



Universidad de Valladolid

**Escuela Técnica Superior
de Arquitectura**

**GESTIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE AGUA CALIENTE
EN LAS INSTALACIONES DE LA ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR DE ARQUITECTURA DE VALLADOLID**

Grado en Fundamentos de la Arquitectura

AUTOR: Isabel Rodríguez Hontangas

TUTOR: Alberto José Meiss

Valladolid, Junio 2017



RESUMEN

Hoy en día, la eficiencia energética está cobrando cada vez más importancia en el campo de la arquitectura así como su aplicación en las instalaciones de los edificios. Una de sus aplicaciones más importantes es el aprovechamiento de la energía solar para la producción de agua caliente sanitaria.

El presente documento recoge el estudio de un caso práctico; se diseña y dimensiona la instalación de agua caliente de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Valladolid. Para ello se analiza el edificio así como su instalación sanitaria y su perfil de uso; se determina la demanda actual; y aplicando la normativa vigente se propone una instalación de agua caliente sanitaria cuya producción será mayoritariamente por energía solar y eventualmente, cuando las condiciones meteorológicas no lo permitan, por una caldera.

Además, como último anexo, se recoge el estudio de investigación del comportamiento energético de dicho edificio para una posible ampliación del trabajo completando la instalación con el suministro de calefacción.

PALABRAS CLAVE

Energía solar, agua, caliente, sanitaria, instalación, colector solar.

ABSTRACT

Nowadays, the energy efficiency is becoming very important when we talk about architecture, as well as its application in building services. One of its most important application is the use of solar energy to get hot water.

This document provides the study of a practical case: the design and dimension of the hot water service in the Architecture School of Valladolid. To this end, the building, including its facility and use, is analyzed to determine the actual hot water demand. Based on current regulations, it is proposed a new facility whose energy production will be mainly solar energy, and eventually, when it will not be possible due to the weather conditions a boiler will be used.

Moreover, in the last annex, there is an investigational study of the energy behavior in the building in order to complete the work with the heating system.

KEY WORDS

Solar energy, water, hot, installation, solar collector.



INDICE GENERAL

INDICE GENERAL	I
INDICE DE TABLAS	III
INDICE DE ECUACIONES	IV
INDICE DE ILUSTRACIONES	V
1. Objetivos del trabajo	1
2. Introducción	2
3. Normativa vigente	6
4. Fundamentos teóricos	7
4.1 Energía solar.....	7
4.1.1 Definición.	7
4.2 Energía térmica.	10
4.2.1 Definición.	10
4.2.2 Energía solar térmica.....	11
4.2.2 Colector Solar.	13
5. Caracterización del edificio	22
5.1 Situación y emplazamiento.	22
5.2 Uso del edificio.....	23
5.3 Datos geográficos y climatológicos.	23
5.4 Cubierta del edificio.	26
5.4.1 Sombras producidas por los edificios colindantes.	26
5.4.2 Sombras producidas por orientación e inclinación.....	31
5.4.3 Sombras producidas por los elementos arquitectónicos.....	32
5.4.4 Colocación de los colectores solares.....	34
6. Diseño y dimensionado de la instalación de ACS	35
6.1. Perfil de uso.....	35
6.2. Demanda de ACS y dimensionado.	38
6.3 Dimensionado de la instalación solar.....	55
6.4 Descripción de la instalación.....	69
6.4.1 Circuito primario.	73
6.4.2 Circuito secundario.	75



6.4.3	Circuito tercero.	77
6.4.4	Circuito de consumo.....	78
6.5	Condiciones de funcionamiento.	79
6.5.1	Temperatura.....	79
6.5.2	Presión.....	79
6.6	Seguridad.....	80
6.6	Componentes	81
6.6.1	Sistema de captación.	81
6.6.2	Sistema de acumulación.....	83
6.6.3	Sistema de distribución hidráulico.....	87
6.6.4	Sistema de intercambio.....	93
6.6.5	Sistema de regulación y control	94
6.6.6	Sistema de apoyo	94
7.	Conclusiones.	95
8.	Bibliografía	97
	Anexo 1:.....	101
	Anexo 2:.....	115
	Anexo 3: Estudio del comportamiento energético del edificio	117
	Contexto.....	119
	Termoflujometría.....	120
	Descripción de la instalación empleada.....	120
	Ensayos.....	124
	Conclusiones	158



INDICE DE TABLAS

Tabla (2.1): Consumo de Energía Primaria en España. Fuente: Ministerio de Energía, Industria y Turismo [1].....	3
Tabla (2.2): Contribución solar mínima anual para ACS en %. Fuente: Código Técnico de la Edificación	5
Tabla (5.1): Radiación solar global media diaria anual.....	23
Tabla (5.2): Valores de radiación solar en Valladolid	24
Tabla (5.3): Carta solar cilíndrica a 21 septiembre y 21 marzo.	25
Tabla (5.4): Pérdidas límite según CTE	26
Tabla (5.5): Diagrama de trayectorias del Sol para la Península Ibérica. Fuente: Web Universidad de Córdoba	28
Tabla (5.6): Diagrama de sombras sobre trayectoria solar	30
Tabla (5.7): Coeficientes de pérdidas por sombras en %. Datos para latitud 40° [15]	30
Tabla (5.8): Porcentaje de pérdidas por sombras	31
Tabla (5.9): Porcentaje de radiación solar incidente respecto a la radiación sobre superficie horizontal [13].....	31
Tabla (5.10): Horas de salida y puesta de sol a lo largo del año	32
Tabla (6.1): Caudales instantáneos por aparato	38
Tabla (6.2): Diámetros normalizados de tuberías de polietileno reticulado.....	40
Tabla (6.3): Rugosidad relativa de las tuberías según su composición material.....	41
Tabla (6.4): Diagrama de Moody.....	41
Tabla (6.5): Caudal instantáneo de agua caliente. Opción 1.....	43
Tabla (6.6): Dimensionado y cálculo de pérdida de carga en tuberías. Opción 1	45
Tabla (6.7): Caudal instantáneo de agua caliente. Opción 2- Edificio Académico.	47
Tabla (6.8): Dimensionado y cálculo de pérdida de carga en tuberías. Opción 2; Edificio Académico.....	49
Tabla (6.9): Caudal instantáneo de agua caliente. Opción 2; Edificio Docente.	51
Tabla (6.10): Dimensionado y cálculo de pérdida de carga en tuberías. Opción 2; Edificio Docente.	53
Tabla (6.11): Valores de temperatura del agua de red.	55
Tabla (6.12): Demanda energética mensual.	56
Tabla (6.13): Radiación global diaria sobre superficie inclinada en Valladolid.	57
Tabla (6.14): Aplicación Método F-Chart. Cobertura energética anual. Caso 1.....	61
Tabla (6.15): Aplicación Método F-Chart. Cobertura energética anual. Caso 2.....	63
Tabla (6.16): Aplicación Método F-Chart. Cobertura energética anual. Caso 3.....	65
Tabla (6.17): Aplicación del método F-Chart. Dimensionado de la instalación solar y cobertura anual.....	67
Tabla (6.18): Variación de la densidad del agua con la temperatura.....	84
Tabla (A.1): Valores de transmitancia en función de la diferencia de temperatura. Ensayo2.....	139
Tabla (A.2): Resumen de resultados de transmitancia según el tipo de tabique. Ensayo2.....	142
Tabla (A.3): Valores de transmitancia según el salto térmico. Ensayo3.....	146



INDICE DE ECUACIONES

Ecuación (4.1): Calor sensible almacenado	12
Ecuación (4.2): Calor sensible almacenado para cambios de temperatura moderados.....	12
Ecuación (6.1): Ecuación de continuidad	40
Ecuación (6.2): Número de Reynolds	40
Ecuación (6.3): Ecuación de Darcy-Weisbach para el cálculo de pérdida de carga lineal.....	41
Ecuación (6.4): Demanda energética	55
Ecuación (6.5): Parámetro D_1	57
Ecuación (6.6): Factor adimensional para el cálculo del parámetro D_1	58
Ecuación (6.7): Parámetro D_2	58
Ecuación (6.8): Factor de agua almacenada	58
Ecuación (6.9): Factor para el servicio de ACS	58
Ecuación (6.10): Cobertura solar mensual	59
Ecuación (6.11): Cobertura solar anual	59
Ecuación (6.12): Volumen de acumulación solar.	85
Ecuación (6.13): Volumen del fluido de la instalación solar.....	91
Ecuación (A.1): Calculo de transmitancia según el software AMR Win Control.....	120
Ecuación (A.2): Valor de transmitancia según el Código Técnico de Edificación.....	139

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración (2.1) : Coalbrookdale at night, Philipp Jakob Louthembourg. Fuente: Google Images2	
Ilustración (2.2) : Horno solar portátil. Fuente: lavozdelatierra49.blogspot.com.....	2
Ilustración (4.1) : Trayectoria y movimientos de la Tierra. Fuente: www.monografias.com	8
Ilustración (4.2) : Distribución espectral de la radiación solar. Fuente: escritura.proyectolatin.org.....	9
Ilustración (4.3) : Espectro visible. Fuente: google images.....	9
Ilustración (4.4) : Proceso de conducción.....	10
Ilustración (4.5) : Proceso de convección.....	11
Ilustración (4.6) : Proceso de radiación.....	11
Ilustración (4.7) : Captador solar plano protegido. Fuente: google images.....	13
Ilustración (4.8) : Captador solar de tubos de vacío y detalle de sección transversal. Fuente: google images	13
Ilustración (4.9) : Ceneral de energía solar térmica. Fuente: google images.....	14
Ilustración (4.10) : Esquema de la instalación de ensayos de captadores solares. Bucle cerrado. Fuente: UNE 12975.....	15
Ilustración (5.1) : Situación del edificio. Fuente: Goolzoom.....	22
Ilustración (5.2) : Casta solar de Fisher-Mattioni a 21 de septiembre y 21 de marzo.	25
Ilustración (5.3) : Sombras en la cubierta a lo largo del día. 21 de Septiembre (izq), 21 de Marzo (dcha).....	32
Ilustración (5.4) : Sombras en la cubierta a lo largo del día. 21 de Junio (izq) y 21 de Diciembre (dcha).....	33
Ilustración (6.1) : Cuarto instalaciones edificio académico. Caldera calefacción (izq) y caldera ACS (dch).....	36
Ilustración (6.2) : Cubierta del edificio académico.....	37
Ilustración (6.3) : Cubierta del edificio docente.....	37
Ilustración (6.4) : Esquema 3D distribución de la instalación. Opción 1.....	43
Ilustración (6.5) : Esquema 3D distribución de la instalación del edificio académico	47
Ilustración (6.6) : Esquema 3D de la distribución de la instalación del Edificio Docente	51
Ilustración (6.7) : Datos iniciales en el software OrientSol 2.0	56
Ilustración (6.8) : Esquema de instalación solar básica para la producción de ACS. [15]	69
Ilustración (6.9) : Esquema general de distribución de ACS con apoyo solar [22].....	71
Ilustración (6.10) : Esquema hidráulico del circuito primario. [22].....	73
Ilustración (6.11) : Esquema hidráulico de sistema de apoyo por caldera.	77
Ilustración (6.12) : Temperaturas máximas de instalación solar.	79
Ilustración (6.13) : Estructura molecular etilenglicol	81
Ilustración (6.14) : Conexión de colectores solares en paralelo.	82
Ilustración (6.15) : Conexión de baterías de colectores en paralelo.....	82
Ilustración (6.16) : Acumulador solar Baxi AS-2500 [26].....	85
Ilustración (6.17) : Depósito de inercia Baxi [26]	87
Ilustración (6.18) : Bomba de circulación.....	92
Ilustración (6.19) : Purgador de aire manual.....	92



Ilustración (6.20): Válvula de tres vías	93
Ilustración (6.21): Intercambiador de placas Tranter.....	94
Ilustración (A.1): Datalogger. Controles de funcionamiento y puertos de conexión.....	118
Ilustración (A.2): Esquema de la instalación de termoflujometría.....	119
Ilustración (A.3): Conexión de las sondas al termoflujómetro.....	121
Ilustración (A.4): Instalación del equipo a ambos lados del tabique interior.....	123
Ilustración (A.5): Gráfica de valores registrados en el ensayo 1.....	129
Ilustración (A.6): Gráfica de valores registrados en el ensayo 2.....	129
Ilustración (A.7): Valor de transmitancia según salto térmico. Ensayo 2.....	143
Ilustración (A.8):Transmitancia a lo largo del tiempo. Ensayo 3.....	146
Ilustración (A.9):Valores de transmitancia según el salto térmico. Ensayo 3.....	146
Ilustración (A.10): Gráfica de resultados obtenidos en el ensayo 3.....	149
Ilustración (A.11): Instalación del equipo en el casetón del ascensor. Ensayo 4.....	151
Ilustración (A.12): Valores de transmitancia a lo largo del tiempo. Ensayo 4.....	152
Ilustración (A.13): Gráfica de resultados obtenidos en el Ensayo 4.....	153



1. Objetivos del trabajo.

El presente documento es un trabajo referente al diseño y cálculo de una instalación de Agua Caliente Sanitaria (ACS) con apoyo solar. Este cálculo se realizará en el edificio de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Valladolid.

El trabajo se orienta hacia el sector de la eficiencia energética y de las energías renovables permitiendo realizar una inmersión en este tema tan presente en la actualidad. Gracias al uso de la energía solar, el edificio se acerca hacia el consumo de energía casi nulo (nZEB); término muy presente en las directivas actuales de la Unión Europea y fin último de los edificios en el futuro.

El objetivo principal consiste en aplicar estrategias energéticas sostenibles a los edificios existentes. Se recurre al uso de energías renovables con el fin de disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera producidos por los combustibles fósiles y contribuyendo así a retardar el calentamiento global.

De forma complementaria, con el fin de aplicar y ampliar los conocimientos que se han adquirido durante los años de carrera se revisará y mejorará la instalación actual de agua caliente sanitaria a su vez que se incrementará el nivel de confort de las personas que habitan el edificio. Además, se estudiará la viabilidad de una instalación de paneles solares para generar una producción de agua caliente a partir de la energía del Sol.

Para ello se realizará una inspección del diseño, dimensionado y estado de la instalación actual de agua caliente sanitaria; así como una propuesta de una instalación nueva que complete las necesidades de la actual. Adicionalmente, para completar esa instalación con un abastecimiento de energía solar, se procederá a analizar las condiciones geográficas y climatológicas del lugar; así como se llevará a cabo un estudio de las sombras producidas tanto por los edificios próximos como por los elementos arquitectónicos del propio edificio.

Queda justificada la realización de este trabajo por la necesidad de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Valladolid de una instalación completa de agua caliente sanitaria. Y dada la normativa actual, la necesidad de un sistema solar de producción de agua caliente como apoyo al sistema principal.

2. Introducción.

Tras la Revolución Industrial que nació en Reino Unido en la segunda mitad del siglo XVIII la sociedad pasó de una economía rural basada fundamentalmente en la agricultura y el comercio a una economía de carácter urbano, industrializada y mecanizada.



Ilustración (2.1): *Coalbrookdale at night*, Philipp Jakob Louthembourg. Fuente: Google Images

El éxito de esta revolución lo garantizó la introducción de la máquina de vapor de James Watt que permitió que los trabajos que realizaban las personas y los animales los realizaran las máquinas. De esta manera la energía empezó a cobrar una importancia vital en la vida cotidiana de la sociedad.

La energía solar es la fuente de energía más importante. Además de la cantidad de energía que llega constantemente a la Tierra, a partir de la energía solar tienen origen otras fuentes de energía como son: la hidráulica, la energía solar comienza el ciclo del agua con la evaporación de grandes masas de agua que más tarde precipitan y discurren en cursos de agua; la eólica, provocada por el movimiento de las masas de aire calentadas y las más frías; y la biomasa donde la radiación solar es imprescindible para que se produzca el proceso de fotosíntesis.

La energía solar ha sido utilizada por el hombre desde hace siglos como por ejemplo en el uso de relojes de sol para conocer la hora del día en función del ángulo en el que se encontraba el sol. Tras la Revolución Industrial los procesos de aprovechamiento de la energía solar han avanzado notablemente, por ejemplo hoy en día existen hornos solares que permiten cocinar los alimentos únicamente con el aporte de energía solar.



Ilustración (2.2): Horno solar portátil. Fuente: lavozdelatierra49.blogspot.com

Actualmente, la energía es la base de la sociedad y de la economía además de estar considerada como un derecho básico. Por ello las viviendas han desarrollado sistemas de producción de agua caliente, sistemas de refrigeración y de calefacción que mejoran el confort de los usuarios. Las industrias emplean procesos que requieren grandes cantidades de energía y los transportes permiten recorrer largas distancias en unas pocas horas. Todo esto ha aumentado enormemente el consumo de energía tanto por los edificios como por las industrias y los transportes.

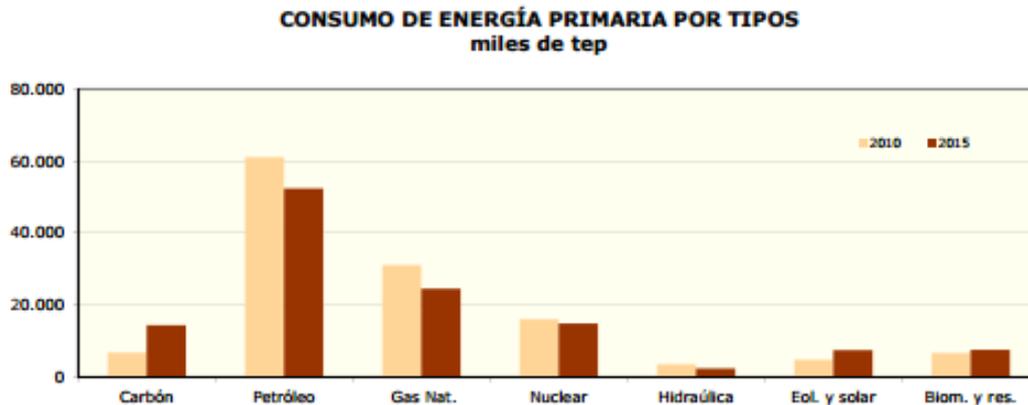


Tabla (2.1): Consumo de Energía Primaria en España. Fuente: Ministerio de Energía, Industria y Turismo [1]

En el gráfico superior publicado en el Boletín Estadístico del Ministerio actualizado el día 03/06/2016 se observa el consumo de energía primaria en España. En este gráfico destaca la dependencia de España de otros países en cuanto a la energía ya que la mayor parte de la energía se obtiene del petróleo y del Gas Natural que son productos importados.

Por esto el Parlamento Europeo ha desarrollado directivas que apuestan por las energías renovables y la eficiencia energética de tal forma que se fomente el movimiento de dinero dentro de los países de la Comunidad Europea. Además de que el consumo de las energías renovables disminuirá notablemente la emisión a la atmósfera de contaminantes producidos por el consumo de combustibles fósiles que, debido al efecto invernadero, pueden elevar la temperatura del planeta provocando grandes cambios climáticos.

Conscientes de la delicadeza de la situación se han celebrado varias cumbres internacionales y se han firmado acuerdos como el Protocolo de Kyoto [2] en 1997 de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático por el que los países que firmaron se comprometieron a no superar unos límites de emisiones de los gases de efecto invernadero. En el ámbito de la Unión Europea cabe destacar la aprobación en 2008 del Paquete Europeo de Energía y Cambio Climático 2013-2020 [3] donde se establecen objetivos concretos para 2020 en materia de energías renovables, eficiencia energética y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. El objetivo de este paquete es sentar las bases para dar cumplimiento a los compromisos en materia de cambio climático y energía que son: reducir las emisiones totales de gases de efecto invernadero en 2020 al menos en un 20% respecto a los niveles de 1990 y alcanzar el objetivo del 20% de consumo de energías renovables en 2020.



Como se ve en la imagen anterior, del año 2010 al año 2015 se ha tendido a apostar más por estas energías renovables como son la energía eólica, la energía solar y la biomasa; y se ha disminuido la necesidad de importar combustibles fósiles aunque el proceso sea lento y aún se esté lejos de alcanzar los objetivos ese paquete.

Todo este compromiso medioambiental ha afectado a la edificación. Se desarrolló la directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 19 de mayo de 2010 relativa a la eficiencia energética de los edificios [4]. En la Unión Europea el consumo de energía referente a los edificios corresponde a un 40% por eso una reducción del consumo y el uso de la energía procedente de fuentes renovables en el sector de la edificación constituyen una parte importante de las medidas necesarias para reducir la dependencia energética y la emisión de gases de efecto invernadero de Europa. Con esta directiva se establecen requisitos en relación a una metodología de cálculo de la eficiencia, los requisitos mínimos de los edificios nuevos o en edificios existentes, la inspección periódica de las instalaciones y los sistemas de control.

Posteriormente se publicó el reglamento delegado¹ (UE) nº 244/2012 de la Comisión, de 16 de enero de 2012 [5] que complementa la directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo estableciendo un marco metodológico comparativo para calcular los niveles óptimos de rentabilidad de los requisitos mínimos de eficiencia energética de los edificios nuevos y existentes así como de sus elementos. “El marco metodológico precisa las normas que deben aplicarse para comparar las medidas de eficiencia energética, las medidas que integren fuentes de energía renovables y los paquetes y variantes de esas medidas, sobre la base de su eficiencia energética primaria y del coste atribuido a su implementación. Regula también la forma de aplicar dichas normas a edificios de referencia seleccionados para identificar los niveles óptimos de rentabilidad de los requisitos mínimos de eficiencia energética”.

Además en el año siguiente la Comisión publicó dos informes al Parlamento Europeo y al consejo; uno de ellos era el respaldo financiero a la eficiencia energética de los edificios (COM (2013) 225 final de 18.4.1013) [6], y el segundo, los avances efectuados por los Estados miembros en la implantación de edificios de consumo de energía casi nulo (COM (2013) 483 final/2 de 28.6.2013) [7].

Hoy en día esta fuente de energía se incluye en el Código Técnico de la Edificación (CTE) para la contribución de la demanda de Agua Caliente Sanitaria (ACS) en los edificios de nueva construcción y parte de los edificios existentes. La sección destinada a ello es la DB HE 4.

Esta sección del CTE (Código Técnico de Edificación) se aplica tanto para edificios de nueva construcción como para “edificios existentes en que se reforme íntegramente el edificio en sí o la instalación térmica, o en los que se produzca un cambio de uso característico del mismo, en los que exista una demanda de agua caliente sanitaria superior a 50l/d”. En este documento se establece una contribución solar mínima de energía solar térmica en función de la zona climática y de la demanda de ACS; la contribución solar mínima anual marcada es el cociente

¹ El reglamento delegado es el que se activa previo mandato o habilitación contenida en un acto legislativo, con el objeto de que la Comisión complete o modifica la eficaz aplicación del mismo por medio de esta norma de aplicación general y eficacia directa. No estará revestido de la naturaleza de acto legislativo.



entre los valores anuales de la energía solar aportada exigida y la demanda energética anual para ACS.

Demanda total de ACS del edificio (l/d)	Zona climática				
	I	II	III	IV	V
50 – 5.000	30	30	40	50	60
5.000 – 10.000	30	40	50	60	70
> 10.000	30	50	60	70	70

Tabla (2.2): Contribución solar mínima anual para ACS en %. Fuente: Código Técnico de la Edificación

Además se dicta la protección contra sobrecalentamientos; las pérdidas por orientación, inclinación y sombras; los sistemas de medida; el procedimiento para la justificación de dicha exigencia y el plan de mantenimiento requerido.



3. Normativa vigente.

Para la ejecución de este documento se han tenido en cuenta las siguientes normativas vigentes en España en el momento en el que se realizó:

Código Técnico de la Edificación.

Aprobado a partir del Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo (BOE 28 de marzo de 2006) y actualizado el 13 de Septiembre de 2013.

Dentro del Código Técnico de la Edificación se han aplicado:

DB HE Ahorro de energía [8]

DB HS Salubridad [9]

Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios [10]

Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los edificios.

Real Decreto 238/2013, de 5 de abril, por el que se modifican determinados artículos e instrucciones técnicas del reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios, aprobado por el Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio.

BOE. Corrección de errores del Real Decreto 238/2013, de 5 de abril, por el que se modifican determinados artículos e instrucciones técnicas del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios, aprobado por Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio.

Versión consolidada del Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, (BOE 9-09-2013). Y revisada el 14 de Febrero de 2016.

Se tiene también presente la normativa básica aprobada al finalizar la construcción del edificio. **Norma Básica de la edificación “NBE-CT-79” sobre condiciones térmicas de los edificios.** Probada según el Real Decreto 2429/1979, de 6 de julio, de la presidencia del Gobierno (BOE: 22 de octubre de 1979).

4. Fundamentos teóricos.

En este apartado se va a hacer una breve reseña de los fundamentos teóricos básicos para la realización de este trabajo. Fundamentalmente se va a hablar de la energía en relación al aprovechamiento térmico solar de la misma en forma de baja temperatura.

4.1 Energía solar.

4.1.1 Definición.

Desde el punto de vista de la Física, la energía solar es la radiación electromagnética que se origina en el Sol como consecuencia de los movimientos acelerados de las partículas cargadas eléctricamente que constituyen dicha estrella.

Esa radiación electromagnética tiene unas características físicas determinadas: temperatura de emisión equivalente, 5777 K, longitudes de onda entre 0,2 y 3 nanómetros, potencia total de emisión $3,86 \cdot 10^{20}$ W, irradiancia 63,5MW/m², potencia con que llega a la Tierra 1367 W/m², etc.

La radiación solar que incide sobre el planeta Tierra supone una cantidad de energía de $5,44 \cdot 10^{18}$ MJ/año es decir 11.000 veces superior a todo consumo de energías intermedias convencionales (electricidad y combustibles) de los seres humanos actuales. Traducido este número a un valor de potencia media se llega al normalmente aceptado de 342W/m² que se puede comparar con el tamaño energético de un ser humano (100W); es decir, en un metro cuadrado de la Tierra se reciben más de tres veces la energía que consume un ser humano como tal. [15]

España, por su privilegiada situación y climatología, se ve particularmente favorecida respecto a muchos de los países de Europa ya que sobre cada metro cuadrado de su suelo inciden al año unos 1500 kWh de energía por cada metro cuadrado. En el sur de la península esta cantidad es algo superior, llegando a valores de 1800 y 1900 kWh/m² al año o 5kWh/m² al día. Los expertos dicen que la energía solar es la única que podría cubrir todas las necesidades de la humanidad y que ahora sólo vivimos el inicio de su explotación.

Para aprovechar bien esta energía hay que conocer sus fundamentos físicos.

Movimiento de la Tierra alrededor del Sol.

La Tierra en su movimiento anual describe una trayectoria elíptica alrededor del sol con una duración de 365,2422 días. Además ocurre que el sol no se encuentra en el centro de dicha elipse sino que se encuentra desplazado a uno de sus focos con una excentricidad de 0,0017. Esto provoca que la distancia entre la Tierra y el sol varíe a lo largo del año y por lo tanto que la radiación que llega a la superficie de la Tierra no sea constante ni incida con el mismo ángulo de inclinación.

Movimiento de la Tierra alrededor de su propio eje.

El movimiento diario de la tierra alrededor de su propio eje origina las diferencias entre el día y la noche. Además el eje de rotación (unión de los dos polos terrestres) se encuentra

inclinado $23,5^\circ$ lo que es responsable de las estaciones que se producen por el movimiento de translación de la Tierra alrededor del Sol.

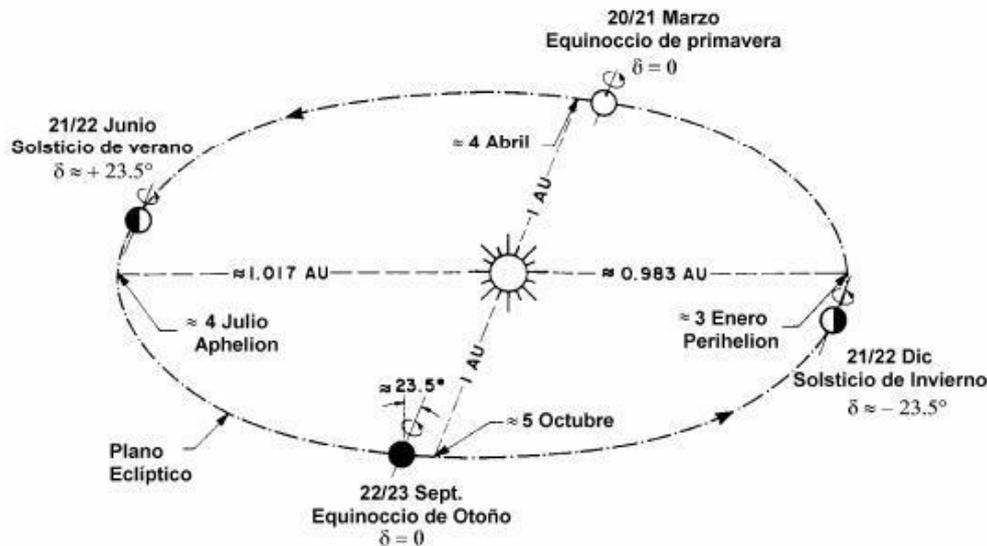


Ilustración (4.1): Trayectoria y movimientos de la Tierra. Fuente: www.monografias.com

Derivados del concepto de energía solar surgen otros conceptos como el de la radiación solar.

En primer lugar la radiación solar es el flujo de energía que recibimos del sol en forma de ondas electromagnéticas de diferentes frecuencias, es decir, la energía solar que recibimos en la superficie terrestre. A partir de este concepto surgen los de irradiancia e irradiación. La irradiancia es la energía incidente sobre la unidad de superficie en la unidad de tiempo y se mide en W/m^2 ; y la irradiación es la energía recibida por la unidad de superficie durante un periodo de tiempo determinado y se obtiene integrando el valor de la irradiancia a lo largo de dicho periodo de tiempo, su unidad habitual de medida es el J/m^2 .

Otro fenómeno que hay que tener en cuenta es la dispersión de la radiación solar en la atmósfera. Esta dispersión es una difusión de la radiación solar producida por partículas de la atmósfera; podemos considerar tres mecanismos principales: dispersión de Rayleigh, dispersión de Mie y dispersión no selectiva. La dispersión de Rayleigh es consecuencia de la interacción de la radiación con moléculas de los gases atmosféricos y con otras partículas pequeñas de diámetro mucho menor que la longitud de onda de la radiación con la que interaccionan. La dispersión de Mie se produce cuando los diámetros de las partículas atmosféricas son esencialmente iguales a la longitud de onda de la radiación (como vapor de agua). Y la dispersión no selectiva constituye un fenómeno que se produce cuando los diámetros de la partículas que producen la dispersión son mucho mayores que las longitudes de onda con las que interaccionan.

En consecuencia de este fenómeno aparecen los términos de radiación directa y radiación difusa. La radiación directa, como su propio nombre indica, es la recibida directamente del sol y la radiación difusa es aquella recibida de la atmósfera como consecuencia de la dispersión de

parte de la radiación del sol en la misma, esta energía puede suponer aproximadamente un 15% de la radiación global en los días soleados. Se puede considerar al sol como un cuerpo negro radiativamente hablando que se encuentra a una temperatura de unos 5800 K y que proporciona una irradiación en el exterior de la atmósfera de unos 1,35 kW/m² y a nivel del mar de unos 1kW/m²; según la ilustración inferior.

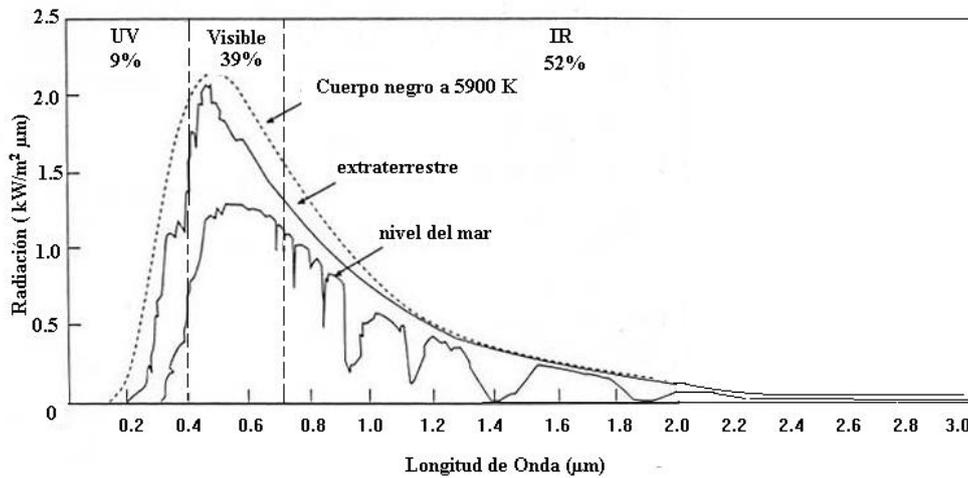


Ilustración (4.2): Distribución espectral de la radiación solar. Fuente: escritura.proyectolatin.org

Como se ha visto anteriormente, la radiación solar llega en forma de ondas electromagnéticas de distintas frecuencias. En la imagen inferior vemos el espectro solar y que las componentes que poseen más flujo de energía corresponden con las longitudes de onda del espectro visible que son las comprendidas entre 400 y 700nm (siendo 1 Angstrom equivalente a 10nm).

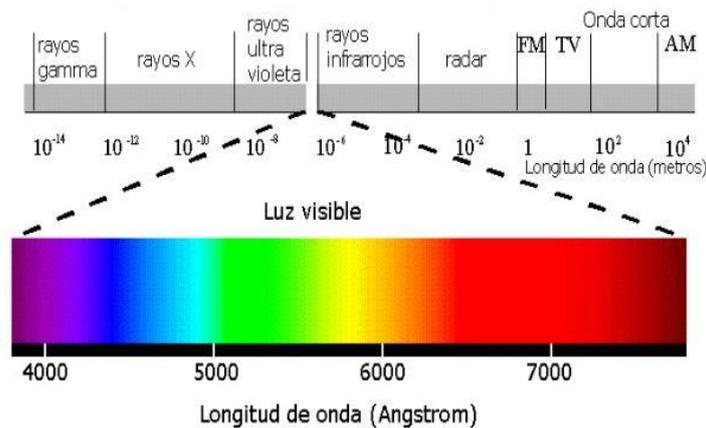


Ilustración (4.3): Espectro visible. Fuente: google images.

4.2 Energía térmica.

4.2.1 Definición.

La energía térmica es la energía que se manifiesta en forma de calor.

El universo está continuamente tratando de equilibrarse térmicamente; siempre que hay dos cuerpos con distinta temperatura, el cuerpo de mayor temperatura cede parte de su energía al otro cuerpo en forma de calor, cediendo cada uno la misma cantidad de energía que recibe, a esto se le llama equilibrio térmico. En el universo hay diferentes temperaturas entre los cuerpos, por eso el propio universo es una continua transferencia de calor que busca el equilibrio térmico.

En física, la transferencia de calor es un proceso por el que se transmite energía entre dos cuerpos que se encuentran a distinta temperatura. Este proceso lo estudia la termodinámica que es una rama de la ingeniería. Las leyes de la termodinámica se aplican a la transferencia de energía pero sólo en sistemas que están en equilibrio. La transferencia de calor complementa los principios termodinámicos proporcionando métodos de análisis que permitan predecir esta velocidad de transferencia térmica.

Existen tres procesos por los que se puede dar esta transmisión de calor y son conducción, convección y radiación. La mayor diferencia es que para que se produzca transferencia de energía térmica entre dos cuerpos por conducción o convección las moléculas de los diferentes cuerpos tienen que estar en contacto; en cambio para la transmisión por radiación no hace falta que los cuerpos estén en contacto ya que la energía se desplaza por el vacío en forma de ondas. Dentro de los procesos de conducción y convección la diferencia está en que en la conducción no hay movimiento macroscópico de materia, mientras que en la convección sí que lo hay.

Conducción.

La conducción es un proceso de transmisión de calor basado en el contacto directo entre los cuerpos; en este proceso el calor fluye desde el cuerpo de mayor temperatura al de menor temperatura, sin intercambio de materia. La propiedad física de los materiales que determina su capacidad para conducir el calor es la conductividad térmica. Esta transmisión del calor por conducción entre dos cuerpos o entre diferentes partes de un cuerpo es el intercambio de energía interna que es una combinación de la energía cinética y la energía potencial de sus partículas.

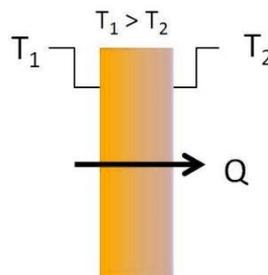


Ilustración (4.4): Proceso de conducción.

Convección.

La convección es un proceso de transferencia de calor que se produce por medio de un fluido (líquido o gas) que transporta el calor entre zonas con diferentes temperaturas. La convección en sí es el transporte de calor por medio del movimiento del fluido.

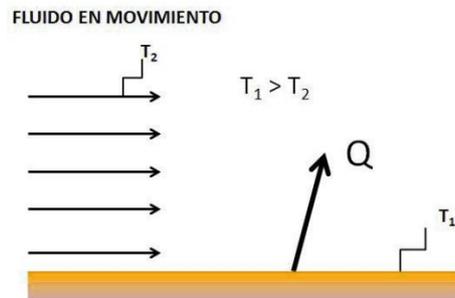


Ilustración (4.5): Proceso de convección.

Radiación.

Se denomina radiación térmica a la emitida por un cuerpo debido a su temperatura. Todos los cuerpos emiten radiación electromagnética, siendo su intensidad dependiente de la temperatura y de la longitud de onda considerada. Respecto a la transferencia de calor por radiación es relevante la comprendida en el rango de longitudes de onda de $0,1\mu\text{m}$ a $1000\mu\text{m}$, abarcando por tanto la región infrarroja del espectro electromagnético.

Los cuerpos negros (como en este caso se ha considerado al sol) emiten radiación térmica con el mismo espectro correspondiente a su temperatura, independientemente de los detalles de su composición.

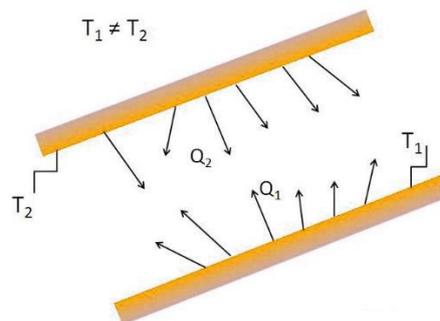


Ilustración (4.6): Proceso de radiación.

4.2.2 Energía solar térmica.

La energía solar térmica consiste en el aprovechamiento de la radiación solar incidente para calentar un objeto o fluido con el fin de aprovechar esta energía. En este caso la radiación que se aprovechará será la radiación térmica y se hará gracias a un colector solar.

La radiación térmica es aquella que no posee suficiente energía para ionizar la materia pero sí para calentarla y se encuentra en el rango de entre los $0,1$ y $100 \mu\text{m}$. Estas longitudes de onda engloban la zona de baja frecuencia de la radiación ultravioleta, la radiación visible y gran parte de la radiación infrarroja que es la energía que aprovechará el colector solar.

A esto hay que añadirle que hay ciertas propiedades ópticas que afectan en la interacción del colector solar respecto a una radiación electromagnética de cierta longitud de onda; estas propiedades son la absorptividad, la reflectividad y la transmisividad. Así, estas propiedades dependen de la longitud de onda de la radiación, de la distribución espectral de la radiación incidente, de la superficie del objeto, de su rugosidad y su temperatura.

En el caso de los colectores solares, lo que más interesa es el proceso de absorción de tal forma que el colector absorba la radiación solar y transmita el calor al fluido que circula en su interior para que éste lo transporte y la energía pueda ser aprovechada. Sin embargo, la irradiación solar y la demanda dependen del tiempo y raramente coinciden. Para sincronizar la producción con la demanda es necesario acumular la energía recibida de la radiación solar para poder aprovecharla en otro momento.

La energía térmica puede almacenarse por medios físicos en forma de calor sensible o calor latente, y por medios químicos mediante reacciones químicas reversibles. En el caso de los sistemas solares de baja y media temperatura es el almacenamiento sensible de agua.

