



Received: 10-05-2020  
Accepted: 20-05-2020

Anales de Edificación  
Vol. 6, Nº2, 77-86 (2020)  
ISSN: 2444-1309  
Doi: 10.20868/ade.2020.4458

## Sistema Automático de Recirculación de Agua Potable para su Aplicación en Instalaciones de Agua Caliente Sanitaria

### Automatic Drinking Water Recirculation System for Application in Sanitary Hot Water Installations

Daniel Ferrández, Ángel Gómez, Carlos Morón & Jorge Pablo Díaz

Universidad Politécnica de Madrid (Spain, [daniel.fvega@upm.es](mailto:daniel.fvega@upm.es); [carlos.moron@upm.es](mailto:carlos.moron@upm.es); [jdiaz@salesianoscarabanchel.com](mailto:jdiaz@salesianoscarabanchel.com))

**Resumen**— Diariamente se desperdicia una gran cantidad de agua potable al demandar agua caliente sanitaria en los distintos aparatos sanitarios de las viviendas. A este desperdicio de agua se suma a su vez un elevado consumo energético ocasionado al calentar el agua hasta la temperatura deseada. En este trabajo se ha desarrollado un nuevo sistema automático que interconecta los circuitos de agua fría y agua caliente, de manera que, al demandar esta última el sistema hace que recircule el agua fría contenida en la tubería de agua caliente y la suministrada por la caldera hasta que la temperatura del agua caliente alcanza un determinado valor de consigna de forma automática. Con esto se consigue evitar gran parte del derroche de agua potable y energía que, sistemáticamente, se produce en la actualidad. Además, se han llevado a cabo unas simulaciones sobre el consumo de agua en la Comunidad de Madrid, y se ha cuantificado el ahorro y la amortización que se consiguen empleando el sistema automático de recirculación desarrollado.

**Palabras Clave**— Instalaciones; Agua Caliente Sanitaria (ACS); sistemas de recirculación; consumo energético.

**Abstract**— Everyday a large quantity of drinking water is wasted by requesting sanitary hot water in the various sanitary devices in the homes. In addition to this waste of water, there is also a high energy consumption caused by heating the water until to the desired temperature. In this work, a new automatic system has been developed that interconnects the cold water and hot water circuits, so that when the latter is demanded, the system causes the cold water contained in the hot water pipe and the one supplied by the boiler to be recirculated until the hot water temperature reaches a certain setpoint automatically. With this, it is possible to avoid a large part of the waste of drinking water and energy that systematically occurs today. In addition, simulations have been carried out on water consumption in the Comunidad of Madrid, and the savings and amortization achieved using the automatic recirculation system developed have been quantified.

**Index Terms**— Installations; Sanitary Hot Water (SHW); recirculation systems; energy consumption.

#### I. INTRODUCCIÓN

El agua potable y apta para el consumo es un recurso básico para la humanidad. En 71% de la superficie de nuestro

planeta está cubierta de agua, sin embargo, solo el 3% de esta superficie es agua dulce posible para el consumo humano. De esta agua dulce, el 69% se encuentra en forma de hielo, el 30%

D. Ferrández y C. Morón son profesores de la Universidad Politécnica de Madrid. A. Gómez es laboral de la Universidad Politécnica de Madrid y J.P. Díaz es profesor en la Institución Profesional Salesiana de Carabanchel.

es agua subterránea, y, tan solo el 1% es agua dulce superficial fácilmente accesible (Bartholomew, A., 2013). La distribución de esta agua superficial se muestra en la Figura 1.

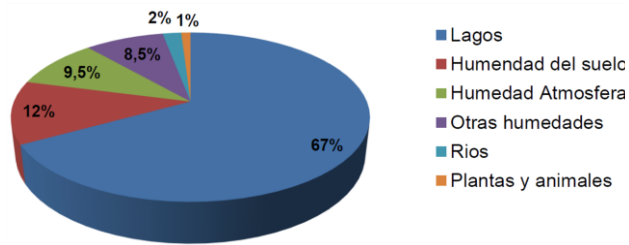


Fig. 1. Distribución del agua dulce superficial.

Esta distribución tan heterogénea hace que el reparto del agua en actualidad cause grandes desigualdades entre los países, esperándose para el año 2050 que al menos un 25% de la población mundial viva en un país afectado por escasez crónica y reiterada de agua dulce, (Naciones Unidas, s.f.). Así pues, este trabajo se enmarca dentro de Objetivo 6 para el Desarrollo Sostenible: Agua y Saneamiento, más concretamente en su apartado 6.4:

*“De aquí a 2030, aumentar considerablemente el uso eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce para hacer frente a la escasez de agua y reducir considerablemente el número de personas que sufren falta de agua.”*

Así pues, este objetivo choca directamente con la gran cantidad de agua que se desperdicia en las instalaciones durante el consumo diario. En especial esto ocurre cuando se produce una demanda de Agua Caliente Sanitaria (ACS) en duchas, lavabos o fregaderos, donde se permite que el agua fluya por el desagüe hasta que ésta alcanza la temperatura deseada por el usuario. Este tipo de acciones además de un desperdicio de agua potable, acarrearán un elevado consumo energético producido al calentar agua que no va a ser aprovechada, ya que no alcanza la temperatura de demanda.

Este último punto en relación con el consumo energético hace referencia a la necesidad de un uso eficiente de los recursos en la edificación. A nivel mundial, el sector edificatorio se responsabiliza de una tercera parte de la energía consumida en el mundo y del 39% de las emisiones de carbono. Además, de ese 39% un 28% se corresponde con las emisiones generadas durante el periodo de operación, realizando tareas tales como: calentar, enfriar o iluminar edificios (Gil-López, T., 2020). Esto hace pensar en el largo camino que queda por recorrer, que debe pasar por un cambio de mentalidad en el que se deje de concebir las edificaciones más eficientes como más costosas, ya que los edificios verdes son tan solo un 6.5% más caros que los edificios tradicionales (Chegut, A. et al., 2019).

