va a entrar a documentar este aspecto, no obstante, para más información se puede consultar la página web de Sentilo [44] donde hay amplia información sobre cómo configurar la plataforma en su conjunto y como adaptarla a cada escenario.

La integración del equipo de monitorización y control solar inteligente con la plataforma Sentilo nace de una iniciativa de colaboración entre la empresa RDmes Technologies S.L. y el ayuntamiento de Terrassa. La colaboración tiene como objetivo dar visibilidad a la energía solar térmica en Terrassa mediante la publicación en la plataforma de los datos de las instalaciones solares térmicas (energía producida, ahorros equivalentes, etc) de los edificios públicos. De esta manera, el ayuntamiento gana transparencia respecto a temas medio ambientales, pudiendo, de esta forma, trasladar a la ciudadanía (a través de la plataforma) como está contribuyendo a mejorar el medio ambiente. A su vez, las empresas encargadas del mantenimiento de las instalaciones de energía solar térmica tienen información en tiempo real para actuar en caso de que fuera necesario, mejorando de esta forma sus servicios y costes de operatividad. Actualmente la colaboración en este aspecto se ha extendido a otros ayuntamientos, como el de Avià, Granollers o Rubí.

Este capítulo contiene fragmentos traducidos del artículo “Open data solar thermal meter for smart cities” A. González Valero, J. Cadafalch, R. Consul y R. Ruiz [43]. Artículo, que además de describir parte del diseño del equipo, también contiene información sobre su integración con la plataforma open data Sentilo [44].

A continuación, se describen las actuaciones llevadas a cabo tanto en el equipo solar inteligente como en la plataforma Sentilo para la integración, así como el flujo de datos resultante de la integración, los resultados y las conclusiones.

6.1 Actuaciones específicas para la integración

La integración con Sentilo requirió de actuaciones específicas tanto en la propia plataforma como en el propio equipo. Las actuaciones en Sentilo se centraron principalmente en configurar la plataforma para que registrase los datos transmitidos por cada equipo, y, en el caso de los equipos, en el módulo 02, hizo falta el desarrollo de aplicativos específicos para el envío de datos.

6.1.1 Actuaciones en Sentilo

Cada dispositivo compuesto por sensores que transmita datos a Sentilo ha de estar previamente registrado en la plataforma. Con tal de cumplir este requisito, el equipo solar inteligente se registra en la plataforma como un nuevo componente compuesto por cuatros sensores, tal como se describe en la Tabla 11 (se mantiene el idioma con el que se definió el componente y sus sensores).

Tabla 11: Sensores del componente "equipo de monitorización y control solar inteligente" para Sentilo.

Sensor	Tipo	Descripción
Energy yield	Primary	Energy counter
Installation Status	Secondary	Alerts generated from the energy yield
CO ₂ Equivalent	Secondary	Post-processed value derived from the energy yield
Economical savings	Secondary	Post-processed value derived from the energy yield

El primer sensor corresponde a la producción energética desde la última transmisión de datos efectuada por la unidad de registro y comunicación de datos hasta la actual transmisión. Como este dato es obtenido directamente desde sensores in situ en la instalación por la unidad contadora del módulo 01 del equipo, está marcado como un sensor primario. Es el valor de energía que se transmite desde el módulo 01 al módulo 02 del equipo.

Los tres sensores restantes son sensores secundarios ya que su valor es el resultado de diferentes cálculos (realizados en el módulo 02 del equipo) a partir del valor de producción energética. Estos valores son el estado instantáneo de la planta y, el ahorro económico y la reducción equivalente en emisiones de CO₂ en comparación con el sistema de respaldo de la instalación monitorizada.

6.1.2 Actuaciones en el equipo de control y monitorización

Para el envío de datos desde el equipo solar inteligente a Sentilo hizo falta el desarrollo de una aplicación específica que fuera capaz de identificar aquellos equipos que se querían publicar en Sentilo y, a su vez, de relacionar cada equipo con el o los Sentilos donde publicar los datos. Además, por supuesto, de comunicarse con la propia plataforma.

El resto de desarrollo que gira en torno a este aplicativo lo dota de más funcionalidades que no tiene por qué ser estrictamente necesarias, no obstante, a continuación, se describe el funcionamiento genérico de la aplicación (que consta de unos pasos secuenciales) donde se incluyen algunas de ellas:

Paso 01: Se ejecuta la aplicación. Esta se ejecuta a intervalos pre definidos. Concretamente el intervalo lo marcan las rutinas que calculan los valores energéticos en el módulo 02 de los equipos. Al terminar estas rutinas automáticamente se ejecutaría este aplicativo de tal forma que siempre se mantendrían sincronizados los valores entre los equipos y Sentilo.

Paso 02: La aplicación identifica qué equipos no quieren ser publicados o quieren dejar de ser publicados. Si existen equipos que no quieren ser publicados se borran de aquellos Sentilos donde han sido publicados, eliminando de esta forma sus históricos.

Paso 03: El aplicativo identifica qué equipos han de ser publicados y en qué Sentilos. Si existen equipos a publicar, por cada equipo, se adquieren sus datos previamente calculados y la información necesaria para transmitir los datos a

Sentilo (usuarios, credenciales, cliente, etc). Una vez obtenida la información, se procede a transmitir los datos pertinentes a Sentilo para su publicación. Los datos energéticos transmitidos corresponden al intervalo de tiempo desde la última transmisión a la transmisión actual.

Esta aplicativo se integró en el módulo 02 de los equipos (módulo transversal a todos ellos) y se desarrolló íntegramente en Python [56] [57].

Durante el desarrollo del aplicativo se tuvo en cuenta la existencia de tres Sentilos: uno privado multitenant de la empresa RDmes Technologies S.L., uno en pruebas del ayuntamiento de Terrassa [86] y otro perteneciente al concurso Diba IOT contest de Barcelona [87] [88].

6.2 Flujo de datos

El flujo de datos entre sistema de agua caliente sanitaria, el equipo solar térmico inteligente y la plataforma Sentilo está representado en la Ilustración 30.

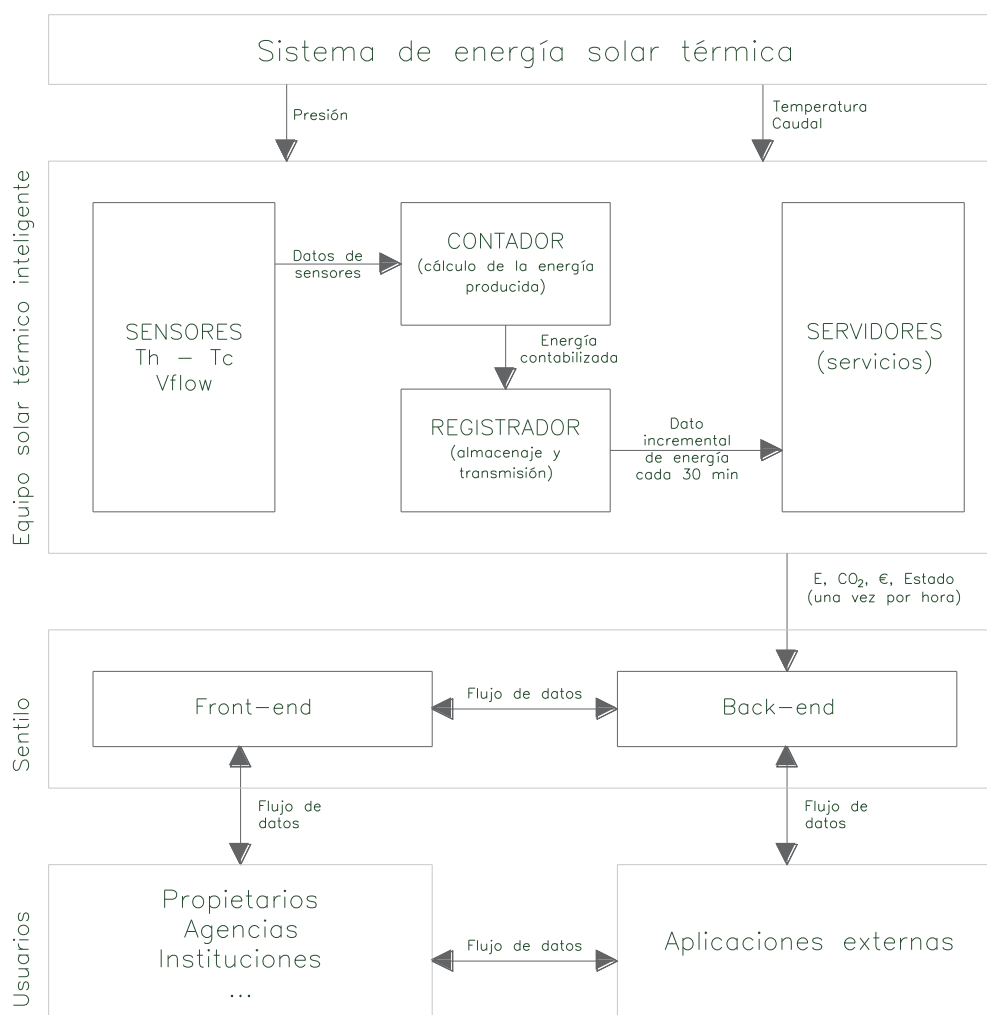


Ilustración 30: Esquema del flujo de datos entre el sistema de energía solar térmica y los usuarios a través del equipo de control y monitorización inteligente y Sentilo.

Es importante recordar que el equipo solar térmico inteligente, tal como está descrito en el apartado “3. Diseño del equipo de control y monitorización”, está compuesto por dos bloques o módulos: el primer bloque compuesto por los elementos del equipo presentes en la instalación y, el segundo bloque compuesto por los elementos en la nube o infraestructura TIC. Esta distinción no se hace en este apartado, por lo que se omite el flujo de datos internos en el propio equipo térmico solar inteligente con tal de dar énfasis a la interacción con Sentilo.

Teniendo presente lo mencionado, los sensores de temperatura, caudal y presión (interruptor de presión) instalados en el sistema de agua caliente sanitaria proporcionan datos instantáneos al equipo térmico solar inteligente y, éste, de acuerdo con el procedimiento descrito en el apartado “3. Diseño del equipo de control y monitorización”, procesa los datos de los sensores. Una vez los ha procesados transmite a Sentilo el valor de la producción energética correspondiente al intervalo de la comunicación pertinente y, a la vez, los valores correspondientes de reducción de emisiones de CO₂, de ahorro económico y del estado de la instalación. Sentilo al recibir los datos los registra en el back-end y los hace visibles mediante el front-end.

El front-end de Sentilo muestra en un mapa todos los componentes registrados de forma geolocalizados. Con un simple clic en un componente es posible ver en tiempo real algunos datos históricos de sus sensores, si es que estos se han transmitido. No obstante, el acceso a los datos también puede realizarse de forma directa en el back-end usando las propias API's (Interfaz de programación de aplicaciones) de la plataforma. Este hecho permite la creación de aplicaciones que hagan uso de datos registrados en la plataforma. Cada nueva aplicación que siga esta lógica crea un nuevo flujo de datos entre ella y la plataforma.

Para finalizar con este apartado, es importante destacar que los costes añadido de transmisión de datos entre el equipo solar inteligente y Sentilo es cero debido a que ambos sistemas conviven en la nube. No obstante, cabe la posibilidad de que dicha transmisión suponga un coste añadido debido a los límites de tráfico entre sistemas impuestos por algunos servicios de hosting (alojamiento web), aunque son límites difíciles de sobrepasar por la naturaleza de los datos y las periodicidades de transmisión de estos.

6.3 Resultados

Una vez efectuado todo el desarrollo se publicaron más de 30 equipos solares inteligentes en Sentilo pertenecientes a toda el área de Barcelona. Como ejemplo de ello, se muestra, mediante el uso de capturas de pantalla del front-end de Sentilo, algunas de las plantas publicadas en el Sentilo de Terrassa y pertenecientes al ámbito territorial de la ciudad mencionada.

La geolocalización y algunos datos básicos del equipo solar térmico inteligente se muestran en la Ilustración 31. El equipo se identifica en el mapa mediante el símbolo compuesto por un círculo verde y un sol de color blanco en su interior. Al hacer clic en el símbolo descrito, se muestran los datos básicos de los sensores.

En las Ilustración 32 e Ilustración 33 se muestra el histórico de datos para un equipo térmico solar inteligente específico. Concretamente, en la Ilustración 32 se muestran los datos históricos del sensor primario de producción solar y, en la Ilustración 33, los datos históricos del sensor secundario de estado de la instalación. La información sobre los sensores y su tipología se encuentra en el apartado “6.1.1 Actuaciones en Sentilo”.

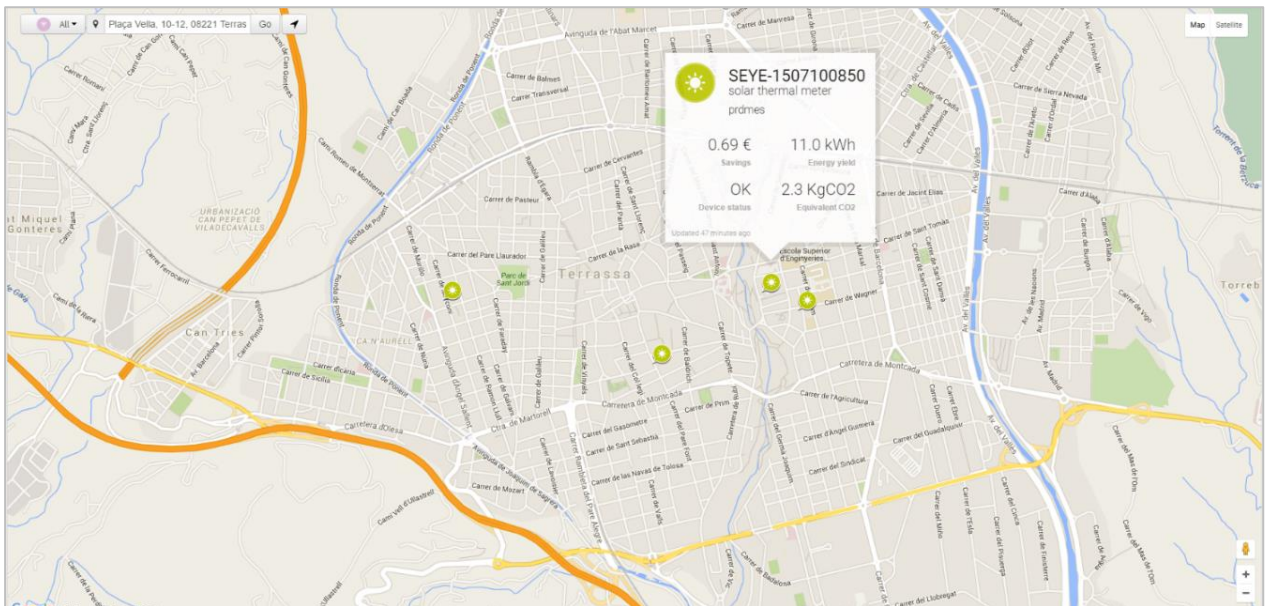


Ilustración 31: Geolocalización y datos básicos del equipo solar inteligente de bajo coste tal como se muestran en la interfaz de Sentilo.

