

# **PROYECTO FIN DE CARRERA**

**“OPTIMIZACIÓN DE INSTALACIÓN DE ACS CON  
INCORPORACIÓN DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA.  
APLICACIÓN A LA EMPRESA TUSSAM”**

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES DE SEVILLA  
Departamento de Ingeniería Energética**

**Autor: Pablo Benavent Viñuales**

**Tutor: Isidoro Lillo Bravo**

## **1. Introducción**

## **2. Objeto del proyecto**

## **3. Descripción general del proyecto**

## **4. Estudio detallado de la situación actual**

### 4.1. Descripción del edificio

### 4.2. Análisis de la instalación

#### 4.2.1. Descripción de los elementos de la instalación

##### 4.2.1.1. Fluido

##### 4.2.1.2. Caldera

##### 4.2.1.3. Intercambiador de calor

##### 4.2.1.4. Acumuladores

##### 4.2.1.5. Bombas de recirculación

##### 4.2.1.6. Elementos del circuito hidráulico y valvulería

##### 4.2.1.7. Sistema de control y adquisición de datos

#### 4.2.2. Consumo de ACS

### 4.3. Descripción del funcionamiento actual

#### 4.3.1. Valores de dimensionado del antiguo proyecto para la instalación

#### 4.3.2. Análisis pormenorizado del consumo existente de ACS

#### 4.3.3. Análisis del esquema de principio

#### 4.3.4. Pruebas en el sistema de producción de ACS

##### 4.3.4.1. Primera prueba

##### 4.3.4.2. Segunda prueba

##### 4.3.4.3. Tercera prueba

##### 4.3.4.4. Conclusiones

#### 4.3.5. Estudio de la recirculación del sistema

##### 4.3.5.1. Cálculos de pérdidas térmicas en las tuberías

## **5. Propuestas de mejora al funcionamiento actual**

### 5.1. Cambios en el sistema de producción de ACS

#### 5.1.1. Caldera

#### 5.1.2. Electroválvula de consumo

#### 5.1.3. Aislamiento

#### 5.1.4. Accesorios

#### 5.1.5. Sistema de control

5.1.6. Aparatos de consumo

5.2. Optimización energética del sistema de distribución de ACS

5.2.1. Descripción de los diferentes circuitos

5.2.2. Esquema simplificado de control y red de Petri asociada

5.2.3. Cálculos relativos a los retornos y los depósitos

5.2.3.1. Retorno del circuito A1 – ‘Zona de servicio’

5.2.3.2. Retorno del circuito A2 – Circuito planta baja y primera (con gimnasio)

5.2.3.3. Retorno del circuito B5 – Circuito ‘Aseos de montadores’

5.2.3.4. Cálculo del tiempo de reposición de los depósitos en periodo de mañana

5.2.3.5. Cálculo de los caudales de las bombas de recirculación

5.2.4. Evaluación energética

5.2.5. Reducción costes de gas natural

5.2.6. Presupuesto y mediciones

**6. Instalación solar térmica**

6.1. Principios básicos del dimensionado de las instalaciones solares térmicas

6.1.1. Diferencias entre el dimensionado de las instalaciones convencionales y las solares

6.2. Fase de dimensionado

6.2.1. Demanda de energía térmica

6.2.2. Volumen de acumulación solar y área de captación

6.2.3. Selección de la configuración básica

6.2.4. Diseño del sistema de acumulación

6.2.5. Ubicación, orientación e inclinación de los captadores

6.2.6. Selección de captadores y conexionado

6.2.7. Diseño del sistema de intercambio

6.2.8. Aporte solar de la instalación

6.2.9. Diseño del sistema de energía auxiliar

6.2.10. Diseño del sistema de enfriamiento parcial baja demanda energética

6.2.11. Diseño del circuito primario. Caudales de circulación y pérdidas de carga

6.2.12. Características principales de la bomba de circulación

6.2.13. Volumen del vaso de expansión

6.2.14. Diseño del circuito eléctrico

6.2.15. Estructura soporte de los captadores y anclajes

6.2.16. Diseño del sistema de control

6.3. Plan de mantenimiento

## **7. Conclusiones**

## **8. Normativa**

## **9. Referencias bibliográficas**

### **ANEJOS:**

#### **ANEJO A. PLANOS**

1. Antigua instalación existente: planos de la instalación hidráulica

A.1.1 Esquema de principio

A.1.2 Talleres - cota 0.0 m

A.1.3 Talleres - cota 3.75 m + esquema isométrico

A.1.4 Oficinas - planta sótano + esquema isométrico

A.1.5 Oficinas - planta baja

A.1.6 Oficinas - planta primera

A.1.7 Oficinas - planta segunda

2. Nueva instalación proyectada

A.2.1 Esquema de principio instalación solar

A.2.2 Croquis sistema de depósitos nodriza

A.2.3 Planos de la cubierta, estructura y alzado de pórtico tipo

A.2.4 Esquema de línea de la instalación hidráulica completa

A.2.5 Esquema hidráulico de captadores

A.2.6 Plano de cubierta con captadores

#### **ANEJO B. PRESUPUESTO DETALLADO INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA**

## 1 INTRODUCCIÓN

Hoy día nos encontramos ante un cambio climático de gran magnitud en nuestro planeta. No se trata de un problema a largo plazo sino de algo que ya se deja notar en nuestras vidas cotidianas, por lo que se deben utilizar todos los medios a nuestro alcance para combatirlo.

Ciertos estudios muestran que este cambio en el clima de la tierra puede tener una estrecha relación con el sobre-desarrollo de los países industrializados y su uso cada vez mayor de recursos energéticos. Es cierto que este crecimiento económico desmesurado no ha visto una conciencia por el medio en el que se sostiene hasta que dicho proceso ya ha estado demasiado avanzado, y es por eso que ahora toca dar “pasos de gigante” hacia un modelo no abusivo de utilización de los recursos con que contamos.

Una de las medidas a las que cada vez más países industrializados se están aferrando para disminuir la dependencia de los combustibles fósiles y con ello la cantidad de emisiones liberadas a la atmósfera, es la **mejora de la eficiencia y el ahorro energético en los procesos junto con una mayor utilización de las energías renovables.**

Desde ese punto de vista de eficiencia y ahorro energético, existen muchas instalaciones que permiten su mejora ya que el actual bajo coste de la energía ha permitido cierta relajación en esta dirección.

En cuanto al tipo de instalación que aquí se estudia, instalación para el calentamiento de agua caliente sanitaria (ACS), es sin duda susceptible de verse afectada por mejoras de este tipo, y en función de algunas consideraciones como el uso anual que se haga de la instalación, puede resultar viable económicamente la incorporación de **energía solar térmica**, siendo con frecuencia favorables los periodos de recuperación de la inversión inicial. Además, estando ubicada en una región con un nivel bastante elevado de radiación solar anual, son de prever resultados satisfactorios, haciendo de esta manera un mayor uso de energías renovables.

Por otra parte, se puede observar como las instalaciones solares térmicas juegan desde hace más de 30 años un papel cada vez más importante en la prevención del cambio climático y en el suministro de energía. El mercado de las instalaciones solares térmicas evoluciona a un ritmo vertiginoso en diversos países de Europa, Asia y la cuenca del Mediterráneo.

A continuación se exponen diversos y contundentes argumentos a favor de la instalación de los sistemas solares térmicos [3]:

- Dado que las instalaciones solares, una vez finalizada su fase de fabricación y producción, suministran energía sin emisión alguna de gases que provocan efecto invernadero, sus propietarios contribuyen activamente a la prevención del cambio climático.

- Las instalaciones solares requieren un mantenimiento mínimo y consumen una pequeña cantidad de energía auxiliar.

- Los propietarios de las instalaciones solares se benefician a menudo de las ventajas relativas a los impuestos y de las subvenciones gubernamentales.

- Las instalaciones solares mejoran la imagen y el valor de una edificación.

- Las instalaciones solares utilizan una fuente de energía prácticamente inagotable. Su utilización contribuye a la conservación de los recursos de energía convencional (petróleo, gas, etc.) y garantiza al país una mayor independencia, tanto económica como política.

- La adquisición y aplicación de las instalaciones solares asegura y fomenta conocimientos y experiencias sobre esta moderna tecnología en el país donde se utilizan, estableciendo una base sólida para el desarrollo económico positivo y abriendo nuevos mercados tanto a nivel nacional como internacional.

- Las instalaciones solares, con una vida útil media de 20 años, son una prueba de una tecnología de confianza y de alto nivel.

- Los propietarios de las instalaciones solares evitan costes adicionales por el aumento de los precios de la energía y las ecotasas; de esta manera logran alcanzar cierta independencia económica.

- El factor económico principal surge de la apreciable inversión inicial en la instalación solar. Sin embargo, los costes se pueden calcular con exactitud y con muchos años de antelación. En cambio, los costes del combustible para las instalaciones de calentamiento convencional varían considerablemente y no se pueden calcular con un período de antelación de 20 años. Por consiguiente, una instalación solar representa una inversión segura.

- Poseer una instalación solar denota una gran responsabilidad medioambiental.

- Gracias a la continua expansión de la energía solar térmica, se han creado puestos de trabajo adicionales en la industria y en muchos oficios auxiliares, como en el de la fontanería.

Por otra parte, en cuanto a la mejora de la eficiencia de las instalaciones, se observa que en las instalaciones para la producción de agua caliente sanitaria (ACS) con frecuencia caben muchas posibilidades de actuación, aumentando el rendimiento energético de las mismas y reduciendo considerablemente su consumo de recursos.

Estas posibilidades de mejora pueden ser causa de muy diversos factores:

- Estimación en su proyecto de diseño de una *demanda del consumo* muy lejana a la realidad.
- Diseño poco apropiado y no muy optimizado
- Errores en el cálculo de la instalación.
- Mala elección de los elementos de la instalación.
- Aislamiento deficiente de tuberías y equipos.
- Trazado inadecuado del circuito de tuberías de consumo.
- Control automático mal llevado a cabo e insuficiente.
- Fallos y deficiencias en su ejecución y montaje.
- Deficiente selección de la energía primaria.

En vista de lo anterior cabe plantearse una revisión de dichos aspectos con el fin de alcanzar un mejor funcionamiento de la instalación y conseguir importantes ahorros en la demanda de ACS, de energía térmica y de energía eléctrica.

De esta forma, se plantea la revisión, mejora y optimización de una instalación de ACS, concretamente la instalación situada en las dependencias de “*Transportes Urbanos de Sevilla Sociedad Anónima Municipal*” (TUSSAM), que dispone en la actualidad de un sistema basado en una caldera de gas natural.

## 2 OBJETO DEL PROYECTO

El presente proyecto, tiene como objeto la **optimización energética de una instalación de ACS**.

Para la consecución de este objetivo se han desarrollado acciones en torno a tres bloques claramente diferenciados:

1. Estudio del *funcionamiento actual del sistema de producción de ACS* identificando posibles anomalías o deficiencias en el mismo.
2. Elaboración de soluciones o propuestas de mejoras a dichas deficiencias.
3. Incorporación de las mejoras y de una *instalación solar térmica de baja temperatura* a los sistemas de producción de ACS existentes.

El presente proyecto servirá a su autor como **Proyecto Fin de Carrera de la titulación de Ingeniero Industrial**, al tiempo que podrá ser utilizado en la medida deseada para la *realización de los cambios en él propuestos sobre las dependencias de "Transportes Urbanos de Sevilla Sociedad Anónima Municipal" (TUSSAM)*.

## 3 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

En la aplicación de la metodología seguida se ha trabajado desde dos puntos de vista:

· Un primero en el que se han analizado aspectos del **funcionamiento actual** de las instalaciones, identificando **posibles anomalías** o deficiencias y proponiendo **soluciones de mejora** en las mismas;

· Y un segundo en el que se ha desarrollado el **diseño y cálculo de una ampliación** de la instalación por medio de un **sistema solar térmico** de baja temperatura, analizando la viabilidad de la propuesta dadas las condiciones propias a la instalación y las del lugar en el que se ubica.

Así pues, se ha realizado un análisis de lo existente barajando posibles mejoras, al tiempo que se han desarrollado diversas propuestas para complementarlo.

Todo el trabajo es desarrollado directamente sobre las instalaciones de la empresa TUSSAM. Así, **en el primer bloque, tras ser mostrada su instalación existente** de una manera relativamente exhaustiva haciendo una descripción de cada uno de los elementos que la componen y realizando in situ un estudio de consumo de ACS, se analizarán **diversos aspectos de su funcionamiento**, evaluando la posibilidad y factibilidad de introducción de mejoras en el mismo.

Del **estudio de consumo de ACS**, basado en mediciones, encuestas y observaciones de otro tipo, resultarán una serie de conclusiones, así como unos valores indicativos útiles para realizar un redimensionamiento de la misma.

Por otra parte, con objeto de poder juzgar la calidad de su funcionamiento en cuanto al servicio prestado, se realizan en varias ocasiones determinadas **pruebas sobre el sistema de producción de ACS**, tomando multitud de lecturas de todos sus sensores a lo largo de un periodo punta de utilización. Al ver funcionar la instalación, estas pruebas nos permiten entender diversas pautas de su comportamiento.

También es objeto de un análisis exhaustivo **la recirculación del sistema**, la cual quedará caracterizada por unos valores que reflejan las pérdidas térmicas sufridas a lo largo de su recorrido.

Tras este estudio se realizan una serie de **propuestas de mejora a su funcionamiento.**, que según su naturaleza pueden agruparse en dos apartados:

- Concernientes a la introducción de cambios en el sistema de producción.
- Concernientes a la optimización energética del sistema de distribución.

**En el primer caso** se propone actuar sobre seis elementos: la caldera, la electroválvula que regula la temperatura de consumo, el aislamiento, accesorios, sistema de control y aparatos de consumo (elementos del sistema de distribución).

A continuación, **la optimización energética del sistema de distribución** se lleva a cabo buscando una disminución de las pérdidas térmicas mencionadas más arriba. Se describen con detalle cada uno de los circuitos de distribución y recirculación de ACS, los nuevos elementos que se deberían añadir y una explicación acerca de cómo deberían ser controlados. Se muestran a continuación las reducciones de combustible

obtenidas en la caldera de gas y una evaluación económica que refleja el orden de magnitud de la inversión que habría que realizar.

**El segundo bloque**, “diseño y cálculo de una propuesta de ampliación mediante sistema solar térmico de baja temperatura”, comienza con algunas explicaciones relativas al tipo de instalación que se va a diseñar, señalando sus principios básicos de dimensionado así como aquellas diferencias fundamentales con respecto a las instalaciones convencionales de ACS.

Durante su **fase de dimensionado** se analizan de forma paralela hasta cuatro propuestas diferentes que, ubicando de diferentes formas varias configuraciones de sistemas de energía solar, persiguen la mejor adaptación a las características propias de la instalación en la que se trabaja, obteniendo de esa manera un mayor aprovechamiento del sistema solar buscado.

Así se calculan los valores de demanda de energía térmica, el volumen de acumulación y el área de captación solar para la orientación e inclinación más adecuadas, el aporte solar de la instalación y el del sistema auxiliar, diseño de los sistemas de intercambio y acumulación, diseño del circuito hidráulico, características de la bomba de circulación y el volumen del correspondiente vaso de expansión, un sistema de enfriamiento parcial para baja demanda energética y, por último, el sistema de control y las protecciones eléctricas.

Posteriormente se reseña un plan de mantenimiento y se elabora un **presupuesto** a grandes rasgos en el que se aprecia en números aproximados el coste de la inversión.

Un último apartado cierra el proyecto mostrando algunas **conclusiones globales** derivadas del mismo.

## 4 ANÁLISIS DETALLADO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

### 4.1 DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO

Dentro de las dependencias de la empresa TUSSAM, con emplazamiento en la Avda de Andalucía s/n, se trabajará sobre el edificio principal y la nave de talleres colindante, en los que se encuentran las instalaciones de ACS.

#### **Edificio principal o edificio de oficinas**

Constituido por una edificación con sótano, planta baja, primera y segunda, tiene además un ala (ala sudeste) en la que sólo hay planta baja y sótano.

Las tomas de consumo de ACS se encuentran dispuestas a lo largo de las plantas baja, primera y segunda, dando servicio a grifos de lavabos y, puntualmente a alguna ducha (gimnasio, despacho del director general y servicio médico de guardia).

Podemos ver una relación de estos usos en la tabla 1. Los grifos de los lavabos y de las duchas son del tipo “monomando”.

Tabla 1 - Tomas de consumo de ACS

|                       | Lavabos | Duchas |
|-----------------------|---------|--------|
| <b>OFICINAS</b>       | 65      | 8      |
| <b>Planta baja</b>    | 38      | 7      |
| 1                     | 5       | -      |
| 2                     | 2       | -      |
| 3                     | 2       | -      |
| 4                     | 6       | -      |
| 5                     | 6       | -      |
| 6                     | 3       | 3      |
| 7                     | 3       | 3      |
| 8                     | 5       | -      |
| 9                     | 6       | 1      |
| <b>Planta primera</b> | 13      | 0      |
| 10                    | 5       | -      |
| 11                    | 3       | -      |
| 12                    | 5       | -      |
| <b>Planta segunda</b> | 14      | 1      |
| 13                    | 1       | -      |
| 14                    | 1       | 1      |
| 15                    | 5       | -      |
| 16                    | 1       | -      |
| 17                    | 5       | -      |
| office secretaría     | 1       | -      |

|                   | Lavabos | Duchas |
|-------------------|---------|--------|
| <b>TALLERES</b>   | 42      | 24     |
| <b>Cota 0,0m</b>  | 17      | 0      |
| 18                | 3       | -      |
| 19                | 4       | -      |
| 20                | 3       | -      |
| 21                | 7       | -      |
| <b>Cota 3,75m</b> | 25      | 24     |
| 22                | 11      | 7      |
| 23                | 2       | -      |
| 24                | 2       | -      |
| 25                | 6       | -      |
| 26                | 3       | 17     |
| comedor           | 1       | -      |
| <b>TOTAL</b>      | 107     | 32     |

Por otra parte, dada la gran longitud de las tuberías, existen varios circuitos de retorno para evitar el enfriamiento del agua en las canalizaciones durante los periodos en los que no haya consumo, pudiendo así disponer de agua caliente de manera casi instantánea. Se encuentran conectados a los extremos de las acometidas y ramificaciones de cierta longitud, en las que se instalaron con reguladores de caudal que posibilitan tanto la actuación como llaves de corte, como el equilibrado hidráulico necesario.

Podemos ver en la tabla 2 una relación con la longitud de las tuberías de ACS y sus tres circuitos de retorno (circuitos 1 al 3, que pertenecen al edificio de oficinas). La numeración de las distintas ubicaciones de consumo se corresponde con lo marcado sobre los planos de las instalaciones. (anejos A.1). Entre paréntesis se muestra la cantidad de duchas correspondiente a cada ubicación. De entre ellas, las que se encuentran marcadas con un asterisco no son utilizadas y por tanto no se planteará para ellas ningún servicio especial, por lo que dada su ubicación puntualmente alejada del resto de duchas, si algún día fuera necesario se estudiaría cada caso de forma específica (p.e. mediante calentadores individuales adecuados a su esporádico uso).

Tabla 2 - Circuitos de retorno

| Nº | Nombre   | Longitud | Lavabos | Duchas  | Comentarios  |
|----|----------|----------|---------|---|--|
| 1  | Sótano   | 119,75 m | 1-4     | -   | Abastece al ala S de la planta baja del edificio de oficinas   |
| 2  | Baja     | 66,00 m  | 5-12    | Gimnasio: 6 (3), 7 (3) y guardia médica: 9 (1*) | Abastece a las plantas baja y primera del edificio de oficinas |
| 3  | Segunda  | 92,25 m  | 13-17   | Director general: 14 (1*)                       | Abastece a la planta segunda del edificio de oficinas          |
| 4  | Talleres | 194,50 m | 18-26   | Vestuarios talleres: 22 (7), 26 (17)            | Abastece a la nave de talleres                                 |

Además, en la cocina existe una instalación independiente de ACS que funciona mediante acumulador eléctrico de características: 100 l, 1200 W.

### **Nave de talleres**

Se trata de una nave que continúa la anterior edificación, en la que podemos encontrar varios módulos de oficinas de dos plantas sobre rasante. Está edificada en estructura metálica y sus dimensiones aproximadas son 200 x 40 m, con una altura que varía desde los 9 hasta los 12,5 m.

Las tomas de consumo de ACS dan servicio en la planta baja a lavabos de varios cuartos de baño, al tiempo que en la primera planta de uno de los módulos citados unas líneas más arriba encontramos las duchas de los vestuarios de los trabajadores del taller. Ver una relación de las tomas de consumo en la tabla 1.

Igual que ocurría en el edificio de oficinas, se dispone de un circuito de retorno para evitar el enfriamiento del ACS de consumo en las canalizaciones (circuito 4 de la tabla 2).

En los anejos A.1 se pueden observar los planos de planta de ambas edificaciones, así como sus esquemas hidráulicos.

## **4.2 ANÁLISIS DE LA INSTALACIÓN**

La central térmica o sala de producción de ACS está situada en la planta baja del edificio de oficinas, pegada al muro que separa dicha edificación de la nave de talleres. Tiene una superficie de 4 m x 3.9 m con 3.75 m de altura y consta de los siguientes elementos:

- Caldera de gas de tipo atmosférica.
- Intercambiador de calor de placas.
- Tres depósitos acumuladores verticales de 1000 litros cada uno.
- Bombas de circulación.
- Sensores monitorizados por un sistema central de gestión.
- Valvulería y accesorios.

### **4.2.1 Descripción de los elementos de la instalación**

#### **4.2.1.1 Fluido**

Agua de la red pública de abastecimiento de Sevilla. Al tratarse de agua preparada para su consumo considerada de gran calidad, resulta especialmente idónea para la instalación de ACS.

La instalación posee su propia central de bombeo de agua que funciona con 5 bombas EM 40-6 conectadas en paralelo, cuyas características son: Q= 66-360 l/min; H= 66-20 m, reguladas por un presostato tarado para asegurar en la red una presión entre 4.5 y 6 bar. La acometida se une a la instalación de agua sanitaria en el sótano, conectando a la altura del cuarto de baño 1, mediante una tubería de 3" que mide unos 230 metros hasta llegar a la sala de producción de ACS, lo que nos asegura unos 4-5 bar de presión en la misma.

#### 4.2.1.2 Caldera

Caldera de gas de tipo atmosférica no modulante de la marca SIME, modelo RX26. Potencia térmica nominal de 30.50 kW (26200 kcal/h) y un gasto nominal de 34.80 kW.

Se encuentra en funcionamiento con gas natural (G-20) canalizado a 20 mbar y posee un sistema de desconexión automático tarado a 95°C.



Fotografía 1 - Caldera

#### 4.2.1.3 Intercambiador de calor

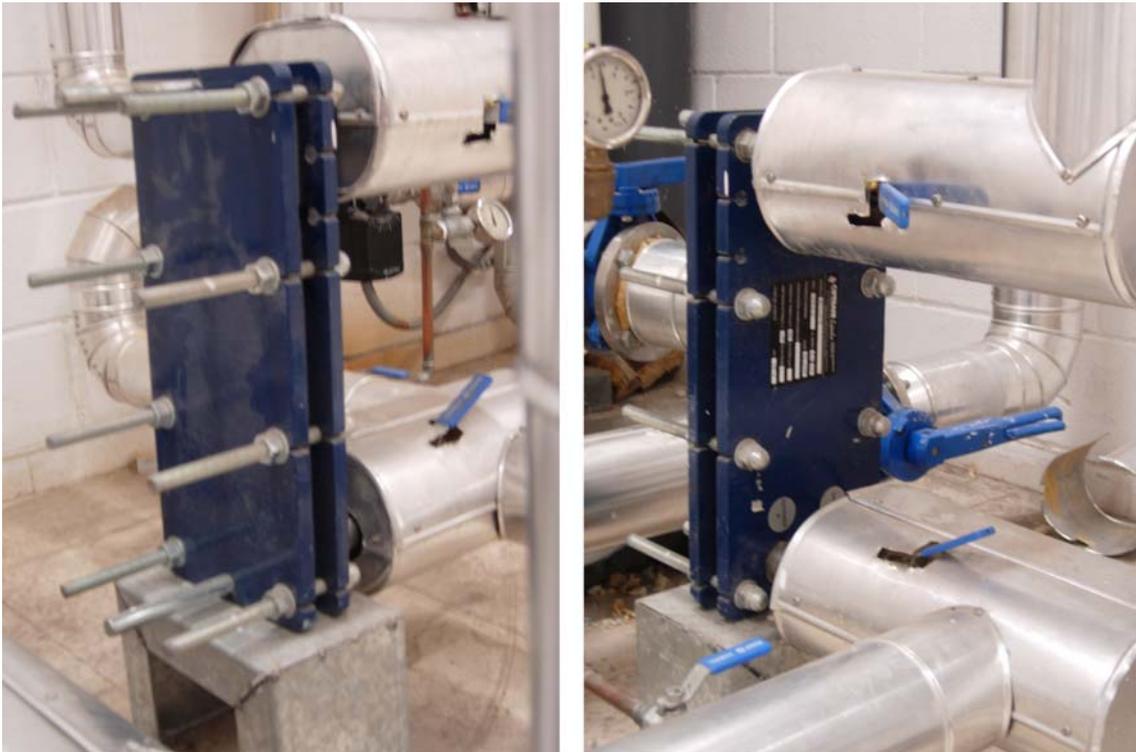
Se trata de un intercambiador de la marca CIPRIANI SCAMBIATORI con nueve placas desmontables, diseñado con una potencia térmica de intercambio de **63995 kcal/h** (74.41 kW, factor de sobredimensionamiento de 2,44) funcionando *sin aislamiento* según los parámetros indicados en la siguiente tabla:

Tabla 3 - Datos de diseño del intercambiador de placas

|                        | Lado fluido circuito primario     | Lado fluido circuito secundario      |
|------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| Fluido                 | Agua                              | Agua                                 |
| Caudal                 | 1.80 m <sup>3</sup> /h (30 l/min) | 0.5282 m <sup>3</sup> /h (8.8 l/min) |
| Velocidad              | 0.4599 m/s                        | 0.1352 m/s                           |
| Temperatura de entrada | 90.00 °C                          | 10.00 °C                             |
| Temperatura de salida  | 75.00 °C                          | 60.00 °C                             |
| Temperatura media      | 82.50 °C                          | 35.00 °C                             |

|                              |                             |                            |
|------------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| Pérdida de presión           | 20.14 kPa (0.201 bar)       | 2.56 kPa (0.0256 bar)      |
| Coef. de intercambio parcial | 22660 W/(m <sup>2</sup> ·K) | 7544 W/(m <sup>2</sup> ·K) |
| Coef. de ensuciamiento       | 0 m <sup>2</sup> ·K/W       | 0 m <sup>2</sup> ·K/W      |

La superficie de intercambio es  $A = 0.2905 \text{ m}^2$  y el coeficiente global de intercambio  $U = 5660 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{k})$  con un DTML teórico de  $45.27^\circ\text{C}$ .



Fotografía 2 – Vistas anterior y posterior del intercambiador de calor

#### 4.2.1.4 Acumuladores

Se dispone de tres acumuladores idénticos de 1000 litros cada uno, fabricados en acero inoxidable. AISI 316L y con aislamiento de Poliuretano (50 mm).

Están conectados entre sí en serie tal y como se puede observar en el esquema de principio de la instalación (anexo A1.1).



Fotografía 3 – Depósitos acumuladores de ACS

#### 4.2.1.5 Bombas de recirculación

Existen recirculadores en el circuito primario, secundario y retorno.

- *Recirculador circuito primario*: integrado en la caldera puede ser ajustado a 3 velocidades, estando posicionado a la máxima con un consumo de 93 W.

- *Recirculadores circuito secundario*: montados en paralelo como medida de seguridad, se trata de recirculadores de 3 velocidades ajustados a la máxima. Uno de ellos consume una potencia eléctrica de 165 W mientras que el otro 175 W.

- *Recirculadores circuito de retorno*: montados en paralelo con la misma filosofía que los del circuito secundario, se trata de recirculadores de 3 velocidades ajustados a la máxima con un consumo de 99 W.

El sistema de control se encarga de alternar el funcionamiento de los recirculadores montados en paralelo (ver fotografía 4) para repartir su tiempo de funcionamiento.



Fotografía 4 – Recirculadores en paralelo

#### 4.2.1.6 Elementos del circuito hidráulico y valvulería

En el esquema de principio se puede observar la distribución de los circuitos hidráulicos y de la valvulería asignada en su proyecto. La ejecución de la instalación fue realizada tal y como aparece en dicho esquema de principio (anexo A.1.1), excepto la incorporación del termómetro en la acometida de agua fría a la central de producción, que no se llevó a cabo realmente.

Para el suministro a los platos duchas y lavabos existe un circuito que, partiendo de la Central Térmica discurre paralelo a los circuitos de agua fría.

Asimismo, en el proyecto para la fontanería se refleja la siguiente información: “Toda la red de agua se realizará con tubería de cobre, habiéndose previsto calorifugada con *coquilla de espuma elastomérica* la de agua caliente que discurre aérea. La de agua fría que discurre por falsos techos y patinillos se ha previsto con coquilla para prevenir el riesgo de condensaciones, aunque en este caso será de 9 mm de espesor.

En los recorridos empotrados, tanto las tuberías de agua fría como las de agua caliente se enfundarán con tubo corrugado de PVC para aislarlas de los materiales de construcción y para permitir las dilataciones.

En todas las acometidas a aseos, a grifos de manguera, y en las derivaciones principales, se han previsto llaves de corte.”

#### 4.2.1.7 Sistema de control y adquisición de datos

Las instalaciones son monitorizadas de forma permanente por un *sistema de control automático de lógica programada*, que dispone de un “sistema central de adquisición y visualización de datos” (SAD) que funciona bajo el software “Uniwin” de la compañía Siemens, empresa que diseñó el sistema de control. El SAD permite al personal de mantenimiento interactuar con las instalaciones desde un terminal remoto, recibiendo información en tiempo real y asignando los valores de consigna que propicien su mejor funcionamiento.

Los datos que se pueden visualizar en el mismo son los siguientes:

- **Temperaturas** del depósito más frío, de suministro de ACS a la salida de la sala, del circuito primario a la salida del intercambiador y del agua de retorno.
- **Estado de funcionamiento (encendida/apagada) de las bombas** en caldera, circuito secundario y retorno.
- **Estado de apertura de las electroválvulas** (porcentaje de apertura) de caldera y de salida hacia consumo.

Los datos de temperatura se suministran desde las siguientes sondas, tipo PT-100, instaladas en la sala de caldera:

- *Sonda de temperatura en depósito (tarada a 65°C).*
- *Sonda de temperatura del suministro de ACS (tarada a 55°C).*
- *Sonda de temperatura en la salida del intercambiador del circuito primario, que genera una señal de alarma si esta temperatura disminuye por debajo de 30°C.*
- *Sonda de temperatura a la vuelta del circuito de retorno, que sirve para conocer dicha temperatura y registrarla en el SAD.*

Además de captar y visualizar la información, el SAD actúa sobre un “autómata programable” (PLC) que controla el funcionamiento de las siguientes electroválvulas (EV):

- EV del circuito primario: en función de la temperatura del depósito y su consigna (65°C), se controla su apertura y cierre para evitar que el fluido pase por el intercambiador de calor. De esta manera se producirán en la caldera altas temperaturas que provocarán su desconexión por medio de su termostato (al alcanzar 95°C).
- EV del suministro de ACS: dicha EV posee una entrada de agua fría y otra de agua caliente, proveniente del sistema de producción de ACS. Según la temperatura de la sonda de suministro y la consigna establecida (55°C), el PLC controla su apertura mezclando así el agua de ambas corrientes con el objeto de evitar temperaturas excesivas en el agua de consumo que pudieran provocar quemaduras a los usuarios

En la fotografía 5 se muestran dichas sondas y electroválvulas.



Sonda de acumulación



Sonda de retorno



Electroválvula y sonda de consumo



Electroválvula y sonda de primario

Fotografía 5 – Elementos de control

#### 4.2.2 Consumo de ACS

Como no había aparato de medida de consumo de ACS, se encargó la colocación de un **contador volumétrico** en la acometida del agua fría al circuito secundario, en la sala de producción de ACS fue puesto en funcionamiento el 19 de marzo de 2007.



Fotografía 6 - Contador de ACS consumida

De esta forma, al medir el agua fría de entrada al circuito de producción de ACS se está midiendo de forma indirecta el agua caliente consumida con exactitud.

Para determinar el consumo medio diario de agua caliente en el periodo de medida, se divide la cantidad total durante dicho período entre el número de días de medición. Por esta razón, en principio basta con registrar los niveles del contador al principio y al final del período de medición. Sin embargo, se recomienda llevar a cabo las lecturas diariamente puesto que, en primer lugar, se podrán reconocer y eliminar de esta forma los días atípicos y, en segundo lugar, se podrán determinar las diferencias entre los días laborables y los sábados, domingos y días festivos oficiales [3].

De esta manera se hicieron una serie de mediciones exhaustivas (lecturas del contador prácticamente a diario) durante 7 semanas, que fueron registradas en la tabla 4. Las medidas fueron tomadas entre el 21 de marzo y el 14 de mayo de 2007.

Para comprender la evolución del consumo en días laborables frente al de los fines de semana, se asignó a la diferencia correspondiente registrada entre dos lecturas consecutivas un periodo representativo de los días en que se estimaba que había sido utilizada esa cantidad de ACS de forma mayoritaria.

Asimismo, con objeto de estudiar una posible relación entre las condiciones ambientales y el consumo de ACS, se anotaron datos de temperatura ambiente y humedad relativa provenientes de mediciones diarias realizadas en continuo (con muestras tomadas aproximadamente cada 2 segundos) por los laboratorios del Grupo de Termotecnia de la Escuela de Ingenieros de la Universidad de Sevilla. Esos datos fueron tratados posteriormente para obtener un valor representativo de cada día de estudio. En la tabla figuran las medias aritméticas correspondientes al periodo asignado.