### Precio del Agua en la Comunidad de Madrid

A finales de cada año, y a propuesta del Canal de Isabel II (CYII), el Gobierno de la Comunidad de Madrid revisa las tarifas de los servicios prestados por el CYII para que sean de aplicación durante el siguiente ejercicio. La tarifa que el CYII cobra por el acceso al agua, considera distintas etapas como: aducción, distribución, alcantarillado y depuración. Para cada una de estas cuatro etapas del ciclo integral del agua, la tarifa del CYII distingue dos conceptos; uno que tiene en cuenta el servicio, que es fijo para cada abonado, y un segundo que se refiere al volumen de agua consumida, que lógicamente, es variable.

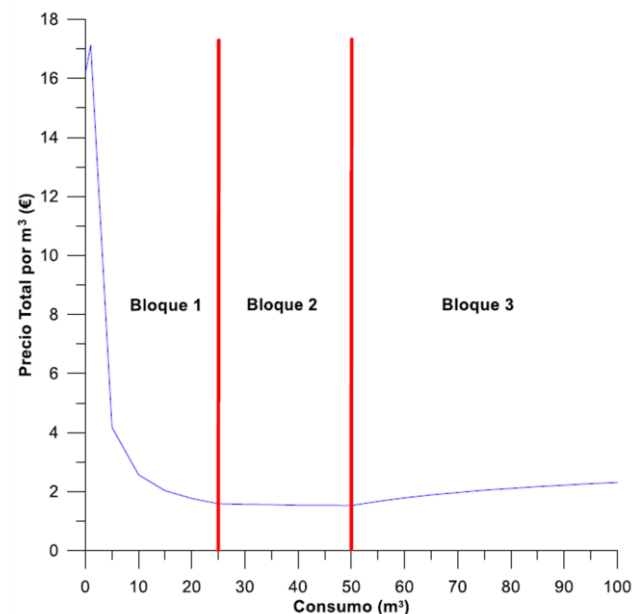


Fig. 2. Precio medio del m<sup>3</sup> de agua en la Comunidad de Madrid organizado por bloques de consumo.

A fin de favorecer el consumo responsable, y de acuerdo con las buenas prácticas internacionalmente admitidas para la gestión de la demanda, el precio del agua depende del volumen consumido. De esta forma el precio por m<sup>3</sup> (excluida la cuota de servicio fija) es menor cuanto menos se consuma; es decir, la tarifa se organiza en bloques de consumo cuyo precio es tanto más elevado cuanto mayor es el volumen consumido.

Según esta estructura tarifaria, se ha realizado una simulación aportando como datos: diámetro del contador, 13 mm; número de viviendas, 1 ud; consumo de agua, variable entre 0 m<sup>3</sup> y 100 m<sup>3</sup>; precios del agua para el año 2018 y 2019 según el DECRETO 29/2018, de 17 de abril, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueban las tarifas máximas de los servicios de aducción, distribución, alcantarillado, depuración y reutilización del agua en el ámbito de la Comunidad de Madrid. Los resultados de esta simulación se muestran en la Figura 2.

Como se puede observar en la Figura 2, el precio medio del

metro cúbico del agua desciende con el aumento del consumo. Este resultado no significa que se bonifique el consumo excesivo, ya que hay que tener en cuenta que la cuota de servicio o parte fija se reparte entre los m<sup>3</sup> consumidos, lo cual produce un descenso del precio.

II. ESTADO DEL CONOCIMIENTO ACTUAL

El objetivo del presente trabajo se enmarca dentro del campo de los sistemas para la mejora de la eficiencia energética, para lo cual ha desarrollado un sistema de recirculación de agua potable en instalaciones de ACS.

Estos sistemas han sido abordados con anterioridad por diversos autores. Así, en un primer lugar encontramos los dispositivos economizadores de agua, que pueden instalarse (o venir incorporados) en los sanitarios de uso. La correcta utilización de estos dispositivos esquematizados en la Figura 3 puede conseguir un ahorro de agua de entre el 10 y el 40% (Martin Sánchez. F., 2008).

**Sistemas Economizadores de Agua**

- Perlizadores
- Reductores de caudal o *economizadores*.
- Limitadores de descarga/llenado de cisterna.
- Interruptores de caudal para la ducha.
- Interruptores mecánicos de caudal.
- Grifería: aireadores, regulador de caudal o temporizador.

Fig. 3. Diferentes tipologías de economizadores de agua.

En cuanto a estos sistemas de la Figura 3, conviene tener en cuenta que, en caso de limitar el caudal, éste puede dificultar el normal funcionamiento de los calentadores de gas en las instalaciones antiguas donde no existe ningún grupo de presión,