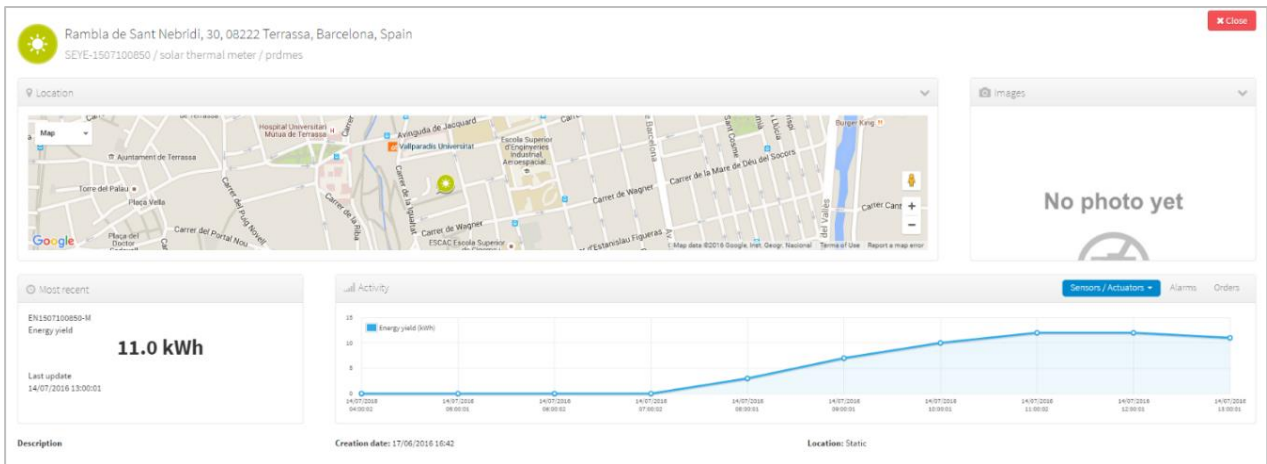


Ilustración 32: Geolocalización de un equipo solar inteligente junto a algunos datos históricos de la producción energética transmitida por este tal como se muestran en la interfaz de Sentilo.

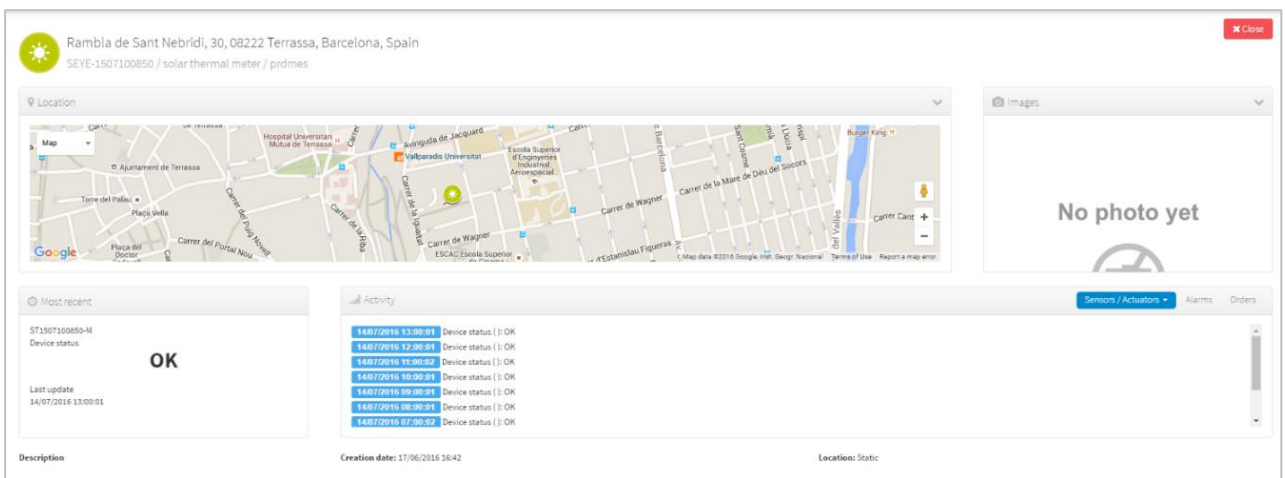


Ilustración 33: Geolocalización de un equipo solar inteligente junto a algunos datos históricos de estado de la instalación transmitidos por este tal como se muestran en la interfaz de Sentilo.

6.4 Conclusiones

En el momento de entrar a trabajar con algunas instituciones públicas y, algunas empresas privadas que trabajan para ellas, se hizo patente cual era una de la apuesta de las ciudades actuales. Esta apuesta, en la que se está haciendo gran énfasis, gira entorno al concepto de ciudad inteligente.

Teniendo esto en mente, si queremos contribuir a la mejora del medio ambiente mediante el fruto de nuestro desarrollo (el equipo de control y monitorización de bajo coste inteligente) en el ámbito público es necesario incluir en nuestro actual y futuro desarrollo el concepto mencionado. La adaptación a Sentilo nace de este propósito.

Por otra parte, el total del sector de la energía solar térmica debe de ser consciente de ello y debe proporcionar soluciones para publicar los datos de los sistemas de agua caliente sanitaria instalados en las ciudades en las plataformas abiertas de datos.

7 Resultados y conclusiones finales

Como resultado directo de la tesis se ha desarrollado un equipo modular de control y monitorización de bajo coste denominado comercialmente SeYe para sistemas de energía solar térmica de agua caliente sanitaria en general y para edificios residenciales multivivienda en particular. Algunos de los desarrollos (e innovaciones) más relevantes han sido publicados en la Patente P201630319 (España) [45], y en los artículos “Open data solar thermal meter for smart cities” [43] y “Comparative experimental analysis of solar thermal energy counters” [83] publicados en uno de los congresos más relevantes del sector de la energía solar térmica, el ISES Eurosun Conference.

El equipo cumple con los requisitos técnicos y comerciales planteados según los requerimientos definidos en base a un análisis del mercado, que son: su coste competitivo (tanto del dispositivo como de su comunicación), su fácil implantación, su capacidad de monitorización en remoto y de generación de alertas de disfunción, su capacidad de enviar electrónicamente informes instantáneos, diarios y mensuales, y, finalmente, su alta compatibilidad con cualquier tipología de instalación solar térmica y diferentes tipologías de contabilización de producción térmica.

Este equipo ha sido ya instalado en un total de 70 instalaciones reales ubicadas en Cataluña cuyo correcto funcionamiento no estaba garantizado. Con la implantación del dispositivo SeYe y la subsanación previa de problemas inherentes a estas instalaciones ha sido posible obtener un rendimiento adecuado.

Estos 70 equipos generan actualmente un total de 100.800 valores energéticos mensuales, a través de los cuales, se calculan un total de 302.400 datos energéticos derivados. En términos medioambientales, el correcto funcionamiento de estas instalaciones contribuirá a una producción solar de 1.277.500 kWh/año, lo que corresponderá a una reducción en emisiones de CO₂ de 484 kgCO₂/año y en un ahorro económico en energía auxiliar de 121.353 €/año

Se espera que el equipo resultado de la tesis tenga una buena acogida en el mercado al poder ser de interés (por su aportación de valor) a los diferentes agentes implicados en las instalaciones solares térmicas: las compañías de operación y mantenimiento, los usuarios o propietarios de los sistemas y las organizaciones gubernamentales (agencias de la energía, ayuntamientos).

A las compañías de operación y mantenimiento les permite ofrecer un servicio integral de alta calidad diferenciado de los demás competidores (fácil de implementar y con soporte TIC avanzado). Requiere de una pequeña inversión asumible con una amortización rápida. Ayuda al ahorro en el mantenimiento y la operación (logístico especialmente) y facilita la escalabilidad de la compañía (ayuda a absorber un aumento en el número de sistemas a mantener).

Los usuarios y/o propietarios del sistema de energías solar térmica que dispongan de la tecnología SeYe tendrán información mensual sobre el rendimiento del sistema (les hace partícipes de su monitorización) y, gracias ello, podrán demostrar en todo momento como están funcionando pudiendo, de esta forma, exigir garantías y/o explicaciones a la compañía de operación y mantenimiento y/o beneficiarse de políticas gubernamentales.

A nivel de organizaciones gubernamentales, como las agencias de la energía y/o órganos de legislación, la implantación de la tecnología SeYe les permite tener el control centralizado del desempeño de los sistemas de energía solar térmica en edificios de sus respectivas áreas de actuación, siendo posible implementar de forma efectiva las ordenanzas existentes y futuras sobre la tecnología solar térmica.

Tras finalizar el desarrollo de la tesis quedan abiertas diferentes líneas de trabajo tanto a nivel de mejora del propio dispositivo y los servicios asociados (control y monitorización), como para a la aplicación de la tecnología desarrollada a dar solución a necesidades de otros sectores y mercados como pueden ser el fotovoltaico, la gestión de aguas grises o la contabilización de la distribución de consumos en instalaciones térmicas centralizadas.

A nivel de mejora de la solución SeYe actual se ha planteado la implantación de algoritmos de alerta basados en análisis estadísticos instantáneos de los datos recolectados, el desarrollo de un canal de comunicación con el dispositivo SeYe en planta que permita a instaladores y usuarios acceder a su configuración y contenidos y, el incremento de la compatibilidad del SeYe con contadores energéticos comerciales.

8 Bibliografía

- [1] D. Comer, *Internetworking With TCP/IP Volume 1: Principles Protocols, and Architecture*, 6 ed., Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.: Pearson, 2014.
- [2] J. M. B. García, «¿Front-end o Back-end?», *Arsys*, 19 Junio 2015. [En línea]. Available: <https://www.arsys.es/blog/programacion/disenio-web/front-end-o-back-end/>. [Último acceso: 11 Enero 2018].
- [3] Destinonegocio, «Conoce las tendencias de infraestructura TIC», *Movistar*, 22 Abril 2015. [En línea]. Available: <http://destinonegocio.com/gestion/conoce-las-tendencias-de-infraestructura-tic/>. [Último acceso: 11 Enero 2018].
- [4] D. Evans, «Internet de las cosas (Cómo la próxima evolución)», *Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG)*, Abril 2011. [En línea]. Available: https://www.cisco.com/c/dam/global/es_mx/solutions/executive/assets/pdf/internet-of-things-iot-ibsg.pdf. [Último acceso: 11 Enero 2018].
- [5] A. Tecnología, «¿Qué es una API y para qué sirve?», *ABC*, 16 Febrero 2015. [En línea]. Available: <http://www.abc.es/tecnologia/consultorio/20150216/abci--201502132105.html>. [Último acceso: 11 Enero 2018].
- [6] I. Glossary, «Multitenancy», *Gartner Inc.*, [En línea]. Available: <https://www.gartner.com/it-glossary/multitenancy>. [Último acceso: 11 Enero 2018].
- [7] O. D. Handbook, «¿Qué son los datos abiertos?», *Open Knowledge International*, [En línea]. Available: <http://opendatahandbook.org/guide/es/what-is-open-data/>. [Último acceso: 11 Enero 2018].
- [8] I. K. Center, «Protocolo de control de transmisiones/Protocolo Internet (Transmission Control Protocol/Internet Protocol)», *IBM*, [En línea]. Available: https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/es/ssw_aix_72/com.ibm.aix.networkcomm/tcpip_intro.htm. [Último acceso: 11 Enero 2018].
- [9] D. Karrenberg, «El sistema de nombre de dominios de Internet explicado para los no expertos», *Memorando de Internet Society n.º 16 - Internet Society*, 2012. [En línea]. Available: http://internetsociety.org/sites/default/files/El_sistema_de_nombre_de_dominios_de_Internet_explicado_para_los_no_expertos.pdf. [Último acceso: 11 Enero 2018].
- [10] E. Educa, «Smart Cities», *Endesa*, [En línea]. Available: http://www.endesaeduca.com/Endesa_educa/recursos-interactivos/smart-city/. [Último acceso: 11 Enero 2018].
- [11] C. B. Ortí, «Las Tecnologías de la Comunicación (T.I.C.)», *Unidad de Tecnología Educativa. Universidad de Valencia (UV)*, 2013. [En línea]. Available: <https://www.uv.es/~bellochc/pdf/pwtic1.pdf>. [Último acceso: 11 Enero 2018].
- [12] D. P. Pérez, *Disseny d'un sistema de monitorització per auditories i manteniments d'instal·lacions solars tèrmiques d'ACS. Aplicació a una instal·lació real.*, *Trabajos académicos UPC.*, 2013.
- [13] I. V. Pons, *Disseny, construcció i implementació d'un sistema de monitorització remota per a instal·lacions solars tèrmiques d'ACS.*, *Trabajos académicos UPC.*, 2014.

- [14] I. R. Lozano, "SeYe", una aplicació web integrada a un sistema de baix cost de monitorització d'instal·lacions solars tèrmiques d'ACS, Trabajos académicos UPC., 2015.
- [15] O. A. i. Jaén, Avaluació funcional del comptador solar intel·ligent SeYe-S per a instal·lacions solars tèrmiques d'ACS, Trabajos académicos UPC., 2016.
- [16] R. B. Fragoso, «¿Qué es Big Data?,» Developer Works. IBM., 12 Junio 2012. [En línea]. Available: <https://www.ibm.com/developerworks/ssa/local/im/que-es-big-data/>. [Último acceso: 11 Enero 2018].
- [17] «¿Qué es el software libre?,» Sistema Operativo GNU. Free Software Foundation (FSF)., [En línea]. Available: <https://www.gnu.org/philosophy/free-sw.es.html>. [Último acceso: 12 Enero 2018].
- [18] J. Cadafalch, R. Cònsul, A. G. Valero y R. Ruiz, The OmniluS project, Cancún, México: ISES Solar World Congress, 2013.
- [19] «OmniluS,» 2015. [En línea]. Available: <https://www.omnilus.com>.
- [20] J. M. Molero, «Manual Técnico. Energía Solar Térmica. 4a edición.,» Salvador Escoda S.A., Diciembre 2011. [En línea]. Available: http://www.salvadorescoda.com/tecnico/solar/Manual_Energia_Solar_4a_ed_Salvador_Escoda.pdf. [Último acceso: 11 Enero 2018].
- [21] S. Escoda, «Manual Técnico. Energía Solar Térmica. 2a edición.,» Salvador Escoda S.A., Marzo 2005. [En línea]. Available: <http://www.salvadorescoda.com/tecnico/CE/Manual-EnergiaSolar-2a-ed.pdf>. [Último acceso: 11 Enero 2018].
- [22] E. Montes, «Balance Energético 2016 y Perspectivas 2017,» UNESA (Asociación Española de la Industria Eléctrica) y Club Español de la Energía, 17 Marzo 2017. [En línea]. Available: www.enerclub.es/file/7LgZ5MDRyUdtQ69apst6xw. [Último acceso: 11 Enero 2018].
- [23] A. Shah, «Advantages and Disadvantages of Solar Thermal Energy (Power Towers,Parabolic Troughs),» Green World Investor, 7 Julio 2011. [En línea]. Available: <http://www.greenworldinvestor.com/2011/07/07/advantages-and-disadvantages-of-solar-thermal-energy-power-towersparabolic-troughs/>. [Último acceso: 11 Enero 2018].
- [24] B. Espada, «Energía solar ventajas y desventajas,» Erenovable (Revista MuyInteresante) , 1 Agosto 2016. [En línea]. Available: <https://erenovable.com/energia-solar-ventajas-y-desventajas/>. [Último acceso: 11 Enero 2018].
- [25] C. M. Rasero, «Informe Técnico. Programa SOLCASA.,» Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). Gobierno de España., 2010. [En línea]. Available: http://www.aperca.org/temp/pdf/SOLCASA_Inf.pdf. [Último acceso: 11 Enero 2018].
- [26] J. A. V. Chacon, «Bases del régimen de ayudas del Programa Andaluz de Promoción de Instalaciones de Energías Renovables (PROSOL).,» Consejería De Empleo Y Desarrollo Tecnológico. Junta de Andalucía., 2003. [En línea]. Available: http://fama2.us.es/earq/md/07_08/master/3/media/PROSOL2003-06.pdf. [Último acceso: 11 Enero 2018].
- [27] «¿Qué es el CTE?,» Ministerior de Fomento. Gobierno de España., 2015. [En línea]. Available: <https://www.codigotecnico.org/index.php/menu-que-cte.html>. [Último acceso: 11 Enero 2018].
- [28] «Reglamento De Instalaciones Térmicas En Los Edificios (Versión Consolidada). Real Decreto 1027/2007.,» Ministerio De Industria, Energía Y Turismo. Gobierno de España., Setiembre 2013. [En línea]. Available:

- <http://www.minetad.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Reglamento/RDecreto-1027-2007-Consolidado-9092013.pdf>. [Último acceso: 11 Enero 2018].
- [29] P. Polo, «Sector Solar Térmico en España: blance 2014 y prespectivas 2015.,» Revista Energetica XXI. Asociación Solar de la Industria Térmica (ASIT)., Diciembre 2014. [En línea]. Available: <http://www.energetica21.com/descargar.php?seccion=articulos&archivo=J5ZdZYOeYuCyMoUyQMxlmGJdAFGLQtmamB4BaHfz2hmCK82bInButLN.pdf>. [Último acceso: 11 Enero 2018].
- [30] «La energía solar térmica en Cataluña,» Instituto Catalán de Energía (ICAEN). Generalitat de Catalunya., 21 Diciembre 2015. [En línea]. Available: http://icaen.gencat.cat/es/pice_ambits_tematics/pice_energies_renovables/pice_solar_termica/l_energia_solar_termica_a_catalunya/index.html. [Último acceso: 9 Marzo 2016].
- [31] A. Maure y E. Baras, «La política energética en Cataluña y la participación de las energías renovables,» Departamento de Economía y Finanzas. Generalitat de Catalunya., 2010. [En línea]. Available: http://economia.gencat.cat/web/.content/documents/articles/arxiu/doc_28768825_1.pdf. [Último acceso: 11 Enero 2018].
- [32] «Pla De L'energia De Catalunya 2006-2015,» Generalitat de Catalunya., 4 Maig 2005. [En línea]. Available: https://www.aeeolica.org/uploads/documents/EERR_P_energia_catalunya_06-15.pdf. [Último acceso: 11 Enero 2018].
- [33] «Evolución de las viviendas iniciadas (obra nueva), por otros ámbitos territoriales,» Estadísticas. Ajuntament de Barcelona., [En línea]. Available: <http://www.bcn.cat/estadistica/angles/dades/timm/construccio/iniciatsaat.htm>. [Último acceso: 11 Enero 2018].
- [34] «Agencia D'energia de Barcelona,» [En línea]. Available: <http://www.barcelonaenergia.com>. [Último acceso: 5 Marzo 2016].
- [35] «L'ordenança solar tèrmica de Barcelona. Diagnosi dels 12 anys d'ordenança i visió sobre el futur de la solar tèrmica a BCN.,» Agència D'Energia De Barcelona., 2013. [En línea]. Available: http://www.solartermicabcn.cat/fileadmin/user_upload/PDF/00_Diagnosi_de_l_OST_i_visio_futur.pdf. [Último acceso: 11 Enero 2018].
- [36] F. Jiménez, «L'ordenança Solar De Barcelona. Experiències i Balanç.,» Agencia D'energia de Barcelona, 2016. [En línea]. Available: https://www.apabcn.cat/documentacio/areatecnica/PDFS_SHAREPOINT/Presentacions/mati-energies-08-06-2016/FERMIN_JIMENEZ.PDF. [Último acceso: 11 Enero 2018].
- [37] «Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo Relativa a la Eficiencia Energética de los Edificios (Refundición),» Unión Europea, 19 Mayo 2010. [En línea]. Available: <https://www.boe.es/doue/2010/153/L00013-00035.pdf>. [Último acceso: 11 Enero 2018].
- [38] Sorel, [En línea]. Available: <http://www.sorel.de/es/inicio/>. [Último acceso: 2016].
- [39] RESOL – Tecnología de Control., [En línea]. Available: <http://www.resol.de/index/startseite/sprache/es>.
- [40] ECOSOL, [En línea]. Available: <http://ecosol.com.es/>.
- [41] Dexma, [En línea]. Available: <http://www.dexmatech.com/es/>.
- [42] Systemtronic, S.L., [En línea]. Available: <http://www.ingesolcanarias.es/systemtronic.es/>. [Último acceso: 2016].

- [43] A. G. Valero, J. Cadafalch, R. Consul y R. Ruiz, «Open data solar thermal meter for smart cities,» Eurosun 2016, ISES Conference Proceedings., 2016.
- [44] «Sentilo platform main site,» Sentilo. Opentrends., [En línea]. Available: <http://www.sentilo.io>. [Último acceso: 12 Enero 2018].
- [45] A. G. Valero, J. Cadafalch, R. Consul y R. Ruiz, «Equipo contador térmico telemático generador de alertas con un volumen bajo de datos de telecomunicación». España Patente P201630319, 2016.
- [46] «CAN Protocol Tutorial,» Kvaser, [En línea]. Available: <https://www.kvaser.com/can-protocol-tutorial/>. [Último acceso: 12 Enero 2018].
- [47] J. M. M. Perez, «Introducción al bus CAN. Sistemas Embebidos,» Universidad de Murcia., 26 Noviembre 2009. [En línea]. Available: <http://ocw.um.es/ingenierias/sistemas-embebidos/material-de-clase-1/sseedata-t03-02.pdf>. [Último acceso: 11 Enero 2018].
- [48] «Introducción al conjunto de protocolos TCP/IP,» Oracle, 2010. [En línea]. Available: <https://docs.oracle.com/cd/E19957-01/820-2981/6nei0r0r9/index.html>. [Último acceso: 11 Enero 2018].
- [49] J. Daemen y V. Rijmen, «The Design of Rijndael: AES - The Advanced Encryption Standard.,» Springer-Verlag, 2002.
- [50] S. Faulkner, A. Eicholz, T. Leithead, A. Danilo y S. Moon, «HTML 5.2. W3C Recommendation,» World Wide Web Consortium (W3C), 14 Diciembre 2017. [En línea]. Available: <https://www.w3.org/TR/html52/>. [Último acceso: 11 Enero 2018].
- [51] «Standard. ECMA-262. ECMAScript® 2017 Language Specification. 8th Edition.,» ECMA International, Junio 2017. [En línea]. Available: <https://www.ecma-international.org/publications/files/ECMA-ST/Ecma-262.pdf>. [Último acceso: 11 Enero 2018].
- [52] «Standard. ECMA-402. ECMAScript® 2017. Internationalization API Specification. 4th Edition.,» ECMA International, Junio 2017. [En línea]. Available: <https://www.ecma-international.org/publications/files/ECMA-ST/ECMA-402.pdf>. [Último acceso: 11 Enero 2018].
- [53] «Sencha Ext JS. JavaScript framework for web apps,» Sencha, [En línea]. Available: <https://www.sencha.com/products/extjs/#overview>. [Último acceso: 11 Enero 2018].
- [54] «ISO/IEC 9075-1:2016. Information technology -- Database languages -- SQL -- Part 1: Framework (SQL/Framework),» International Organization for Standardization (ISO), Diciembre 2016. [En línea]. Available: <https://www.iso.org/standard/63555.html>. [Último acceso: 11 Enero 2018].
- [55] «MySQL 5.7 Reference Manual,» Oracle, 12 Enero 2018. [En línea]. Available: <https://dev.mysql.com/doc/refman/5.7/en/>. [Último acceso: 12 Enero 2018].
- [56] «Python web main page.,» Python Software Foundation., [En línea]. Available: <https://www.python.org/>. [Último acceso: 11 Enero 2018].
- [57] «The Python Standard Library 2.7.14,» Python Software Foundation, [En línea]. Available: <https://docs.python.org/2/library/index.html>. [Último acceso: 11 Enero 2018].
- [58] «ISO/IEC 14882:2003. Programming languages -- C++,» International Organization for Standardization (ISO), Octubre 2003. [En línea]. Available: <https://www.iso.org/standard/38110.html>. [Último acceso: 11 Enero 2018].
- [59] B. Eckel, Thinking in C++ second edition, Prentice Hall, 2000.

- [60] «GSL - GNU Scientific Library,» GNU Operating System, 17 Junio 2017. [En línea]. Available: <https://www.gnu.org/software/gsl/>. [Último acceso: 12 Enero 2018].
- [61] «Graphics Layout Engine (GLE),» GLE, 18 Agosto 2015. [En línea]. Available: <http://glx.sourceforge.net/index.html>. [Último acceso: 12 Enero 2018].
- [62] «LaTeX – A document preparation system,» The LaTeX Project, [En línea]. Available: <https://www.latex-project.org/>. [Último acceso: 12 Enero 2018].
- [63] «Extensible Markup Language (XML) 1.0 (Fifth Edition),» World Wide Web Consortium (W3C), 26 Noviembre 2008. [En línea]. Available: <https://www.w3.org/TR/xml/>. [Último acceso: 11 Enero 2018].
- [64] «Standard ECMA-404. The JSON Data Interchange Syntax. 2nd Edition.,» ECMA International, Diciembre 2017. [En línea]. Available: <https://www.ecma-international.org/publications/files/ECMA-ST/ECMA-404.pdf>. [Último acceso: 12 Enero 2018].
- [65] «¿Qué es PHP?,» The PHP Group, [En línea]. Available: <https://secure.php.net/manual/es/intro-what-is.php>. [Último acceso: 11 Enero 2018].
- [66] «Poderes caloríficos de las principales fuentes energéticas,» Instituto para la Diversificación y ahorro de la Energía (IDAE), 2014. [En línea]. Available: http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_PCI_Combustibles_Carburantes_final_valores_U_pdate_2014_0830376a.xlsx. [Último acceso: 11 Enero 2018].
- [67] «Precios de los derivados del petróleo: España.,» Datosmacro. Expansión., 2017. [En línea]. Available: <https://www.datosmacro.com/energia/precios-gasolina-diesel-calefaccion/espana?anio=2017>. [Último acceso: 12 Enero 2018].
- [68] «Gas prices for household consumers - bi-annual data (from 2007 onwards),» Eurostat, 22 Noviembre 2017. [En línea]. Available: http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg_pc_202&lang=en. [Último acceso: 11 Enero 2018].
- [69] «Electricity prices for household consumers - bi-annual data (from 2007 onwards),» Eurostat, 22 Noviembre 2017. [En línea]. Available: http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg_pc_204&lang=en. [Último acceso: 11 Enero 2018].
- [70] «Precio Neto de la Electricidad para Uso Doméstico y Uso Industrial,» Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital del Gobierno de España, 30 Noviembre 2017. [En línea]. Available: http://www.minetad.gob.es/es-ES/IndicadoresyEstadisticas/DatosEstadisticos/IV.%20Energ%C3%ADa%20y%20emisiones/IV_12.pdf. [Último acceso: 11 Enero 2018].
- [71] «Factores de Emisión. Registro de Huella de Carbono, Compensación y Proyectos de Absorción de Dióxido de Carbono.,» Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente del Gobierno de España, Julio 2017. [En línea]. Available: http://www.mapama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/factores_emision_tcm7-359395.pdf. [Último acceso: 12 Enero 2018].
- [72] «The valid M-Bus standard. All data for M-Bus.,» M-Bus, [En línea]. Available: <http://www.m-bus.com/>. [Último acceso: 12 Enero 2018].

- [73] «UNE-EN 13757-1:2015. Sistemas de comunicación para contadores. Parte 1: Intercambio de datos.,» AENOR, 14 Octubre 2015. [En línea]. Available: <http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0055604>. [Último acceso: 11 Enero 2018].
- [74] «UNE-EN 13757-2:2005. Lectura remota de contadores y sus sistemas de comunicación. Parte 2: Capas física y de enlace.,» AENOR, 10 Octubre 2010. [En línea]. Available: <http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0033613>. [Último acceso: 11 Enero 2018].
- [75] «UNE-EN 13757-3:2013. Lectura remota de contadores y sus sistemas de comunicación. Parte 3: Capa de aplicación específica.,» AENOR, 11 Diciembre 2013. [En línea]. Available: <http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0052290>. [Último acceso: 11 Enero 2018].
- [76] «Arquitectura cliente/servidor,» Oposiciones TIC, 17 Octubre 2016. [En línea]. Available: <https://oposicionestic.blogspot.com/2011/06/arquitectura-cliente-servidor.html>. [Último acceso: 11 Enero 2018].
- [77] J. Wiley, Introduction to Client/Server Systems: A Practical Guide for Systems Professionals. 2nd Revised edition, John Wiley & Sons Inc., 1996.
- [78] «A Cellular-type Protocol Innovation for the Internet of Things,» M2Comunicacion Inc., Enero 2015. [En línea]. Available: [http://www.theinternetofthings.eu/sites/default/files/\[user-name\]/M2C Whitepaper for IoT Connectivity.pdf](http://www.theinternetofthings.eu/sites/default/files/[user-name]/M2C Whitepaper for IoT Connectivity.pdf). [Último acceso: 12 Enero 2018].
- [79] Beckman, W. K. S. y D. J., Proyecto de sistemas térmico-solares por el método de las curvas-f., Editorial Index, 1982.
- [80] R. Ruiz, ACS y Energía solar térmica: CTE HE4 - Contribución Solar Mínima de ACS, Barcelona: Col·legi d'Enginyers Tecnicos Industrials Barcelona., 2015.
- [81] «Funcionamiento interno Medidores 13 y 19 mm,» Javier Becerra Espinoza, 13 Octubre 2009. [En línea]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=u_T588oTRmU. [Último acceso: 12 Enero 2018].
- [82] «Principio de medida de caudal por Vortex,» COMTRONIC Spain, 8 Febrero 2012. [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=UvtgWoX6bTI>. [Último acceso: 12 Enero 2018].
- [83] A. G. Valero, J. Cadafalch, R. Cònsul y R. Ruiz, Comparative experimental analysis of solar thermal energy counters, 11th ISES Eurosun Conference., 2016.
- [84] «Rime Flow Technology,» 6 6 2016. [En línea]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=y96FIATmT_U. [Último acceso: 5 3 2018].
- [85] «Estrategia catalana para la renovación energética de edificios (ECREE),» Instituto Catalán de Energía (ICAEN). Generalitat de Catalunya., [En línea]. Available: http://icaen.gencat.cat/es/plans_programes/ecree/. [Último acceso: 11 Enero 2018].
- [86] «Terrassa Sentilo platform.,» Terrassa, 2016. [En línea]. Available: <http://sentilo.terrassa.cat>. [Último acceso: 12 Enero 2018].
- [87] «Barcelona Sentilo platform.,» Ajuntament de Barcelona., 2016. [En línea]. Available: <http://connecta.bcn.cat>. [Último acceso: 11 Enero 2018].