Se denomina calor sensible a la energía que almacena un cuerpo al aumentar su temperatura, siempre y cuando no experimente cambios de fase durante el proceso. Si el cuerpo en cuestión tiene masa m , calor específico C_p , densidad ρ , volumen V , y experimenta un aumento de temperatura desde T_1 hasta T_2 , el calor sensible almacenado en el mismo será:

$$Q_{SEN} = M \cdot \int_{T_1}^{T_2} C_p(T) \cdot dT = V \cdot \rho \cdot \int_{T_1}^{T_2} C_p(T) \cdot dT$$

Ecuación (4.1): Calor sensible almacenado

Para cambios de temperatura moderados, el calor específico de muchas sustancias puede considerarse constante a efectos prácticos. Por ejemplo, el calor específico del agua varía del orden de un 1% en el margen de temperaturas de 0°C a 100°C. En estos casos, la Ecuación anterior puede reescribirse como:

$$Q_{SEN} = M \cdot C_p \cdot \Delta T = M \cdot C_p \cdot (T_2 - T_1) = V \cdot \rho \cdot C_p \cdot (T_2 - T_1)$$

Ecuación (4.2): Calor sensible almacenado para cambios de temperatura moderados

Para que el almacenamiento de energía sea lo más eficiente posible hay que utilizar materiales con la mayor densidad energética ($\rho \cdot C_p$) posible, ya que estos materiales permiten almacenar más energía en el mismo volumen (V) consiguiéndose así equipos más compactos.

Una vez llegado a este punto hay que distinguir, las instalaciones o dispositivos que a partir de la radiación solar que reciben transforman esa energía solar en otras formas energéticas, del término de energía solar que habitualmente se engloban dentro del mismo término de Energía Solar. En este trabajo, los dispositivos que transforman la energía solar en energía térmica son los colectores solares que se explicarán a continuación.

4.2.2 Colector Solar.

En primer lugar, un colector solar es un dispositivo diseñado de tal forma que permite recoger la energía radiada por el sol y convertirla en energía térmica.

Los colectores solares pueden clasificarse en tres tipos según el calor que proporcionan; captadores de baja temperatura, captadores de media temperatura y captadores de alta temperatura.

Tipos de paneles solares:

Los captadores de baja temperatura suelen proporcionar calor por debajo de los 80°C y suelen emplearse fundamentalmente en sistemas domésticos de calefacción y agua caliente sanitaria; los más usuales son los colectores solares planos. Estos colectores consisten en una caja plana metálica que aloja los dispositivos necesarios para la circulación del fluido que se calienta gracias a la energía que les llega del sol. Hay dos tipos de captadores solares planos: el captador plano protegido y el captador plano no protegido. La diferencia radica en que el captador protegido es un sistema más caro pero de mayor rendimiento ya que cuenta con un vidrio fino en la parte superior del panel que limita las pérdidas de calor y aumenta el efecto invernadero; además de que el resto de caras de la caja en la que se ubica el captador están aisladas térmicamente.



Ilustración (4.7): Captador solar plano protegido. Fuente: google images

Los captadores de media temperatura son los colectores de tubo de vacío en los cuales la superficie captadora está aislada del exterior por un doble tubo de vidrio que crea una cámara de vacío. Gracias a su forma cilíndrica son 196% más eficientes que los captadores planos ya que su forma cilíndrica permite que reciban siempre los rayos del sol de forma perpendicular. Trabajan a temperaturas de entre 100 y 250°C que permiten la producción de vapor y hace que sean útiles en procesos industriales y producción de electricidad.

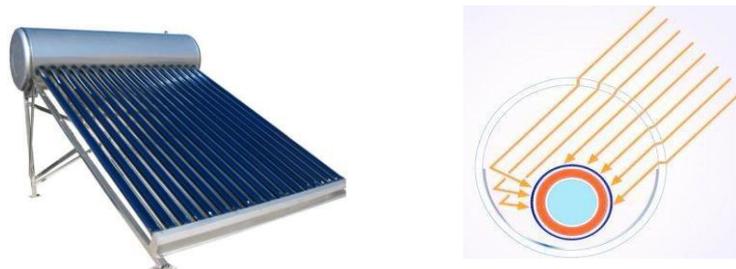


Ilustración (4.8): Captador solar de tubos de vacío y detalle de sección transversal. Fuente: google images

Los captadores de alta temperatura son los concentradores solares donde el fluido se calienta a temperaturas de hasta 2000°C mediante espejos parabólicos. Es un sistema más caro y con mayor rendimiento que los anteriores y se aplica en la producción de electricidad.



Ilustración (4.9): Central de energía solar térmica. Fuente: google images.

Existen 4 componentes básicos en un panel solar plano:

El Colector; es el panel encargado de transferir la energía solar al líquido caloportador. Este panel puede estar pintado de color negro mate o cubierto con pinturas selectivas como el cromo negro para favorecer la absorción de calor. Suele estar contenido en una caja con paredes resistentes al exterior y con un aislamiento térmico en su interior. Y en su parte superior puede llevar uno o varios vidrios transparentes que a la vez que lo protegen de la intemperie dejan pasar la luz y facilitan el efecto invernadero dentro del colector. Este colector tiene variantes; puede tratarse de tubos y placas, de un serpentín, de tubos de vacío y los que alcanzan mayores temperaturas como los concentradores parabólicos y el plato parabólico.

El Contenedor; es el recipiente de almacenamiento del fluido que se calentará gracias a la energía solar y que a su vez transmitirá ese calor al circuito de la instalación de agua del edificio.

El Sistema; el sistema de un captador solar lo componen todas las tuberías, bombas, sistemas de control, llaves de paso y accesorios con las que cuenta el calentador solar.

Fluido de trabajo; como la circulación será indirecta existirán dos fluidos, el agua para el circuito de consumo y el fluido caloportador para el circuito del sistema solar (agua o agua con aditivos). Este fluido caloportador pasará por el colector, se calentará gracias a la energía solar y transmitirá su energía térmica al fluido del circuito de consumo.

Caracterización.

Una vez conocidos los tipos de paneles solares existentes y sus partes se muestran los parámetros físicos que permiten compararlos y elegir el mejor en cada caso.

Otra dimensión que define un panel solar es, además de las longitudes de largo y ancho, el área de absorción que es la que hay que tener en cuenta a la hora de hablar del proceso de absorción de energía. Además suele hablarse también del peso en vacío del panel solar.

Los coeficientes de eficacia relativos al área de absorción son los parámetros que determinan la eficacia del colector. Los coeficientes de pérdida (a_1 y a_2) son propios de cada colector y cuanto menor sea su valor mayor será la eficiencia del captador. Los factores de ángulo (K_1 y K_2) son parámetros que describen la dependencia de la eficiencia del colector respecto al ángulo de irradiación tanto longitudinalmente como transversalmente; así, cuando los colectores sean de tubos de vacío los valores de los parámetros serán distintos y cuando los colectores sean planos los dos parámetros tendrán el mismo valor ya que el ángulo de irradiación es el mismo tanto longitudinal como transversalmente. Estos valores varían entre 0 y 1; siendo 1 el valor del factor cuando la irradiación es perpendicular al colector.

Además de estos parámetros es muy importante conocer el rendimiento solar del captador y su eficiencia. Estos datos vienen dados en la ficha del colector y la curva de eficiencia del captador solar se obtiene mediante un ensayo normalizado UNE 12975 [14].

Esta norma también indica el montaje del captador, su localización, las condiciones de ensayo y el procedimiento a seguir para cumplirla. A continuación se muestra el esquema y la leyenda con cada uno de los componentes.

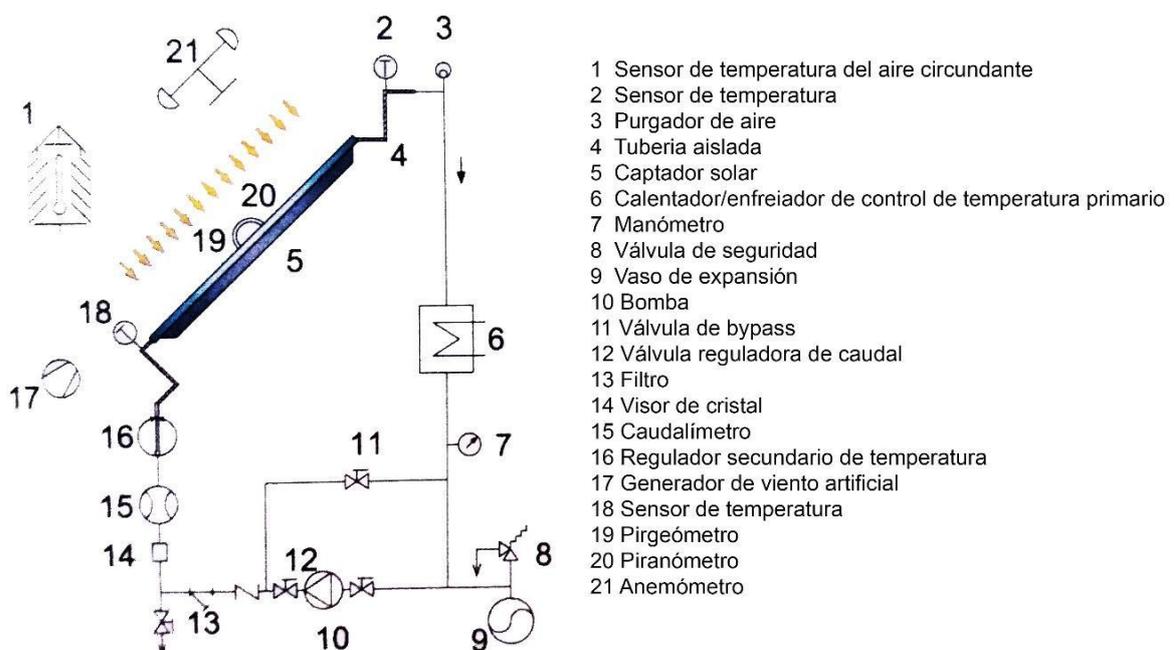


Ilustración (4.10): Esquema de la instalación de ensayos de captadores solares. Bucle cerrado. Fuente: UNE 12975



Para determinar la curva de rendimiento, se ubica el captador en una instalación de prueba en la que circula un caudal con una temperatura de entrada del fluido constante. Se registran los valores de medición importantes para su posterior evaluación como la temperatura de entrada, la temperatura de salida, la irradiancia, la temperatura ambiente, la velocidad del viento y el caudal. Para obtener datos de rendimiento a diferentes temperaturas de trabajo, se procede a realizar un incremento gradual de la temperatura de entrada durante el ensayo; de este modo se logrará tener un número de puntos de medición de rendimiento que permitirán determinar la curva de rendimiento característica en función del incremento entre la temperatura del colector y la temperatura ambiente y el rendimiento.

A continuación se muestran 3 tipos distintos de colector que se comparan según los parámetros anteriormente vistos y los resultados de los ensayos realizados por el instituto suizo SPF (Institut für solartechnik) [11].

Se han elegido colectores con diversas características con el fin de compararlos posteriormente cuando se realice el cálculo de la instalación solar.

Los datos de rendimiento y eficacia que se muestran en la ficha de cada colector son los realizados para cada uno de los sistemas con el software de simulación Polysun.

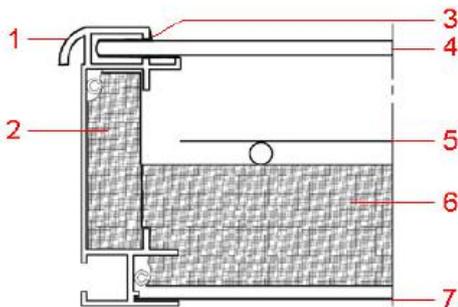
1- Colector plano. Modelo: **Solex BLUx**

Dimensiones:

- Longitud total: 2,005m
- Anchura total: 1,290m
- Peso vacío: 50kg
- Área de abertura 2,345m²

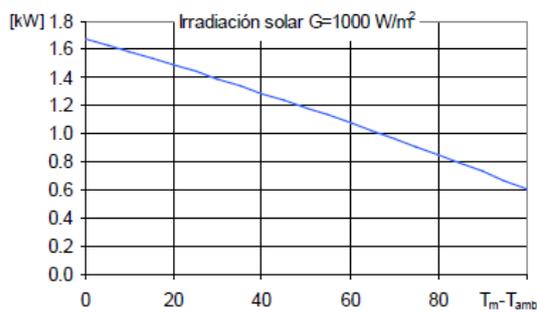


Construcción



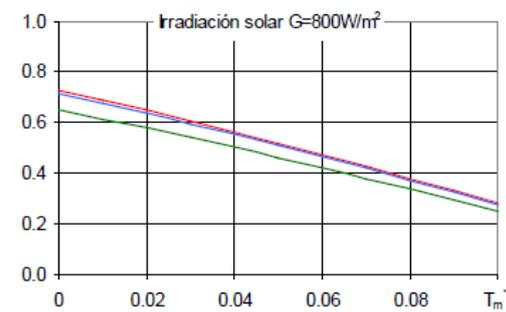
- 1 Caja
- 2 Aislamiento térmico lateral
- 3 Junta
- 4 Cubierta
- 5 Absorbedor
- 6 Aislamiento térmico
- 7 Pared posterior

Rendimiento máximo W_{peak}



Rendimiento máximo W_{peak} 1678 W
 Capacidad térmica* 6.6 kJ/K
 Caudal usado para los ensayos 130 l/h
 Fluido de transferencia de calor Agua-Glicol 33.3%

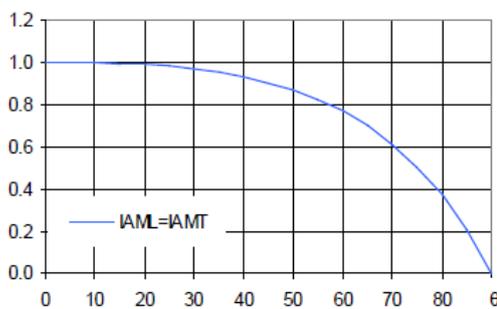
Eficiencia relativa η



Área referencia Total Apertura Absorbedor
 η_0 0.649 0.716 0.728
 a_1 [WK⁻¹m⁻²] 3.51 3.87 3.94
 a_2 [WK⁻²m⁻²] 0.0062 0.0069 0.0070

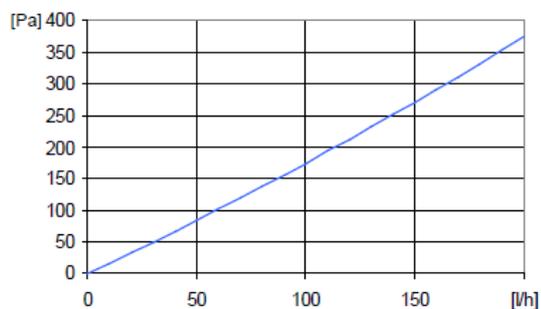
*) Capacidad térmica específica C del captador sin líquido, determinado según 6.1.6.2 del EN12975-2:2006

Modificador del ángulo IAM



K1, transversal IAM a 50° 0.87
 K2, longitudinal IAM a 50° 0.87

Caída de presión Δp



Caída de presión para caudal nominal:
 $\Delta p = 174$ Pa (T=20°C)

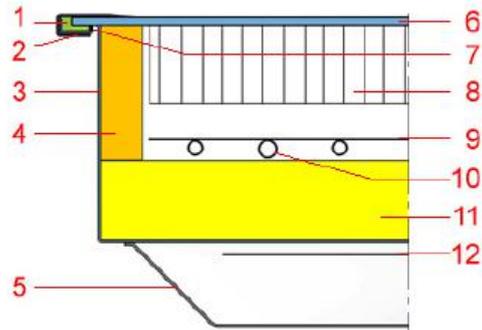
2- Colector plano. Modelo: **Tigi TIGI HC1-A**

Dimensiones:

- Longitud total: 2,027m
- Anchura total: 1,030m
- Peso vacío: 61kg
- Área de abertura 1,804m²

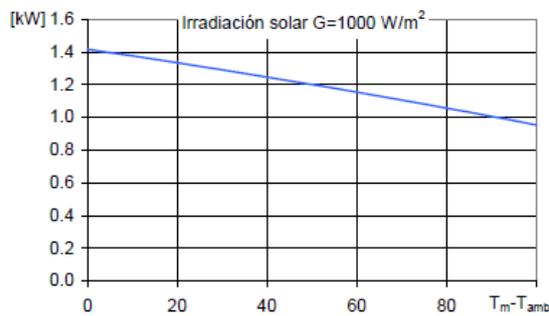


Construcción



- 1 Encolado
- 2 Listón de cubierta
- 3 Caja
- 4 Aislamiento térmico lateral
- 5 Contraportada secundaria
- 6 Cubierta
- 7 Franja densa
- 8 Aislamiento transparente
- 9 Absorbedor
- 10 Elemento de refrigeración

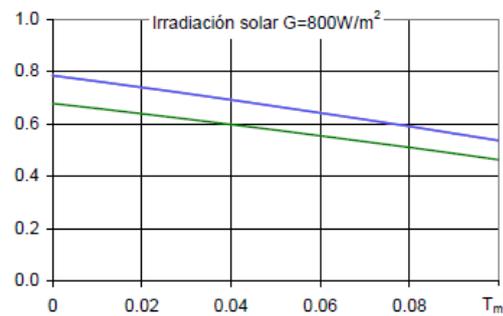
Rendimiento máximo W_{peak}



Rendimiento máximo W_{peak}	1416 W
Capacidad térmica*	6.5 kJ/K
Caudal usado para los ensayos	150 l/h
Fluido de transferencia de calor	Agua-Glicol 33.3%

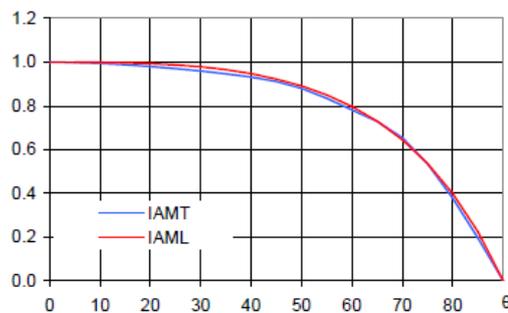
*) Capacidad térmica específica C del captador sin líquido, determinado según 6.1.6.2 del EN12975-2:2006

Eficiencia relativa η



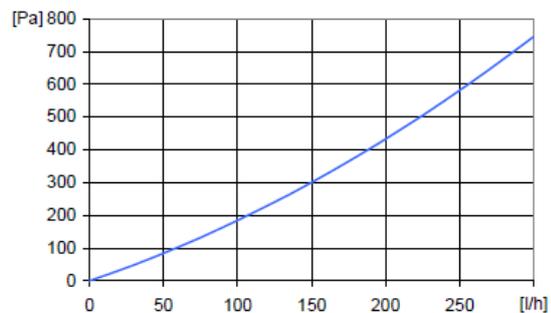
Área referencia	Total	Apertura	Absorbedor
η ₀	0.678	0.785	0.785
a ₁ [WK ⁻¹ m ⁻²]	1.90	2.20	2.20
a ₂ [WK ⁻² m ⁻²]	0.0031	0.0036	0.0036

Modificador del ángulo IAM



K1, transversal IAM a 50°	0.88
K2, longitudinal IAM a 50°	0.89

Caída de presión Δp



Caída de presión para caudal nominal:
 $\Delta p = 229 \text{ Pa}$ (T=20°C)

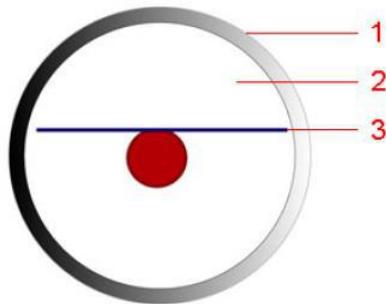
3- Colector tubos de vacío. Modelo: **Germanstar HP 70/24**.

Dimensiones:

- Longitud total: 2,285 m
- Anchura total: 1,815 m
- Peso vacío: 78,0 kg
- Área de abertura 3,144 m²



Construcción



- 1 Cubierta
- 2 Vacío
- 3 Absorbedor

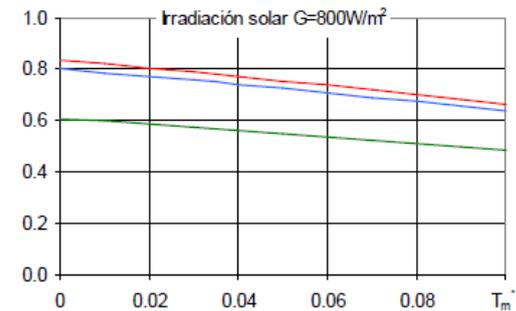
Rendimiento máximo W_{peak}



Rendimiento máximo W_{peak}	2520 W
Capacidad térmica*	7.9 kJ/K
Caudal usado para los ensayos	280 l/h
Fluido de transferencia de calor	Agua-Glicol 33.3%

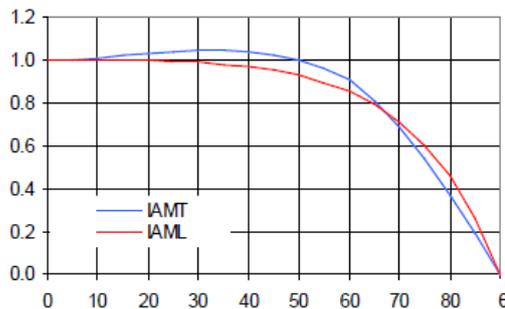
*) Capacidad térmica específica C del captador sin líquido, determinado según 6.1.6.2 del EN12975-2:2006

Eficiencia relativa η



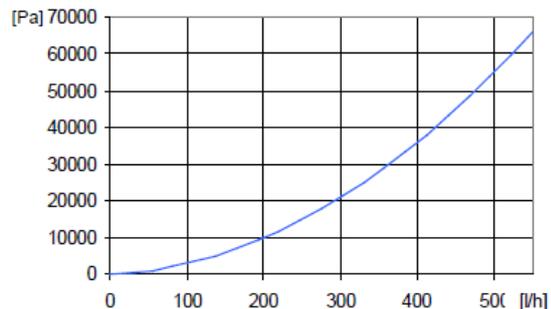
Área referencia	Total	Apertura	Absorbedor
η_0	0.608	0.802	0.835
a_1 [WK ⁻¹ m ⁻²]	1.14	1.50	1.56
a_2 [WK ⁻² m ⁻²]	0.0012	0.0016	0.0017

Modificador del ángulo IAM



K1, transversal IAM a 50°	1.00
K2, longitudinal IAM a 50°	0.93

Caída de presión Δp



Caída de presión para caudal nominal:
 $\Delta p = 9843 \text{ Pa}$ (T=20°C)

Una vez vistas las características y los parámetros de estos tres colectores se observa que los dos colectores planos tienen una eficiencia parecida y el colector de tubos de vacío tiene una eficiencia superior. Esto se atribuye por un lado a los factores característicos de cada colector y por otro lado a la capacidad térmica.

En primer lugar los factores de pérdidas de los colectores planos son mayores que los del colector de tubos de vacío lo que disminuye la eficacia de los mismos.

Y en segundo lugar, la capacidad térmica del colector de tubos de vacío es bastante mayor que la de los colectores planos; esto significa que es capaz de transferir mayor energía calorífica al fluido en relación con el cambio de temperatura que experimenta.

Método de cálculo. Método F-Chart

Para dimensionar las instalaciones de energía solar térmica se emplea el método de las curvas f (F-Chart). Este método permite realizar el cálculo de la cobertura de un sistema solar, y de su rendimiento medio en un período largo de tiempo.

El método simplificado de las curvas f (F-Chart) fue desarrollado en 1976 por Duffie y Beckman, que correlacionaron cientos de resultados de simulaciones numéricas y experimentales obtenidos con métodos de cálculo dinámico. El método fue desarrollado para tres sistemas básicos: sistemas de calefacción (aire o agua) y sistemas de agua caliente sanitaria. Éste último sistema es el que nos interesa en este trabajo y permite dimensionar las instalaciones de energía solar térmica, permitiendo realizar el cálculo su aportación de calor necesaria y de su rendimiento medio en un largo período de tiempo. En su desarrollo se utilizan datos meteorológicos mensuales medios ya que es un método de cálculo bastante exacto para largas estimaciones. [17]

Su aplicación consiste en realizar una simulación de funcionamiento a partir de unas variables adimensionales del sistema de calentamiento para dimensionar las correlaciones entre estas variables y el rendimiento medio del sistema para un dilatado período de tiempo.

El procedimiento de cálculo es el que se cita a continuación y que será desarrollado posteriormente en el apartado 6.3 cuando se aplique a los tres tipos de captadores seleccionados para el estudio de la instalación del presente trabajo.

El procedimiento de cálculo es el siguiente:

Determinación de la carga energética para el calentamiento de agua destinada a la producción de ACS o calefacción.

En primer lugar se calculan las cargas caloríficas que determinan la cantidad de calor necesaria mensual para calentar el agua destinada a consumo doméstico. Para ello se tienen en cuenta el calor específico del agua (4187 J/kg °C), el consumo diario de agua caliente, el número de días del mes y las temperaturas de acumulación y de red.



Cálculo de la radiación solar incidente en la superficie inclinada del captador o captadores.

En segundo lugar se obtienen los valores de radiación solar sobre la superficie del captador solar para la inclinación óptima calculada y la latitud geográfica.

Cálculo del parámetro D_1 .

El parámetro D_1 expresa la relación entre la energía absorbida por el captador y la energía térmica necesaria. Este valor va a depender de cada captador puesto que varía en función del factor de eficiencia óptica de cada captador que es la ordenada en el origen de la curva característica del captador obtenida en los ensayos normalizados.

Cálculo del parámetro D_2 .

El parámetro D_2 expresa la relación entre las pérdidas del captador y la energía térmica necesaria. Este valor va a depender además de la curva característica de cada captador, de la temperatura media mensual de ambiente del lugar y de dos factores; uno en función del agua almacenada y el otro es un factor de corrección que se aplica cuando sólo se sirve agua caliente y que relaciona la temperatura mínima de ACS, la de red y la media mensual ambiente.

Obtención de la cobertura solar mensual.

Una vez obtenidos los parámetros D_1 y D_2 se aplica la ecuación del método para calcular la fracción de la carga calorífica mensual aportada por el sistema.

Cálculo de la cobertura solar anual.

De igual forma que se procede para calcular la fracción mensual se calcula la fracción anual resultando ésta de la relación entre la suma de las coberturas mensuales y la suma de las necesidades térmicas mensuales.

5. Caracterización del edificio.

5.1 Situación y emplazamiento.

El edificio se localiza en el barrio Huerta del Rey en la provincia de Valladolid en una parcela dotacional perteneciente a la Universidad de Valladolid; se trata del edificio de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de dicha universidad. El edificio se entiende como la suma de dos edificios: el edificio académico que actualmente se destina a despachos y es el de la derecha con forma alargada, y el edificio nuevo que se destina a las aulas, se encuentra a la izquierda y tiene forma cuadrangular.



Ilustración (5.1): Situación del edificio. Fuente: Goolzoom

La parcela regular se asemeja a un cuadrado y limita al norte con bloques de viviendas de altura Baja+11; al este con la Avenida de Salamanca arbolada; al sur con la calle sin salida Francisco Hernández Pacheco y el edificio cultural con una altura de baja+1; y al oeste con la calle Pío del Río Hortega y bloques de viviendas de hasta Baja+12. El edificio a estudiar se encuentra en el centro de la parcela pudiéndose acceder a ella peatonalmente mediante la entrada este y la entrada sur y a través de vehículo rodado por la entrada oeste. El edificio cuenta con una altura de Baja+4 y se encuentra bastante alejado de los edificios que lo rodean y que puedan proyectar sombras sobre él lo que se tendrá en cuenta a la hora de calcular las sombras sobre la cubierta del mismo.

5.2 Uso del edificio.

Al tratarse de un edificio académico, el período en el que se habita el edificio es el periodo lectivo que abarca desde principios de septiembre hasta finales de junio. Dentro de estos meses la escuela abre sus puertas de lunes a viernes de 8:00 a 21:30 y los sábados por la mañana a excepción de los periodos de vacaciones de Navidad y Semana Santa.

5.3 Datos geográficos y climatológicos.

Localización.

El edificio se localiza en Valladolid, en el barrio de Huerta del Rey a una altitud de 690 msnm. Las coordenadas geográficas son las siguientes:

Coordenadas geográficas Valladolid: 41° 39'07''N 4°43'43'' O.

Coordenadas geográficas ETSA: 41° 39'0.88''N 4°44'26.780'' O.

Clima.

El clima de Valladolid es un clima mediterráneo continentalizado; es parecido al mediterráneo en cuanto a las precipitaciones pero con características de climas continentales referentes a las temperaturas, siendo éstas más extremas (potenciado además por la ausencia del mar que equilibraría la oscilación entre las temperaturas).

Según la clasificación climática de Köppen el clima de Valladolid en el periodo de referencia de 1981 a 2010 es de tipo Csa (mediterráneo). El clima de la capital está determinado en gran medida por su ubicación en la cuenca sedimentaria del Duero ya que al estar rodeada de montañas que la aíslan del mar el clima es extremado y seco.

Atendiendo a las temperaturas que es lo que nos interesa en este caso lo más destacado es la oscilación térmica diaria. Las diferencias térmicas entre el día y la noche en ocasiones superan los 20°C. Los inviernos son fríos con frecuentes heladas y nieblas aunque con escasos días de nieve. Los veranos son generalmente calurosos y secos con temperaturas máximas entre 30°C y 35°C pero con mínimas suaves superiores a 14°C.

Radiación solar.

En la tabla 4.4 del DB HE encontramos los valores de Radiación solar global media diaria anual en función de la zona climática en la que se encuentre el edificio. [8]

Zona climática	MJ/m ²	kWh/m ²
I	H < 13,7	H < 3,8
II	13,7 ≤ H < 15,1	3,8 ≤ H < 4,2
III	15,1 ≤ H < 16,6	4,2 ≤ H < 4,6
IV	16,6 ≤ H < 18,0	4,6 ≤ H < 5,0
V	H ≥ 18,0	H ≥ 5,0

Tabla (5.1): Radiación solar global media diaria anual

Pero para trabajar con unos datos más precisos de la localidad y de cada mes del año, se recurre a los valores de radiación solar en Valladolid según el Atlas de Radiación Solar en España con datos EUMETSAT.

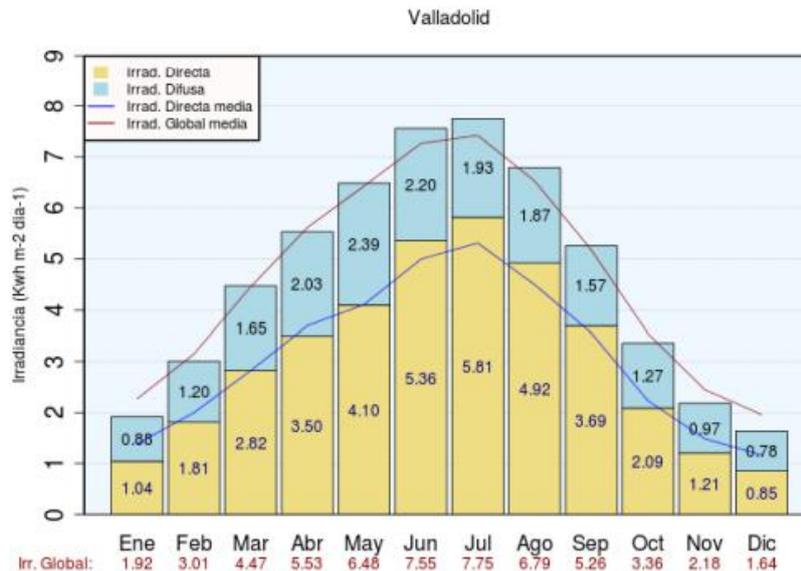


Tabla (5.2): Valores de radiación solar en Valladolid

Otras herramientas que nos permiten trabajar con valores de radiación solar son la carta solar de Fischer-Mattioni y con la carta solar cilíndrica (diagrama de trayectorias del sol). Éstos diagramas han sido obtenidos para las coordenadas de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura ($41^{\circ} 39' 0.88'' N$ $4^{\circ} 44' 26.780'' O$) en una página web de herramientas solares. [12]

La carta solar Estereográfica de Fisher-Mattioni se basa en un sistema de coordenadas angulares donde el radio representa la Altura Solar y los ángulos el Azimut. En la carta se representan tres tipos de información; los ángulos en relación al norte en el anillo externo, la fecha y hora específicas en la malla y la inclinación de los rayos del sol. Cada carta solar está hecha para una latitud determinada.

Una variante muy utilizada en arquitectura es la carta solar cilíndrica. Las cartas solares cilíndricas se basan en la proyección de la posición del Sol sobre una superficie cilíndrica de revolución. Esta superficie tiene su base en el plano del horizonte localizado en el punto geográfico para el que se realiza la carta. El vértice desde el que se realiza la proyección coincide con el punto geográfico para el que se elabora la carta; es decir, con la posición del observador que se encuentra expuesto a los rayos solares y por lo tanto se trata de una proyección cónica. Una vez realizadas las proyecciones del Sol sobre la superficie del cilindro se procede al desarrollo del mismo cortándolo por la generatriz norte.

En la imagen inferior se muestran estos diagramas para las coordenadas de la ETSA a fecha de 21 de septiembre y 21 de marzo. Se ha elegido la fecha del solsticio de primavera y otoño con el fin de analizar las cartas para una radiación solar media; evitando así los valores extremos de los solsticios de invierno y de verano.

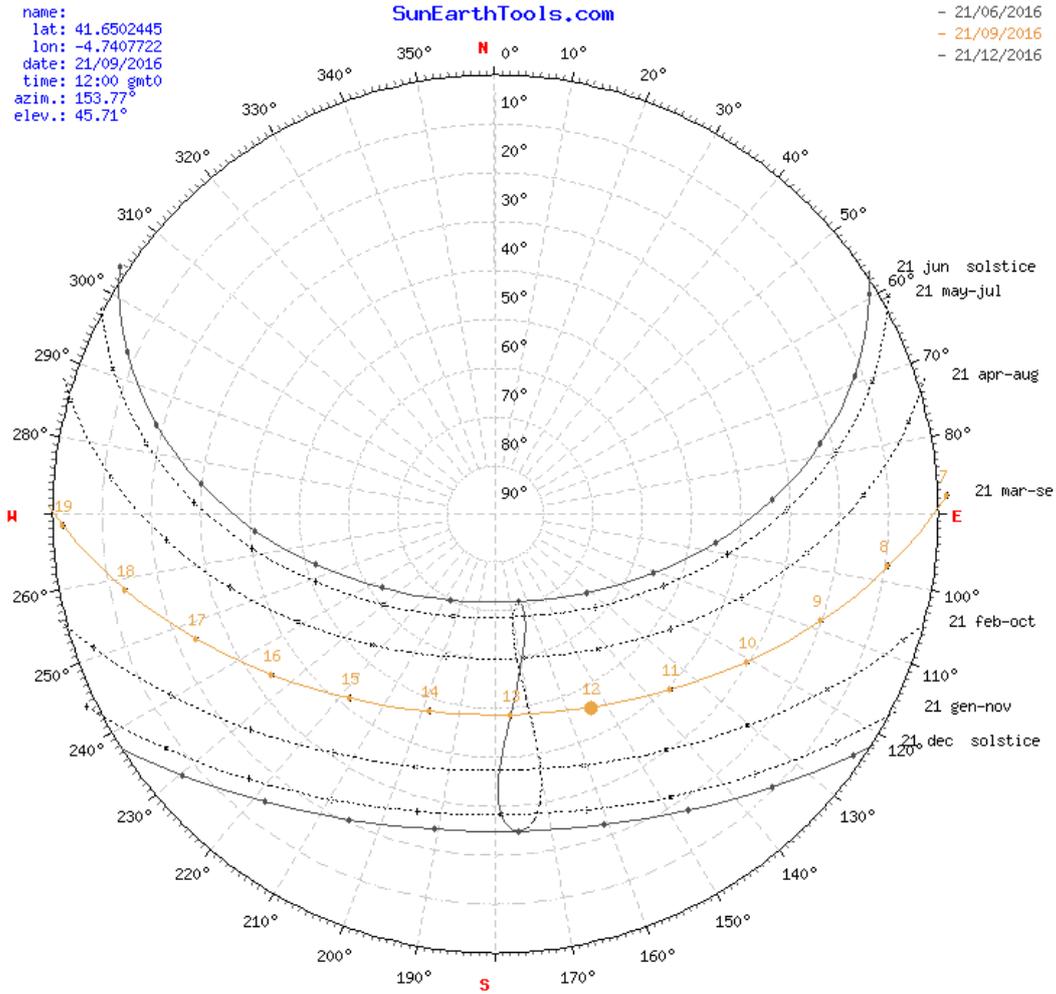


Ilustración (5.2): Casta solar de Fisher-Mattioni a 21 de septiembre y 21 de marzo.

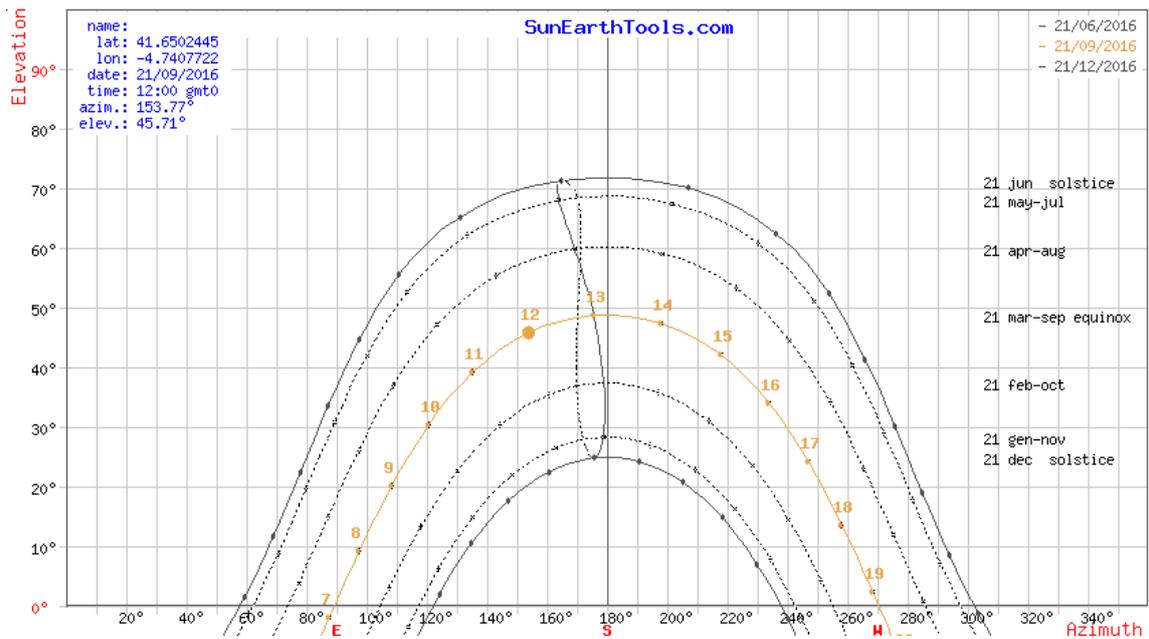


Tabla (5.3): Carta solar cilíndrica a 21 septiembre y 21 marzo.

5.4 Cubierta del edificio.

La zona que más radiación solar recibe es la cubierta ya que la superficie de la parcela a cota cero generalmente está en sombra proyectada por la vegetación. Se estudian las pérdidas de radiación solar por las sombras que se producen en la cubierta por los edificios de los alrededores, los elementos arquitectónicos de la propia cubierta y la orientación e inclinación de los captadores. Así, se determinará si la cubierta es apropiada para colocar los paneles solares y si lo fuera cuál sería la mejor zona para colocarlos.

Los porcentajes máximos de pérdidas permitidos los establece el Código Técnico de Edificación y se reflejan en la tabla inferior. Tras el análisis y los cálculos realizados en los sucesivos apartados se justifica que las pérdidas totales no superan el porcentaje límite reflejado abajo.

Caso	Orientación E inclinación	Sombras	Total
General	10%	10%	15%
Superposición de captadores	20%	15%	30%
Integración arquitectónica de captadores	40%	20%	50%

Tabla (5.4): Pérdidas límite según CTE

5.4.1 Sombras producidas por los edificios colindantes.

En primer lugar se realiza una aproximación a las sombras producidas en la cubierta por la proyección de los edificios colindantes con la realización de un modelo básico en 3D de Sketchup. En este modelo se extruyen los edificios de la zona a partir de una ortofoto orientada geográficamente y aproximando la altura de los edificios a una vista de StreetView de Google. Por último, se localiza el modelo para las coordenadas geográficas citadas anteriormente y se activa la herramienta del Sol para ver las sombras proyectadas a cada hora de los equinoccios solares.