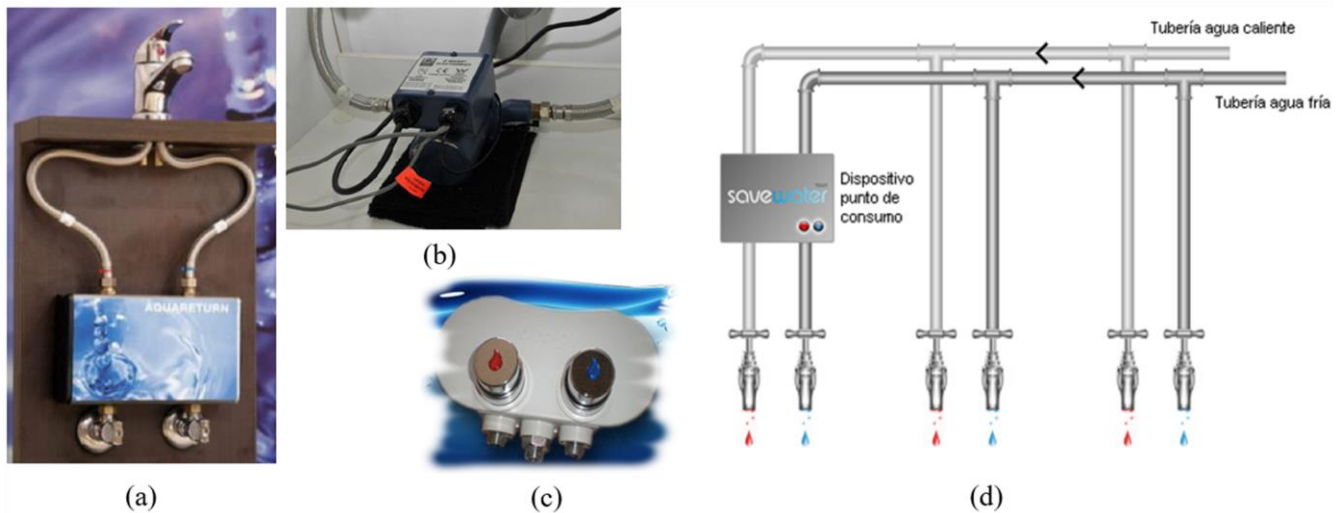


Fig. 4. Algunos de los sistemas de recirculación de agua potable disponibles en el mercado. (a) Sistema Aquareturn; (b) Sistema D'MAND modelo S-71T; (c) Sistema DROPS; (d) Sistema KALDA.

TABLA I  
COMPARACIÓN ENTRE ALGUNOS DE LOS SISTEMAS DE RECIRCULACIÓN DE AGUA MÁS EMPLEADOS EN LA ACTUALIDAD

Lugar	Personas/Vivienda	Período de consumo	Consumo m <sup>3</sup>	Precio del m <sup>3</sup>
CAM	4	60 días	30	1,59 €
<b>Sistema</b>	<b>DROPS</b>	<b>KALDA</b>	<b>D'MAND</b>	<b>Aquareturn</b>
Ahorro de agua	7,0 m <sup>3</sup> /año	23,4 m <sup>3</sup> /año	40,0 m <sup>3</sup> /año	40,0 m <sup>3</sup> /año
Ahorro económico	11,13 €/año	37,2 0€/año	63,60 €/año	63,60 €/año
Coste del sistema	210 €	210 € *	710 €	407 €
Período de garantía	2 años	2 años	5 años	2 años
Período de Amortización	19 años	6 años	11 años	7 años

\* No se conoce información acerca del coste del dispositivo, se toma como dato el menor de los costes.

ya que el equipo requiere de un caudal mínimo para funcionar correctamente.

Además de estos sistemas economizadores de agua, encontramos en la actualidad algunos sistemas inteligentes con comunicación inalámbrica para la recirculación de agua, temperatura y ahorro energético (García, A.; Morón, C.; Gómez, A.; Tremps, E., 2014). No obstante, estos dispositivos suelen tener la limitación de basar su funcionamiento en un depósito auxiliar, por lo que se aumenta la demanda de espacio disponible para la instalación y se dificulta la integración en viviendas e inmuebles ya construidos.

Por otro lado, no cabe duda de la relevancia que en las últimas décadas ha tomado la aplicación de sistemas de energía solar térmica para el calentamiento de ACS. De esta manera, algunos autores han tratado de optimizar el rendimiento de ciclos termodinámicos como el de Rankine, para la generación

combinada de energía eléctrica y ACS (Bou Lawz-Ksayer, E., 2011). Sin embargo, los criterios de diseño que aborden el problema del reto energético desde el origen suponen el enclave científico que debe tomarse en cuenta para mejorar la eficiencia de las instalaciones (Rankin, R. & Rousseau, P.G., 2006).

Así pues, ahorrar agua permite de forma proporcional ahorrar la energía utilizada para su calentamiento, aportando beneficios, ya no tanto económicos y muy importantes, sino ecológicos, por evitar la combustión, reduciendo la emisión de gases contaminantes y el efecto invernadero asociado, derivados todos ellos del consumo y obtención de otras energías, así como de su transformación y/o combustión (Masip, X. et al., 2019). En la Tabla 1 se ha realizado una comparación entre algunos de los sistemas más empleados en la actualidad, y cuya representación se muestra en la Figura 4.

### III. FUNDAMENTOS FÍSICOS DE LA TRANSMISIÓN DE CALOR EN TUBERÍAS DE ACS EN VIVIENDAS

En la Figura 5 se muestra el esquema que se ha empleado para el cálculo del espesor del aislante, así como para la determinación de las temperaturas y pérdidas de calor por unidad de longitud de tubería.

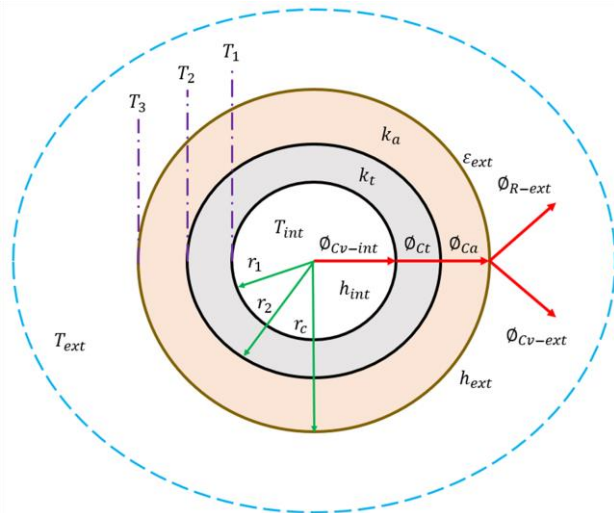


Fig. 5. Modelo de transmisión de calor para la tubería objeto de estudio recubierta de material aislante.