Tabla 4 - Lecturas diarias de la instalación de ACS

| Nº | Fecha de lectura               | Hora  | Lectura contador | Datos del periodo asignado |                       |       |
|----|--------------------------------|-------|------------------|----------------------------|-----------------------|-------|
|    |                                |       |                  | Día tipo                   | T <sub>ambiente</sub> | % HR  |
| 0  | miércoles, 21 de marzo de 2007 | 12:16 | 27.63 m3         | -                          | -                     | -     |
| 1  | jueves, 22 de marzo de 2007    | 10:56 | 33.73 m3         | X                          | 10.96 °C              | 38.15 |
| 2  | viernes, 23 de marzo de 2007   | 10:15 | 39.97 m3         | J                          | 10.65 °C              | 41.83 |
| 3  | lunes, 26 de marzo de 2007     | 10:58 | 48.28 m3         | V-S-D                      | 12.20 °C              | 59.79 |
| 4  | martes, 27 de marzo de 2007    | 12:00 | 53.66 m3         | L                          | 13.15 °C              | 86.95 |
| 5  | miércoles, 28 de marzo de 2007 | 12:30 | 59.28 m3         | M                          | 16.23 °C              | 48.86 |

|    |                                |       |           |             |          |       |
|----|--------------------------------|-------|-----------|-------------|----------|-------|
| 6  | jueves, 29 de marzo de 2007    | 12:32 | 65.00 m3  | X           | 16.37 °C | 50.27 |
| 7  | viernes, 30 de marzo de 2007   | 10:42 | 70.15 m3  | J           | 15.63 °C | 57.47 |
| 8  | lunes, 02 de abril de 2007     | 11:00 | 77.68 m3  | V-S-D       | 14.52 °C | 68.7  |
| 9  | martes, 03 de abril de 2007    | 11:00 | 83.57 m3  | L           | 13.18 °C | 74.66 |
| 10 | miércoles, 04 de abril de 2007 | 12:00 | 88.51 m3  | M           | 12.71 °C | 82.76 |
| 11 | lunes, 09 de abril de 2007     | 12:00 | 104.94 m3 | X-J-V-S-D   | 12.19 °C | 78.59 |
| 12 | martes, 10 de abril de 2007    | 12:15 | 111.18 m3 | L           | 17.20 °C | 75.22 |
| 13 | miércoles, 11 de abril de 2007 | 11:44 | 117.52 m3 | M           | 15.50 °C | 86.56 |
| 14 | jueves, 12 de abril de 2007    | 11:57 | 123.88 m3 | X           | 14.97 °C | 90.56 |
| 15 | viernes, 13 de abril de 2007   | 11:43 | 128.86 m3 | J           | 15.56 °C | 86.8  |
| 16 | lunes, 16 de abril de 2007     | 12:05 | 136.80 m3 | V-S-D       | 16.66 °C | 80.6  |
| 17 | martes, 17 de abril de 2007    | 11:55 | 141.76 m3 | L           | 19.17 °C | 61.38 |
| 18 | miércoles, 18 de abril de 2007 | 10:45 | 146.55 m3 | M           | 18.45 °C | 65.51 |
| 19 | jueves, 19 de abril de 2007    | 11:30 | 151.20 m3 | X           | 19.41 °C | 72.23 |
| 20 | viernes, 20 de abril de 2007   | 11:20 | 156.30 m3 | J           | 16.98 °C | 84.74 |
| 21 | lunes, 23 de abril de 2007     | 13:00 | 164.03 m3 | V-S-D       | 17.17 °C | 83.09 |
| 22 | martes, 24 de abril de 2007    | 12:55 | 168.18 m3 | L           | 20.75 °C | 67.72 |
| 23 | miércoles, 25 de abril de 2007 | 12:55 | 172.87 m3 | M           | 21.24 °C | 66.64 |
| 24 | jueves, 26 de abril de 2007    | 13:30 | 177.55 m3 | X           | 19.03 °C | 77.22 |
| 25 | miércoles, 02 de mayo de 2007  | 12:18 | 197.17 m3 | J-V-S-D-L-M | 17.17 °C | 62.81 |
| 26 | jueves, 03 de mayo de 2007     | 11:03 | 202.40 m3 | X           | 15.89 °C | 86.88 |
| 27 | viernes, 04 de mayo de 2007    | 12:25 | 207.18 m3 | J           | 16.44 °C | 76.84 |
| 28 | lunes, 07 de mayo de 2007      | 12:10 | 213.75 m3 | V-S-D       | 17.28 °C | 74.24 |
| 29 | martes, 08 de mayo de 2007     | 11:21 | 217.85 m3 | L           | 20.96 °C | 47.89 |
| 30 | miércoles, 09 de mayo de 2007  | 11:37 | 222.04 m3 | M           | 22.41 °C | 52.11 |
| 31 | viernes, 11 de mayo de 2007    | 11:45 | 229.09 m3 | X-J         | 23.06 °C | 53.99 |
| 32 | lunes, 14 de mayo de 2007      | 13:23 | 234.09 m3 | V-S-D       | 20.09 °C | 69.43 |

Para obtener un registro anual más amplio se anotaron también datos de consumos semanales a lo largo de varios meses (tabla 5), de forma que posteriormente pudiera ser extrapolado el consumo diario al resto de los meses del año. Estas lecturas semanales realizadas entre marzo y julio de 2007 pertenecen al registro interno del equipo de mantenimiento de instalaciones fijas de TUSSAM.

También en este caso las lecturas van acompañadas de las medias aritméticas de temperatura ambiente para cada periodo asignado.

Tabla 5 - Registro semanal de consumos de ACS

| Nº de lectura | Fecha de lectura              | Lectura contador | Datos del periodo asignado |                    |                       |
|---------------|-------------------------------|------------------|----------------------------|--------------------|-----------------------|
|               |                               |                  | Días laborables            | Días no laborables | T <sub>ambiente</sub> |
| 1             | lunes, 19 de marzo de 2007    | 15.00 m3         | -                          | -                  | -                     |
| 2             | lunes, 26 de marzo de 2007    | 48.00 m3         | 5                          | 2                  | 12.32 °C              |
| 3             | lunes, 02 de abril de 2007    | 77.00 m3         | 5                          | 2                  | 14.60 °C              |
| 4             | lunes, 09 de abril de 2007    | 104.15 m3        | 3                          | 4                  | 12.40 °C              |
| 5             | lunes, 16 de abril de 2007    | 138.30 m3        | 5                          | 2                  | 16.29 °C              |
| 6             | martes, 24 de abril de 2007   | 167.23 m3        | 6                          | 2                  | 18.78 °C              |
| 7             | miércoles, 02 de mayo de 2007 | 197.17 m3        | 5                          | 3                  | 17.96 °C              |

|    |                            |           |   |   |          |
|----|----------------------------|-----------|---|---|----------|
| 8  | lunes, 07 de mayo de 2007  | 213.10 m3 | 3 | 2 | 16.84 °C |
| 9  | lunes, 14 de mayo de 2007  | 234.57 m3 | 5 | 2 | 21.39 °C |
| 10 | lunes, 21 de mayo de 2007  | 251.15 m3 | 5 | 2 | 22.63 °C |
| 11 | lunes, 28 de mayo de 2007  | 268.50 m3 | 5 | 2 | 18.56 °C |
| 12 | lunes, 04 de junio de 2007 | 283.20 m3 | 4 | 3 | 22.17 °C |
| 13 | lunes, 11 de junio de 2007 | 294.10 m3 | 4 | 3 | 19.95 °C |
| 14 | lunes, 18 de junio de 2007 | 308.20 m3 | 4 | 3 | 21.49 °C |
| 15 | lunes, 25 de junio de 2007 | 322.00 m3 | 4 | 3 | 23.73 °C |
| 16 | lunes, 02 de julio de 2007 | 336.00 m3 | 4 | 3 | 24.79 °C |
| 17 | lunes, 09 de julio de 2007 | 346.00 m3 | 4 | 3 | 28.22 °C |

Todos los datos anotados se suponen a una *temperatura de 55°C*, que es la temperatura de consigna a la que está tarada la electroválvula de salida al consumo desde la sala de producción de ACS.

#### 4.3 DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO ACTUAL

La instalación convencional existente, con los elementos descritos anteriormente, funciona según el esquema de principio esquematizado en el anejo A.1.1.

En primer lugar, del estudio detenido de su funcionamiento se observa la posibilidad de existencia de algún error en la misma, ya que según informan los técnicos encargados de su funcionamiento, la instalación se ha visto muy limitada en más de una ocasión para abastecer su demanda, aun estando dimensionada con bastante holgura en la concepción de su proyecto. En el siguiente apartado 4.3.1 se muestran los valores de dimensionamiento más significativos del antiguo proyecto llevado a cabo para la instalación.

Para identificar la causa de dicho error y buscar la solución más adecuada, se dieron los siguientes pasos:

- Al tener subcontratado a una empresa externa el mantenimiento de la caldera mediante un contrato que contempla la elaboración de informes sobre posibles mejoras en el sistema, se contactó con el ingeniero responsable del mismo, personándose sobre el terreno y *confirmando efectivamente su desaprobación con dicho esquema de funcionamiento*.
- Se realizó un estudio pormenorizado del consumo existente de ACS.
- Se realizaron pruebas en el sistema con las que *observar diversas pautas de comportamiento* del mismo.

- Por medio de documentación bibliográfica referente a instalaciones de ACS [1] se encontró un *esquema de principio similar al estudiado* que ayudaría a elaborar directrices de mejora al funcionamiento del actual sistema.

En segundo lugar, se realizó un análisis energético del funcionamiento y las repercusiones del sistema de retorno de ACS.

#### **4.3.1 Valores de dimensionado del antiguo proyecto para la instalación**

Podemos ver a continuación un resumen de los valores más significativos utilizados para el dimensionamiento del sistema en su proyecto de ejecución, es decir, tal y como se encuentra al comienzo de este estudio.

##### **Consumo**

- Consumo total diario: 9000 l
- Consumo punta: 3305 l en 0.25 horas.

##### **Parámetros de cálculo**

- Caudal recirculado en la red de distribución: 3960 l/h
- Pérdida calorífica en red de distribución: 10400 kcal/h
- Disminución media temperatura red de distribución: 3°C
- Temperatura media suministro de agua: 60°C
- Temperatura de acumulación de agua: 60°C + 3°C = 63°C
- Temperatura de agua fría: 10°C
- Temperatura de utilización: 38°C
- Temperatura de circuito primario: 90°C – 75°C
- Duración consumo diario: 24 horas
- Duración periodo punta: 0.25 horas

##### **Consumo calorífico medio diario**

- Por consumo de agua:  $(9000 \text{ l} \times (38^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C})) / 24 \text{ horas} = 10500 \text{ kcal/h}$
- Por pérdidas en red de distribución: 10400 kcal/h
- Por pérdidas en equipos: 600 kcal/h

=> Demanda media total: 29820 kcal/h => Potencia calorífica caldera: 30000 kcal/h

**Consumo calorífico punta**

- Por consumo de agua:  $3305 \text{ l} \times (38^{\circ}\text{C} - 10^{\circ}\text{C}) = 92540 \text{ kcal}$  (en 0.25 horas)
- Por pérdida en la instalación:  $0.25 \text{ h} \times (10400 \text{ kcal/h} + 8320 \text{ kcal/h} + 600 \text{ kcal/h}) = 4830 \text{ kcal}$  (en 0.25 horas)
- Sobre consumo calorífico en periodo punta:  $97370 \text{ kcal} - (30000 \text{ kcal/h} \times 0.25 \text{ h}) = 89870 \text{ kcal}$

**Capacidad de acumulación precisa**

- Temperatura máxima de acumulación:  $63^{\circ}\text{C}$
- Temperatura mínima salida depósitos:  $38^{\circ}\text{C} + 3^{\circ}\text{C} = 41^{\circ}\text{C}$
- Coeficiente de estratificación: 0.75
- Volumen total depósitos:  $(89870 \text{ kcal} / (63^{\circ}\text{C} - 41^{\circ}\text{C})) \times 0.7 = 2860 \text{ l}$   
=> 3 depósitos cilíndricos verticales de 1000 l cada uno

**4.3.2 Análisis pormenorizado del consumo existente de ACS**

En primer lugar, presuponiéndose el mayor consumo localizado en las duchas de los vestuarios del taller, se comenzó realizando encuestas entre los operarios para conocer el número de usuarios de las mismas.

Conociendo este datos y los de consumo extraídos de las mediciones realizadas se buscaba obtener una primera aproximación teórica al consumo de ACS que poder contrastar con los supuestos consumos unitarios teóricos propuestos por el IDAE (Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía) en su pliego de condiciones técnicas de 2002 (tabla 6).

Tabla 6 - Valores máximos de consumo según el Pliego de condiciones Técnicas 2002 del IDAE

| Criterio de consumo | l/persona·día (45°C) | l/persona·día (55°C)  | l/persona·día (55°C)  |
|---------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
|                     |                      | T <sub>af</sub> =10°C | T <sub>af</sub> =20°C |
| Fábricas y talleres | 20                   | 15.55                 | 14.29                 |

La expresión que relaciona el consumo de agua a diferentes temperaturas es:

$$M_{i(T)} = M_{i(45^{\circ}\text{C})} \cdot ((45^{\circ}\text{C} - T_{\text{AF}}) / (T - T_{\text{AF}}))$$

### **Encuestas de utilización de las duchas de los vestuarios de taller**

Existiendo un “sesión” de utilización de las duchas al final de cada turno de trabajo, en la siguiente tabla (tabla 7) se muestra el uso potencial de las duchas de acuerdo con la cantidad de trabajadores pertenecientes a cada turno, y se representa gráficamente en las figuras 1, 2 y 3. Podemos entonces observar que los usos de las duchas se producen generalmente a las siguientes horas: 4h, 6h, 13h, 14h y 22h.

Tabla 7 - Uso potencial de las duchas según turnos de trabajo (nº de personas)

|                 | Mañanas |        | Tardes  | Noches |        |
|-----------------|---------|--------|---------|--------|--------|
|                 | 7h-14h  | 6h-13h | 14h-22h | 21h-4h | 23h-6h |
| <b>L-V</b>      | 62      | 8      | 40      | 27     | 12     |
| <b>Sábados</b>  | 18      | -      | -       | 14     | -      |
| <b>Domingos</b> | 20      | -      | -       | 18     | 12     |

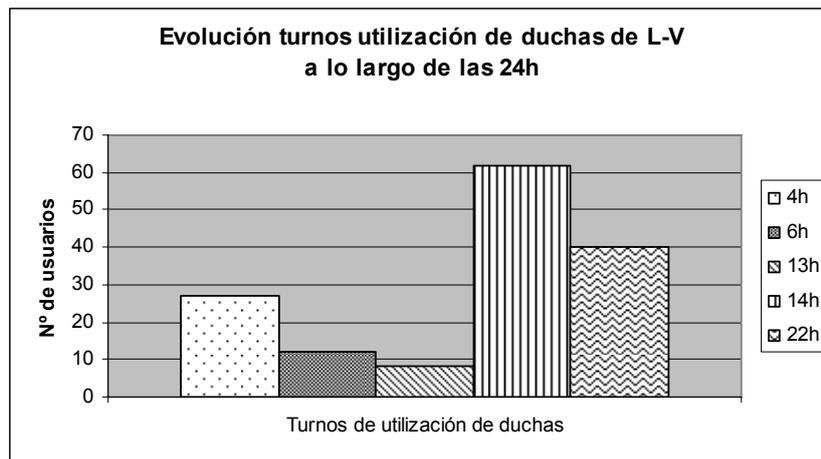


Figura 1 - Evolución diaria del potencial de utilización de las duchas según los turnos (lunes a viernes)

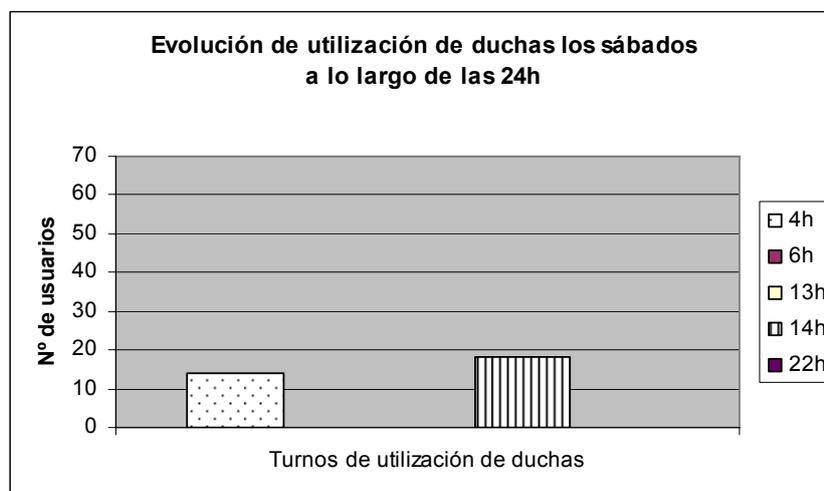


Figura 2 – Evolución diaria del potencial de utilización de las duchas según los turnos (sábado)

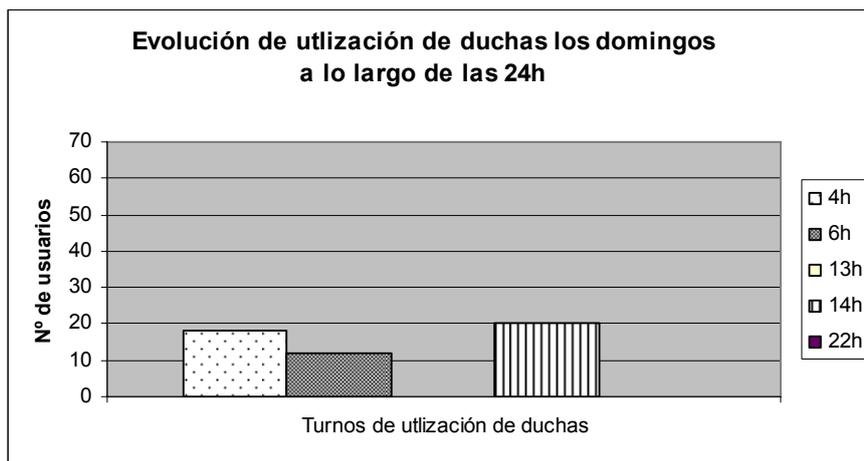


Figura 3 – Evolución diaria del potencial de utilización de las duchas según los turnos (domingo)

Y los resultados de la encuesta de utilización de duchas de taller se encuentran tabulado y representado a continuación en las tablas 8 y 9 y en la figura 4.

Los porcentajes se realizaron sobre el número total de trabajadores de cada sección que trabajan de lunes a viernes (número de trabajadores reflejado en la columna “Nº total L-V”).

Tabla 8 - Resultado encuesta utilización de duchas según secciones de trabajo

| Sección                 | Nº total   | Nº total L-V | Nº total encuestados |              | Utilización del ACS |       |              |
|-------------------------|------------|--------------|----------------------|--------------|---------------------|-------|--------------|
|                         |            |              |                      |              | Meses fríos         |       |              |
| Montadores y revisión   | 70         | 70           | 62                   | 88,6%        | 53                  | 84,7% | 59,27        |
| Carrocería              | 26         | 26           | 21                   | 80,8%        | 9                   | 42,9% | 11,14        |
| Subconjuntos mecánicos  | 6          | 6            | 6                    | 100,0%       | 4                   | 66,7% | 4,00         |
| Subconjuntos eléctricos | 7          | 7            | 5                    | 71,4%        | 0                   | 0,0%  | 0,00         |
| Limpieza y repostado    | 37         | 29           | 19                   | 65,5%        | 16                  | 84,2% | 24,42        |
| Instalaciones fijas     | 6          | 6            | 6                    | 100,0%       | 0                   | 0,0%  | 0,00         |
| Servicio de puerta      | 2          | 2            | 2                    | 100,0%       | 0                   | 0,0%  | 0,00         |
| <b>TOTAL</b>            | <b>154</b> | <b>146</b>   | <b>121</b>           | <b>82,9%</b> |                     |       | <b>98,84</b> |
|                         |            |              |                      |              |                     |       | <b>67,7%</b> |

En las dos últimas celdas por tanto se muestra el número usuarios de las duchas en los días laborables y el porcentaje que representa sobre el total de los que trabajan en ese periodo.

En la tabla 9 se muestra el anterior resultado según los distintos turnos de trabajo existentes, que se representa gráficamente en la figura 4:

Tabla 9 - Resultado encuesta utilización ACS en los vestuarios de taller según turnos

|                 | Mañanas       |        | Tardes        | Noches        |               |
|-----------------|---------------|--------|---------------|---------------|---------------|
|                 | 7h-14h        | 6h-13h | 14h-22h       | 21h-4h        | 23h-6h        |
| <b>L-V</b>      | 36,22 (53,3%) |        | 29,95 (76,8%) | 22,74 (84,2%) | 10,64 (81,8%) |
| <b>Sábados</b>  | sin encuesta  | -      | -             | sin encuesta  | -             |
| <b>Domingos</b> | sin encuesta  | -      | -             | sin encuesta  | sin encuesta  |

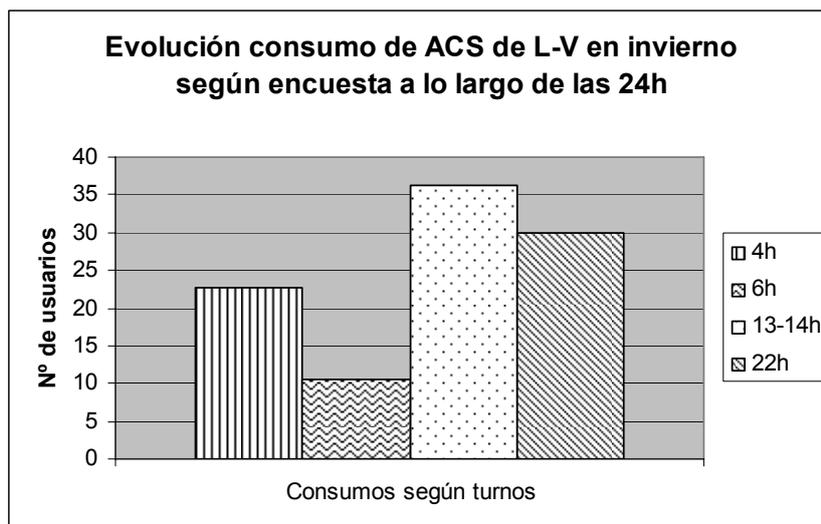


Figura 4 – Evolución diaria de utilización de las duchas por turnos según encuestas (lunes a viernes)

### Estudio de consumos promedios

Se trataron las lecturas del contador (consumo total de ACS) anotadas en las tablas 4 y 5 para extraer de esos datos valores de consumos medios representativos para cada periodo, diario, semanal y mensual. Dichos resultados se muestran en las tablas 10 y 11. La columna que figura como “Consumo” entre los “Datos del Periodo asignado” está calculada como la diferencia entre dos lecturas consecutivas y se le asigna al “Día tipo” correspondiente.

Tabla 10 - Consumos medios diarios registrados

| Nº              | Fecha de lectura               | Hora  | Lectura contador | Datos del periodo asignado |          |            |                |
|-----------------|--------------------------------|-------|------------------|----------------------------|----------|------------|----------------|
|                 |                                |       |                  | Día tipo                   | Consumo  | Tambiente  | % HR           |
| 0               | miércoles, 21 de marzo de 2007 | 12:16 | 27.63 m3         | -                          | 0.00     | -          | -              |
| 1               | jueves, 22 de marzo de 2007    | 10:56 | 33.73 m3         | X                          | 6.10 m3  | 10.96 °C   | 38.15          |
| 2               | viernes, 23 de marzo de 2007   | 10:15 | 39.97 m3         | J                          | 6.24 m3  | 10.65 °C   | 41.83          |
| 3               | lunes, 26 de marzo de 2007     | 10:58 | 48.28 m3         | V-S-D                      | 8.31 m3  | 12.20 °C   | 59.79          |
| <b>Subtotal</b> |                                |       |                  | Prueba                     | 20.65 m3 | => media = | <b>4.13 m3</b> |
| 4               | martes, 27 de marzo de 2007    | 12:00 | 53.66 m3         | L                          | 5.38 m3  | 13.15 °C   | 86.95          |
| 5               | miércoles, 28 de marzo de 2007 | 12:30 | 59.28 m3         | M                          | 5.62 m3  | 16.23 °C   | 48.86          |
| 6               | jueves, 29 de marzo de 2007    | 12:32 | 65.00 m3         | X                          | 5.72 m3  | 16.37 °C   | 50.27          |

|   |                                |       |           |             |                  |                 |                |
|---|--------------------------------|-------|-----------|-------------|------------------|-----------------|----------------|
| 7   | viernes, 30 de marzo de 2007   | 10:42 | 70.15 m3  | J           | 5.15 m3          | 15.63 °C        | 57.47          |
| 8   | lunes, 02 de abril de 2007     | 11:00 | 77.68 m3  | V-S-D       | 7.53 m3          | 14.52 °C        | 68.70          |
| <b>Subtotal</b>                           |                                |       |           | Sem1        | 29.40 m3         | => media =      | <b>4.20 m3</b> |
| 9   | martes, 03 de abril de 2007    | 11:00 | 83.57 m3  | L           | 5.89 m3          | 13.18 °C        | 74.66          |
| 10  | miércoles, 04 de abril de 2007 | 12:00 | 88.51 m3  | M           | 4.94 m3          | 12.71 °C        | 82.76          |
| 11  | lunes, 09 de abril de 2007     | 12:00 | 104.94 m3 | X-J-V-S-D   | 16.43 m3         | 12.19 °C        | 78.59          |
| <b>Subtotal</b>                           |                                |       |           | Sem2        | 27.26 m3         | => media =      | <b>3.89 m3</b> |
| 12  | martes, 10 de abril de 2007    | 12:15 | 111.18 m3 | L           | 6.24 m3          | 17.20 °C        | 75.22          |
| 13  | miércoles, 11 de abril de 2007 | 11:44 | 117.52 m3 | M           | 6.34 m3          | 15.50 °C        | 86.56          |
| 14  | jueves, 12 de abril de 2007    | 11:57 | 123.88 m3 | X           | 6.36 m3          | 14.97 °C        | 90.56          |
| 15  | viernes, 13 de abril de 2007   | 11:43 | 128.86 m3 | J           | 4.98 m3          | 15.56 °C        | 86.80          |
| 16  | lunes, 16 de abril de 2007     | 12:05 | 136.80 m3 | V-S-D       | 7.94 m3          | 16.66 °C        | 80.60          |
| <b>Subtotal</b>                           |                                |       |           | Sem3        | 31.86 m3         | => media =      | <b>4.55 m3</b> |
| 17  | martes, 17 de abril de 2007    | 11:55 | 141.76 m3 | L           | 4.96 m3          | 19.17 °C        | 61.38          |
| 18  | miércoles, 18 de abril de 2007 | 10:45 | 146.55 m3 | M           | 4.79 m3          | 18.45 °C        | 65.51          |
| 19  | jueves, 19 de abril de 2007    | 11:30 | 151.20 m3 | X           | 4.65 m3          | 19.41 °C        | 72.23          |
| 20  | viernes, 20 de abril de 2007   | 11:20 | 156.30 m3 | J           | 5.10 m3          | 16.98 °C        | 84.74          |
| 21  | lunes, 23 de abril de 2007     | 13:00 | 164.03 m3 | V-S-D       | 7.73 m3          | 17.17 °C        | 83.09          |
| <b>Subtotal</b>                           |                                |       |           | Sem4*       | 27.23 m3         | => media =      | <b>3.89 m3</b> |
| 22  | martes, 24 de abril de 2007    | 12:55 | 168.18 m3 | L           | 4.15 m3          | 20.75 °C        | 67.72          |
| 23  | miércoles, 25 de abril de 2007 | 12:55 | 172.87 m3 | M           | 4.69 m3          | 21.24 °C        | 66.64          |
| 24  | jueves, 26 de abril de 2007    | 13:30 | 177.55 m3 | X           | 4.68 m3          | 19.03 °C        | 77.22          |
| <b>TOTAL (27 de marzo al 26 de abril)</b> |                                |       |           | <b>MES</b>  | <b>129.27 m3</b> |                 |                |
| <b>Promedio (L-V del mes de abril)</b>    |                                |       |           |             | <b>5.37 m3</b>   | <b>15.26 °C</b> | <b>66.76</b>   |
| 25  | miércoles, 02 de mayo de 2007  | 12:18 | 197.17 m3 | J-V-S-D-L-M | 19.62 m3         | 17.17 °C        | 62.81          |
| 26  | jueves, 03 de mayo de 2007     | 11:03 | 202.40 m3 | X           | 5.23 m3          | 15.89 °C        | 86.88          |
| 27  | viernes, 04 de mayo de 2007    | 12:25 | 207.18 m3 | J           | 4.78 m3          | 16.44 °C        | 76.84          |
| 28  | lunes, 07 de mayo de 2007      | 12:10 | 213.75 m3 | V-S-D       | 6.57 m3          | 17.28 °C        | 74.24          |
| <b>Subtotal</b>                           |                                |       |           | Sem5* y 6*  | 49.72 m3         | => media =      | <b>3.55 m3</b> |
| 29  | martes, 08 de mayo de 2007     | 11:21 | 217.85 m3 | L           | 4.10 m3          | 20.96 °C        | 47.89          |
| 30  | miércoles, 09 de mayo de 2007  | 11:37 | 222.04 m3 | M           | 4.19 m3          | 22.41 °C        | 52.11          |
| 31  | viernes, 11 de mayo de 2007    | 11:45 | 229.09 m3 | X-J         | 7.05 m3          | 23.06 °C        | 53.99          |
| 32  | lunes, 14 de mayo de 2007      | 13:23 | 234.09 m3 | V-S-D       | 5.00 m3          | 20.09 °C        | 69.43          |
|   |                                |       |           | Sem7*       | 20.34 m3         | => media =      | <b>2.91 m3</b> |

\* Durante estas semanas se funcionó con 2 depósitos (2000 l) por razones de mantenimiento

Tabla 11 - Consumos semanales registrados y medias diarias calculadas

| Nº | Fecha de lectura              | Lectura contador      | Días laborables | Días no laborables | Datos del periodo asignado |                     |                       |
|----|-------------------------------|-----------------------|-----------------|--------------------|----------------------------|---------------------|-----------------------|
|    |                               |                       |                 |                    | Consumo                    | Media diaria        | T <sub>ambiente</sub> |
| 1  | lunes, 19 de marzo de 2007    | 15,00 m <sup>3</sup>  | -               | -                  | -                          | -                   | -                     |
| 2  | lunes, 26 de marzo de 2007    | 48,00 m <sup>3</sup>  | 5               | 2                  | 33,00 m <sup>3</sup>       | 4,71 m <sup>3</sup> | 12,32 °C              |
| 3  | lunes, 02 de abril de 2007    | 77,00 m <sup>3</sup>  | 5               | 2                  | 29,00 m <sup>3</sup>       | 4,14 m <sup>3</sup> | 14,60 °C              |
| 4  | lunes, 09 de abril de 2007    | 104,15 m <sup>3</sup> | 3               | 4                  | 27,15 m <sup>3</sup>       | 3,88 m <sup>3</sup> | 12,40 °C              |
| 5  | lunes, 16 de abril de 2007    | 138,30 m <sup>3</sup> | 5               | 2                  | 34,15 m <sup>3</sup>       | 4,88 m <sup>3</sup> | 16,29 °C              |
| 6  | martes, 24 de abril de 2007   | 167,23 m <sup>3</sup> | 6               | 2                  | 28,93 m <sup>3</sup>       | 3,62 m <sup>3</sup> | 18,78 °C              |
| 7  | miércoles, 02 de mayo de 2007 | 197,17 m <sup>3</sup> | 5               | 3                  | 29,94 m <sup>3</sup>       | 3,74 m <sup>3</sup> | 17,96 °C              |
| 8  | lunes, 07 de mayo de 2007     | 213,10 m <sup>3</sup> | 3               | 2                  | 15,93 m <sup>3</sup>       | 3,19 m <sup>3</sup> | 16,84 °C              |
| 9  | lunes, 14 de mayo de 2007     | 234,57 m <sup>3</sup> | 5               | 2                  | 21,47 m <sup>3</sup>       | 3,07 m <sup>3</sup> | 21,39 °C              |
| 10 | lunes, 21 de mayo de 2007     | 251,15 m <sup>3</sup> | 5               | 2                  | 16,58 m <sup>3</sup>       | 2,37 m <sup>3</sup> | 22,63 °C              |
| 11 | lunes, 28 de mayo de 2007     | 268,50 m <sup>3</sup> | 5               | 2                  | 17,35 m <sup>3</sup>       | 2,48 m <sup>3</sup> | 18,56 °C              |
| 12 | lunes, 04 de junio de 2007    | 283,20 m <sup>3</sup> | 4               | 3                  | 14,70 m <sup>3</sup>       | 2,10 m <sup>3</sup> | 22,17 °C              |
| 13 | lunes, 11 de junio de 2007    | 294,10 m <sup>3</sup> | 4               | 3                  | 10,90 m <sup>3</sup>       | 1,56 m <sup>3</sup> | 19,95 °C              |
| 14 | lunes, 18 de junio de 2007    | 308,10 m <sup>3</sup> | 4               | 3                  | 14,10 m <sup>3</sup>       | 2,01 m <sup>3</sup> | 21,49 °C              |
| 15 | lunes, 25 de junio de 2007    | 322,00 m <sup>3</sup> | 4               | 3                  | 13,80 m <sup>3</sup>       | 1,97 m <sup>3</sup> | 23,73 °C              |
| 16 | lunes, 02 de julio de 2007    | 336,00 m <sup>3</sup> | 4               | 3                  | 14,00 m <sup>3</sup>       | 2,00 m <sup>3</sup> | 24,79 °C              |
| 17 | Lunes, 09 de julio de 2007    | 346,00 m <sup>3</sup> | 4               | 3                  | 10,00 m <sup>3</sup>       | 1,43 m <sup>3</sup> | 28,22 °C              |

De las anteriores tablas se pueden hacer estimaciones acerca del consumo de los meses bajo estudio que será posteriormente extrapolado previo tratamiento del mismo. Dichas medias están calculadas incluyendo todos los días del mes, “típicos y atípicos”, por lo que se prevé un consumo ligeramente superior para los días laborables. También se refleja la temperatura media registrada para cada mes que será útil para realizar la citada extrapolación.

Tabla 12 - Consumos medios diarios totales de ACS en los meses con registro de consumo

| Mes   | Consumo             | T <sub>ambiente</sub> |
|-------|---------------------|-----------------------|
| Abril | 4.13 m <sup>3</sup> | 15.52 °C              |
| Mayo  | 2.97 m <sup>3</sup> | 19.48 °C              |
| Junio | 1.91 m <sup>3</sup> | 21.84 °C              |
| Julio | 1.71 m <sup>3</sup> | 26.50 °C              |

### **Estudio de días atípicos**

A continuación, a partir de los datos reflejados en la anterior tabla 10 se extrajeron conclusiones para conocer la diferencia de consumo entre días laborables y entre días no laborables (fines de semana y festivos, considerados en este texto como “atípicos”) en los que el número trabajadores del taller se reduce a una plantilla de mínimos. Los resultados se muestran en la tabla 13:

Tabla 13 - Estudio de días “atípicos”

| Fin de semana             | Consumos medios     |                     | Relación de consumos |
|---------------------------|---------------------|---------------------|----------------------|
|                           | Laborable           | No laborable        |                      |
| 24-25 de marzo            | 6.17 m <sup>3</sup> | 1.07 m <sup>3</sup> | 17.34%               |
| 31 de marzo - 01 de abril | 5.47 m <sup>3</sup> | 1.03 m <sup>3</sup> | 18.86%               |
| 07-08 de abril            | 5.42 m <sup>3</sup> | 1.40 m <sup>3</sup> | 25.85%               |
| 14-15 de abril            | 5.98 m <sup>3</sup> | 0.98 m <sup>3</sup> | 16.39%               |
| 21-22 de abril            | 4.88 m <sup>3</sup> | 1.43 m <sup>3</sup> | 29.28%               |
| 28-29 de abril            | 4.51 m <sup>3</sup> | 2.03 m <sup>3</sup> | 45.12%               |
| 05-06 de mayo             | 5.01 m <sup>3</sup> | 0.78 m <sup>3</sup> | 15.63%               |
| 12-13 de mayo             | 3.84 m <sup>3</sup> | 0.58 m <sup>3</sup> | 15.19%               |
| Promedio                  |                     |                     | 22.96%               |

En la última columna se muestra la relación porcentual entre el consumo medio que se produce en un día atípico y el de un día laborable. La oscilación responde a la inclusión tanto de días de fin de semana, relativamente regulares en cuanto a número de trabajadores en el taller y por tanto en cuanto a consumo de ACS, y días festivos, más irregulares.