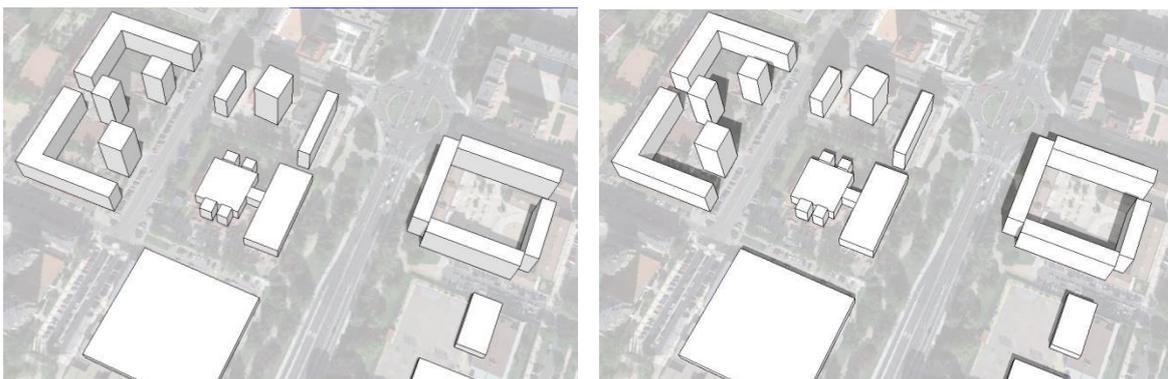


Ilustración (5.2): Proyección de sombras edificios en 21 de junio (izq) y 21 de septiembre/21 de marzo (dcha) a mediodía

En las ilustraciones superiores se observa que no hay sombras proyectadas sobre la cubierta; es más, como era de esperar, los edificios apenas proyectan sombras puesto que en esas fechas el sol se encuentra bastante alto en la bóveda celeste.

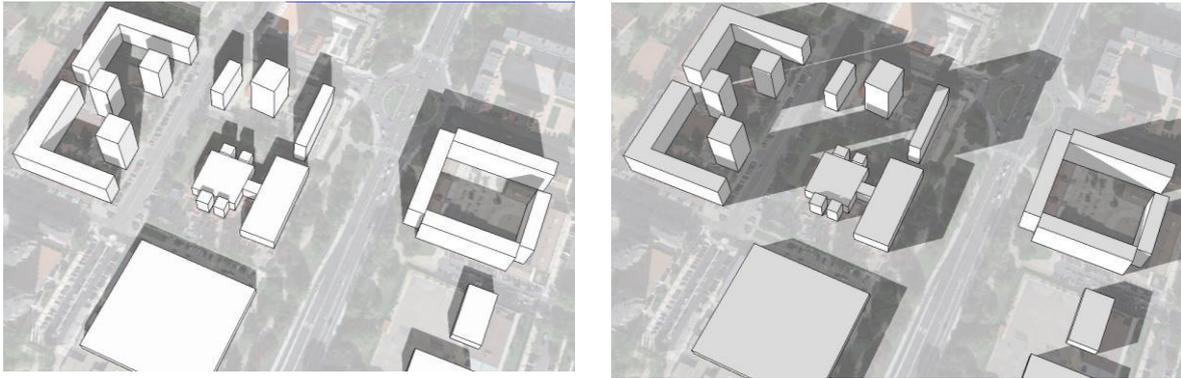


Ilustración (5.3): Proyección de sombras 21 de diciembre a mediodía (izq) y a las 19:00 h (dcha).

En las imágenes superiores se estudia la proyección de sombras para el equinoccio de invierno y se estudia a dos horas diferentes del día porque en invierno el sol está más bajo y las sombras son más alargadas, habiendo más posibilidades de que puedan producirse sombras en la cubierta del edificio analizado. Dada la orientación del edificio y la localización de los edificios más altos al oeste del mismo, se observa que pueden aparecer sombras a última hora de la tarde cuando los rayos del sol llegan del oeste y con poca altura. Por ello, se realiza un estudio mucho más preciso de las sombras que pueden aparecer en la cubierta.

El procedimiento para calcular las pérdidas de radiación solar por sombras consiste en la comparación del perfil de obstáculos que afecta a la superficie de estudio con el diagrama de trayectorias del sol (diagrama cilíndrico).

A partir del diagrama de trayectorias del sol se aplica un método de cálculo de las pérdidas de radiación solar que experimenta una superficie debido a las sombras que proyectan las construcciones circundantes. Estas pérdidas de radiación solar se expresan como un porcentaje de la radiación solar global que incidiría sobre dicha superficie si no existiera ninguna sombra en ella.

Los datos que se introducen en el diagrama son las coordenadas de posición azimut²(ángulo de desviación con respecto a la dirección sur) y elevación (ángulo de inclinación con respecto al plano horizontal) de los puntos de las construcciones circundantes que puedan proyectar sombras sobre su superficie.

El diagrama de trayectorias solares que se utilizará será el válido para las localidades de la Península Ibérica y Baleares. En él se muestra la banda de trayectorias del Sol a lo largo de todo el año que a su vez se encuentra dividida en porciones, delimitadas por las horas solares (negativas antes del mediodía solar y positivas después) e identificadas por una letra y un número.

² Cabe citar que las coordenadas utilizadas de azimut y elevación son distintas a las de latitud; las coordenadas de latitud son coordenadas horizontales en la superficie terrestre y las coordenadas de azimut y elevación son proyecciones horizontales de un cuerpo celeste (en este caso el sol) sobre la superficie terrestre.

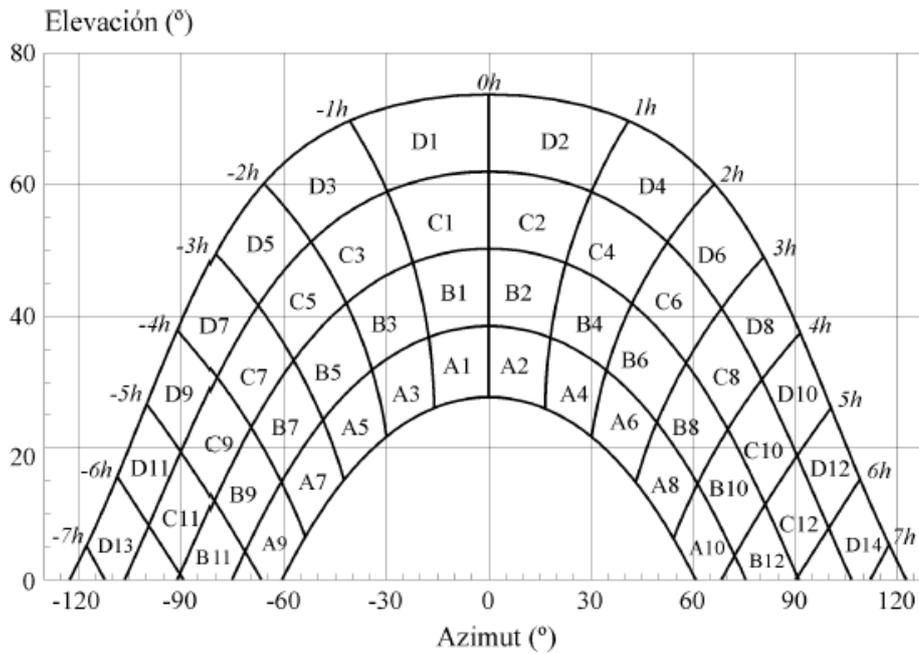


Tabla (5.5): Diagrama de trayectorias del Sol para la Península Ibérica. Fuente: Web Universidad de Córdoba

Perfil de obstáculos.

Como se intuye en el estudio previo con Sketchup, la única edificación que puede afectar a la superficie a estudiar es el bloque de viviendas que se sitúa al oeste puesto en la cara este de la parcela no hay edificaciones altas próximas y en la cara sur de la parcela el edificio existente es de menor altura que la escuela. Se calculan las sombras proyectadas por dicho edificio tomando como referencia el centro de la cubierta de la escuela y teniendo en cuenta que sobre dicha cubierta los captadores solares tendrán una inclinación de 30° y una orientación alineada con el eje transversal de la escuela ($+26^\circ$).

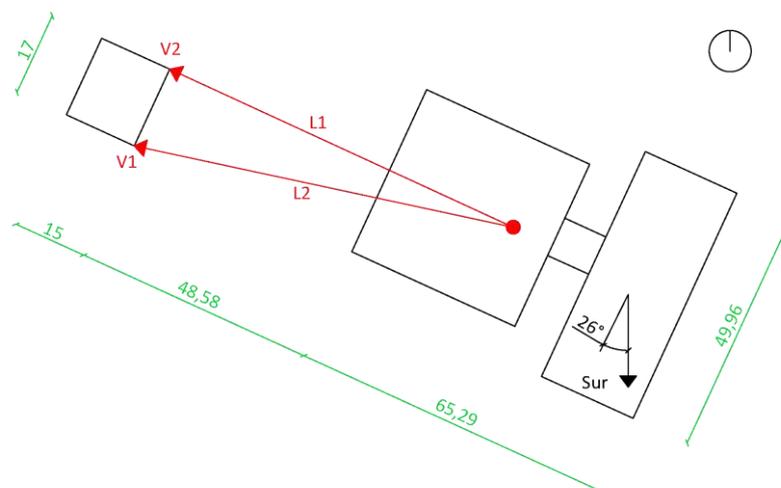


Ilustración (5.4): Vista en planta de los edificios

Como se ve en la ilustración superior los obstáculos más desfavorables son las dos esquinas del bloque de viviendas situado al oeste por lo que son los puntos tomados como referencia.

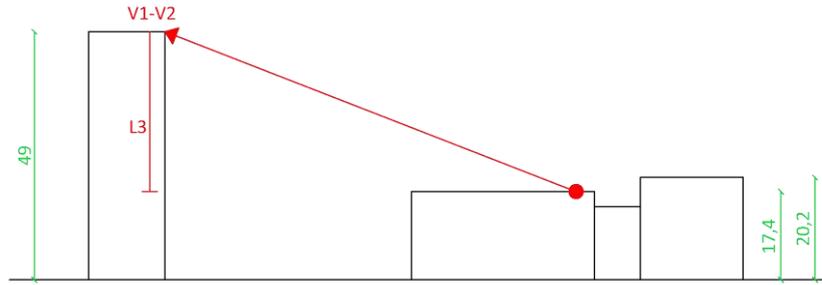


Ilustración (5.5): Vista en alzado de los edificios

A partir de las vistas en planta y alzado³ de los dos edificios se obtienen los vectores de dirección y las longitudes que posteriormente nos van a permitir obtener las coordenadas de elevación y azimut. En los esquemas inferiores se muestra cómo se han calculado los valores de azimut y elevación de los dos puntos del bloque de viviendas que pueden producir sombras sobre la cubierta estudiada.

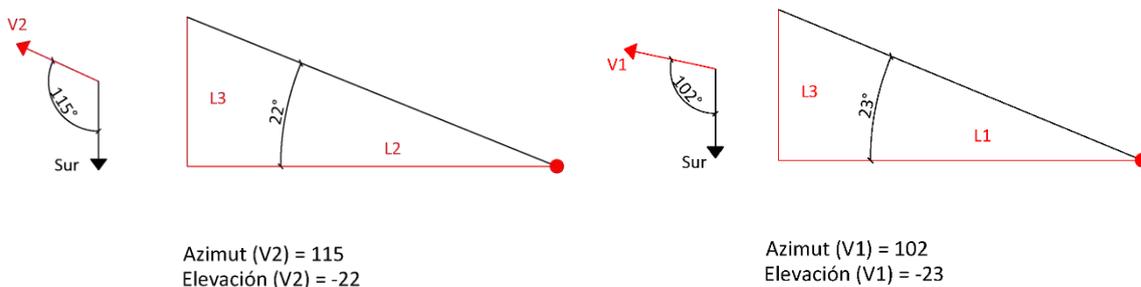


Ilustración (5.6): Coordenadas azimut y elevación

El azimut es el ángulo que forma el vector en el plano horizontal con el sur. Hacia el este se considera negativo y hacia el oeste positivo. Por lo tanto los valores de azimut de los dos puntos considerados en el perfil de obstáculos se obtienen relacionando los vectores de dirección de la vista en planta con el vector de dirección sur.

La elevación es el ángulo que forma el vector con el plano horizontal. Para su determinación se construye el triángulo, en verdadera magnitud, que forma el vector con el plano horizontal. Por lo tanto, los valores de elevación se calculan a partir del ángulo que se forma creando el triángulo cuyos catetos son la longitud del vector y la altura.

Representación del perfil de obstáculos.

Una vez calculados los valores de azimut y elevación de los puntos elegidos en el perfil de obstáculos, se representan en la carta cilíndrica que se encuentra en la página siguiente (el perfil de obstáculos se ha sombreado en rojo para reconocerlo mejor dado su pequeño tamaño).

³ Las vistas en alzado y planta se han realizado a escala por lo que para las relaciones entre los vectores y las longitudes de referencia se ha trabajado con dimensiones reales; sin embargo en el documento no se refleja una escala numérica puesto que al introducir el archivo .jpg en el mismo se pierde la escala.

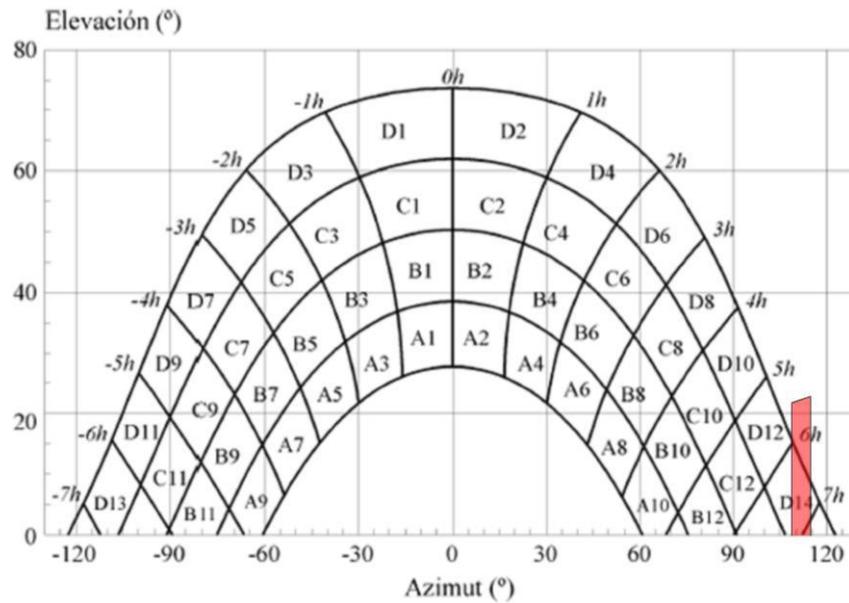


Tabla (5.6): Diagrama de sombras sobre trayectoria solar

Cada una de las porciones de la tabla superior representa el recorrido del Sol en un cierto período de tiempo y tiene por tanto una determinada contribución a la radiación solar global anual que incide sobre la superficie de estudio. Así, el hecho de que un obstáculo cubra una de las porciones supone una cierta pérdida de irradiación.

Para calcular las pérdidas por sombreado de la irradiación solar global que incide sobre la superficie a lo largo de todo el año se suman las contribuciones de las porciones del diagrama que se encuentran ocultas por las sombras representadas en rojo.

Dado que se piensa colocar los captadores con una inclinación de 30° y con la orientación del edificio 26° suroeste; se escoge la tabla cuyos valores se aproximan más a los buscados (inclinación de 35° y orientación 30°). [15]

$\beta=35^\circ$ $\alpha=30^\circ$	A	B	C	D
13	0	0	0	0
11	0	0	0	0,01
9	0,07	0,1	0,16	0,5
7	0,74	0,48	0,62	1,47
5	1,49	0,89	1,19	2,54
3	2,25	1,12	1,62	3,53
1	2,81	1,37	1,97	4,23
2	3,08	1,61	2,12	4,5
4	2,91	1,6	2,05	4,49
6	2,43	1,38	1,84	3,98
8	1,68	1,05	1,43	3,13
10	0,82	0,64	0,86	2,13
12	0	0,2	0,38	1,05
14	0	0	0	0

Tabla (5.7): Coeficientes de pérdidas por sombras en %. Datos para latitud 40° [15]

Calculo final de las pérdidas.

Para calcular las pérdidas por sombreado de la irradiación solar global que incide sobre la superficie se suman las contribuciones de las porciones que están parcial o totalmente cubiertas con el sombreado rojo del perfil de obstáculos. En el caso de que estén sombreadas parcialmente se utilizará un porcentaje aproximado. La energía de cada sector se obtiene de la tabla anterior para los valores de orientación e inclinación fijados.

SECTOR	% Oculto	% Energía Sector	% Energía Sombras
D12	0,10	1,05	0,105
D14	0,45	0	0
TOTAL			0,105%

Tabla (5.8): Porcentaje de pérdidas por sombras

De la tabla concluimos que el 0,105% de la energía que llegaría a la cubierta no se recibe en el captador solar por la sombra que proyecta el bloque de viviendas. Este valor es un valor mínimo que está muy lejos del límite de pérdidas permitido por el CTE.

5.4.2 Sombras producidas por orientación e inclinación.

El CTE marca una inclinación y orientación óptimas para los captadores solares en el apartado 2.2.3 del DB HE:

“se considerará como la orientación óptima el sur y la inclinación óptima dependiendo del periodo de utilización, uno de los valores siguientes:

- *Demanda constante anual: la latitud geográfica*
- *Demanda preferente en invierno: la latitud geográfica +10°*
- *Demanda preferente en verano: la latitud geográfica -10°”*

En este caso, para aprovechar la mayor superficie posible de la cubierta, la orientación de los captadores solares será la misma que el edificio; 20° al Suroeste. Y respecto a la inclinación, según el CTE la óptima sería 50°; pero para ser más precisos y para adaptarnos mejor al periodo de uso del edificio y la orientación; se realiza un análisis de los porcentajes de radiación solar incidente respecto a la radiación sobre superficie horizontal. [13]

LATITUD 41°N		IRRADIACIÓN (%)											
ORIENTACIÓN	INCLINACIÓN	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
SE, SO (30°)	0	1,00	1,00	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	10	1,1	1,04	1,02	1,04	1,07	1,07	1,07	1,06	1,03	1,02	1,08	1,13
	20	1,17	1,05	1,02	1,02	1,05	1,05	1,05	1,04	1,02	1,03	1,14	1,23
	30	1,23	1,05	1	0,99	1,02	1,02	1,02	1,01	0,99	1,02	1,18	1,31
	40	1,25	1,03	0,96	0,95	0,97	0,98	0,97	0,97	0,95	0,99	1,2	1,37
	50	1,26	1	0,92	0,9	0,92	0,92	0,92	0,91	0,9	0,95	1,19	1,39
	60	1,24	0,95	0,86	0,84	0,86	0,86	0,86	0,85	0,84	0,9	1,16	1,39
	70	1,19	0,89	0,8	0,77	0,79	0,79	0,79	0,78	0,78	0,84	1,11	1,35
	80	1,13	0,82	0,72	0,7	0,71	0,72	0,71	0,71	0,7	0,77	1,04	1,29
90	1,04	0,74	0,64	0,62	0,64	0,64	0,64	0,63	0,63	0,69	0,95	1,2	

Tabla (5.9): Porcentaje de radiación solar incidente respecto a la radiación sobre superficie horizontal [13]

Se ha tomado como referencia la tabla correspondiente a una latitud de 41°N y una orientación de 30° suroeste. Para determinar la mejor inclinación se descartan los valores de los meses de junio, julio y agosto y se obtiene que la inclinación más favorable es la de 30° con un porcentaje de radiación media en los meses de uso (exceptuando los tres citados) de 1,088%.

5.4.3 Sombras producidas por los elementos arquitectónicos.

El estudio de las sombras producidas en la cubierta por los elementos arquitectónicos de la misma (casetones, petos, distintas alturas...) permite determinar cuál es la zona que más horas de sol recibe a lo largo del año. Para ello, se recurre de nuevo a un modelo en 3D Sketchup donde se han tenido en cuenta: los petos de cada cubierta, los casetones emergentes, las chimeneas, las alturas a las que se encuentra cada cubierta y las inclinaciones de cada uno de los paños de cada cubierta.

Los datos se calculan para los meses de marzo, junio, septiembre y diciembre. Se toma como referencia el día 21 de cada mes y se obtienen las sombras para distintas horas representativas de dicho día como son: las 9:00, las 12:00, las 15:00 y las 17:00. Se ha tenido en cuenta que no todos los meses del año tienen las mismas horas de sol ni la misma; por ello y sabiendo que el edificio tiene mayor uso en los meses de invierno donde anochece antes, se ha tomado como última hora de referencia del día las 17:00 horas.

Coordenadas	41° 39'0.88" N 4°44'26.780" O			
Ubicación	av. Salamanca 18, 47014 Valladolid			
Fecha	21 de marzo	21 de junio	21 de septiembre	21 de diciembre
Amanecer	7:20	5:44	7:05	8:42
Anochecer	19:32	20:56	19:17	17:51

Tabla (5.10): Horas de salida y puesta de sol a lo largo del año

En las dos imágenes siguientes se muestran las sombras producidas en los equinoccios de primavera y otoño. Las sombras que más afectan a la cubierta son las producidas a las 9:00h y a las 17:00 horas cuando los rayos del sol llegan bajos y desde el este y oeste.

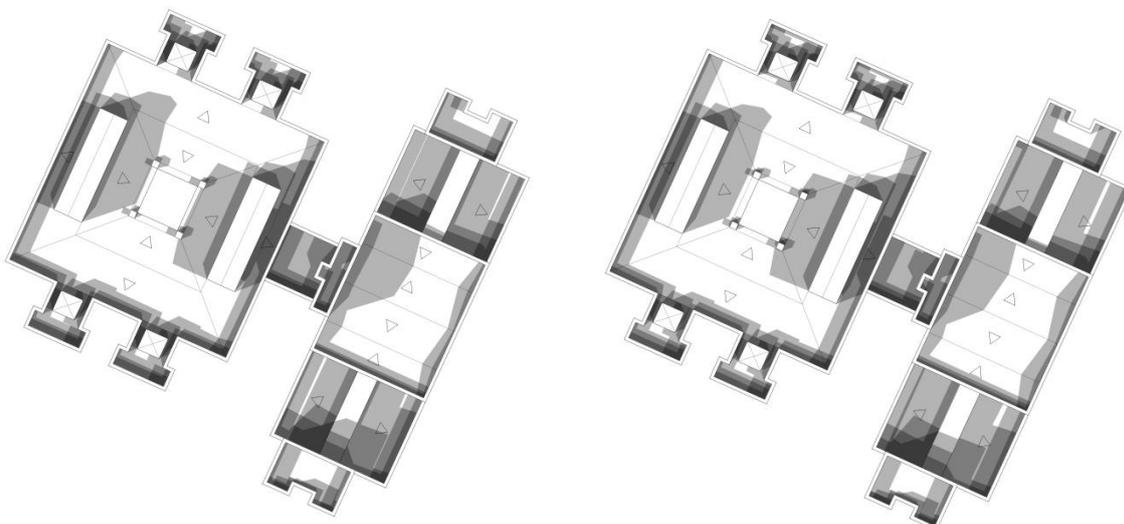


Ilustración (5.3): Sombras en la cubierta a lo largo del día. 21 de Septiembre (izq), 21 de Marzo (dcha).

En las dos imágenes inferiores se muestran las sombras para los equinoccios de verano e invierno. En el equinoccio de verano apenas hay sombras en la cubierta para las horas citadas puesto que la trayectoria del sol para ese día es la más alta en la bóveda celeste. Todo lo contrario con lo que sucede en el equinoccio de invierno donde la trayectoria solar es la más baja y aparecen sombras prácticamente a todas las horas del día; sin embargo, hay zonas donde se ve que las sombras se producen únicamente a primera o a última hora del día.

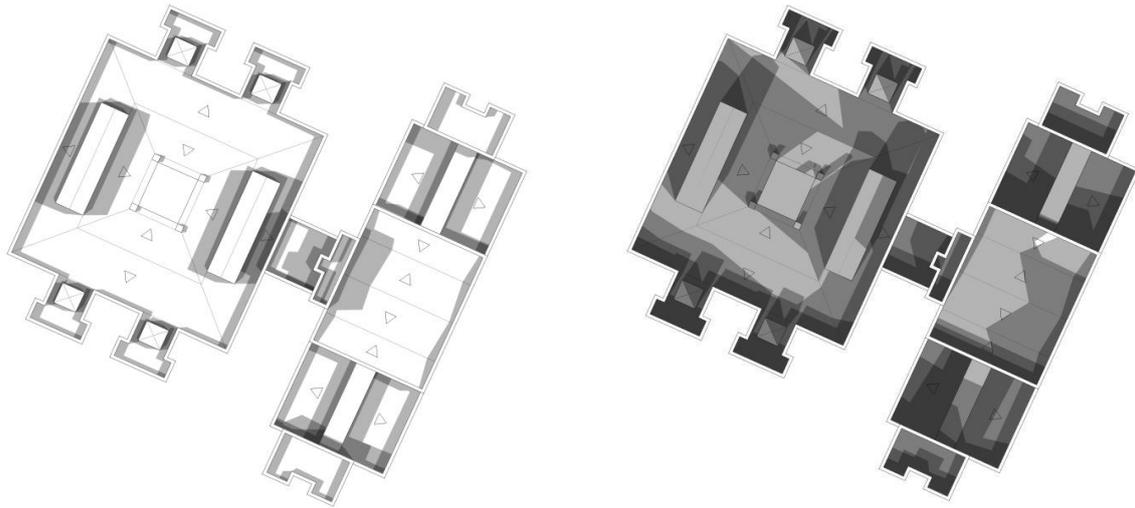


Ilustración (5.4): Sombras en la cubierta a lo largo del día. 21 de Junio (izq) y 21 de Diciembre (dcha).

Con esto queda claro que siempre va a haber sombras; pero se detecta que éstas mayoritariamente se producen a primera o última hora del día cuando la demanda de energía será menor. Por ello, en la imagen inferior se estudian las sombras producidas en cada equinoccio a las 12:00h donde la escuela se encuentra más ocupada y por lo tanto la demanda es mayor.

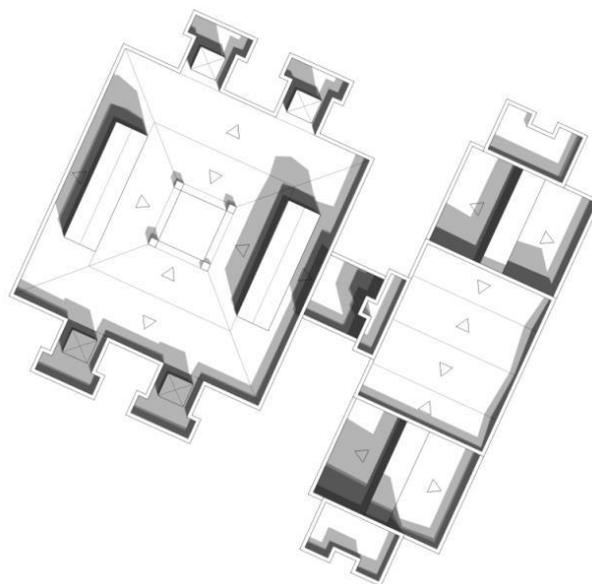


Ilustración (5.9): Sombras a lo largo del año a las 12:00 horas.

Esta última imagen muestra que a la hora de máxima demanda prácticamente las dos cubiertas principales son aptas para la colocación de los paneles solares. Más adelante, cuando se introduzcan otras pautas como accesibilidad a las cubiertas o localización de los sistemas de acumulación y apoyo se acotará esta superficie hasta determinar la mejor zona.

5.4.4 Colocación de los colectores solares.

La cubierta del edificio es el lugar que mayor radiación solar recibe; como se ha comentado anteriormente, la parcela está rodeada de árboles tanto de hoja caduca como hoja perenne que arrojan sombras durante todo el año. El hecho de que esta vegetación tenga una altura inferior a la cornisa de la cubierta y que las sombras arrojadas por los edificios colindantes son escasas; se puede afirmar que el mejor lugar para colocar los paneles es la cubierta.

En ambos edificios la cubierta es plana aunque son de distinto tipo; en el caso del edificio académico la cubierta es de paneles sándwich y en el caso del edificio docente es de lámina de acero grecada colocada sobre rastreles metálicos. Se considera que las cubiertas están formadas por paños con inclinaciones de 5° ($\approx 10\%$ de pendiente) sin embargo su dirección de las rectas de máxima pendiente están en distintos sentidos en su dirección de referencia (sur).

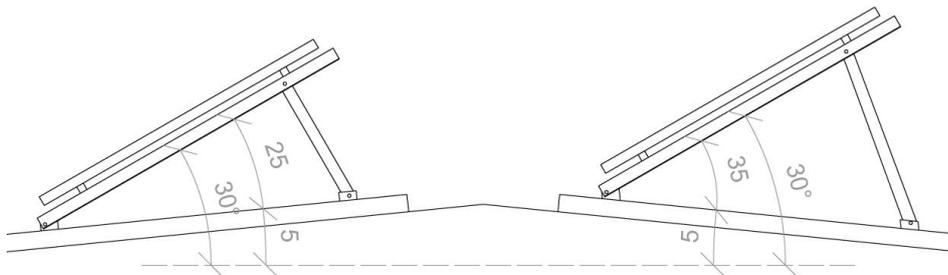


Ilustración (5.10): Colocación de los paneles solares según la dirección de máxima pendiente de la cubierta.

Los paneles solares se colocarán según el sistema de montaje CompactVario de Schletter. Se trata de una estructura formada por un sistema de perfiles metálicos; anclados entre sí gracias a otros perfiles, tornillos y tuercas. Tras un estudio de la sobrecarga sobre la estructura de la cubierta del edificio, se anclarán estos perfiles a la misma. A esta estructura de acero inoxidable se fijarán los paneles solares con la modulación correspondiente dejando unas distancias de las placas a los petos de cubierta de $1,5 \times$ longitud de placa.

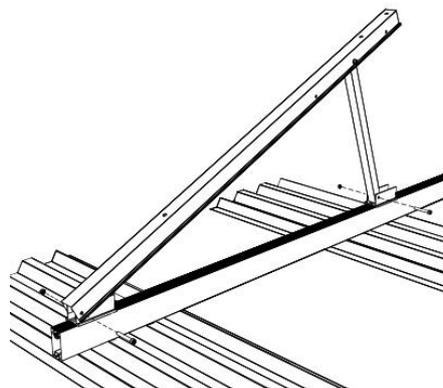


Ilustración (5.12): detalle sistema de montaje CompactVario con Sol Rack de Schletter. [16]



6. Diseño y dimensionado de la instalación de ACS.

6.1. Perfil de uso.

La escuela de arquitectura está formada por dos edificios comunicados en todas sus plantas que fueron construidos en distintos periodos de tiempo. En primer lugar se construyó el edificio administrativo en 1974 que cubría todas las necesidades de la escuela de Arquitectura. Unos años más tarde, en 1989, se amplió dicho edificio con la construcción del edificio docente. Este segundo edificio alberga las aulas por lo que el edificio académico tras las compartimentaciones de las antiguas aulas contiene los despachos de administración e investigación.

Lo primero que se hizo al comenzar el trabajo fue realizar una inspección de la instalación de agua fría y agua caliente con la ayuda del encargado de mantenimiento del edificio, con los planos originales del proyecto del edificio docente y con el archivo .dwg de un levantamiento de ambos edificios realizado en 2006 y facilitado por el tutor del presente trabajo.

Con esta inspección se actualizaron la distribución de las plantas de ambos edificios y se desarrollaron los planos de la instalación de agua caliente adjuntos en el anexo 2.

La acometida del edificio a la red general urbana se encuentra en la calle Francisco Hernández Pacheco; una vez dentro de la parcela se encuentra el contador general en una arqueta registrable de la que sale la tubería de distribución principal hacia el cuarto de instalaciones del edificio docente. En ese cuarto la tubería se divide en dos ramales; uno de ellos va al grupo de presión allí presente para abastecer al edificio docente y el otro que abastece al edificio académico sale de este primer cuarto de instalaciones y se conduce a través del falso techo hasta el grupo de presión del cuarto de instalaciones del edificio académico.

En el cuarto de instalaciones del edificio académico se encuentra la toma de agua fría para el circuito de agua caliente; este circuito nace de esta sala y se desarrolla en dos direcciones: por un lado, nace el montante que abastece a los baños situados encima del cuarto de calderas en las plantas sucesivas y por otro lado nace otro ramal que discurre por debajo del suelo del sótano hasta los baños localizados en el otro extremo del edificio donde se encuentran los montantes que abastecen a los baños de las plantas sucesivas. A partir de la información dada por el responsable de mantenimiento del edificio se puede decir que dicha instalación es de acero galvanizado con valvulería de plomo; sin embargo no se conocen los diámetros de dichas tuberías puesto que de la documentación inicial los planos únicamente muestran la instalación de agua fría del edificio nuevo.

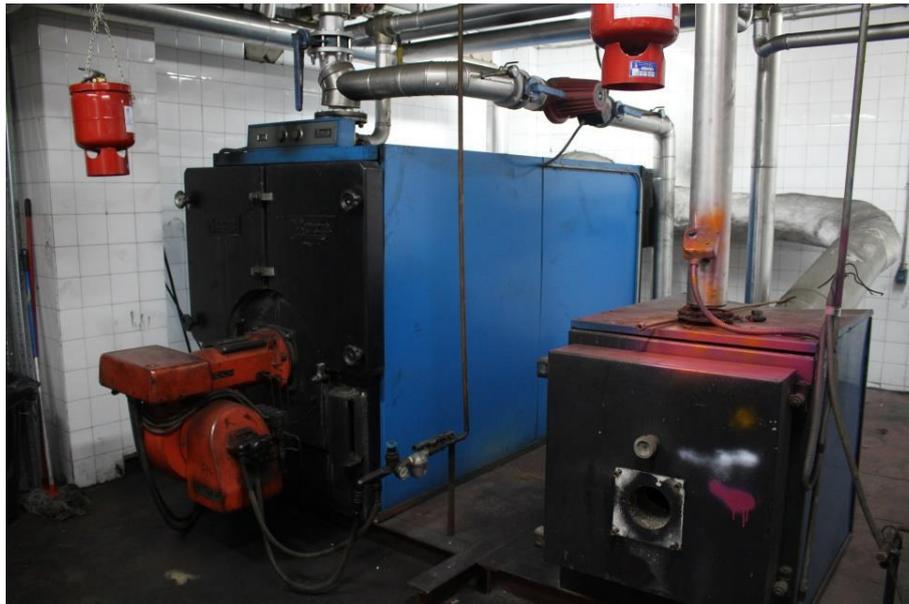


Ilustración (6.1): Cuarto instalaciones edificio académico. Caldera calefacción (izq) y caldera ACS (dch)

Sin embargo, la escuela actualmente no tiene servicio de agua caliente. Por un lado, únicamente el edificio académico tiene la instalación de agua caliente pero la caldera no funciona; y por otro lado el edificio nuevo no tiene instalación, únicamente hay agua caliente en los laboratorios que se abastecen gracias a unos calentadores de gas.

A partir de este momento se pone en marcha el diseño y dimensionado de la nueva instalación de agua caliente para ambos edificios dimensionada acorde a las necesidades actuales de la escuela y contando con una instalación de apoyo de placas solares. Se trata de que esta nueva instalación cubra las necesidades de agua caliente de los aparatos instalados a día de hoy que son los lavabos de los baños, los grifos de los laboratorios y las tomas para los aparatos de la cocina (fregadero industrial, grifos y lavavajillas).

La instalación solar únicamente puede colocarse en las cubiertas de los edificios puesto que como se ha visto en el punto 5 del presente documento la parcela se encuentra rodeada por árboles altos y frondosos que proyectan sombras sobre su superficie. Por ello se sube a las cubiertas y se estudian las posibilidades para la instalación del sistema de placas solares.

La cubierta del edificio académico es una cubierta de paneles de zinc con junta alzada formada por paños inclinados con una pendiente aproximada del 10%. Esta cubierta podría ser válida para la instalación sin embargo tiene algunos inconvenientes; en primer lugar, el acceso a la cubierta se realiza a través de una ventana de 90cm de altura y 60cm de anchura localizada en el casetón del ascensor del edificio académico; en segundo lugar, se pone en duda la durabilidad y resistencia del material de acabado ya que se aprecian lesiones de oxidación y corrosión en su superficie; y en tercer lugar cuenta con unas claraboyas que limitan la superficie y la distribución de las placas solares.



Ilustración (6.2): Cubierta del edificio académico

La cubierta del edificio docente es una cubierta de chapa sobre rastreles con una inclinación aproximada del 10%. Esta cubierta cuenta con elementos arquitectónicos que emergen de su superficie que proyectan sombras sobre su superficie; sin embargo, tras el estudio de las sombras producidas por los elementos de la propia cubierta en el apartado 5 se considera que su superficie es válida para la colocación de las placas solares.



Ilustración (6.3): Cubierta del edificio docente.

6.2. Demanda de ACS y dimensionado.

Para realizar la nueva instalación se partió de los planos del edificio facilitados por el tutor según un levantamiento realizado en 2006. Una vez actualizadas las distribuciones de ambos edificios se localiza y clasifica cada uno de los aparatos instalados en la escuela que necesitan abastecimiento de agua caliente (lavabo, lavavajillas industrial, fregadero...). Posteriormente se procede a calcular la demanda de agua caliente y a dimensionar la instalación.

Para calcular las necesidades de ACS se toman de referencia los caudales instalados por cada tipo de aparato según la tabla de la norma UNE 149201/2008.

Tipo de Aparato	Caudal instantáneo mínimo de agua fría		Caudal instantáneo mínimo de ACS	
	l/s	m ³ /h	l/s	m ³ /h
Lavamanos	0,05	0,18	0,03	0,108
Lavabo	0,1	0,36	0,065	0,234
Fregadero doméstico	0,2	0,72	0,1	0,36
Fregadero no doméstico	0,3	1,08	0,2	0,72
Lavavajillas doméstico	0,15	0,54	0,1	0,36
Lavavajillas industrial (20 servicios)	0,25	0,9	0,2	0,72
Lavadero	0,2	0,72	0,1	0,36
Grifo aislado	0,15	0,54	0,1	0,36

Tabla (6.1): Caudales instantáneos por aparato

Dada la distribución en planta donde los baños se encuentran en los extremos de ambos edificios se observa que la distancia entre ellos es grande lo que puede implicar que haya mucha pérdida de carga en el circuito. Para realizar la mejor distribución posible de tuberías se estudian dos posibles casos; en primer lugar una posibilidad es la de un único circuito de agua caliente para el conjunto de los edificios abastecido por una caldera localizada en la sala de calderas del edificio antiguo, y la segunda posibilidad es la propuesta de dos circuitos independientes para cada edificio que cuenten cada uno con su propia caldera.

Método de cálculo.

El método de cálculo empleado es el explicado en los apuntes de Acondicionamiento e Instalaciones I para el año 2015/16 de la ETSA Valladolid de Alberto José Meiss Rodríguez [18] basado en el cumplimiento del Reglamento de Instalaciones Técnicas en Edificios (RITE).

En primer lugar se hacen las distribuciones en planta de las dos opciones y se calcula el caudal instantáneo para cada tramo en función del caudal instantáneo de cada aparato instalado y del número de aparatos. Sin embargo en la práctica no se va a solicitar todo el caudal que ofrecen los aparatos de la instalación al mismo tiempo; por eso al caudal de agua instantáneo se le va a aplicar un coeficiente de simultaneidad.

Para obtener este coeficiente de simultaneidad se hace un estudio de las demandas de agua caliente sanitaria en la escuela según las costumbres a cada hora del día. Se realiza una gráfica donde se representa el consumo de agua caliente sanitaria en función de cada hora del día.

Los valores de consumo que se reflejan en cada momento son aproximados y se han obtenido desde el punto de vista de un estudiante de la propia escuela.

La gráfica cuenta con puntos de gran consumo de agua a horas muy determinadas como son las siguientes: a las 8:00 se abre la biblioteca de la escuela, a las 8:30 empiezan las clases y se produce la mayor llegada de alumnos a la escuela; a las 9:30 puede haber un pequeño descanso de las clases; a las 10:30 se produce el descanso de toda la escuela; a las 14:00 se acaban las clases matinales; de 14:00 a 15:00 es la hora de las comidas y es donde más demanda requeriría la cafetería; a las 16:30 comienzan de nuevo las clases pero con menor número de alumnos que por la mañana; a las 18:30 se produce el descanso de las clases que se dan por la tarde; a las 20:00 se acaban las clases y por último a las 21:30 se cierra la biblioteca y la escuela hasta el día siguiente.

El punto más alto de la gráfica lo encontramos a las 10:30 con el comienzo del descanso de las clases por la mañana; a esa hora se produce el mayor uso de los baños de ambos edificios y de la cafetería (en el caso de que estuviese en uso). El valor de esta demanda es de 3,38 l/s por lo tanto el coeficiente de simultaneidad que se va a usar en los cálculos es 0,6.