De esta manera, haciendo una analogía con el cálculo de circuitos eléctricos, el flujo calorífico que se mantiene constante debe atravesar varias resistencias en serie para migrar desde el interior hacia el exterior suponiendo, según la Figura 5, que  $T_{int}$  es mayor  $T_{ext}$  al tratarse de agua caliente sanitaria (Arenas, A., 2016). De esta forma se puede escribir:

$$\phi'_{cv-int} = \phi'_{ct} = \phi'_{ca} = \phi'_{cv-ext} + \phi'_{R-ext} \quad [1]$$

donde  $\phi'_{cv-int}$  es el flujo de convección interior,  $\phi'_{ct}$  es el flujo de conducción a través de la tubería,  $\phi'_{ca}$  es el flujo de

conducción a través del aislante de la tubería,  $\phi'_{cv-ext}$  es el flujo de convección debido al aire exterior y  $\phi'_{R-ext}$  representa las pérdidas por radiación hacia el exterior. Todos ellos medidos en W/m. Y siendo sus ecuaciones elementales:

$$\phi'_{cv-int} = h_{int} \cdot 2\pi r_1 \cdot (T_{int} - T_1) \quad [2]$$

$$\phi'_{ct} = \frac{T_1 - T_2}{\frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi k_t}} \quad [3]$$

$$\phi'_{ca} = \frac{T_2 - T_3}{\frac{\ln(r_c/r_2)}{2\pi k_{ais}}} \quad [4]$$

$$\phi'_{cv-ext} = h_{ext} \cdot 2\pi r_c \cdot (T_{ext} - T_3) \quad [5]$$

$$\phi'_{R-ext} = \epsilon_{ext} \cdot 2\pi r_c \cdot \sigma \cdot (T_{ext} - T_3) \quad [6]$$

donde  $h_{int}$  y  $h_{ext}$  son los coeficientes de convección interior (agua) y exterior (aire) en  $W/m^2K$ ,  $r_1$ ,  $r_2$  y  $r_c$  son los radios interior, de separación y crítico medidos en m,  $k_t$  y  $k_{ais}$  son las conductividades térmicas de la tubería y aislante respectivamente medidas en  $W/mK$ ,  $\epsilon_{ext}$  es la emisividad exterior y  $\sigma = 5.68 \cdot 10^{-8}$  en  $W/m^2K^4$ .

Además, se pueden hacer las siguientes consideraciones con respecto a los coeficientes de transmisión de calor por convección y el radio crítico:

$$h_{int} = \frac{k}{L} \varphi(Re, Pr) \quad [7]$$

$$h_{ext} = \frac{k}{L} \varphi(Gr, Pr) \quad [8]$$

$$r_c = \frac{k_{ais}}{h_{ext}} \quad [9]$$

donde se deduce que  $h_{int}$  se trata de una convección forzada que depende de los números de Reynolds y de Prandtl al moverse el fluido por una tubería elegida por el diseñador,  $h_{ext}$  consiste en una convección natural ocasionada por el aire exterior y que depende de los números de Grashof y de Prandtl,  $k$  es la conductividad térmica del fluido en  $W/mK$  a la temperatura de diseño y  $L$  la longitud característica del objeto a enfriar.

En cuanto al radio crítico se determina para evitar los efectos contraproducentes que pueda tener un espesor de aislante excesivo, ya que, si bien con el aumento de  $r_c$  se disminuyen las pérdidas por conducción a través de la tubería, se aumentan por el contrario las pérdidas por convección a través de la superficie exterior en contacto con el aire. Así pues, se debe prestar especial interés en este parámetro de diseño para minimizar las pérdidas energéticas a lo largo de la tubería, si lo que se pretende es optimizar el diseño de un sistema para ahorro energético como el propuesto.

Tomando en consideración lo expuesto en este apartado, los criterios físicos de diseño para el sistema de recirculación que permitan minimizar las pérdidas de calor por unidad de longitud de tubería deben centrarse en:

- ✓ Elegir materiales para su fabricación con un coeficiente de conductividad térmica lo más reducido posible. Especial importancia cobra la conductividad del aislante, ya que el material de la tubería siempre poseerá más pérdidas (tanto es así que en para simplificar se pueden suponer  $T_1 = T_2$ ). Además, en el material de la tubería priman otros criterios como facilidad de montaje, tipo de uniones y estanqueidad, disponibilidad de piezas auxiliares, ligereza, etc.
- ✓ Determinar el radio crítico que permita reducir al máximo las pérdidas por conducción térmica, sin incrementar en exceso las pérdidas por convección.
- ✓ Cuidar el tipo de pintura exterior para controlar emisividad del cuerpo. Esta consideración sobre todo debe tenerse en cuenta en tuberías que circulen por el exterior del edificio.

Por último, la longitud del circuito y las posibles pérdidas de carga que se puedan ocasionar en quiebros y puntos críticos similares. Evitando zonas de acumulación y permitiendo la circulación continua del fluido por la tubería.

#### IV. METODOLOGÍA

En este apartado se describe el desarrollo seguido para la construcción del nuevo sistema de recirculación de agua potable diseñado. En primer lugar, se fijaron los requisitos mínimos de funcionamiento para el sistema automático de recirculación de agua potable implementado:

1. Accionamiento completamente automático con la demanda de ACS.
2. Compatible con cualquier sistema domótico.
3. Accionamiento desde todas las tomas de agua desde cualquier cuarto húmedo de la vivienda.
4. Capacidad de desactivación del sistema con el cese de la demanda de ACS durante el funcionamiento del proceso de recirculación.
5. Capacidad de desactivación del sistema si el tiempo de recirculación excede de un valor prefijado y generación de la alarma de malfuncionamiento de caldera o calentador.