Aunque el estudio se realizó solamente durante 8 fines de semana, se considera la media de esos valores porcentuales como una referencia aceptable para comprender la diferencia de consumo que se produce en los días llamados "atípicos". Esto es: un 23 %.

Anualmente se consideran los siguientes días "atípicos":

Tabla 14 - Recuento anual de días "atípicos"

| 2007            | Ene       | Feb      | Mar      | Abr       | May       | Jun       | Jul      | Ago      | Sep       | Oct      | Nov      | Dic       | Anual      |
|-----------------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|----------|----------|-----------|------------|
| fines de semana | 8         | 8        | 9        | 9         | 8         | 9         | 9        | 8        | 10        | 8        | 8        | 10        | 104        |
| festivos        | 2         | 1        | 0        | 2         | 2         | 1         | 0        | 1        | 0         | 1        | 1        | 3         | 14         |
| <b>TOTAL</b>    | <b>10</b> | <b>9</b> | <b>9</b> | <b>11</b> | <b>10</b> | <b>10</b> | <b>9</b> | <b>9</b> | <b>10</b> | <b>9</b> | <b>9</b> | <b>13</b> | <b>118</b> |

### **Estudio sobre la influencia de la temperatura ambiente en el consumo de ACS**

Por otra parte, al ver que con cierta lógica la tendencia de consumo de ACS iba aparejada a la temperatura ambiente, utilizando los datos obtenidos en las tablas 4 y 5 se realizó un análisis sobre la influencia entre ambos parámetros con el objeto de poder extrapolar al resto del año los datos de consumo registrados en el periodo señalado.

Así, partiendo de los datos pertenecientes a las tablas 10 y 11, podemos ver la representación de la relación entre el consumo de ACS diario y la temperatura ambiente (media aritmética diaria) en las figuras 5 y 6, en las que se ha incluido también una aproximación polinómica de ambas evoluciones para apreciar mejor esta relación.

Efectivamente se comprueba la relación existente entre ambos parámetros: cuando la temperatura ambiente aumenta, decrece el consumo de ACS y viceversa.

En la figura 6, realizada a partir de la tabla 11, también podemos observar que la relación entre el consumo de ACS está muy asociado a la temperatura ambiente media diaria. Los valores de consumo marcados en cada lectura son promedios diarios de la lectura semanal tomada. Las temperaturas marcadas provienen de la media aritmética de las temperaturas de cada uno de los días de esa semana.

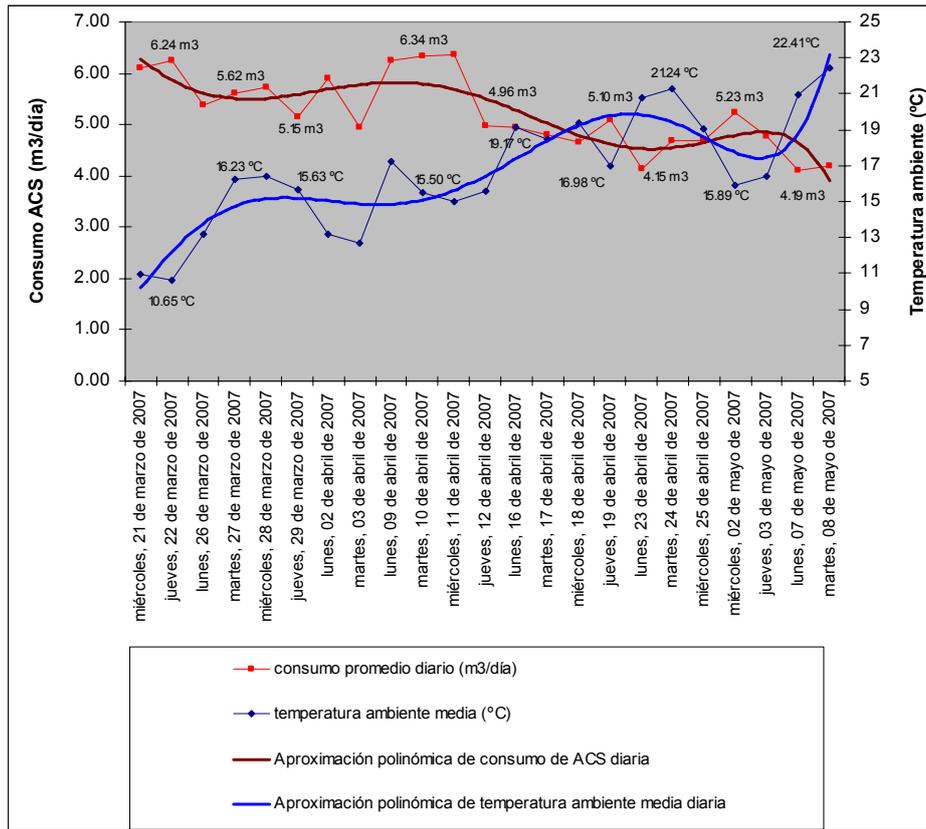


Figura 5 – Relación entre el consumo de ACS y la temperatura ambiente (lecturas diarias)

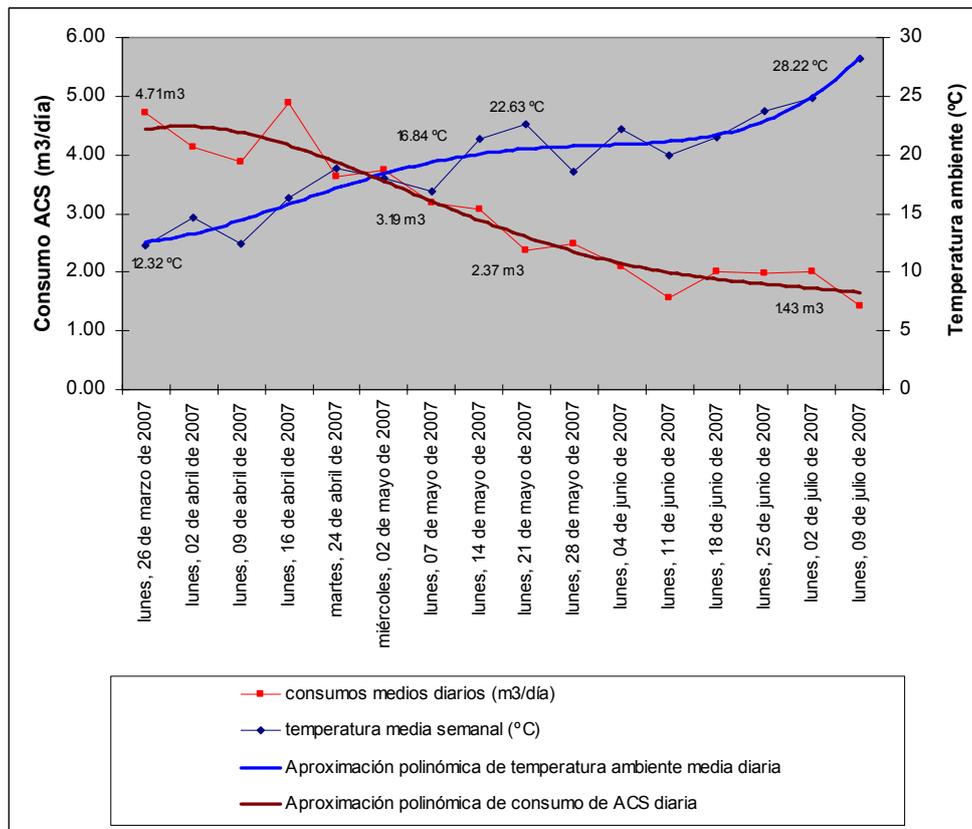


Figura 6 – Relación entre el consumo de ACS y la temperatura ambiente (consumos y temperaturas promedios diarios obtenidos a partir de lecturas semanales)

### **Consumos significativos**

Al tiempo que las consideraciones anteriores, se tuvieron en cuenta determinados aspectos con los que obtener valores equivalentes de consumo correspondientes a los periodos en que no se pudieron hacer mediciones [3]:

- En invierno, la temperatura del agua fría es bastante inferior que en verano. A una temperatura de consigna constante en el acumulador de ACS, se ha de añadir menos agua fría en invierno para alcanzar la temperatura de consumo. De este modo, si el consumo permanece constante a lo largo del año, se producirá automáticamente durante el invierno un aumento del caudal de agua caliente que circula por el acumulador, aproximadamente de un 10% a un 12% en comparación con el del verano.

- Por lo general, se suelen tomar las duchas a temperaturas algo superiores en el invierno que durante el verano, lo que puede suponer un aumento adicional del consumo de un 5% a un 10%.

*En total, sólo por lo anteriormente expuesto, se obtiene un **aumento del caudal diario de agua caliente que circula por los acumuladores de ACS entre el 15% y el 20% en el invierno con respecto al verano.** En términos generales, se puede decir que el **consumo diario de energía para el calentamiento de agua sanitaria aumenta durante el invierno del 20% al 30% en comparación con el verano.** Aproximadamente, de un 15% a un 20% del aumento se debe al incremento cuantitativo, y el otro 15% es debido a la variación de la temperatura del agua fría a lo largo del año.*

De esta manera, dividiendo los consumos de ACS por zonas en función de su ubicación y de los usos que se hacen en cada una de ellas, estimé sus valores como quedan plasmados en la tabla 15.

Así, combinando el resultado obtenido en la tabla 8, número de usuarios de las duchas de talleres, con el consumo de ACS de las mismas reflejado en la tabla 15, podemos obtener los valores unitarios de consumo diario según los diferentes meses del año: ver tabla 16.

Tabla 15 - Estimaciones de consumos diarios por zonas en base a las mediciones realizadas

|                           |  | CONSUMO DIARIO (55°C) |             |             |             |             |             |
|---------------------------|--|-----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                           |  | INVIERNO              |             | VERANO      |             |             |             |
|                           |  | Nov-Mar               |             | Abr,Oct     | May,Sep     | Jun-Ago     |             |
| <b>A</b>                  | <b>TALLERES<br/>(lavabos + vestuarios)</b> | 3600                  | 61%         | 3000        | 2000        | 1500        | 68%         |
| <b>B</b>                  | <b>TALLERES<br/>(lavabos montadores)</b>   | 300                   | 5%          | 300         | 300         | 200         | 9%          |
| <b>C</b>                  | <b>GIMNASIO</b>                            | 800                   | 13%         | 700         | 700         | 500         | 23%         |
| <b>D</b>                  | <b>OFICINAS (lavabos)</b>                  | 1232                  | 21%         | 0           | 0           | 0           | 0%          |
| <b>Total (mediciones)</b> |  | <b>5932</b>           | <b>100%</b> | <b>4000</b> | <b>3000</b> | <b>2200</b> | <b>100%</b> |

Tabla 16 - Valores unitarios de consumo de ACS en las duchas de talleres

|                        | Nov-Mar | Abr,Oct | May,Sep | Jun-Ago |                 |
|------------------------|---------|---------|---------|---------|-----------------|
| <b>DUCHAS talleres</b> | 36      | 30      | 20      | 15      | [l/pers a 55°C] |

Estos valores resultan ser algo superiores a los propuestos por el IDAE (Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía) en su pliego de condiciones técnicas de 2002 (tabla 6). No obstante, se corresponden con las mediciones realizadas in situ.

Por otra parte, para estimar los consumos en las zonas C y D se realizaron las siguientes suposiciones en base al número de usuarios:

- C: 13 personas/día · 60 l/persona = 800 litros/día
- D: (140+300) personas/día · 4 l/persona · 0,7 = 1232 litros/día

De esta forma, el perfil de consumo elegido (tabla 15) se refleja en la figura 7:

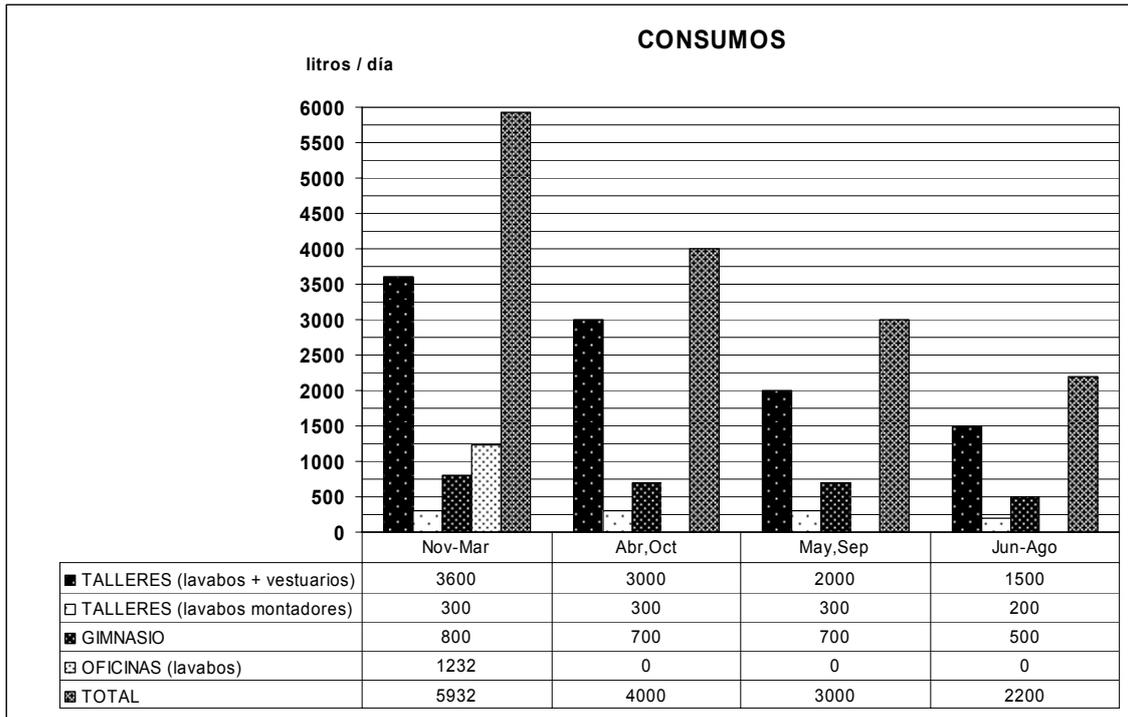


Figura 7 - Consumos (litros/día) estimados a partir de las mediciones realizadas

### 4.3.3 Análisis del esquema de principio

Para comprender en profundidad el esquema de principio se recurrió a otro generalmente aceptado para este tipo de instalaciones, que se ha denominado modelo teórico.

Las únicas diferencias existentes entre ambos son:

- En el modelo teórico sólo hay 2 depósitos.
- La conexión entre la salida del intercambiador y los depósitos es bidireccional en nuestro caso mientras que en el modelo teórico son dos conducciones independientes.

En la figura 8 podemos observar el esquema de principio modelo. En la parte superior y en el margen izquierdo del mismo encontramos respectivamente unas letras y unos números para poder situar cualquier elemento sobre el mismo.

Se pasa a describir su filosofía de funcionamiento: El agua calentada en la caldera es conducida por el *circuito primario* con la intervención de la bomba de primario (en nuestro caso se encuentra en la propia caldera) que impulsa el agua hacia la válvula

motorizada de tres vías (L5). Cuando en el depósito más desfavorable se alcance la temperatura de consigna (65°C), la válvula L5 no dejará pasar el fluido calentado hacia el intercambiador, consiguiendo la desconexión de la caldera mediante su propio termostato.

En cuanto al *circuito secundario*, el agua calentada en el intercambiador circula hacia el depósito acumulador gracias a la bomba de recirculación entre éste y el intercambiador. Una vez en el depósito circulará a contracorriente para proceder al calentamiento del mismo de forma estratificada (más calor por la parte alta).

Nos encontramos a continuación con un detalle de crucial importancia. **En función de la demanda instantánea de agua caliente en la instalación, se invertirá o no la circulación interior del depósito:**

- Si el caudal demandado en el circuito es mayor que el caudal de la bomba de recirculación del secundario, entrará agua a través del tubo U6, enfriándose progresivamente el depósito (los depósitos), de abajo hacia arriba.

- Si el caudal instantáneo de agua caliente es igual al de la bomba de recirculación, no habrá teóricamente circulación alguna por el tubo U6.

- Por último, si el caudal instantáneo demandado en el circuito es menor que el caudal de la bomba, se estará procediendo a calentar el depósito en sentido descendente, a la vez que atendemos el caudal demandado.

Por otra parte, *la bomba de retorno* garantiza la circulación de agua por la red general de distribución en aras a disminuir el tiempo de espera desde que se abre un grifo hasta que el agua sale caliente.

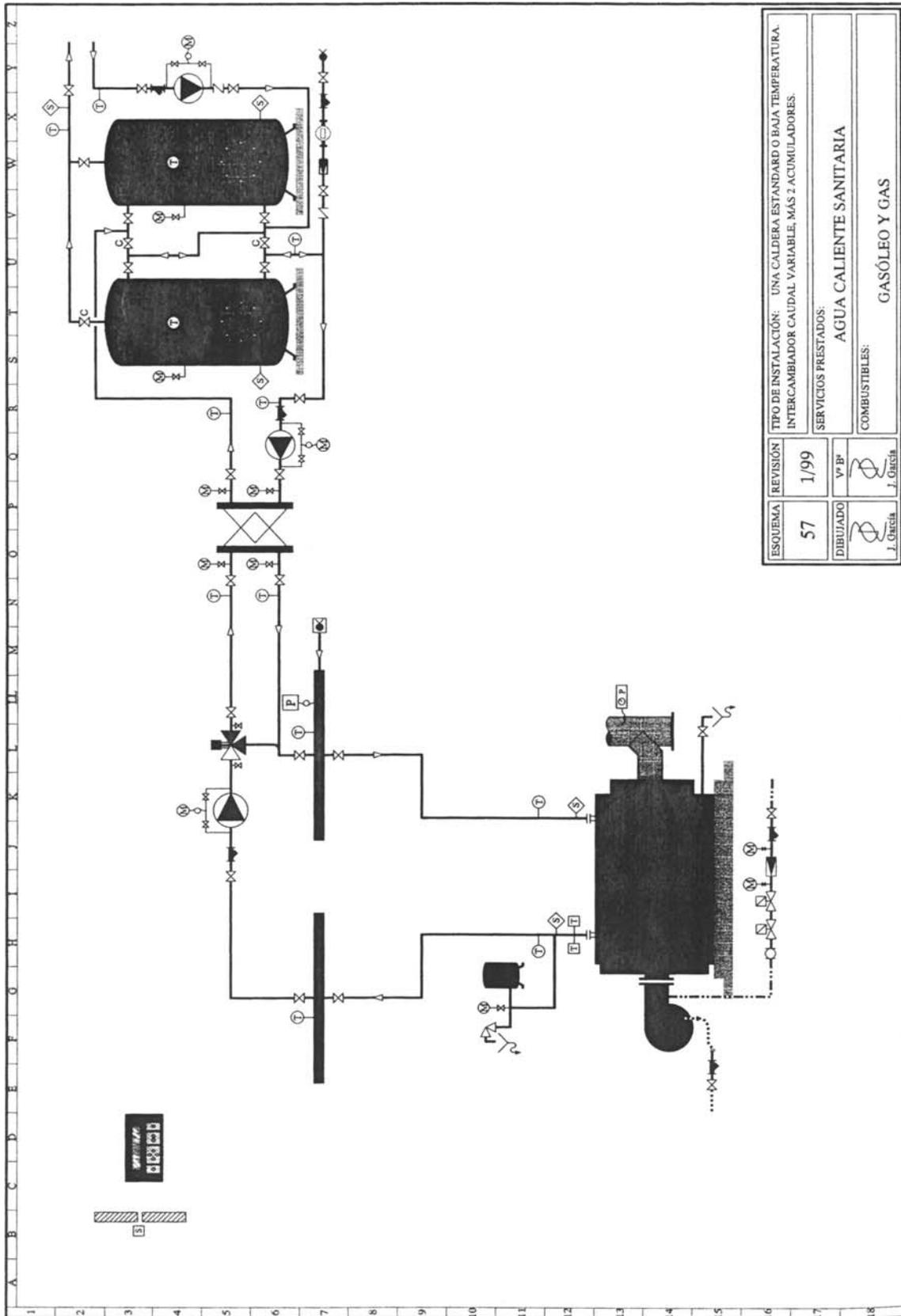


Figura 8 – Esquema de principio modelo

#### 4.3.4 Pruebas en el sistema de producción de ACS

Las pautas de comportamiento que se pretendieron observar fueron las siguientes:

- Preferencias del flujo en el sistema de producción cuando hay consumo de ACS, es decir, cuando hay entrada de agua fría al mismo.
- Caudal de circulación en el circuito secundario.
- Tiempo que tarda en caer la temperatura de preparación de los depósitos y a qué ritmo cuando se está consumiendo el agua caliente acumulada en ellos durante un periodo de consumo punta.
- Tiempo que tardan los depósitos en reponerse de ese consumo una vez finalizado el mismo.

Para ello, se realizaron distintas mediciones durante la punta de consumo producida al final del turno de la mañana (en días laborables entre semana) con la asistencia del técnico de mantenimiento encargado de la caldera.

Las pruebas se desarrollaron tal y como se detalla a continuación.

Condiciones de ejecución comunes a las tres pruebas:

- Uno de los depósitos (el más cercano al consumo) se encontraba fuera de funcionamiento por razones de mantenimiento.
- Se cierra el aporte de agua fría en la EV de consumo ya que cada vez que hay flujo en él se produce una mezcla no homogénea de temperatura en los aparatos de medida (sonda y termómetro) al estar situados demasiado cerca de la misma. **Este es un aspecto que deberá ser corregido**, como se comentará posteriormente. Ver fotografía 5 (p.12).
- En el depósito en que está colocada la sonda no hay lectura de temperatura visible in situ, por lo que en las dos primeras pruebas se tomó lectura remota en el sistema de gestión tanto al comienzo como al final de las mismas.

#### 4.3.4.1 Primera prueba

La prueba se realizó el miércoles día 18 de abril de 2007.

Tanto en esta prueba como en la siguiente se desconectaron las bombas del secundario para ver cuál era el efecto de las mismas sobre el caudal extraído de los depósitos.

Los usuarios de las duchas no notaron diferencias ni de presión ni de temperatura con respecto a un día normal.

Tras la prueba, cuyos datos se tabulan en la tabla 17, el depósito más desfavorable había perdido 16,8°C y como se pudo comprobar en los registros posteriores del sistema de gestión (tabla 18) la recuperación es muy rápida.

Tabla 17 - Primera prueba en el sistema de producción de ACS (18/04/2007)

|                 | Depósitos |         |    | Secundario |         |         | Primario | Consumo | Retorno | CONTADOR  |         |
|-----------------|-----------|---------|----|------------|---------|---------|----------|---------|---------|-----------|---------|
|                 | T1        | T2      | T3 | T4         | T5      | T6      | T7       | T8      | T9      | Lectura   | Consumo |
| 13:49           | 54,0 °C   | 60,0 °C |    | 40,0 °C    | 62,0 °C | 61,5 °C | 52,0 °C  | 54,0 °C | 45,0 °C | 146,95 m3 | 0 l     |
| 13:52           |           |         |    |            |         |         |          |         |         |           |         |
| 13:55           |           | 60,0 °C |    | 24,0 °C    | 68,0 °C | 62,5 °C | 59,0 °C  | 59,0 °C | 45,0 °C | 147,05 m3 | 100 l   |
| 13:58           |           | 60,0 °C |    | 21,0 °C    | 67,0 °C | 62,5 °C | 54,5 °C  | 59,5 °C | 45,0 °C | 147,18 m3 | 130 l   |
| 14:01           |           | 50,0 °C |    | 20,0 °C    | 57,0 °C | 62,5 °C | 50,0 °C  | 58,5 °C | 45,0 °C | 147,49 m3 | 310 l   |
| 14:04           |           | 46,0 °C |    | 20,0 °C    | 65,0 °C | 62,5 °C | 58,5 °C  | 58,5 °C | 45,0 °C | 147,50 m3 | 10 l    |
| 14:07           |           | 45,0 °C |    | 20,0 °C    | 75,0 °C | 62,0 °C | 63,0 °C  | 59,0 °C | 45,0 °C | 147,55 m3 | 50 l    |
| 14:10           |           | 45,0 °C |    | 20,0 °C    | 74,0 °C | 61,5 °C | 61,5 °C  | 60,0 °C | 45,0 °C | 147,58 m3 | 30 l    |
| 14:13           |           | 44,5 °C |    | 20,0 °C    | 69,0 °C | 62,0 °C | 57,0 °C  | 58,5 °C | 45,0 °C | 147,63 m3 | 50 l    |
| 14:16           | 37,2 °C   | 44,0 °C |    | 20,0 °C    | 64,0 °C | 61,5 °C | 59,0 °C  | 57,5 °C | 45,0 °C | 147,66 m3 | 30 l    |
| Total consumido |           |         |    |            |         |         |          |         |         |           | 710 l   |

Tabla 18 - Recuperación del depósito más desfavorable tras la prueba

| Histórico del sistema de gestión |            |          |                       |
|----------------------------------|------------|----------|-----------------------|
| Nº                               | Fecha      | Hora     | T <sub>depósito</sub> |
| 254                              | 18/04/2007 | 14:25:01 | 40.4°C                |
| 255                              |            | 14:27:55 | 47.9°C                |
| 256                              |            | 14:37:56 | 51.0°C                |
| 257                              |            | 14:57:56 | 50.9°C                |
| 258                              |            | 15:07:56 | 50.6°C                |
| 259                              |            | 15:17:56 | 50.1°C                |

#### 4.3.4.2 Segunda prueba

Esta segunda prueba se realizó el lunes 23 de abril de 2007 e igual que en la anterior, se desconectaron las bombas del secundario y los usuarios de las duchas no notaron diferencias de presión ni de temperatura con respecto a un día normal.

Tras la prueba, cuyos datos se tabulan en la tabla 19, el depósito más desfavorable había perdido 23°C y como se pudo comprobar en los registros posteriores del sistema de gestión (tabla 20) la recuperación también es muy rápida.

Tabla 19 - Segunda prueba en el sistema de producción de ACS (23/04/2007)

|                 | Depósitos |         |    | Secundario |         |         | Primario | Consumo | Retorno | CONTADOR   |         |
|-----------------|-----------|---------|----|------------|---------|---------|----------|---------|---------|------------|---------|
|                 | T1        | T2      | T3 | T4         | T5      | T6      | T7       | T8      | T9      | Lectura    | Consumo |
| 13:40           | 54.1 °C   | 60.5 °C |    | 49.0 °C    | 64.5 °C | 65.5 °C | 56.0 °C  |         | 46.0 °C | 164.235 m3 | 0 l     |
| 13:43           |           |         |    |            |         |         |          |         |         |            |         |
| 13:46           |           | 60.5 °C |    | 35.0 °C    | 59.0 °C | 62.0 °C | 53.0 °C  | 59.0 °C | 49.0 °C | 164.280 m3 | 45 l    |
| 13:49           |           | 60.5 °C |    | 26.0 °C    | 59.0 °C | 62.0 °C | 53.0 °C  | 59.0 °C | 49.0 °C | 164.360 m3 | 80 l    |
| 13:52           |           | 60.5 °C |    | 24.0 °C    | 69.0 °C | 62.0 °C | 61.0 °C  | 59.0 °C | 49.0 °C | 164.400 m3 | 40 l    |
| 13:55           |           | 60.5 °C |    | 22.5 °C    | 71.0 °C | 62.0 °C | 59.0 °C  | 59.0 °C | 49.0 °C | 164.450 m3 | 50 l    |
| 13:58           |           | 54.0 °C |    | 21.5 °C    | 60.0 °C | 62.0 °C | 52.0 °C  | 59.0 °C | 49.0 °C | 164.535 m3 | 85 l    |
| 14:01           |           | 50.0 °C |    | 21.5 °C    | 60.0 °C | 62.0 °C | 52.0 °C  | 59.0 °C | 49.0 °C | 164.680 m3 | 145 l   |
| 14:04           |           | 49.0 °C |    | 20.5 °C    | 66.5 °C | 62.0 °C | 55.0 °C  | 59.0 °C | 49.0 °C | 164.834 m3 | 154 l   |
| 14:07           |           | 47.0 °C |    | 20.5 °C    | 64.0 °C | 61.0 °C | 53.0 °C  | 58.0 °C | 50.0 °C | 164.924 m3 | 90 l    |
| 14:10           |           | 47.0 °C |    | 20.5 °C    | 64.0 °C | 54.5 °C | 57.5 °C  | 52.0 °C | 52.0 °C | 164.955 m3 | 31 l    |
| 14:13           | 30.7 °C   | 47.0 °C |    | 20.5 °C    | 73.0 °C | 52.0 °C | 62.0 °C  | 52.0 °C | 54.0 °C | 164.984 m3 | 29 l    |
| Total consumido |           |         |    |            |         |         |          |         |         |            | 749 l   |

Tabla 20 - Recuperación del depósito más desfavorable tras la segunda prueba

| Histórico del sistema de gestión |            |          |                       |
|----------------------------------|------------|----------|-----------------------|
| Nº                               | Fecha      | Hora     | T <sub>depósito</sub> |
| 361                              | 23/04/2007 | 14:18:50 | 30.7°C                |
| 362                              |            | 14:19:46 | 31.1°C                |
| 363                              |            | 14:29:47 | 50.0°C                |
| 364                              |            | 14:39:47 | 51.7°C                |
| 365                              |            | 14:49:47 | 50.3°C                |

#### 4.3.4.3 Tercera prueba

Por último se realizó una tercera prueba el día 18 de junio de 2007, comunas condiciones un poco diferentes, que permitieran observar el caudal que mueven las bombas del circuito secundario.

Así, en esta ocasión no se alteró ningún parámetro de funcionamiento habitual del sistema sino que se limitó a tomar datos durante una punta de funcionamiento, que se muestran en la tabla 21.

De esta manera se pudo observar que a partir de un consumo de entre 30 y 70 l para un periodo de 3 minutos, es decir, de entre 10 y 23 l/min comenzaba a disminuir la temperatura en la entrada al intercambiador del circuito secundario, lo que significa que entre esos dos caudales se produce la inversión del flujo en los depósitos.

En la tabla 3 podemos ver que el valor con el que se dimensiona el intercambiador de placas en el proyecto es de 8.88 l/min.

Tabla 21 - Tercera prueba en el sistema de producción de ACS (18/06/2007)

|                 | Depósitos |         |    | Secundario |         |         | Primario | Consumo | Retorno | CONTADOR   |         |
|-----------------|-----------|---------|----|------------|---------|---------|----------|---------|---------|------------|---------|
|                 | T1        | T2      | T3 | T4         | T5      | T6      | T7       | T8      | T9      | Lectura    | Consumo |
| 13:43           |           | 55,5 °C |    | 53,0 °C    | 67,0 °C | 64,0 °C | 60,0 °C  | 54,0 °C | 56,0 °C | 291,550 m3 | 0 l     |
| 13:46           |           | 55,5 °C |    | 53,0 °C    | 67,0 °C | 64,0 °C | 60,0 °C  | 59,0 °C | 56,0 °C | 291,560 m3 | 10 l    |
| 13:49           |           | 55,5 °C |    | 53,0 °C    | 67,0 °C | 60,0 °C | 60,0 °C  | 49,0 °C | 56,0 °C | 291,570 m3 | 10 l    |
| 13:52           |           | 55,5 °C |    | 53,0 °C    | 73,0 °C | 59,0 °C | 62,0 °C  | 47,0 °C | 56,0 °C | 291,600 m3 | 30 l    |
| 13:55           |           | 55,5 °C |    | 41,0 °C    | 62,0 °C | 56,0 °C | 56,0 °C  | 48,0 °C | 56,0 °C | 291,670 m3 | 70 l    |
| 13:58           |           | 55,5 °C |    | 28,0 °C    | 54,0 °C | 56,0 °C | 49,0 °C  | 51,0 °C | 56,0 °C | 291,750 m3 | 80 l    |
| 14:01           |           | 54,5 °C |    | 26,0 °C    | 50,0 °C | 56,5 °C | 49,0 °C  | 51,0 °C | 56,0 °C | 291,810 m3 | 60 l    |
| 14:04           |           | 54,5 °C |    | 25,0 °C    | 56,5 °C | 56,5 °C | 49,0 °C  | 51,5 °C | 56,0 °C | 291,900 m3 | 90 l    |
| 14:07           |           | 54,0 °C |    | 25,0 °C    | 56,0 °C | 56,0 °C | 49,0 °C  | 51,5 °C | 56,0 °C | 291,950 m3 | 50 l    |
| 14:10           |           | 54,0 °C |    | 27,0 °C    | 58,0 °C | 56,0 °C | 49,0 °C  | 52,0 °C | 56,0 °C | 291,980 m3 | 30 l    |
| 14:13           |           | 54,0 °C |    | 26,0 °C    | 58,0 °C | 56,0 °C | 49,0 °C  | 53,0 °C | 53,0 °C | 292,000 m3 | 20 l    |
| Total consumido |           |         |    |            |         |         |          |         |         |            | 450 l   |

#### 4.3.4.4 Conclusiones

Al término de las pruebas y después de muchas observaciones se obtuvieron una serie de conclusiones, tanto directas como indirectas:

- **El termómetro y la sonda situados tras la electroválvula de consumo (ver fotografía 7) deberían estar situados fuera del alcance de las turbulencias que se producen en la mezcla de flujos ya que no sólo resultan inútiles, sino que propician un mal funcionamiento de la instalación, abriéndose y cerrándose la electroválvula cada vez que hay un aporte flujo.**

- Para poder emitir juicios detallados del funcionamiento de la instalación se hacen necesarios un termómetro y un manómetro en la acometida del agua fría.

- En todo aporte de agua fría es obligatoria la existencia de una válvula de retención. La que existe actualmente está situada demasiado lejos de la entrada de agua fría a la electroválvula de consumo de manera que colocando una cerca de ese conjunto se podrían evitar ciertas pérdidas. Ver fotografía 7.



Fotografía 7 - Ubicación válvula de retención

- En el depósito en que está colocada la sonda debería haber además un termómetro para lectura directa de su temperatura, lo que facilitaría observaciones directas sobre la temperatura del mismo.

- Además, a partir de las pruebas realizadas se puede estimar la proporción de la demanda de ACS que se produce en las duchas de los vestuarios de talleres con

respecto al total medido por el contador y según diferentes épocas, lo que resulta de gran utilidad para el dimensionado de la instalación solar.

- La chimenea de humos de la caldera está mal colocada y cuando hay vientos fuertes se apaga la caldera. Es corta y desemboca en una pared en vez de en una zona libre de obstáculos. Además, su salida se encuentra justo entre la impulsión y la admisión de la climatización, en una zona que ya de por sí está cargada de turbulencias.

Tanto es así que no cumple con lo dispuesto en IT 1.3.4.1.3, donde se explica que la evacuación de humos debe hacerse por la cubierta y no por una fachada. Existen excepciones dentro de las cuales no se incluye el presente caso.

**Se le ha incluido un cabezal rotatorio para impedir el refluo debido a fuertes vientos.** Ver fotografía 8.



Fotografía 8 – Chimenea de la caldera

#### 4.3.5 Estudio de la recirculación del sistema

Durante el estudio de la instalación pronto llamó la atención el hecho de que la Recirculación del sistema se encontrara funcionando de forma permanente a lo largo de sus 1200 metros de tuberías, ocasionando un gasto energético que ya en los datos del proyecto de ejecución se estimaba tan grande como el propio debido al consumo de agua caliente.