- [88] «DIBA IoT Contest,» Diputació de Barcelona., 2016. [En línea]. Available: <http://www.diba.cat/es/web/smartregion/iotcontest>. [Último acceso: 12 Enero 2018].
- [89] Módulo Solar., [En línea]. Available: http://www.placas-energia-solar.com/modulo_solar.htm.
- [90] J. Duffie y W. Beckman, Solar Engineering of Thermal Processes, John Wiley & Sons INC, 1991.
- [91] «Enlarging Solar Thermal Systems in Multi-Family Houses and Hotels in Europe (SOLARGE),» European Commission, 2010. [En línea]. Available: <https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/en/projects/solarge>. [Último acceso: 11 Enero 2018].
- [92] La contribució de l'habitatge de Catalunya a la reducció d'emissions de gasos amb efecte hivernacle., Barcelona: Generalitat de Catalunya, Departament de Medi Ambient i Habitatge., 2006.
- [93] Guia pràctica per al càlcul d'emissions de gasos amb efecte hivernacle (GEH), Barcelona: Generalitat de Catalunya, Departament de Medi Ambient i Habitatge., 2014.
- [94] H. Henning, Solar-Assisted Air-Conditioning in Buildings, a Handbook for Planners., Springer-Verlag Wien New York, 2004.
- [95] Plan de Energías Renovables 2005-2010. Capítulo 3.3. Sector solar térmico., Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Gobierno de España., 2010.
- [96] R. Ruiz y M. Quera, Instalaciones convencionales y solares para la producción de ACS., Barcelona: ETSEIB – CPDA, 2005.
- [97] «Solar Heat for Large Buildings – Guidelines and Practical Examples for Apartment Buildings, Hotels and Business. Best Practice Catalogue.,» Solarge, [En línea]. Available: http://www.solarge.org/uploads/media/SOLARGE_Best_Practice_Catalogue_en.pdf. [Último acceso: 12 1 2018].
- [98] R. P. Benedict, Fundamentals of Temperature, Pressure and Flow Measurements, John Wiley & Sons Inc., 1984.
- [99] E. Eckert y M. Drake, Analysis of Heat and Mass Transfer, New-York: McGraw-Hill, 1972.
- [100] H. Wong, Handbook of Essential Formulae and Data on Heat Transfer for Engineers, London: Logman, 1977.

9 Nomenclatura

Término	Definición	Unidad
E*	Energía producida inteligente: dato o ausencia de dato de energía contabilizada en un intervalo de tiempo dado.	kWh
E+	Indicador de sobre producción en una instalación solar térmica de ACS según el sistema de alertas.	-
E-	Indicador de baja producción en una instalación solar térmica de ACS según el sistema de alertas.	-
N	Indicador de ausencia de datos de energía según el sistema de alertas en relación a una instalación solar térmica de ACS.	-
Ok	Indicador de funcionamiento correcto de una instalación solar térmica de ACS según el sistema de alertas.	-
T	Valor de temperatura obtenido mediante una sonda en una instalación solar térmica de ACS para el cálculo de la energía producida según lo desarrollado en esta tesis.	K
	T_h : temperatura caliente. H de la palabra inglesa hot (caliente).	K
	T_c : temperatura fría. C de la palabra inglesa cold (frío).	K
E	Valor de energía del sistema solar.	kWh
	E_l : producida en el intervalo de medición prefijado (Dt_l).	kWh
	E_c : producida en el intervalo de transmisión prefijado (Dt_c). Suma de E_l en el intervalo de tiempo Dt_c .	kWh
	$E_{día}$: producida en el intervalo de un día. Suma de valores de E_c durante 24 horas.	kWh
	$E_{día.promedio}$: producido promedio en los últimos 30 días de producción. Suma de $E_{día}$ de los últimos 30 días dividido entre 30 días.	kWh
	$E_{día.teórico}$: prevista según proyecto en el intervalo de un día.	kWh
c_p	Calor específico del líquido caloportador en la instalación solar térmica.	J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹
\dot{c}	Coefficiente de flujo másico del líquido caloportador en la instalación solar térmica que toma los valores $\dot{c} = \dot{m}$ cuando la bomba de primario esta activa y $\dot{c} = 0$ cuando la bomba esta parada.	kg·s
\dot{m}	Flujo másico del líquido caloportador en la instalación solar térmica.	kg·s
Dt	Diferencial de tiempo para el cálculo de la energía producida en la instalación solar térmica.	s
	Dt_l : intervalo de la medición de la energía in-situ prefijado.	s
	Dt_c : intervalo de la transmisión de la energía producida entre módulos. Valor entre 15 min a 59 min.	min
V_{flow}	Valor del flujo volumétrico del líquido caloportador en la instalación solar térmica.	m ³ /s

En referencia a algunas ilustraciones

E	Valor de energía contabilizado en la instalación de energía solar térmica monitorizada correspondiente a un intervalo de tiempo determinado.	kWh
---	--	-----

€	Valor del ahorro energético respecto al valor de energía E y en relación a la energía auxiliar del sistema de energía solar térmico.	€
CO ₂	Valor de emisiones de CO ₂ respecto al valor de energía E y en relación a la energía auxiliar del sistema de energía solar térmico.	CO ₂
Estado	Estado de la instalación de energía solar térmica según los algoritmos inteligentes desarrollados. Posibles valores: E+, E-, N y Ok.	-

10 Listado de abreviaturas y símbolos

Por orden alfabético:

ACS: Agua caliente sanitaria

API: Interfaz de programación de aplicaciones.

DNS: Sistema de nombres de dominio.

I+D: Investigación y desarrollo.

IoT: Internet de las cosas.

IP: protocolo de internet.

OyM: Operación y mantenimiento.

TIC: Tecnologías de la información y la comunicación.

11 Glosario

Por orden alfabético:

Agua caliente sanitaria (ACS): agua destinada a consumo humano que ha sido calentada. Se utiliza para usos sanitarios (baños, duchas, etc.) y para otros usos de limpieza (fregado de platos, lavadora, lavavajillas, fregado de suelos).

Dirección IP [1]: Los equipos comunican a través de Internet mediante el protocolo IP (Internet Protocol). Este protocolo utiliza direcciones numéricas denominadas direcciones IP compuestas por cuatro números enteros (4 bytes) entre 0 y 255, y escritos en el formato xxx.xxx.xxx.xxx. Por ejemplo, 194.153.205.26 es una dirección IP.

Front-end y back-end [2]: A grandes rasgos, por Front-end entendemos la parte que el usuario visualizará y con la que interactuará; mientras que Back-end se refiere a la parte de la que no se ve pero que hace que ésta funcione correctamente.

Infraestructura TIC [3]: en el contexto de esta tesis es el conjunto de hardware y software sobre el que se asientan los servicios prestados. En un concepto más amplio, todas las tecnologías que interfieren y gestionan los procesos informativos y de comunicación. Engloba los mercados de hardware, software, telecomunicaciones, automatización y comunicación de negocios y servicios de TI.

Internet de las cosas (IoT) [4]: concepto que se refiere a la interconexión digital de objetos cotidianos, sensores o chips mediante una red, generalmente, internet.

Interfaz de programación de aplicaciones (API) [5]: conjunto de subrutinas, funciones y procedimientos (o métodos, en la programación orientada a objetos) que ofrece cierta biblioteca para ser utilizado por otro software como una capa de abstracción.

Multitenant [6]: software específicamente pensado desde su creación, para que pueda ser utilizado por múltiples clientes al mismo tiempo, permitiendo personalizaciones a cada uno de los clientes y preservando la seguridad de los datos.

Open data (datos abiertos) [7]: filosofía y práctica que persigue que determinados tipos de datos estén disponibles de forma libre para todo el mundo, sin restricciones de derechos de autor, de patentes o de otros mecanismos de control.

Open source (código abierto): aplicaciones informáticas que permiten el acceso a su código. En función de la licencia del programa se podrá explotar, modificar, distribuir y/o copiar el código.

Protocolo de internet (IP) [1] [8]: conjunto de protocolos que especifican estándares de comunicaciones entre sistemas y detallan los convenios para el direccionamiento y la interconexión de redes. Su uso en Internet está ampliamente extendido y, por consiguiente, es la herramienta preferida de centros de investigación, escuelas, universidades, organismos oficiales y empresas para comunicarse entre sí.

Sistema de nombres de dominio (DNS) [1] [9]: sistema de nomenclatura jerárquico descentralizado para dispositivos conectados a redes IP como Internet o una red privada. Este sistema asocia información variada con nombre de dominio asignado a cada uno de los participantes. Su función más importante es "traducir" nombres inteligibles para las personas en identificadores binarios asociados con los equipos conectados a la red, esto con el propósito de poder localizar y direccionar estos equipos mundialmente.

Sistemas o instalaciones solares térmicas de agua caliente sanitaria: instalaciones que usan la energía del sol para calentar el agua destinada al consumo humano.

Smart city (ciudad inteligente) [10]: concepto emergente sin definición concreta. En el contexto de la tesis hace referencia a un tipo de desarrollo urbano basado en la sostenibilidad que es capaz de responder adecuadamente a las necesidades básicas de instituciones, empresas, y de los propios habitantes, tanto en el plano económico, como en los aspectos operativos, sociales y ambientales.

Tecnologías de la información y la comunicación (TIC) [11]: conjunto de tecnologías que permiten el acceso, producción, tratamiento y comunicación de información presentada en diferentes códigos.

Anexo A. Esquemas de los diferentes sistemas de energía solar térmica según Rdmes Technologies S.L.

En este anexo se muestran los esquemas de las diferentes tipologías de sistemas de energía solar térmica para ACS según la “Tabla 1: Agrupación de las tipologías para clasificar sistemas de energía solar térmica según criterio de Rdmes Technologies S.L.” de la memoria de la tesis.

A.1. AS:C - NC:2 - EA:C - IF:D

Sistema de energía solar térmica para ACS con acumulación solar centralizada, dos circuitos (primario y distribución), sistema auxiliar centralizado y sin intercambiador al final.

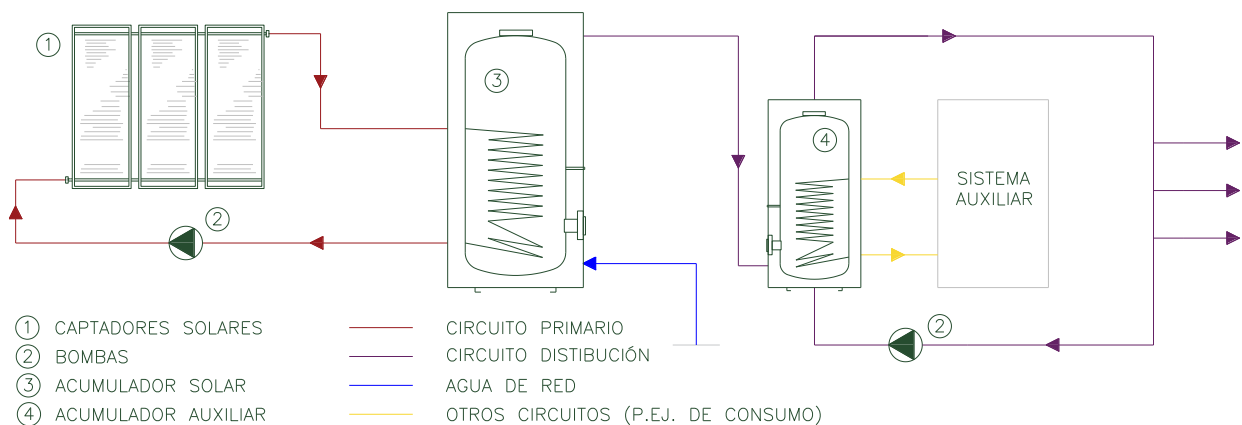


Ilustración 34: Esquema simplificado de un sistema de energía solar térmica para ACS con acumulación solar centralizada, dos circuitos (primario y distribución), sistema auxiliar centralizado y sin intercambiador al final.

A.2. AS:C - NC:2 - EA:C - IF:I

Sistema de energía solar térmica para ACS con acumulación solar centralizada, dos circuitos (primario y distribución), sistema auxiliar centralizado y con intercambiador de calor al final.

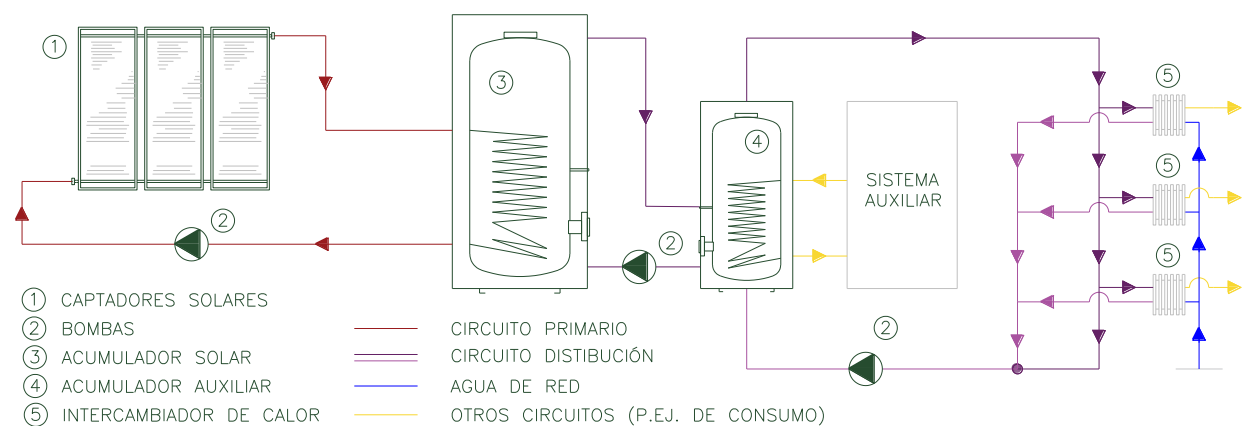


Ilustración 35: Esquema simplificado de un sistema de energía solar térmica para ACS con acumulación solar centralizada, dos circuitos (primario y distribución), sistema auxiliar centralizado y con intercambiador de calor al final.

A.3. AS:C - NC:2 - EA:D - IF:D

Sistema de energía solar térmica para ACS con acumulación solar centralizada, dos circuitos (primario y distribución), sistema auxiliar descentralizado y sin intercambiador al final.