Así pues, con estos requisitos el diseño final del dispositivo se muestra en la Figura 6.

Tal y como aparecen descritos en la Figura 6, la descripción de los componentes numerados es:

- A. Sonda térmica.
- B. Dispositivo de detección de demanda de ACS.
- C. Tramo de tubería de ACS.

- D. Electroválvula NA.
- E. Dispositivo de detección de diferencia de caudal de ACS y agua fría.
- F. Electroválvula NA.
- G. Electroválvula NC.
- H. Tramo de tubería de agua fría.
- I. Tramo de tubería de interconexión de los circuitos de ACS y agua fría.
- J. Circuito de comunicaciones.
- K. Circuito de mando.
- L. Bomba de recirculación.
- M. Circuito de mando.
- N. Circuito de comunicaciones.
- O. Tramos de tubería de entrada y salida de la bomba de recirculación.

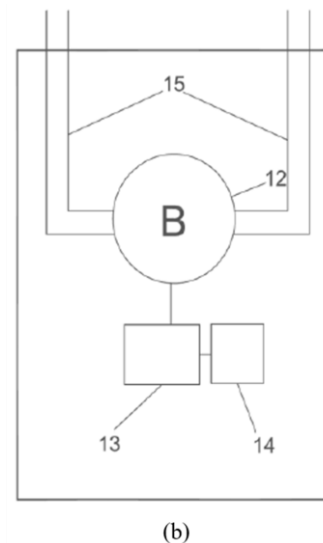
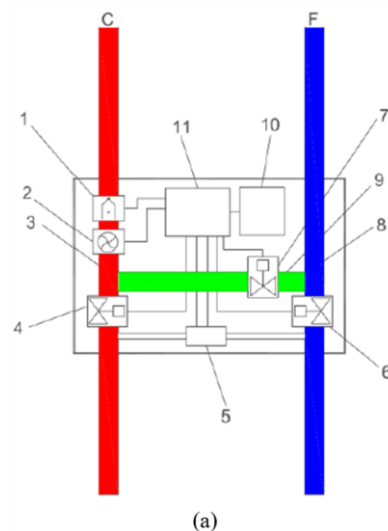


Fig. 6. Diseño del sistema automático de recirculación de ACS. (a) Subsistema de actuación; (b) Bomba de recirculación.

**A. Montaje de la instalación**

Conocidos los componentes y las funcionalidades que se requieren para el correcto funcionamiento de la instalación se ha realizado un montaje de la misma (a nivel de laboratorio), para la toma de medidas y estudio de su viabilidad.

En la Figura 7, se pueden apreciar la caldera modelo *THEMAFAST F 30 E H-MOD* de SAUNIER DUVAL para el calentamiento del ACS e incorporación de los sistemas automáticos, así como, el panel de madera DM de 2.44x2.44 m<sup>2</sup> cogido sobre soportes de acero inoxidable sobre el que se montaron las tuberías de recirculación.



(a) (b)

Fig. 7. (a) Montaje definitivo de la caldera empleada, (b) Disposición final de las tuberías de recirculación sobre panel.

En lo que respecta al montaje sobre el panel de DM: por una cara del panel se dispusieron 15 tramos de tubo de 2 m de longitud total, 1.95 m de tubo de cobre y dos codos con un desarrollo de 2.5 cm de longitud cada uno, con una separación, entre tubos, de 15 cm. Cada tramo de tubo se forró con un aislante térmico para evitar pérdidas de calor. Por la otra cara del panel, se dispuso la misma distribución de tubos de PE.

Una vez concluida la instalación de agua, se realizaron las comprobaciones de estanquidad de la instalación, conectando los circuitos de agua fría y agua caliente entre sí y conectarlos

a la toma de agua. Además, la ventilación de la caldera se ha llevado a cabo mediante un de evacuación de gases para calderas, de 100 mm de diámetro.

En las proximidades del panel se dispusieron de llaves de corte, tanto para el circuito de agua fría como para el de agua caliente. A continuación de estas llaves de corte, se dispusieron de codos con rosca hembra de 1/2", para la conexión del panel con la instalación fija de agua. La conexión entre la instalación fija de agua y al panel se realizó con latiguillos flexibles de 50 cm de longitud y 6 mm de diámetro interior. Para conseguir la longitud de tubo variable deseada, se realizaron conexiones entre tubos a través de latiguillos de iguales características.

Para la medición de la temperatura del agua, se instalaron varios termopares, distribuidos de la siguiente forma:

- Un termopar en la entrada de agua fría anterior a la llave de corte y la válvula antirretorno.
- Un termopar en la salida de ACS de la caldera.
- Un termopar móvil, conectado a un tubo de cobre con dos racores locos hembra. Este termopar se colocaba al final de cada tramo de tubería.

Estos elementos para la medida de las temperaturas se muestran en la Figura 8.

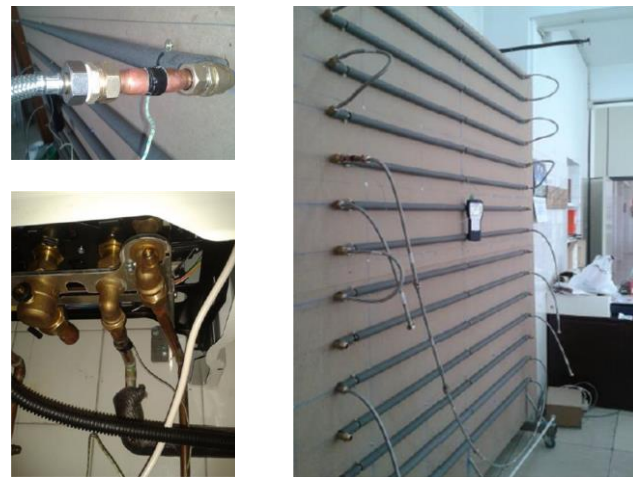


Fig. 8. Termopares instalados para la recogida de datos de temperatura en la instalación.