De hecho, según la Instrucción Técnica IT1.2.4.2.1.1 apartado 6 del nuevo Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RD 1027/2007) se puede leer: *“En toda instalación térmica por la que circulen fluidos no sujetos a cambio de estado, en general las de fluido caloportador agua, las pérdidas térmicas globales por el conjunto de conducciones no superarán el 4% de la potencia que transporta”.*

Por tanto, se estimó conveniente intentar reducir esas pérdidas mencionadas.

Para ello, primero se extrajo de los planos de las instalaciones una relación de todas las tuberías existentes en el circuito, con sus diámetros y longitudes. Se estimaron sus pérdidas térmicas lineales sin aislamiento por medio de ábacos de pérdidas en tuberías de cobre [2], y posteriormente, resolviendo de una manera simplificada el problema de transmisión de calor asociado al aislamiento que figura como existente en el proyecto de construcción, obtuve los valores para las tuberías aisladas (tabla 22). Esto permitió comprobar que las anteriores pérdidas se ven reducidas con dicho aislamiento en un valor cercano al 35% (ver tablas 23-25). El aislamiento empleado fue **coquilla de espuma elastomérica de 20 mm** de espesor.

Tabla 22 - Pérdidas térmicas lineales consideradas [W/m]

| ø [mm]                     | Sin aislar |         | Con aislamiento |         |
|----------------------------|------------|---------|-----------------|---------|
|                            | Retorno    | Consumo | Retorno         | Consumo |
| 54                         | 45         | 54      | 15,75           | 18,37   |
| 42                         | 36         | 46      | 12,84           | 14,98   |
| 35                         | 32         | 38      | 11,13           | 12,99   |
| 28                         | 28         | 31      | 9,42            | 10,98   |
| 22                         | 22         | 28      | 7,93            | 9,25    |
| 18                         | 17         | 20      | 6,92            | 8,07    |
| 15                         | 13         | 17      | 6,15            | 7,18    |
| <b>Media f(longitudes)</b> | 19,79      | 29.64   | 7,71            | 10,68   |

De esta manera, las pérdidas térmicas del sistema de distribución de ACS quedaron reflejadas en la tablas 23, 24 y 25.

Tabla 23 - Longitudes y pérdidas térmicas de los distintos tramos del circuito de talleres

| RETORNO                                      |               |               |         |                       |                       | CONSUMO ACS                                  |               |               |         |                       |                       |
|--|---------------|---------------|---------|-----------------------|-----------------------|--|---------------|---------------|---------|-----------------------|-----------------------|
|  | cota<br>0,00m | cota<br>3,75m | TOTAL   | Pérdidas<br>[kWh/día] | Aisladas<br>[kWh/día] |  | cota<br>0,00m | cota<br>3,75m | TOTAL   | Pérdidas<br>[kWh/día] | Aisladas<br>[kWh/día] |
| ∅  | longitud      |               |         |                       |                       | ∅  | Longitud      |               |         |                       |                       |
| 54mm   | -             | -             | 0,00 m  | 0                     | 0                     | 54mm   | -             | 95,25 m       | 95,25 m | 123,44                | 42,00                 |
| 42mm   | -             | -             | 0,00 m  | 0                     | 0                     | 42mm   | -             | 3,00 m        | 3,00 m  | 3,31                  | 1,08                  |
| 35mm   | -             | 55,25 m       | 55,25m  | 42,43                 | 14,76                 | 35mm   | -             | -             | 0,00 m  | 0,00                  | 0,00                  |
| 28mm   | -             | -             | 0,00 m  | 0,00                  | 0,00                  | 28mm   | -             | 56,50 m       | 56,50 m | 42,04                 | 14,90                 |
| 22mm   | -             | 89,00 m       | 89,00m  | 46,99                 | 16,93                 | 22mm   | -             | 12,25 m       | 12,25 m | 8,23                  | 2,72                  |
| 18mm   | -             | 50,25 m       | 50,25m  | 20,50                 | 8,35                  | 18mm   | 37,00 m       | 87,75 m       | 124,75m | 59,88                 | 24,17                 |
| 15mm   | -             | -             | 0,00 m  | 0,00                  | 0,00                  | 15mm   | -             | -             | 0,00 m  | 0,00                  | 0,00                  |
| <b>TOTAL</b>                                 | 0,00 m        | 194,50m       | 194,50m | 109,93                | <b>40,04</b>          | <b>TOTAL</b>                                 | 37,00 m       | 254,75m       | 291,75m | 236,90                | <b>84,86</b>          |
| Reducción de las pérdidas por el aislamiento |               |               |         |                       | 36,4 %                | Reducción de las pérdidas por el aislamiento |               |               |         |                       | 35,8 %                |

Tabla 24 - Longitudes y pérdidas térmicas de los distintos tramos del circuito de oficinas

| RETORNO OFICINAS                             |          |          |         |         |          |                       |                       |
|--|----------|----------|---------|---------|----------|-----------------------|-----------------------|
|  | sótano   | baja     | primera | segunda | TOTAL    | Pérdidas<br>[kWh/día] | Aisladas<br>[kWh/día] |
| diámetro                                     | longitud |          |         |         |          |                       |                       |
| ∅54mm  | -        | -        | -       | -       | 0,00 m   | 0                     | 0                     |
| ∅42mm  | -        | -        | -       | -       | 0,00 m   | 0                     | 0                     |
| ∅35mm  | -        | 28,50 m  | -       | -       | 28,50 m  | 21,89                 | 7,62                  |
| ∅28mm  | -        | -        | -       | -       | 0,00 m   | 0                     | 0                     |
| ∅22mm  | 64,25 m  | -        | -       | -       | 64,25 m  | 33,92                 | 12,22                 |
| ∅18mm  | 9,50 m   | -        | -       | -       | 9,50 m   | 3,88                  | 1,58                  |
| ∅15mm  | 46,00 m  | 37,50 m  | -       | 92,25 m | 175,75 m | 54,83                 | 25,95                 |
| <b>TOTAL</b>                                 | 119,75 m | 66,00 m  | 0,00 m  | 92,25 m | 278,00 m | 114,52                | <b>47,37</b>          |
| Reducción de las pérdidas por el aislamiento |          |          |         |         |          |                       | 41,4 %                |
| CONSUMO ACS OFICINAS                         |          |          |         |         |          |                       |                       |
|  | sótano   | baja     | primera | segunda | TOTAL    | Pérdidas<br>[kWh/día] | Aisladas<br>[kWh/día] |
| diámetro                                     | longitud |          |         |         |          |                       |                       |
| ∅54mm  | -        | -        | -       | -       | 0,00 m   | 0                     | 0                     |
| ∅42mm  | -        | 30,00 m  | -       | -       | 30,00 m  | 33,12                 | 10,79                 |
| ∅35mm  | 58,00 m  | 32,00 m  | -       | -       | 90,00 m  | 82,08                 | 28,06                 |
| ∅28mm  | -        | 23,00 m  | -       | -       | 23,00 m  | 17,11                 | 6,06                  |
| ∅22mm  | 50,00 m  | 16,25 m  | 5,75 m  | 7,50 m  | 79,50 m  | 53,42                 | 17,64                 |
| ∅18mm  | -        | 53,25 m  | 18,00 m | 52,00 m | 123,25 m | 59,16                 | 23,88                 |
| ∅15mm  | 22,50 m  | 33,00 m  | 7,00 m  | 31,00 m | 93,50 m  | 38,15                 | 16,11                 |
| <b>TOTAL</b>                                 | 130,50 m | 187,50 m | 30,75 m | 90,50 m | 439,25 m | 283,04                | <b>102,54</b>         |
| Reducción de las pérdidas por el aislamiento |          |          |         |         |          |                       | 36,2 %                |

Tabla 25 - Resumen de longitudes y pérdidas térmicas de todo el circuito de tuberías

| RETORNO                                      |                 |                    |                    | CONSUMO ACS                                  |                 |                    |                    |
|--|-----------------|--------------------|--------------------|--|-----------------|--------------------|--------------------|
| diámetro                                     | longitud        | Pérdidas [kWh/día] | Aisladas [kWh/día] | diámetro                                     | longitud        | Pérdidas [kWh/día] | Aisladas [kWh/día] |
| ø54mm  | 0,00 m          | 0                  | 0                  | ø54  | 95,25 m         | 123,44             | 42,00              |
| ø42mm  | 0,00 m          | 0                  | 0                  | ø42  | 33,00 m         | 36,43              | 11,86              |
| ø35mm  | 83,75 m         | 64,32              | 22,38              | ø35  | 90,00 m         | 82,08              | 28,06              |
| ø28mm  | 0,00 m          | 0                  | 0,00               | ø28  | 79,50 m         | 59,15              | 20,96              |
| ø22mm  | 153,25 m        | 80,92              | 29,15              | ø22  | 91,75 m         | 61,66              | 20,36              |
| ø18mm  | 59,75 m         | 24,38              | 9,92               | ø18  | 248,00 m        | 119,04             | 48,05              |
| ø15mm  | 175,75 m        | 54,83              | 25,95              | ø15  | 93,50 m         | 38,15              | 16,11              |
| <b>TOTAL</b>                                 | <b>472,50 m</b> | <b>224,448</b>     | <b>87,41</b>       | <b>TOTAL</b>                                 | <b>731,00 m</b> | <b>519,948</b>     | <b>187,40</b>      |
| Reducción de las pérdidas por el aislamiento |                 |                    | 38,9 %             | Reducción de las pérdidas por el aislamiento |                 |                    | 36,0 %             |

Por tanto, las pérdidas térmicas totales con aislamiento suman:

**274,81 kWh/día**

Y la potencia total disipada por la red completa como pérdidas caloríficas alcanza un valor de:

**11,45 kW = 9848 kcal/h**

#### 4.3.5.1 Cálculos de pérdidas térmicas en las tuberías

Las *pérdidas lineales térmicas sin aislamiento [W/m]* reflejadas en la tabla 22 se han calculado según ábaco para tubería de cobre (figura 9) con unas temperaturas medias:

- $T_{\text{ambiente}} = 20^{\circ}\text{C}$
- $T_{\text{retorno}} = 50^{\circ}\text{C}$
- $T_{\text{ACS}} = 55^{\circ}\text{C}$

Y las *pérdidas lineales térmicas con aislamiento [W/m]* que se muestran también en la tabla 22 se han calculado con las mismas temperaturas medias que en el caso anterior resolviendo el problema simplificado de transmisión de calor (figura 10) con los datos de aislamiento:

- Según el RITE en vigor a la fecha de ejecución del proyecto de las instalaciones existentes (Real Decreto 1751/1998), los espesores mínimos de aislamiento

para tuberías de menos de 60mm que discurren por el interior de edificios y por las que circula agua caliente entre 40 y 60°C, es de 20mm.

- El aislamiento es coquilla de espuma elastomérica, de propiedades generales: conductividad térmica  $\lambda = 0,029 \text{ kcal/h}\cdot\text{m}\cdot\text{K} = 0,034 \text{ W/m}\cdot\text{K}$  y densidad aparente  $\rho = 60 \text{ kg/m}^3$ .
- Como simplificaciones adicionales no se consideró la convección interna y se tomó un coeficiente convectivo radiante  $h = 10 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ .

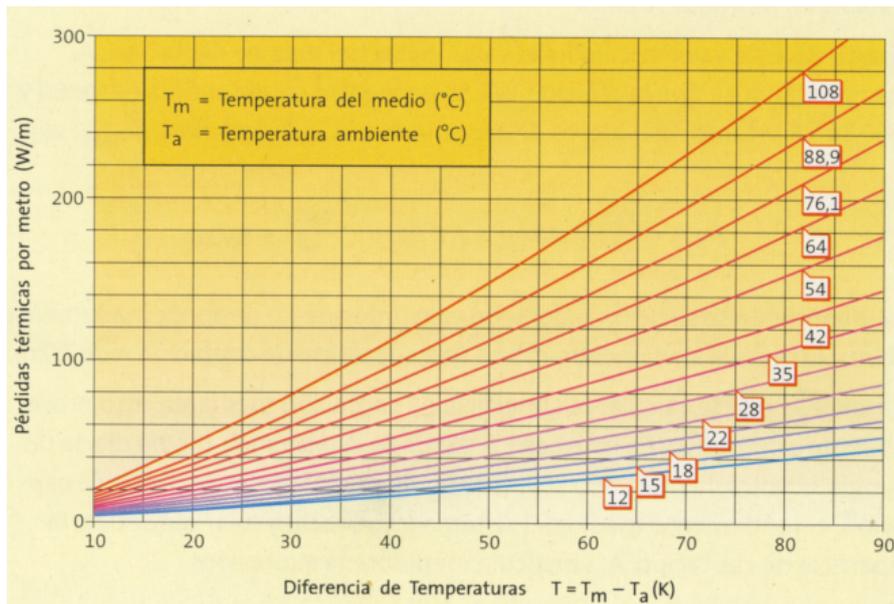


Figura 9 - Ábaco de pérdidas térmicas en tuberías de cobre sin aislamiento

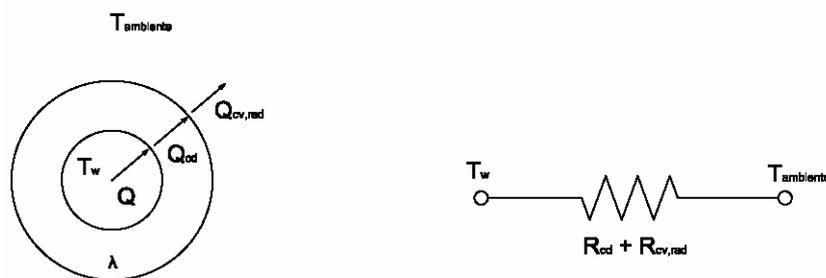


Figura 10 - Problema simplificado de transmisión de calor

Así, el problema planteado es el siguiente:

$$\frac{Q}{L} = \frac{T_w - T_{ambiente}}{R_{cd} + R_{cv,rad}}$$

donde:

$$R_{cd} = \frac{\ln \frac{D_e}{D_i}}{2 \cdot \pi \cdot \lambda}$$

$$R_{cv,rad} = \frac{1}{h_{cv,rad} \cdot \pi \cdot D_e}$$

Por tanto, los valores de las pérdidas térmicas lineales para cada diámetro de tubería de cobre aislada mostrados en la tabla 22 se obtuvieron de:

$$\frac{Q}{L} \text{ [W/m]} = \frac{T_w - 20}{\frac{\ln \frac{D_e}{D_i}}{2 \cdot \pi \cdot 0,034} + \frac{1}{10 \cdot \pi \cdot D_e}}$$

Una vez obtenidos dichos valores, para el cálculo de las pérdidas térmicas en las tuberías [kWh/día] se consideró su tiempo de funcionamiento real, es decir, las 24 horas del día a lo largo de todos los circuitos existentes. Así se obtuvieron las tablas 23-25.

## 5 PROPUESTAS DE MEJORA AL FUNCIONAMIENTO ACTUAL

De la observación del apartado anterior se derivan una serie de propuestas que pretenden mejorar el funcionamiento y el rendimiento energético de la instalación.

Estas propuestas, según su naturaleza pueden agruparse en dos bloques:

1. Concernientes a la introducción de cambios en el sistema de producción.
2. Concernientes a la optimización energética del sistema de distribución.

Llegado a este punto, conviene aclarar que aunque se mencionen todas las propuestas derivadas de las observaciones realizadas, muchas de ellas son descartables a simple vista para las instalaciones en las que de forma práctica se está trabajando, en primer lugar ya que se trata de unas instalaciones de gran tamaño, resultando inviables económicamente algunas de las propuestas, y por otra parte dado que pertenecen a una empresa pública, con las implicaciones sociales de cara a sus trabajadores que de ello se desprende.

### 5.1 CAMBIOS EN EL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE ACS

Como modificaciones en el sistema de producción se propone actuar sobre seis elementos:

- Caldera.
- Electroválvula de consumo.
- Aislamiento.
- Accesorios.
- Sistema de control.
- Aparatos de consumo (elementos del sistema de distribución).

#### 5.1.1 Caldera

Dado que la actual caldera funciona correctamente y aún le queda vida útil seguirá siendo utilizada, pero llegada la hora de su sustitución, se propone el cambio por una *caldera modulante* con el objeto de reducir el consumo de gas.

Con una caldera modulante se podría actuar sobre su quemador según fuera la temperatura del último depósito respecto de la temperatura de consigna, modulando aquel el flujo de gas para conseguir una temperatura de primario en consonancia con la demanda.

### 5.1.2 Electroválvula de consumo

Como se comentó en el apartado 4.3.4.4 el termómetro y la sonda que controlan la apertura de la electroválvula de consumo deberían estar más alejados de la misma y de codos y bifurcaciones, ya que debido a las turbulencias, el caudal que controlan no alcanza una mezcla homogénea de temperaturas cada vez que se produce aporte de agua fría.

De su mala posición actual se derivan varios inconvenientes o problemas:

- La lectura del termómetro resulta oscilar con gran frecuencia, no correspondiéndose el valor indicado realmente con la temperatura de consumo.
- Al verse afectada también la sonda por esta misma causa, el motor de la electroválvula se encuentra permanentemente abriendo y cerrando la misma.

Se propone la colocación de ambos instrumentos de medida en la tubería vertical de salida hacia el consumo, a una distancia del codo que garantice la mezcla homogénea de temperaturas, esto es, una distancia de al menos 6 veces el diámetro de la tubería. En la fotografía 9 podemos observar que efectivamente sonda y termómetro se hayan muy cerca de la electroválvula, disponiendo de espacio suficiente aguas arriba de la tubería de impulsión.



Fotografía 9 – Electroválvula y sonda de consumo

### 5.1.3 Aislamiento

Se recomienda fuertemente el **aislamiento del intercambiador de placas** (ver fotografía 2) ya que se evitarían grandes pérdidas térmicas. De hecho así lo indicaba ya como una obligación la Instrucción Técnica ITE 02.10 del RITE (Real Decreto 1751/1998), siendo aún más explícito el nuevo proyecto de RITE en su Instrucción Técnica IT 1.2.4.2.1.1 apartado 1b). Dicho aislamiento, según la Instrucción Técnica IT 1.2.4.2.1.2, apartado 2, debe ser de 40 mm.

Asimismo, las **tuberías de agua fría presentan abundantes condensaciones de agua en su superficie** al no estar aisladas y contener agua a temperatura menor que la temperatura ambiente. Deben ir aisladas según se indica en el RITE, IT 1.2.4.2.1.1, apartado 1a.

### 5.1.4 Accesorios

En primer lugar, para un mejor control del funcionamiento del sistema, se considera de gran utilidad la **inclusión de un termómetro en la acometida del agua fría**, tal y como se indica en el esquema de principio de su proyecto, así como en el depósito en el que se encuentra instalada la sonda de control.

Por otra parte, en cuanto a las válvulas de retención ausentes o necesarias en el sistema, según la Instrucción Técnica ITE 02.5.3 del RITE: *“La tubería de agua fría en la central de preparación y la de retorno de agua caliente dispondrán de sendas válvulas de retención”*. Por lo que se estima necesaria la inclusión de una **válvula de retención** en el retorno.

De la misma manera, es necesario añadir una **válvula de retención** en la tubería de agua fría que conecta con la electroválvula de consumo, en la cual se generan considerables pérdidas al producirse un reflujó de agua caliente, no estando además aislada dicha tubería. Dicha tubería ya cuenta con una válvula de retención, pero su situación, demasiado alejada de la EV de consumo le impide ser efectiva, por lo que deberá colocarse cerca de ella, en una zona libre de turbulencias.

### 5.1.5 Sistema de control

Se considera deficiente el control realizado ya que no actúa de ninguna manera sobre la bomba de impulsión del circuito secundario, generando un gasto eléctrico y unas pérdidas térmicas innecesarias al estar funcionando de forma permanente.

Además, en la Instrucción Técnica IT1.2.4.1.1, apartado 5, del RITE podemos leer: “Cuando se interrumpa el funcionamiento de un generador, deberá interrumpirse también el funcionamiento de los equipos accesorios directamente relacionados con el mismo (...)”.

Se debería contemplar la desconexión de dicha bomba cuando se alcance el calentamiento total del último acumulador, es decir, por medio de la misma sonda que actúa para detener la caldera.

Como ya se comentó en el apartado 4.2.1.5 (descripción de equipos), la bomba de impulsión se encuentra colocada en paralelo junto a otra como medida preventiva frente a una posible avería y para reducir su tiempo de funcionamiento en continuo. **Dichas bombas son de diferente potencia** cuando deberían ser idénticas, ya que la instalación no debe variar su punto de funcionamiento cada vez que éstas se alternen. Este aspecto debería ser corregido, o al menos ser tenido en cuenta en caso de un futuro cambio de alguno de ellas.

La de mayor potencia, 175 W, se encuentra consumiendo alrededor de 4,2 kWh/día, ya que como se ha dicho, ningún elemento del sistema de control interactúa con ella, provocando esto un funcionamiento ininterrumpido durante las 24 horas del día.

Se puede hacer una estimación del tiempo que pudiese estar inactiva considerando que durante los consumos punta del día ( duchas de final de turno –ver los turnos en tabla 7- ) y la posterior reposición de los depósitos, se deben requerir unas 12 horas de funcionamiento. Esto significa que si fueran desconectadas una vez llenos los depósitos de agua caliente, se podría ahorrar hasta un 50% de la electricidad que consumen, esto es unos 2,1 kWh/día.

No olvidemos que también de esta manera se conseguiría aumentar la vida útil de la bomba al reducir a la mitad su tiempo de funcionamiento.

### 5.1.6 Aparatos de consumo

Dos medidas simples, aunque quizás algo polémicas en nuestra situación, pueden colaborar en la disminución del consumo de agua, que lógicamente lleva aparejada una disminución del consumo de energía.

Al ser el usuario el que controla el cierre de los grifos tipo monomando, con frecuencia se obtienen importantes ahorros de agua al instalar **grifos de pulsador temporizados**, sobre todo en las duchas.

Por otra parte, habiendo **perlizadores** en los grifos de los lavabos, se propone su inclusión en las alcachofas de las duchas. Estos elementos, también conocidos como filtros de bajo consumo, generan un chorro de agua “aireado” que proporcionando una misma sensación de caudal, reducen el mismo llegando a limitar el consumo de agua en un grifo a valores hasta del 45 %.

## 5.2 OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE ACS

Mediante la inclusión de los siguientes dispositivos se pretenden reducir las pérdidas energéticas en las tuberías del sistema de distribución y retorno de ACS, ilustradas y cuantificadas en el apartado 4.3.5, cuyo valor asciende a 274,81 kWh/día.

A continuación se expone una breve memoria descriptiva para la comprensión de su funcionamiento. También se ha realizado un croquis que permite visualizar las relaciones entre cada elemento y los distintos circuitos que se van a definir (anejo A.2.2).

El objetivo de la propuesta será intentar evitar excesivas pérdidas térmicas producidas por tiempos de recirculación demasiado extensos, programando el funcionamiento del sistema de recirculación en función de los distintos usos que de él se requieren.

Actualmente no existen diferencias funcionales entre los distintos circuitos, considerando uno solo que funciona mediante una bomba de recirculación.

Como primera consideración para implantar las diversas mejoras, se propone distinguir dos circuitos mayores con bombas independientes (denominadas BO y BT):

A.- Circuito de oficinas (con bomba BO).

B.- Circuito de talleres (con bomba BT).



Fotografía 10 - Tuberías de impulsión y retorno de talleres y oficinas

A su vez, cada uno de esos dos circuitos contendrá varios circuitos menores:

- A1.- Circuito de la 'zona de servicio'
- A2.- Circuito de la planta baja y primera (incluye al gimnasio)
- A3\*.- Circuito de la segunda planta
- B4.- Circuito de lavabos y vestuarios
- B5.- Circuito de lavabos de 'montadores'

\*De manera excepcional y según el esquema de la instalación actualmente en funcionamiento, el circuito A3, perteneciente a las oficinas, funciona con la bomba de retorno de talleres (B). Esto se debe a que su ubicación hace más conveniente que la dirección de partida de su tubería sea la de talleres.

Así, definidos los distintos recorridos de la red de recirculación, se procede a independizar cada uno de los circuitos menores según el perfil de consumo que presente (cantidad de ACS y distribución temporal de su utilización).

Antes de analizar una a una las características de cada circuito, existe una **medida general importante** que consistirá en limitar el flujo de ACS en los lavabos de oficinas fuera de los meses de mayor frío y durante las horas del día en que se encuentran vacías (15h – 8h), ya que resulta a todas vistas un gasto energético innecesario.

Así, las bombas de recirculación tendrán un temporizador programado según la siguiente tabla de necesidades de ACS:

Tabla 26 – Necesidades horarias de ACS / programa del temporizador de las bombas

| Circuito     | Horario                            | Nº de horas |
|--------------|------------------------------------|-------------|
| A – OFICINAS | 7h30-14h30 (meses fríos)           | 7 h         |
| B – TALLERES | 5h30-15h / 21h30-22h30 / 2h30-3h30 | 11,5 h      |

Son considerados “meses fríos” los meses de noviembre a marzo

Esto tiene dos implicaciones que hay que tener en cuenta:

- Fuera de esos periodos las bombas de circulación permanecerán normalmente apagadas, arrancando por medio del sistema de control cuando alguno de los dispositivos que vamos a introducir a continuación lo requieran.
- Durante esos periodos las bombas permanecen siempre en funcionamiento y serán los circuitos los que encuentren limitada su longitud mediante los dispositivos de los que vamos a hablar a continuación.

### 5.2.1 Descripción de los diferentes circuitos

#### A1 – Circuito de la ‘zona de servicio’

|                               |                                     |                                  |
|-------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|
| Longitud total                |                                     | 232,75 m                         |
| Volumen total de las tuberías |                                     | 109,82 l                         |
| Necesidad de ACS              | Lavabos zona de servicio            | 800 l de 5h00 a 24h00 (invierno) |
|                               | Lavabos oficinas resto circuito /1/ | 150 l de 7h30 a 14h30 (invierno) |

Tabla 27 - Características circuito A1

En este circuito, situada en su extremo más alejado se encuentra la ‘zona de servicio’ de los conductores. Dada su lejanía añadida al hecho de que el consumo que se produce en ella (unos 800 litros durante un horario más extenso que el propio de oficinas) es bastante elevado, se prevé la colocación en el lugar de consumo de un **depósito de 300 l** intercalado en el anillo de retorno, que reducirá al mínimo las horas en que la recirculación en este tramo tenga que estar funcionando.

Dicho depósito accionará mediante una sonda (S1) la bomba de recirculación de oficinas (BO) en caso de que estuviera apagada, así como las aperturas de sendas

electroválvulas situadas en el ramal de retorno, EV1 normalmente cerrada en el último tramo y EV3 normalmente abierta al comienzo del circuito /1/ (ver croquis en anejo A.2.2) cuando su temperatura alcance la consigna prefijada mínima: 45°C.

A continuación podemos ver un esquema simplificado en el que aparecen los elementos mencionados (figura 11).

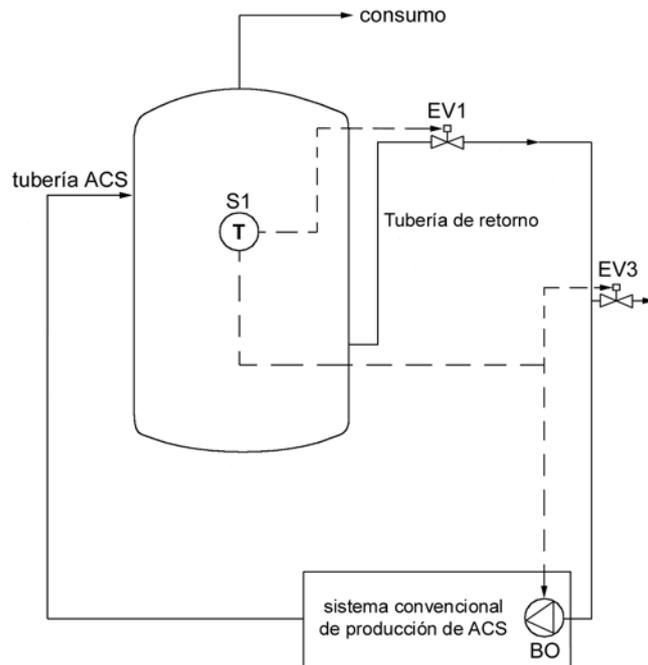


Figura 11 - Esquema simplificado de elementos de control en el circuito A1

En la anterior figura podemos observar la conexión del depósito, en serie dentro del circuito de retorno y sus elementos de control interconectados por la línea de trazo discontinuo con dirección de actuación en el sentido de la flecha.

Las electroválvulas EV1 y EV3 impedirían la circulación durante 17h en un anillo de **64 m** de tuberías.

Al recuperar su temperatura de almacenamiento (60°C), la sonda S1 enviará una señal de cierre a la válvula EV1, así como una señal de desconexión a la bomba de retorno. Eso sí, la actuación del temporizador sobre la misma tiene que ser prioritaria.

**A2 - Circuito de la planta baja y primera (incluye al gimnasio)**

|                               |                                    |                                  |
|-------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| Longitud total                |                                    | 136 m                            |
| Volumen total de las tuberías |                                    | 111 l                            |
| Necesidad de ACS              | Duchas gimnasio                    | 800 l de 7h30 a 21h30            |
|                               | Lavabos oficinas plantas baja y 1ª | 150 l de 7h30 a 14h30 (invierno) |

Tabla 28 - Características circuito A2

Las circunstancias en este circuito son similares a las del A1.

En su extremo más alejado, se encuentra el gimnasio. Dada esta circunstancia, añadida al hecho de que el consumo que se produce en él (unos 800 litros durante un horario más extenso que el propio de oficinas) es bastante elevado, se prevé la colocación cerca de los vestuarios del gimnasio de un **depósito de 300 l** intercalado en el anillo de retorno que reducirá al mínimo las horas en que la recirculación en este tramo tenga que estar funcionando.

Dicho depósito accionará mediante una sonda (S2) la bomba de recirculación de oficinas (BO) en caso de que estuviera apagada, así como la apertura de una electroválvula situada en el ramal de retorno (EV2 normalmente cerrada en el último tramo) cuando su temperatura alcance la consigna prefijada mínima: 45°C. Al mismo tiempo deberá actuar cerrando otra electroválvula situada al comienzo del ramal de retorno del circuito /1/ (EV3 normalmente abierta), para impedir que se recircule por esa zona. Eso sí, la actuación de la sonda S1 tendrá prioridad sobre EV3 (ver croquis en anejo A.2.2 y figura 12).

La electroválvula EV2 impediría la circulación durante 12 horas en un anillo de tuberías de **45.5 m**.

Al recuperar su temperatura de almacenamiento 60°C, la sonda enviará una señal de cierre a la válvula, así como de desconexión a la bomba de retorno. Eso sí, la actuación del temporizador sobre la misma tiene que ser prioritaria.

**A3 - Circuito de la segunda planta**

|                               |                            |                                  |
|-------------------------------|----------------------------|----------------------------------|
| Longitud total                |                            | 157 m                            |
| Volumen total de las tuberías |                            | 29,46 l                          |
| Necesidad de ACS              | Lavabos oficinas planta 2ª | 250 l de 7h30 a 14h30 (invierno) |

Tabla 29 - Características circuito A3

Al no alimentar este circuito más que a lavabos de oficinas, funcionará estrictamente las mañanas de los meses de invierno durante las horas programadas en el temporizador de la bomba de recirculación.

Para que no circule agua por este circuito fuera del citado horario, se dispondrá una electroválvula (EV4 normalmente cerrada) al final del anillo de retorno (bifurcación a talleres situada en la primera planta del edificio de oficinas) que abrirá según el temporizador. Ver croquis en anejo A.2.2 y figura 12.

**B4 - Circuito de lavabos y vestuarios**

|                               |                                |  |
|-------------------------------|--------------------------------|--|
| Longitud total                |                                | 300 m  |
| Volumen total de las tuberías |                                | 315 l  |
| Necesidad de ACS              | Vestuarios y lavabos de taller | 1500-3600 l de 5h30 a 15h00 y antes del final de cada turno de trabajo |

Tabla 30 - Características circuito B4

Este circuito funcionará estrictamente las horas programadas en el temporizador de la bomba de recirculación de taller (BT).

**B5 - Circuito de lavabos de 'montadores'**

|                               |                              |                            |
|-------------------------------|------------------------------|----------------------------|
| Longitud total                |                              | 99 m                       |
| Volumen total de las tuberías |                              | 49 l                       |
| Necesidad de ACS              | Lavabos "sección montadores" | 300 l las 24 horas del día |

Tabla 31 - Características circuito B5

Este circuito no funcionará fuera de las horas programadas en el temporizador de la bomba de recirculación de taller (BT).

Este circuito se encuentra en unas circunstancias similares a las de los circuitos A1 y A2.

En su extremo más alejado se encuentran los lavabos de la “sección de montadores”. Siendo una distancia extremadamente larga (100 m de tuberías) para tratarse de un único aseo en su extremo, el cual debe tener cubierta una necesidad de unos 300 litros distribuidos a lo largo de las 24 horas del día, se prevé la colocación en dichos aseos de un **depósito de 150 l** intercalado en el anillo de retorno que reducirá al mínimo las horas en que la recirculación en este tramo tenga que estar funcionando.

Dicho depósito accionará mediante una sonda (S3) la apertura de una electroválvula situada en el ramal de retorno (EV5 normalmente cerrada situada al comienzo de este circuito) cuando su temperatura alcance la consigna prefijada mínima: 45°C.

La electroválvula EV5 impediría la circulación permanente en un anillo de **99 m** de tuberías. Ver croquis en anejo A.2.2 y figura 12.

Al recuperar su temperatura de almacenamiento 60°C, la sonda enviará una señal de cierre a la válvula.

### 5.2.2 Esquema simplificado de control y red de Petri asociada

Estos dispositivos de ahorro están gobernados por un sistema de control automático de lógica programada que actúa mediante un *autómata programable (PLC)* ya existente en las instalaciones, por lo que sólo cabría, además de la inclusión de los *dispositivos captadores y actuadores* citados en la memoria, una reprogramación del software de dicho autómata. Podemos ver a continuación un esquema simplificado de la misma y su red de Petri asociada (figura 12 y 13).

Una última consideración a tener en cuenta para poder alcanzar la temperatura requerida de 60°C en los depósitos situados en los extremos de las líneas es la de enviar el agua desde la sala de producción de ACS a 65°C, superando con creces las pérdidas térmicas que se producirán en las tuberías.