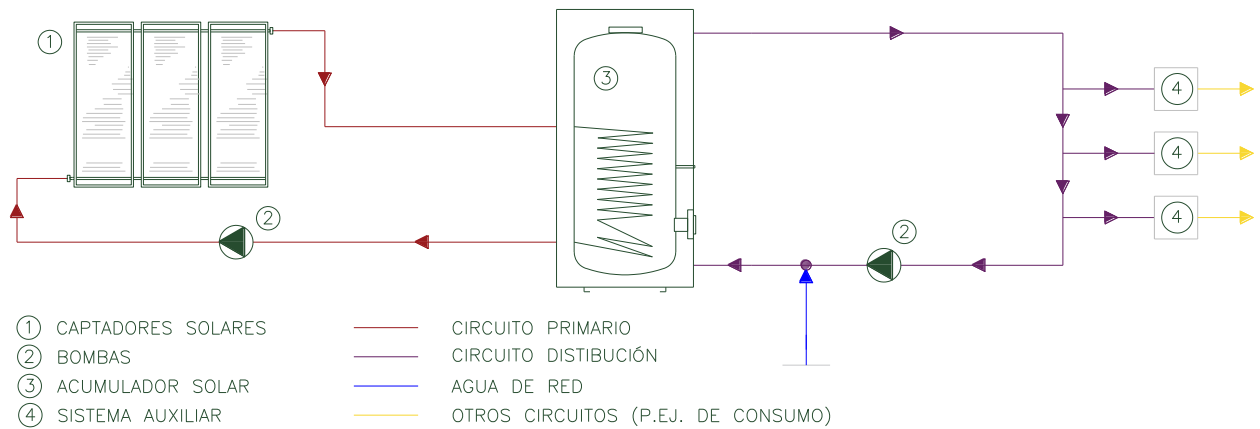


Ilustración 36: Esquema simplificado de un sistema de energía solar térmica para ACS con acumulación solar centralizada, dos circuitos (primario y distribución), sistema auxiliar descentralizado y sin intercambiador al final.

A.4. AS:C - NC:2 - EA:D - IF:I

Sistema de energía solar térmica para ACS con acumulación solar centralizada, dos circuitos (primario y distribución), sistema auxiliar descentralizado y con intercambiador de calor al final.

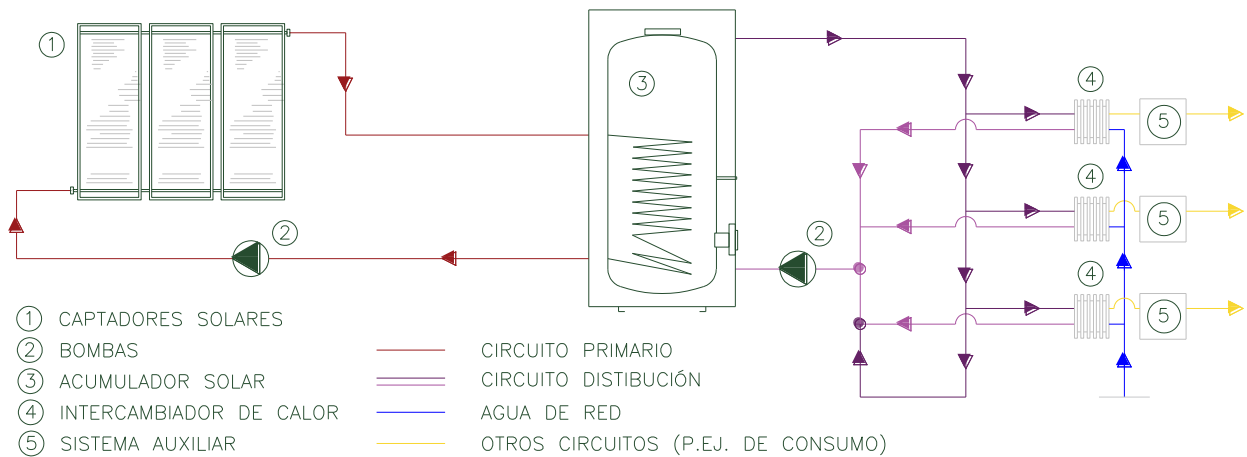


Ilustración 37: Esquema simplificado de un sistema de energía solar térmica para ACS con acumulación solar centralizada, dos circuitos (primario y distribución), sistema auxiliar descentralizado y con intercambiador de calor al final.

A.5. AS:C - NC:2 - EA:D - IF:A

Sistema de energía solar térmica para ACS con acumulación solar centralizada, dos circuitos (primario y distribución), sistema auxiliar descentralizado y con acumulador al final.

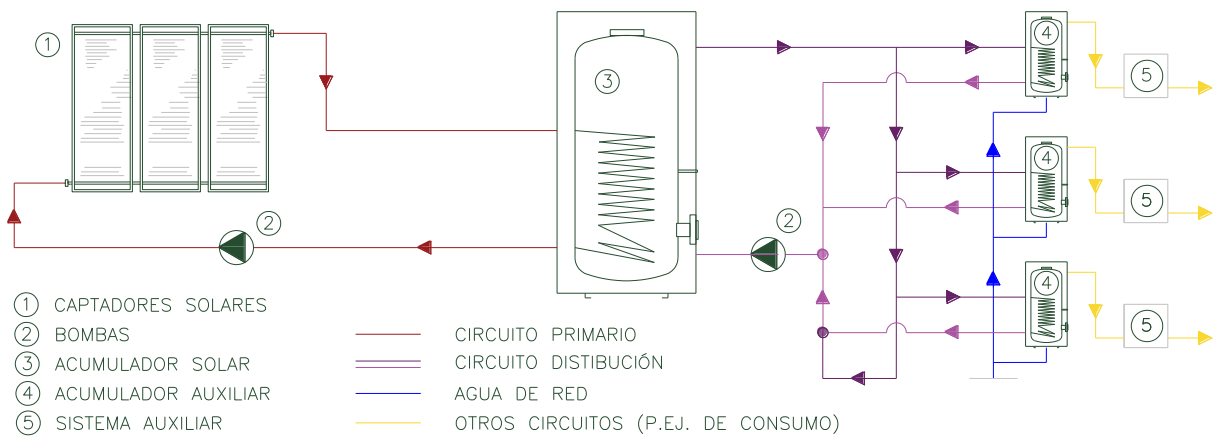


Ilustración 38: Esquema simplificado de un sistema de energía solar térmica para ACS con acumulación solar centralizada, dos circuitos (primario y distribución), sistema auxiliar descentralizado y con acumulador al final.

A.6. AS:C - NC:3 - EA:C - IF:D

Sistema de energía solar térmica para ACS con acumulación solar centralizada, tres circuitos (primario, secundario y distribución), sistema auxiliar centralizado y sin intercambiador al final.

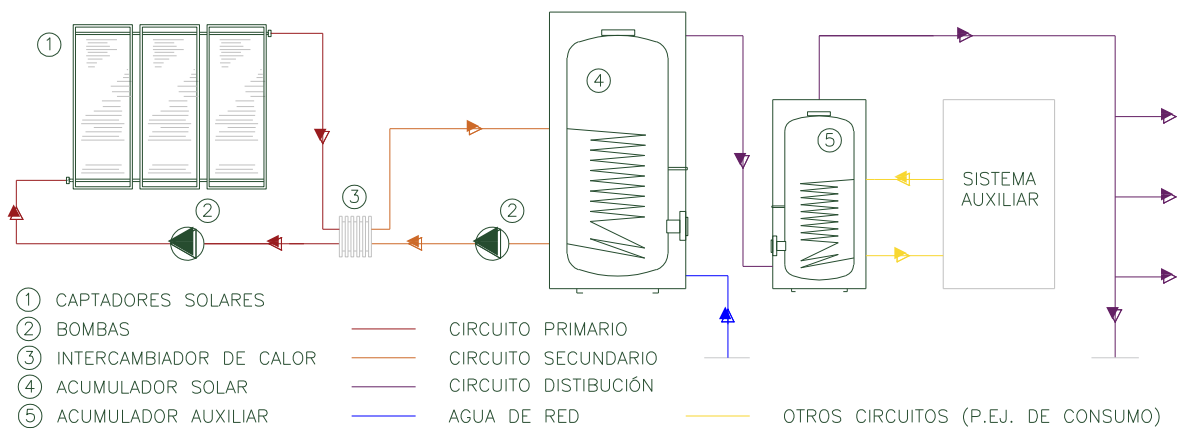


Ilustración 39: Esquema simplificado de un sistema de energía solar térmica para ACS con acumulación solar centralizada, tres circuitos (primario, secundario y distribución), sistema auxiliar centralizado y sin intercambiador al final.

A.7. AS:C - NC:3 - EA:C - IF:I

Sistema de energía solar térmica para ACS con acumulación solar centralizada, tres circuitos (primario, secundario y distribución), sistema auxiliar centralizado y con intercambiador de calor al final.

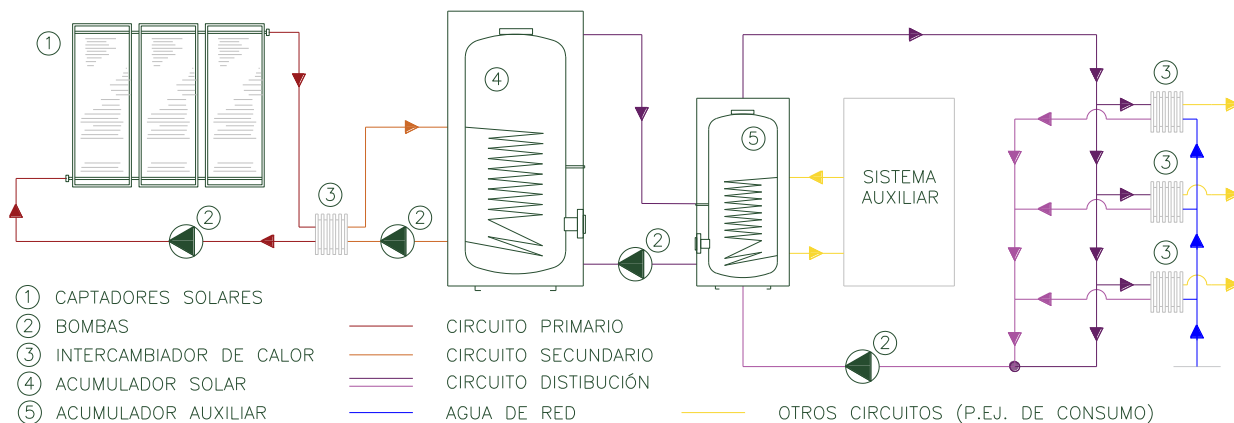


Ilustración 40: Esquema simplificado de un sistema de energía solar térmica para ACS con acumulación solar centralizada, tres circuitos (primario, secundario y distribución), sistema auxiliar centralizado y con intercambiador de calor al final.

A.8. AS:C - NC:3 - EA:D - IF:D

Sistema de energía solar térmica para ACS con acumulación solar centralizada, tres circuitos (primario, secundario y distribución), sistema auxiliar descentralizado y sin intercambiador al final.

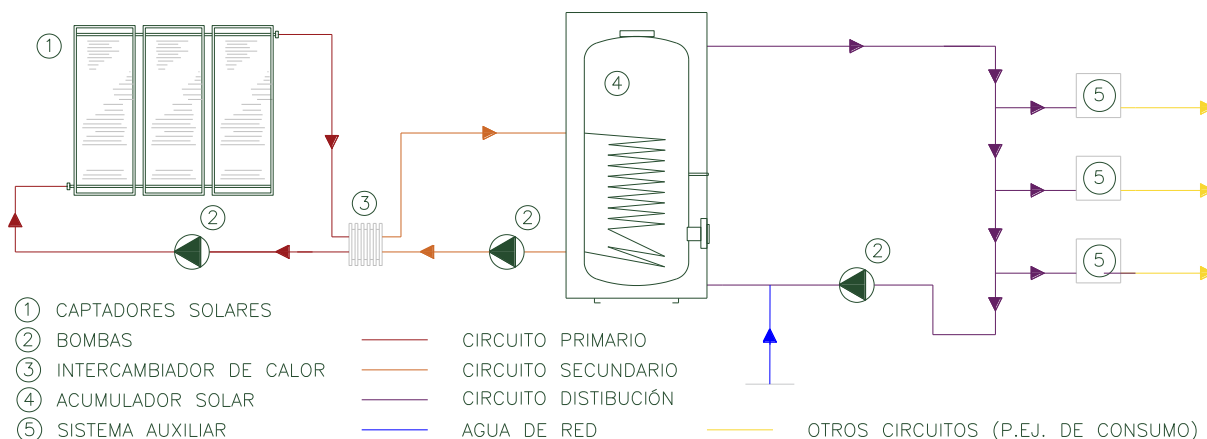


Ilustración 41: Esquema simplificado de un sistema de energía solar térmica para ACS con acumulación solar centralizada, tres circuitos (primario, secundario y distribución), sistema auxiliar descentralizado y sin intercambiador al final.

A.9. AS:C - NC:3 - EA:D - IF:I

Sistema de energía solar térmica para ACS con acumulación solar centralizada, tres circuitos (primario, secundario y distribución), sistema auxiliar descentralizado y con intercambiador de calor al final.

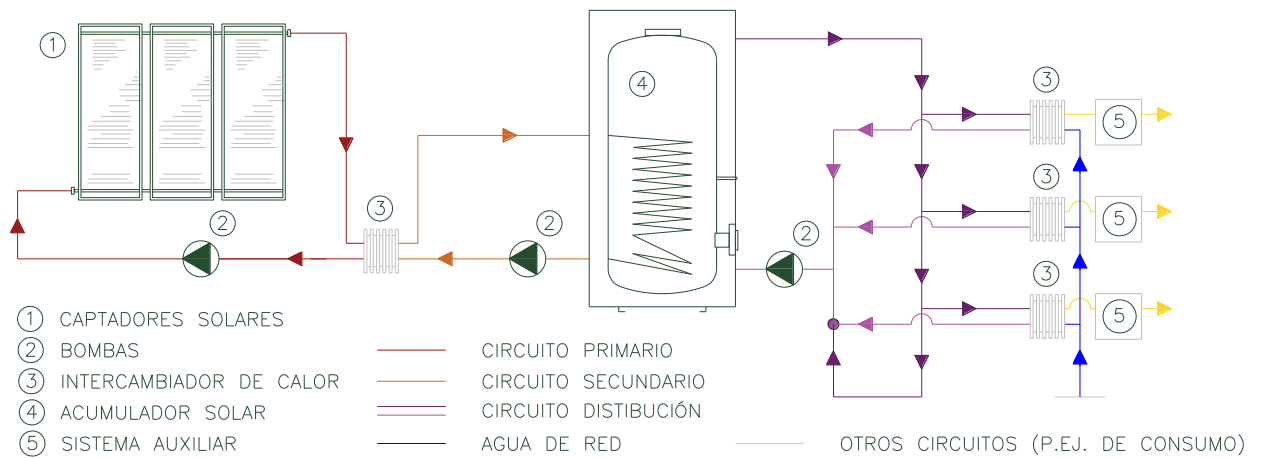


Ilustración 42: Esquema simplificado de un Sistema de energía solar térmica para ACS con acumulación solar centralizada, tres circuitos (primario, secundario y distribución), sistema auxiliar descentralizado y con intercambiador de calor al final.

A.10. AS:C - NC:3 - EA:D - IF:A

Sistema de energía solar térmica para ACS con acumulación solar centralizada, tres circuitos (primario, secundario y distribución), sistema auxiliar descentralizado y con acumulador al final.