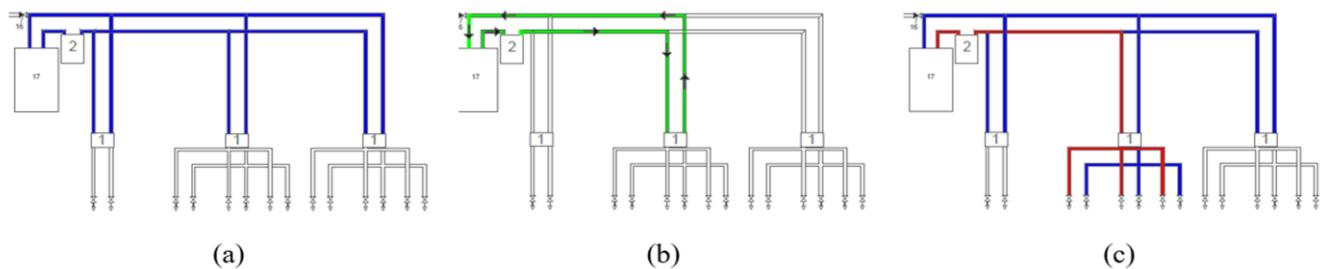


Fig. 9. Sistema Automático de Recirculación de Agua Potable, donde (1) es el módulo de actuación de la entrada y (2) Es el módulo de la bomba de recirculación.

Por otro lado, en la Figura 9, se muestran una serie de esquemas que pueden ayudar a comprender mejor el funcionamiento de la instalación. En concreto, se representa el diagrama esquemático de la instalación en reposo sin consumo de agua fría o ACS en ninguna de las estancias húmedas (Figura 9(a)), instalación con el módulo de actuación de la entrada de agua de la estancia húmeda y módulo de bomba de recirculación activados por demanda de ACS (Figura 9(b)) y la representación de la instalación en reposos con consumo de ACS al haber alcanzado la temperatura de consigna a la entrada del módulo de actuación (Figura 9(c)).

### B. Diseño experimental

Los parámetros que se necesitan medir para evaluar el ahorro potencial de agua son:

1. Consumo de agua en litros.
2. Temperatura del agua en °C, tanto para la entrada de agua fría como para el agua caliente.
3. Tiempo de calentamiento de agua en segundos, este parámetro nos indicará la cantidad de tiempo empleado en elevar la temperatura del agua hasta el valor predeterminado.

Para la determinación del consumo de agua con temperatura inferior a la deseada por el usuario, se ha realizado la toma de datos en la tubería midiendo el tiempo que tarda en alcanzarse la temperatura deseada con un margen de error de  $\pm 1^\circ\text{C}$  en tramos equidistantes de 5 metros. Así, conocido el tiempo, se puede estimar el consumo en litros si se conoce el caudal y la sección de la tubería mediante la ecuación de continuidad:

$$Q = v \cdot S \quad [10]$$

donde  $Q$  representa el caudal en l/s,  $v$  la velocidad en dm/s y  $S$  la sección en  $\text{dm}^2$ . El método de medida fue el mismo con independencia del material que conformaba la tubería.

Para establecer la estimación de ahorro, se han realizado tres supuestos, en función de los distintos bloques de facturación, establecidos en el BOCM (Boletín Oficial de la Comunidad de Madrid, 2018). En todos los supuestos se ha establecido los siguientes consumos: 175 litros por persona y día, una ducha por persona y día, dos usos de lavabo por persona y día y un uso de fregadero por persona y día.

Primer supuesto: la vivienda está habitada por dos personas, que redundará en un consumo diario de 350 litros, que supone un consumo bimensual de  $21 \text{ m}^3$  de agua y un consumo anual de  $252 \text{ m}^3$ . La facturación se establece en el bloque 1, entre 0 y  $25 \text{ m}^3$  bimensuales o entre 0 y 417 litros diarios.

Segundo supuesto: la vivienda está habitada por cuatro personas, que redundará en un consumo diario de 700 litros, que supone un consumo bimensual de  $42 \text{ m}^3$  de agua y un consumo anual de  $504 \text{ m}^3$ . La facturación se establece en el bloque 2, entre  $25$  y  $50 \text{ m}^3$  bimensuales o entre 417 y 833 litros diarios.

Tercer supuesto: la vivienda está habitada por seis personas,

que redundará en un consumo diario de 1050 litros, lo que supone un consumo bimensual de  $63 \text{ m}^3$  de agua y un consumo anual de  $756 \text{ m}^3$ . La facturación se establece en el bloque 3, consumo superior a  $50 \text{ m}^3$  bimensuales o superior a 833 litros diarios.

## V. RESULTADOS

En este apartado se muestran los resultados obtenidos tras la toma de medidas y el análisis de los mismos.