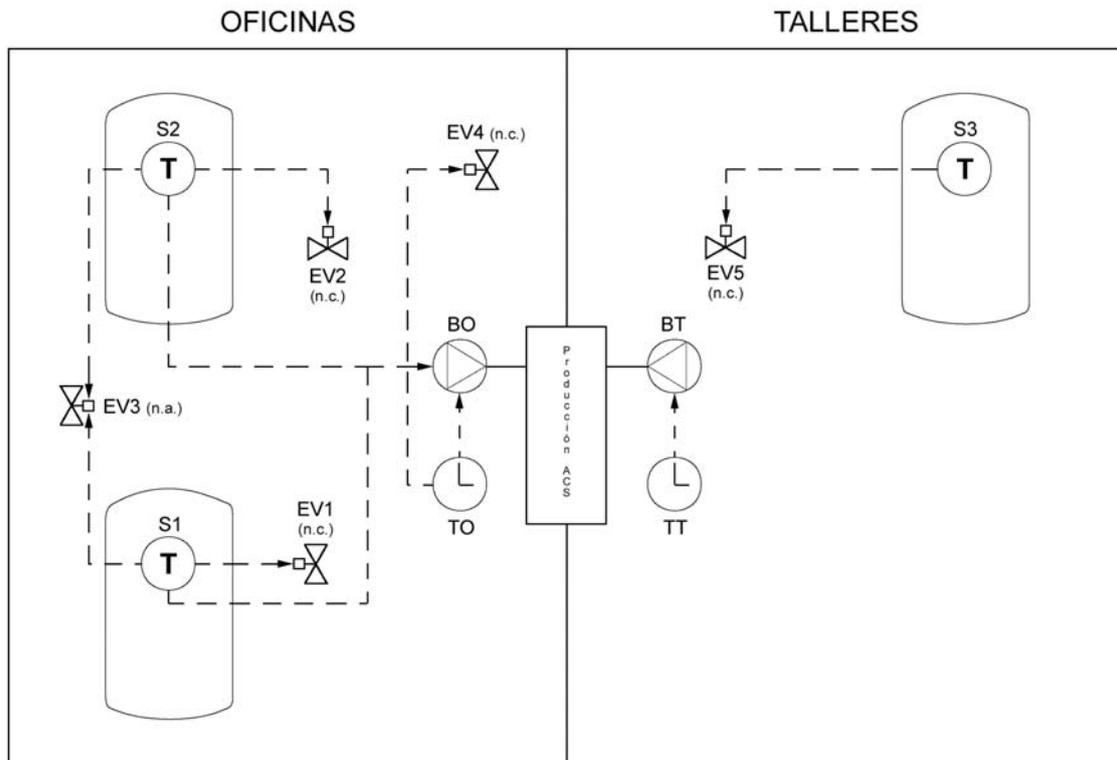


Figura 12 - Esquema simplificado de control

### SEÑALES

- $S_{im}$ : valor mínimo de temperatura de la sonda i-ésima
- $S_{iM}$ : valor máximo de temperatura de la sonda i-ésima
- $TT_{ON}$ : señal de conexión del temporizador de talleres
- $TT_{OFF}$ : señal de desconexión del temporizador de talleres
- $TO_{ON}$ : señal de conexión del temporizador de oficinas
- $TO_{OFF}$ : señal de desconexión del temporizador de oficinas

### ACCIONES

- BT: Funciona la bomba del circuito de retorno de talleres
- BO: Funciona la bomba del circuito de retorno de oficinas
- $EV_i$ : se actúa sobre la electroválvula i-ésima (normalmente abierta/cerrada)

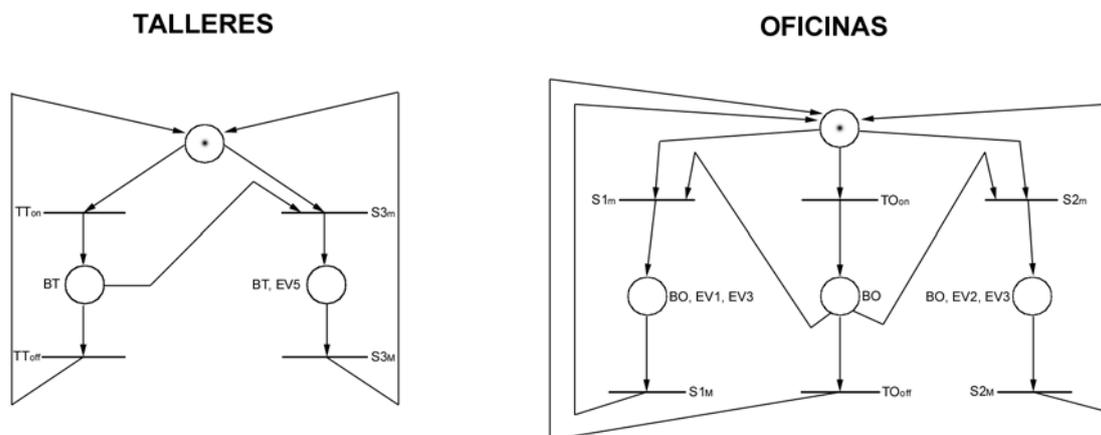


Figura 13 - Red de Petri del esquema de control

### 5.2.3 Cálculos relativos a los retornos y los depósitos

En este apartado se van calcular los tiempos necesarios de funcionamiento para los circuitos de cada una de las zonas en las que se ha propuesto incluir un depósito, es decir, A1, A2 y B5.

Estos tiempos serán de utilidad en el próximo apartado 5.2.4 para estimar un orden de magnitud de las prestaciones energéticas asociadas a la propuesta de optimización del sistema de distribución que se está tratando a lo largo de este apartado 5.2.

Para ello, una vez considerado en cada zona el consumo uniformemente distribuido a lo largo de su periodo de utilización, procederemos a calcular la fracción del mismo que pertenece al tiempo en que el temporizador mantiene funcionando la respectiva bomba de recirculación (tiempo reflejado en la tabla 26). En base a ello, se considerarán 2 periodos de cálculo para cada depósito:

- *Periodo de mañana*: correspondiente a la jornada de trabajo de mayor aglomeración de personal, es el periodo matutino coincidente con las horas en que las bombas de recirculación están activadas por el temporizador (7h30 - 14h30 en edificio de oficinas y 5h30 – 15h30 en nave de talleres).
- *Periodo de tarde*: correspondiente al resto de horas de trabajo, donde desarrollan su actividad los turnos rotativos de menor presencia (14h30 – 7h30 en el edificio de oficinas y 15h30 – 5h30 en la nave de talleres).

Las pérdidas térmicas asociadas a cada uno de los circuitos se pueden ver en las tablas 33-37.

#### 5.2.3.1 Retorno del circuito A1 – ‘Zona de servicio’

Se analiza en el periodo del año más desfavorable, es decir, durante el invierno, cuyos datos son:

- Consumo en la zona: 800 l, supuestos uniformemente distribuidos en el periodo, derivados del uso de lavabos.
- Periodo de consumo en la zona: 5h30 – 24h00 (18 horas y 30 minutos).
- Volumen del depósito: 300 l.

Una vez finalizadas las 7 horas del ciclo de retorno matutino de las oficinas (7h30 – 14h30) restan:  $18,5\text{h} - 7\text{h} = 11,5$  horas, que corresponden al 62 % de su periodo de consumo.

Por tanto se considera (hay que tener en cuenta que el depósito comienza a reponerse cuando su temperatura desciende a 40°C):

- Consumo en *periodo de mañana*: 300 l, que supongo repuestos en 2 recargas.
- Consumo en *periodo de tarde*: 500 l, que supongo repuestos en 3 recargas.

El tiempo de duración de esas recargas será el tiempo en que permanecerá abierto el circuito en toda su longitud. Con la siguiente estimación del orden de magnitud de ese valor se calcularán en el próximo apartado 5.2.4 las pérdidas asociadas a dicho circuito en su correspondiente periodo:

a) *En periodo de mañana*: se supone abierto el circuito durante **2 horas al día**. Este resultado será justificado en el apartado 5.2.3.4 conjuntamente para los 3 depósitos y reflejado en la tabla 32.

b) *En periodo de tarde*:

- Pérdida en la instalación para el tramo /1/: 3,28 kW = 2890 kcal/h.
- 3 reposiciones del depósito mediante caldera de 26200 kcal/h de potencia:  $900\text{ l} \times (60^\circ\text{C} - 45^\circ\text{C}) = 13500\text{ kcal/h}$ .

$$\Rightarrow h = \frac{13500 + 2890 \cdot h}{26200} \Rightarrow h = 0,58 \approx 35\text{ min.}$$

Se utilizará para el cálculo:

|              |
|--------------|
| <b>0,5 h</b> |
|--------------|

### 5.2.3.2 Retorno del circuito A2 – Circuito planta baja y primera (con gimnasio)

Igualmente, se analiza este circuito en el periodo del año más desfavorable, es decir, durante el invierno, cuyos datos son:

- Consumo en la zona: 800 l, supuestos uniformemente distribuidos en el periodo, derivados del uso de lavabos y duchas.
- Periodo de consumo en la zona: 7h30 – 21h30 (14 horas).

- Volumen del depósito: 300 l.

Una vez finalizadas las 7 horas del ciclo de retorno matutino de las oficinas (7h30 – 14h30) restan:  $14h - 7h = 7$  horas, que corresponden al 50 % de su periodo de consumo.

Por tanto se considera (hay que tener en cuenta que el depósito comienza a reponerse cuando su temperatura desciende a 40°C):

- Consumo en *periodo de mañana*: 400 l, que supongo repuestos en 2 recargas.
- Consumo en *periodo de tarde*: 400 l, que supongo repuestos en 2 recargas.

El tiempo de duración de esas recargas será el tiempo en que permanecerá abierto el circuito en toda su longitud. Con la siguiente estimación del orden de magnitud de ese valor se calcularán en el próximo apartado 5.2.4 las pérdidas asociadas a dicho circuito en su correspondiente periodo:

a) *En periodo de mañana*: se supone abierto el circuito durante **2 horas al día**. Este resultado será justificado en el apartado 5.2.3.4 conjuntamente para los 3 los depósitos y reflejado en la tabla 32.

b) *En periodo de tarde*:

- Pérdida en la instalación para el tramo /2/: 1,58 kW = 1359 kcal/h.
- 2 reposiciones del depósito mediante caldera de 26200 kcal/h de potencia:  $600 \text{ l} \times (60^\circ\text{C} - 45^\circ\text{C}) = 9000 \text{ kcal/h}$ .

$$\Rightarrow h = \frac{9000 + 1359 \cdot h}{26200} \Rightarrow h = 0,36 \approx 22 \text{ min.}$$

Se utilizará para el cálculo:

**0,5 h**

### 5.2.3.3 Retorno del circuito B5 – Circuito ‘Aseos de montadores’

Finalmente, se vuelve a analizar este último circuito en el periodo del año más desfavorable, es decir, durante el invierno, cuyos datos son:

- Consumo en la zona: 300 l, supuestos uniformemente distribuidos en el periodo, derivados del uso de los lavabos.
- Periodo de consumo en la zona: durante las 24 horas del día.
- Volumen del depósito: 150 l.

Una vez finalizadas las 9,5 horas del ciclo de retorno matutino de talleres (5h30 – 15h00) restan:  $24h - 9,5h = 14,5$  horas, que corresponden al 60 % de su periodo de consumo.

Por tanto se considera (hay que tener en cuenta que el depósito comienza a reponerse cuando su temperatura desciende a 40°C):

- Consumo en *periodo de mañana*: 120 l, que supongo repuestos en 2 recargas.
- Consumo en *periodo de tarde*: 180 l, que supongo repuestos en 2 recargas.

El tiempo de duración de esas recargas será el tiempo en que permanecerá abierto el circuito en toda su longitud. Con la siguiente estimación del orden de magnitud de ese valor se calcularán en el próximo apartado 5.2.4 las pérdidas asociadas a dicho circuito en su correspondiente periodo:

a) *En periodo de mañana*: se supone abierto el circuito durante **1 hora al día**. Este resultado será justificado en el apartado 5.2.3.4 conjuntamente para los 3 depósitos y reflejado en la tabla 32.

b) *En periodo de tarde*:

- Pérdida en la instalación para los tramos /4/ y /5/: 5,04 kW = 4335 kcal/h.
- 2 reposiciones del depósito mediante caldera de 26200 kcal/h de potencia:  $300 \text{ l} \times (60^\circ\text{C} - 45^\circ\text{C}) = 4500 \text{ kcal/h}$ .

$$\Rightarrow h = \frac{4500 + 4335 \cdot h}{26200} \Rightarrow h = 0,21 \square 12 \text{ min.}$$

Se utilizará para el cálculo un valor algo sobredimensionado del anterior resultado, entendiéndose que un valor excesivamente pequeño puede no ser real en la práctica debido a multitud de factores no modelados:

**0,4 h**

#### 5.2.3.4 Cálculo del tiempo de reposición de los depósitos en *periodo de mañana*

Por último, al estar el sistema sometido durante este periodo a su mayor utilización (frecuentes consumos por toda la red, recirculación abierta para todo el sistema, recarga de depósito en sala de caldera,...), para realizar la siguiente estimación se optó por considerar las siguientes hipótesis que situaran a los depósitos en la posición más desfavorable:

- Se escoge el periodo del año más desfavorable: el invierno.
- Suponemos que la reposición de los 3 depósitos se produce de manera simultánea.
- En el momento de la reposición se atiende también un consumo de 200 l.

Por tanto:

- Pérdidas en toda la red: 11,45 kW = 9848 kcal/h.
- Consumo: 200 l x (40°C-10°C) = 6000 kcal.
- Recarga simultánea de los 3 depósitos: (150 + 300 + 300) l x (60°C – 45°C) = 11250 kcal.

$$\Rightarrow h = \frac{11250 + 6000 + 9848h}{26200} \Rightarrow h = 1,05 \approx 1 \text{ hora.}$$

Así, teniendo en cuenta el volumen y el número de reposiciones de cada depósito se estima para cada circuito un orden de magnitud del tiempo que permanecerá abierto durante el *periodo de mañana*:

Tabla 32 - Reposiciones en periodo de mañana para cada depósito

| <b>Circuito</b>                           | <b>Volumen depósito</b> | <b>Nº de reposiciones</b> | <b>Tiempo</b> |
|---|-------------------------|---------------------------|---------------|
| A1 – ‘Zona de servicio’                   | 300 l                   | 2                         | 2 horas       |
| A2 – Planta baja y primera (con gimnasio) | 300 l                   | 2                         | 2 horas       |
| B5 – ‘Aseos de montadores’                | 150 l                   | 2                         | 1 hora        |

### 5.2.3.5 Cálculo de los caudales de las bombas de recirculación

Con el mismo criterio que fuera utilizado para dimensionar el caudal de la bomba de retorno en el anterior circuito existente, se dimensionarán los caudales de los nuevos.

Se escogerá un caudal capaz de recircular todo el volumen 3 veces en una hora. Por tanto:

- Volumen de las conducciones más depósito nodriza en talleres: 514 l => 1500 l/h.
- Volumen de las conducciones más depósitos nodrizas en oficinas: 850 l => 2500 l/h.

### 5.2.4 Evaluación energética

A partir de las restricciones impuestas mediante la inclusión de los citados dispositivos de ahorro se consigue una muy importante reducción de pérdidas debido a que gracias a las electroválvulas que los abren y cierran, asociadas a los depósitos situados en los extremos, los circuitos ven reducida su longitud, al tiempo que al reducir el funcionamiento de los mismos estrictamente a sus necesidades de utilización, se disminuye drásticamente el número de horas en que se encuentran funcionando.

En las siguientes tablas se reflejan las nuevas pérdidas asociadas a cada circuito según el número de horas previstas de funcionamiento:

Tabla 33 - Circuito en anillo de los talleres (todo el año)

|                            | diámetro     | longitud |         | Pérdidas [kW] | Pérdidas [kWh/día] |        | recirculación [horas/día] |               |
|----------------------------|--------------|----------|---------|---------------|--------------------|--------|---------------------------|---------------|
|                            |              | Consumo  | Retorno |               | mañanas            | tardes | mañanas                   | tarde + noche |
| Tramo principal /4/        | ø54mm        | 95,25 m  | -       | 1,75          | 16,62              | 4,37   | 9,5                       | 2,4           |
|                            | ø42mm        | -        | -       | -             | -                  | -      | 9,5                       | 2,4           |
|                            | ø35mm        | -        | 55,25 m | 0,62          | 5,84               | 1,54   | 9,5                       | 2,4           |
|                            | ø28mm        | -        | -       | -             | -                  | -      | 9,5                       | 2,4           |
|                            | ø22mm        | 8,50 m   | 39,75 m | 0,39          | 3,74               | 0,98   | 9,5                       | 2,4           |
|                            | ø18mm        | 50,25 m  | 50,25 m | 0,75          | 7,16               | 1,88   | 9,5                       | 2,4           |
|                            | ø15mm        | -        | -       | -             | -                  | -      | 9,5                       | 2,4           |
|                            | Volumen [l]  | 234,16   | 81,05   |               |                    |        |                           |               |
| Tramo final (depósito) /5/ | ø28mm        | 49,00 m  | 0,00 m  | 0,54          | 0,54               | 0,22   | 1                         | 0,4           |
|                            | ø22mm        | 0,00 m   | 50,00 m | 0,40          | 0,40               | 0,16   | 1                         | 0,4           |
|                            | <b>TOTAL</b> | 49,00 m  | 50,00 m | 4,45          | 34,30              | 9,15   |                           |               |
|                            | Volumen [l]  | 30,17    | 19,01   |               |                    |        |                           |               |
|                            | Depósito     | 150l     |         | 0,0625        | 0,6                | 0,9    |                           |               |

Valores correspondientes al funcionamiento regido por los depósitos

En el anejo A.2.2 se puede observar la numeración de los distintos tramos del circuito hidráulico.

Tabla 34 - Circuito en anillo oficinas planta baja y primera - gimnasio (verano)

|                     | diámetro    | longitud |         | Pérdidas [kW] | Pérdidas [kWh/día] |        | Recirculación [horas/día] |        |
|---------------------|-------------|----------|---------|---------------|--------------------|--------|---------------------------|--------|
|                     |             | Consumo  | Retorno |               | mañanas            | tardes | mañanas                   | tardes |
| Tramo principal /2/ | ø42mm       | 30,00 m  | -       | 0,45          | 0,45               | 0,22   | 1                         | 0,5    |
|                     | ø35mm       | 32,00 m  | 28,50 m | 0,73          | 0,73               | 0,37   | 1                         | 0,5    |
|                     | Volumen [l] | 72,35    | 27,42   |               |                    |        |                           |        |
| Último tramo        | ø28mm       | 8,00 m   | -       | 0,09          | 0,09               | 0,04   | 1                         | 0,5    |
|                     | ø15mm       | -        | 37,50 m | 0,23          | 0,23               | 0,12   | 1                         | 0,5    |
|                     | Volumen [l] | 4,93     | 6,63    |               |                    |        |                           |        |
| <b>TOTAL</b>        |             | 142,35 m | 93,42 m | 1,50          | 1,50               | 0,75   |                           |        |
| Depósito            |             | 300l     |         | 0,08          | 1                  | 1      |                           |        |

Tabla 35 - Circuito en anillo oficinas planta baja y primera - gimnasio (invierno)

|                     | diámetro    | longitud |         | Pérdidas [kW] | Pérdidas [kWh/día] |        | Recirculación [horas/día] |        |
|---------------------|-------------|----------|---------|---------------|--------------------|--------|---------------------------|--------|
|                     |             | Consumo  | Retorno |               | mañanas            | tardes | mañanas                   | tardes |
| Tramo principal /2/ | ø42mm       | 30,00 m  | -       | 0,45          | 3,15               | 0,22   | 7                         | 0,5    |
|                     | ø35mm       | 32,00 m  | 28,50 m | 0,73          | 5,13               | 0,37   | 7                         | 0,5    |
|                     | Volumen [l] | 72,35    | 27,42   |               |                    |        |                           |        |
| Último tramo        | ø28mm       | 8,00 m   | -       | 0,09          | 0,18               | 0,04   | 2                         | 0,5    |
|                     | ø15mm       | -        | 37,50 m | 0,23          | 0,46               | 0,12   | 2                         | 0,5    |
|                     | Volumen [l] | 4,93     | 6,63    |               |                    |        |                           |        |
| <b>TOTAL</b>        |             | 142,35 m | 93,42 m | 1,50          | 8,91               | 0,75   |                           |        |
| Depósito            |             | 300l     |         | 0,08          | 1                  | 1      |                           |        |

Tabla 36 - Circuito en anillo de planta baja zona de servicios (sólo funciona en invierno)

|                      | diámetro    | longitud |          | Pérdidas [kW] | Pérdidas [kWh/día] |        | Recirculación [horas/día] |        |
|----------------------|-------------|----------|----------|---------------|--------------------|--------|---------------------------|--------|
|                      |             | Consumo  | Retorno  |               | mañanas            | tardes | mañanas                   | tardes |
| Tramo inicial de /2/ | ø42mm       | 30,00 m  | -        | 0,45          | 3,15               | 0,22   | 7                         | 0,5    |
|                      | ø35mm       | 32,00 m  | 28,50 m  | 0,73          | 5,13               | 0,37   | 7                         | 0,5    |
|                      | Volumen [l] | 41,56    | 27,42    |               |                    |        |                           |        |
| Tramo principal /1/  | ø35mm       | 58,00 m  | -        | 0,75          | 5,27               | 0,38   | 7                         | 0,5    |
|                      | ø22mm       | 9,50 m   | 71,25 m  | 0,65          | 4,57               | 0,33   | 7                         | 0,5    |
|                      | ø15mm       | 15,00 m  | 15,00 m  | 0,20          | 1,40               | 0,10   | 7                         | 0,5    |
|                      | Volumen [l] | 62,06    | 29,74    |               |                    |        |                           |        |
| Último tramo         | ø22mm       | 33,00 m  | -        | 0,31          | 0,61               | 0,15   | 2                         | 0,5    |
|                      | ø15mm       | -        | 31,00 m  | 0,19          | 0,38               | 0,10   | 2                         | 0,5    |
|                      | Volumen [l] | 12,54    | 5,48     |               |                    |        |                           |        |
| <b>TOTAL</b>         |             | 281,13 m | 202,91 m | 3,28          | 20,51              | 1,64   |                           |        |
| Depósito             |             | 300l     |          |               | 0,76               | 1,24   |                           |        |

Tabla 37 - Circuito en anillo oficinas 2ª planta (sólo funciona en invierno)

| diámetro     | longitud       |                | Pérdidas [kW] | Pérdidas [kWh/día] |             | Recirculación [horas/día] |        |
|--------------|----------------|----------------|---------------|--------------------|-------------|---------------------------|--------|
|              | Consumo        | Retorno        |               | Invierno           | Verano      | Invierno                  | Verano |
| ø54mm        | -              | -              | 0,00          | 0,00               | 0,00        | 7                         | 0      |
| ø42mm        | -              | -              | 0,00          | 0,00               | 0,00        | 7                         | 0      |
| ø35mm        | -              | -              | 0,00          | 0,00               | 0,00        | 7                         | 0      |
| ø28mm        | 11,25 m        | -              | 0,12          | 0,87               | 0,00        | 7                         | 0      |
| ø22mm        | 7,50 m         | -              | 0,07          | 0,49               | 0,00        | 7                         | 0      |
| ø18mm        | 28,00 m        | -              | 0,23          | 1,58               | 0,00        | 7                         | 0      |
| ø15mm        | 18,00 m        | 92,25 m        | 0,70          | 4,88               | 0,00        | 7                         | 0      |
| <b>TOTAL</b> | <b>64,75 m</b> | <b>92,25 m</b> | <b>1,12</b>   | <b>7,81</b>        | <b>0,00</b> |                           |        |
| Volumen [l]  | 13,16          | 16,30          |               |                    |             |                           |        |

Por tanto, las pérdidas diarias totales suman:

|  |
|--|
| En meses de invierno: <b>88,58 kWh/día</b> |
|--|

|  |
|--|
| En meses de invierno: <b>49,21 kWh/día</b> |
|--|

Lo que supone un *gasto anual por pérdidas térmicas en los anillos de distribución*:  
**23948,57 kWh/año.**

Si comparamos con las pérdidas que se producen *en las condiciones actuales*:  
**274,81 kWh/día => 100305,95 kWh/año, del orden de 4 veces superiores.**

### 5.2.5 Reducción costes de gas natural

El precio al que la empresa TUSSAM compra el gas natural canalizado en 2006 es de 0,029197 €/kWh.

Esto supone un gasto económico ocasionado por las pérdidas térmicas del anillo de distribución de **2928,63 €/año** frente a unos **699,23 €/año** según el funcionamiento arriba propuesto, lo que implica una **reducción del orden del 76%** de las citadas pérdidas.

### 5.2.6 Presupuesto y mediciones

En este apartado, sin entrar mucho en detalle se van a desarrollar unos cálculos que indiquen de manera aproximada el volumen de la inversión que sería necesaria

para poner en marcha este sistema. De esta manera se pretende evaluar la viabilidad de la misma y el tiempo de retorno de la inversión.

Elementos indispensables:

- 2 nuevas bombas de circulación colocadas en paralelo (una de reserva) que, con unas características similares a las existentes, sirvan para abastecer a la mitad de la red de retorno:  $2 \times 350 \text{€} = 700 \text{€}$ .
- Depósitos acumuladores de ACS para trabajar a presión de 6 bar (con esmalte vitrificado y aislamiento de poliuretano flexible):
  - Capacidad 150 l: 500 €.
  - Capacidad 300 l:  $2 \times 650 \text{€} = 1300 \text{€}$ .
- 3 sondas de inmersión PT-1000:  $3 \times 28 = 84 \text{€}$ .
- 5 electroválvulas motorizadas de bola (2 DN15, 1 DN22 y 2 DN 35):  $2 \times 168 \text{€} + 1 \times 187 \text{€} + 2 \times 250 \text{€} = 1023 \text{€}$ .
- Reprogramación del software SIEMENS del PLC: 1000 €.
- Mano de obra, pequeño material y transporte: 2000 €.

=> TOTAL: **6607 €**.

## 6 INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA

En este apartado, como una última medida que propicie la mejora energética de las instalaciones, se tratará de incorporarles un sistema de energía solar térmica.

Se comenzará con una breve introducción a las mismas, resaltando sus diferencias de dimensionado con respecto a las instalaciones convencionales, para proseguir directamente con el cálculo y selección del sistema que se adapte mejor al existente en la sede de la empresa TUSSAM.

### 6.1 PRINCIPIOS BÁSICOS DEL DIMENSIONADO DE LAS INSTALACIONES SOLARES TÉRMICAS

Su dimensionado depende principalmente de:

- Las condiciones climáticas locales, en especial de la irradiación solar y de la temperatura ambiente (lo que incide directamente sobre la temperatura del agua a calentar).
- La demanda de calor
- La fracción solar deseada
- El rendimiento de la instalación

#### **Diferencias entre el dimensionado de las instalaciones convencionales y las solares [3]**

Tras años de experiencias con instalaciones solares se empieza a comprobar que para efectuar su dimensionado deben aplicarse reglas diferentes de las que se usan para el diseño de un sistema convencional.

En primer lugar, las calderas convencionales pueden conectarse siempre que sea necesario, e incluso es posible regular su potencia, mientras que una instalación solar sólo puede suministrar energía en función de la radiación.

Por otra parte, en el dimensionado de los sistemas convencionales la seguridad en el suministro desempeña un papel fundamental, determinando la potencia que han de tener los equipos en función de su capacidad para cubrir las puntas de consumo, siendo características fundamentales de los mismos:

- La demanda de energía se establece a un nivel relativamente elevado (en el nivel superior del margen de fluctuaciones supuesto) ya que será el generador de calor el que se ajustará a la demanda durante su funcionamiento.

- Se calcula teniendo en cuenta la demanda de energía prevista para el período en que ésta alcanza su nivel máximo, generalmente en invierno.

- Se añaden factores de seguridad al cálculo.

- Se toma en cuenta un posible consumo adicional, por ejemplo, debido a posibles planes de ampliación.

En contraste con estos requerimientos, *en la tecnología solar se suele plantear como objetivo que el sistema no suministre más energía de la precisa en períodos de baja demanda*, ya que de esta manera se evitará el estancamiento del campo de captadores, exponiéndolo a altas temperaturas. *El diseño se hace para cubrir un determinado porcentaje del consumo anual medio esperado.*

Así, el sistema solar puede diseñarse en base a diferentes objetivos: lograr una fracción solar deseada, o bien para un aporte de energía lo más elevado posible por m<sup>2</sup> de área de captación, es decir, un bajo coste para el calor solar generado.

Por otra parte, reseñar que los valores de consumo de ACS utilizados en las normas de las instalaciones térmicas convencionales se han establecido con el fin de asegurar el abastecimiento total de la demanda y, por lo tanto, se orientan a la demanda máxima o punta. Estos valores son, por lo general, demasiado altos para el dimensionado de las instalaciones solares térmicas, ya que éstas persiguen objetivos de diseño diferentes (por ejemplo, evitar excedentes de energía en verano). No obstante, cuando no se disponen de mediciones reales del consumo, se necesitan los valores de diseño de estas normas para dimensionar la parte convencional de la instalación, *ya que no se puede incluir la aportación de la parte solar en el cálculo de la potencia térmica del sistema generador de calor (sistema convencional).*

## **6.2 FASE DE DIMENSIONADO [2]**

El dimensionado básico para una instalación solar térmica para producción de agua caliente sanitaria consiste en determinar la superficie de captación solar (A) y el volumen de acumulación (V).

En su proceso de dimensionado se han de plantear, buscando una solución de compromiso, los siguientes objetivos:

- Cubrir el mayor porcentaje posible de la demanda de energía térmica requerida.
- Minimizar los posibles excedentes de energía en la instalación.
- Minimizar el coste total (inversión + explotación) del sistema de producción de agua caliente sanitaria (incluyendo el sistema de energía de apoyo).

Para su dimensionado se seguirá el siguiente orden de cálculos:

- Demanda de energía térmica
- Cálculo de volumen de acumulación solar y área de captación
- Selección de la configuración básica
- Diseño del sistema de acumulación
- Ubicación, orientación e inclinación de los captadores
- Selección de captadores y conexionado
- Diseño del sistema de intercambio
- Aporte solar de la instalación
- Diseño del sistema de energía auxiliar
- Diseño de sistema de enfriamiento parcial baja demanda energética
- Diseño del circuito primario. Caudales de circulación y pérdidas de carga
- Características principales de la bomba de circulación
- Volumen del vaso de expansión
- Diseño del circuito eléctrico
- Estructura soporte de los captadores y anclajes
- Diseño del sistema de control

No formando parte de los objetivos de este proyecto el dimensionado de la estructura soporte de los captadores.

### **6.2.1 Demanda de energía térmica**

Los factores que influyen en el cálculo de esta demanda son:

- El consumo de agua caliente
- La temperatura de referencia a la que se vincula el consumo de ACS.
- La temperatura de entrada del agua fría

La demanda de energía térmica se calcula utilizando la expresión siguiente:

$$D_{ACS} = Q_{ACS}(T_{ref}) \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_{ref} - T_{AF})$$

$$D_{ACS} \quad [\text{J/día}]$$

$$Q_{ACS} \quad [\text{l/día}]$$

$$c_p = 4.186 \text{ J/kg}\cdot^\circ\text{C}$$

$$\rho = 1 \text{ kg/l}$$

$$T_{ref}, T_{AF} \quad [^\circ\text{C}]$$

### **Consumo de agua caliente**

El consumo de agua caliente es uno de los factores que más influyen en el funcionamiento de una instalación solar, por lo que su correcta determinación es un factor clave en el dimensionado de ésta, para adaptar mutuamente y de manera óptima la oferta y la demanda de energía de forma que en el sistema no se produzcan excesos (estancamiento) durante los meses de verano, período en el que tanto la irradiación solar como la temperatura del agua fría y del ambiente alcanzan su máximo. Por tanto, ha de diseñarse teniendo en cuenta dichos valores si se pretende alcanzar un rendimiento medio anual elevado, o sea, una sustitución máxima del combustible convencional, lo que se traduce en una mayor reducción de las emisiones contaminantes, como el CO<sub>2</sub>:

También por esto es recomendado siempre que se pueda llevar a cabo la realización de una medición meticulosa del consumo real en el edificio, en la que se consideren los **periodos de baja demanda**, como ocurre en el **verano** y, en nuestro caso también, durante los **finés de semana**.

Los resultados de dichas mediciones fueron reflejados en el apartado 3.2.2 (tablas 10 y 11), y a partir de esos valores se estimó la demanda de energía térmica a lo largo del año (tabla 15).

Puesto que para dimensionar una instalación solar dedicada a producir ACS sólo es de importancia la suma del consumo diario, o sea, la demanda diaria total de energía, los datos de consumo serán referidos al consumo por día.

Aunque en menor medida, el funcionamiento de una instalación solar se puede ver afectado por el perfil de consumo de ACS. La influencia del perfil diario es generalmente baja en las prestaciones de una instalación solar si bien a medida que se considera el perfil semanal, mensual o anual esta influencia puede aumentar considerablemente.

### **Temperatura de uso del agua caliente**

Consideraremos una temperatura de uso de ACS de **45°C**, que es la considerada en la citada Norma UNE 94002, siendo esta razonable al tener un valor relacionado con la temperatura de uso de agua caliente sanitaria.

### **Temperatura de entrada de agua fría**

En la tabla 38 podemos ver la temperatura de entrada de agua fría de la red pública de Sevilla (°C). [Datos tomados de la Norma UNE 94002:2005].

Tabla 38 - Temperatura diaria mensual de entrada del agua fría (°C)

| Lugar   | Altura de referencia | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | Media  |
|---------|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------|
| Sevilla | 12 m                 | 11  | 11  | 13  | 14  | 16  | 19  | 21  | 21  | 20  | 16  | 13  | 11  | 15.5°C |

### **Demanda de energía térmica**

Finalmente la demanda de energía térmica a lo largo del año calculada según la expresión indicada se muestra en la tabla 39, en la que también se incluyen los valores de consumo a la temperatura supuesta de medición (55°C) y a la temperatura tomada como referencia (45°C), así como el total de las demandas térmicas: energía proveniente directamente de consumo de ACS ( $D_{ACS}$ ), pérdidas en el circuito de distribución ('Pérdidas', resultados del apartado 4.2.3), también tabuladas, y la carga total de consumo de la instalación, suma de las dos anteriores ( $D_{energía}$ ). Asimismo, he diferenciado entre el consumo realizado en un día laborable y el realizado en un día de fin de semana o festivo, apareciendo por tanto tres valores de la demanda de ACS y de energía térmica: el relativo a un día laborable ( $D_{ACS} / D_{energía}$ ), el relativo a un día no laborable ( $D'_{ACS} / D'_{energía}$ ) y el promedio de ambos ( $D''_{energía}$ ).