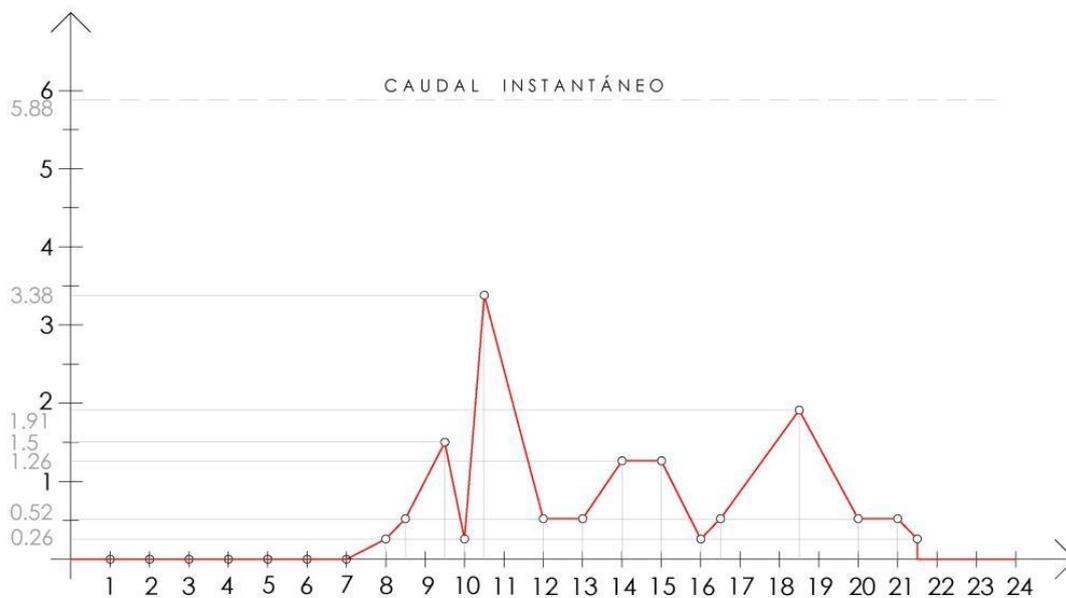


Tabla (6.2): Caudal instantáneo

Antes de aplicar el método de cálculo se toman unas decisiones previas. En primer lugar, se considera inicialmente una instalación poco ruidosa; para ello se toma una velocidad del fluido por la tubería de 1m/s puesto que a ésta velocidad éste no provoca ruidos, erosiones o vibraciones que puedan influir en el confort del edificio ya que se trata de un edificio docente donde el silencio cobra mucha importancia. En segundo lugar se propone una instalación de polietileno reticular que ofrece muchas ventajas; es un material barato, resiste bien las bajas y

las altas temperaturas⁴, es flexible y además tiene una alta resistencia a la abrasión, al impacto y al desgaste.

Para elegir los diámetros que mejor se adapten a las necesidades de cada tramo de la instalación se usa la siguiente tabla según la normativa vigente UNE EN 53.381.

POLIETILENO RETICULADO
Norma UNE 53.381

∅ Nominal mm	Espesor mm	∅ Interior mm
12	1,8	8,4
16	1,8	12,4
20	1,9	18,2
25	2,3	20,4
32	2,9	26,2
40	3,7	32,6
50	4,6	40,8
63	5,8	61,4
75	6,9	68,1

Tabla (6.2): Diámetros normalizados de tuberías de polietileno reticulado

A partir de estos datos y teniendo en cuenta las propiedades del agua ($\rho_{60^{\circ}\text{C}} = 983,13 \text{ Kg/m}^3$ y $\mu_{60^{\circ}\text{C}} = 467,0 \cdot 10^{-6} \text{ Kg/m}\cdot\text{s}$), se aplica el método de cálculo enseñado en la propia escuela y se procede a determinar la pérdida de carga lineal j (mca/m) que tiene lugar en cada uno de los tramos del circuito si por él circula agua a 60°C . Para ello se siguen los pasos que se enumeran a continuación:

1) Aplicación de la ecuación de la continuidad.

$$Q = A \cdot U$$

Ecuación (6.1): Ecuación de continuidad

A partir del caudal simultáneo y de la velocidad de tanteo (1m/s) se obtiene el diámetro de la tubería para cada tramo. Posteriormente y a partir de la Tabla superior se toma un diámetro normalizado acorde al diámetro de tanteo y se calcula la velocidad real del fluido en dicho tramo de tubería.

2) Determinación del régimen de flujo.

Para determinar el régimen de flujo se calcula el número de Reynolds según la fórmula siguiente:

$$Re = \frac{\rho_{60^{\circ}\text{C}} \cdot U \cdot \phi_{int}}{\mu_{60^{\circ}\text{C}}}$$

Ecuación (6.2): Número de Reynolds

⁴ Es importante que el material de las tuberías resista altas temperaturas porque aunque la instalación trabaje normalmente con una temperatura de 60°C periódicamente tiene que soportar los trabajos de choque térmico a 70°C para desinfectar y prevenir la legionella [35]

3) Obtención del factor de rozamiento.

A partir del número de Reynolds y de la relación entre la rugosidad relativa del tubo de polietileno $\epsilon=0,01\text{mm}$ y el diámetro interior ϕ_{int} [mm] para cada uno de los tramos ($\epsilon/\phi_{\text{int}}$) se obtiene el factor de rozamiento f según el diagrama de Moody.

Material	ϵ (mm)
Acero galvanizado	0.15
Cerámica vitrificada	0.60
Cobre	0.0015
Fibrocemento	0.015
Fundición	0.40
Hormigón liso	0.30
Hormigón rugoso	3.00
Plástico (PE, PVC, PP, PB)	0.01

Tabla (6.3): Rugosidad relativa de las tuberías según su composición material.

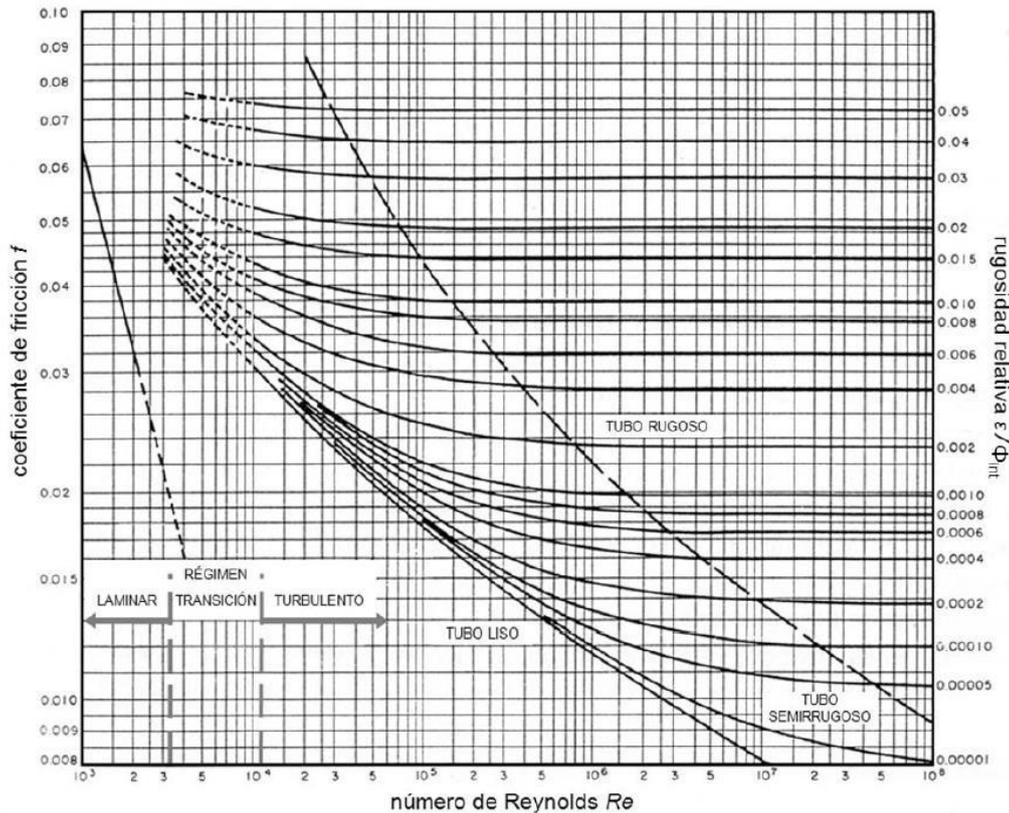


Tabla (6.4): Diagrama de Moody

4) Pérdida de carga lineal j

Por último se calcula la pérdida de carga lineal j por la ecuación de Darcy-Weisbach.

$$j = \frac{U^2 \cdot \rho_{60^\circ\text{C}} \cdot f}{2 \cdot r_{\text{int}}}$$

Ecuación (6.3): Ecuación de Darcy-Weisbach para el cálculo de pérdida de carga lineal



5) Cálculo de la presión final

Posteriormente, con los datos obtenidos se calcula la presión necesaria para abastecer con una presión mínima de 10mca el aparato sanitario más alejado de la instalación. Para ello se calcula la pérdida de carga para cada uno de los tramos en función de su longitud y el incremento de altura.

Los resultados de estos pasos se reflejan en las tablas de las páginas siguientes y se comentan a continuación.

Lo que más llama la atención una vez terminados los cálculos es el hecho de que la opción 1, donde el cálculo de pérdida de carga se realiza para el conjunto de los dos edificios, tenga un valor de pérdida de carga menor que los de los circuitos de cada edificio por separado. Esto se atribuye a que los circuitos que abastecen únicamente a uno de los dos edificios tienen un caudal menor y por lo tanto tienen diámetros de tubería menores; lo que esto implica que la velocidad sea mayor y aumente la pérdida de carga de la instalación.

Los resultados más favorables de pérdida de carga para una instalación silenciosa con velocidades del fluido bajas los tiene la opción 1. Por lo tanto se propone una instalación de agua caliente sanitaria para el conjunto de edificios de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Valladolid con la caldera localizada en la sala de instalaciones del edificio docente⁵.

⁵ Se ha situado la caldera en la sala de instalaciones del edificio docente y no en el académico por el mayor tamaño de la primera que permite albergar tanto la caldera para el apoyo de la producción de agua caliente como los acumuladores del conjunto de la instalación solar.

Opción 1: Un único circuito que abastezca a todo el edificio.

	Tipo aparato	Nº aparatos	Caudal instantáneo mínimo de agua caliente [dm ³ /s]	
Planta sótano	Lavabos	14	0,065	0,91
	Lavavajillas industrial	1	0,25	0,25
	Grifos	4	0,1	0,4
	Fregadero no doméstico	6	0,2	1,2
Planta baja	Lavabos	12	0,065	0,78
Planta primera	Lavabos	12	0,065	0,78
Planta segunda	Lavabos	10	0,065	0,65
Planta tercera	Lavabos	14	0,065	0,91
Caudal instantáneo				5,88

Tabla (6.5): Caudal instantáneo de agua caliente. Opción 1.

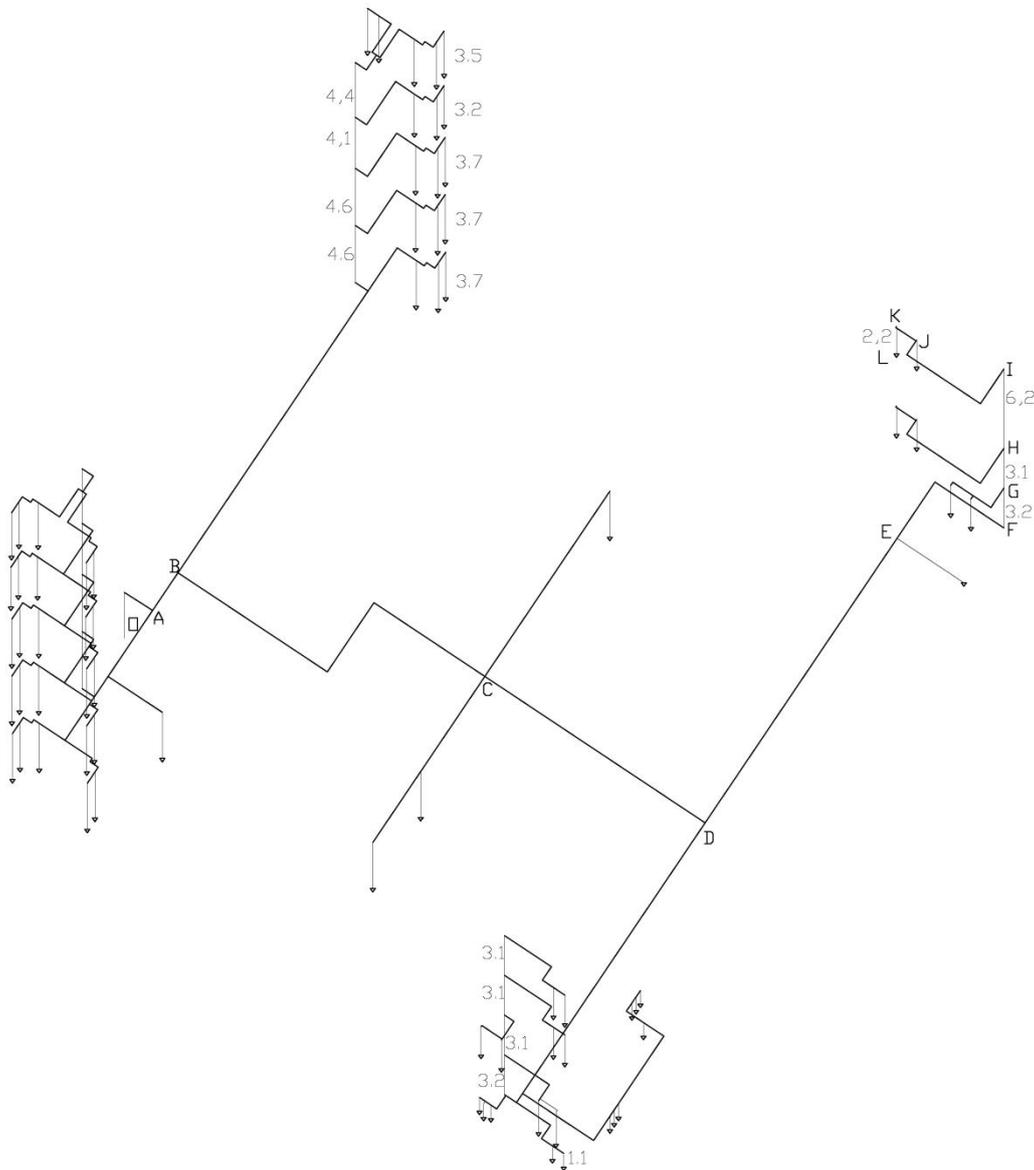


Ilustración (6.4): Esquema 3D distribución de la instalación. Opción 1



Cálculo de pérdida de carga en tubería. OPCIÓN 1: Un único circuito que abastezca a todo el edificio.

TRAMO	Tanteo						Real						Total					
	Q _{ins} l/s	Q _s l/s	Q _s m ³ /s	U m/s	A mm ²	r _{int} mm	Material	ϕ _{int} mm	ϕ _{int} m	r _{int} m	A m ²	U m/s	Re	ε mm	ε/ϕ _{int}	f	j Pa/m	j mca/m
OA	5,88	3,528	0,003528	1	3528	33,52	PEX	68,1	0,0681	0,03405	0,003641	0,969091	138933,1479	0,01	0,000146843	0,0165	223,7057632	0,022812267
AB	4,155	2,493	0,002493	1	2493	28,18	PEX	61,4	0,0614	0,0307	0,002959419	0,842395192	108887,5732	0,01	0,000162866	0,0167	189,7539424	0,01935005
BC	3,05	1,83	0,00183	1	1830	24,14	PEX	61,4	0,0614	0,0307	0,002959419	0,618364702	79929,50621	0,01	0,000162866	0,0169	103,4710041	0,010551397
CD	2,45	1,47	0,00147	1	1470	21,64	PEX	40,8	0,0408	0,0204	0,001306742	1,1249348	96623,23706	0,01	0,000245098	0,0185	564,1274305	0,057526573
DE	0,59	0,354	0,000354	1	354	10,62	PEX	26,2	0,0262	0,0131	0,000538855	0,656948042	36234,84285	0,01	0,000381679	0,0195	315,7957741	0,032203094
EF	0,39	0,234	0,000234	1	234	8,63	PEX	18,2	0,0182	0,0091	0,000260023	0,899919007	34480,12891	0,01	0,000549451	0,021	918,6830527	0,09368218
FG	0,39	0,234	0,000234	1	234	8,63	PEX	18,2	0,0182	0,0091	0,000260023	0,899919007	34480,12891	0,01	0,000549451	0,0215	940,5564587	0,095912708
GH	0,26	0,156	0,000156	1	156	7,01	PEX	18,2	0,0182	0,0091	0,000260023	0,599946005	22986,75261	0,01	0,000549451	0,023	447,1896341	0,045601908
HI	0,13	0,078	0,000078	1	78	4,98	PEX	12,4	0,0124	0,0062	0,000120702	0,646221757	16869,31038	0,01	0,000806452	0,0235	778,0728781	0,079343537
IJ	0,13	0,078	0,000078	1	78	4,98	PEX	12,4	0,0124	0,0062	0,000120702	0,646221757	16869,31038	0,01	0,000806452	0,0255	844,2918465	0,086096179
JK	0,065	0,039	0,000039	1	39	3,52	PEX	8,4	0,0084	0,0042	5,53896E-05	0,704103297	12451,15766	0,01	0,001190476	0,0255	1479,600943	0,150881461
KL	0,065	0,039	0,000039	1	39	3,52	PEX	8,4	0,0084	0,0042	5,53896E-05	0,704103297	12451,15766	0,01	0,001190476	0,027	1566,636292	0,159756841

TRAMO	Q _{ins} l/s	Q _s l/s	L m	Leq m	ϕ _{nom} mm	U m/s	j mca/m	J mca	Δh m	J±Δh mca	Pi mca	Pf mca
OA	5,88	3,528	6,37	7,644	75	0,969091	0,022812267	0,17437697	3,7	3,87437697	10	13,87437697
AB	4,155	2,493	6,35	7,62	63	0,842395	0,01935005	0,14744738	0	0,14744738	13,87437697	14,02182435
BC	3,05	1,83	31,7	38,04	63	0,618365	0,010551397	0,40137512	0	0,40137512	14,02182435	14,42319948
CD	2,45	1,47	21,17	25,404	50	1,124935	0,057526573	1,46140505	0	1,46140505	14,42319948	15,88460453
DE	0,59	0,354	27,63	33,156	32	0,656948	0,032203094	1,06772577	0	1,06772577	15,88460453	16,9523303
EF	0,39	0,234	12,09	14,508	20	0,899919	0,09368218	1,35914106	0	1,35914106	16,9523303	18,31147136
FG	0,39	0,234	3,2	3,84	20	0,899919	0,095912708	0,3683048	3,2	3,5683048	18,31147136	21,87977616
GH	0,26	0,156	3,1	3,72	20	0,599946	0,045601908	0,1696391	3,1	3,2696391	21,87977616	25,14941526
HI	0,13	0,078	6,2	7,44	16	0,646222	0,079343537	0,59031592	6,2	6,79031592	25,14941526	31,93973118
IJ	0,13	0,078	11,81	14,172	16	0,646222	0,086096179	1,22015505	0	1,22015505	31,93973118	33,15988622
JK	0,065	0,039	2	2,4	12	0,704103	0,150881461	0,36211551	0	0,36211551	33,15988622	33,52200173
KL	0,065	0,039	2,2	2,64	12	0,704103	0,159756841	0,42175806	-2,2	-1,7782419	33,52200173	31,74375979

Tabla (6.6): Dimensionado y cálculo de pérdida de carga en tuberías. Opción 1

Opción 2: Dos circuitos independientes, uno para cada uno de los edificios.

Circuito 1. Edificio académico

	Tipo aparato	Nº aparatos	Caudal instantáneo mínimo de agua caliente [dm ³ /s]	
Planta sótano	Lavabos	6	0,1	0,6
	Lavavajillas industrial	1	0,25	0,25
	Grifo	4	0,1	0,4
	Fregadero no doméstico	2	0,3	0,6
Planta baja	Lavabos	4	0,1	0,4
Planta primera	Lavabos	4	0,1	0,4
Planta segunda	Lavabos	2	0,1	0,2
Planta tercera	Lavabos	4	0,1	0,4
Caudal instantáneo				3,25

Tabla (6.7): Caudal instantáneo de agua caliente. Opción 2- Edificio Académico.

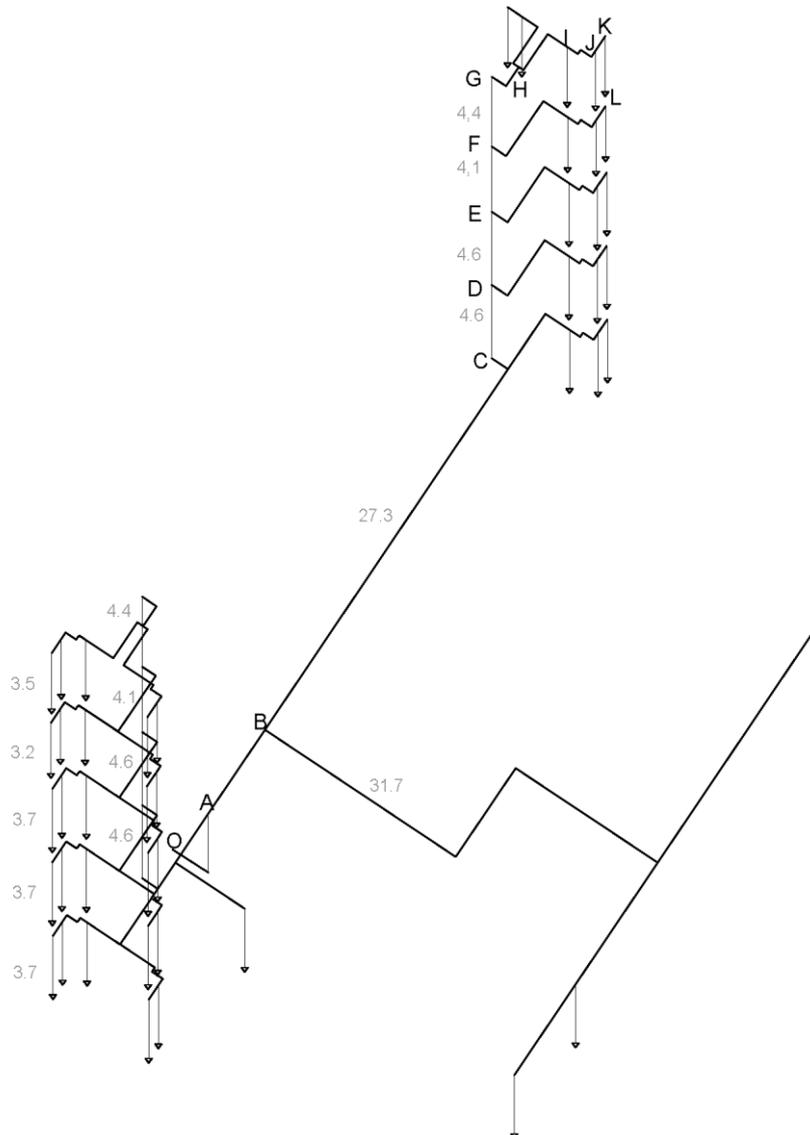


Ilustración (6.5): Esquema 3D distribución de la instalación del edificio académico

Cálculo pérdida de carga en tubería. OPCIÓN 2. Dos circuitos independientes, uno para cada uno de los edificios. Edificio académico.

TRAMO	Tanteo			Real								Total						
	Q _{ins} l/s	Q _s l/s	Q _s m ³ /s	U m/s	A mm ²	r _{int} mm	Material	∅ _{int} mm	∅ _{int} m	r _{int} m	A m ²	U m/s	Re	ε mm	ε/∅ _{int}	f	j Pa/m	j mca/m
OA	2,35	1,41	0,00141	1	1410	21,19	PEX	61,4	0,0614	0,0307	0,002959	0,476445	61585,02937	0,01	0,000162866	0,02	72,69390523	0,007412919
AB	1,96	1,176	0,001176	1	1176	19,35	PEX	40,8	0,0408	0,0204	0,001307	0,89994784	77298,58964	0,01	0,000245098	0,0195	380,5573153	0,038807115
BC	1,895	1,137	0,001137	1	1137	19,03	PEX	40,8	0,0408	0,0204	0,001307	0,870102631	74735,11601	0,01	0,000245098	0,02	364,8562119	0,037206004
CD	0,845	0,507	0,000507	1	507	12,71	PEX	26,2	0,0262	0,0131	0,000539	0,940883213	51895,66476	0,01	0,000381679	0,022	730,8088166	0,074523812
DE	0,715	0,429	0,000429	1	429	11,69	PEX	26,2	0,0262	0,0131	0,000539	0,796131949	43911,71633	0,01	0,000381679	0,023	547,0255343	0,055782616
EF	0,52	0,312	0,000312	1	312	9,97	PEX	20,4	0,0204	0,0102	0,000327	0,955046687	41015,57818	0,01	0,000490196	0,0235	1032,994118	0,105338985
FG	0,39	0,234	0,000234	1	234	8,63	PEX	18,2	0,0182	0,0091	0,000260	0,899919007	34480,12891	0,01	0,000549451	0,024	1049,923489	0,107065348
GH	0,26	0,156	0,000156	1	156	7,05	PEX	18,2	0,0182	0,0091	0,000260	0,599946005	22986,75261	0,01	0,000549451	0,026	505,5187168	0,051549982
HI	0,13	0,078	0,000078	1	78	4,98	PEX	12,4	0,0124	0,0062	0,000121	0,646221757	16869,31038	0,01	0,000806452	0,029	960,1750411	0,097913301
IJ	0,13	0,078	0,000078	1	78	4,98	PEX	12,4	0,0124	0,0062	0,000121	0,646221757	16869,31038	0,01	0,000806452	0,029	960,1750411	0,097913301
JK	0,065	0,039	0,000039	1	39	3,52	PEX	8,4	0,0084	0,0042	0,000055	0,704103297	12451,15766	0,01	0,001190476	0,03	1740,706992	0,177507601
KL	0,065	0,039	0,000039	1	39	3,52	PEX	8,4	0,0084	0,0042	0,000055	0,704103297	12451,15765	0,01	0,001190476	0,03	1740,70699	0,177507601

TRAMO	Q _{ins} l/s	Q _s l/s	L m	Leq m	∅ _{nom} mm	U m/s	j mca/m	J mca	Δh m	J±Δh mca	Pi mca	Pf mca
OA	2,35	1,41	1,4	1,68	63	0,476444934	0,007412919	0,012453705	1,1	1,112453705	10	11,1124537
AB	1,96	1,176	5,45	6,54	50	0,89994784	0,038807115	0,253798531	0	0,253798531	11,1124537	11,36625224
BC	1,895	1,137	26,5	31,8	50	0,870102631	0,037206004	1,183150922	0	1,183150922	11,36625224	12,54940316
CD	0,845	0,507	0,9	1,08	32	0,940883213	0,074523812	0,080485717	0	0,080485717	12,54940316	12,62988887
DE	0,715	0,429	1	1,2	32	0,796131949	0,055782616	0,06693914	0	0,06693914	12,62988887	12,69682801
EF	0,52	0,312	3,2	3,84	25	0,955046687	0,105338985	0,404501703	3,2	3,604501703	12,69682801	16,30132972
FG	0,39	0,234	3,1	3,72	20	0,899919007	0,107065348	0,398283095	3,1	3,498283095	16,30132972	19,79961281
GH	0,26	0,156	3,1	3,72	20	0,599946005	0,051549982	0,191765935	3,1	3,291765935	19,79961281	23,09137875
HI	0,13	0,078	3,1	3,72	16	0,646221757	0,097913301	0,364237481	3,1	3,464237481	23,09137875	26,55561623
IJ	0,13	0,078	6,8	8,16	16	0,646221757	0,097913301	0,79897254	0	0,79897254	26,555616	27,35458877
JK	0,065	0,039	1,1	1,32	12	0,704103297	0,177507601	0,234310034	0	0,234310034	27,35458877	27,5888988
KL	0,065	0,039	2,3	2,76	12	0,709090909	0,177507601	0,489920979	2,3	2,789920979	27,588899	30,378820

Tabla (6.8): Dimensionado y cálculo de pérdida de carga en tuberías. Opción 2; Edificio Académico.

Circuito 2. Edificio docente

	Tipo aparato	Nº aparatos	Caudal instantáneo mínimo de agua caliente [dm ³ /s]	
Planta sótano	Lavabos	8	0,065	0,52
	Lavavajillas industrial	0	0,2	0
	Grifo	0	0,1	0
	Fregadero no doméstico	4	0,2	0,8
Planta baja	Lavabos	8	0,065	0,52
Planta primera	Lavabos	8	0,065	0,52
Planta segunda	Lavabos	8	0,065	0,52
Planta tercera	Lavabos	10	0,065	0,65
Caudal instantáneo				3,53

Tabla (6.9): Caudal instantáneo de agua caliente. Opción 2; Edificio Docente.

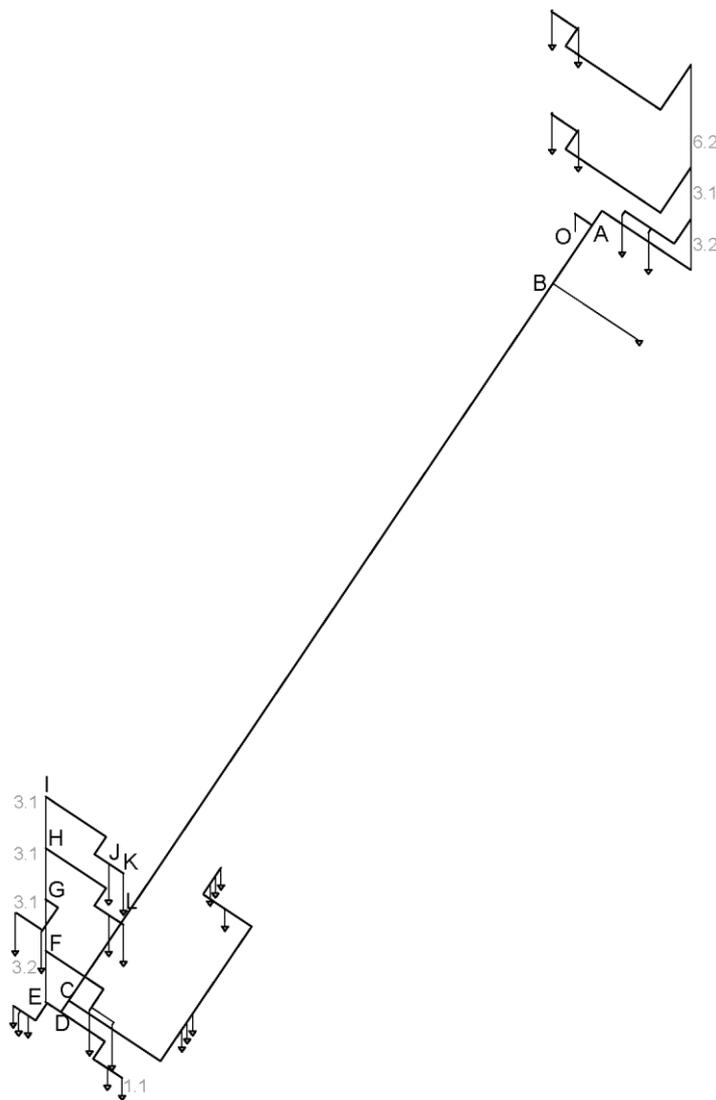


Ilustración (6.6): Esquema 3D de la distribución de la instalación del Edificio Docente

Calculo pérdida de carga en tubería. OPCIÓN 2. Dos circuitos independientes, uno para cada uno de los edificios. Edificio docente.

TRAMO	Tanteo			Real								Total						
	Q _{ins} l/s	Q _s l/s	Q _s m ³ /s	U m/s	A mm ²	rint mm	Material	ϕ _{int} mm	ϕ _{int} m	rint m	A m ²	U m/s	Re	ε mm	ε/ϕ _{int}	f	j Pa/m	j mca/m
OA	3,53	2,118	0,002118	1	2118	25,97	PEX	61,4	0,0614	0,0307	0,002959	0,715681	92508,57604	0,01	0,000162866	0,0185	151,723698	0,015471937
AB	1,705	1,023	0,001023	1	1023	18,05	PEX	40,8	0,0408	0,0204	0,001307	0,782862789	67241,88538	0,01	0,000245098	0,021	310,1282881	0,031625155
BC	1,105	0,663	0,000663	1	663	14,53	PEX	32,6	0,0326	0,0163	0,000834	0,794709988	54540,6538	0,01	0,000306748	0,0215	409,495517	0,041758071
CD	0,91	0,546	0,000546	1	546	13,19	PEX	26,2	0,0262	0,0131	0,000539	1,013258845	55887,63897	0,01	0,000381679	0,022	847,5652547	0,086429983
DE	0,715	0,429	0,000429	1	429	11,69	PEX	26,2	0,0262	0,0131	0,000539	0,796131949	43911,71633	0,01	0,000381679	0,023	547,0255343	0,055782616
EF	0,52	0,312	0,000312	1	312	9,97	PEX	20,4	0,0204	0,0102	0,000327	0,955046687	41015,57818	0,01	0,000490196	0,0235	1032,994118	0,105338985
FG	0,325	0,195	0,000195	1	195	7,88	PEX	18,2	0,0182	0,0091	0,000260	0,749932506	28733,44076	0,01	0,000549451	0,0245	744,3033992	0,075899914
GH	0,325	0,195	0,000195	1	195	7,88	PEX	18,2	0,0182	0,0091	0,000260	0,749932506	28733,44076	0,01	0,000549451	0,0245	744,3033992	0,075899914
HI	0,195	0,117	0,000117	1	117	6,1	PEX	12,4	0,0124	0,0062	0,000121	0,969332635	25303,96557	0,01	0,000806452	0,0265	1974,152994	0,201313124
IJ	0,13	0,078	0,000078	1	78	4,98	PEX	12,4	0,0124	0,0062	0,000121	0,646221757	16869,31038	0,01	0,000806452	0,029	960,1750411	0,097913301
JK	0,065	0,039	0,000039	1	39	3,52	PEX	8,4	0,0084	0,0042	0,000055	0,704103297	12451,15766	0,01	0,001190476	0,03	1740,706992	0,177507601
KL	0,065	0,039	0,000039	1	39	3,52	PEX	8,4	0,0084	0,0042	0,000055	0,704103297	12451,15765	0,01	0,001190476	0,03	1740,70699	0,177507601

TRAMO	Q _{ins} l/s	Q _s l/s	L m	Leq m	ϕ _{nom} mm	U m/s	j mca/m	J mca	Δh m	J±Δh mca	Pi mca	Pf mca
OA	3,53	2,118	6,3	7,56	63	0,715681114	0,015471937	0,116967847	3,7	3,816967847	10	13,81696785
AB	1,705	1,023	10	12	50	0,782862789	0,031625155	0,379501861	0	0,379501861	13,81696785	14,19646971
BC	1,105	0,663	27,3	32,76	40	0,794709988	0,041758071	1,367994422	0	1,367994422	14,19646971	15,56446413
CD	0,91	0,546	5,8	6,96	32	1,013258845	0,086429983	0,60155268	4,6	5,20155268	15,56446413	20,76601681
DE	0,715	0,429	4,6	5,52	32	0,796131949	0,055782616	0,307920043	4,6	4,907920043	20,76601681	25,67393685
EF	0,52	0,312	4,1	4,92	25	0,955046687	0,105338985	0,518267807	4,1	4,618267807	25,67393685	30,29220466
FG	0,325	0,195	4,4	5,28	20	0,749932506	0,075899914	0,400751546	4,4	4,800751546	30,29220466	35,09295621
GH	0,325	0,195	2,45	2,94	20	0,749932506	0,075899914	0,223145747	0	0,223145747	35,09295621	35,31610195
HI	0,195	0,117	4,2	5,04	16	0,969332635	0,201313124	1,014618146	0	1,014618146	35,31610195	36,3307201
IJ	0,13	0,078	2,1	2,52	16	0,646221757	0,097913301	0,24674152	0	0,24674152	36,3307201	36,57746162
JK	0,065	0,039	1	1,2	12	0,704103297	0,177507601	0,213009122	0	0,213009122	36,57746162	36,79047074
KL	0,065	0,039	3,5	4,2	12	0,709090909	0,177507601	0,745531925	3,5	4,245531925	36,79047074	41,03600266

Tabla (6.10): Dimensionado y cálculo de pérdida de carga en tuberías. Opción 2; Edificio Docente.



6.3 Dimensionado de la instalación solar.

Para dimensionar el sistema solar se empleará el método simplificado de curvas f (F-Chart) explicado en el apartado 4.2.2 del presente trabajo. Antes de aplicar el método es necesario recopilar unos datos previos que serán necesarios para desarrollar el método completo.

Datos de los captadores solares. Se toman los datos referentes a las características de los captadores solares del apartado 4.2.2 del presente documento. Como se justificó en el apartado 5.4 los captadores solares tendrán una orientación de 20° suroeste y una inclinación de 30° respecto de la horizontal. Además la reflexión de los alrededores de esta superficie (albedo) se considera 0,3 (valor entre albedo 0,2 de terreno normal y albedo 0,4 de pradera).

Datos de la demanda de ACS. Para obtener la demanda de ACS se utilizará el valor unitario que aparece en la tabla 4.1 del DB HE “Demanda de referencia a 60°C” [8]. Este valor es de 4 l/día por persona en el caso de tratarse de una escuela sin ducha como es este caso. Para realizar los cálculos se tomará que la escuela cuenta con 300 personas cada día.

Temperaturas. Las temperaturas de entrada del agua de red se reflejan en la tabla siguiente según la Guía Técnica de condiciones climáticas exteriores de proyecto del Instituto para la Diversificación y Ahorro de energía. Y están expresadas en grados centígrados (°C). [20]

Enero	Febr.	Marz.	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
3.8	5.3	8.8	10.5	14.9	20.4	22.1	21.8	18	13	7.1	4.2

Tabla (6.11): Valores de temperatura del agua de red.

Los valores de temperatura ambiente media mensual en Valladolid se muestran a continuación y se han obtenido del Boletín Mensual de Estadística de junio de 2016 publicado por el Instituto Nacional de Estadística. [21]

Enero	Febr.	Marz.	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
6.0	5.7	9.3	14.1	15.0	19.3	21.4	21.9	19.9	16.7	9.8	4.3

6.3.1 Aplicación Método F-Chart

- Determinación de la carga energética para el calentamiento de agua destinada a la producción de ACS o calefacción.

La energía mensual necesaria para calentar el agua desde la temperatura con la que llega de red hasta la de consumo se determina mediante la siguiente expresión:

$$Q_a = C_e \cdot C (t_{ac} - t_r) n$$

Ecuación (6.4): Demanda energética

Dónde:

Q_a demanda energética mensual de calentamiento ACS (j/mes)

C consumo diario de ACS (l/d)

C_e calor específico. Para agua 4.187 J/kg°C

t_{ac} temperatura del agua caliente de acumulación (°C)

t_r temperatura del agua de red (°C)

n número de días

Mes	nº días	Consumo l/d-persona	Personas	Calor específico	t acum.	t red	Δt	Demanda ACS j	Demanda ACS kWh
Enero	31	4	400	4,187	60	3,8	56,2	8753509,68	2431,41432
Febrero	28					5,3	54,7	7695371,04	2137,50096
Marzo	31					8,8	51,2	7974727,68	2215,09632
Abril	30					10,5	49,5	7461234	2072,466
Mayo	31					14,9	45,1	7024613,64	1951,18836
Junio	30					20,4	39,6	5968987,2	1657,9728
Julio	31					22,1	37,9	5903167,56	1639,69044
Agosto	31					21,8	38,2	5949894,48	1652,66952
Septiembre	30					18	42	6330744	1758,456
Octubre	31					13	47	7320550,8	2033,3892
Noviembre	30					7,1	52,9	7973722,8	2214,8172
Diciembre	31					4,2	55,8	8691207,12	2414,10888

Tabla (6.12): Demanda energética mensual.

- b) Cálculo de la radiación solar incidente en la superficie inclinada del captador o captadores.

Para obtener los valores de radiación solar incidente sobre una superficie inclinada 30° se emplea el software OrientSol 2.0⁶ diseñado y realizado en la Escuela Politécnica Superior de Jaén [19]. En el blog de dicha universidad se encuentran los enlaces para instalar MCR Matlab® Compiler Runtime 7.1, necesario para el funcionamiento del software, y el propio Oriensol 2.0.