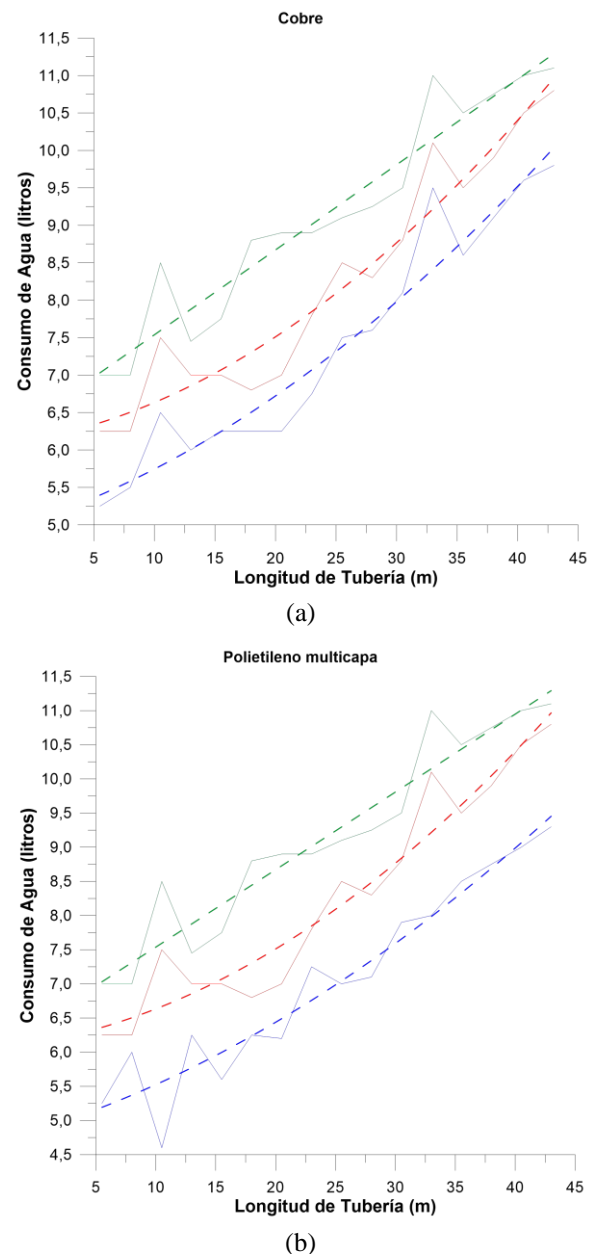


Fig. 10. Consumo en l/m de tubería de cobre (a) y polietileno (b) hasta alcanzar la temperatura de consigna.

### A. Medición del consumo en función de la tubería.

En las Figura 10 se muestran los diferentes consumos obtenidos en igualdad de condiciones de funcionamiento para las tuberías de cobre y polietileno.

Como se puede apreciar en la Figura 10, el consumo de agua no aprovechada hasta alcanzar la temperatura de consigna aumenta conforme se incrementa la distancia entre caldera y punto de consumo. Este consumo a su vez es tanto mayor, cuanto más alta es la temperatura solicitada para el calentamiento. Además, existe un término fijo que se corresponde con el funcionamiento de la caldera en el momento de arranque, y que, igualmente se ve incrementado con el aumento de la temperatura solicitada por el usuario.

En cuanto a los consumos son similares para ambas tipologías de tuberías, esto es debido a la capa de aislamiento térmico sobre las tuberías de cobre que reduce las pérdidas de calor hacia el ambiente. En el caso de no existir este aislante exterior, y debido a la reducida resistencia térmica de los metales, la temperatura interior del fluido se podría prácticamente estimar como la temperatura superficial exterior de la tubería, aumentando así el salto térmico y con ello el flujo de pérdidas por convección y radiación exterior.

### B. Simulación de la facturación

En la Figura 11, se recoge la estimación del ahorro de agua en los diferentes supuestos planteados en la metodología en base a los diferentes bloques de consumo.

Como se puede apreciar en la Figura 11, el ahorro anual produce un aumento progresivo en m<sup>3</sup> conforme se incrementa el número de personas demandantes de agua y se avanza en el orden de los bloques de facturación.

Por otro lado, en la Figura 12, se muestran los cálculos realizados para determinar facturación posible en los tres supuestos empleándose el sistema de recirculación y ahorro de agua presentado. Esta simulación permitirá por otro lado realizar una estimación final del ahorro en la factura de agua.

Este cálculo del ahorro final en la factura de agua se muestra en la Tabla 2. donde puede ver que ara el supuesto 1, el ahorro producido es de un 15,7 %, sobre la factura bimensual. Para el supuesto 2, el ahorro es de un 24,8 %, sobre la factura bimensual; para el supuesto 3, el ahorro es de un 39,4 %, sobre la factura bimensual y, además, en este caso se produce un cambio en el bloque de facturación, que pasaría del bloque 3 al bloque 2.

Así pues, y con el objetivo de poder integrar este sistema de mejora en una posible rehabilitación energética se ha realizado un cálculo de las amortizaciones reflejado en la Tabla 3. No obstante, si se desea obtener una calificación objetiva y comparable para las viviendas, las premisas de cálculo en los sistemas de calificación energética deberían estar relacionadas

en litros/m<sup>2</sup> como señalan algunos autores, para evitar que el tamaño de la vivienda sea un factor relevante en cuanto a eficiencia energética se refiere (López-Asiain, J. et al., 2020).