Tabla 39 - Demanda de energía térmica a lo largo del año

|   | Ene    | Feb    | Mar    | Abr    | May    | Jun    | Jul    | Ago    | Sep    | Oct    | Nov    | Dic    | Media  |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| T <sub>af</sub> [°C]                                  | 11     | 11     | 13     | 14     | 16     | 19     | 21     | 21     | 20     | 16     | 13     | 11     | 15.50  |
| T <sub>amb</sub> [°C]                                 | 11     | 13     | 14     | 17     | 21     | 25     | 29     | 29     | 24     | 20     | 16     | 12     | 19.25  |
| ACS <sub>55</sub> [m <sup>3</sup> /día]               | 5.932  | 5.932  | 5.932  | 4      | 3      | 2.2    | 2.2    | 2.2    | 3      | 4      | 5.93   | 5.93   | 4.19   |
| ACS <sub>45</sub> [m <sup>3</sup> /día]               | 7.68   | 7.68   | 7.79   | 5.29   | 4.03   | 3.05   | 3.12   | 3.12   | 4.20   | 5.38   | 7.79   | 7.68   | 5.57   |
| ACS' <sub>55</sub> [m <sup>3</sup> /día no laborable] | 1      | 1      | 1      | 1      | 0.8    | 0.8    | 0.8    | 0.8    | 0.8    | 0.8    | 1      | 1      | 0.90   |
| Pérdidas [kWh/día]                                    | 89.49  | 89.49  | 89.49  | 49.30  | 49.30  | 49.30  | 49.30  | 49.30  | 49.30  | 49.30  | 89.49  | 89.49  | 66.05  |
| D <sub>acs</sub> [kWh/día]                            | 303.49 | 303.49 | 289.70 | 190.70 | 136.05 | 92.09  | 86.98  | 86.98  | 122.09 | 181.39 | 289.70 | 303.49 | 198.85 |
| D' <sub>acs</sub> [kWh/día no laborable]              | 51.16  | 51.16  | 48.84  | 47.67  | 36.28  | 33.49  | 31.63  | 31.63  | 32.56  | 36.28  | 48.84  | 51.16  | 41.72  |
| D'' <sub>acs</sub> [kWh/día promedio]                 | 231.40 | 231.40 | 220.88 | 149.83 | 107.54 | 75.35  | 71.16  | 71.16  | 96.51  | 139.93 | 220.88 | 231.40 | 153.95 |
| D <sub>energía</sub> [kWh/día]                        | 392.98 | 392.98 | 379.19 | 239.99 | 185.34 | 141.39 | 136.28 | 136.28 | 171.39 | 230.69 | 379.19 | 392.98 | 264.89 |
| D' <sub>energía</sub> [kWh/día no laborable]          | 140.65 | 140.65 | 138.33 | 96.97  | 85.58  | 82.79  | 80.93  | 80.93  | 81.86  | 85.58  | 138.33 | 140.65 | 107.77 |
| D'' <sub>energía</sub> [kWh/día promedio]             | 320.89 | 320.89 | 310.37 | 199.13 | 156.84 | 124.65 | 120.46 | 120.46 | 145.81 | 189.23 | 310.37 | 320.89 | 220.00 |

1. Instalación solar térmica totalmente centralizada
2. Dos instalaciones solares independientes
3. Una instalación solar para la nave de talleres y sólo instalación convencional en el edificio de oficinas
4. Instalación solar térmica centralizada para ambos edificios con acumulación distribuida en los extremos de las líneas de mayor longitud. Esta propuesta será la escogida para el dimensionamiento.

El hecho de estudiar diferentes soluciones responde a la necesidad de adaptarse al perfil de nuestra instalación, tan distribuido en el espacio y con unos consumos tan dispares en sus diversas zonas: un gran consumo centralizado en los vestuarios frente a un reducido e inconsistente consumo anual distribuido por toda la extensa red de lavabos de las oficinas.

Cuenta de este perfil tan específico dieron los resultados expuestos **inicialmente** al plantear una **instalación solar térmica totalmente centralizada**, en la que la recirculación del sistema al completo se encontraba en funcionamiento durante las 24 horas del día, 365 días al año (situación actual real de las instalaciones). Los valores de demanda térmica de energía arrojados de su estudio (**1ª propuesta**) se muestran a continuación:

Tabla 40 - Demanda mensual de energía térmica en la 1ª propuesta

|                                  | Ene    | Feb    | Mar    | Abr    | May    | Jun    | Jul    | Ago    | Sep    | Oct    | Nov    | Dic    | Media  |
|----------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| T <sub>ar</sub> [°C]             | 11     | 11     | 13     | 14     | 16     | 19     | 21     | 21     | 20     | 16     | 13     | 11     | 15.50  |
| T <sub>amb</sub> [°C]            | 11     | 13     | 14     | 17     | 21     | 25     | 29     | 29     | 24     | 20     | 16     | 12     | 19.25  |
| ACS <sub>55</sub> [m³/día]       | 5.932  | 5.932  | 5.932  | 4      | 3      | 2.2    | 2.2    | 2.2    | 3      | 4      | 5.932  | 5.932  | 4.19   |
| ACS <sub>45</sub> [m³/día]       | 7.68   | 7.68   | 7.79   | 5.29   | 4.03   | 3.05   | 3.12   | 3.12   | 4.20   | 5.38   | 7.79   | 7.68   | 5.57   |
| ACS' <sub>55</sub> [m³/día]      | 1      | 1      | 1      | 1      | 0.8    | 0.8    | 0.8    | 0.8    | 0.8    | 0.8    | 1      | 1      | 0.90   |
| Pérdidas [kWh/día]               | 274.81 | 274.81 | 274.81 | 274.81 | 274.81 | 274.81 | 274.81 | 274.81 | 274.81 | 274.81 | 274.81 | 274.81 | 274.81 |
| D <sub>acs</sub> [kWh/día]       | 303.49 | 303.49 | 289.70 | 190.70 | 136.05 | 92.09  | 86.98  | 86.98  | 122.09 | 181.39 | 289.70 | 303.49 | 198.85 |
| D' <sub>acs</sub> [kWh/día]      | 51.16  | 51.16  | 48.84  | 47.67  | 36.28  | 33.49  | 31.63  | 31.63  | 32.56  | 36.28  | 48.84  | 51.16  | 41.72  |
| D'' <sub>acs</sub> [kWh/día]     | 231.40 | 231.40 | 220.88 | 149.83 | 107.54 | 75.35  | 71.16  | 71.16  | 96.51  | 139.93 | 220.88 | 231.40 | 153.95 |
| D <sub>energía</sub> [kWh/día]   | 578.30 | 578.30 | 564.51 | 465.51 | 410.86 | 366.90 | 361.79 | 361.79 | 396.90 | 456.20 | 564.51 | 578.30 | 473.66 |
| D' <sub>energía</sub> [kWh/día]  | 325.97 | 325.97 | 323.65 | 322.48 | 311.09 | 308.30 | 306.44 | 306.44 | 307.37 | 311.09 | 323.65 | 325.97 | 316.53 |
| D'' <sub>energía</sub> [kWh/día] | 506.21 | 506.21 | 495.69 | 424.64 | 382.35 | 350.16 | 345.97 | 345.97 | 371.32 | 414.74 | 495.69 | 506.21 | 428.76 |

Como se puede comprobar, las pérdidas térmicas con respecto al gasto energético global oscilan entre el 48% durante los meses de mayor demanda térmica (diciembre-febrero) y el 76% durante los más cálidos (julio-agosto).

Más adelante, en los apartados 6.2.2 y 6.2.8, veremos las implicaciones que tiene en el diseño de la instalación solar (área de captación y volumen solar) esta demanda energética tan grande y desequilibrada, que de hecho dista mucho de cumplir los valores de las especificaciones técnicas del programa PROSOL [4].

De esta forma, **en la siguiente propuesta (2º)** se evaluó la incidencia de contar con dos instalaciones independientes entre sí, resultando una solución muy costosa de base por duplicar el número de efectivos: dos instalaciones a ejecutar, dos salas de calderas a ubicar (con las implicaciones espaciales que eso conlleva), etc.

Básicamente la intención era la de crear dos instalaciones solares para grupos de consumo muy diferentes y situados en ubicaciones muy dispares. Sobre todo se pretendía evitar el costoso transporte (en términos de pérdidas caloríficas y energéticas) de agua caliente desde la sala de acumulación hasta los vestuarios, debido a la gran longitud existente entre ambos.

**En el 3º caso**, con intenciones similares al anterior, se centraron los esfuerzos para la generación solar térmica exclusivamente en la zona de mayor y más consistente consumo a lo largo del año: los vestuarios de talleres. De esta manera se conseguiría una fracción solar superior por dos motivos:

1.- Se homogeniza el consumo a lo largo del año para la instalación solar, consiguiendo un perfil más regular como podemos observar en la figura 14, por oposición al perfil representado en la figura 7 (p.31). Esto repercute en una mayor fracción solar anual como vemos en la tabla 42, ya que las pérdidas térmicas de la instalación con respecto al valor global de consumo oscilan entre el 13 % y el 31 %, para los meses de mayor y menor demanda respectivamente, siendo estos los valores más reducidos de entre todas las propuesta mencionadas, incluida la seleccionada (propuesta 4ª).

Tabla 41 - Estimaciones de consumos por zonas en base a las mediciones realizadas

|                            |  | INVIERNO    |            | VERANO      |             |             |             |
|----------------------------|--|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                            |  | Nov-Mar     |            | Abr,Oct     | May,Sep     | Jun-Ago     |             |
| <b>A</b>                   | <b>TALLERES (lavabos + vestuarios)</b> | 3600        | 61%        | 3000        | 2000        | 1500        | 68%         |
| <b>B</b>                   | <b>TALLERES (lavabos montadores)</b>   | 300         | 5%         | 300         | 300         | 200         | 9%          |
| <b>C</b>                   | <b>GIMNASIO</b>                        | 800         | 13%        | 700         | 700         | 500         | 23%         |
| <b>D</b>                   | <b>OFICINAS (lavabos)</b>              | 1232        | 21%        | 0           | 0           | 0           | 0%          |
| <b>Total consumo solar</b> |  | <b>3900</b> | <b>66%</b> | <b>4000</b> | <b>3000</b> | <b>2200</b> | <b>100%</b> |

Los valores de consumo en el gimnasio y oficinas se satisfacen exclusivamente mediante la instalación convencional.

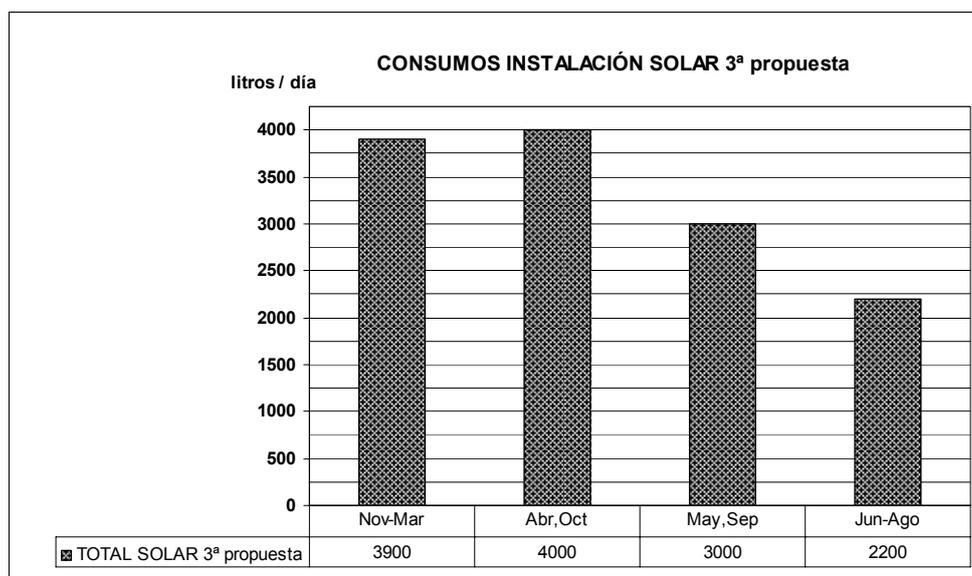


Figura 14 - Consumos para la instalación solar de la 3ª propuesta

2. Disminuyen las pérdidas térmicas en el circuito solar por ser menor la longitud de las tuberías que el ACS debería recorrer hasta los puntos de consumo. Las pérdidas de las tuberías asociadas a la instalación solar (talleres) se estimarían en: **1,6 kW = 1376 kcal/h.**

Una aproximación de los valores solares que se podrían alcanzar mediante esta propuesta es la siguiente:

Tabla 42 - Estimación del aporte solar para la 3ª propuesta

|  | Ene     | Feb     | Mar     | Abr     | May     | Jun     | Jul     |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| <b>Hc</b><br><b>[kWh/mes·m²]</b>                       | 101.37  | 123.76  | 146.63  | 155.70  | 160.27  | 155.10  | 168.64  |
| <b>D<sup>acs</sup></b><br><b>[kWh/mes]</b>             | 5614.14 | 5075.62 | 5542.05 | 5331.13 | 4442.68 | 3360.22 | 3421.07 |
| <b>Aporte solar</b><br><b>[kWh/mes]</b>                | 1844.93 | 2252.43 | 2668.67 | 2833.74 | 2916.91 | 2822.82 | 3069.25 |
| <b>Aporte del sistema de apoyo</b><br><b>[kWh/mes]</b> | 3769.20 | 2823.19 | 2873.38 | 2497.39 | 1525.77 | 537.40  | 351.82  |
| <b>Fracción solar [%]</b>                              | 32.86%  | 44.38%  | 48.15%  | 53.15%  | 65.66%  | 84.01%  | 89.72%  |

|  | Ago            | Sep     | Oct     | Nov     | Dic     | Total año       |
|--|----------------|---------|---------|---------|---------|-----------------|
| <b>Hc</b><br><b>[kWh/mes·m²]</b>                       | <b>179.18</b>  | 165.00  | 142.29  | 118.20  | 101.37  | <b>1717.51</b>  |
| <b>D<sup>acs</sup></b><br><b>[kWh/mes]</b>             | <b>3421.07</b> | 3950.91 | 5540.11 | 5322.15 | 5169.03 | <b>56190.17</b> |
| <b>Aporte solar</b><br><b>[kWh/mes]</b>                | <b>3261.08</b> | 3003.00 | 2589.68 | 2151.24 | 1844.93 | <b>31258.68</b> |
| <b>Aporte del sistema de apoyo</b><br><b>[kWh/mes]</b> | <b>159.99</b>  | 947.91  | 2950.43 | 3170.91 | 3324.09 | <b>24931.49</b> |
| <b>Fracción solar [%]</b>                              | <b>95.32%</b>  | 76.01%  | 46.74%  | 40.42%  | 35.69%  | <b>55.63%</b>   |

Más adelante, en el apartado 6.2.8, podremos comparar estos resultados con los obtenidos mediante la instalación escogida (4ª propuesta).

No obstante, la propuesta quedó desestimada por razones similares a las planteadas en la 2ª, ya que tal remodelación en unas instalaciones existentes supone una inversión económica que no se ve justificada por los ahorros energéticos que implicaría. Sólo habiendo sido diseñada de tal manera en su fase de creación, es decir, desde un planteamiento inicial de las instalaciones, podría haber sido factible.

## 6.2.2 Dimensionado del campo de captadores y del volumen de acumulación

El tamaño del campo de captadores desempeña un papel primordial para el dimensionado de los demás componentes del sistema y por lo tanto ha de efectuarse con sumo cuidado. Por lo general, su propósito consiste en conseguir costes para el calor solar lo más bajos posibles.

Para intentar cubrir el 100% de la demanda (**fracción solar = FS = 1**) escojo el mes estival de menor demanda térmica y mayor irradiación diaria media: **agosto**. Podemos ver los valores de irradiación media diaria de Sevilla, para una inclinación de los captadores de 50°, con orientación **SUR** (ver apartado 6.2.5 para explicaciones relativas a inclinación y orientación de los captadores) en la tabla 43.

Tabla 43 - Valores de irradiación diaria media de Sevilla para una inclinación de los captadores de 50°, con orientación 10° SO

|  | Ene  | Feb  | Mar  | Abr  | May  | Jun  | Jul  | Ago         | Sep | Oct  | Nov  | Dic  | Media |
|--|------|------|------|------|------|------|------|-------------|-----|------|------|------|-------|
| <b>H<sub>G</sub> (50°) [kWh/m<sup>2</sup>-día]</b> | 3.27 | 4.42 | 4.73 | 5.19 | 5.17 | 5.17 | 5.44 | <b>5.78</b> | 5.5 | 4.59 | 3.94 | 3.27 | 4.71  |

Esto es (irradiación diaria media del mes de agosto): **H<sub>G</sub> = 5,78 kWh/m<sup>2</sup>-día**

Por otra parte, si una instalación solar se ubica en un edificio como en nuestro caso, en el que en algunos días de la semana no hay consumo (fines de semana o festivos hay un consumo muy reducido con respecto a los días laborables), se recomienda que el consumo semanal se distribuya uniformemente entre los siete días y que se utilice este teórico consumo medio diario como valor de diseño. De este modo, la disminución en el rendimiento medio anual en comparación con el sistema de consumo constante queda parcialmente compensado. El volumen específico del acumulador debería establecerse en unos **70 l/m<sup>2</sup>**. [3]

En base a esta afirmación utilizaré como valor de diseño en el dimensionado el relativo a la demanda de energía térmica promedio (tabla 39):

$$D''_{\text{energía}} (\text{agosto}) = 120.46 \text{ kWh/día}$$

Considerando un rendimiento del 35 % para la instalación, se obtiene como resultado el siguiente valor para el área de captación:

$$A = \frac{D''_{\text{energía}} \cdot FS}{H_G \cdot 0,35} = 59.50 \text{ m}^2$$

Al objeto de las especificaciones técnicas del programa PROSOL [4] los valores anteriores, así como el volumen de acumulación deberán estar comprendidos entre los siguientes valores:

$$60 \leq (ACS_{45}/A) \leq 100 \Rightarrow 31.17 \leq A \leq 51.94$$

$$0.8 \leq (ACS_{45}/V) \leq 1.2 \Rightarrow 2493 \leq V \leq 3734$$

$$50 \leq (V/A) \leq 120 \Rightarrow 2600 \leq V \leq 6240$$

Por lo que tomaremos un área y un volumen de acumulación solar:

|                             |
|-----------------------------|
| <b>A = 52 m<sup>2</sup></b> |
| <b>V = 3600 l</b>           |

Dimensionando con la carga de consumo contenida en las propuestas anteriores (propuestas 1,2 y 3 mostradas en p.71) resultarían valores muy superiores del área de captación, de manera que teniendo que ajustarse en todo caso a las anteriores especificaciones, al reducirlo a 52 m<sup>2</sup> se incurre en unas fracciones solares mucho menores y muy inferiores al 100% en el mes de agosto, mes escogido para el dimensionamiento. Apreciaremos estos resultados en el apartado 6.2.8 comparando el aporte solar de las anteriores propuestas con el resultante de la instalación escogida.

### 6.2.3 Selección de la configuración básica

Al ser una instalación de tamaño grande (área de captación mayor de 50 m<sup>2</sup>) se recomienda una configuración con circulación forzada e intercambiador de calor independiente. Según la clasificación del programa PROSOL [4], éste se corresponde con la configuración nº 5. Podemos apreciar dicha configuración en la figura 15:

El acumulador del sistema convencional se coloca detrás del acumulador Solar y, por lo tanto, puede seguir utilizándose sin modificación alguna. Tales sistemas poseen

un diseño sencillo, son fáciles de reequipar y, además, se puede confiar en su buen funcionamiento.

En una instalación según el esquema representado en la figura 15, los captadores calientan primero el fluido del circuito primario. Tras haberse alcanzado una diferencia de temperaturas suficiente entre dicho circuito y la parte inferior del acumulador solar, se conecta la bomba de carga en el circuito secundario y el acumulador de agua sanitaria se calienta a través del intercambiador de calor externo. Si el calentamiento del agua sanitaria por energía solar no es suficiente para alcanzar la temperatura de consigna, se efectúa el calentamiento del acumulador del sistema convencional automáticamente por medio de la caldera [3].

En el anejo A.2.1 podemos ver el esquema de principio desarrollado a tal efecto.

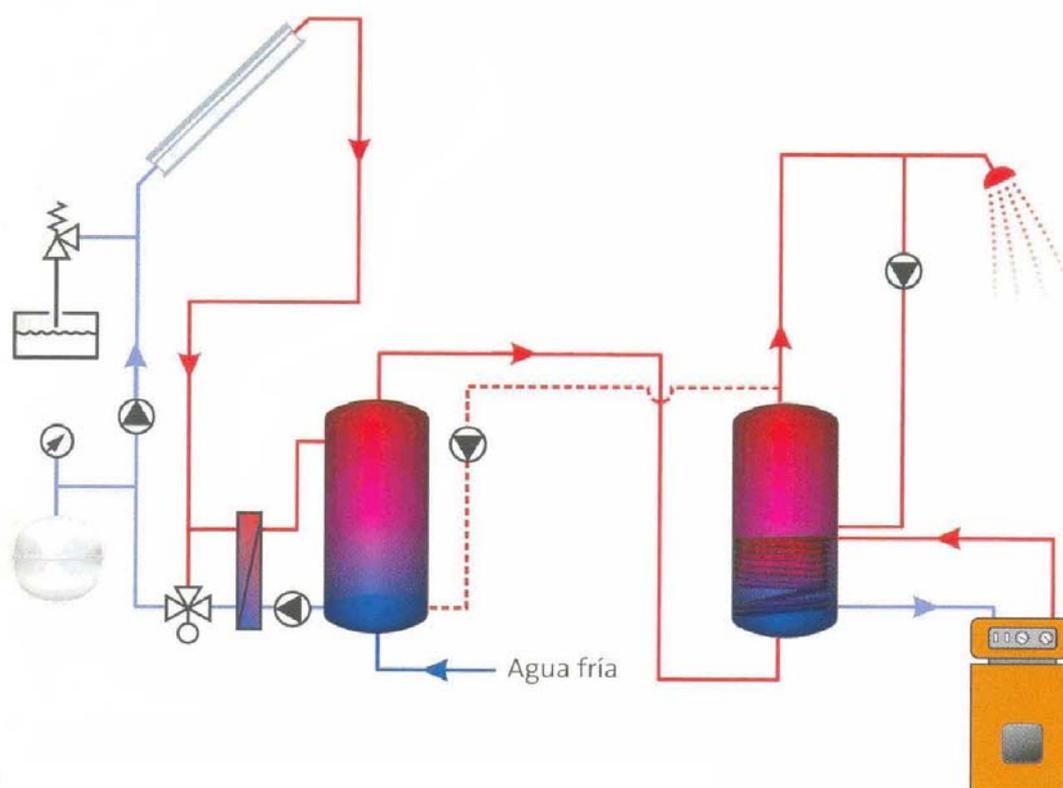


Figura 15 - Configuración solar básica

### **Requisitos de higiene de agua sanitaria: prevención de la legionelosis**

La "legionela" (*Legionella Pneumophilla*) es una bacteria que está presente en pequeñas cantidades por toda el agua y que puede llegar a reproducirse velozmente en

el agua caliente si se dan temperaturas favorables de, aproximadamente, 35°C. Aunque estas bacterias no constituyen ningún riesgo para el ser humano en el sistema gastrointestinal, pueden introducirse en los pulmones al inhalarse en gotas diminutas (aerosol), por ejemplo durante la ducha, y suelen provocar síntomas clínicos parecidos a la pulmonía, que incluso pueden ser letales [3].

Las temperaturas de 30°C a 45°C suelen presentarse con frecuencia en los acumuladores solares, por lo que se deberá prestar especial atención al cumplimiento de las medidas que propicien la calidad higiénica del agua.

La normativa vigente relacionada con la prevención de la legionelosis [RD 865/2003] establece una serie de consideraciones:

- La temperatura de acumulación de los depósitos (previos al consumo) será de 60°C.
- Mantener la temperatura del ACS en el punto más alejado del circuito por encima de 50°C.
- El sistema deberá ser capaz de alcanzar la temperatura de 70°C para la desinfección del agua de acumulación.

Con vistas a cumplir las citadas exigencias, se dispone una conexión, normalmente cerrada, entre el sistema de energía auxiliar y el depósito de acumulación solar, con vistas a caldear dicho volumen cuando no sea posible alcanzar las temperaturas citadas para el consumo o para su desinfección periódica.

Es importante señalar que esto es una medida puntualmente necesaria para satisfacer la exigencia de higiene en el volumen de acumulación, pero que NUNCA EN CONDICIONES NORMALES DE UTILIZACIÓN debe ser calentado el volumen de acumulación solar por el sistema de energía auxiliar (apartado 3.3.3.1 del DB-HE 4 del CTE).

#### **6.2.4 Diseño del sistema de acumulación**

El volumen de acumulación resultante de los cálculos realizados en el apartado 6.2.2 es de **3600 l**, por lo que considerando la fracción de la demanda que cubren los depósitos nodriza distribuidos en los extremos de las líneas más largas: 750 l (ver apartado 5.2.1), será suficiente disponer de un volumen adicional de 3000 l, con lo que el volumen total de acumulación solar ascendería a **3750 l**.

Para ello hay espacio disponible en la planta sótano justo bajo la sala de calderas (ver plano “Oficinas planta sótano” en el anejo A.1.4) y subiendo por el cajón técnico situado a su lado, por lo que lo ideal sería disponer de **un único acumulador de 3000 l, en posición vertical**.

Las conexiones de las tuberías se realizarán tal y como se muestra en el esquema de principio (anejo A.2.1), por lo que el depósito solar deberá tener como mínimo las conexiones necesarias indicadas en el mismo. Dichas conexiones evitarán caminos preferentes de circulación del fluido, siendo (apartado 3.3.3.2 del DB-HE 4 del CTE):

- La conexión de entrada de agua caliente procedente del intercambiador al acumulador se realizará, preferentemente a una altura comprendida entre el 50% y el 75% de la altura total del mismo.
- La conexión de salida de agua fría del acumulador hacia el intercambiador se realizará por la parte inferior de este.
- La conexión de retorno de consumo al acumulador y agua fría de red se realizarán por la parte inferior.
- La extracción de agua caliente del acumulador se realizará por la parte superior.

Las dimensiones externas de un depósito acumulador ESCOSOL DAB V 3000 PW de 3000 l son 1350 mm de diámetro y 2919 mm de altura.

### **6.2.5 Ubicación, orientación e inclinación de los captadores**

Al seleccionar la ubicación del campo de captadores hay que tener en cuenta no sólo la orientación y la inclinación del captador (ángulos de azimut e inclinación) óptimos, sino también los aspectos arquitectónicos, visuales y de montaje [3].

La cubierta está formada por paneles grecados tipo sándwich de chapa de acero lacada y con núcleo de poliuretano. En los planos del anejo A.2.3 podemos observar el perfil de uno de los pórticos que la sustentan, espaciados cada 5 metros, en el que se aprecia una ligera curvatura desde la cumbre hacia los faldones en la que el máximo ángulo de inclinación no llega a sobrepasar los 10°.

También en el anejo A.2.3 podemos ver un plano del forjado de la cubierta.

Por otra parte, la orientación del eje longitudinal de la cubierta es de unos 10° hacia el Sudoeste.

Asimismo, al haber una gran cantidad de espacio libre sobre la misma (ver planos del anejo A.2.6), podemos disponer las baterías de captadores sin que ningún obstáculo pueda producir sombras sobre la instalación y dejando un margen de unos 1,5 m alrededor de todo su perímetro, con el fin de facilitar el acceso para mantenimiento y reparación. Sólo habrá que cuidarse de disponerlo suficientemente alejados de las tolvas de ventilación de la cabina de pintura, que miden 2 m de altura, pero que quedarían totalmente a espaldas de la instalación (ver plano de la cubierta en el anejo A.2.4). En ese caso, habrá que tener en cuenta que la distancia entre la primera fila de captadores y dichos obstáculos sea superior al valor obtenido por la expresión:

$$D = 1.732 \cdot h = \mathbf{3.464 \text{ m}}$$

Se colocan a 5,5 m de las tolvas de ventilación de la cabina de pintura.

Aunque lo ideal sería colocar las baterías de captadores en la vertical de la sala de acumuladores y orientadas totalmente hacia el sur, por razones de facilidad de montaje e integración en la cubierta se escogerá la cumbrera como mejor ubicación, única zona casi horizontal, y orientados 10° hacia el sudoeste, como podemos apreciar en el plano del anejo A.2.6. En el programa Prosol se permite una desviación de la orientación óptima de 45° [4].

Por otra parte, para obtener un buen rendimiento medio anual produciéndose la mayor demanda energética durante los meses fríos, resulta conveniente escoger una inclinación de los captadores unos 10° superior a la latitud en la que nos encontremos, esto es 37.4° de latitud norte en Sevilla y por tanto se escogería una **inclinación de 50°**, siendo los datos de irradiación media diaria los mostrados en la tabla 43 (p.75).

## 6.2.6 Selección de captadores y conexionado

Se seleccionan colectores solares planos ESCOSOL 2300, con las siguientes características:

Tabla 44 - Características captador solar plano ESCOSOL 2300

| Dimensiones [mm]  | Sup. bruta [m <sup>2</sup> ] | Sup. útil [m <sup>2</sup> ] | Peso [kg] | Capacidad [l] | Presión fto [bar] | Rto óptico | Coef. Pérdidas función lineal [W/m <sup>2</sup> /°C] |
|-------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------|---------------|-------------------|------------|--|
| 1905 x 1218 x 107 | 2.32                         | 2.13                        | 41        | 1.6           | 6                 | 0.71       | 6.54   |

De esta forma, con **24 captadores solares** obtenemos un área total de **51.12 m<sup>2</sup>**.

Es recomendable no superar una pérdida de carga de 0.3 bar en una instalación de unos 50 m<sup>2</sup> [3], y asimismo la conexión entre sí de los captadores debe asegurar el equilibrado hidráulico. De tal forma, parece una buena configuración si los agrupamos en baterías de 8 captadores conectados en paralelo, colocando así después esos 3 grupos resultantes de nuevo en paralelo, con retorno invertido (apartado 3.3.2.2 del DB-HE 4 del CTE).

Observamos esa configuración en el anejo A.2.5. Cabe resaltar que de la manera mencionada el conexionado en paralelo garantiza un caudal total de circulación suma de los que circulan por cada batería y pérdidas de carga en captadores que se corresponden a las de un captador, por lo que cualquier camino seguido por una partícula fluida a través uno de los captadores, presentará la misma pérdida de carga.

Con respecto a su distribución, según lo descrito en las especificaciones del programa Prosol [4], la distancia entre comienzos de filas de captadores que estén al mismo nivel no será inferior a la obtenida por la expresión:

$$d = K \cdot h$$

Siendo:  $h$  = altura del captador

$K$  = un coeficiente obtenido de la tabla 45

Tabla 45 - Coeficiente k para la distancia entre filas de captadores al mismo nivel

| Inclinación     | 20°   | 25°   | 30°   | 35°   | 40°   | 45°   | 50°   | 55°   |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Coeficiente $K$ | 1.532 | 1.638 | 1.732 | 1.813 | 1.879 | 1.932 | 1.970 | 1.992 |

Por tanto: **d = 3.75 m**

### 6.2.7 Diseño del sistema de intercambio

Para realizar el intercambio de energía entre los captadores y el sistema de acumulación solar (circuito primario), será necesario disponer de un intercambiador de placas cuya potencia de diseño debe verificar, según las especificaciones del programa Prosol [4]:

$$P \geq 500 \cdot S \text{ (m}^2\text{)}$$

Y por tanto: **P ≥ 25560 W = 21983 kcal/h**

Se utilizará un intercambiador con placas desmontables y de baja turbulencia, con el objeto de crear la menor pérdida de carga en la instalación.

Se recomienda sobredimensionar en potencia y reducir la pérdida de carga (como máximo 3 mca). Con estos criterios, el modelo escogido es: **Escosol M3FM20**, cuyos datos de muestran al final del apartado 6.2.11.

También en el programa Prosol se incluyen las siguientes restricciones:

- La pérdida de carga en el intercambiador no será superior a 3 mca, ni en el primario ni en el secundario.
- Los caudales de diseño de los circuitos primario y secundario no diferirán en más de un 10%. En ningún caso el caudal del secundario será superior al del primario.
- El intercambiador se diseñará de tal forma que con la temperatura de entrada del primario de 50°C la temperatura de salida del secundario no será inferior a 45°C.

### 6.2.8 Aporte solar de la instalación

Se realiza una primera evaluación de las prestaciones energéticas con los siguientes valores:

- Área de captación: 51.12 m<sup>2</sup>
- Volumen de acumulación: 3750 l
- Orientación de los captadores: 10° SO
- Inclinación de los captadores: 50°

Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla, siendo el aporte solar la cantidad de energía que la instalación solar aporta a la demanda total de energía térmica y la fracción solar el cociente entre el aporte solar y la demanda de energía térmica:

Tabla 46 - Aporte solar de la instalación

|   | Ene     | Feb     | Mar     | Abr     | May     | Jun     | Jul     |
|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| <b>Hc</b><br>[kWh/mes·m <sup>2</sup> ]          | 101.37  | 123.76  | 146.63  | 155.70  | 160.27  | 155.10  | 168.64  |
| <b>D<sup>acs</sup></b><br>[kWh/mes]             | 9631.04 | 8707.14 | 9558.94 | 5623.81 | 4745.12 | 3652.90 | 3723.50 |
| <b>Aporte solar</b><br>[kWh/mes]                | 1813.71 | 2214.31 | 2623.50 | 2785.78 | 2867.55 | 2775.05 | 3017.31 |
| <b>Aporte del sistema de apoyo</b><br>[kWh/mes] | 7817.32 | 6492.83 | 6935.44 | 2838.02 | 1877.57 | 877.85  | 706.19  |
| <b>Fracción solar [%]</b>                       | 18.83%  | 25.43%  | 27.45%  | 49.54%  | 60.43%  | 75.97%  | 81.03%  |

|   | Ago            | Sep     | Oct     | Nov     | Dic     | Total año       |
|---|----------------|---------|---------|---------|---------|-----------------|
| <b>Hc</b><br>[kWh/mes·m <sup>2</sup> ]          | <b>179.18</b>  | 165.00  | 142.29  | 118.20  | 101.37  | <b>1717.51</b>  |
| <b>D<sup>acs</sup></b><br>[kWh/mes]             | <b>3723.50</b> | 4243.59 | 5842.55 | 9180.66 | 8874.04 | <b>77506.78</b> |
| <b>Aporte solar</b><br>[kWh/mes]                | <b>3205.89</b> | 2952.18 | 2545.85 | 2114.83 | 1813.71 | <b>30729.69</b> |
| <b>Aporte del sistema de apoyo</b><br>[kWh/mes] | <b>517.61</b>  | 1291.41 | 3296.69 | 7065.83 | 7060.33 | <b>46777.09</b> |
| <b>Fracción solar [%]</b>                       | <b>86.10%</b>  | 69.57%  | 43.57%  | 23.04%  | 20.44%  | <b>39.65%</b>   |

Para calcular D<sup>acs</sup> se han considerado los días no laborables por mes (fines de semana y festivos) contabilizados en la tabla 14.