Ilustración (6.7): Datos iniciales en el software OrientSol 2.0

⁶ El software ha sido diseñado y realizado por la alumna Miriam Jiménez Torres y los profesores Leocadio Hontoria García y Catalina Rus Casas.

Una vez instalado el software se introducen los datos iniciales; los valores de radiación global diaria media mensual sobre el plano horizontal que se toman del Atlas de Radiación Solar en España con datos EUMETSAT visto en el apartado 5.4 del presente documento.

En segundo lugar se elige un estudio de la Inclinación Óptima Anual donde por defecto el programa realiza los cálculos para una superficie orientada hacia el sur con una inclinación fija durante todo el año para el mejor ángulo posible. Así se obtienen las tablas para la irradiancia global, la irradiancia directa, la irradiancia difusa y el albedo. En este caso nos interesa la tabla de irradiancia global.

A partir de los resultados obtenidos se elabora una tabla que refleja los datos más importantes como que la inclinación óptima para esta latitud es de 31° y la radiación global que recibe cada día un metro cuadrado de superficie de captadores con esa inclinación.

Valladolid	RADIACIÓN GLOBAL DIARIA (kW/m ² /día)						Inclinación Óptima 31°
	Gdm (0°)	Gdm (10°)	Gdm (20°)	Gdm (30°)	Gdm (40°)	Gdm (50°)	
Enero	1,04	1,123470244	1,209319642	1,2723355853	1,310663553	1,323078783	
Febrero	3,01	3,489556199	3,908517275	4,234654018	4,458056927	4,57193818	
Marzo	4,47	4,818999524	5,169224212	5,396724158	5,494586892	5,459838904	
Abril	5,53	5,749650511	5,894547339	5,905492641	5,782153848	5,358519405	
Mayo	6,49	6,478552603	6,462028761	6,300300222	5,998281028	5,360811167	
Junio	7,55	7,564953752	7,295827722	7,023049633	6,588184325	5,793439463	
Julio	7,75	7,671220124	7,608489205	7,362915378	6,94196028	6,15463733	
Agosto	6,79	6,992109524	7,118475367	7,072598483	6,855872817	3,283428114	
Septiembre	5,26	5,705573159	6,048117958	6,243952925	6,287127714	6,024129967	
Octubre	3,36	3,798851179	4,187215603	4,476824626	4,658878624	4,727845978	
Noviembre	2,18	2,52808133	2,883755991	3,171701325	3,383168256	3,51173147	
Diciembre	1,64	1,969476343	2,276371402	2,530741899	2,724858914	2,8528243	
MEDIA	4,589166667	4,824207874	5,00515754	5,082609263	5,040316098	4,785185242	

Tabla (6.13): Radiación global diaria sobre superficie inclinada en Valladolid.

c) Cálculo del parámetro D_1 .

Este parámetro determina la relación entre la energía absorbida por el captador y la energía térmica necesaria y se calcula mediante la siguiente expresión:

$$D_1 = \frac{F_R'(\tau\alpha) \cdot E_{SOL}}{D_{ACS}}$$

Ecuación (6.5): Parámetro D_1

Dónde:

$F_R'(\tau\alpha)$ = Factor adimensional

E_{SOL} = Energía solar mensual media recibida por el captador (kWh)

D_{ACS} = Demanda de energía para la producción de ACS (kWh)

$$F_R'(\tau\alpha) = F_R'(\tau\alpha)_N \cdot \left[\frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)_N} \right] \cdot \left[\frac{F_R'}{F_R} \right]$$

Ecuación (6.6): Factor adimensional para el cálculo del parámetro D_1

Dónde:

$F_R'(\tau\alpha)_N$ = Factor de la eficiencia óptica del captador. Corresponde con la ordenada en origen de la curva característica del captador (η_0) obtenida en los ensayos del colector.

$[(\tau\alpha)/(\tau\alpha)_N]$ = parámetro que considera que los rayos no inciden perpendicularmente sobre el captador. Recomendado: 0,96 para cubiertas transparentes sencillas y 0,94 para cubiertas transparentes dobles.

$[F_R'/F_R]$ = parámetro que considera el intercambiador de calor. Recomendado: 0,95

d) Cálculo del parámetro D_2 .

El parámetro D_2 determina la relación entre la energía perdida por el captador y la energía térmica necesaria. La expresión que permite calcular dicho parámetro es la siguiente:

$$D_2 = \frac{A_{CAP} \cdot F_R' U_L \cdot (100 - T_a) \cdot \Delta t \cdot K_1 \cdot K_2}{D_{ACS}}$$

Ecuación (6.7): Parámetro D_2

Dónde:

$F_R' U_L$ = ordenada en el origen de la curva característica del captador

T_a = temperatura media mensual (°C)

Δt = tiempo del mes considerado (horas)

K_1 = factor en función del agua almacenada. Refleja la capacidad de almacenamiento.

$$K_1 = [V_{ACU}/(75 \cdot A_{CAP})]^{-0,25}$$

Ecuación (6.8): Factor de agua almacenada

K_2 = factor que se utiliza cuando sólo se sirve ACS. Relaciona la temperatura mínima del ACS, la del agua de red y la media mensual ambiente.

$$K_2 = (11,6 + 1,18T_{ACS} + 3,86T_{red} - 2,32T_a)/(100 - T_a)$$

Ecuación (6.9): Factor para el servicio de ACS



e) Obtención de la cobertura solar mensual.

La fórmula siguiente proporciona una estimación del porcentaje de energía que es suministrado por la instalación solar del total de las necesidades energéticas.

$$f = 1,029 \cdot D_1 - 0,065 \cdot D_2 - 0,245 \cdot D_1^2 + 0,0018 \cdot D_2^2 + 0,0215 \cdot D_1^3$$

Ecuación (6.10): Cobertura solar mensual

f) Cálculo de la cobertura solar anual.

La cobertura solar anual se obtiene mediante la suma de la energía útil aportada y energía necesaria para todos los meses del año.

$$F = \frac{Q_{util}^{año}}{Q_{necesaria}^{año}} = \frac{\sum_1^{12} f_i \cdot Q_{nec,i}}{\sum_1^{12} Q_{nec,i}}$$

Ecuación (6.11): Cobertura solar anual

A continuación se muestran las tablas donde se aplica el presente método para el cálculo de la instalación actual. Se realizan los cálculos para 3 tipos de captadores diferentes (cuyas características se han visto en el apartado 4.2.2 del presente documento); los dos primeros son captadores planos y el tercero es de tubos de vacío.

La instalación se calcula en los tres casos para un único captador con el fin de decidir cuál es el que ofrece una mayor cobertura anual y que mejor se adapte a la instalación.

El volumen de acumulación se elige de forma teórica puesto que aún no se ha determinado la superficie de captación total. El volumen de acumulación inicial es menor que 3.000litros ($Vacu < 3.000l$) por tratarse de un sistema de producción con acumulación y retorno en edificio singular de pública concurrencia. [18]

La mayor cobertura solar anual, como era de esperar, la ofrece la opción 3 con el captador de tubos de vacío. Este tipo de captadores son más eficientes gracias a que su superficie cilíndrica permite que reciban siempre de forma perpendicular los rayos del sol. Sin embargo, como se expone en el apartado de fundamentos físicos, la instalación solar de tubos de vacío trabaja con temperaturas que superan el rango de trabajo de la producción de agua caliente sanitaria. Por lo tanto, la mejor opción es la de emplear captadores solares planos protegidos y dentro de las dos opciones restantes, el que mayor cobertura solar ofrece es el de la opción 1.

Una vez elegido el captador para la instalación, se calcula el número de captadores solares necesarios para cubrir el porcentaje de la demanda que marca el Código Técnico de Edificación. Según la tabla 2.2: *Contribución solar mínima anual para ACS en %*, para una zona climática II y una demanda total diaria menor que 5.000l, la cobertura solar mínima anual debe ser del 30%.



A partir de las pautas anteriores se determina que el número de captadores solares de la instalación serán 3. Este número cumple con la cobertura solar anual pautada por la norma.

En base al perfil de uso del edificio, la mayor demanda de agua caliente se produce en los meses de invierno, por ello se calcula la cobertura anual para satisfacer principalmente ese periodo de tiempo. Una mayor cobertura de la demanda en invierno implica que la instalación esté sobredimensionada en verano lo que provocaría que se alcanzasen temperaturas muy altas en la instalación y en consecuencia vaporizaciones. De esta forma la instalación no sería viable; así, se determina que se apostará por los meses de invierno y durante los meses de junio, julio y agosto, donde la cobertura energética solar es superior al 80% de la demanda, se prescindirá de este apoyo energético. Durante estos tres meses, en dos de los cuales (julio y agosto) el edificio apenas está habitado, la demanda es mínima y únicamente se abastecerá energía para la producción de agua caliente a partir de la caldera; la instalación solar se vaciaría completamente de forma que no haya posibilidad de que se produzcan evaporaciones del fluido o deterioro de la propia instalación.

En la tabla del cálculo final se reflejan los datos anteriormente citados de cobertura (anual y parcial) y además aparece un gráfico donde se puede comparar la relación entre la demanda de cada mes y la cobertura solar. Enero es el mes más desfavorecido por la usual presencia de nieblas durante las mañanas, la cobertura energética es del 4.4% por lo que ese tiempo se requerirá un mayor uso del sistema autónomo. En los meses de verano, donde la cobertura solar es tan alta que casi es del 100% y se prescinde del sistema de apoyo por las razones ya citadas, se contará únicamente con este sistema autónomo de caldera para la producción de agua caliente sanitaria. De todas formas, y como se verá más adelante, la instalación solar contará con un sistema integrado de ventilación que permitirá liberar el calor de la instalación y evitar que no se sobrecaliente en los meses de mayor calor donde el porcentaje de cobertura es elevado.

La norma marca que el porcentaje de demanda anual cubierto por la energía solar, en nuestro caso, tiene que ser superior al 30%. La cobertura obtenida en este caso es del 25,6% lo que significa que no se alcanza el mínimo; sin embargo, dadas las circunstancias anteriormente citadas queda justificado este valor.

Caso 1. Aplicación del método F-Chart en la instalación solar con 1 captador solar plano modelo **Solex BLUx**.

Mes	Días	FASE 1 DEMANDA DE ENERGÍA	FASE 2 ENERGÍA DISPONIBLE		FASE 3 DIMENSIONADO					DATOS			FASE 4 ENERGÍA ABSORBIDA/ENERGÍA NECESARIA D1			FASE 5 ENERGÍA PERDIDA/ENERGÍA NECESARIA D2			FASE 6 COBERTURA MENSUAL		
		Demanda ACS kWh	E kWh/m ² ·día	E kWh/m ² ·mes	A _{cap}	nº captadores	F _{R'} (τα) _N	F _{R'} UL a1	Vacu l	Esol kWh	Ta °C	Tacs °C	Tred °C	[(τα)/(τα) _N]	[F _{R'} /F _R]	F _{R'} (τα)	D ₁	Δt h	K1	K2	D2
Enero	31	2431,41432	1,2723559	39,4430314	2,345	1	0,71	3,87	2500	92,49391	6	3,8	0,96	0,95	0,6475	0,024632	744	0,515	0,8846	0,118915	0,01749444
Febrero	28	2137,50096	4,234654	118,570313						278,0474	5,7	5,3				0,08423	672		0,1997	0,027674	0,08314966
Marzo	31	2215,09632	5,3967242	167,298449						392,3149	9,3	8,8				0,114682	744		0,2645	0,037663	0,11237244
Abril	30	2072,466	5,9054926	177,164779						415,4514	14,1	10,5				0,129803	720		0,2261	0,03153	0,12743908
Mayo	31	1951,18836	6,3003002	195,309307						458,0003	15	14,9				0,151992	744		0,4037	0,061153	0,14684687
Junio	30	1657,9728	7,0230496	210,691489						494,0715	19,3	20,4				0,192959	720		0,5647	0,092488	0,18359108
Julio	31	1639,69044	7,3629154	228,250377						535,2471	21,4	22,1				0,211371	744		0,6012	0,10022	0,20026163
Agosto	31	1652,66952	7,0725985	219,250553						514,1425	21,9	21,8				0,201442	744		0,5754	0,094677	0,19138015
Septiembre	30	1758,456	6,2439529	187,318588						439,2621	19,9	18				0,16175	720		0,4359	0,066811	0,15578752
Octubre	31	2033,3892	4,4768246	138,781563						325,4428	16,7	13				0,103635	744		0,2765	0,039394	0,10147538
Noviembre	30	2214,8172	3,1717013	95,1510398						223,1292	9,8	7,1				0,065234	720		0,1804	0,02472	0,0644831
Diciembre	31	2414,10888	2,5307419	78,4529989						183,9723	4,3	4,2				0,049346	744		0,1864	0,025691	0,04851393
Media mensual	30,42	2014,8975	5,0826093	154,640207				362,6313	13,6			12,5			0,124256	730		0,3999	0,060078	0,1202198	
Total anual	365	24178,77	60,991311	1855,68249				4351,575							1,491077	8760		4,799	0,720936	1,01495704	

Mes	Días	f	FASE 6 COBERTURA MENSUAL	FASE 7 COBERTURA ANUAL		f
			f	Demanda ACS kWh	Energía util kWh	
Enero	31	0,01749444	2431,4143	42,536228	0,112	
Febrero	28	0,08314966	2137,501	177,732474		
Marzo	31	0,11237244	2215,0963	248,915787		
Abril	30	0,12743908	2072,466	264,113155		
Mayo	31	0,14684687	1951,1884	286,525902		
Junio	30	0,18359108	1657,9728	304,389012		
Julio	31	0,20026163	1639,6904	328,367086		
Agosto	31	0,19138015	1652,6695	316,288145		
Septiembre	30	0,15578752	1758,456	273,945505		
Octubre	31	0,10147538	2033,3892	206,33894		
Noviembre	30	0,0644831	2214,8172	142,818283		
Diciembre	31	0,04851393	2414,1089	117,117912		
Media mensual	30,42	0,1202198	2014,8975	242,230582		
Total anual	365	1,01495704	24178,77	24540,4129		

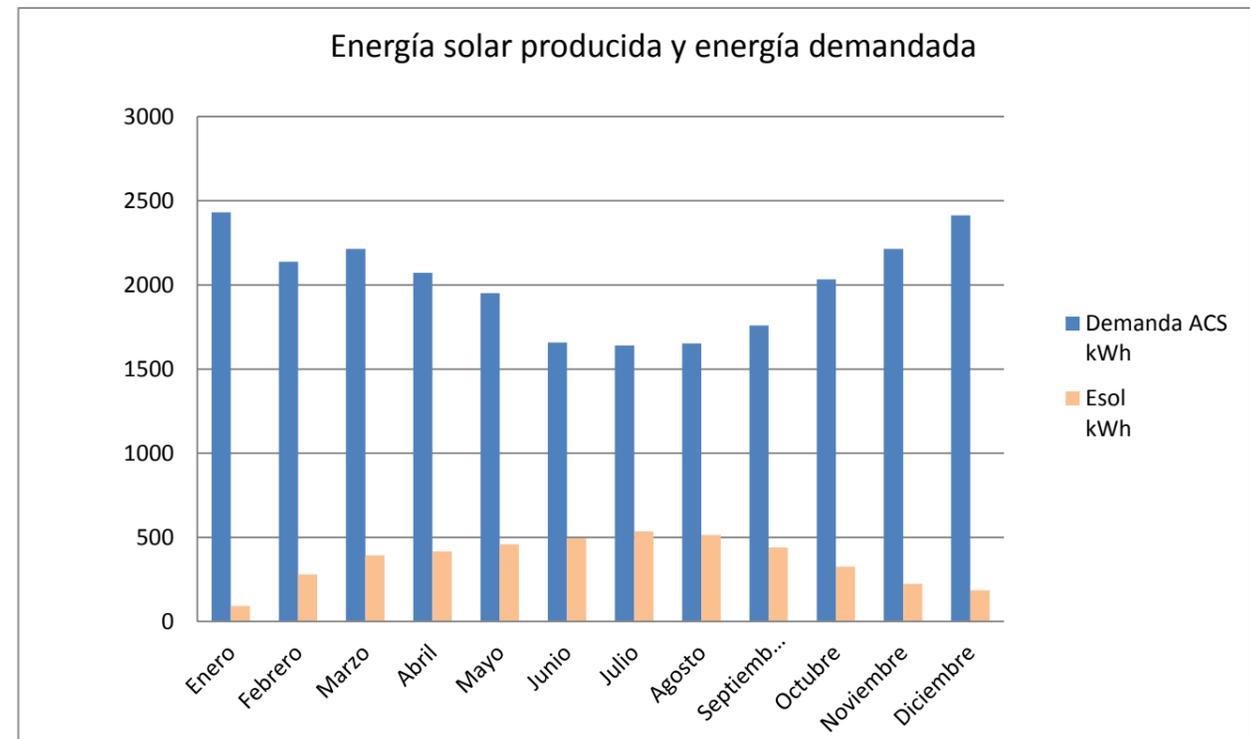


Tabla (6.14): Aplicación Método F-Chart. Cobertura energética anual. Caso 1.

Caso 2. Aplicación del método F-Chart en la instalación solar con 1 captador solar plano modelo Tigi TIGI HC1-A.

Mes	Días	FASE 1 DEMANDA DE ENERGÍA	FASE 2 ENERGÍA DISPONIBLE		FASE 3 DIMENSIONADO					DATOS			FASE 4 ENERGÍA ABSORBIDA/ENERGÍA NECESARIA D1				FASE 5 ENERGÍA PERDIDA/ENERGÍA NECESARIA D2			FASE 6 COBERTURA MENSUAL	
		Demanda ACS kWh	E kWh/m ² ·día	E kWh/m ² ·mes	A _{cap}	nº captadores	F _{R'} (τα) _N	F _{R'} UL a1	Vacu l	Esol kWh	Ta °C	Tacs °C	Tred °C	[(τα)/(τα) _N]	[F _{R'} /F _R]	F _{R'} (τα)	D ₁	Δt h	K1	K2	D2
Enero	31	2431,41432	1,2723559	39,4430314	1,804	1	0,78	2,2	2500	71,15523	6	3,8	0,96	0,95	0,71136	0,020818	744	0,4823	0,88455	0,048704	0,0181542
Febrero	28	2137,50096	4,234654	118,570313						213,9008	5,7	5,3				0,071186	672		0,19972	0,011335	0,0712803
Marzo	31	2215,09632	5,3967242	167,298449						301,8064	9,3	8,8				0,096923	744		0,26452	0,015426	0,0964492
Abril	30	2072,466	5,9054926	177,164779						319,6053	14,1	10,5				0,109702	720		0,22605	0,012914	0,1091245
Mayo	31	1951,18836	6,3003002	195,309307						352,338	15	14,9				0,128455	744		0,40369	0,025046	0,1265558
Junio	30	1657,9728	7,0230496	210,691489						380,0874	19,3	20,4				0,163078	720		0,56466	0,03788	0,1589253
Julio	31	1639,69044	7,3629154	228,250377						411,7637	21,4	22,1				0,178639	744		0,60125	0,041047	0,1734584
Agosto	31	1652,66952	7,0725985	219,250553						395,528	21,9	21,8				0,170247	744		0,57542	0,038777	0,1656718
Septiembre	30	1758,456	6,2439529	187,318588						337,9227	19,9	18				0,136702	720		0,43586	0,027364	0,1343657
Octubre	31	2033,3892	4,4768246	138,781563						250,3619	16,7	13				0,087587	744		0,27654	0,016135	0,0872132
Noviembre	30	2214,8172	3,1717013	95,1510398						171,6525	9,8	7,1				0,055132	720		0,18038	0,010125	0,0553316
Diciembre	31	2414,10888	2,5307419	78,4529989						141,5292	4,3	4,2				0,041704	744		0,18637	0,010522	0,0418052
Media mensual	30,4	2014,8975	5,0826093	154,640207				278,9709	13,6		12,5		0,105014	730			0,39992	0,024606	0,1037845		
Total anual	365	24178,77	60,991311	1855,68249				3347,651							1,260172	8760		4,79902	0,295274	0,9316388	

Mes	Días	FASE 6 COBERTURA MENSUAL	FASE 7 COBERTURA ANUAL		f
		f	Demanda ACS kWh	Energía util kWh	
Enero	31	0,018154163	2431,4143	44,1402921	0,0969
Febrero	28	0,071280279	2137,501	152,361665	
Marzo	31	0,096449207	2215,0963	213,644284	
Abril	30	0,109124543	2072,466	226,156905	
Mayo	31	0,126555846	1951,1884	246,934294	
Junio	30	0,158925299	1657,9728	263,493824	
Julio	31	0,173458379	1639,6904	284,418046	
Agosto	31	0,165671805	1652,6695	273,800742	
Septiembre	30	0,134365713	1758,456	236,276194	
Octubre	31	0,087213195	2033,3892	177,33837	
Noviembre	30	0,055331555	2214,8172	122,54928	
Diciembre	31	0,041805206	2414,1089	100,922319	
Media mensual	30,4	0,103784511	2014,8975	209,115151	
Total anual	365	0,931638837	24178,77	22525,8812	

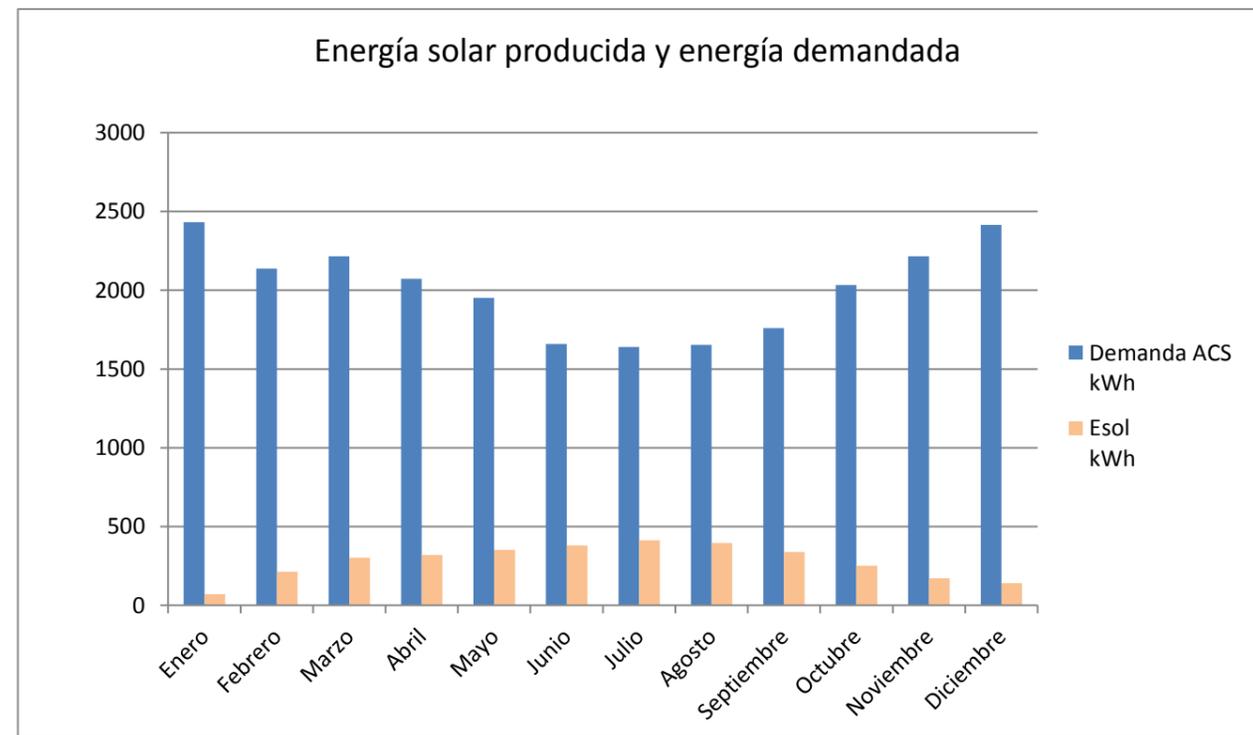


Tabla (6.15): Aplicación Método F-Chart. Cobertura energética anual. Caso 2.

Caso 3. Aplicación del método F-Chart en la instalación solar con 1 captador de tubos de vacío modelo Germanstar HP 70/24.

Mes	Días	FASE 1 DEMANDA DE ENERGÍA	FASE 2 ENERGÍA DISPONIBLE		FASE 3 DIMENSIONADO					DATOS			FASE 4 ENERGÍA ABSORBIDA/ENERGÍA NECESARIA D1				FASE 5 ENERGÍA PERDIDA/ENERGÍA NECESARIA D2			FASE 6 COBERTURA MENSUAL	
		Demanda ACS kWh	E kWh/m2·día	E kWh/m2·mes	A _{cap}	nº captadores	F _{R'} (τα) _N	F _{R'} UL a1	Vacu l	Esol kWh	Ta °C	Tacs °C	Tred °C	[(τα)/(τα) _N]	[F _{R'} /F _R]	F _{R'} (τα)	D ₁	Δt h	K1	K2	D2
Enero	31	2431,41432	1,2723559	39,4430314	2,345	1	0,71	3,87	2500	92,49391	6	3,8	0,96	0,95	0,6475	0,024632	744	0,515	0,8846	0,118915	0,01749444
Febrero	28	2137,50096	4,234654	118,570313						278,0474	5,7	5,3				0,08423	672		0,1997	0,027674	0,08314966
Marzo	31	2215,09632	5,3967242	167,298449						392,3149	9,3	8,8				0,114682	744		0,2645	0,037663	0,11237244
Abril	30	2072,466	5,9054926	177,164779						415,4514	14,1	10,5				0,129803	720		0,2261	0,03153	0,12743908
Mayo	31	1951,18836	6,3003002	195,309307						458,0003	15	14,9				0,151992	744		0,4037	0,061153	0,14684687
Junio	30	1657,9728	7,0230496	210,691489						494,0715	19,3	20,4				0,192959	720		0,5647	0,092488	0,18359108
Julio	31	1639,69044	7,3629154	228,250377						535,2471	21,4	22,1				0,211371	744		0,6012	0,10022	0,20026163
Agosto	31	1652,66952	7,0725985	219,250553						514,1425	21,9	21,8				0,201442	744		0,5754	0,094677	0,19138015
Septiembre	30	1758,456	6,2439529	187,318588						439,2621	19,9	18				0,16175	720		0,4359	0,066811	0,15578752
Octubre	31	2033,3892	4,4768246	138,781563						325,4428	16,7	13				0,103635	744		0,2765	0,039394	0,10147538
Noviembre	30	2214,8172	3,1717013	95,1510398						223,1292	9,8	7,1				0,065234	720		0,1804	0,02472	0,0644831
Diciembre	31	2414,10888	2,5307419	78,4529989						183,9723	4,3	4,2				0,049346	744		0,1864	0,025691	0,04851393
Media mensual	30,42	2014,8975	5,0826093	154,640207	362,6313	13,6	12,5	0,124256	730	0,3999	0,060078	0,1202198									
Total anual	365	24178,77	60,991311	1855,68249	4351,575			1,491077	8760	4,799	0,720936	1,01495704									

Mes	Días	FASE 6 COBERTURA MENSUAL	FASE 7 COBERTURA ANUAL		
		f	Demanda ACS kWh	Energía util kWh	f
Enero	31	0,01749444	2431,4143	42,536228	0,112
Febrero	28	0,08314966	2137,501	177,732474	
Marzo	31	0,11237244	2215,0963	248,915787	
Abril	30	0,12743908	2072,466	264,113155	
Mayo	31	0,14684687	1951,1884	286,525902	
Junio	30	0,18359108	1657,9728	304,389012	
Julio	31	0,20026163	1639,6904	328,367086	
Agosto	31	0,19138015	1652,6695	316,288145	
Septiembre	30	0,15578752	1758,456	273,945505	
Octubre	31	0,10147538	2033,3892	206,33894	
Noviembre	30	0,0644831	2214,8172	142,818283	
Diciembre	31	0,04851393	2414,1089	117,117912	
Media mensual	30,42	0,1202198	2014,8975	242,230582	
Total anual	365	1,01495704	24178,77	24540,4129	

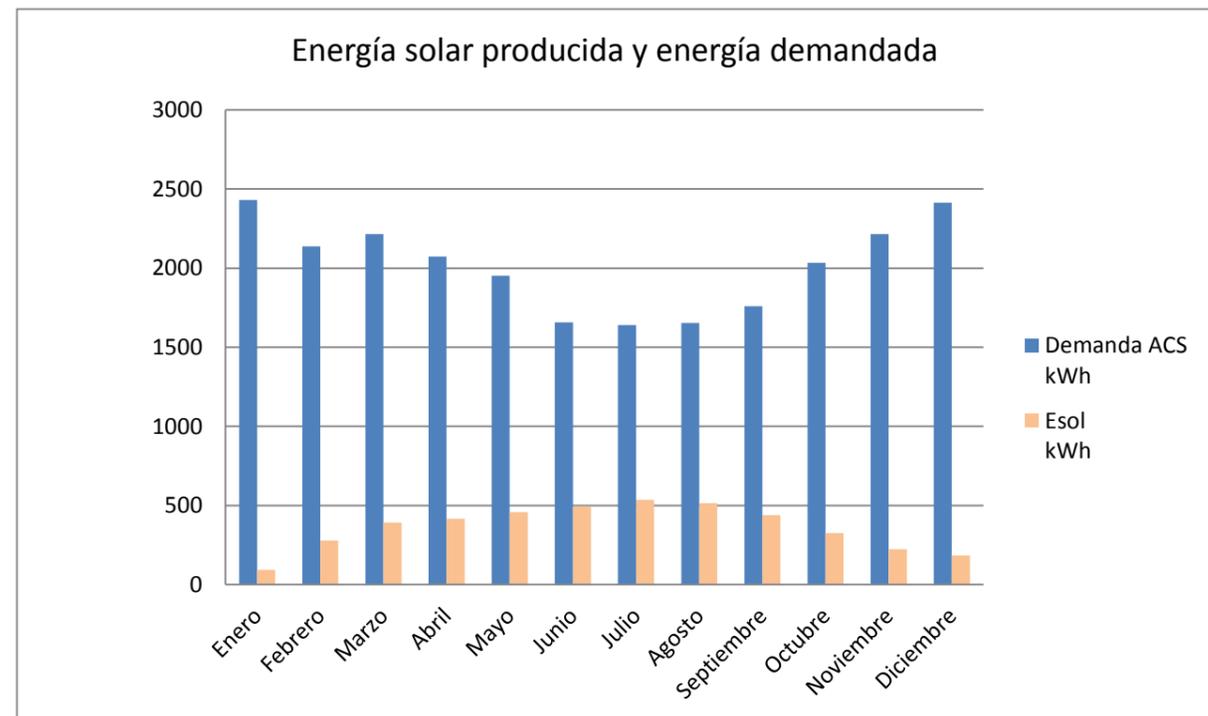


Tabla (6.16): Aplicación Método F-Chart. Cobertura energética anual. Caso 3.

Aplicación del Método F-Chart una vez elegido el tipo de panel solar. Dimensionado de la instalación.

Mes	Días	FASE 1	FASE 2 ENERGÍA DISPONIBLE		FASE 3 DIMENSIONADO					DATOS			FASE 4 ENERGÍA ABSORBIDA/ENERGÍA NECESARIA D1				FASE 5 ENERGÍA PERDIDA/ENERGÍA NECESARIA D2			FASE 6	
		DEMANDA DE ENERGÍA	E kWh/m ² -día	E kWh/m ² -mes	A _{cap}	nº captadores	F _{R'} (τα) _N	F _{R'} UL a1	Vacu l	Esol kWh	Ta °C	Tacs °C	Tred °C	[(τα)/(τα) _N]	[F _{R'} /F _R]	F _{R'} (τα)	D ₁	Δt h	K1	K2	D2
Enero	31	2431,41432	1,2723559	39,4430314	2,345	3	0,71	3,87	2200	277,4817	6	3,8	0,96	0,95	0,6475	0,073897	744	0,6998	0,8846	0,484749	0,04362542
Febrero	28	2137,50096	4,234654	118,570313						834,1421	5,7	5,3				0,252689	672		0,1997	0,112812	0,23741063
Marzo	31	2215,09632	5,3967242	167,298449						1176,945	9,3	8,8				0,344046	744		0,2645	0,153532	0,31596176
Abril	30	2072,466	5,9054926	177,164779						1246,354	14,1	10,5				0,38941	720		0,2261	0,128529	0,35649612
Mayo	31	1951,18836	6,3003002	195,309307						1374,001	15	14,9				0,455975	744		0,4037	0,249285	0,40420615
Junio	30	1657,9728	7,0230496	210,691489						1482,215	19,3	20,4				0,578878	720		0,5647	0,377021	0,49348595
Julio	31	1639,69044	7,3629154	228,250377						1605,741	21,4	22,1				0,634113	744		0,6012	0,408542	0,53321541
Agosto	31	1652,66952	7,0725985	219,250553						1542,428	21,9	21,8				0,604327	744		0,5754	0,385946	0,51230256
Septiembre	30	1758,456	6,2439529	187,318588						1317,786	19,9	18				0,485251	720		0,4359	0,272349	0,42652111
Octubre	31	2033,3892	4,4768246	138,781563						976,3283	16,7	13				0,310906	744		0,2765	0,160587	0,28649401
Noviembre	30	2214,8172	3,1717013	95,1510398						669,3876	9,8	7,1				0,195701	720		0,1804	0,10077	0,18562241
Diciembre	31	2414,10888	2,5307419	78,4529989						551,9168	4,3	4,2				0,148037	744		0,1864	0,104728	0,14024296
Media mensual	30,42	2014,8975	5,0826093	154,640207	1087,894	13,6	12,5	0,372769	730	0,3999	0,244904	0,33483796									
Total anual	365	24178,77	60,991311	1855,68249	13054,73			4,473231	8760	4,799	2,938851	1,44950719									

Mes	Días	FASE 6	FASE 7		COBERTURA PARCIAL			
		COBERTURA MENSUAL	Demanda ACS kWh	Energía util kWh	f	Demanda ACS kWh	Energía util kWh	f
Enero	31	0,04362542	2431,4143	106,07146	0,309	2431,414	106,071	0,256
Febrero	28	0,23741063	2137,501	507,465449		2137,501	507,465	
Marzo	31	0,31596176	2215,0963	699,885725		2215,096	699,886	
Abril	30	0,35649612	2072,466	738,826092		2072,466	738,826	
Mayo	31	0,40420615	1951,1884	788,682342		1951,188	788,682	
Junio	30	0,49348595	1657,9728	818,18628		-	-	
Julio	31	0,53321541	1639,6904	874,308212		-	-	
Agosto	31	0,51230256	1652,6695	846,666826		-	-	
Septiembre	30	0,42652111	1758,456	750,018597		1758,456	750,019	
Octubre	31	0,28649401	2033,3892	582,553824		2033,389	582,554	
Noviembre	30	0,18562241	2214,8172	411,119701		2214,817	411,12	
Diciembre	31	0,14024296	2414,1089	338,561786		2414,109	338,562	
Media mensual	30,42	0,33483796	2014,8975	674,664159				
Total anual	365	1,44950719	24178,77	35047,301	19228,44	4923,18		

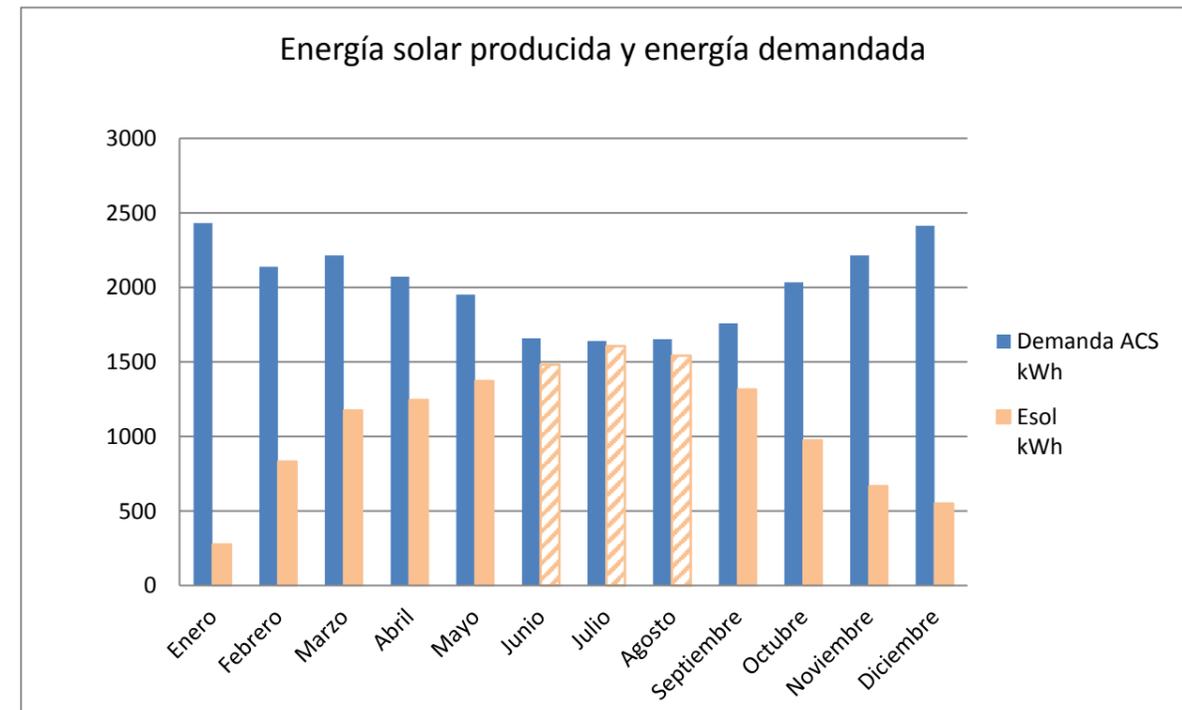


Tabla (6.17): Aplicación del método F-Chart. Dimensionado de la instalación solar y cobertura anual.

6.4 Descripción de la instalación.

Según el Apéndice A de la sección de HE4 del Código técnico de la edificación una instalación solar térmica es un “conjunto de componentes encargados de realizar las funciones de captar la radiación solar incidente mediante captadores solares térmicos, transformarla directamente en energía térmica útil calentando un líquido, transportar la energía térmica captada al sistema de intercambio o de acumulación a través de un circuito hidráulico mediante circulación natural por termosifón o circulación forzada por bomba, transferir la energía térmica captada desde el circuito de captadores al circuito de consumo mediante un intercambiador, almacenar dicha energía térmica de forma eficiente, bien en el mismo líquido de trabajo de los captadores, o bien transferirla a otro, para poder utilizarla después de forma directa en los puntos de consumo, asegurar mediante un sistema de regulación y control el correcto funcionamiento de la instalación para proporcionar la máxima energía solar térmica posible y protegerla frente a sobrecalentamientos, congelaciones, etc. El sistema se complementa con el sistema auxiliar de apoyo”.

A continuación se muestra la instalación solar básica propuesta para la producción de ACS.

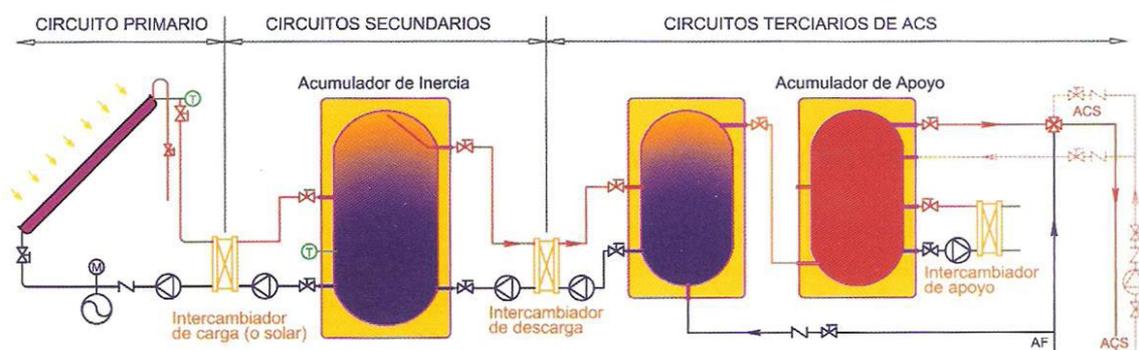


Ilustración (6.8): Esquema de instalación solar básica para la producción de ACS. [15]

La instalación solar térmica se compone de circuitos cerrados separados lo que permite controlar el fluido de cada circuito por separado. Especialmente importante en el caso del fluido del circuito primario que contendrá una fracción de etilenglicol (anticongelante) para evitar daños en la instalación por congelación del agua.