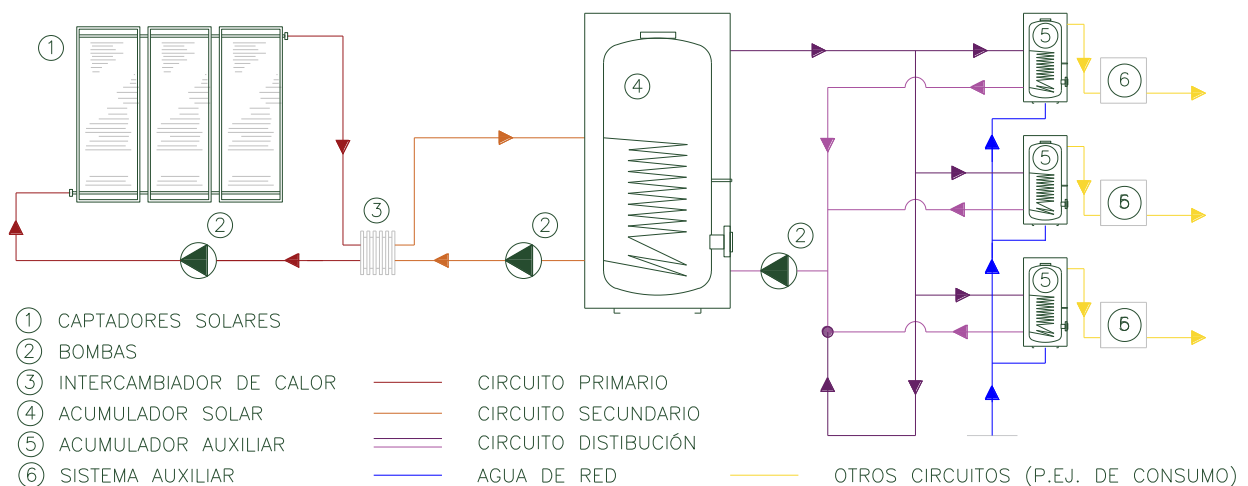


Ilustración 43: Esquema simplificado de un sistema de energía solar térmica para ACS con acumulación solar centralizada, tres circuitos (primario, secundario y distribución), sistema auxiliar descentralizado y con acumulador al final.

A.11. AS:D - NC:1

Sistema de energía solar térmica para ACS con acumulación descentralizado y un circuito (primario).

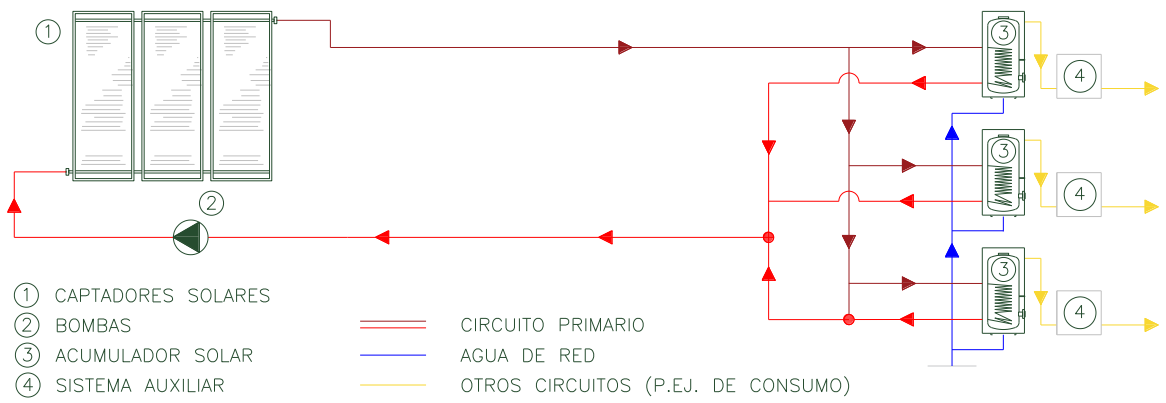


Ilustración 44: Esquema simplificado de un sistema de energía solar térmica para ACS con acumulación descentralizado y un circuito (primario).

A.12. AS:D - NC:2

Sistema de energía solar térmica para ACS con acumulación descentralizado y dos circuitos (primario y distribución).

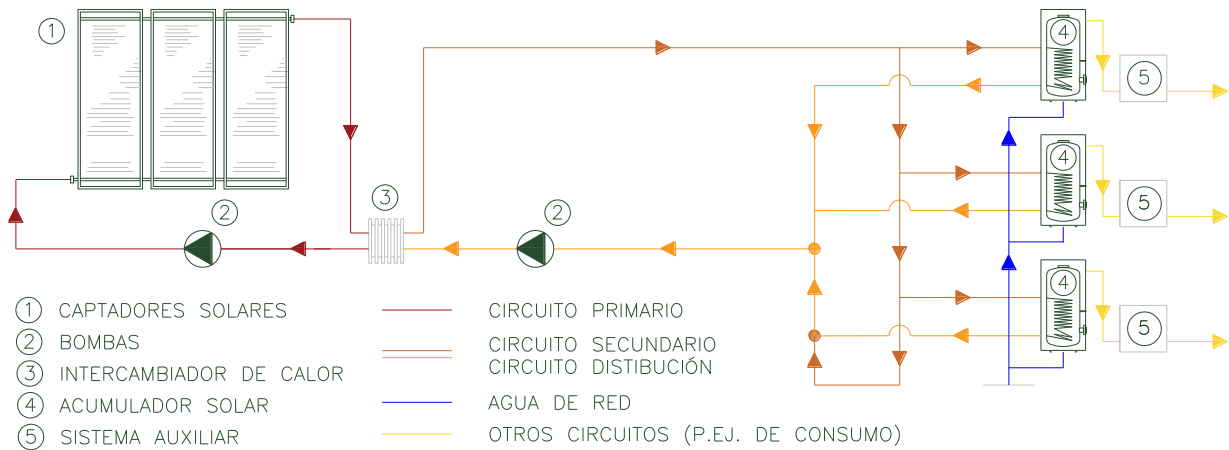


Ilustración 45: Esquema simplificado de un sistema de energía solar térmica para ACS con acumulación descentralizado y dos circuitos (primario y distribución).

Anexo B. Validación de campo - Ejemplo de informe de auditoría



Descripción general

Auditoría
23/02/2015

Emplazamiento
Localidad
Provincia:

<i>Cubierta</i>		
Inclinación de los captadores	[deg]	17
Orientación	[deg]	45
<i>Distribución</i>		
Tipo de proyecto		Viviendas multifamiliares
Nº de personas (CTE):		15
Nº de personas (Decret):		15
<i>Energía auxiliar:</i>		
General		
<i>Demanda ACS (según normativas)</i>		
Normativa más restrictiva		Decret
Temperatura media agua de red	[°C]	14
Temperatura de diseño	[°C]	60
Consumo agua	[litros/día]	420
Demanda energética	[kWh/año]	8248
<i>Nota: En la estimación de la ocupación, se ha considerado una ocupación media de 3 persona por vivienda</i>		
<i>Dimensionado</i>		
Número de captadores:		4
Volumen total de acumulación	[litros]	1000
<i>Demanda energética</i>		
Demanda	[kWh/año]	8248
Aportación Solar	[kWh/año]	5912
Energía Auxiliar	[kWh/año]	2336
<i>Indicadores</i>		
Fracción Solar	[%]	72
Rendimiento		0,37

Metodología de cálculo:

Cobertura solar estimada a partir de las indicaciones del libro "Proyecto de Sistemas Térmico-Solares por el método de las curvas-F", W.A. Beckman, S.A. Klein y J.A. Duffie, Editorial INDEX, 1982, y el artículo: "Calculation of monthly averaged insolation on tilted surfaces", Klein S.A., Solar Energy, Vol 19. pp. 325-329, 1977.



Cálculo de la cobertura solar

Auditoría
23/02/2015

Tipo de proyecto			
Viviendas multifamiliares			
Emplazamiento			
Dirección			
Población			
Provincia			
Latitud ϕ [deg]			
41,4			
Estimación de la ocupación			
Nº de personas (CTE):			
15			
Nº de personas (Decret):			
15			
Energía auxiliar:			
General			
Normativas aplicables			
	CTE	Decret	OST Local
Nº de personas:	15	15	15
Consumo [l 60º/dia/por persona]:	22	28	0
Consumo [l 60º/dia]:	330	420	0
Zona Climática	II	III	-
Cobertura mínima caso General [%]	30	50	0
Aportación Solar mínima [kWh]	1945	4126	0
Aplicabilidad s/proyecto	SI	SI	NO
Normativa más restrictiva			
Normativa:			
Decret			
Consumo [l 60º/dia]:			
420			
Cobertura mínima caso General [%]			
50			
Datos del campo de captación			
Modelo			
Vitosol 200 F			
Marca			
Viessman			
Área de referencia			
[m ²]			
2,513			
Rendimiento óptico $F_R(\tau\alpha)_n$			
0,78			
Coeficiente de Pérdidas (F_{RUL})			
[W/Km ²]			
5,00			
Caudal de test			
[litros/hm ²]			
60			
Inclinación			
[deg]			
17			
Azimuth			
[deg]			
45			
$\eta = F_R(\tau\alpha)_n - F_{RUL}(T_{in} - T_a) / I_T$			
Dimensionado			
Número de captadores:			
4			
Superficie total de captación			
[m ²]			
10,05			
Volumen total de acumulación			
[litros]			
1000			
Demanda energética			
Demanda			
[kWh/año]			
8248			
Aportación Solar			
[kWh/año]			
5912			
Energía Auxiliar			
[kWh/año]			
2336			
Indicadores			
Fracción Solar			
[%]			
72			
Rendimiento			
0,37			
Pérdidas (Orientación/Inclinación)			
[%]			
14,2			

Grup de Recerca en Tecnologies Renovables
 Universitat Politècnica de Catalunya
 Ctra. N-150, km 14,5, Institut Politècnic, 08227 Terrassa, Barcelona
 937318762, rconsul@mmt.upc.edu
 Campaña informativa financiada por RDmes Technologies S.L.

A-2



Cálculo de la cobertura solar

Auditoría
23/02/2015

Datos Meteorológicos

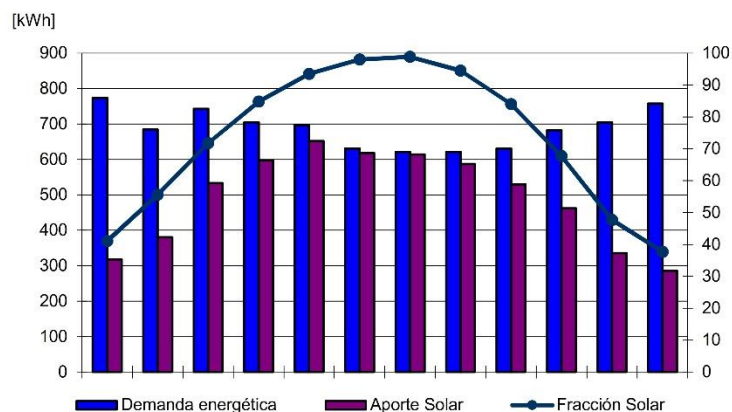
Mes	Ta [°C]	H [MJ/m ² /día]	Tred [°C]
Ene	8,8	6,8	9,0
Feb	9,5	9,7	10,0
Mar	11,1	13,9	11,0
Abr	12,8	18,5	12,0
May	16,0	22,3	14,0
Jun	19,7	24,0	17,0
Jul	22,9	23,4	19,0
Ago	23,0	20,4	19,0
Sep	21,0	16,1	17,0
Oct	17,1	11,4	15,0
Nov	12,5	7,7	12,0
Dic	9,6	6,0	10,0
ANUAL	15,3	15,0	13,8

H: Radiación solar diaria media mensual sobre plano horizontal

Ta/Tred: Temperatura ambiente y temperatura del agua de red media mensual

Indicadores mensuales de la instalación

Mes	Demanda Energía [kWh]	Aportación Energía Solar [kWh]	Aportación Energía Auxiliar [kWh]	Fracción Solar [%]
Ene	773	318	455	41
Feb	684	380	304	56
Mar	743	533	209	72
Abr	704	597	107	85
May	697	652	46	93
Jun	631	618	13	98
Jul	621	614	7	99
Ago	621	587	34	94
Sep	631	530	101	84
Oct	682	462	220	68
Nov	704	336	368	48
Dic	758	286	472	38
ANUAL	8248	5912	2336	72



Grup de Recerca en Tecnologies Renovables
 Universitat Politècnica de Catalunya
 Ctra. N-150, km 14,5, Institut Politècnic, 08227 Terrassa, Barcelona
 937318762, rconsul@mmt.upc.edu
 Campaña informativa financiada por RDmes Technologies S.L.

A-3



Check list

Auditoria
23/02/2015

Configuración del sistema		
A Acumulación	centralizada	
	descentralizada	X
B Número circuitos	único	
	primario y distribución	
	primario y secundario	X
C Energía auxiliar	centralizada	
	descentralizada	X
D Tipo energía auxiliar		Gas natural
E Distribución	directa sin recirculación	
	directa con recirculación	
	intercambiador	
	acumulador	
F Circulación	Bombeo	X
	Termosifon	
G Disipación	aerotermos	
	nocturna	
	drain-back	
	estancamiento controlado	
H Otros		

Campo de captación		valor / comentario	leve	grave
1	Marca y modelo captadores	Viessmann, Vitosol 200 F		
2	Número de captadores	4		
3	Configuración	1 Bat4		
4	Nivel de sombras	Nulo		
5	Anclaje	Correcto		
6	Limpieza	Insuficiente	X	
7	Kits de línea	válv. de corte	No	X
8	$T_{max} > 185 \text{ oC}$	válv. segur (bar)	No	X
9	$p_{Max} < p_{Max \text{ capt.}}$	aireadores+v.corte	Si	
10	$T_{max} \text{ (oC)}$			
11	Conexiones estancas	Si		
12	Conexión a tierra de las estructuras	No	X	
13	Tuberías	diámetro (mm)	22	
14		configuración		
15	Aislante	espesor (mm)	19	X
16	35mm si D<35	estado	degradado	
17	40mm si D>30	intemperie	Si	
18	Roturas	No		
19	Sonda de T o radiación	Sonda radiación i temperatura		
20	Otros			

Aerotermos		valor / comentario	leve	grave
21	Marca y modelo aerotermino			
22	Potencia kW (>500 W/m ²)			
23	Operativo?			
24	Otros			

Grup de Recerca en Tecnologies Renovables
 Universitat Politècnica de Catalunya
 Ctra. N-150, km 14.5, Institut Politècnic, 08227 Terrassa, Barcelona
 937318762, rconsul@mmt.upc.edu
 Campaña informativa financiada por RDmes Technologies S.L.