Se puede ver una representación de la anterior tabla 46 en la siguiente figura:

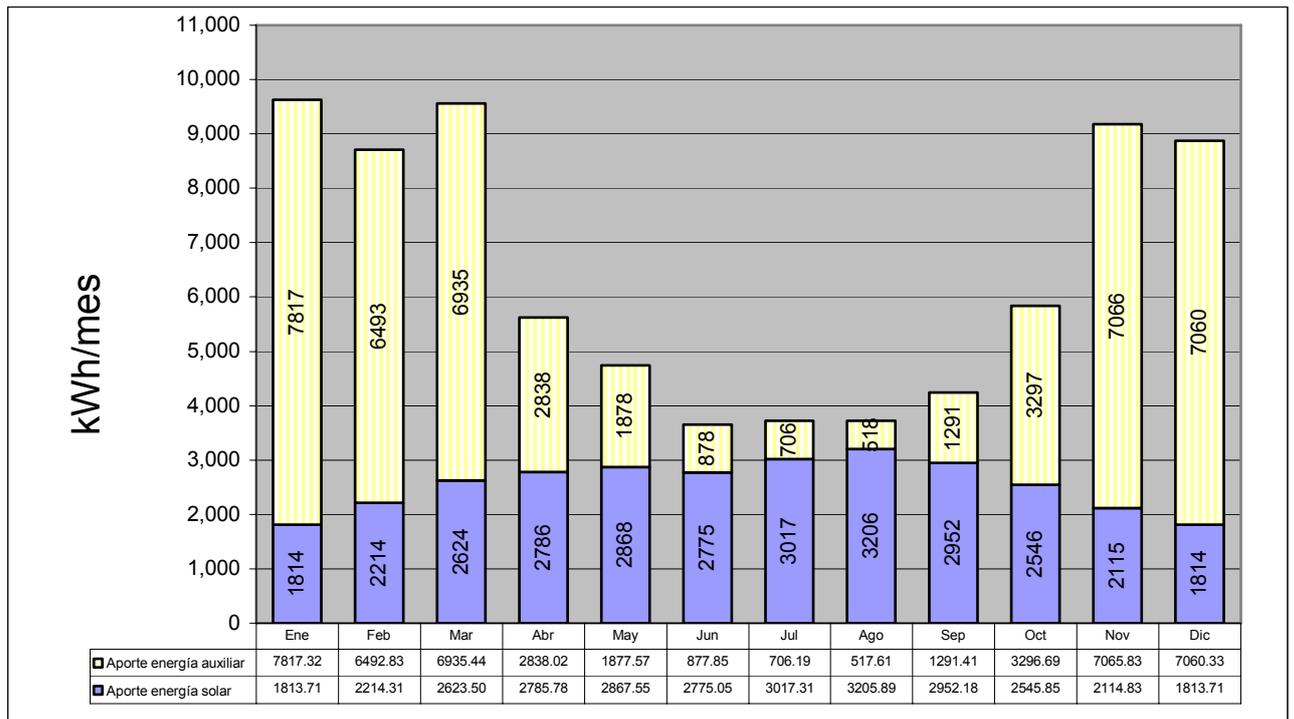


Figura 16 - Aporte energético anual

Las pérdidas caloríficas con respecto al gasto global oscilan entre el 27,7 % durante los meses de diciembre a febrero (meses de mayor consumo, aunque aumentan las pérdidas consideradas) y el 40,9 % para los de julio y agosto (meses de menor consumo, aunque de menores pérdidas).

### 6.2.9 Diseño del sistema de energía auxiliar

En principio, parece lógico aprovechar las instalaciones existentes como sistema de energía auxiliar o de apoyo.

Se procede a justificar su potencia (26200 kcal/h) para las necesidades estimadas. Escogemos el periodo más desfavorable: invierno.

#### Consumo

- Consumo total diario: 5932 l
- Consumo punta: considerando la punta de consumo producida en las duchas de los vestuarios de talleres y del gimnasio simultáneamente:
  - Duración punta de consumo: 0,3 horas.
  - Consumo en duchas de talleres: 1200 l.

- Consumo en duchas de gimnasio: 400 l.
- Lavabos: 100 l.

=> TOTAL: 1700 l.

### **Parámetros de cálculo**

- Pérdida calorífica en red de distribución: 9848 kcal/h
- Disminución media temperatura red de distribución: 3°C
- Temperatura media suministro de agua: 60°C
- Temperatura de acumulación de agua: 60°C + 3°C = 63°C
- Temperatura de agua fría: 10°C
- Temperatura de utilización: 38°C
- Temperatura de circuito primario: 90°C – 75°C
- Duración consumo diario: 24 horas
- Duración periodo punta: 0,3 horas

### **Consumo calorífico medio diario**

- Por consumo de agua:  $\frac{5932l \times (40^{\circ}\text{C} - 10^{\circ}\text{C})}{24 \text{ horas}} = 7415 \text{ kcal/h}$
- Por pérdidas en red de distribución: 9848 kcal/h

=> Demanda media total: 7415 + 9848 = **17263 kcal/h**

Por lo que resulta suficiente la potencia calorífica de la caldera existente: 26200 kcal/h.

### **Consumo calorífico punta**

- Por consumo de agua: 1700 l x (40°C-10°C) = 51000 kcal (en 0,3 horas)
- Por pérdida en la instalación: 0,3 h x (9848 kcal/h) = 2954,4 kcal (en 0,3 horas)
- Sobre consumo calorífico en periodo punta: 51000 kcal – (26200 kcal/h x 0,3 h) = 43140 kcal

### **Capacidad de acumulación precisa**

- Temperatura máxima de acumulación: 63°C
- Temperatura mínima salida depósitos: 40°C + 3°C = 43°C
- Coeficiente de estratificación: 0.75
- Volumen total depósitos:  $(\frac{43140 \text{ kcal}}{63^{\circ}\text{C} - 43^{\circ}\text{C}}) \times 0.7 = \mathbf{1510 \text{ l.}}$

Significa esto que se puede prescindir de dos de los 3 depósitos existentes de 1000 l cada uno, ya que si se cuenta con los 750 l que suman los 3 depósitos distribuidos, conectados mediante el retorno al depósito de energía auxiliar, resultan cubiertas las necesidades de ACS.

Así, los 2 depósitos restantes, que según la configuración existente pueden ser aislados completamente, quedarían como reserva para futuras necesidades de ampliación o por mantenimiento del depósito utilizado.

Por otra parte, con objeto de no interferir con el funcionamiento de la instalación solar, la recirculación debe realizarse sobre el acumulador auxiliar cuando el sistema de apoyo está en activo. Cuando el sistema de apoyo se encuentra inoperativo (periodo estival, etc.) la recirculación puede realizarse sobre el acumulador solar, aprovechándose además todo excedente de radiación solar. En este caso se recomienda tomar medidas encaminadas a evitar la ruptura de estratificación en el acumulador [2]. A este objeto, será suficiente con situar la entrada de la recirculación a media altura del acumulador solar.

Asimismo, el sistema solar se conectará con el sistema auxiliar EN SERIE, consiguiendo que el agua destinada al consumo sea calentada inicialmente por la instalación solar y, en caso de que sea necesario, en segundo lugar es el sistema de apoyo el que se encarga de realizar el calentamiento final hasta la temperatura deseada. Para evitar que cuando está suficientemente caliente, el agua calentada exclusivamente por la instalación solar deba pasar por el sistema de apoyo, se recomienda disponer de una tubería (denominada by-pass) que permita el conexionado directo entre la instalación solar y el circuito de consumo sin necesidad de pasar a través del sistema de apoyo. Adicionalmente, por diversos motivos también interesa tener la posibilidad de relajar la conexión entre la instalación solar y el sistema de apoyo en paralelo. De esta forma, en la siguiente figura podemos observar los tres tipos de conexionado:

- Posición TODO SOLAR: conexión serie con by pass.
- Posición SOLAR - APOYO: conexión serie.
- Posición TODO APOYO: conexión paralelo.

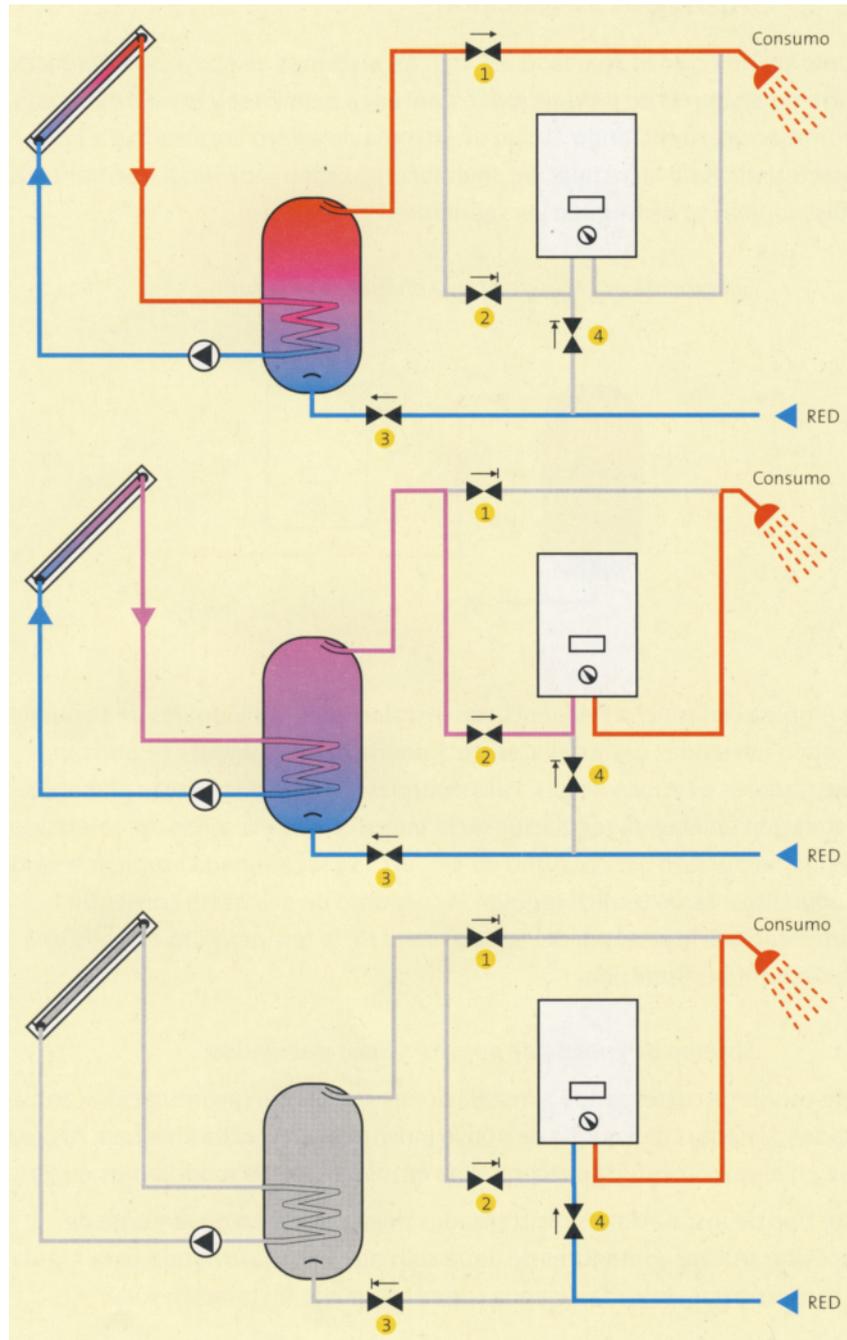


Figura 17 - Configuraciones en el conexionado entre la instalación solar y el sistema de apoyo

### 6.2.10 Diseño de sistema de enfriamiento parcial baja demanda energética

Según la norma UNE-EN 12828 y las indicaciones del Código Técnico de la Edificación, HE 4 apartado 3.2.2.3.1 Protección contra sobrecalentamientos “se deben dotar a las instalaciones solares de dispositivos de control manuales o automáticos que eviten los sobrecalentamientos de la instalación (...).”

Tras analizar el uso de la instalación en verano se comprobó que efectivamente dicho consumo se reducía bastante con respecto al resto del año. Como ya se comentó, esto es debido a una menor necesidad de utilización de agua caliente cuando la temperatura ambiente es tan elevada, unido al hecho de que este periodo coincide con el de vacaciones de una parte de la plantilla de trabajadores.

Por las razones anteriores y por las ventajas que se citan a continuación, se escoge un *sistema exclusivo de disipación sin componentes eléctricos* encargado de disipar el exceso de calor generado por la baja demanda de ACS o por falta de suministro eléctrico. Dichas ventajas pueden ser:

- Prolonga la vida de las instalaciones.
- Elimina las intervenciones por mantenimiento preventivo.
- Reduce las presiones.

Su funcionamiento en épocas de gran aportación de energía solar y baja demanda se muestra en la siguiente figura 18:

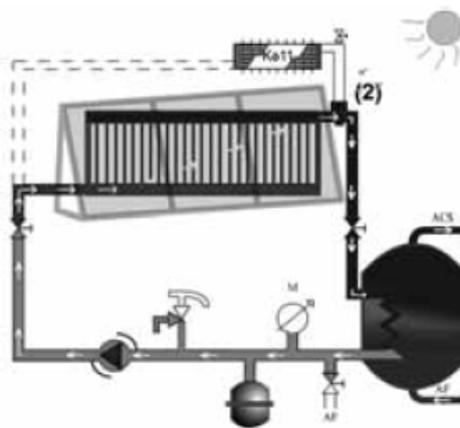


Figura 18 - Enfriamiento parcial baja demanda energética

Cuando la temperatura de salida de los colectores alcanza los 90°C, quedan abiertas, parcialmente, las tres vías de la válvula (2). La consecuencia es un enfriamiento parcial. La válvula de 3 vías mezcla ambos flujos antes de ir a la instalación.

Por otra parte, en caso de paro de la bomba de circulación el funcionamiento quedaría esquematizado en la figura 19: sin circulación forzada, se establece otra por gravedad. Ahora, la apertura de la válvula (2) provocará una circulación por

termosifón, en sentido contrario a la situación anterior. El intercambiador disipará todo el calor generado por encima del límite de temperatura establecido, 90°C.

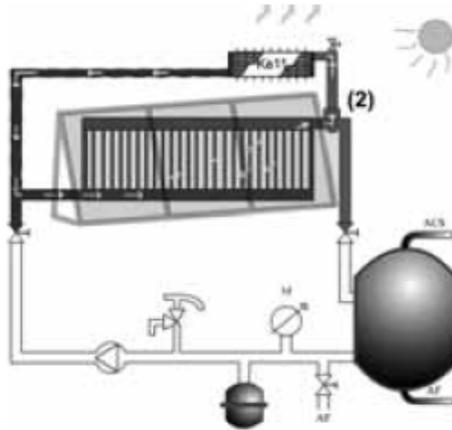


Figura 19 - Enfriamiento de seguridad total por paro de la bomba

Un ejemplo de selección válido sería la instalación de una unidad tipo ESCOSOL DISIP 6 S 4000 W por cada 6 colectores, es decir, 4 unidades.

Se propone estudiar la mejor oferta según la disposición de nuestros captadores.

### 6.2.11 Diseño del circuito primario. Caudales de circulación y pérdidas de carga

Según el apartado 3.2.2 del DB-HE 4 del CTE, no se admitirá la presencia de componentes de acero galvanizado.

En cuanto al caudal de circulación seleccionado, deberá de [2]:

- Permitir realizar un transporte adecuado de la energía térmica desde los captadores solares hasta el acumulador solar
- Ser suficientemente grande para conseguir enfriar el captador (temperaturas bajas en el absorbedor llevan a mejores rendimientos en el captador)
- Ser suficientemente bajo para que se puedan conseguir saltos de temperatura apreciables en el captador

Los rangos de caudales para sistemas de flujo normal o alto, como el nuestro ya que nos encontramos en una zona de gran irradiación solar, oscilan entre 40 y 60 l/(h·m<sup>2</sup>). Se utilizará un caudal de diseño unitario de 50 l/(h·m<sup>2</sup>), lo que para la configuración de captadores que se tienen se traduce en un caudal de diseño para la instalación:

$$Q = 2556 \text{ l/h}$$

Con este valor y teniendo en cuenta la disposición del sistema de captadores definida en el apartado 6.2.6 y representada en el plano del anejo A.2.5, calculamos la pérdida de carga en tuberías, captadores, accesorios e intercambiador de calor con el objeto de seleccionar las características de la bomba de circulación en el siguiente apartado. Según lo explicado en dicho apartado 6.2.6, al movimiento de una partícula fluida se opondrá con la misma pérdida de carga cualquiera de los posibles recorridos que pasan por cualquiera de los captadores. Es decir, al estar conectados en paralelo con retorno invertido todos los posibles caminos son igual de desfavorables, escogiendo uno cualquiera de ellos para dimensionar la bomba.

También apoyándonos en las consideraciones del apartado 6.2.6, se fija el caudal del circuito secundario, que estará comprendido entre 2300 l/h y 2556 l/h ya que “los caudales de diseño de los circuitos primario y secundario no diferirán en más de un 10% y en ningún caso el caudal del secundario será superior al del primario” [4].

### **Pérdida de carga en accesorios**

En el recorrido del circuito primario nos encontramos los siguientes accesorios: válvulas de retención, válvulas de corte, codos de 90°, Tes, válvulas de seguridad, purgadores. De entre los citados, los 4 primeros han de ser estudiados a continuación ya que provocan pérdidas de carga.

Dicha pérdida de carga se puede calcular según el *método de las longitudes equivalentes*, que expresa una longitud equivalente al accesorio según su diámetro y tipo. Se muestra a continuación en la tabla 47:

Tabla 47 – Longitudes equivalentes (m)

| <b>Diámetro</b> | <b>Válvula retención</b> | <b>Codo 90°</b> | <b>T</b> | <b>Válvula esfera</b> |
|-----------------|--------------------------|-----------------|----------|-----------------------|
| 12x1            | 1.2                      | 0.37            | 0.53     | 0.15                  |
| 15x1            | 1.5                      | 0.42            | 0.6      | 0.18                  |
| 18x1            | 1.8                      | 0.48            | 0.67     | 0.21                  |
| 22x1            | 2.4                      | 0.61            | 0.9      | 0.27                  |
| 28x1            | 3.6                      | 0.79            | 1.1      | 0.3                   |
| 35x1.5          | 4.2                      | 1.0             | 1.52     | 0.46                  |

En la siguiente tabla se observan los accesorios de la instalación y la pérdida de carga que se produce para uno de los tramos posibles a recorrer:

Tabla 48 - Longitud equivalente de los distintos accesorios de la instalación

| Tramo        | Válvula retención nº | Codo 90° nº | Tes nº | Válvula esfera nº | TOTAL (m)     |
|--------------|----------------------|-------------|--------|-------------------|---------------|
| 0-1          |                      | 1.0 4       | 1.5 1  |                   | 5.52          |
| 6-S          |                      | 1.0 2       | 1.5 1  |                   | 3.52          |
| 4-5          |                      | 0.61 1      | 0.9 1  | 0.27 1            | 1.78          |
| 5-6          |                      |             | 1.1 1  |                   | 1.1           |
| 1a           |                      |             | 0.9 1  | 0.27 1            | 1.17          |
| ab           |                      |             | 0.9 1  |                   | 0.9           |
| bc           |                      |             | 0.9 1  |                   | 0.9           |
| cd           |                      |             | 0.9 1  |                   | 0.9           |
| de           |                      |             | 0.9 1  |                   | 0.9           |
| ef           |                      |             | 0.6 1  |                   | 0.6           |
| fg           |                      |             | 0.6 1  |                   | 0.6           |
| g4           |                      | 0.37 3      |        |                   | 1.11          |
| columna AF   | 4.2 1                | 1.0 3       | 1.5 1  | 0.46 2            | 9.64          |
| columna AC   |                      | 1.0 1       | 1.5    | 0.46 1            | 1.46          |
| <b>TOTAL</b> |                      |             |        |                   | <b>30.1 m</b> |

### Pérdida de carga en tuberías

La pérdida de carga en las tuberías ha de mantenerse suficientemente baja con objeto de evitar potencias de bombeo demasiado grandes. De hecho no es recomendable que dicha potencia exceda del 1 por ciento de la potencia calorífica máxima que puedan suministrar los captadores solares. Esta potencia calorífica máxima se obtiene en W a partir de la expresión:

$$P_{c,max} = \eta \cdot A \cdot I_{ref} = 0.71 \cdot 51.12 \cdot 1000 = 36295 \text{ W} \Rightarrow P_{bombas} \leq 362.95 \text{ W}$$

Siendo:  $\eta$  = Rendimiento óptico del captador

$A$  = Área total de los captadores solares ( $m^2$ )

$I_{ref}$  = Irradiancia solar de referencia =  $1000 \text{ W}/m^2$

Se recomienda seguir en el proceso de selección de tuberías los siguientes criterios [2]:

- Pérdida de carga por metro lineal de tubería inferior a 40 mmca (4mbar).
- Velocidad de circulación mayor de 0.3 m/s para evitar acumulaciones de aire.
- Velocidad de circulación menor de 2 m/s con objeto de evitar ruidos molestos en la instalación.

La pérdida de carga en la tubería depende del material empleado y del flujo de trabajo. En nuestro caso utilizamos tuberías de cobre y agua como fluido. Se calcula el diámetro de cada tramo de tubería por medio del ábaco correspondiente (figura 20):

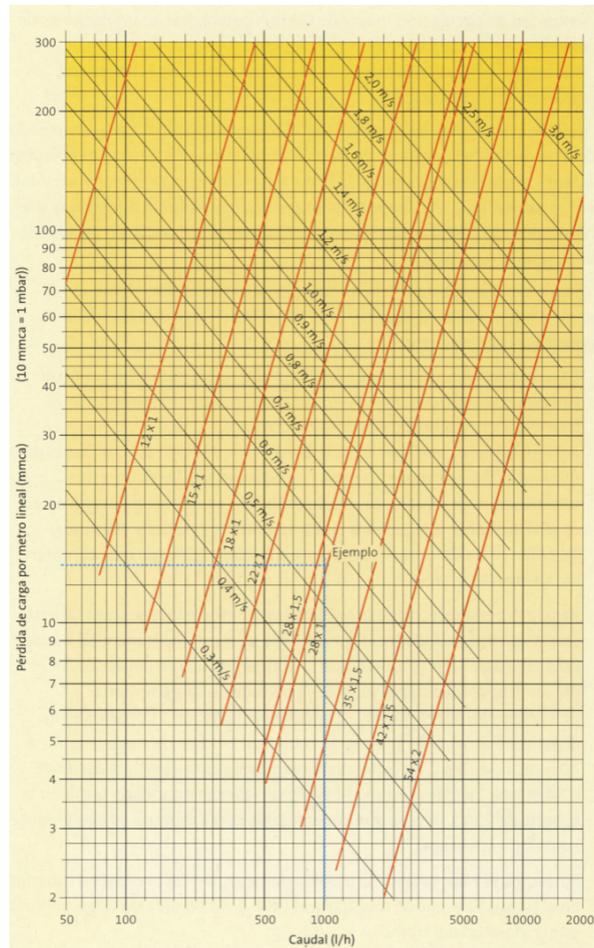


Figura 20 - Ábaco para el cálculo de la pérdida de carga en función del caudal de agua a 60°C en tuberías de cobre

Obtengo los valores de la siguiente tabla:

Tabla 49 - Características para cada tramo de tubería

| Tramo | Caudal (l/h) | Φ (mm) | Velocidad (m/s) | Longitud (m) | Longitud equivalente (m) | Longitud total (m) | ΔP <sub>unitaria</sub> (mmca/m) | ΔP <sub>TOTAL</sub> (mmca) |
|-------|--------------|--------|-----------------|--------------|--------------------------|--------------------|---------------------------------|----------------------------|
| 0-1   | 2556         | 35x1.5 | 0.78            | 29           | 5.52                     | 34.52              | 20                              | 690.40                     |
| 6-S   | 2556         | 35x1.5 | 0.78            | 6.5          | 3.52                     | 10.02              | 20                              | 200.40                     |
| 4-5   | 852          | 22x1   | 0.78            | 3.75         | 1.78                     | 5.53               | 35                              | 193.55                     |
| 5-6   | 1704         | 28x1   | 0.82            | 3.75         | 1.1                      | 4.85               | 28                              | 135.80                     |
| 1a    | 852          | 22x1   | 0.78            | 0.2          | 1.17                     | 1.37               | 35                              | 47.95                      |
| ab    | 745.5        | 22x1   | 0.67            | 1.4          | 0.9                      | 2.3                | 27                              | 62.10                      |
| bc    | 639          | 22x1   | 0.58            | 1.4          | 0.9                      | 2.3                | 22                              | 50.60                      |

|              |       |        |      |     |      |       |     |                |
|--------------|-------|--------|------|-----|------|-------|-----|----------------|
| cd           | 532.5 | 22x1   | 0.48 | 1.4 | 0.9  | 2.3   | 15  | 34.50          |
| de           | 426   | 22x1   | 0.35 | 1.4 | 0.9  | 2.3   | 8.8 | 20.24          |
| ef           | 319.5 | 15x1   | 0.58 | 1.4 | 0.6  | 2     | 35  | 70.00          |
| fg           | 213   | 15x1   | 0.39 | 1.4 | 0.6  | 2     | 18  | 36.00          |
| g4           | 106.5 | 12x1   | 0.38 | 2.4 | 1.11 | 3.51  | 23  | 80.73          |
| columna AF   | 2556  | 35x1.5 | 0.78 | 15  | 9.64 | 24.64 | 20  | 492.80         |
| columna AC   | 2556  | 35x1.5 | 0.78 | 15  | 1.46 | 16.46 | 20  | 329.20         |
| <b>TOTAL</b> | 2556  | -      | -    | 84  | 30.1 | 114.1 | -   | <b>2444.27</b> |

La pérdida de carga en tuberías es igual a **0.244 bar**.

En la anterior tabla se han incluido las longitudes equivalentes resultantes de la tabla 48, referidos a las pérdidas de carga en los accesorios para cada tramo. Esa longitud se ha considerado añadida a su longitud real para el cálculo de la pérdida de carga en cada tramo.

Dichas tuberías deberán ir aisladas tal y como se especifica en el RITE, en su Instrucción Técnica IT 1.2.4.2.1.2, según la tabla 1.2.4.2.2 y el apartado 3. El espesor de aislamiento indicado en la tabla teniendo en cuenta que se trata de tuberías con diámetros menores de 35 mm transportando fluido caliente de temperatura máxima mayor que 60°C por el exterior de edificios, resulta ser 35 mm (para conductividad térmica de 0,04 W/m·K a 10° C), debiendo ser incrementado en 5 mm según su apartado 3, al funcionar la instalación de forma continuada.

Por tanto, el **espesor de aislamiento para todas las tuberías** será: **40 mm**.

Para garantizar un buen aislamiento y una durabilidad adecuada al tipo de instalación que se está tratando, el material usado como aislante ha de presentar las siguientes características:

- Soportar temperaturas mayores de 140°C
- Buen comportamiento frente a agentes meteorológicos externos ya que será colocado a la intemperie. En concreto debe presentar buenas propiedades a lo largo del tiempo frente a la *humedad* y los *rayos UV*.
- Resistente a la acción de los *pájaros*.
- Buen *aislamiento*.

Por tanto, se propone la utilización de un **aislamiento elastomérico (EPDM) con revestimiento multicapa**.

### Pérdida de carga en captadores

Según los datos proporcionados por el fabricante para el captador solar escogido y para el caudal de diseño que circula por ellos, se puede calcular la pérdida de carga en los captadores. En nuestro caso, al estar conectados en paralelo, tendremos en cuenta la pérdida de uno solo de ellos.

Esta pérdida de carga en un captador de tipo de parrilla es muy pequeña. Par aun caudal de unos 100 l/h asciende a unos **3 mmca**. Esto deberá ser verificado con los datos aportados por el fabricante para el captador escogido: Sol2300.

### Pérdidas de carga en el intercambiador

Depende del caudal de circulación y del fluido de trabajo utilizado. Según la información facilitada por el fabricante, las características del intercambiador de placas desmontables escogido son las siguientes:

Tabla 50 - Características del intercambiador de calor

| Modelo | Placas | Producción ACS [l/h] | Caudal primario 50°C [l/h] | Pdc primario [mca] | Caudal secundario 45°C [l/h] | Pdc secundario [mca] | Potencia [kcal/h] |
|--------|--------|----------------------|----------------------------|--------------------|------------------------------|----------------------|-------------------|
| M3FM L | 20     | 2400                 | 2400                       | <b>1.76</b>        | 2400                         | <b>1.89</b>          | 22800             |

Esto se da para unos criterios de selección (verifican los establecidos en el apartado 6.2.6):

- Temperatura primario: 55°C – 45°C.
- Temperatura secundario 35°C – 45°C.
- Pérdida de carga en el circuito solar: menor que 5 m.c.a. (según el programa Prosol [4], la pdc no puede ser mayor de 3 mca).

Siendo el valor de potencia ligeramente superior al nuestro (22800 kcal/h frente a 21983 kcal/h) y el caudal ligeramente inferior (2400 l/h frente a 2556 l/h), se utilizarán las pérdidas de carga reflejadas en la anterior tabla para dimensionar las bombas de los circuitos primario y secundario, por quedar compensados dichos datos al variar el caudal.

### 6.2.12 Características principales de la bomba de circulación

La bomba escogida debe impulsar el caudal total que circula por el sistema de captación, 2556 l/h. La pérdida de carga que debe ser capaz de superar la bomba es la del camino del circuito con mayor pérdida de carga. Se han considerado diversos caminos, pero todos ellos con igual pérdida de carga al estar conectados en paralelo todos los captadores. La pérdida de carga total resultante es de:

$$P_{dc_{\text{primario}}} = 2444,27 + 3 + 1760 = 4207,27 \text{ mmca.}$$

Es recomendable escoger una bomba para circulación de agua caliente que disponga de varias velocidades de circulación escogiéndose como punto de funcionamiento la 2ª de ellas para tener margen de actuación en caso de producirse un aumento de pérdida de carga en la instalación debido a que se agregaran nuevos accesorios, deposiciones calcáreas, etc.

Se puede utilizar una bomba como la WILO TOP Z 30/7, que se muestra a continuación, con una zona de funcionamiento óptimo para su 2ª velocidad en torno al punto de funcionamiento de la instalación (2556 l/h y 4.2 mca) y cuya potencia eléctrica es de unos **130 W**:

### Wilo-TOP-Z 30/7

AC (EM)

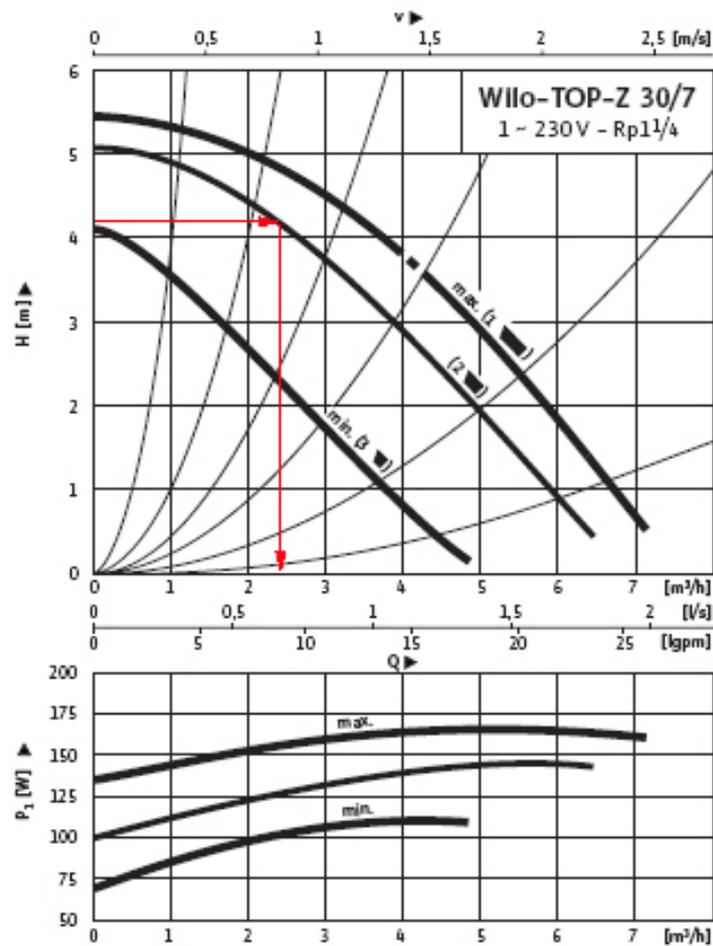


Figura 21 - Curva característica bomba circuito primario

Por otra parte, vemos que se satisface la relación entre potencia eléctrica y potencia térmica que fue establecido en el apartado anterior:

$$P_{\text{bombas}} \leq 362.95 \text{ W}$$

Además, tal y como indica el DB-HE 4 del CTE en su apartado 3.3.5.3, se montarán dos bombas idénticas en paralelo, dejando una de reserva, tanto en el primario como en el secundario. Se preverá el funcionamiento alternativo de las mismas mediante reloj temporizador, así como un sistema de seguridad que las active en caso de detención inesperada de una de ellas.

Se montarán en la parte más fría del circuito con el eje de rotación horizontal.

### 6.2.13 Volumen del vaso de expansión

De acuerdo a la instrucción UNE 100-155 Climatización: Cálculo de vasos de expansión, el cálculo de un vaso de expansión cerrado se ha de realizar de acuerdo a la siguiente expresión [2]:

$$V_t = V \cdot C_e \cdot C_p$$

Donde:

- $V_t$  es el volumen total del vaso de expansión [l]
- $V$  es el contenido total de fluido de trabajo [l]
- $C_e = 0,05$  es el coeficiente de expansión o dilatación del fluido para agua que experimenta una diferencia de temperatura en torno a 100°C.
- $C_p$  es el coeficiente de presión calculado como:

$$C_p = \frac{P_{\max} + 1}{P_{\max} - P_{\min}}$$

Siendo:

- $P_{\max}$  la máxima presión de funcionamiento admisible en el vaso de expansión [bar], que debe ser aproximadamente 0,3 bar inferior a la presión de tarado de la válvula de seguridad, limitada por la máxima presión que soportan los distintos componentes y por la posición que ocupa el vaso en la instalación.
- $P_{\min}$  la presión mínima en el vaso de expansión [bar], que debe ser suficientemente elevada para evitar la entrada de aire al circuito. Como mínimo 0,5 bar superior a la presión atmosférica en el punto más alto de la instalación.

Ambas vienen expresadas en términos de presión manométrica.

El contenido total del fluido de trabajo  $V$  se calcula sumando el volumen contenido en todos los elementos constitutivos del circuito primario:

Tabla 51 - Cálculo volumen del circuito hidráulico primario

| $\Phi$ (mm)                                   | Longitud (m) | Volumen unitario (l/m) | Volumen (l)   |
|---|--------------|------------------------|---------------|
| 35x1.5  | 65.5         | 0.881                  | 57.73         |
| 28x1  | 7.5          | 0.573                  | 4.29          |
| 22x1  | 41.7         | 0.346                  | 14.44         |
| 15x1  | 25.2         | 0.154                  | 3.88          |
| 12x1  | 8.4          | 0.095                  | 0.80          |
| Volumen total agua tuberías:                  |              |                        | 81.15         |
| Volumen total captadores:                     |              | 1.6                    | 38.4          |
| Volumen total intercambiador:                 |              |                        | 12            |
| <b>Volumen total del circuito hidráulico:</b> |              |                        | <b>131.55</b> |

Por otra parte, en las instalaciones solares la experiencia ha mostrado que en muchas ocasiones los vasos de expansión calculados con este método han resultado ser insuficientes, debido al cambio de fase de líquido a vapor. Por tanto, es necesario añadir al anterior volumen calculado el volumen de líquido que puede pasar de líquido a vapor: líquido contenido en los captadores solares y en las tuberías que se encuentran a cotas iguales o superiores a la parte inferior de los captadores.

Tabla 52 - Cálculo del volumen susceptible de evaporación

| $\Phi$ (mm)  | Longitud (m) | Volumen unitario (l/m) | Volumen (l)  |
|--|--------------|------------------------|--------------|
| 35x1.5   | 35.5         | 0.881                  | 31.29        |
| 28x1   | 7.5          | 0.573                  | 4.29         |
| 22x1   | 41.7         | 0.346                  | 14.44        |
| 15x1   | 25.2         | 0.154                  | 3.88         |
| 12x1   | 8.4          | 0.095                  | 0.80         |
| Volumen total agua tuberías:                         |              |                        | 54.71        |
| Volumen total captadores:                            |              | 1.6                    | 38.4         |
| <b>Volumen de líquido susceptible de evaporación</b> |              |                        | <b>93.11</b> |

El resto de parámetros:

- $P_{\max} = 10 - 0,3 = 9,7$  bar
- $P_{\min} = 0,5 + P_{\text{est}} = 0,5 \text{ bar} + 0,1 \text{ bar/m} \cdot 15 = 2$  bar
- $C_p = \frac{9,7+1}{9,7-2} = 1,39$

Por tanto:  $V_t = (V \cdot C_e + V_{vap}) \cdot C_p = 138,56 \text{ l}$ , escogiendo uno de **150 l**.