ESTIMACION DE AHORRO 1er SUPUESTO (BLOQUE 1)						
Nº Personas	Nº de usos	Usos	Litros ahorro	Ahorro Producido en litros	Ahorro Producido en m <sup>3</sup>	Ahorro Ajustado a contador
2	2	DUCHA	9	36	0,036	
	2	LAVABO	9	36	0,036	
	1	FREGADERO	9	18	0,018	
AHORRO DIARIO				90	0,09	
AHORRO BIMENSUAL				5400	5,4	6
AHORRO ANUAL				32400	32,4	33
ESTIMACION DE AHORRO 2º SUPUESTO (BLOQUE 2)						
Nº Personas	Nº de usos	Usos	Litros ahorro	Ahorro Producido en litros	Ahorro Producido en m <sup>3</sup>	Ahorro Ajustado a contador
4	2	DUCHA	9	72	0,072	
	2	LAVABO	9	72	0,072	
	1	FREGADERO	9	36	0,036	
AHORRO DIARIO				180	0,18	
AHORRO BIMENSUAL				10800	10,8	11
AHORRO ANUAL				64800	64,8	65
ESTIMACION DE AHORRO 3er SUPUESTO (BLOQUE 3)						
Nº Personas	Nº de usos	Usos	Litros ahorro	Ahorro Producido en litros	Ahorro Producido en m <sup>3</sup>	Ahorro Ajustado a contador
6	2	DUCHA	9	108	0,108	
	2	LAVABO	9	108	0,108	
	1	FREGADERO	9	54	0,054	
AHORRO DIARIO				270	0,27	
AHORRO BIMENSUAL				16200	16,2	17
AHORRO ANUAL				97200	97,2	98

Fig. 11. Estimación de ahorro en los diferentes supuestos.

## VI. CONCLUSIONES

El sector doméstico consume una gran cantidad de agua anual y más aún si se consideran solo los países más desarrollados. Gran cantidad de este preciado bien es derrochada por motivos de confort y de no conformidad con la demanda establecida por el usuario. Este es el caso del ACS que se deja correr por los aparatos sanitarios hasta que finalmente obtenemos un caudal a la temperatura deseada.

El sistema de ahorro propuesto en este trabajo permite la recirculación a través de un sistema automático del ACS potable que pierde cada día en las viviendas. Utilizando sistemas de recirculación como el presentado, se produce un ahorro considerable en términos anuales tanto económico como de consumo, evitando así desperdiciar muchos m<sup>3</sup>. Además, se ha podido comprobar como el sistema desarrollado funciona adecuadamente con independencia del material de la tubería, siendo el factor discriminante la temperatura de consigna que puede fijarse previamente por el usuario. Se trata, por tanto, de un sistema adaptable a cualquier tipología de vivienda.

Por otro lado, se ha llevado a cabo una simulación por bloques de consumo en tres supuestos casos. En todas las casuísticas se ha podido comprobar cómo se produce un ahorro económico y de consumo de agua, obteniéndose a su vez los períodos de amortización del sistema.





TABLA II  
ESTIMACIÓN DEL AHORRO EN LA FACTURA DE AGUA DEL CYII.

Supuesto	Ahorro Consumo bimensual en m <sup>3</sup>	Ahorro Consumo anual en m <sup>3</sup>	Facturación Bimensual sin ahorro de agua	Facturación Bimensual con ahorro de agua	Total de ahorro Bimensual	Total de ahorro anual
1	6	33	36.07	30.39	5.68	34.08
2	11	65	64.72	48.63	16.09	96.54
3	17	98	116.53	70.56	45.97	275.82

TABLA III  
CUADRO DE AMORTIZACIONES DE INVERSIÓN

Supuesto	Inversión (€)	Ahorro anual (€)	Amortización (años)
1	540.10	34.08	16
2	698.80	96.54	7
3	857.50	275.82	3

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer la colaboración del profesor Enrique Tremps Guerra para la realización de este trabajo, así como, al laboratorio de Física de la E.T.S. de Edificación de Madrid por el soporte técnico prestado.

#### REFERENCIAS

- Arenas Gómez, A. (2016). Transmisión del Calor. EDISOFER, S.L., Madrid, ISBN: 978-84-608-5150-9.
- Bartholomew, A. (2013). El libro del agua. Editorial: Fertilidad de la tierra. ISBN: 9788494058240.
- Bou Lawz-Ksayer, E. (2011). Design of an ORC system operating with solar heat and producing sanitary hot water. Energy Procedia, 6, 389 – 395, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2011.05.045>.
- B.O.C.M. n° 308, de jueves 27 de diciembre de 2018 Orden 2586/2018, de 18 de diciembre de 2018.
- Chegut, A., Eichholtz, P., Kok, N. (2019). The price of innovation: An analysis of the marginal cost of green buildings. Journal of Environmental Economics and Management, 98 <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2019.07.003>

García, A.; Morón, C.; Gómez, A.; Tremps, E. (2014). Sistema automático de recirculación de agua potable y método de funcionamiento. Patente de Invención. P201300125.

Gil-López, T. (2020). Technological advances in future building. DYNA, 95 (3), 231-232, ISSN: 0012-7361. DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/9681>

López-Asiain, J.; González, M.N.; Morón, C.; Payán, A. (2020). Building energy performance certificating influence over the results of domestic hot water parameter. DYNA, 95(3), 257-260, DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/9578>

Naciones Unidas. (s.f.). Objetivos de Desarrollo Sostenible: 6. Agua Limpia y Saneamiento. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>, último acceso a 29 de mayo de 2020.

Martín Sánchez, F. (2008). Nuevo manual de instalaciones de fontanería y saneamiento. Editorial Antonio Madrid Vicente, ISBN: 9788496709089.

Masip, X., Cazorla-Marín, A., Montagud, C., Marchante, J., Barceló, F., Corberán, J.M. (2019). Energy and techno-economic assessment of the effect of the coupling between an air source heat pump and the storage tank for sanitary hot water production. Applied Thermal Engineering, 159, <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.113853>

Rankin, R. & Rousseau, P.G. (2006). Sanitary hot water consumption patterns in commercial and industrial sectors in South Africa: Impact on heating system design. Energy Conversion and Management, 47, issue 6, 687-701, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2005.06.002>.



**Reconocimiento – NoComercial (by-nc):** Se permite la generación de obras derivadas siempre que no se haga un uso comercial. Tampoco se puede utilizar la obra original con finalidades comerciales.