A-4



Check list

Auditoria
23/02/2015

Sala técnica - sistemas de protección		valor / comentario	leve	grave
Primario				
25	Válvula seg. existe?	Si		
26	P tarado (bar)	3		X
27	Conducción escape fluido a dep.	No		
28	Vaso expansión operativo	Si		
29	P Max < P tarado volumen (l)	35		
30	T Max / P Max			
31	Fluido solar compatible con captad.	Cicuito vacio		X
32	T protección a congelación			X
33	P actual (bar)			
34	Otros			
Secundario				
35	Válvula seg. existe?	Si		
36	P tarado (bar)	3		
37	Vaso expansión operativo	si		
38	P Max < P tarado volumen (l)	35		
39	T Max / P Max			
40	P actual (bar)			
41	Otros			
Distribución				
42	Válvula seg. existe?			
43	P tarado (bar)			
44	Vaso expansión operativo			
45	P Max < P tarado volumen (l)			
46	T Max / P Max			
47	P actual (bar)			
48	Otros			
Sala técnica - acumulador				
Con serpentín - interacumulador				
49	Operativo?			
50	Modelo			
51	Volumen (l)			
52	P Max (l)			
53	T Max(oC)			
54	Superf. Intercambio / A (>0.15)			
55	Sonda T ubicada en 1/3 inferior			
56	Otros			
Sin serpentín				
57	Operativo?			
58	Modelo			
59	Volumen (l)			
60	Caudal recirculacion (l/min) > 5			
61	P Max (l)			
62	T Max(oC)			
63	Sonda T ubicada en 1/3 inferior			
61	Otros			



Check list

Auditoria
23/02/2015

Sala técnica - intercambiador	valor / comentario	leve	grave
62 Operativo?	Si		
63 Modelo	SWE		
64 Solar?	No		
65 Potencia kW (>500 W/m ²)			
66 Otros			

Sala técnica - conducciones	valor / comentario	leve	grave
67 Estanquidad en conexiones	No		
68 Circuitos de carga cerrados	Si		
69 Diámetro tubería primario	22		
70 secundario	22		
71 distribución			
72 Espesor aislante primario	19		
73 25mm si D<35 secundario	19		
74 30mm si D>35 distribución			
75 Otros			

Sala técnica - bombeo	valor / comentario	leve	grave
Primario			
76 Operativo?	No		
77 Modelo	wilo 24/6-3		
78 Solar?	Si		
79 Caudal (l/min)			
80 P max (bar)			
81 T max (oC)			
82 Bomba doble si A>50m ²			
83 Otros			
Secundario			
84 Operativo?	No		
85 Modelo	grundfos 25-60		
86 Caudal (l/min)			
87 P max (bar)			
88 T max (oC)			
89 Bomba doble si A>50m ²			
90 Otros			
Distribución/recirculación			
91 Operativo?			
92 Modelo			
93 Caudal (l/min)			
94 P max (bar)			
95 T max (oC)			
96 Otros			



Check list

Auditoria
23/02/2015

Sala técnica - control y medición		valor / comentario	leve	grave
97	Medición T retorno captadores	-		
98	Medición T impulsión a captadores	-		
99	Caudalímetro en cada circuito	No		
100	Manómetro en cada circuito	Si		
101	Contador energía	Si		
102	Controlador solar Operativo?	Si		
103	Modelo	Wiessmann Solar		
104	Protecciones eléctricas	Si		
105	Protección cableado y enchufes	Si		
106	Acoplamiento sistema auxiliar	No		
107	Limitación T servicio ACS a 60oC	Si		
108	Contador individualizado			
109	Otros			

Mantenimiento		valor / comentario	leve	grave
110	Esquema de la instalación	No	X	
111	Etiquetaje tuberías	No	X	
112	Copia manual de uso y mantenimiento	No	X	
113	Ficha de mantenimiento en vigor	No		X
114	Mantenimiento en vigor	No		X
115	obligatorio empresa			
116	<40€/viviende completo?			
117	precio/vivienda			
118	derramas extras			
119	Otros			

Vivienda		valor / comentario	leve	grave
Intercambiador				
120	Operativo?			
121	Modelo			
122	Potencia (kW) (>20kW)			
123	Caudal recirculación (l/min) > 5			
124	Otros			
Interacumulador				
125	Operativo?	Si		
126	Modelo	Roca		
127	Volumen (l)	200		
128	P Max (l)			
129	T Max(oC)			
130	Superf. Intercamb / A (>0.15)			
131	Sonda T ubicada en 1/3 inferior			
132	Con resistencia Potencia kW			
133	Ubicada 1/2 inferior			
134	Serpentin en 1/2 su			
135	Otros	Válvula 3 vias+ centralita		
Otros				
136	Acoplamiento sistema auxiliar			
137	Otros			



Valoración final

Auditoria
23/02/2015

Capacidad de ahorro por vivienda

Electricidad

Ene a Mar	Abr a Jun	Jul a Sep	Oct a Dic	Total Anual	
52,4 €	79,4 €	73,6 €	46,1 €	251,5 €	
346	524	486	304	1.660	kWh

Gas Natural

Ene a Mar	Abr a Jun	Jul a Sep	Oct a Dic	Total Anual	
22,7 €	34,4 €	31,9 €	20,0 €	109,1 €	
329	499	504	290	1.581	kWh

NOTA: Cálculo estimativo en base al precio de energía Enero 2014 y para una familia tipo de 4 personas. Precio final con IVA incluido.

Incidencias principales

1 Instalación **sin funcionar**. Se detectan **errores** en el diseño relacionadas con las **protecciones de sobrecalentamiento**.

2 El erróneo diseño de los sistemas de protección ha llevado al **deterioro de las bombas**

3

4

General

El sistema de energía solar del edificio está diseñado para dar un ahorro del **72%** del consumo de energía en el calentamiento de agua caliente sanitaria (ACS).

El ahorro se estima en unos **150 Euros anuales** por familia tipo.

La instalación está sin funcionar y con algunos elementos aparentemente dañados (bomba de circulación).

La causa del incorrecto funcionamiento se atribuye a un mal diseño de los sistemas de protección de sobrecalentamiento.

Se anima a la propiedad a reparar los equipos dañados y a aprovechar el ahorro de la instalación.



SeYe®

DATA LOGGER SOLAR INTELIGENTE

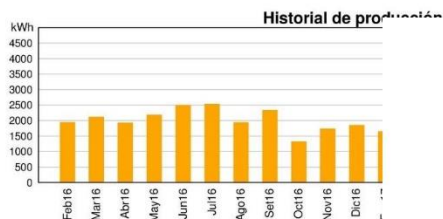
Dispositivo para la monitorización de instalaciones solares térmicas que cuenta los kWh producidos, el ahorro económico y la reducción en emisiones equivalentes de CO₂, y a la vez genera alertas de disfunción de la instalación para que las empresas de mantenimiento puedan actuar eficazmente.



INFORME MENSUAL

Fecha del informe: 24 Feb 2017
Período de análisis: Feb 2017

Energía producida	1414.0 kWh
Ahorros	89.3 €
Emisiones equivalentes de CO ₂	300.7 kg



COMUNICACIÓN OPTIMIZADA

Informe diario de alertas
Informe mensual de producción
Datos de producción horarios
Control centralizado desde la nube
Compatible con plataforma open-data



MÁXIMA INTEGRACIÓN

Cuadro eléctrico
Microordenador
Comunicación m2m
Limitación del consumo eléctrico
Mecanismo de protección de bombas
Contador y controlador opcional

CONTROL INTELIGENTE

Protocolo estandarizado que elimina problemas de operación
Compatible con todas las tipologías de sistemas solares de agua caliente
Control del consumo eléctrico del sistema solar térmico
Control centralizado de la presión hidráulica de los circuitos
Protección de las bombas que impide que puedan trabajar en vacío

SERVICIO PRE I POST VENTA

Auditoría gratuita de la instalación	Instaladores especialistas
Formación en cómo utilizar e instalar SeYe	Canal de soporte electrónico
Acceso gratuito a la plataforma cloud OmniliS	Equipos de calibración

AMPLIA GAMA DE PRODUCTOS

Contadores de energía de pulsos y conexión can compatibles
Controladores estandarizados
Sensores
Paquetes llave en mano



SeYe © 2018.
 Un producto de RDmes Technologies S.L.
 desarrollado en colaboración con el Grupo de Investigación GreenTech
 de la Universitat Politècnica de Catalunya BarcelonaTech
 Ctra. Nac. 150, km 14.5, 08227 Terrassa
 (+34) 93 7318762
 www.rdmes.com, info@rdmes.com





SeYe-2

Data logger solar

Manual de instalación y operación



Contenido

A.	Seguridad	5
A.1.	Indicaciones generales.....	5
A.2.	Manipulación del aparato.....	5
A.3.	Garantía	6
B.	Descripción	6
B.1.	Datos técnicos	6
B.2.	Sobre el dispositivo	7
B.3.	Material suministrado.....	7
B.4.	Residuos y contaminantes	7
C.	Instalación.....	7
C.1.	Montaje sobre pared	7
C.2.	Conexión eléctrica.....	8
C.3.	Componentes y conexiones	8
C.4.	Integración en planta	10
D.	Sincronización.....	12
D.1.	OmniluS	12
	Anexo I. Estados de una planta.....	13
	Anexo II. Relación disfunción-estados.....	14
	Anexo III. Tabla de caudales y potencias	16
	Anexo IV. Tabla de T congelación - % anticongelante	18



Modelo: SeYe-2
AC 220...240V, 50-60 Hz

Última actualización de este manual: 6 de febrero del 2018.

A. Seguridad

A.1. Indicaciones generales

Este manual contiene indicaciones básicas e información importante para la seguridad, el montaje, la sincronización y el manejo óptimo del data logger. Por ello, es conveniente leer el manual completamente antes de su montaje y puesta en marcha. Se ha de considerar, además, la normativa vigente y los manuales de componentes adicionales.

El montaje, manipulación y mantenimiento del data logger sólo puede ser efectuados por un especialista. Para el usuario: asegurarse que el técnico le da la información detallada sobre su funcionamiento y manejo. Guarde este manual siempre cerca del data logger.

Explicación de los símbolos



Símbolo utilizado para identificar peligros relacionados con la tensión eléctrica. Aquellos que puedan causar accidentes por electrización o electrocución.



Símbolo de alerta de seguridad. Utilizado para informar sobre posibles peligros de lesiones personales. Obedezca todos los mensajes de seguridad que siguen a este símbolo para evitar posibles lesiones o la muerte.

A.2. Manipulación del aparato

- Sin autorización explícita del fabricante, las manipulaciones y cambios en el aparato no están permitidos, así como la colocación de componentes adicionales.
- Deberán ser cambiadas inmediatamente por un especialista aquellas partes y accesorios del data logger que se encuentren en mal estado.
- Desconectar inmediatamente el data logger si está funcionando bajo condiciones que puedan resultar peligrosas.
- Utilizar solo recambios y accesorios originales del fabricante.



Manipular el data logger puede alterar la seguridad y el funcionamiento del mismo.

A.3. Garantía

El data logger está fabricado y probado bajo el cumplimiento de altos estándares de calidad y seguridad. Este está sujeto a garantía de 2 años según ley. Esta garantía no cubre daños resultantes de un mal uso o instalación.

B. Descripción

B.1. Datos técnicos

Datos eléctricos:

Tensión de red	220-240 VAC
Frecuencia	50-60 Hz
Consumo propio	2 kW
Tipo de protección	interruptor corte 10 A

Longitudes admisibles para cables:

CAN Bus	Versión SeYe-2C	< 5 m
Pulsos	Versión SeYe-2P	<15m

Condiciones ambientales admisibles:

Temp. ambiental en funcionamiento	0°C – 40°C
Humedad relativa	máx. 85%.
Carcasa	3 partes, plástico
Forma de montaje	sobre pared
Dimensiones	298 x 260 x 140 mm
Protección	IP65

B.2. Sobre el dispositivo

El data logger inteligente SeYe-2 para instalaciones solares térmicas transmite a la nube los kWh solares producidos. En la nube, se puede consultar el valor transmitido, así como los valores equivalentes de ahorro económico y de reducción en emisiones de CO₂ a través del aplicativo web SeYe en <http://www.omnilus.com>.

El aplicativo web SeYe incorpora un sistema de alertas y análisis de producción caracterizado por:

- Generación de alertas de disfunción instantáneas y diarias.
- Envío de correos electrónicos instantáneos, diarios y mensuales.

B.3. Material suministrado

- Data logger inteligente SeYe-2.
- Manual de instalación y operación.
- 2 juegos de tornillos con taco y arandela.

B.4. Residuos y contaminantes



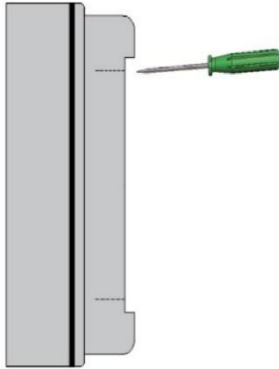
No deseche el apartado junto a la basura común. Envíelo al distribuidor o fabricante si es posible. En otros casos deséchelo en los sitios especiales correspondientes para su correcto reciclaje y descontaminación.

C. Instalación

C.1. Montaje sobre pared



Instale el data logger siguiendo los pasos que se describen a continuación sin manipular la partes electrónicas, únicamente en lugares secos y bajo las condiciones ambientales descritas en los datos técnicos.



1. Quite los tornillos de la tapa. Primero los dos inferiores y después los dos superiores.
2. Separe con cuidado la tapa de la carcasa y guárdela. No toque las partes electrónicas.
3. Coloque el cuerpo en la posición elegida y marque los 2 puntos de sujeción. Observe que la superficie de la pared esté plana, para que el cuerpo no se deforme.

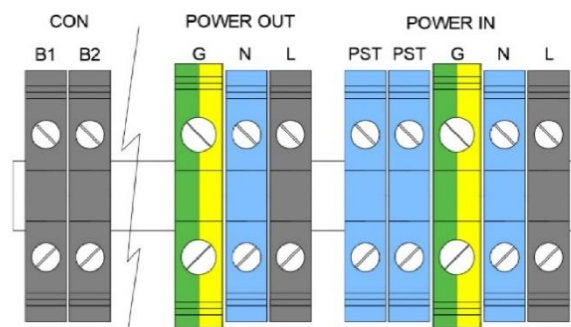
4. Perfore la pared en los 2 puntos marcados con un taladro y una broca del 6, e introduzca los tacos de expansión.
5. Introduzca los tornillos y sujételos ligeramente.
6. Equilibre el cuerpo y apriete los 2 tornillos. Finalmente, vuelva a colocar la carcasa atornillando primero la parte superior y después la inferior.

C.2. Conexión eléctrica



Antes de trabajar con el data logger, desconectar de la corriente y asegurar que no hay tensión. La conexión eléctrica sólo se debe realizar por un técnico especializado y bajo la normativa vigente. El data logger no se debe poner en marcha si hay daños visibles o roturas en la carcasa. Para la colocación de los cables leer los siguientes apartados.

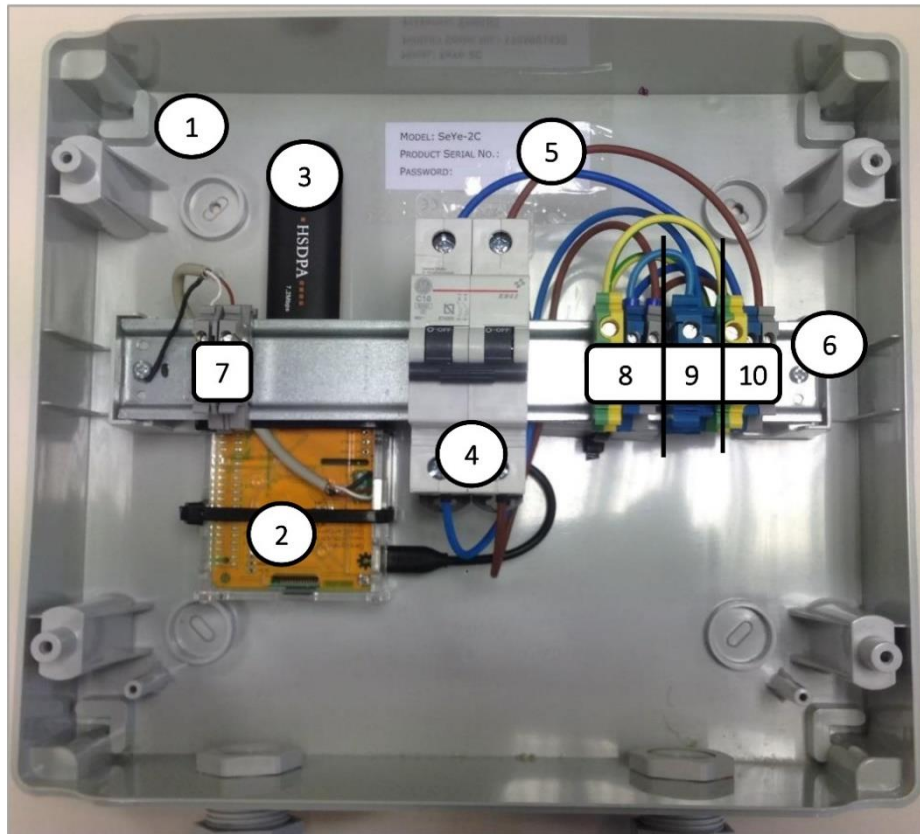
C.3. Componentes y conexiones



Nomenclaturas conexas:

SeYe-2	Descripción
CON	Contador energético.
POWER OUT	Salida de tensión.
POWER IN	Entrada de tensión.
B1, B2	Conexión a contador.
PST	Conexión a presostatos.
G	Conexión a tierra.
N	Conexión a neutro.
L	Conexión a fase.