Tal y como indica el CTE en su DB-HE 4 apartado 3.3.5.4 y apreciamos en el esquema de principio de la instalación (anejo A.2.1), se conectará en la aspiración de la bomba.

#### **6.2.14 Diseño del circuito eléctrico**

Se puede observar a continuación el esquema unifilar de la instalación solar:

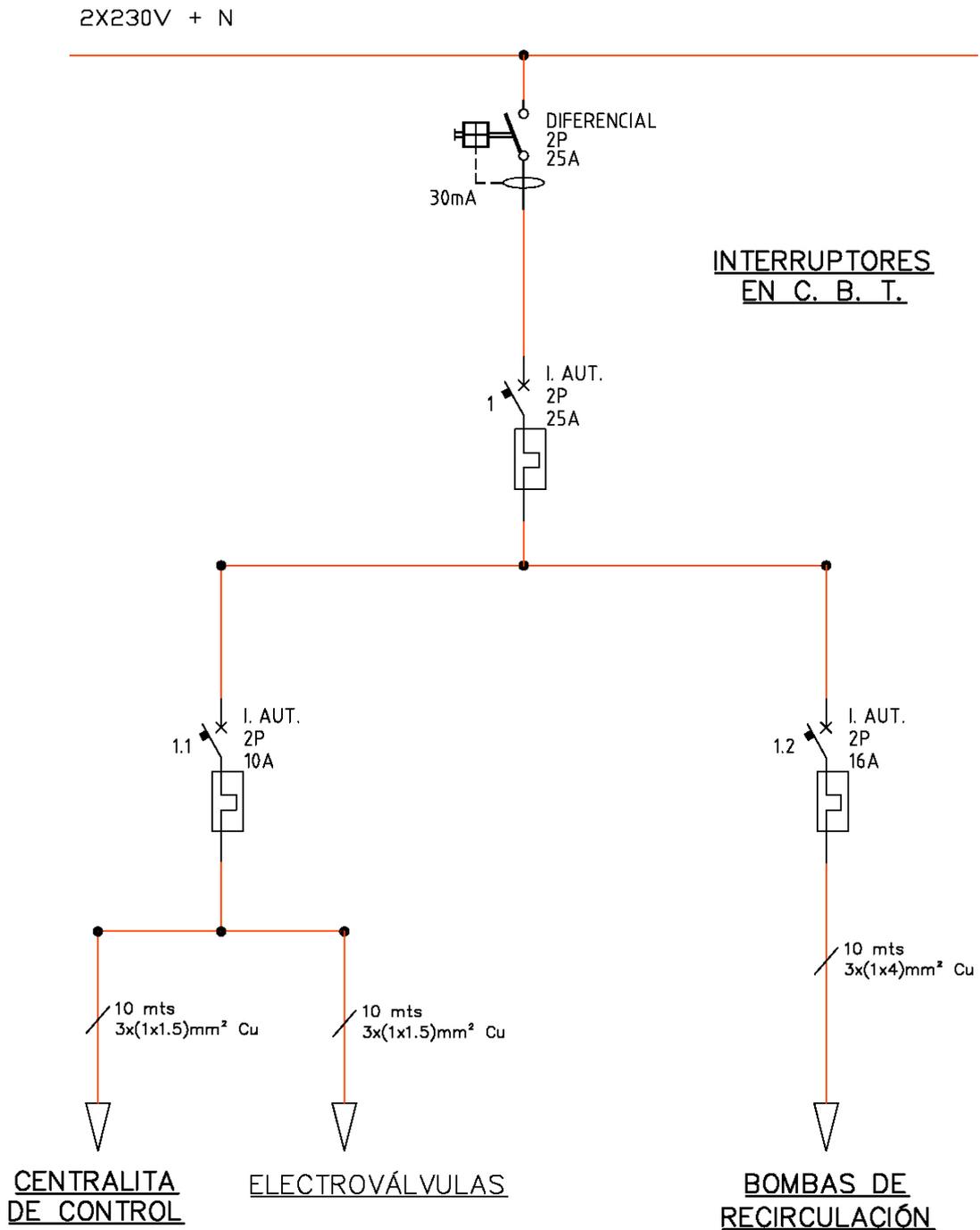


Figura 22 - Esquema unifilar instalación solar térmica

### 6.2.15 Estructura soporte de los captadores y anclajes

La seguridad en el anclaje y sujeción de los colectores, el menor coste posible y la rapidez de montaje son las características que deben prevalecer a la hora de diseñar y calcular el sistema de fijación de los colectores.

Dicho sistema de fijación consta de los siguientes elementos:

- **Elementos de sujeción:** unen el colector a la estructura propiamente dicha. Estos elementos vienen definidos por el fabricante de los colectores y es preferible utilizar materiales no susceptibles de ser afectados por la corrosión, tales como el acero inoxidable y el aluminio.
- **Estructura** como tal: la estructura redistribuye las cargas del colector en cargas sobre los apoyos y anclajes. Además deberá tener la inclinación de 50° seleccionada para los captadores.

Debe calcularse para resistir su peso propio y el del colector, las cargas dinámicas de viento y las estáticas de nieve adecuadas a su localización y características geográficas. Normalmente consiste en dos perfiles angulares de acero. La protección contra la corrosión es importante, por lo que se aplicarán varias capas de pintura antioxidante y de acabado superficial. En cualquier caso se debe garantizar que la duración de ésta sea al menos igual a la vida útil de los captadores.
- **Apoyos y anclajes:** encargados de transmitir las cargas al edificio. Se deberán atornillar los soportes de anclaje de la estructura de los captadores a las vigas de la cubierta. [2]

Será importante evitar problemas fácilmente solucionables en esta etapa de diseño, como por ejemplo: colocación de perfiles que retengan agua, sujeción de colectores con pletinas que pueden apretar y deformar la junta o la carcasa del colector, sombras producidas por los elementos de la estructura,...

Asimismo, las perforaciones necesarias para las tuberías y la estructura soporte en la cubierta deberán realizarse con esmero. A fin de garantizar la impermeabilidad a largo plazo, los puntos de perforación se han de elevar, por lo menos, 8 cm por encima de la capa por donde circula el agua, utilizando en la medida de lo posible sobre las zonas altas del grecado, manguitos y anillos de unión, o bridas y rebordes pegados. Se aconseja realizar cuidadosamente el aislamiento térmico de las partes donde se ha fijado la estructura soporte, a fin de evitar perjuicios debidos a puentes térmicos en los elementos constructivos del edificio. [3]

Por otra parte, se deberán considerar curvas de dilatación en las tuberías de mayor longitud, colocando una en el punto medio aproximado del tubo de cobre den cada tramo recto de tubería de longitud superior a 5 m. Con el mismo propósito no deberán instalarse puntos de fijación inmediatamente después ni sobre un cambio de

sentido de la tubería, ya que impide que estas puedan dilatarse libremente convirtiéndose involuntariamente en un punto fijo [2].

#### **6.2.16 Diseño del sistema de control**

El sistema de control (abreviadamente, «control») de una instalación solar asume la función de regular los flujos de energía entre el campo de captadores, el acumulador y el consumo. Los componentes de un sistema de control son:

- El control del proceso de carga, que tiene la misión de regular la conversión de la radiación solar en calor y de transferirla al acumulador de manera eficaz.
- El control del proceso de descarga (en tanto que la descarga no se lleve a cabo automáticamente en el momento de la extracción de ACS), cuya tarea es garantizar la mejor transferencia de energía posible del acumulador hacia el consumo.

En nuestra instalación sólo existirá control del proceso de carga. Además, se tratará de instalar un sistema sencillo evitando cualquier complejidad innecesaria que por sí misma pueda contribuir a un posible mal funcionamiento de la instalación.

Por otra parte, entre los requisitos más importantes que debe cumplir el control de la instalación solar, cabe mencionar los siguientes:

- Las temperaturas del circuito primario se deben mantener en un valor lo más bajo posible, a fin de lograr un alto rendimiento de los captadores.
- El control de la instalación solar no debe repercutir de manera negativa en la operación del sistema de calentamiento convencional viceversa.
- El manual de instrucciones debe incluir detalles claros y concisos de todos los componentes, así como de su funcionamiento, al igual que una descripción y un diagrama del circuito del sistema de control propiamente dicho. La información debe ser comprensible para que una persona capacitada pueda realizar todas las operaciones necesarias sin tener que ponerse en contacto con los fabricantes de los componentes.

### Control del proceso de carga

En rigor, el control del proceso de carga se divide en dos partes: el control del circuito primario y el control de la transferencia de calor al acumulador. Mientras que el control del circuito primario puede ser idéntico para las instalaciones pequeñas y las grandes, pueden existir ciertas diferencias con respecto a la transferencia de calor hacia el acumulador, según que los intercambiadores sean internos o externos.

Tal y como se indica en el DB-HE 4 apartado 3.3.7 del CTE, en circulación forzada el control normal de las bombas del circuito de captadores deberá ser siempre de *tipo diferencial* y, existiendo depósito de acumulación solar, deberá actuar en función de la diferencia entre la temperatura del fluido caloportador a la salida de la batería de captadores y la del depósito de acumulación. El sistema de control actuará y estará ajustado de manera que las bombas no estén en marcha cuando la diferencia de temperaturas sea menor de  $2^{\circ}\text{C}$  y no estén paradas cuando la diferencia sea mayor que  $7^{\circ}\text{C}$ . La diferencia de temperaturas entre los puntos de arranque y de parada del termostato diferencial no será menor que  $2^{\circ}\text{C}$ .

En la figura 23 se representa una parte de una instalación solar (sin mostrar el sistema convencional) provista de un intercambiador de calor externo. Los posibles sensores de control están marcados en sus respectivos puntos de ubicación.

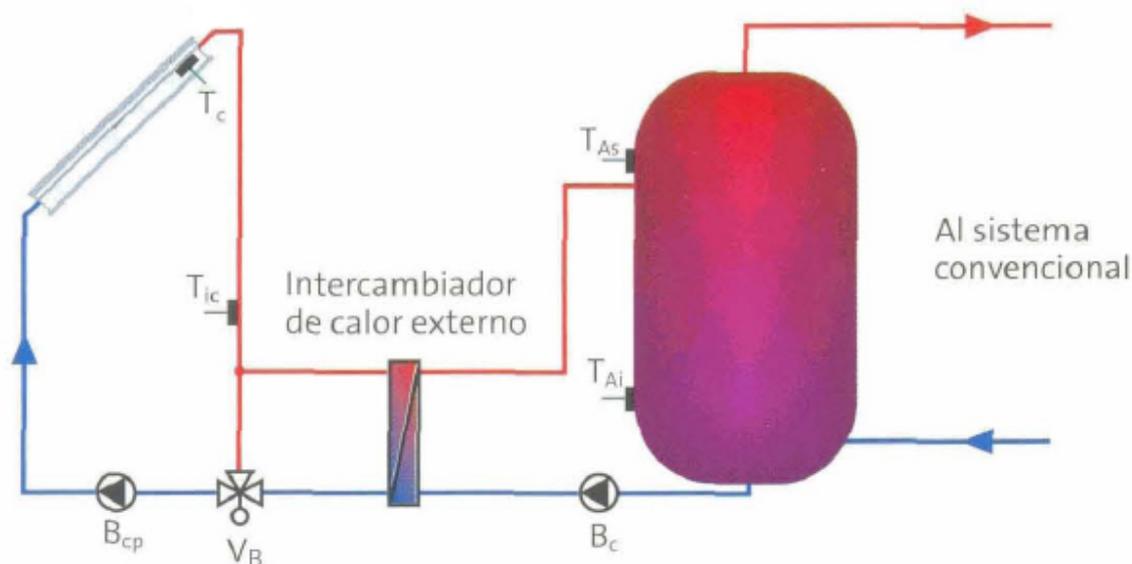


Figura 23 - Sensores del sistema de control solar

A continuación se indican los posibles sensores de control ubicados según la figura:

- $T_c$ : Sensor de temperaturas del captador utilizado para medir la temperatura del fluido de trabajo en el mismo.
- $T_{ic}$ : Mide la temperatura en la tubería de impulsión del circuito primario previamente a la entrada del fluido en el intercambiador de calor.
- $T_{Ai}$ : Para medir la temperatura en la parte inferior del acumulador.
- $T_{As}$ : Para medir la temperatura en la parte superior del acumulador.

Por tanto, según lo indicado anteriormente, la bomba de circulación del circuito primario  $B_{cp}$ :

- Se conecta cuando  $T_c - T_{Ai} \geq 7^\circ\text{C}$ .
- Se desconecta cuando  $T_c - T_{Ai} \leq 2^\circ\text{C}$ .
- Se recomienda el ajuste de un tiempo de operación mínimo de la bomba, a fin de que el circuito primario se estabilice: 3 min.

Si se dispone de un “bypass”, regulado por la válvula  $V_B$  como se señala en la figura 23, la transferencia de calor al acumulador no comenzará en el mismo momento en que la bomba de circulación arranca, sino cuando la diferencia de temperaturas ( $T_{ci} - T_{Ai}$ ) alcanza un valor positivo. Inicialmente, el fluido circula sólo en el circuito primario a través del “bypass”. En caso de que la temperatura  $T_{ic}$ , sea superior a la  $T_{Ai}$  la válvula se conectará para que el fluido circule por el intercambiador de calor. La válvula volverá a abrir el “bypass” cuando la diferencia de temperaturas alcance un valor demasiado reducido, ligeramente inferior al valor umbral de desconexión de la bomba de circulación del captador.

De esta forma se evita el funcionamiento del intercambiador de calor con fluidos fríos.

Este método también es útil para evitar la operación intermitente de la bomba de circulación del circuito primario.

No obstante, en este tipo de conexionado puede que la bomba arranque durante noches calurosas de verano. Mediante un temporizador que impida el funcionamiento de la misma, por ejemplo, entre las 22 h y 7 h (horario de verano), se podrán evitar tales conexiones indeseables, que en principio no representan un problema serio.

Por otra parte, el sensor de temperaturas  $T_{As}$  sirve para limitar la temperatura en el acumulador solar. Si su valor llega a sobrepasar una temperatura de, aproximadamente 90°C (caso de agua con muy bajo contenido de cal), se desconectará la bomba del circuito primario y el sistema entrará en estado de estancamiento, entrando en funcionamiento el sistema de enfriamiento parcial (ver apartado 6.2.10).

Por último, además de los elementos citados pertenecientes al sistema de control y de los aparatos de medida de presión y temperatura que permitan la correcta operación, el CTE (apartado 3.3.8 del DB-HE 4) obliga a disponer en las instalaciones de tamaño superior a 20 m<sup>2</sup> de un sistema analógico de medida local y registro de datos que indique como mínimo las siguientes variables:

- Temperatura de entrada del agua fría de red.
- Temperatura de salida del acumulador solar.
- Caudal de agua fría de la red.

El tratamiento de estos datos proporcionará al menos la energía solar térmica acumulada a lo largo del tiempo.

### 6.3 Plan de mantenimiento

Se respetarán los planes de mantenimiento señalados en el apartado 4 del DB-HE 4 del CTE:

- Plan de vigilancia: operaciones que permiten asegurar que los valores operacionales de la instalación son correctos (tabla 53).
- Plan de mantenimiento preventivo: permiten mantener dentro de ciertos límites aceptables las condiciones de funcionamiento, prestaciones, protección y durabilidad de la instalación.

Tabla 53 - Plan de vigilancia

| Elemento de la instalación | Operación             | Frecuencia (meses) | Descripción                                      |
|----------------------------|-----------------------|--------------------|--|
| CAPTADORES                 | Limpieza de cristales | A determinar       | Con agua y productos adecuados                   |
|                            | Cristales             | 3                  | IV condensaciones en las horas centrales del día |

|                     |   |        |  |
|---------------------|---|--------|--|
|                     | Juntas                                    | 3      | IV Agrietamientos y deformaciones                                    |
|                     | Absorbedor                                | 3      | IV Corrosión, deformación, fugas, etc.                               |
|                     | Conexiones                                | 3      | IV fugas   |
|                     | Estructura                                | 3      | IV degradación, indicios de corrosión                                |
| CIRCUITO PRIMARIO   | Tubería, aislamiento y sistema de llenado | 6      | IV Ausencia de humedad y fugas                                       |
|                     | Purgador manual                           | 3      | Vaciar el aire del botellín  |
| CIRCUITO SECUNDARIO | Termómetro                                | Diaria | IV Temperatura   |
|                     | Tubería y aislamiento                     | 3      | IV Ausencia de humedad y fugas                                       |
|                     | Acumulador solar                          | 3      | Purgado de la acumulación de lodos de la parte inferior del depósito |

IV = Inspección visual.

Para el plan de mantenimiento se revisarán semestral o anualmente (según lo marcado en las tablas 4.2 – 4.7 del DB-HE 4 del CTE) los siguientes elementos:

- Sistema de captación
- Sistema de acumulación
- Sistema de intercambio
- Circuito hidráulico
- Sistema eléctrico y de control
- Sistema de energía auxiliar

## 7 CONCLUSIONES

Una vez dimensionados los distintos sistemas de ahorro energético y, en especial de combustible (gas natural), vamos a mostrar resumidamente las consecuencias derivadas de su implantación, así como su rentabilidad y periodo de retorno en números aproximados.

Tabla 54 - Evaluación económica y energética de las inversiones

|                         | <b>Instalación de depósitos nodriza</b> | <b>Instalación solar térmica</b> |
|-------------------------|---|----------------------------------|
| Ahorro energético anual | <b>76357 kWh/año</b>                    | <b>30730 kWh/año</b>             |
| Ahorro económico anual  | <b>2230 €/año</b>                       | <b>897 €/año</b>                 |
| Inversión fija inicial  | <b>6600 €</b>                           | <b>28747 €</b>                   |
| Cantidad subvencionable | <b>A gestionar</b>                      | <b>40-50% =&gt; 12936 €</b>      |
| Periodo de retorno      | <b>2,96 años</b>                        | <b>17,6 años</b>                 |

Los valores de ahorro económico se han calculado al precio al que la empresa TUSSAM compra el gas natural canalizado en 2006 es de 0,029197 €/kWh, es decir sin tener en cuenta su posible aumento anual.

## 8 **NORMATIVA**

Para la elaboración de este proyecto se ha tenido en cuenta la siguiente normativa:

- Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios, RITE (RD 1027/2007).
- Documento Básico de Ahorro de Energía, DB-HE 4, del Código Técnico de la Edificación, CTE (RD 314/2006).
- Orden de 11 de abril de 2007 por la que se establecen las bases reguladoras de un programa de incentivos para el desarrollo energético sostenible de Andalucía y se efectúa su convocatoria para el año 2007.
- RD 865/2003 por el que se establecen los criterios higiénico-sanitarios para la prevención y control de la LEGIONELOSIS.
- Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, REBT (RD 842/2002).

## 9 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] GARCÍA PÉREZ, JOSÉ. *“Esquemas hidráulicos de calefacción y agua caliente sanitaria”*. Editorial PUBLITÉCNICA, S.L: ,1999.

[2] LÓPEZ LARA, GERMÁN; KASPER, BERND-RAINER Y WEYRES-BORCHERT, BERNHARD. *“Instalaciones Solares Térmicas”*. Editado por SODEAN, S.A. (Sociedad para el Desarrollo Energético de Andalucía, S.A.) y DGS LV Berlin-Brb (Asociación Alemana de Energía Solar), 2004.

[3] DR. PEUSER, FELIX A.; REMMERS, KARL-HEINZ Y SCHNAUSS, MARTIN. *“Sistemas solares térmicos. Diseño e instalación”*. Editado por PROGENSA en colaboración con SOLARPRAXIS AG, 2005.

[4] SODEAN, S.A. *“Texto refundido de las especificaciones técnicas de diseño y montaje de instalaciones solares térmicas para producción de agua caliente y las modificaciones del programa PROSOL”*. Editado por SODEAN S.A., 2004.

## **ANEJO A: PLANOS**

**ANEJO B:**  
**PRESUPUESTO DETALLADO INSTALACIÓN SOLAR**  
**TÉRMICA**

| Nat             | Ud | Resumen   | CanPres  | PrPres | ImpPres          |
|-----------------|----|---|----------|--------|------------------|
| <b>Capítulo</b> |    | <b>INST. SOLAR TERMICA</b>  | <b>1</b> |        | <b>28,746.86</b> |
| Partida         | u  | CAPTADORES SOLARES PLANOS   | 24.000   | 467.31 | 11,215.44        |
|                 |    | UD. DE CAPTADOR SOLAR PLANO HOMOLOGADO, CON CIRCUITO ABSORBEDOR DE COBRE Y CON CUBIERTA DE VIDRIO TEMPLADO Y SUPERFICIE UTIL DE CAPTACION 2.13m2, AISLAMIENTO POSTERIOR EN LANA DE FIBRA DE VIDRIO, INCLUSO MONTAJE SOBRE ESTRUCTURA EN CUBIERTA Y CONEXIONADO A RED DE AGUA, MANGUITOS DE CONEXIONES, JUNTAS, P.P. DE ELEMENTOS DE FIJACIÓN A ESTRUCTURA SOPORTE E INTERCONEXIONADO EN PARALELO ENTRE LOS MODULOS, CANALIZACION Y AISLAMIENTO HASTA DEPOSITO Y AYUDAS DE ALBAÑILERIA. MEDIDA LA SUPERFICIE INSTALADA E INTERCONECTADA. |          |        |                  |
| Partida         | h  | OF. FONTANERO   | 2.000    | 24.00  | 48.00            |
| Partida         | U  | CAPTADOR SOLAR PLANO 2.13 m2, SUP. ABSORBEDORA, Cu.   | 1.000    | 338.00 | 338.00           |
| Partida         | u  | PEQUEÑO MATERIAL  | 2.800    | 6.00   | 16.80            |
| Partida         | u  | PURGADOR  | 1.000    | 30.51  | 30.51            |
|                 |    | DE PURGADOR DE 10 mm. (1/2") DE DIAMETRO, INSTALADO EN CANALIZACION DE AGUA CALIENTE, INCLUSO P.P. DE PEQUEÑO MATERIAL CONEXIONES Y AYUDAS DE ALBAÑILERIA; CONSTRUIDA SEGUN NTE/IFC-27. MEDIDA LA UNIDAD EJECUTADA.   |          |        |                  |
| Material        | h  | CUADRILLA ALBAÑILERIA, FORMADA POR OFICIAL 1ª Y PEON ESP.   | 2.000    | 13.33  | 26.66            |
|                 |    | CUADRILLA ALBAÑILERIA, FORMADA POR OFICIAL 1ª Y PEON ESPECIAL.  |          |        |                  |
| Partida         | u  | PEQUEÑO MATERIAL  | 1.000    | 0.27   | 0.27             |
| Partida         | h  | OF. 1ª ALBAÑILERIA  | 1.000    | 13.06  | 13.06            |
|                 |    |   | 1.000    | 13.33  | 13.33            |
| Partida         | u  | PURGADOR DIAM 1/2"  | 1.000    | 6.38   | 6.38             |
| Partida         | h  | OF. FONTANERO   | 0.200    | 24.00  | 4.80             |
| Partida         | u  | PEQUEÑO MATERIAL  | 1.000    | 6.00   | 6.00             |
|                 |    |   | 1.000    | 30.51  | 30.51            |
| Material        | h  | CUADRILLA ALBAÑILERIA, FORMADA POR  | 1.000    | 34.00  | 34.00            |

OFICIAL 2ª Y PEON ESP.  
 CUADRILLA ALBAÑILERIA, FORMADA POR OFICIAL 2ª Y PEON ESPECIAL.

|         |   |  |               |                 |                  |
|---------|---|--|---------------|-----------------|------------------|
|         |   |  | <b>24.000</b> | <b>467.31</b>   | <b>11,215.44</b> |
| Partida | u | DISIPADOR DE CALOR TÉRMICO POR GRAVEDAD ESCOSOL DISIP 6 S 4000 W   | 6.000         | 626.00          | 3,756.00         |
| Partida | u | DISIPADOR 4 kW   | 1.000         | 527.00          | 527.00           |
| Partida | u | PEQUEÑO MATERIAL   | 0.500         | 6.00            | 3.00             |
| Partida | h | OF. FONTANERO  | 4.000         | 24.00           | 96.00            |
|         |   |  | <b>6.000</b>  | <b>626.00</b>   | <b>3,756.00</b>  |
| Partida | u | Interacumulador vertical 3000 l  | <b>1.000</b>  | <b>3,565.00</b> | <b>3,565.00</b>  |
|         |   | Destinado a funciones de producción y acumulación de ACS para instalaciones de gran consumo. Sus características constructivas, temperaturas de trabajo y capacidad de intercambio, lo hacen especialmente indicado para las instalaciones de ENERGÍA SOLAR TÉRMICA. Fabricados en ACERO CON REVESTIMIENTO EPÓXICO de calidad alimentaria serie IMV o en ACERO INOXIDABLE AISI 316 serie IMXV<br>Va aislado con 80 mm de espesor de espuma rígida de poliuretano de densidad optimizada y libre de CFC, inyectada en molde, lo que hace que una de las características de la nueva serie sea su INCOMPARABLE CAPACIDAD DE ACUMULACION. |               |                 |                  |
| Partida | u | VASO EXPANSION   | 1.000         | 149.36          | 149.36           |
|         |   | VASO DE EXPANSION DE 150 l, CERRADO DE MEMBRANA FIJA, DE CHAPA DE ACERO ELECTROSOLDADA, CON PRESION MAXIMA DE TRABAJO 3 kg/cm2. INSTALADO SEGUN IT.IC. Y NTE/CR-16..   |               |                 |                  |
| Partida | h | OF. FONTANERO  | 0.140         | 24.00           | 3.36             |
| Partida | u | VASO EXPANSION 140 L CERRADO   | 1.000         | 140.00          | 140.00           |
| Partida | u | PEQUEÑO MATERIAL   | 1.000         | 6.00            | 6.00             |
|         |   |  | <b>1.000</b>  | <b>149.36</b>   | <b>149.36</b>    |

|         |    |  |              |                 |                 |
|---------|----|--|--------------|-----------------|-----------------|
| Partida | u  | INTERCAMBIADOR DE PLACAS   | 1.000        | 913.20          | 913.20          |
|         |    | INTERCAMBIADOR DE PLACAS MARCA ALFA LAVAL, MODELO M3-FM 20 O SIMILAR, PLACAS AISIS 316, CAUDAL LADO CALIENTE 2550 l/h, ENTRADA A 55°C Y SALIDA A 45°C Y FRIO 2550 l/h ENTRADA A 35° C Y SALIDA A 45°C. TODO ELLO FORMADO POR BASTIDOR DE ACERO ESMALTADO CON PLACA MOVIL Y MANGUITOS, INCLUSO MONTAJE CONEXIONES, APRIETE Y AYUDAS DE ALBAÑILERÍA. MEDIDA LA UNIDAD INSTALADA. |              |                 |                 |
| Partida | u  | INTERCAMBIADOR PLACAS 26.5 kW  | 1.000        | 894.00          | 894.00          |
| Partida | u  | PEQUEÑO MATERIAL   | 1.000        | 6.00            | 6.00            |
| Partida | h  | OF. FONTANERO  | 0.550        | 24.00           | 13.20           |
|         |    |  | <b>1.000</b> | <b>913.20</b>   | <b>913.20</b>   |
| Partida | u  | ESTRUCTURA SOPORTE   | 1.000        | 2,985.06        | 2,985.06        |
|         |    | ESTRUCTURA METALICA PARA SUJECCION DE 24 CAPTADORES SOLARES DE 2.13 m2, , CONSTRUIDA CON PERFIL DE ALUMINIO, INCLUSO PLACAS DE ANCLAJE, UNION Y ELEMENTOS DE SUJECCIÓN A CUBIERTA Y ELEVACION DE 0,5 M SOBRE EL SUELO. TOTALMENTE INSTALADA.   |              |                 |                 |
| Partida | kg | PERFIL DE ALUMINIO   | 800.000      | 3.52            | 2,816.00        |
| Partida | u  | PEQUEÑO MATERIAL   | 12.940       | 6.00            | 77.64           |
| Partida | h  | OF. 1ª CERRAJERO-CHAPISTA  | 7.000        | 13.06           | 91.42           |
|         |    |  | <b>1.000</b> | <b>2,985.06</b> | <b>2,985.06</b> |
| Partida | u  | BOMBAS RECIRCULACION   | 4.000        | 138.00          | 552.00          |
|         |    | BOMBA CIRCULADORA DE TIPO EN LINEA Y ROTOR HUMEDO, PARA ACS, MARCA WILO MOD. TOP-Z-2510 O SIMILAR, UNIONES ROSCADAS, PEQUEÑO MATERIAL Y MANO DE OBRA. TOTALMENTE MONTADA. MEDIDA LA UNIDAD INSTALADA.  |              |                 |                 |
| Partida | h  | OF. FONTANERO  | 0.949        | 24.00           | 22.78           |
| Partida | u  | BOMBA RECIRCULACION ACS  | 4.000        | 138.00          | 552.00          |
|         |    |  | <b>4.000</b> | <b>138.00</b>   | <b>552.00</b>   |
| Partida | u  | INSTALACION ELECTRICA Y DE CONTROL   | 1.000        | 1,595.30        | 1,595.30        |

|          |   |  |               |                 |                 |
|----------|---|--|---------------|-----------------|-----------------|
|          |   | INSTALACION ELECTRICA PARA ALIMENTACION DE BOMBAS, ELECTROVÁLVULAS, ETC..Y CONEXIONADO DE ELEMENTOS DE CONTROL REALIZADO CON CONDUCTORES DE COBRE SEGUN REBT, INCLUSO MATERIALES, PROTECCIONES Y MONTAJE. MEDIDA LA INSTALACION FUNCIONANDO.   |               |                 |                 |
| Partida  | h | OF. 1ª ELECTRICISTA  | 5.000         | 13.06           | 65.30           |
| Partida  | u | PEQUEÑO MATERIAL   | 255.000       | 6.00            | 1,530.00        |
|          |   |  | <b>1.000</b>  | <b>1,595.30</b> | <b>1,595.30</b> |
| Partida  | m | CANALIZACION 15/28 mm COBRE CALORIFUGADA   | 24.000        | 59.80           | 1,435.20        |
|          |   | CANALIZACION DE COBRE , SUPERFICIAL, DE 22 MM DE DIAMETRO NOMINAL Y 1 MM DE ESPESOR, CALIDAD UNE -EN-1057, INCLUIDO P.P. DE UNIONES, PIEZAS ESPECIALES, SOPORTES, GRAPAS, PEQUEÑO MATERIAL, INCLUSO CALORIFUGADO DE TUBERÍA 40 mm DE ESPESOR, MEDIANTE COQUILLA DE ESPUMA ELSTOMETRICA SH-ARMAFLEX O SIMILAR, PROTEGIDA MEDIANTE CHAPA LISA DE ALUMINIO, INCLUSO P.P. DE AISLAMIENTO DE CODOS Y PIEZAS ESPECIALES , ASI COMO P.P. DE MANGUITOS ANTOVIBRATORIOS, MANO DE OBRA Y AYUDA DE ALBAÑILERIA. . MEDIDA LA LONGITUD INSTALADA. |               |                 |                 |
| Partida  | u | PEQUEÑO MATERIAL   | 0.700         | 6.00            | 4.20            |
| Partida  | m | TUBO COBRE DIAM. 15/28 MM.   | 1.000         | 3.50            | 3.50            |
| Partida  | h | OF. FONTANERO  | 0.500         | 24.00           | 12.00           |
| Partida  | m | COQUILLA 40 mm ESPESOR, CON CHAPA ALUMINIO LISA  | 1.000         | 40.00           | 40.00           |
| Material | h | CUADRILLA ALBAÑILERIA, FORMADA POR OFICIAL 2ª Y PEON ESP.  | 0.003         | 34.00           | 0.10            |
|          |   | CUADRILLA ALBAÑILERIA, FORMADA POR OFICIAL 2ª Y PEON ESPECIAL.   |               |                 |                 |
|          |   |  | <b>24.000</b> | <b>59.80</b>    | <b>1,435.20</b> |
| Partida  | m | CANALIZACION 28/35 mm COBRE CALORIFUGADA   | 24.000        | 61.40           | 1,473.60        |

|            |   |   |               |              |                 |
|------------|---|---|---------------|--------------|-----------------|
|            |   | CANALIZACION DE COBRE , SUPERFICIAL, DE 28 MM DE DIAMETRO NOMINAL Y 1 MM DE ESPESOR, CALIDAD UNE -EN-1057, INCLUIDO P.P. DE UNIONES, PIEZAS ESPECIALES, SOPORTES, GRAPAS, PEQUEÑO MATERIAL, INCLUSO CALORIFUGADO DE TUBERÍA 40 mm DE ESPESOR, MEDIANTE COQUILLA DE ESPUMA ELSTOMETRICA SH-ARMAFLEX O SIMILAR, PROTEGIDA MEDIANTE CHAPA LISA DE ALUMINIO, INCLUSO P.P. DE AISLAMIENTO DE CODOS Y PIEZAS ESPECIALES ,ASI COMO P.P. DE MANGUITOS ANTOVIBRATORIOS, MANO DE OBRA Y AYUDA DE ALBAÑILERIA. . MEDIDA LA LONGITUD INSTALADA. |               |              |                 |
| Partida    | u | PEQUEÑO MATERIAL  | 0.700         | 6.00         | 4.20            |
| Partida    | h | OF. FONTANERO   | 0.500         | 24.00        | 12.00           |
| Maquinaria | m | CANALIZACION 28/35 mm COBRE   | 1.000         | 5.10         | 5.10            |
| Partida    | m | COQUILLA 40 mm ESPESOR, CON CHAPA ALUMINIO LISA   | 1.000         | 40.00        | 40.00           |
| Material   | h | CUADRILLA ALBAÑILERIA, FORMADA POR OFICIAL 2ª Y PEON ESP.<br>CUADRILLA ALBAÑILERIA, FORMADA POR OFICIAL 2ª Y PEON ESPECIAL.   | 0.003         | 34.00        | 0.10            |
|            |   |   | <b>24.000</b> | <b>61.40</b> | <b>1,473.60</b> |
| Partida    | U | CONJUNTO VALVULAS DE CORTE  | 1.000         | 1,106.70     | 1,106.70        |

P.A. CONJUNTO DE VALVULAS DE CORTE DE ESFERA DE UNION ROSCADA, CONSTRUIDA CON FUNDICION DE ACERO, CON PALANCA Y APERTURA DE 1\$ VUELTA, PARA UNA PRESION DE HASYA 16 kg/cm2., INCLUSO CONTRABRIDAD, PEQUEÑO MATERIAL Y MONTAJE SEGÚN RITE, DE LOS SIGUIENTES DIAMETROS:

- 16 UNIDADES DE 1".
- 4 UNIDADES DE 1 1/2"
- 4 UNIDADES DE 2".
- 8 UNIDADES DE 3/4".
- 12 UNIDADES DE 1/2".

MEDIDA LA UNIDAD INSTALADA.