La energía aportada por la radiación solar no siempre coincide en el tiempo con la demanda. Para sincronizar la producción de agua caliente con la demanda se instala un acumulador solar que almacene la energía cuando exista exceso de producción y la ceda cuando haya déficit de producción. Además la instalación contará con un circuito de apoyo para salvar los puntos de demanda que la acumulación solar no pueda abastecer.

A continuación se muestra el esquema elegido para la instalación. Este esquema se ha elegido basándose en todas las pautas mencionadas hasta ahora. La instalación cumple el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios y Cumple el Código técnico de Edificación; además tiene una calificación técnica alta y una calificación energética media-alta.

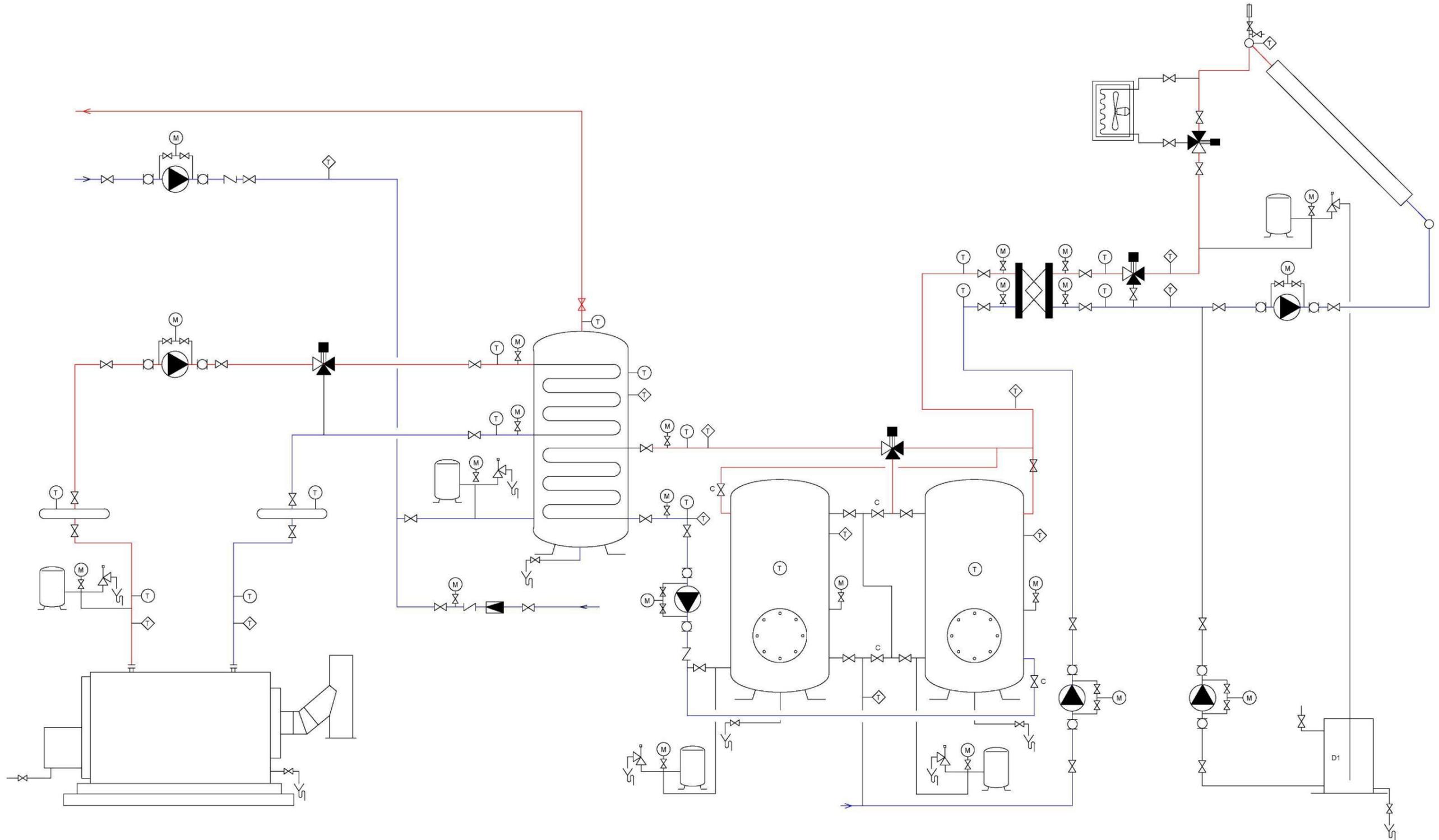


Ilustración (6.9): Esquema general de distribución de ACS con apoyo solar [22]

6.4.1 Circuito primario.

Descripción.

Se trata de un circuito primario solar presurizado⁷. Su diseño permite la utilización de cualquier tipo de fluido caloportador por lo que permitirá usar una mezcla de agua con aditivos; además permite emplear paneles planos o de tubo de vacío.

La instalación consta de un campo de paneles solares, una bomba en el circuito primario solar, sistema de llenado con depósito D1, depósito de expansión con válvula de seguridad de escape conducido al depósito D1 que cuenta con una derivación al desagüe, sonda de temperatura en el colector de salida de paneles solares, sondas de temperatura de ida y retorno a circuito de intercambio térmico con secundario, sonda de presión de agua y sondas de temperatura ambiente exterior y de radiación solar y disipador térmico, franqueado por dos válvulas motorizadas de dos vías. Cuenta con una válvula de tres vías para regular la aportación de energía entre primario y secundario solar. Dependiendo de la presión en el circuito primario solar se podrán superar sin problema los 100°C (siempre que se hayan seleccionado los elementos componentes del circuito y el fluido caloportador para estas presiones y temperaturas).

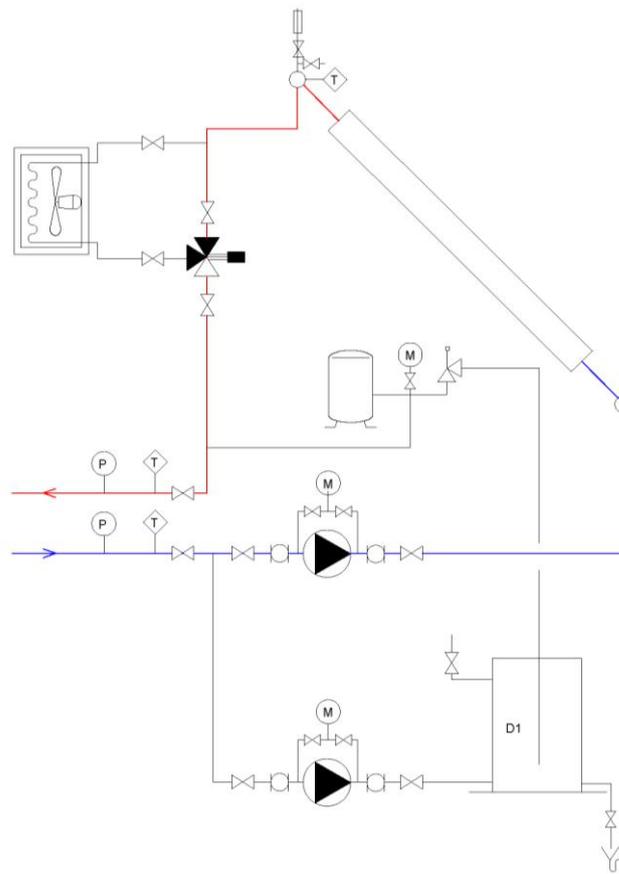


Ilustración (6.10): Esquema hidráulico del circuito primario. [22]

⁷ No se trabaja a presión atmosférica puesto que un circuito solar que trabaje a presión atmosférica tiene el riesgo de que el fluido se evapore; trabajar con un circuito presurizado permite controlar mejor la vaporización del fluido.

Funcionamiento del circuito.

El diseño de este circuito primario es de los más básicos y sencillos, con circulación forzada por bomba. El llenado de la instalación se efectuará con ausencia de sol o con los paneles tapados, para evitar el choque térmico. Si la presión en el circuito leída por la sonda de presión es inferior a la mínima de consigna, se pondrá en marcha la bomba del sistema de llenado (1). Una vez lleno el circuito y si la sonda de radiación solar informa de la existencia de un nivel apropiado, se pondrá en funcionamiento la otra bomba (2), haciendo circular el agua por los paneles, hacia el circuito de intercambio térmico, iniciándose el proceso de calentamiento del circuito primario solar. La bomba (1) permanecerá en marcha para evitar el estancamiento del fluido caloportador en el interior de los paneles, evitándose su evaporación, situación que daría lugar a la parada del proceso de captación de energía solar, hasta que se volviese a condensar el fluido (hasta la noche, normalmente).

El depósito de expansión se dimensionará para absorber el aumento del volumen del fluido por efecto de la temperatura, así como el contenido de la instalación que pueda ser desplazado por evaporación en el interior de los paneles, en caso de evaporación. La sonda de presión dará información del aumento de la presión. De llegarse a la presión fijada como límite para que el sistema de control interprete que se ha producido esta circunstancia, se parará la bomba.

En caso de alcanzarse valores excesivamente bajos de temperatura exterior, se pondría en marcha la bomba (1) para impedir la congelación del fluido contenido en el interior de los paneles (si es que el fluido no contiene anticongelantes, pero en este caso los tiene).

Se coloca un disipador térmico ya que se prevé la posibilidad de alcanzar temperaturas próximas a la de evaporación del fluido primario solar; como se ha visto antes en algunos meses la energía recibida es grande por lo que puede haber riesgo de que la instalación solar se sobrecaliente porque el fluido sobrepase la temperatura máxima. La evaporación del fluido provocaría el estancamiento del sistema de captación solar, hasta que éste se condensase durante la noche, por lo que se perderían muchas horas de energía gratuita y el rendimiento del circuito solar sería muy inferior a lo previsto en proyecto.

Regulación.

La instalación contará con un control de niveles del depósito, interruptor de flujo, funcionamiento de bomba, llenado automático y maniobra de la válvula motorizada de dos vías, control de la temperatura del colector de salida de paneles. Control de las temperaturas de entrada y salida del circuito de intercambio térmico con el secundario solar. Control de puesta en marcha y parada de la bomba de llenado y primario solar. Control de temperatura máxima para protección contra la evaporación. Control de la válvula motorizada de tres vías. Control de funcionamiento del disipador térmico. Control del nivel de radiación solar.

Seguridad.

La instalación cuenta con un vaso de expansión y una válvula de seguridad en el circuito primario solar. Además de un control de riesgo de evaporación en paneles y un control efectivo de vaciado.

6.4.2 Circuito secundario.

Descripción.

En este segundo circuito contamos con un intercambiador de calor primario-secundario solar, una bomba de carga del acumulador solar; una bomba de secundario solar y dos acumuladores solares. Se denomina bomba de carga solar a la encargada de hacer circular el agua del circuito secundario solar entre el acumulador solar y el intercambiador de calor; y se denomina bomba de secundario solar a la encargada de hacer circular el agua del secundario solar desde el acumulador solar, hasta el serpentín del secundario solar. También es conveniente aclarar que en este diseño disponemos de dos circuitos: el primario solar y el secundario solar, que será la parte del circuito hidráulico comprendido entre la parte “izquierda” del intercambiador y el serpentín inferior del depósito interacumulador de ACS. El secundario solar dispone de su propia expansión y válvula de seguridad y llenado. También se dispone de varias sondas de temperatura, así como lo clásicos termómetros, manómetros, filtros... necesarios en la instalación.

Funcionamiento.

Una vez que los paneles solares reciban radiación solar, se pondrá en funcionamiento la bomba del primario solar y cuando en este circuito se alcance la una temperatura superior al secundario se pondrá en funcionamiento la bomba de carga, comenzando el proceso de calentamiento del acumulador solar.

Si puede cubrirse la demanda de ACS con el circuito solar, se evitará la puesta en marcha de la caldera, en caso contrario se apoyará la producción con la caldera, pero sin cesar la aportación solar. Una vez cese la radiación solar sobre los paneles, se procederá a la parada de la bomba de primario solar y a la de carga del acumulador solar, manteniéndose en marcha la de primario solar, hasta que se eleve nuevamente la temperatura en el primario, repitiéndose nuevamente el proceso de carga térmica del acumulador solar. Siempre teniendo en cuenta que el calentamiento solar es prioritario respecto del calentamiento por caldera.

A medida que se alcanza la temperatura de consigna en el secundario solar, el sistema de control irá mandando al cierre de forma progresiva la válvula de tres vías, reduciéndose la aportación desde el primario al secundario. El intercambiador trabajará a temperatura de entrada constante y caudal variable por el primario. Una vez se cierre la válvula de tres vías, la temperatura en el primario solar subirá rápidamente, por lo que será necesario hacer uso del disipador térmico. Cuando la temperatura en el acumulador solar descienda respecto de la de consigna, se procederá de forma inversa, abriendo progresivamente la válvula de tres vías.

En caso de alcanzarse una temperatura exterior con riesgo de congelación, se pondrá en marcha la bomba de primario para tener información precisa de la temperatura del primario

solar y reducir el riesgo de congelación. Si la temperatura del primario solar baja del valor prefijado de seguridad (fijado por el anticongelante), se pondrá en marcha la bomba de carga, transvasándose parte del calor disponible en el acumulador solar, hacia el primario, hasta que la temperatura del agua salga de zona de riesgo. Se mantendrá la vigilancia de este proceso de forma continua. La parada de la bomba de carga y la existencia de una válvula de retención a continuación de ésta, será suficiente para impedir el flujo inverso y la pérdida de calor por termosifón.

Se ha elegido una instalación con dos depósitos acumuladores solares. Los dos acumuladores solares están conectados en serie, de manera que durante el proceso de calentamiento, el agua entrará en el acumulador de la derecha, por su parte superior, circulará en sentido descendente, para salir en dirección hacia el acumulador izquierdo, entrando por su parte superior y circulando nuevamente en sentido descendente, para salir hacia la bomba de carga. Las válvulas simbolizadas en el esquema con una C permanecerán cerradas. Este escenario se corresponde con el proceso de carga térmica de los acumuladores solares, por lo que la bomba M11 permanecerá parada. Como puede comprobarse, la carga térmica se realiza del acumulador derecho, hacia el izquierdo y de arriba hacia abajo, mientras que la descarga se efectúa totalmente al contrario.

La incorporación del by-pass sobre el depósito del acumulador solar permite disponer de forma casi instantánea de la energía solar, aprovechándose para la producción de ACS, sin tener que esperar al calentamiento del acumulador. Esto añade un plus de eficiencia energética al diseño. Cuando la temperatura en el primario solar sea superior a la leída, se pondrá en marcha la bomba de carga, manteniéndose inicialmente la bomba de recirculación del secundario solar parada y la válvula de tres vías en posición de circulación por el acumulador (vía derecha cerrada y vías central e izquierda comunicadas). En esta posición de la válvula de tres vías, el único camino del agua movida por la bomba de carga será la entrada por la parte superior del depósito y la salida por la parte inferior derecha. Con este escenario estaremos calentando el acumulador solar, hasta que la temperatura en P8 sea superior a la del agua contenida en el inter-acumulador de doble serpentín, con aprovechamiento directo de la energía procedente del primario solar. Como es lógico, en el momento en que se produce esta circunstancia, se procede a la puesta en marcha de la bomba de recirculación del secundario solar, a fin de forzar la circulación de agua desde el intercambiador al serpentín y desde éste al intercambiador, pasando previamente por la parte baja del acumulador. Este escenario se mantendrá en lo que continúen las condiciones de temperatura indicadas.

En caso de bajada de la temperatura, se volverá al escenario anterior, salvo que la temperatura en el primario solar baje respecto del límite, en cuyo caso parará la bomba de carga, hasta que se recuperen las temperaturas o hasta el día siguiente (si es que se está haciendo de noche). Queda un último escenario de trabajo posible y, además, muy interesante: en caso disponerse de temperatura en el acumulador solar, llegará un momento en que la temperatura del secundario de ACS baje respecto de la del acumulado, lo que permitirá la puesta en marcha de la bomba de recirculación del secundario solar desde la parte superior del acumulado hacia el serpentín inferior y desde la salida de éste, hasta la parte inferior del acumulador. Este proceso de calentamiento se mantendrá hasta que las condiciones de diferencial de temperatura lo permitan. A partir de ahí parará la bomba de

secundario solar y el sistema permanecerá en reposo hasta el día siguiente en que volvamos a repetir este proceso. Se puede añadir un disipador térmico en caso de riesgo de evaporación del fluido del primario solar.

6.4.3 Circuito tercero.

Descripción.

En tercer lugar una instalación de calentamiento convencional propuesta está dotada de una caldera, una bomba circuladora, válvula motorizada de tres vías, bomba de retorno de ACS y un depósito inter acumulador de ACS, dotado de doble intercambiador interior o doble serpentín.

La caldera es una caldera de rendimiento estándar o baja temperatura, a la que puede acoplarse un quemador gas natural. Se dispone de un único circuito de agua caliente con regulación por válvula de tres vías de acción proporcional y circulación forzada por bomba. La circulación de agua por caldera se mantiene por la propia bomba del circuito primario. En el circuito secundario se dispone de una bomba encargada del retorno de agua caliente y una de recirculación por el propio depósito para evitar zonas de agua templada que permitan la proliferación de la *legionella*. La producción y acumulación de agua caliente se realiza en este caso con un depósito con intercambiador interior.

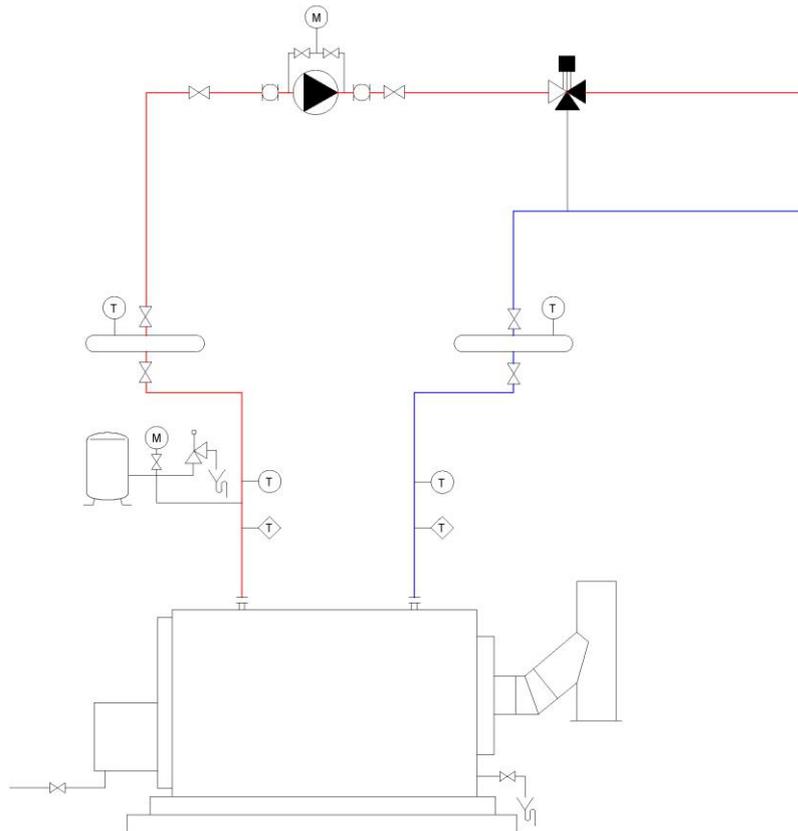


Ilustración (6.11): Esquema hidráulico de sistema de apoyo por caldera.

Funcionamiento.

El agua calentada en la caldera es conducida hacia el colector de impulsión. Desde aquí continúa el circuito primario con la intervención de la bomba de primario que impulsa el agua hacia la válvula motorizada de tres vías. En función de la temperatura del depósito respecto de la temperatura de consigna, modulará el quemador para conseguir la temperatura de primario en consonancia de la demanda. La válvula motorizada será la encargada de realizar el ajuste final, permitiendo el paso de la cantidad de agua caliente necesaria hacia el serpentín, para mantener constante la temperatura deseada en el depósito inter-acumulador.

En cuanto al circuito secundario. Para evitar la posible proliferación de la *legionella*, se instalará una bomba de recirculación en el depósito que moverá el agua desde la parte alta, hacia la parte baja, impidiendo la existencia de zonas a temperatura propicia para el desarrollo de la bacteria.

La bomba de retorno garantiza la circulación de agua por la red general de distribución, con el fin de disminuir el tiempo de espera desde que se abre un grifo, hasta que el agua sale caliente. Se instalará una sonda de control de temperatura. Este tipo de circuitos no ofrece problemas de condensación en caldera ni de inercias térmicas, gracias a la circulación continua por el generador. Por el contrario, el caudal de agua en circulación por la parte del primario del intercambiador es variable y la temperatura de entrada igual a la de caldera.

Tratamiento anti *legionella*: la sonda de temperatura situada en el retorno de ACS dará información al sistema de control para los tratamientos de pasterización anti *legionella*, en este caso se optará por un sistema de desinfección que consiste en elevar la temperatura del circuito para la aniquilación de la bacteria.

Regulación.

El sistema de regulación controlará: los horarios de puesta en marcha y parada de la instalación; el funcionamiento y la modulación del quemador; el funcionamiento de bombas; la regulación de la temperatura de agua caliente en función de la temperatura límite elegida y la presión de llenado de la instalación.

6.4.4 Circuito de consumo.

Por último, el circuito de consumo. Este circuito es el encargado de transportar el agua caliente desde el depósito de acumulación hasta los puntos de consumo. Es un circuito abierto; sin embargo, hay una recirculación continua del agua caliente gracias a una tubería de retorno. Esta recirculación del agua se realizará con la ayuda de un circulador de retorno y acabará llevando el agua caliente de la instalación de nuevo hasta el inicio del circuito; hasta el depósito de acumulación.

6.5 Condiciones de funcionamiento.

6.5.1 Temperatura.

Al establecer las temperaturas de funcionamiento de la instalación es necesario hablar de las temperaturas de funcionamiento normal, las temperaturas máximas y las temperaturas mínimas de la instalación.

Las temperaturas de trabajo en funcionamiento normal son las que se producen cuando la instalación sigue las estrategias de funcionamiento para las que se diseñaron (aunque hay diferencias entre las condiciones de diseño y las condiciones reales de funcionamiento puesto que los valores de diseño son valores de temperatura muy estabilizados y que ofrecen las máximas prestaciones).

Las temperaturas máximas de una instalación solar varían según el circuito considerado; las máximas de una instalación solar siempre se producen a través del captador y se suelen alcanzar en periodos de bajo consumo de agua caliente y elevada radiación solar (por ello se han tomado las medidas correspondientes como la instalación de un ventilador).

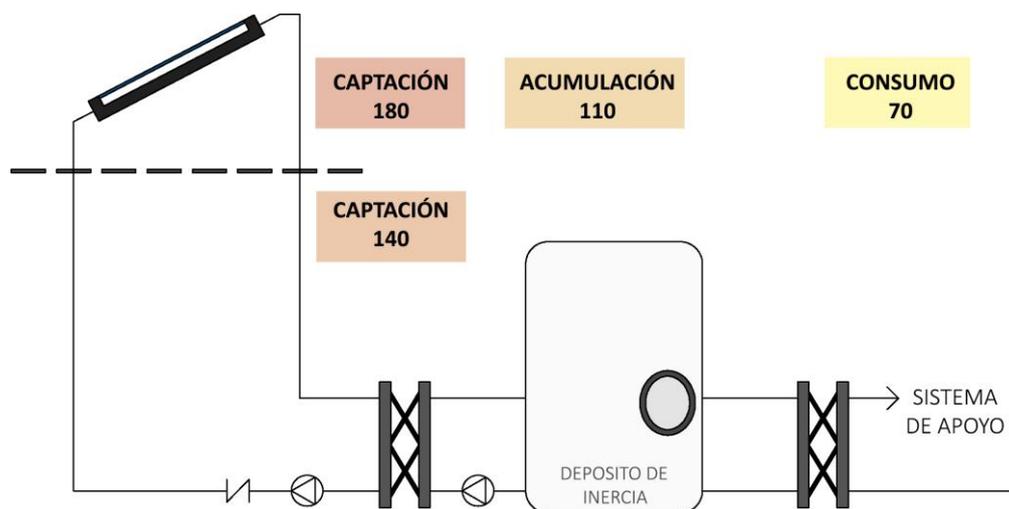


Ilustración (6.12): Temperaturas máximas de instalación solar.

Las temperaturas mínimas de trabajo dependen de que la temperatura ambiente sobre los elementos expuestos al exterior (los captadores) sea reducida. Por el efecto de enfriamiento que experimenta el captador solar por las noches, sobre todo en noches claras, el captador puede alcanzar temperaturas inferiores a las mínimas del ambiente. Por ello, se toma como temperatura mínima de diseño un valor inferior a la temperatura ambiente mínima histórica alcanzada en Valladolid; en este caso el registro es de $-11,5^{\circ}\text{C}$ tomados en el observatorio el 14 de febrero de 1983. Este valor es muy bajo, sin embargo, como el fluido del circuito solar es una mezcla de agua y un 30% de etilenglicol, la temperatura mínima de que permite la instalación es la que permite el fluido y son -18°C .

6.5.2 Presión.

Todos los componentes y materiales de la instalación deben soportar además de las temperaturas máximas las presiones de trabajo que puedan alcanzarse, sin medidas especiales para que la instalación vuelva a la situación original.

Es importante controlar la vaporización del fluido que puede tener lugar en los captadores sometidos a valores altos de irradiancia durante periodos de estancamiento. Para evitar este problema se dimensiona adecuadamente el sistema de expansión y se trabaja con un circuito solar presurizado. Variando las presiones en un rango de entre 1,5 y 5 kg/cm².

6.6 Seguridad

Una instalación tiene que ser segura para garantizar la seguridad de las personas que dependen de ella.

El Real Decreto 140/2007 establece las medidas sanitarias y de control necesarias para la protección de la salud de los consumidores adaptándose a cada abastecimiento. [35]

Según el Real Decreto citado, el agua de consumo humano es limpia y saludable cuando no contenga ningún tipo de microorganismo, parásito o sustancia en la cantidad o concentración que pueda suponer un riesgo para la salud humana.

Un microorganismo frecuente que puede aparecer en las instalaciones de agua caliente es la *Legionella*. La legionela es un género de bacteria del que se han identificado numerosas especies, entre ellas destaca la *Legionella pneumophila* por ser la causante de la mayoría de las infecciones por esta bacteria. Ésta bacteria habita en ambientes acuáticos naturales, pero representa un riesgo para la salud humana cuando se coloniza en las redes de distribución de agua potable donde encuentra temperaturas idóneas para su multiplicación, entre 25 y 45°C. A partir de estas instalaciones la bacteria puede infectar a las personas si el agua es pulverizada en forma de aerosoles, de manera que la bacteria pueda ser transportada por el aire en pequeñas gotas e inhalada por las personas.

Para prevenir la aparición de la bacteria es necesario realizar un mantenimiento adecuado de la instalación para que no se favorezca el estancamiento del agua y el desarrollo de la misma. Para ello se toman las siguientes medidas: se mantiene la temperatura del agua en todo el circuito a una temperatura superior a los 50°C y periódicamente se elevará esa temperatura de forma temporal a 70°C.

El mantenimiento y limpieza de las instalaciones es un proceso diario; para mantener la instalación en perfectas condiciones se procederá a una revisión y limpieza de los depósitos acumuladores cada tres meses, se purgarán las válvulas de las tuberías mensualmente y se abrirán los grifos de los aparatos sanitarios que no se hayan utilizado para evitar el estancamiento del agua.

Además, antes de la puesta en funcionamiento de la instalación se realizará un lavado y/o desinfección de las tuberías. También se realizarán labores de lavado y/o desinfección después de actividades de mantenimiento que supongan un riesgo de contaminación del agua de consumo humano.

Y se dispondrán mecanismos adecuados que permitan el cierre de la instalación por sectores con objeto de poder aislar áreas ante situaciones anómalas y de sistemas que permiten las purgas por sectores para proteger a la población de posibles riesgos para la salud.

6.6 Componentes

La instalación de producción de agua caliente sanitaria con suministro de energía solar térmica está formada por un conjunto de sistemas que son: un sistema de captación, un sistema de acumulación, un circuito hidráulico, un sistema de intercambio, un sistema de regulación y control y un equipo de energía convencional adicional. En este apartado se desarrollarán los distintos sistemas y se definirá cada uno de sus componentes

6.6.1 Sistema de captación.

El sistema de captación está formado por los captadores solares de calentamiento de fluido, encargados de transformar la radiación solar incidente en energía térmica de forma que se calienta el fluido de trabajo que circula por ellos.

Líquido caloportador.

El fluido caloportador debe cumplir las siguientes premisas:

- Debe ser resistente a la temperatura de trabajo.
- Debe proteger contra heladas.
- Debe evitar la corrosión, en el caso de que en el circuito primario se utilicen materiales mixtos o propensos a la corrosión.
- Debe poseer un calor específico elevado; así como una buena conductividad térmica.
- No debe ser tóxico ni contaminar el medio ambiente.

A partir de las pautas citadas en la instalación del sistema solar se propone que circule una mezcla de agua con una proporción de etilenglicol que proteja a la instalación de las heladas.

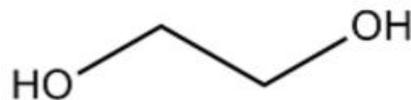


Ilustración (6.13): Estructura molecular etilenglicol

El etilenglicol es un líquido transparente, incoloro, con sabor dulce y relativamente volátil. Es soluble en agua, alcohol y acetona. Pero, como ya se ha citado, la característica que más interesa en este caso es que rebaja el punto de congelación del agua. Para determinar la proporción de etilenglicol de la instalación se recurre al CTE; según el 3.2.2.2 del DB HE4 el calor específico del fluido no será inferior a $3\text{kJ}/(\text{kgK})$ ($0.82\text{ Wh}/(\text{KgK})$) a temperaturas 5°C por debajo de la mínima histórica registrada en la localidad. Lo que implica que la proporción tiene que garantizar una temperatura de congelación inferior a la mínima histórica de Valladolid ($-11,5^\circ\text{C}$ medidos en el observatorio de Parquesol el 14 de febrero de 1983). La mezcla de agua con una proporción del 30% hace que la temperatura de congelación del agua descienda hasta -18°C .

En este caso se ha elegido el producto suministrado por la empresa ARBISA S.L en garrafas de entre 5 y 35l. En la ficha de seguridad del producto se describen sus peligros, componentes, medidas contra incendios o en caso de liberación, pautas para su manipulación y almacenamiento, controles y propiedades físicas y químicas a tener en cuenta a la hora de adquirirlo. Algunas de estas características se muestran en el anejo1.

Colector solar.

El colector solar elegido es un plano protegido SPF modelo SolexBlux cuyas características se desarrollan en el anejo 1.

Las placas solares se colocarán en la zona sur de la cubierta del edificio docente y el sistema de montaje empleado es el explicado en el apartado 5.4.4 de este documento, CompactVario con Sol Rack de Schletter.

Los captadores se instalarán de tal forma que las condiciones de funcionamiento sean similares en cada uno de ellos. Una distribución uniforme de caudales en todos los captadores permite obtener saltos de temperatura homogéneos que proporcionen rendimientos parecidos en cada captador y que por lo tanto ofrezcan un mejor rendimiento global.

Los captadores se instalarán sobre una estructura común y se agruparán en baterías de tal forma que las conexiones entre ellos permitan que el conjunto se comporte como un único captador de mayor tamaño. La agrupación se realizará en paralelo pudiendo realizarse las conexiones con colectores distribuidores exteriores o con colectores distribuidores interiores integrados en los propios captadores.

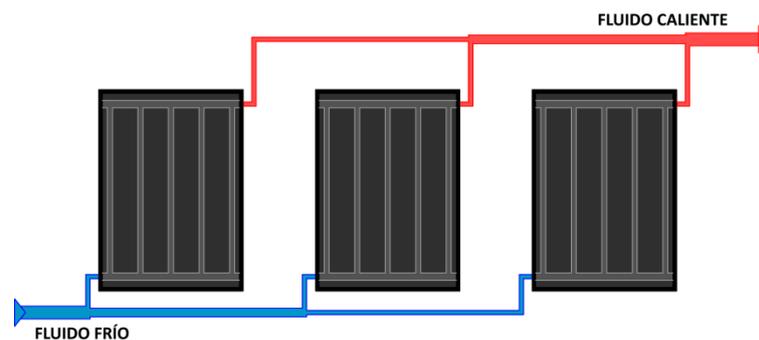


Ilustración (6.14): Conexión de colectores solares en paralelo.

A su vez, estas baterías de captadores solares se pueden conectar entre sí en serie o en paralelo, siempre que todas las baterías tengan la misma forma de agrupación de sus captadores. En este caso las baterías se agruparán en paralelo de manera que la pérdida de carga total sea menor [13].

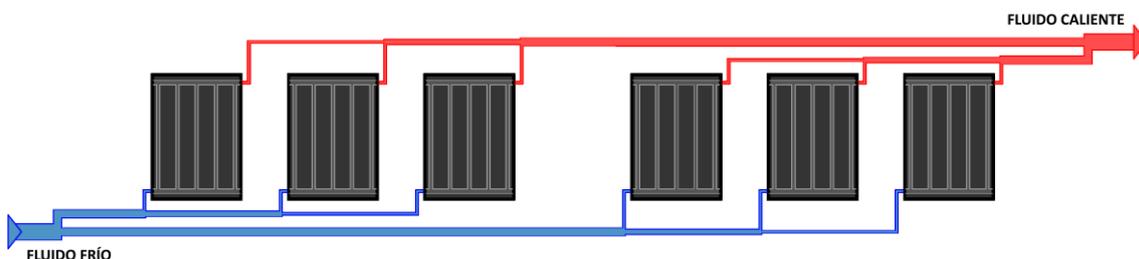


Ilustración (6.15): Conexión de baterías de colectores en paralelo.

6.6.2 Sistema de acumulación.

El sistema de acumulación está constituido por uno o varios depósitos que almacenan el agua caliente hasta que se precisa su uso. Como ya se ha comentado anteriormente, este depósito acumulador permite almacenar la energía obtenida del sistema de captación en forma de calor sensible para utilizarla cuando sea necesaria.

Líquido de trabajo

Cada material tiene distinta capacidad para almacenar energía al aumentar su temperatura gracias al calor sensible. En el caso de los materiales sólidos, el material suele disponerse formando un apilamiento ordenado o un lecho poroso, y la carga o descarga de energía se lleva a cabo haciendo circular un gas o un líquido a través de los canales de paso de la estructura porosa.

La elección del material depende de las temperaturas de trabajo. En esta instalación se va a trabajar con temperaturas inferiores a 100°C por lo que el agua es el líquido que mejor se adapta a las necesidades de almacenamiento con un calor específico de 4180J/kg K. Los aceites también podrían ser apropiados en cuanto al rango de temperaturas de trabajo; sin embargo, su calor específico es bastante inferior al del agua.

El agua como material de acumulación tiene muchas ventajas como son:

- Material barato, abundante, químicamente estable y no tóxico.
- Alta densidad energética; es decir, para el mismo salto de temperatura, el agua puede almacenar mucha más energía por unidad de volumen.
- Tiene buenas conductividad térmica y viscosidad.
- Puede actuar simultáneamente como fluido de trabajo y como medio de almacenamiento.

Sin embargo, cuenta con algunos inconvenientes:

- Su temperatura está limitada a 100°C en circuitos no presurizados ya que entra en ebullición a dicha temperatura. La solución es presurizar el circuito pero implica un aumento de los costes de la instalación.
- La estratificación térmica se destruye con facilidad a consecuencia de los movimientos naturales y forzados del agua.
- Es un medio muy corrosivo.
- Tiene expansión volumétrica al congelarse pudiendo producir daños mecánicos.

Acumulador

La utilidad de la energía térmica depende de la temperatura del fluido de trabajo. La función del acumulador es la de preservar la calidad térmica de la energía almacenada en el agua de tal manera que pueda extraerse a la misma temperatura que se almacenó. Para garantizar este proceso es de vital importancia la estratificación térmica del agua.

La estratificación térmica de un volumen de agua consiste en la formación de estratos horizontales a diferentes temperaturas, de tal manera que la temperatura de cualquier estrato

sea siempre mayor que la del estrato inmediatamente inferior. Esta estratificación térmica del agua la encontramos en la propia naturaleza como por ejemplo en el agua de los lagos donde se forman estratos de agua a distintas temperaturas debido a la variación de la densidad con la temperatura.

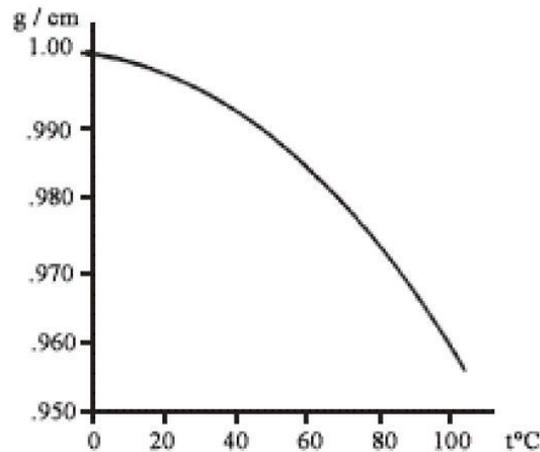


Tabla (6.18): Variación de la densidad del agua con la temperatura

En el gráfico superior se muestra la variación de la densidad del agua con la temperatura entre 0°C y 100°C (el rango característico para las aplicaciones de ACS) para la presión atmosférica. En el gráfico se observa que la densidad desciende a medida que aumenta la temperatura del agua aunque con una excepción que no se aprecia en el gráfico; la densidad del agua aumenta entre 0°C y 4,3°C alcanzando la máxima densidad a los 4,3°C. En el rango de temperatura que abarca el ACS, el agua a mayor temperatura tiene menor densidad por lo que tiene a ascender y el agua de menor temperatura a descender. Este comportamiento origina la estratificación distribuyéndose el fluido dentro del acumulador según estratos térmicos de mayor a menor temperatura en sentido descendente.

Aplicando el proceso de estratificación al sistema solar en conjunto se mejoran las prestaciones de la instalación ya que: la temperatura de entrada a los captadores será la menor posible y aumentará el rendimiento del sistema de captación y la temperatura de agua para consumo será la mayor posible.

El acumulador será alargado, que tienda a la verticalidad y esbeltez ya que cuanto mayor sea la altura del acumulador mayor será la diferencia de temperatura entre la parte superior y la inferior. La entrada de agua fría se realizará por la parte baja del acumulador y la salida del agua caliente por la parte más alta donde la temperatura sea máxima para no romper la estratificación. Además, hay que tener en cuenta que para mantener la estratificación la entrada de agua fría se haga lentamente.

El sistema de acumulación solar se debe dimensionar en función de la energía que aporta a lo largo del día; por lo tanto no se debe prever una acumulación acorde con la demanda al no ser esta simultánea con la generación. El volumen total de acumulación viene dado por el cumplimiento de la siguiente condición del Código Técnico de Edificación:

$$50 < V/A < 180$$

Ecuación (6.12): Volumen de acumulación solar.

Dónde:

A área total de captación en m²

V volumen de acumulación solar en litros.

El área de captación total es de 23,45 m² (3 captadores de 2,345m² cada uno), por lo tanto:

$$50 < V / 7,035 \Rightarrow V > 351,75$$

$$180 > V / 7,035 \Rightarrow V < 1266,3$$

Se toma un volumen de acumulación de **1.000 litros**.

Se estudian varios catálogos de acumuladores solares y se elige un acumulador solar de 1.000 litros AS 1000 Baxi. (Ver ficha en anexo 1)

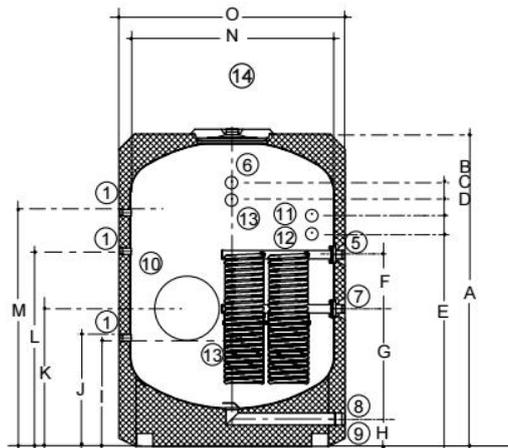


Ilustración (6.16): Acumulador solar Baxi AS-1000 [26]

El acumulador está fabricado en acero esmaltado; cuenta con un serpentín desmontable de acero inoxidable y está aislado térmicamente con espuma rígida de poliuretano inyectado.

Para calcular las pérdidas de calor y el aislamiento de un acumulador se usa el programa AISLAM que se puede descargar en la página del Ministerio de Industria, Energía y Turismo [25].