Esquema elementos equipo de control y monitorización:



1. Carcasa
2. Microordenador
3. Modem
4. Disyuntor 10 A
5. Modelo, clave y nº de serie
6. Regleta DIN para las conexiones

CON (7)		POWER OUT (8)			POWER IN				
					PRESOSTATO (9)		RED (10)		
B1 marrón	B2 blanco	G	N	L	PST	PST	G	N	L

C.4. Integración en planta

Conexión a red

El data logger debe de ir conectado a la alimentación eléctrica a través del cuadro eléctrico de la planta y con un diferencial entre ambos elementos. La alimentación se ha de realizar mediante las conexiones RED (10) en el grupo POWER IN.

Conexión a presostatos

Todos los presostatos de los circuitos a controlar deben de ir conexionados en serie y conectados al data logger mediante las bornes de conexión PST en el grupo PRESOSTATO (9). Esto asegurar que ante una bajada de presión en cualquiera de los circuitos controlados de la planta se deje de alimentar eléctricamente el data logger.

Los presostatos deben tararse a un valor de presión calculado como la suma de la presión de la columna de agua (1 bar cada 10 m de columna de agua) más 1 bar.

El conexionado de los presostatos debe dejar el circuito eléctrico abierto cuando la presión está por debajo de la presión de tarado. Esto se consigue utilizando las

conexiones generalmente denominadas NO (normally open) o NA (normalmente abierto).

Conexión al regulador solar y actuadores mecánicos

Tanto el regulador como los actuadores mecánicos de la planta (por ejemplo, válvulas de tres vías) han de ir conectados al data logger mediante los bornes de salida de tensión del grupo POWER OUT.

Utilizar conectores trifásicos en caso de la existencia en planta de actuadores con conexión trifásica.

Conexión a contador

En referencia al conexionado entre el data logger y el contador, grupo CON (7), varían en función del modelo de SeYe-2 obtenido:

- SeYe-2C: esta versión es compatible con los contadores energéticos que incorporan un puerto CAN, como los controladores de SOREL.

El conector B1 (cable marrón) corresponde al Can L y el conector B2 (cable blanco) al Can H.

- SeYe-2P: esta versión es compatible con los contadores energéticos que son capaces de ir transmitiendo la energía que van contabilizando mediante pulsos (para comprobar la compatibilidad del data logger con su generador de pulsos contacte con su destruidor).

El conector B1 (cable blanco) procedente del data logger suministra un voltaje de 3V y el conector B2 (cable marrón) es la conexión a masa.

En resumen, las conexiones para CON (7) según la tecnología del contador son:

	B1 marrón	B2 blanco
CAN	L	H
Pulsos	GND	V

D.Sincronización

D.1. OmniluS

Para poder ver los datos de monitorización y recibir alertas e informes es necesario estar registrado en la plataforma OmniluS. En ella, se debe de dar de alta la planta que se desea monitorizar y sincronizarla con el data logger SeYe-2. La información necesaria para la sincronización del data logger, password y número de serie, está situada en el frontal de la carcasa delantera de este o en su interior encima del disyuntor.

Para más información acceda a la dirección www.omnilus.com o contacte con su distribuidor.

Anexo I. Estados de una planta

Se describe en la siguiente tabla los tipos de estados instantáneos y diarios posibles para una planta y los criterios utilizados para su detección:

Estado	Instantáneo (cada hora)	Diario (cada 24 horas)
N No Lectura	No hay datos	Al finalizar el día hay más de un 30% de "no lectura" (N) instantáneas.
E+ Sobreproducción	Lectura superior a 70 kWh	Al finalizar el día se ha producida una E+ instantánea o bien la producción mensual es superior al 50% de la producción mensual proyectada.
E- Baja producción	Lectura inferior a 0 kWh	Al finalizar el día la producción mensual es inferior al 50% de la producción mensual proyectada.
Ok Sin alertas	No hay alertas instantáneas	No hay alertas diarias

Anexo II. Relación disfunción-estados

En una planta, cada estado diferente de "Ok" es equivalente a una alerta de disfunción (E+, E- o N). A continuación, se presenta el listado de las disfunciones más frecuentes que se pueden producir en una planta junto a las alertas de disfunción que generan:

Disfunción	Alerta instantánea			Alerta diaria		
	N	E+	E-	N	E+	E-
D1. Fuga *	X			X		
Este tipo de disfunción se caracteriza por una generación de alerta de "no lectura" (N) que no desaparece en el tiempo.						
D2. Bajadas de presión *	X			X		
Este tipo de disfunción se caracteriza por una generación de alerta de "no lectura" (N) en intervalos de tiempos delimitados, como, por ejemplo, en horas nocturnas.						
D3. Corte de alimentación	X			X		
Este tipo de disfunción se caracteriza por una generación de alerta de "no lectura" (N) que no desaparece en el tiempo o que se produce de forma puntual un único día (sin patrón aparente).						
D4. Errores en sondas o contador		X	X		X	X
Las sondas defectuosas o mal colocadas, así como contadores energéticos en mal estado o defectuosos, pueden causar errores en las mediciones. Estos errores pueden generar alertas de baja producción o sobreproducción.						
D5. Errores en válvulas			X			X
Los problemas causados por las válvulas en el control del flujo pueden generar alertas de baja producción.						
D6. Suciedad y aire			X			X

La suciedad y el aire dificultan la circulación del líquido caloportador en el sistema solar pudiendo causar pérdidas de rendimiento. Estas pérdidas de rendimiento pueden generar en una alerta de baja producción.

D7. Defectos en bombas

Los defectos en bombas pueden afectar al rendimiento del sistema solar al ser las responsables de hacer circular el líquido caloportador. Esta pérdida de rendimiento puede generar una alerta de baja producción.

* Disfunciones asociadas a los circuitos dotados de presostatos.

Hay alertas que también pueden ser causadas por otro tipo de disfunciones asociadas al data logger y su configuración. Se documenta en la siguiente tabla:

Disfunción	Alerta instantánea			Alerta diaria		
	N	E+	E-	N	E+	E-
P1. El data logger no comunica	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Este tipo de disfunción se caracteriza por una generación de alerta de “no lectura” (N) que no desaparece en el tiempo. Ante un periodo prolongado de “no lectura” de más de 3 días y, descartadas otras disfunciones, ponerse en contacto con el distribuidor del data logger.						
P2. Errores en proyecto	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Alertas asociadas a una proyección errónea de la producción energética mensual esperada de la planta.						

Anexo III. Tabla de caudales y potencias

La siguiente tabla presenta el valor standard de caudal de primario y potencia pico para plantas solares térmicas en función del área de captación.

Área de captación [m ²]	Caudal [l/min] *	Potencia [kWp] **		Área de captación [m ²]	Caudal [l/min] *	Potencia [kWp] **
2	1 - 2	1 - 1,6		52	22 - 43	26 - 41,6
4	2 - 3	2 - 3,2		54	23 - 45	27 - 43,2
6	3 - 5	3 - 4,8		56	23 - 47	28 - 44,8
8	3 - 7	4 - 6,4		58	24 - 48	29 - 46,4
10	4 - 8	5 - 8		60	25 - 50	30 - 48
12	5 - 10	6 - 9,6		62	26 - 52	31 - 49,6
14	6 - 12	7 - 11,2		64	27 - 53	32 - 51,2
16	7 - 13	8 - 12,8		66	28 - 55	33 - 52,8
18	8 - 15	9 - 14,4		68	28 - 57	34 - 54,4
20	8 - 17	10 - 16		70	29 - 58	35 - 56
22	9 - 18	11 - 17,6		72	30 - 60	36 - 57,6
24	10 - 20	12 - 19,2		74	31 - 62	37 - 59,2
26	11 - 22	13 - 20,8		76	32 - 63	38 - 60,8
28	12 - 23	14 - 22,4		78	33 - 65	39 - 62,4
30	13 - 25	15 - 24		80	33 - 67	40 - 64
32	13 - 27	16 - 25,6		82	34 - 68	41 - 65,6
34	14 - 28	17 - 27,2		84	35 - 70	42 - 67,2

36	15 - 30	18 - 28,8		86	36 - 72	43 - 68,8
38	16 - 32	19 - 30,4		88	37 - 73	44 - 70,4
40	17 - 33	20 - 32		90	38 - 75	45 - 72
42	18 - 35	21 - 33,6		92	38 - 77	46 - 73,6
44	18 - 37	22 - 35,2		94	39 - 78	47 - 75,2
46	19 - 38	23 - 36,8		96	40 - 80	48 - 76,8
48	20 - 40	24 - 38,4		98	41 - 82	49 - 78,4
50	21 - 42	25 - 40		100	42 - 83	50 - 80

* Calculado mediante la expresión $Caudal (l/min) = \frac{A_{cap}(m^2) \cdot \dot{m}(l/h)}{60}$, fijando $\dot{m}_{min} = 25 l/h$ y $\dot{m}_{max} = 50 l/h$.

** Calculado mediante la expresión $Potencia(kW_p) = \frac{\eta_0 \cdot I \left(\frac{W}{m^2}\right) \cdot A_{cap}(m^2)}{1000}$ fijando $I = 1000 W/m^2$, $\eta_{0min} = 0,5$ y $\eta_{0max} = 0,8$.

Anexo IV.
Tabla de T congelación - % anticongelante

T congelación	% Propilenglicol	% Etilenglicol	T congelación	% Propilenglicol	% Etilenglicol
0	0	0	-16	34	31
-1	3	2	-17	35	32
-2	5	5	-18	37	33
-3	8	7	-19	38	35
-4	10	9	-20	40	36
-5	12	11	-21	41	37
-6	15	13	-22	42	39
-7	17	15	-23	43	40
-8	19	17	-24	44	41
-9	21	19	-25	45	42
-10	23	21	-26	46	43
-11	25	22	-27	47	44
-12	27	24	-28	48	45
-13	29	26	-29	49	46
-14	30	27	-30	50	47
-15	32	29	-31	50	48

Explicación concluyente:

Este manual ha sido elaborado cuidadosamente, no obstante, puede contener errores o informaciones incompletas. Debido a ello, se reserva el derecho a realizar cambios técnicos.

Su distribuidor:

Fabricante:

RDmes Technologies SL
Ctra. N- 150, km 14.5, Institut Politècnic
08227 Terrassa, Barcelona
Teléfono: (+34) 93 7318762
E-mail: rdmes@rdmes.com
Internet: www.rdmes.com

Anexo E. Tabla de análisis de las comunicaciones entre módulos.

Se adjunta una tabla compacta y resumida (en dos partes por razones de espacio) del análisis de las comunicaciones que se realizó en el momento de escoger aquella tecnología o servicio más adecuado para transmitir los datos de energía entre los módulos del equipo de control y monitorización de bajo coste.

COMUNICACIONES							
Servicio	Proveedor	Datos mensuales		Direccionalidad *		Configuración	Desarrollo
		Límite	Por línea	Dos	Una		
M2M	Vodafone.	-	-	-	-	-	-
	Movistar.	15 MB	Si.	Si.	Si.	Plug & Play.	Mínimo
No.		No.	Si.	Si.	Plug & Play.	Mínimo	
	Orange.	3 Mb	Si.	Si.	Si.	Plug & Play.	Mínimo
	Wireless Logic. ***	1 MB	Si.	Si.	Si.	Plug & Play.	Mínimo.
		3 MB	Si.	Si.	Si.	VPN. (O)	Mínimo.
SigFox	Abertis Telecom.	1.7 MB	Si.	No.	Si.	Mínima.	Hardware (O).
3G	Vodafone.	100 MB	Si.	Si.	No.	Plug & Play.	Mínimo.
	Movistar.	1 GB	Si.	Si.	No.	Plug & Play.	Mínimo.
	Orange.	-	Si.	Si.	No.	Plug & Play.	Mínimo.
Guifi.net	Red pública.	No.	No.	Si.	Si.	Proxy público. Nodo entrada a red.	Proxy inverso en aplicación. (O)
	Red privada.	No.	No.	Si.	Si.	Proxy privado. Nodo entrada a red.	Servidores proxy privados.
	Gaufix.	No.	No.	Si.	No.	Parámetros Gaufix. Nodo entrada a red.	Mínimo.

COSTES				
Despliegue	Coste (€)			Notas
	Mes por línea	Dispositivo por línea	Inicial	
-	-	-	-	-
Plug & Play.	3€	Módem: 15 a 35€	0€	
Plug & Play.	350€ / (N.D.)	0€	500€ Alta	-
Plug & Play.	3€	Módem: 15 a 35€	-	
Plug & Play.	0.85€	Módem: 15 a 35€	0€	Permanencia 12 meses (prueba 2 meses)
	0.95€			
Plug & Play.	1.7€ ****	150€ Starter Kit o 50 € Desarrollo propio	0€ starter kit o Certificación	140 mensajes máximo al día. Para un máximo de 12 bytes (1000 caracteres) por mensaje.
Plug & Play.	$(7€ + 5€) / 2 = 6€$	Módem: 15 a 35€	0€	Una SIM dos líneas. Una SIM cuatro líneas. Uso de un duplicado gratis de SIM. Una SIM dos líneas.
Plug & Play.	$12 + 4 / 4 = 4.5€$			
Plug & Play.	$(29 / 2) 14.5 €$			
Instalación antena. Dirección y visibilidad.	0€	Antena direccional: 50€	0€	No hay control de la infraestructura. Posibles nodos sin reparar. Zonas sin nodos a los que conectar. Nodos sin visibilidad. Saturación de nodos.
	0€ **		50€ Antena 400€ Proxy	
	4€ / (N.D.)		0€	

Abreviaturas de la tabla:

(O) Opcional

(N.D.) Número dispositivos en funcionamiento

Notas:

* En algunos servicios la conexión de puede configurar de tal forma que sea unidireccional o bidireccional.

** Si la entrada a internet se realiza a través de una antena en RDmes, sino sería el coste de la una línea da ADSL (20 euros aprox.) entre el número de dispositivos conectados.

*** SIM Multioperador con despliegue internacional. (No roaming).

**** Son 20 euros anuales por dispositivo. Si los mensajes exceden los 1000 caracteres la tarifa cambia.