Se realizan los cálculos para el acumulador elegido y se introducen los datos en el programa. La temperatura interior del acumulador es de 60°C con un coeficiente de convección interior despreciable.

Placas planas Tuberías Esferas **Especiales**

Referencia Sin especificar

Calcular:
 Flujo de calor
 Conductos aire Depósito vertical Depósito horizontal

Interior

Ti 60 °C

Coef. convección:
 Imponer
 Despreciar

Diametro interior 1500 mm

Nº capas	Nombre	Espesor (mm)	Conductividad (W/m°C)	Resistencia térmica (m ² °C/W)	Distribución Temperatura Para la sup. lateral °C
1	Aislante Interior			0,000	
	Poliuretano II	80	0,024	0,672	60,00 15,00

Exterior

Te 15 °C

Coef. convección:
 Imponer
 Despreciar
 Calcular (aire)

Atención. Se ha considerado:
Mismo flujo de calor por m² en todo el depósito
Flujo de calor 185,13 W

Placas planas Tuberías Esferas **Especiales**

Referencia Sin especificar

Calcular:
 Flujo de calor
 Conductos aire Depósito vertical Depósito horizontal

Interior

Ti 60 °C

Coef. convección:
 Imponer
 Despreciar

Diametro interior 1500 mm

Exterior

Te 15 °C

Coef. convección:
 Imponer
 Despreciar
 Calcular (aire)

Atención. Se ha considerado:
Mismo flujo de calor por m² en todo el depósito
Flujo de calor 185,13 W

Temperatura en la pared lateral del depósito

El aislamiento colocado es de poliuretano tipo II proyectado de 80mm de espesor con una conductividad de 0,024W/m°C. Se ha elegido este tipo de aislamiento por su baja conductividad térmica.

La temperatura exterior al acumulador se toma como referencia de 15°C. El acumulador se localiza en la sala de instalaciones donde la temperatura es superior a la temperatura ambiente exterior y que además tiene otras máquinas como las bombas o la caldera de calefacción que a su vez producen calor.

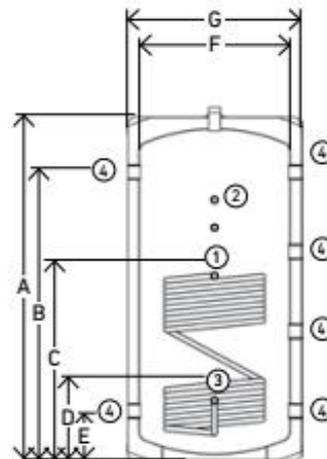
Así se obtiene una pérdida de calor al ambiente de 185,13W.

Si el acumulador funcionara durante un año completo; las pérdidas anuales ascenderían a 1.621,74 kWh/año.

Depósitos de inercia

Son acumuladores especialmente diseñados para su uso en instalaciones solares térmicas, como depósito de inercia.

La instalación propuesta está formada por dos depósitos de inercia, las ventajas que ofrece esta duplicidad es que se favorece la estratificación térmica del agua en su interior. A pesar de que es recomendable que se coloque todo el volumen de acumulación en un único acumulador; si los dos depósitos se configuran en serie, éstos funcionan como un único acumulador de volumen igual al total de los dos.



ASA 800-1, 1000-1 y 1500-1

Ilustración (6.17): Depósito de inercia Baxi [26]

Los depósitos de inercia están fabricados en acero al carbono que no permiten el almacenamiento de agua caliente sanitaria; por ello se encuentran en un circuito cerrado y el agua de su interior no se destinará al consumo humano.

6.6.3 Sistema de distribución hidráulico.

Un circuito hidráulico constituido por tuberías, circuladores, bombas, válvulas, et., que se encarga de establecer el movimiento del fluido caliente hasta el sistema de acumulación.

Principio de circulación.

Existen dos tipos de circulación del fluido, una es la circulación forzada y otra es la circulación natural.

En el caso de la circulación forzada el movimiento del fluido se realiza con el empuje de una bomba lo que implica que haya un consumo eléctrico adicional. Este tipo de circulación es obligatorio cuando únicamente haya un circuito primario con una superficie de captación mayor que 10m².

En el otro caso, la circulación natural, el fluido se desplaza por termosifón. Se utilizan las variaciones de densidad del fluido según la temperatura a la que esté para la circulación entre el captador y el acumulador o el captador y el intercambiador. En este caso hay que tener en cuenta el diseño y la colocación de los elementos para favorecer esa circulación; por ejemplo, el acumulador no debería estar situado más bajo que el captador.

En este caso, dada la dimensión del edificio y la distancia entre la cubierta (donde se encontrarían las placas solares) y el sótano (donde estaría la caldera y los acumuladores) se propone una circulación forzada con la ayuda de circuladores y bombas eléctricas.

Tuberías

Cada sistema que forma la instalación general se caracteriza por trabajar a determinadas temperaturas y de determinada forma; por ello las tuberías de cada uno de ellos se estudiarán de forma independiente en función de los requisitos que tiene que garantizar.

- Sistema solar.

En el caso del sistema solar lo que va a caracterizar a las tuberías del circuito es el líquido que circula en su interior. Según las indicaciones de la empresa suministradora hay que mantenerlo alejado de agentes oxidantes y materiales fuertemente alcalinos o ácidos con el fin de evitar reacciones exotérmicas.

Se propone la instalación solar de cobre, porque además de las pautas anteriores, es un material que cumple las exigencias del Código Técnico de Edificación de *optimizar el ahorro energético global de la instalación y garantizar su durabilidad, calidad y seguridad*.

El cálculo del diámetro de la tubería se realiza aplicando la ecuación 6.1: Ecuación de continuidad. Tomando como referencia los datos obtenidos en la aplicación del método F-Chart y como velocidad de circulación del fluido la inferior a 3m/s por discurrir por un local no habitado según el Pliego de Condiciones Técnicas de Baja Temperatura publicado por el Instituto para la Diversificación y ahorro de la Energía, IDEA [27]. El resultado de este cálculo es de tuberías de cobre con una sección de 1,16cm² y un diámetro interior de 1,2cm. A partir del dimensionado se puede calcular el aislamiento necesario para las tuberías.

Para calcular las pérdidas de calor y el aislamiento de las tuberías se recurre de nuevo al programa AISLAM [25].

The screenshot shows the AISLAM software interface for pipe insulation calculation. The 'Calculación' window is active, showing the following settings and results:

- Calculación:** Flujo de calor (selected), Espesor aislamiento (selected).
- Al aire vertical:** Al aire horizontal (selected), Enterrada sin caja (selected), Enterrada con caja (selected).
- Interior:**
 - Ti: 100 °C
 - Coef. convección: Despreciar (selected)
 - Diametro interior: 12 mm
- Exterior:**
 - Te: 10 °C
 - Coef. convección: Despreciar (selected)
- Table of insulation layers:**

Nº capas	Nombre	Espesor (mm)	Conductividad (W/m°C)	Resistencia térmica (m°C/W)	Distribución Temperatura (°C)
1	Interior			0,000	
	Poliuretano II	8,90	0,024	6,032	100,00 9,52
	Exterior			0,000	
- Summary (bottom bar):**
 - Esp. aislamiento 8,90 mmm
 - Resistencia térmica lineal 6,000 m°C/W
 - Densidad lineal flujo de calor 15,00 W/m

El resultado del cálculo es un aislamiento de poliuretano tipo II con un espesor de 8,9mm; para adaptarnos a los valores comerciales el aislamiento será de coquillas de poliuretano de ½" (12,7mm) de la empresa Poliuretanos [28] cuyas características se desarrollan en el anejo 1.

- Instalación de consumo.

Las tuberías del sistema de consumo son de polietileno reticulado y sus dimensiones se calcularon en el apartado 6.2 del presente documento. Se eligió este material por su resistencia tanto a las bajas como a las altas temperaturas, su flexibilidad, y su resistencia a la abrasión, el impacto y el desgaste. Se eligen las tuberías de Polietileno Reticulado PIPEX por su calidad y durabilidad, pero sobre todo por su resistencia a las altas presiones y temperaturas ya que la instalación alcanzará temperaturas altas en labores de desinfección y prevención de la legionela. Parte de las características se muestran en el anejo 1 y el resto junto con los diámetros disponibles y los certificados se encuentran en el catálogo del producto [29].

En este caso el programa AISLAM no nos sirve para calcular las pérdidas de calor y el aislamiento de las tuberías porque no permite introducir el polietileno como material para las tuberías.

El aislamiento para las tuberías de polietileno reticular se calcula a partir de las tablas del método de cálculo simplificado que expresa el DTIE 12.02 [30] y cuyos resultados se muestran a continuación:

- En el caso de tuberías con fluido caliente que discurren por exterior; para un diámetro de tubería máximo de 72mm ($60 < D < 90$) el recubrimiento aislante correspondiente es de 50mm.

- En el caso de tuberías con fluido caliente que discurren por el interior; para un diámetro de tubería máximo de 72mm ($60 < D < 90$) el espesor del aislamiento de dichas tuberías es de 40mm.

Tubería de retorno

Según el DB HS4 del Código Técnico de la Edificación hay que colocar un circuito de recirculación cuando el punto de consumo más alejado esté a una distancia superior a 15m. Como en este caso el punto de consumo más alejado está a una distancia superior a 15m se coloca un circuito de recirculación.

La mayor ventaja del circuito de recirculación es que da mayor confort; en cambio tiene inconvenientes como que afecta a la estratificación en los depósitos de acumulación.

Según la normativa hay que limitar el horario de funcionamiento de las bombas de recirculación a los periodos de consumo; es decir aplicado a nuestro edificio, hay que limitar el funcionamiento de las bombas del circuito de recirculación al horario de apertura de la escuela.

La tubería de retorno evita tener que conectar el circuito de recirculación a la entrada de agua fría y que la bomba de recirculación trabaje con pérdidas de carga muy variables. La tubería de retorno se conecta a una válvula de tres vías que permite llevar el agua al depósito de acumulación o al sistema de distribución de manera que la pérdida de carga no dependa del consumo y el comportamiento de la instalación sea más homogéneo. Si se conectase únicamente al depósito, al no haber consumo por la entrada de agua fría no habría aportación de agua, extrayéndose únicamente agua del depósito de acumulación con agua a alta temperatura. La conexión de recirculación al depósito y a la tercera vía consigue que en los momentos de bajo consumo, sólo circule el caudal estrictamente necesario para compensar las pérdidas de calor, facilitando la estratificación del agua. [31]

La dimensión de la tubería de retorno se dimensiona para que un 10% de la demanda de agua caliente esté continuamente circulando por el circuito. Como el caudal de emisión de la instalación es de 5,88 l/s; la tubería de retorno dimensionada para un caudal de 10% de 5,88l/s (0,588 l/s) tendrá un diámetro interior de 26,2mm (diámetro nominal de 32mm) y se conectará a la instalación antes de la derivación E (según el esquema 3D de la ilustración 6.4) puesto que a partir de ahí el diámetro nominal de la tubería es menor que 32mm.

Vasos de expansión

El vaso de expansión permite absorber los cambios del volumen del fluido de trabajo ocasionados por la dilatación térmica del mismo de tal forma que cuando el fluido se calienta y aumenta su volumen, parte del mismo se introduce en el vaso de expansión, y cuando el sistema se enfría, regresa al circuito.

El vaso de expansión se elige cerrado para que el fluido no esté en contacto con el aire y no haya posibilidad de que el oxígeno presente en el aire dañe la instalación. Además el vaso de expansión contará con una membrana sensible que separará la zona del fluido en la zona superior con la parte de aire o gas que se comprimirá en el caso de que el vaso reciba agua del

circuito. Este vaso cuenta con un manómetro para que el vaso se llene hasta un determinado nivel, vaciándose parte del fluido al saneamiento en caso de que la presión supere el valor máximo establecido para garantizar su correcto funcionamiento.

Los vasos de expansión elegidos son vasos de expansión con membrana recambiable suministrados por Salvador Escoda S.A. El propio catálogo técnico muestra las fórmulas para dimensionar cada vaso de expansión.

Para dimensionar el vaso de expansión, se tendrá en cuenta que la temperatura mínima ambiental para Valladolid es de 4,3°C en el mes de Diciembre, y la temperatura máxima se corresponde con la temperatura de estancamiento del colector seleccionado, 192°C según el catálogo del fabricante. Así, el volumen del fluido de la instalación corresponde al que circula tanto por las tuberías como por el colector y se calcula de la siguiente manera:

$$V = V_{tuberías} + V_{colectores} = \frac{\pi \cdot r_{int}^2}{2} \cdot L + V_{colector}$$

Ecuación (6.13): Volumen del fluido de la instalación solar

Una vez obtenido el volumen del fluido, éste se multiplica por la densidad del fluido ($\rho = 1,01 \cdot 10^3 \text{ Kg/m}^3$) para obtener su peso. Posteriormente se multiplicará por el volumen específico a la temperatura de estancamiento del colector proporcionada por el fabricante y por el volumen específico a la temperatura ambiente mínima para poder hallar la diferencia de ambos volúmenes ($0,09\text{m}^3$).

$$V_{vaso} = 100 \text{ l}$$

El vaso de expansión se colocará en el lado de aspiración de la bomba; si estuviera después de la bomba en el sentido de circulación del fluido recibiría la presión que ejerce la bomba.

Se instala un vaso de expansión de 100l proporcionado por el fabricante SLAVADOR ESCODA cuyas características se muestran en el anejo 1. [34]

Bombas de circulación.

La bomba de circulación tiene la misión de compensar la pérdida de presión del circuito dando el impulso necesario para producir la circulación del fluido de la instalación. En el caso del sistema solar se utilizan bombas de tipo centrífugo o circuladores y en el caso del circuito del sistema de apoyo bombas eléctricas.

El acometido de los circuladores del sistema solar o bombas centrífugas es vencer la resistencia que opone el fluido a su paso por la tubería y mantener la presión deseada en cada punto de la instalación; sin considerarse la presión hidrostática porque la columna de agua ejerce una fuerza tanto en sentido de impulsión como en el de aspiración anulándose así sus efectos.

Para ello, se toma una bomba Wilo - Yonos ECO BMS cuyas características se muestran en el anejo 1.



Ilustración (6.18): Bomba de circulación.

Purgadores

Los purgadores son sistemas necesarios para eliminar el aire que pueda contener la instalación. Es necesario eliminar este aire puesto que puede concentrarse formando bolsas que dificultan la circulación del fluido. Los purgadores pueden ser de dos tipos:

- De accionamiento manual, en los que se acumula el aire pero no sale hasta que se afloja la válvula existente.
- De accionamiento automático, que dejan salir el aire cuando se acumula una cierta cantidad.

En este caso y cumpliendo la exigencia que establece el CTE en este aspecto se establecen las siguientes características para la instalación: Los purgadores se localizarán en los puntos altos de la salida de baterías de captadores y en todos aquellos puntos de la instalación donde pueda quedar aire acumulado; se colocarán sistemas de purga constituidos por botellines de desaireación y purgadores manuales. Se eligen purgadores manuales porque en el edificio existe un encargado de mantenimiento que garantizaría la purga periódica de la instalación y porque no es aconsejable instalar purgadores automáticos en el caso de que se pueda formar vapor de agua en el circuito primario.

Para esta instalación se han elegido los purgadores manuales Francisco Navarro Perez S.L.



Ilustración (6.19): Purgador de aire manual.

Válvulas

Las válvulas son instrumentos mecánicos que permiten iniciar, detener o regular la circulación de líquidos o gases mediante una pieza movable que abre, cierra u obstruye parcial o totalmente uno o más orificios de la misma.

Estas válvulas deben resistir las condiciones de máxima temperatura y presión para las que se haya dimensionado la instalación; además de ser compatibles con la mezcla de agua y anticongelante en el caso del circuito solar.

Unos tipos de válvulas que cobran vital importancia en esta instalación son: la válvula antirretorno, que impide que el agua circule en el sentido contrario al de diseño; y las válvulas de tres vías. Para esta instalación se proponen las válvulas Genebre [33]



Ilustración (6.20): Válvula de tres vías

6.6.4 Sistema de intercambio.

El sistema de intercambio realiza la transferencia de energía térmica captada desde el circuito de captadores o circuito primario, al agua caliente que se consume. Esta transferencia de energía térmica se realiza a través de intercambiadores de calor.

Intercambiador de calor

Un intercambiador de calor es un sistema encargado de transferir la energía térmica entre fluidos separados entre sí. En las instalaciones solares térmicas es el componente que transfiere el calor del fluido caloportador del circuito primario al agua del circuito secundario.

Los intercambiadores de calor se pueden clasificar en función del movimiento del líquido en su interior o su construcción. Atendiendo a lo primero existen el intercambiador de flujo paralelo, el de flujo contrario y el de flujo cruzado; en relación a lo segundo están el intercambiador de cabezal y tubos integrados, el concéntrico y el de placas.

En este caso se elige un intercambiador de calor de placas compacto Tranter porque ofrece una mayor transferencia de calor en un espacio más reducido

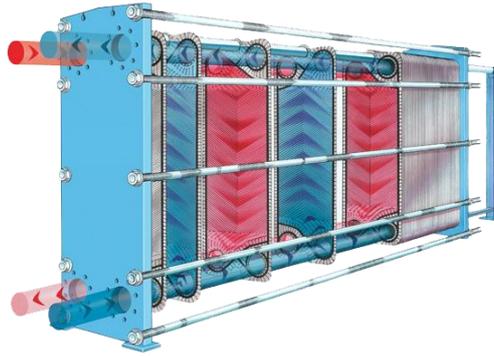


Ilustración (6.21): Intercambiador de placas Tranter

6.6.5 Sistema de regulación y control

El sistema de regulación y control se encarga por un lado de asegurar el correcto funcionamiento del equipo para proporcionar la máxima energía solar térmica posible y, por otro, actúa como protección frente a la acción de múltiples factores como sobrecalentamientos del sistema, riesgos de congelaciones, etc.

6.6.6 Sistema de apoyo

Adicionalmente, se dispone de un equipo de energía convencional auxiliar que se utiliza para cubrir la demanda que la energía solar no pueda satisfacer directamente, garantizando la continuidad del suministro de agua caliente en casos de escasa radiación solar o demanda superior a la prevista.

Caldera

Para el sistema de apoyo se utiliza una caldera centralizada que cubrirá la demanda de agua caliente en los momentos en los que no lo hace la instalación solar.

Atendiendo a las recomendaciones del CTE se propone una caldera de gas natural puesto que la caldera eléctrica tiene un rendimiento muy bajo.

La caldera propuesta es una caldera central y dentro de este tipo se elige entre caldera estanca o caldera de condensación. En este caso, ya que se realiza una nueva instalación, se escoge la caldera de condensación porque es más eficiente en cuanto al consumo de energía (se ahorra hasta un 30% del consumo de gas) gracias a que puede trabajar con una temperatura de retorno más baja y además por la razón de que es más respetuosa con el medio ambiente.

Se ha elegido una caldera de pie de condensación YGNIS de 44 a 106kW. La caldera será únicamente para la producción de agua caliente sanitaria por dos razones; en primer lugar porque en este trabajo no se interviene en la producción de agua caliente para calefacción; y en segundo lugar porque según la normativa, a partir de 72kW la caldera para agua caliente sanitaria tiene que ser independiente que la caldera para calefacción.

Las características de la caldera se muestran en el anejo 1.

7. Conclusiones.

Una vez concluido el estudio completo de la implantación de un sistema de agua caliente sanitaria con apoyo solar en la ETSA Valladolid se pueden establecer las siguientes conclusiones:

Este trabajo ha permitido conectar con el tema de la eficiencia energética gracias a la instalación de un sistema de producción de agua caliente a partir de una energía renovable como es la energía solar. Esta situación permite que nos acerquemos a los fines de las directivas europeas de disminuir la emisión de los gases de efecto invernadero a la atmósfera y de retrasar en la medida de lo posible el calentamiento global del planeta.

Pero con éste documento no sólo se ha iniciado el tema de la eficiencia energética, sino que se ha trabajado con un caso práctico real. Además, la propuesta ha sido exitosa puesto que, tras el análisis de las condiciones de entorno del edificio y el estudio del diseño y dimensionado de la instalación, se determina que la instalación de placas solares propuesta como sistema de apoyo para la producción de agua caliente para el consumo es viable.

Además de permitirnos cumplir la normativa, y acercarnos al consumo de energía nulo; la instalación propuesta garantiza el aumento notable de las condiciones de confort de las personas que habitan el edificio.

Por otro lado, ofrece una necesidad básica como es el agua caliente a un edificio donde, debido a las condiciones de su uso, se trabaja con distintos materiales, pinturas... y se requiere el agua caliente para limpiar el material o para simplemente limpiarse las manos.

El uso de estas energías renovables como la energía solar o la eólica tiene algunos inconvenientes como son el impacto visual que tienen en el paisaje; sin embargo, el mayor impacto lo tienen las centrales térmicas solares o los campos de molinos eólicos. Una instalación como la de este trabajo apenas tiene un impacto visual puesto que no sería visible desde el nivel del suelo y, como se ha visto a lo largo de todo el documento, son muchas las ventajas que tiene frente a los contras.

8. Bibliografía

- [1] Boletín estadístico del Ministerio de Industria, Energía y Turismo. IV.2.B Consumo de energía primaria. URL: http://www.minetur.gob.es/es-ES/IndicadoresyEstadisticas/DatosEstadisticos/IV.%20Energ%C3%ADa%20y%20emisiones/IV_2%20B.pdf
- [2] Protocolo de Kioto. De la página del Ministerio de Industria, Energía y Turismo. URL: <http://www.minetur.gob.es/ENERGIA/DESARROLLO/MEDIOAMBIENTE/CAMBIOCLIMATICO/Paginas/CambioClimatico.aspx>
- [3] Paquete de Energía y Cambio Climático 2013-2020 de la página del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. URL: <http://www.magrama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/el-proceso-internacional-de-lucha-contr-el-cambio-climatico/la-union-europea/>
- [4] Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de mayo de 2010, relativa a la eficiencia energética de los edificios. URL: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2010-81077>
- [5] Reglamento Delegado (UE) nº244/2012 de la Comisión, de 12 de enero de 2012, que complementa la Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo. URL: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=celex:32012R0244>
- [6] Informe de la Comisión al Parlamento europeo y al consejo: Respaldo financiero a la eficiencia energética de los edificios (COM(2013) 225 final de 18.4.2013) <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=celex:52013DC0225>
- [7] Informe de la Comisión al Parlamento Europeo y al Consejo: Avances efectuados por los Estados miembros en la implantación de edificios de consumo de energía casi nulo (COM(2013) 483 final/2 de 28.6.2013) [http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=celex:52013DC0483R\(01\)](http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=celex:52013DC0483R(01))
- [8] DB HE Ahorro de Energía. Del Código Técnico de Edificación. URL: <http://www.codigotecnico.org/index.php/menu-ahorro-energia>
- [9] DB HS Salubridad. Del Código Técnico de Edificación. URL: <http://www.codigotecnico.org/index.php/menu-salubridad>
- [10] Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios. URL: <http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Paginas/InstalacionesTermicas.aspx>
- [11] Instituto suizo IPF Institut für solartechnik. URL: <http://www.spf.ch/Captadores.111.0.html?&L=8>

- [12] Estudio de la radiación solar a partir de cartas solares. URL: http://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php?lang=es#top
- [13] Valeriano Ruiz Hernández, Germán López Lara y Juan Carlos Martínez Escribano. DTIE 8.03 Instalaciones solares térmicas para producción de agua caliente sanitaria. Madrid. Atecyr.
- [14] Norma UNE-EN 12975-1:2006+A1:2011. Sistemas solares térmicos y componentes. Captadores solares. Parte 1: Requisitos generales. URL: <http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0046829#.V4N5rPmLRD8>
- [15] José Manuel Pinazo Ojer, Ricardo García San José. Fundamentos de energía solar para ACS y climatización, buenas prácticas. Madrid. Atecyr.
- [16] Sistema de montaje de las placas solares en cubierta. CompactVario con SolRac. URL: https://www.schletter.eu/files/addons/docman/solarmontage/montageundservice/CompactVario_con_SolRack_-_manual_de_montaje_V2_I400241ES.pdf
- [17] Manual de usuario para el cálculo de instalaciones solares térmicas según el método F-Chart. URL: <http://www.scalofrios.es/calor/solartermica/software/f-chart.pdf>
- [18] Alberto José Meiss Rodríguez. Apuntes de la asignatura de Acondicionamiento e Instalaciones I para el curso 2015/16: Dimensionado de redes.
- [19] Blog de la Escuela Politécnica Superior de Jaén “Docencia y Sistemas Fotovoltaicos”. URL: <http://pfherramientassfv.blogspot.com.es/p/software-propios.html>
- [20] Guía Técnica de condiciones climáticas exteriores de proyecto del Instituto para la Diversificación y Ahorro de energía. URL: <http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Reconocidos/Reconocidos/CondicionesClimaticas.pdf>
- [21] Boletín Mensual de Estadística de Junio de 2016 publicado por el Instituto Nacional de Estadística. URL: <http://www.ine.es/daco/daco42/bme/c19.pdf>
- [22] José García Pérez (2007). Esquemas hidráulicos de calefacción, ACS y Energía Solar Térmica. Madrid. Editorial El Instalador.
- [23] Real Decreto 865/2013 de 4 de julio, por el que se establecen los criterios higiénico-sanitarios para la prevención y control de la legionelosis. URL: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2003-14408>
- [24] Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano. URL: http://www.msssi.gob.es/profesionales/saludPublica/docs/rd_140_2003.pdf
- [25] Descarga del programa de cálculo AISLAM en la página del Ministerio de Industria, Energía y Turismo. URL:

<http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/eficienciaenergetica/rite/reconocidos/paginas/indexdocumentosreconocidos.aspx>

[26] Acumuladores solares y depósitos de inercia Baxi. URL:
<http://www.baxi.es/acumuladoressolares/>

[27] Pliego de Condiciones Técnicas de Baja Temperatura publicado por el Instituto para la Diversificación y ahorro de la Energía, IDEA. URL:
http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_5654_ST_Pliego_de_Condiciones_Tecnicas_Baja_Temperatura_09_082ee24a.pdf

[28] Productos aislantes en planchas y bloques Poliuretanos. URL:
<http://www.poliuretanos.com/productos/planchas/coquillas.html>

[29] Tuberías de Polietileno Reticulado (PEX-A) de la marca PIPEX. URL:
<http://www.pipex.es/Documentos/Catalogos/PIPEX%20PEX-A%20Catalogo%202008.pdf>

[30] José Manuel Pinazo Ojer, Ricardo García San José. DTIE 12.02 Aplicación de aislamientos en la edificación y las instalaciones, casos prácticos. Atecyr.

[31] Guía técnica de instalaciones. URL:
http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_08_Guia_tecnica_agua_caliente_sanitaria_central_906c75b2.pdf

[32] Productos de Agua Caliente Sanitaria, Calefacción, Climatización y Refrigeración WILO. URL: <http://www.wilo.es/index.php?id=15338&L=0#.V8xXifmLRD8>

[33] Valvulería y grifería GENEBRE. URL: <http://www.genebre.es/es/inicio>

[34] Vasos de expansión con membrana SALVADOR ESCODA S.A. URL:
<http://www.salvadorescoda.com/>

[35] Real Decreto 140/2007 establece las medidas sanitarias y de control necesarias para la protección de la salud de los consumidores.

[36] Pedro G. Vicente Quiles. DTIE 8.04 Energía solar, casos prácticos. Madrid. Atecyr.

[37] Ficha técnica datalogger ALMEMO 2590-2A/-4AS. URL:
<http://www.almemo.co.kr/pdf/DATA%20LOGGERS/MA2590.pdf>

[38] Guía de aplicación del documento básico de Ahorro de Energía en residencial vivienda. Anejo HE 1 V1: Valores de cálculo de los materiales de construcción.



Anexo 1:

Catálogos de fabricantes

Acumulador solar Baxi AS 1000



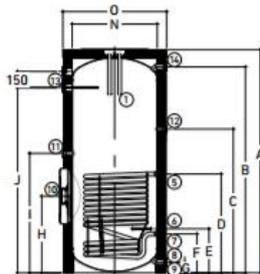
Esmaltados AS 750, 1000 y 1500

Fabricados en acero esmaltado.
Aislamiento desmontable.
Aislamiento del depósito mediante espuma de poliuretano flexible.

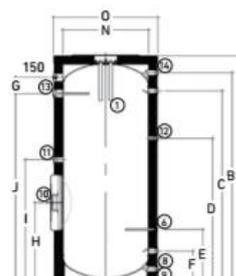
Incorpora la protección por ánodo de sacrificio de magnesio e indicador de su estado.
Garantía 5 años (ver condiciones en la tarjeta que se adjunta con el producto).

AS 750-1E	AS 1000-1E	AS 1500-1E	AS 750-IN	AS 1000-IN	AS 1500-IN
750	1000	1500	750	1000	1500
1 serpentín	1 serpentín	1 serpentín	Sin serpentín	Sin serpentín	Sin serpentín
2,47	2,47	4,00	-	-	-
19,5	19,5	28,9	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
Vertical	Vertical	Vertical	Vertical	Vertical	Vertical
25	25	25	-	-	-
200	200	200	-	-	-
8	8	8	8	8	8
90	90	90	90	90	90
189	273	385	156	237	334
148112360	148112361	148112362	148110510	148110511	148110512
2.303 €	2.852 €	4.172 €	1.982 €	2.564 €	3.442 €

1.837	2.087	2.200	1.837	2.087	2.200
1.676	1.926	1.995	1.676	1.926	1.995
1.245	1.345	1.445	1.508	1.758	1.780
925	925	1.175	1.152	1.318	1.445
413	413	595	413	468	580
365	365	520	268	268	380
100	100	165	100	100	165
372	718	909	372	718	909
1.020	1.118	1.244	1.000	1.118	1.244
1.483	1.733	1.780	1.483	1.733	1.733
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
790	790	1.000	790	790	1.000
950	950	1.160	950	950	1.160



AS 750-1E, AS 1000-1E y AS 1500-1E (1 serpentín)



AS 750-IN E, AS 1000-IN E y AS 1500-IN E (sin serpentines)

Depósitos de Inercia Baxi ASA 1000-1 y ASA 1500-1



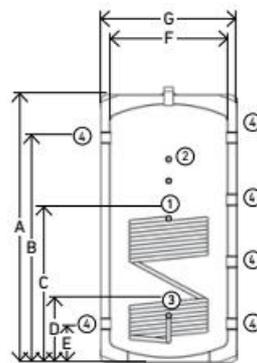
De acero al carbono

Fabricados en acero al carbono. No aptos para acumulación de Agua Caliente Sanitaria.
Diseñados para circuitos cerrados sin renovación de agua.

Aislamiento del depósito mediante espuma de poliuretano flexible.
Garantía 5 años (ver condiciones en la tarjeta que se adjunta con el producto).

Aislamiento desmontable (ASA 800 a 1.500 litros).

		ASA 50-IN	ASA 1000-1	ASA 1500-1	ASA 800-IN
Volumen	l	50	1000	1500	800
Tipo de intercambiador		Sin serpentín	1 serpentín	1 serpentín	Sin serpentín
Volumen intercambiador	l	-	19,30	22,40	-
Instalación		Vertical, horizontal y mural	Vertical	Vertical	Vertical
Presión máx. primario	bar	-	6	6	-
Temp. máx. primario	°C	-	100	100	-
Presión máx. secundario	bar	6	6	6	6
Temp. máx. secundario	°C	100	100	100	100
Clase de eficiencia energética		B	-	-	-
Peso en vacío	kg	20	231	375	174
Referencia		148110509	148112501	148112502	148110500
PVP		503 €	1.949 €	3.576 €	1.365 €
A	mm	835	2.282	2.345	1.872
B	mm	662	1.921	1.881	1.511
C	mm	170	1.395	1.441	1.121
D	mm	173	867	1.001	731
E	mm	-	371	561	341
F	mm	300	790	1.000	790
G	mm	380	950	1.160	950
1 Ida serpentín		-	1"	1"	-
2 Sonda		1/2"	1/2"	1/2"	1/2"
3 Retorno serpentín		-	1"	1"	-
4 Conexiones		1 1/4"	3"	3"	3"
5 Toma superior o purgador		1/2"	-	-	-
6 Vaciado		3/4"	-	-	-



ASA 800-1, 1000-1 y 1500-1

Etilenglicol. Disolución anticongelante.

	ARBISA, S.L. SUMINISTROS INDUSTRIALES		Revisión: 1 Fecha: 13/04/2011 Página 1 de 11
Ficha de Datos de Seguridad ETILENGLICOL			

2. IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS

2.1. Clasificación del preparado:

Este producto está clasificado como peligroso de acuerdo a la Directiva 99/45/CEE (RD 255/2003) en las siguientes categorías:

- Nocivo por ingestión. R22.

Siguiendo el Reglamento 1272/2008 (GHS), el producto se clasifica de la siguiente manera:

- Tóxico agudo 4: H302.

3. COMPOSICIÓN/INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES

Nombre	Número CAS:	Número CE:	Clasificación según Directiva 67/548/CEE:	Clasificación según Reglam. 1272/2008	Conc.
Etilenglicol	107-21-1	203-473-3	- Xn: R22	- Tóxico agudo 4: H302.	25-100 %

8. CONTROLES DE LA EXPOSICIÓN/PROTECCIÓN PERSONAL

8.1 Valores límite de la exposición:

- VLA-ED: 20 ppm.
- VLA-ED: 52 mg/m³.
- VLA-EC: 40 ppm.
- VLA-EC: 104 mg/m³.



9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

9.1. Información general

Aspecto: Líquido incoloro.
Olor: Dulce.

9.2. Información importante en relación con la salud, la seguridad y el medio ambiente

Punto de ebullición (Intervalo de destilación):	194-205°C.
Punto de fusión:	-12.4 °C.
Punto de inflamación:	111 °C.
Temperatura de autoignición:	427°C.
Intervalo en el aire de explosión/inflamabilidad:	Inferior: 3.2 %(v/v). Superior: 1.53 %(v/v).
Presión de vapor:	0.06 mmHg a 20°C.
Densidad:	1.11 g/cm ³ a 20°C.
Densidad de vapor:	2.1 (Aire=1).
Solubilidad:	En agua: 100%. Totalmente miscible en agua.
Coefficiente de partición (n-octanol/agua):	logPow: -1.36.
Viscosidad dinámica:	21 Pa.s a 20°C.
Peso molecular:	62 g/ol.
Velocidad de evaporación (Acetato de butilo=1):	0.01.

Coquillas aislantes para tuberías. Coquillas de Poliuretano D/40.



Carretera de Tuy, S/N Guillerey
36720 TUY · PONTEVEDRA · SPAIN
Tel: +34 986 60 14 22
Fax: +34 986 60 20 60
vigo@poliuretanos.com

Ctra. C-65 km 16.5 Z. I. El Truel
17244 CASSÀ DE LA SELVA · GIRONA · SPAIN
Tel: +34 972 46 04 72
Fax: +34 972 46 17 19
info@poliuretanos.com



Coquillas de Poliuretano D/40 CE

- DESCRIPCIÓN**
- Espuma rígida de poliuretano mecanizada en forma de coquillas obtenidas a partir de un bloque del material.
- APLICACIONES**
- Aislamiento térmico de tuberías para la industria química, instalaciones frigoríficas, túneles de congelación, sistemas de aire acondicionado.
 - Intervalo de T^a de trabajo: -130°C hasta +80°C.
- VENTAJAS**
- Menor espesor de aislamiento gracias al bajo coeficiente de conductividad térmica de la espuma de poliuretano.
 - Prácticamente nula absorción de agua gracias a la estructura de celda cerrada del polímero.
 - Coquillas de gran rigidez y poco peso.
 - Facilidad de mecanizado y corte.
- PRESENTACIÓN**
- Coquillas de 1000 mm de longitud.
 - Diámetro y espesor según necesidades del cliente.
 - Hasta 12" se presentan en secciones de 180°.

CARACTERÍSTICAS

CE	CLASE según EN 14308	NORMA ENSAYO	UNIDADES	VALORES ESPECIFICADOS
Coefficiente conductividad térmica	λ_{10}	UNE-EN 12667	W/m·K	0,022
Coefficiente conductividad térmica declarado	λ_D	UNE-EN 12667	W/m·K	$d_b < 80\text{mm}$ 0,028 $80 \leq d_b \leq 120\text{mm}$ 0,027 $d_b \geq 120\text{mm}$ 0,026
Reacción al fuego del producto	-	UNE-EN 13501-1	-	F (No ensayado)
Estabilidad dimensional 48h, 70°C 90%HR	DS(TH)3	UNE-EN1604	%	$\Delta\text{long, } \Delta\text{anch.} \leq 2$ $\Delta\text{esp.} \leq 6$
Estabilidad dimensional 48h -20°C				$\Delta\text{long, } \Delta\text{anch.} \leq 0,5$ $\Delta\text{esp.} \leq 2$

	NORMA ENSAYO	UNIDADES	VALORES ESPECIFICADOS
Densidad	UNE-EN 1602	kg/m ³	40 ± 2
Resistencia a la compresión	UNE-EN 826	kPa	$\parallel \rightarrow 240 \pm 50$ $\perp \rightarrow 120 \pm 30$
Resistencia al estireno 48h, 70°C	-	-	<0,2%

Tuberías de Polietileno Reticulado PIPEX.

DATOS TÉCNICOS DE LAS TUBERÍAS PIPEX



CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

característica	valor	unidad
Densidad	951	Kg/m ³
Grado de Reticulación	> 75	% peso
Rugosidad	0,007	mm

CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS

característica	valor	unidad
Temperatura máxima de servicio	95	°C
Temperatura máxima puntual	110	°C
Comportamiento al calor 120°C; 1h	< 2,5	%
Coefficiente de dilatación lineal	1,5 · 10 ⁻⁴	K ⁻¹
Calor específico a 23°C	2,3	KJ/ kg·K
Conductividad térmica	0,35 – 0,38	W/ m·K
Temperatura VICAT	130 – 132	°C

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

característica	valor	unidad
Resistencia a la tracción	> 22	N/mm ²
Alargamiento a la rotura	> 400	%
Modulo de elasticidad a 20°C	> 800	N/mm ²
Resistencia a la presión interna s=4,8 Mpa, 95°C	> 1	Horas
Resistencia a la presión interna s=4,7 Mpa, 95°C	> 22	Horas
Resistencia a la presión interna s=4,6 Mpa, 95°C	> 165	Horas
Resistencia a la presión interna s=4,4 Mpa, 95°C	> 1000	Horas
Resistencia a la presión interna s=2,5 Mpa, 110°C	> 1	año



CONDICIONES DE SERVICIO PARA LA TUBERÍA PIPEX

CLASE DE APLICACIÓN	temp. (°c)	coef. de seguridad	tiempo de servicio (años)	PRESIÓN MÁXIMA DE SERVICIO (bar)		
AGUA FRÍA SANITARIA	20	1.25	1	15.9	19.9	24.8
			50	15.2	19.0	23.8
SUMINISTRO DE AGUA CALIENTE A 60°C	60	1.5	49	8.0	9.9	12.4
	80	1.3	1	7.7	9.7	12.1
	95	1	0.011	9.1	11.4	14.2
SUMINISTRO DE AGUA CALIENTE A 70°C	70	1.5	49	7.1	8.9	11.1
	80	1.3	1	7.7	9.7	12.1
	95	1	0.011	9.1	11.4	14.2
CALEFACCIÓN POR SUELO RADIANTE Y RADIADORES A BAJA TEMPERATURA	20	1.25	2.5	15.7	19.7	24.6
	40	1.5	20	10.1	12.6	15.8
	60	1.5	25	8.0	10.0	12.5
	70	1.3	1	8.6	10.8	13.5
	100	1	0.011	8.6	8.3	10.4
CALEFACCIÓN POR RADIADORES A ALTA TEMPERATURA	20	1.25	14	15.4	19.3	24.1
	60	1.5	25	8.0	10.0	12.5
	80	1.5	10	6.5	8.1	11.7
	90	1.3	1	7.0	8.7	10.9
	100	1	0.011	8.6	8.3	10.4
				SERIE 5	SERIE 4	SERIE 3,2

DATOS TÉCNICOS

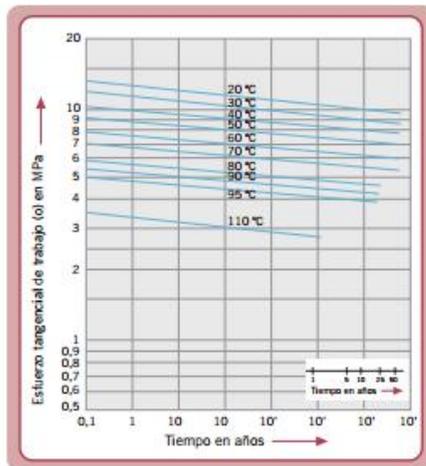


PRESIÓN DE DISEÑO DE LA TUBERÍA PEX

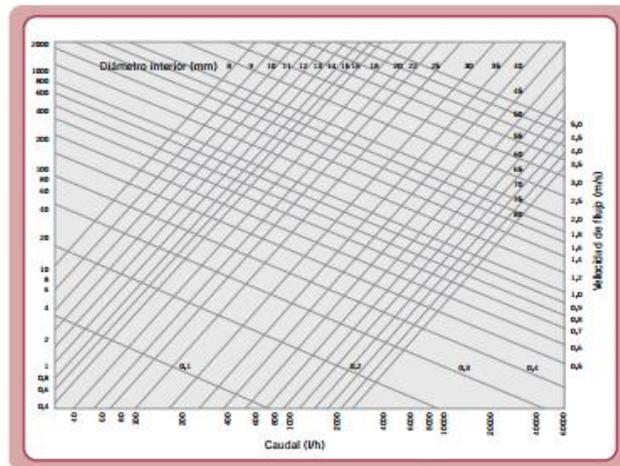
La presión de diseño es la presión de funcionamiento prevista para cada clase de aplicación y para la cual ha sido diseñado el sistema. La presión de diseño de los tipos de tubo mas usuales son:

CLASE DE APLICACION	PRESIÓN DE DISEÑO			
	16 x 1,8	20 x 1,9	25 x 2,3	32 x 2,9
Agua fría sanitaria	10 bar	10 bar	10 bar	10 bar
Suministro de agua caliente a 60C°	8 bar	6 bar	6 bar	6 bar
Suministro de agua caliente a 70C°	8 bar	6 bar	6 bar	6 bar
Calefacción por suelo radiante y radiadores a baja temperatura	10 bar	8 bar	8 bar	8 bar
Calefacción por radiadores a alta temperatura	8 bar	6 bar	6 bar	6 bar

CURVAS DE REGRESIÓN



PÉRDIDAS DE CARGA



Captador solar SPF.

SPF Solartechnik
Prüfung
Forschung

C1637

**Solar Collector Factsheet
Solex BLUx**



Modelo BLUx
 Tipo Colector plano
 Fabricante Solex srl
 Dirección Via D. Donini 51 Cinquemiglia
 IT-06012 Citta' di Castello
 Teléfono +39 075 8540884
 Telefax +39 075 8540884
 Email amministrazione@solex.it
 Internet www.solex.it
 Fecha de ensayo 11.2006

- Ensayo de rendimiento EN12975:2006
- Ensayo de durabilidad EN12975:2006



Dimensiones

Longitud total	2.005 m
Anchura total	1.290 m
Superficie bruta	2.586 m ²
Área de apertura	2.345 m ²
Área de absorbedor	2.305 m ²
Peso vacío	50 kg

Datos técnicos

Caudal mínimo	50 l/h
Caudal nominal	100 l/h
Caudal máximo	150 l/h
Contenido de fluido	2.0 l
Presión máxima de operación	10 bar
Temperatura de estancamiento	192 °C

Montaje del captador

- En tejado con inclinación
- Integrado en tejado con inclinación
- Sobre tejado plano con estructura
- A la fachada

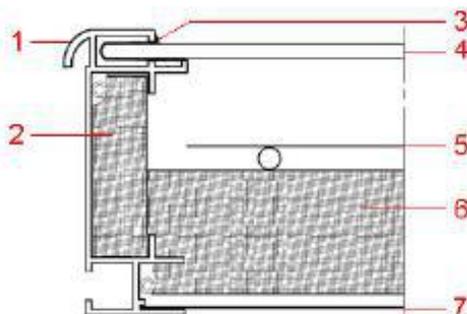
Informaciones adicionales

- Módulos disponibles en diversos tamaños
- Cubierta intercambiable

Conexiones hidráulicas

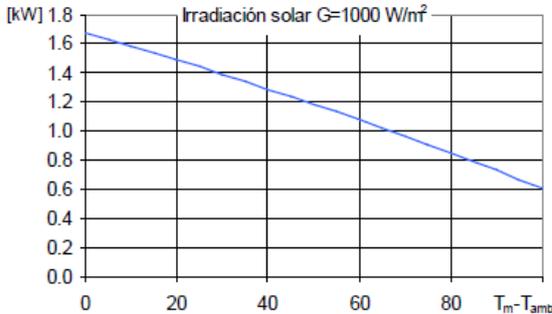
Tubo de cobre, diámetro nominal 22 mm

Construcción



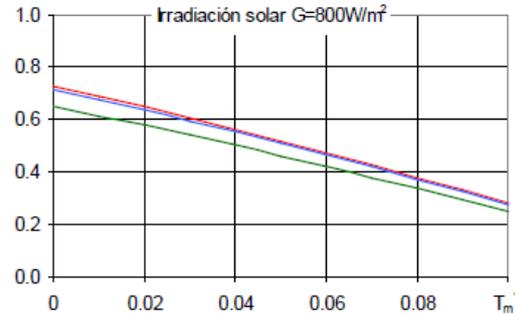
- 1 Caja
- 2 Aislamiento térmico lateral
- 3 Junta
- 4 Cubierta
- 5 Absorbedor
- 6 Aislamiento térmico
- 7 Pared posterior

Rendimiento máximo W_{peak}



Rendimiento máximo W_{peak}	1678 W
Capacidad térmica*	6.6 kJ/K
Caudal usado para los ensayos	130 l/h
Fluido de transferencia de calor	Agua-Glicol 33.3%

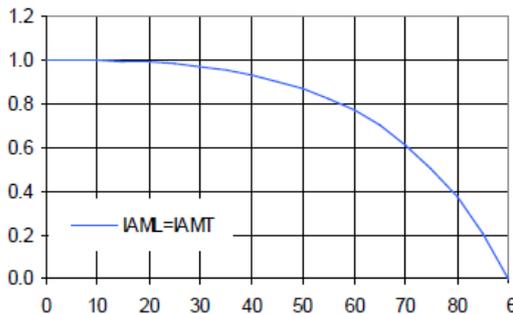
Eficiencia relativa η



Área referencia	Total	Apertura	Absorbedor
η_0	0.649	0.716	0.728
a_1 [WK ⁻¹ m ⁻²]	3.51	3.87	3.94
a_2 [WK ² m ⁻²]	0.0062	0.0069	0.0070

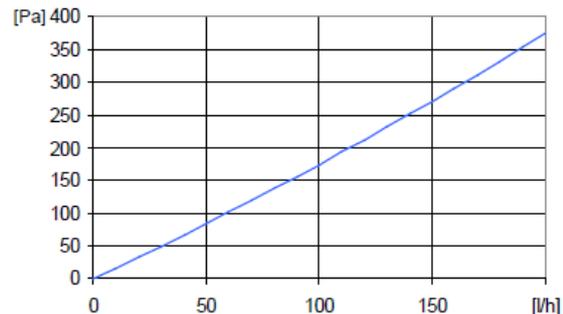
*) Capacidad térmica específica C del captador sin líquido, determinado según 6.1.6.2 del EN12975-2:2006

Modificador del ángulo IAM



K1, transversal IAM a 50°	0.87
K2, longitudinal IAM a 50°	0.87

Caída de presión Δp



Caída de presión para caudal nominal:
 $\Delta p = 174$ Pa (T=20°C)

SPF Simulación de sistemas con Polysun

Breve descripción del sistema

Clima: Suiza central, orientación del captador: Sur, agua fría 10°C, agua caliente sanitaria 50°

Agua caliente sanitaria: Fss* = 60%

Depósito 450 litros, Inclinación del captador 45°, Necesidad diaria de energía 10 kWh (4-6 personas), Necesidad energética del sistema de referencia 4200 kWh/año

Precalentamiento del ACS: Fss* = 25%

2 depósitos: 1500 litros & 2500 litros, Inclinación del captador 30°, Agua caliente sanitaria 10'000 l/día (200 personas), Pérdida diaria de calor (circulación & depósito) 60 kWh, Necesidad energética del sistema de referencia 191'700 kWh/año

Calefacción de espacio: Fss* = 25%

Almacenamiento combinado 1200 litros, Inclinación del captador 45°, Necesidad diaria de energía 10 kWh (4-6 personas), Edificio 200 m², Construcción intermedia fuerte, bien aislada, Necesidades potencia de calentamiento 5.8 kW (temperatura exterior -8°C), Necesidades energéticas de calentamiento 12140 kWh/año, Necesidades energética del sistema referencia 16340 kWh/año

Superficie requerida**	Rendimiento solar**
------------------------	---------------------

6.10 m ²	417 kWh/m ²
2.6 captadores	

77.3 m ²	622 kWh/m ²
33.0 captadores	

20.3 m ²	265 kWh/m ²
8.7 captadores	

*) Fractional solar savings: Fracción de la energía final que, gracias al sistema solar, puede ser ahorrada comparada con un sistema de referencia.

**) La necesidad en superficie y el rendimiento solar son definidos en relación a la superficie de abertura.

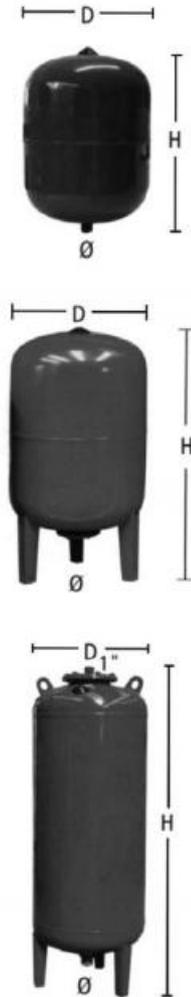
Vaso de expansión 100 SMR-P con 100l de capacidad y membrana intercambiable.



Provença, 392 pl. 2
08025 BARCELONA
Tel. 93 446 27 80
Fax 93 456 90 32

TARIFA DE PRECIOS

I.V.A. NO INCLUIDO. CONSULTE POSIBLES ACTUALIZACIONES



• Vasos expansión energía solar

Código	Artículo	Capacidad l	Presión máx. bar	Dimensiones D x H	Conex. agua Ø	Pre-carga bar	€
<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura máxima: 130°C • Precarga: 2,5 bar • Apto para el uso hasta 50% anticongelante 							
MEMBRANA FIJA							
SO 09 021	5 SMF	5	10	200x250	3/4"	2,5	27,30
SO 09 022	8 SMF	8	10	200x340	3/4"	2,5	30,45
SO 09 023	12 SMF	12	10	270x310	3/4"	2,5	34,65
SO 09 024	18 SMF	18	10	270x415	3/4"	2,5	36,76
SO 09 025	24 SMF	24	8	320x430	3/4"	2,5	44,10
MEMBRANA INTERCAMBIABLE							
SO 09 026	35 SMR-P	35	10	360x615	1"	2,5	120,75
SO 09 027	50 SMR-P	50	10	360x750	1"	2,5	141,75
SO 09 028	80 SMR-P	80	10	450x750	1"	2,5	178,50
SO 09 029	100 SMR-P	100	10	450x850	1"	2,5	280,36
SO 09 030	220 SMR	200	10	485x1400	1-1/2"	2,5	591,16
SO 09 031	350 SMR	300	10	485x1965	1-1/2"	2,5	751,81
SO 09 032	500 SMR	500	10	600x2065	1-1/2"	2,5	1.057,35
SO 09 033	700 SMR	700	10	700x2145	1-1/2"	2,5	1.781,85

DIMENSIONAMIENTO DEL VASO DE EXPANSIÓN (*):

ESCOSOL 2800 S (**)	ESCOSOL 2500 (***)	Contenido de agua en litros			Capacidad del vaso
		Colectores + instalación	Intercambiadores	total	
1	2	3,6	15	18,6	12
2	4	7,2	15	22,2	18
4	8	14,4	21	35,4	25
6	12	21,6	42	63,6	50
8	15	28,8	42	70,8	80
10	20	36	60	96	80
12	26	43,2	65	108,2	100
16	35	57,6	80	137,6	150
20	-	72	85	157	150
24	40	86,4	85	171,4	200
28	-	100,8	90	190,8	200
32	60	115,2	100	215,2	300
36	-	129,6	110	239,6	300
40	75	144	120	264	300
44	-	158,4	150	308,4	300
48	90	172,8	150	322,8	350
52	-	187,2	180	367,2	350
60	110	216	200	416	500
70	120	252	250	502	500
80	140	288	300	588	700

(*) Exclusivamente como valor orientativo
 (**) Presión llenado: 3,5 bar. Máx. presión trabajo: 6 bar
 (***) Presión llenado: 1,5 bar. Máx. presión trabajo: 3 bar

Caldera central para la producción de Agua Caliente Sanitaria.



CONDENSINOX: De 44 a 106 kW

DESCRIPCIÓN TÉCNICA | CONDENSINOX



Serie Advance / Caldera de pie de condensación a gas

- Cuerpo de acero inoxidable. Mayor resistencia. **Mayor vida útil.**
- Caldera de gas modulante entre 20% y 100%. Reducción de los ciclos de arranque/paro. **Reducción de costes en la instalación.**
- **Rendimiento excelente hasta 110,5%.**
- No necesita caudal mínimo, diseño HYDROSTABLE. Simplificación hidráulica. **Reducción de costes en la instalación.**
- Dos tomas de retorno: disociación de la "alta" y "baja" temperatura para **optimizar la condensación y ahorrar en la factura del gas.**
- Caldera compacta de tan sólo 0,55m³. **Ocupa menos espacio y el acceso al equipo es sencillo.**
- **Gran volumen de agua.** Reducción del número de ciclos de arranque/paro. Ahorro en la factura de gas.
- **Compatible con conductos de humo de polipropileno:** B23 / B23P / C13 / C33 / C53 / C43 / C83
- **Equipamiento de regulación completo** con gestión de la modulación, seguridad y gestión de circuito directo y circuito de ACS.
- **Instalación en cascada más fácil** gracias a la gama de kits de conexión más completa del mercado.

El diseño HYDROSTABLE: hidráulica simplificada

El cuerpo de la caldera tiene capacidad para un importante volumen de agua con baja pérdida de carga. Se comporta de forma similar a una botella de desacoplamiento hidráulico y hace innecesario un caudal mínimo de irrigación de la caldera.

Además, las partes sometidas a temperaturas más elevadas reciben una irrigación constante mientras funciona el quemador, favoreciendo de este modo una vida útil máxima del equipo. El sistema a la altura de la placa tubular recibe agua caliente procedente de la parte superior del cuerpo de la caldera. De este modo se evita la "rotura" de la estratificación y se garantiza un rendimiento óptimo de forma constante.

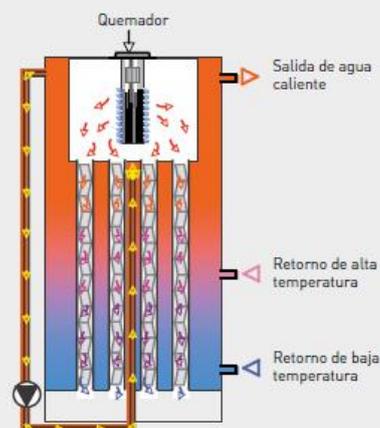
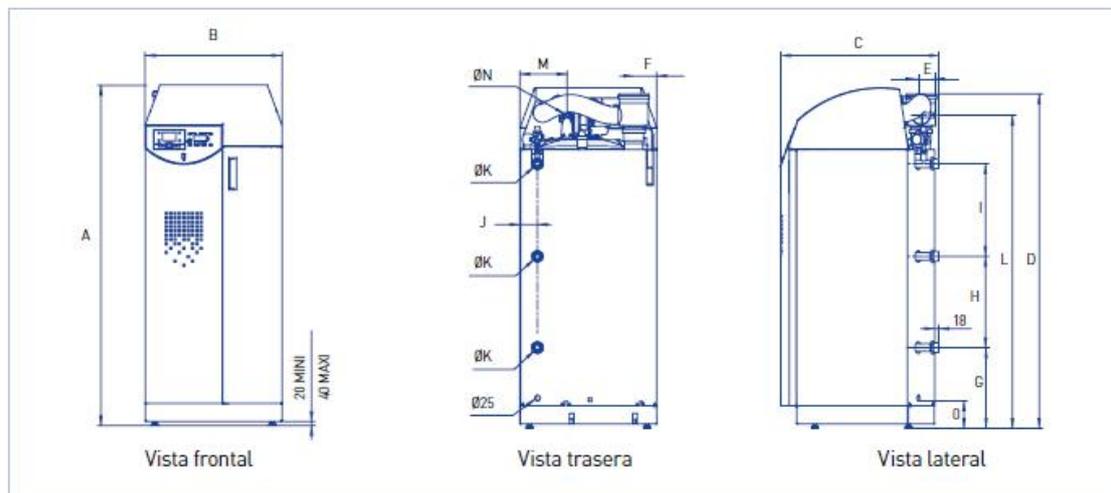


Tabla de características

		MODELOS CONDENSINOX			
		40	60	80	100
Potencia útil a 50/30 °C	kW	43,8-8,76	65,5-13,1	87,5-17,5	105,5-21,1
Potencia útil a 80/60 °C	kW	40-8	60-12	80-16	97-19,4
Caudal calórico nominal	kW	41,6	62,1	82,7	100,0
Rendimiento al 100% de potencia (80/60 °C)	%	96,9	97,4	96,8	98,3
Rendimiento al 30% de carga (50/30 °C)	%	110,5	109,2	108	110,4
Temperatura mínima de humos	°C	29		30	
Temperatura mínima de impulsión	°C	Sin restricciones			
Temperatura mínima retorno	°C	Sin restricciones			
Pérdidas de carga lado agua ($\Delta T=20K$)	mmca	163	357	183	265
Presión máxima admisible en chimenea	Pa	160		120	
Caudal mínimo de circulación	m ³ /h	Sin restricciones			
Tasa mínima de modulación	%	20			
Presión de servicio	bar	4			
Alimentación eléctrica monofásica		230 V, AC 50Hz			
Consumo eléctrico	W	150	220	260	320
Nivel de presión sonora	dB(A)	67,8-43		69-43,6	
Peso en vacío	kg	134	140	215	225
Volumen de agua	L	94	88	136	128
Caudal de gas a Pn (15° C)	m ³ /h	4,4	6,6	8,8	10,6
Tipo de combustible		Gas natural (G20) y gas propano (G31)			
Código		041616	041617	041618	041619

Dimensiones

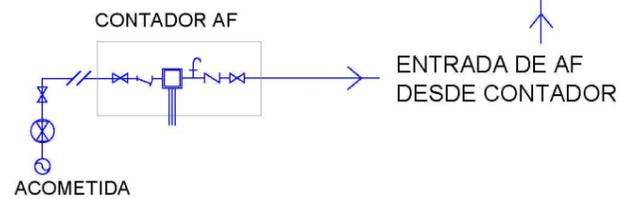
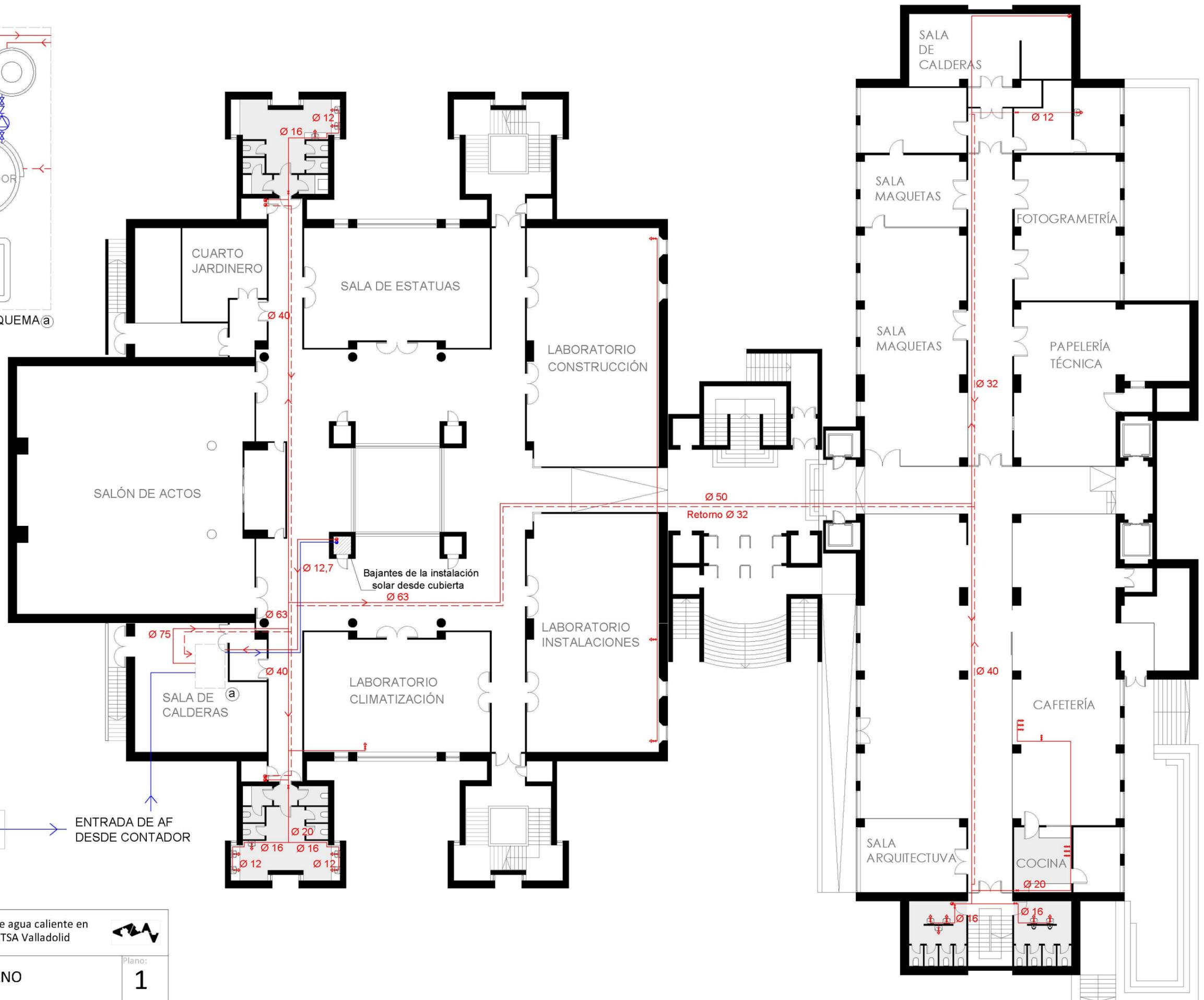
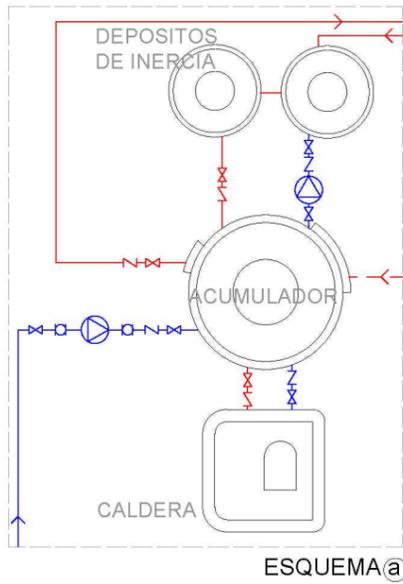


Modelos	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	ØK	L	M	ØN	O
	mm										pulg.	mm	mm	pulg.	mm
Condensinox 40/60	1494	595	670	1469	58	100	356	400	406	76	1 1/4	1377	205	G 1/2"	121
Condensinox 80/100	1728	695	779	1645	102	110	354	400	550	85	1 1/4	1547	131	G 3/4"	133



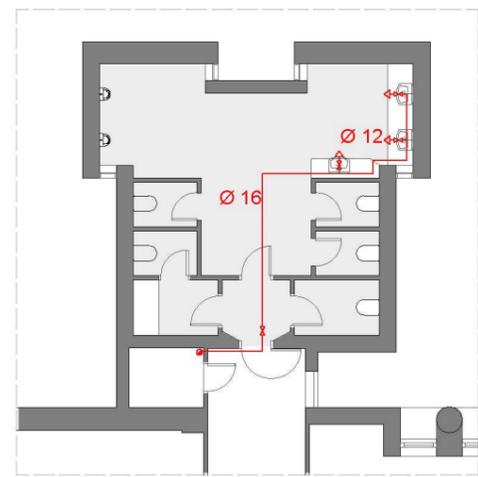
Anexo 2:

Planos de la instalación.



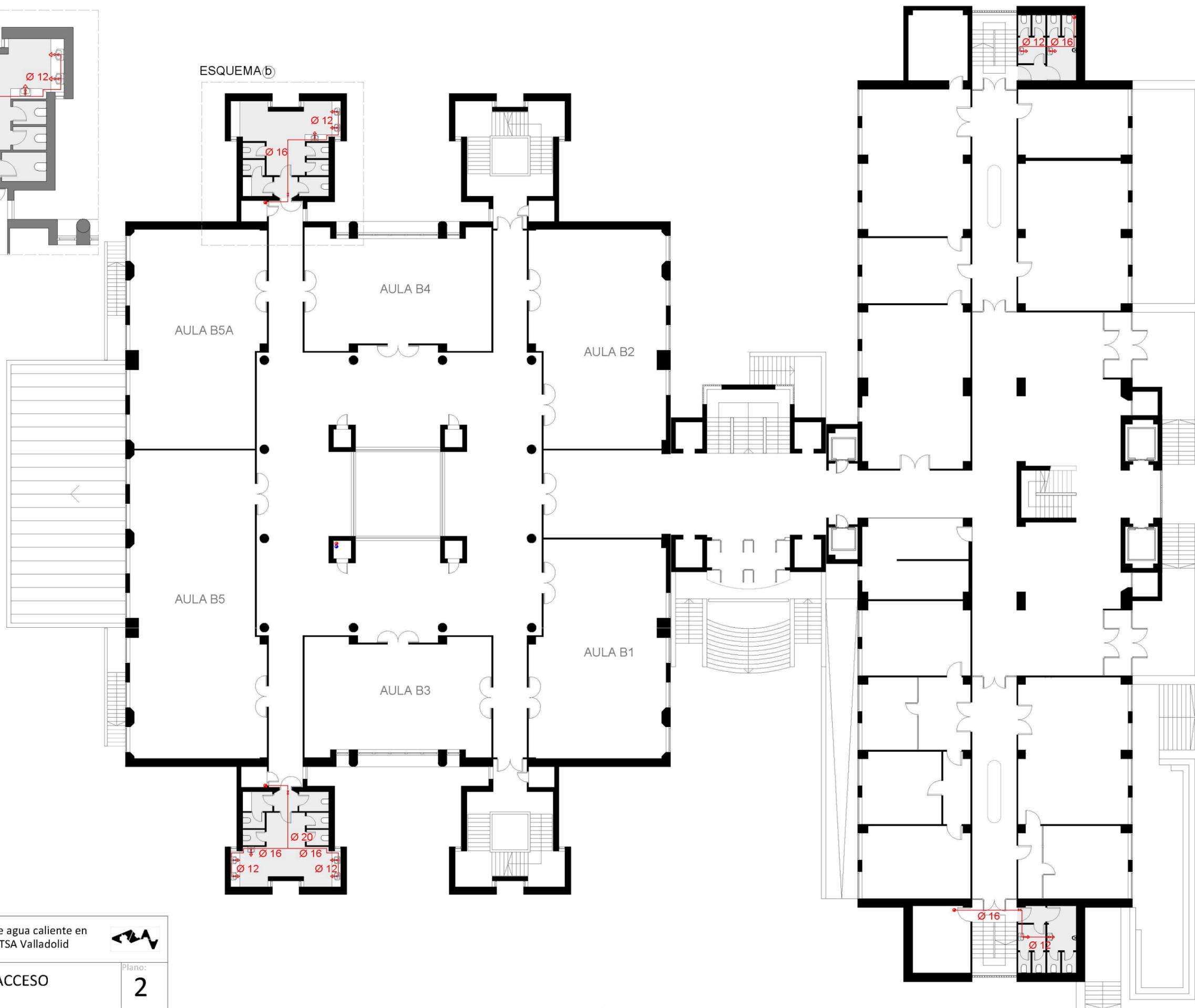
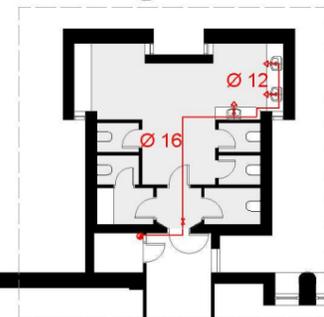
Gestión de la producción de agua caliente en las instalaciones de la ETSA Valladolid	
Nombre:	PLANTA SÓTANO
Plano:	1
Autor:	Isabel Rodríguez Hontangas
Escala:	1/250





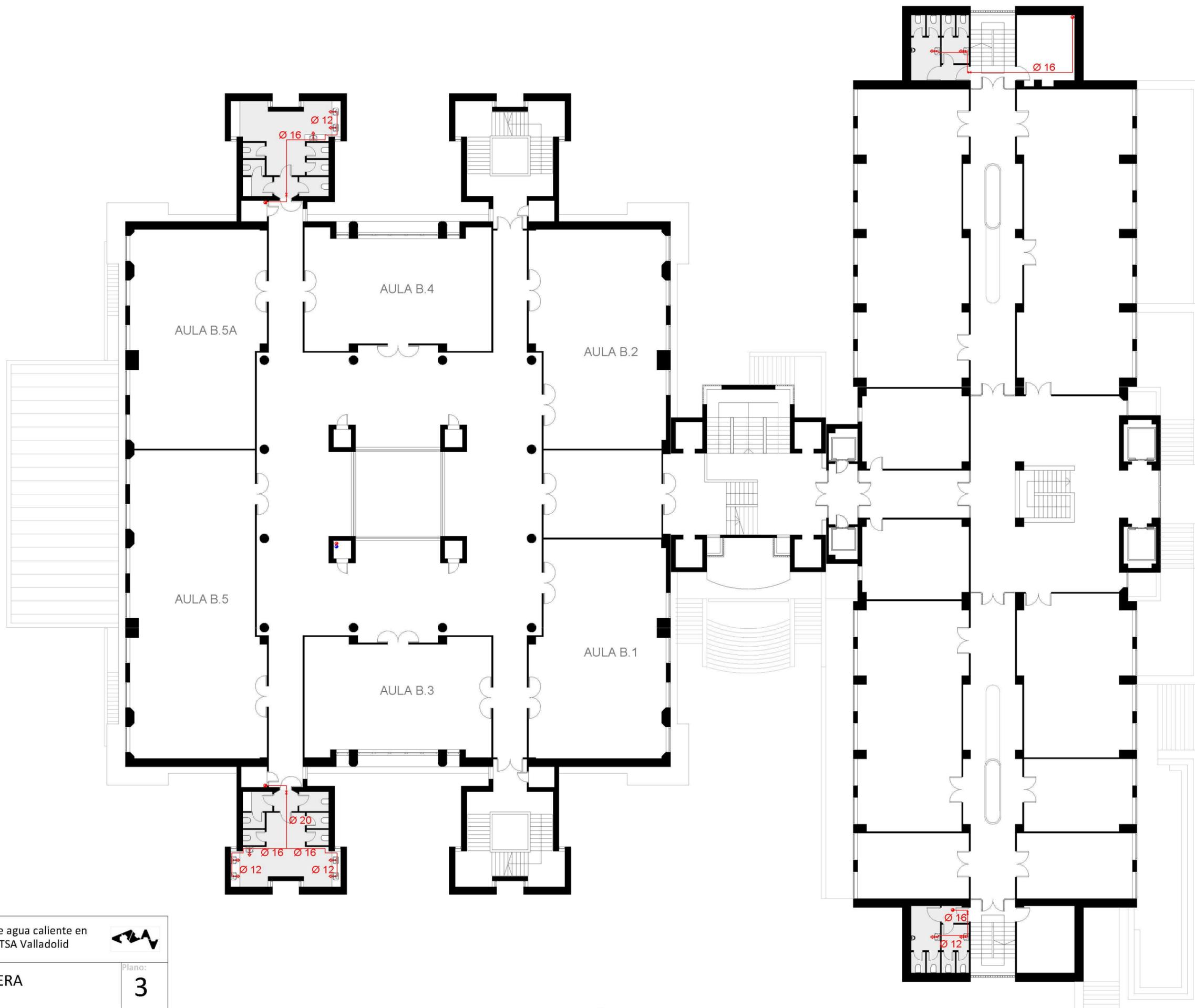
ESQUEMA (b) e1/150

ESQUEMA (b)

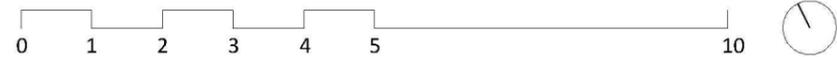


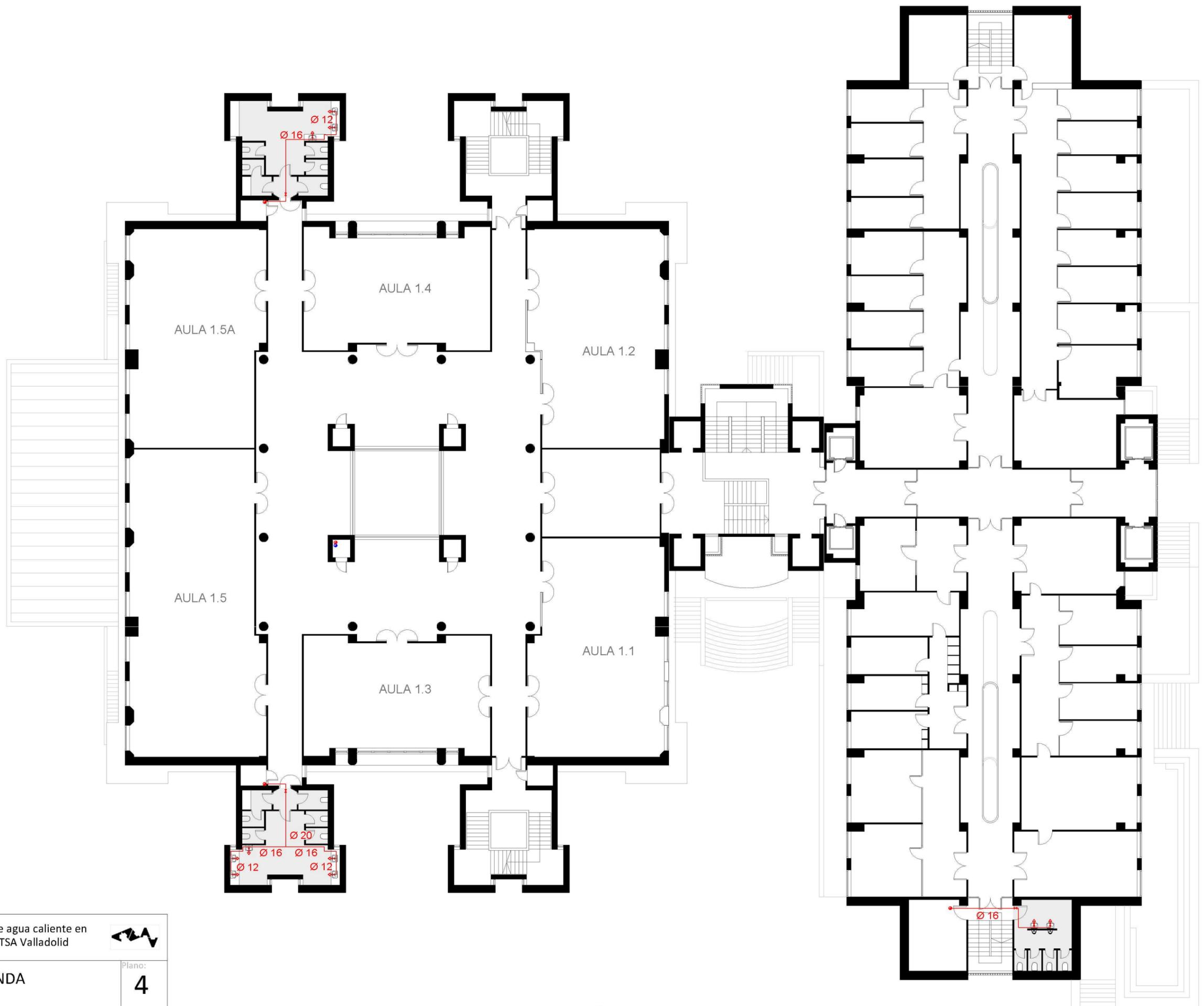
	Gestión de la producción de agua caliente en las instalaciones de la ETSA Valladolid			
	Nombre:	PLANTA BAJA DE ACCESO		
	Plano:	2		
	Autor:	Isabel Rodríguez Hontangas		
		Escala:	1/250	





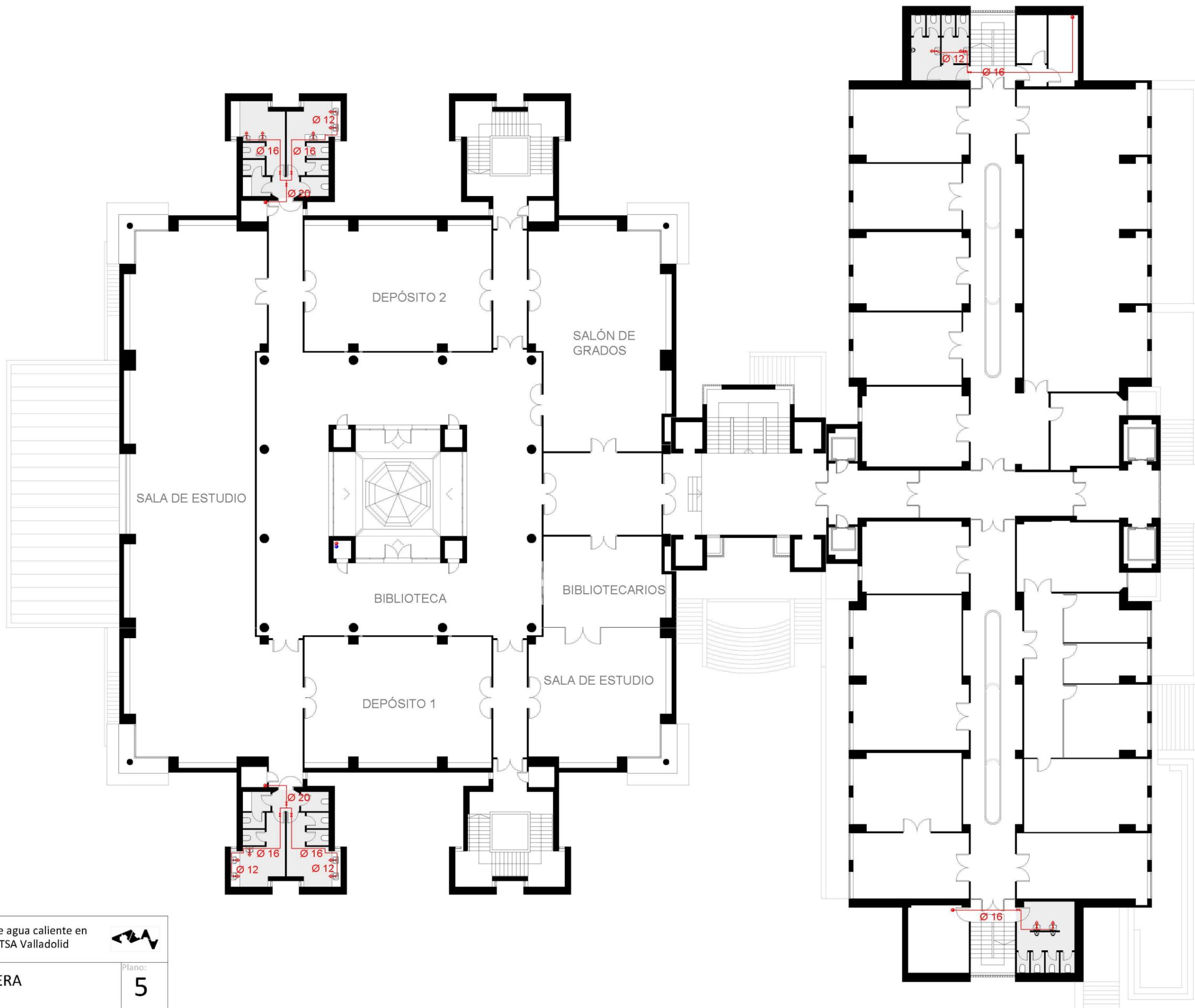
	Gestión de la producción de agua caliente en las instalaciones de la ETSA Valladolid	
	Nombre: PLANTA PRIMERA	Plano: 3
	Autor: Isabel Rodríguez Hontangas	Escala: 1/250





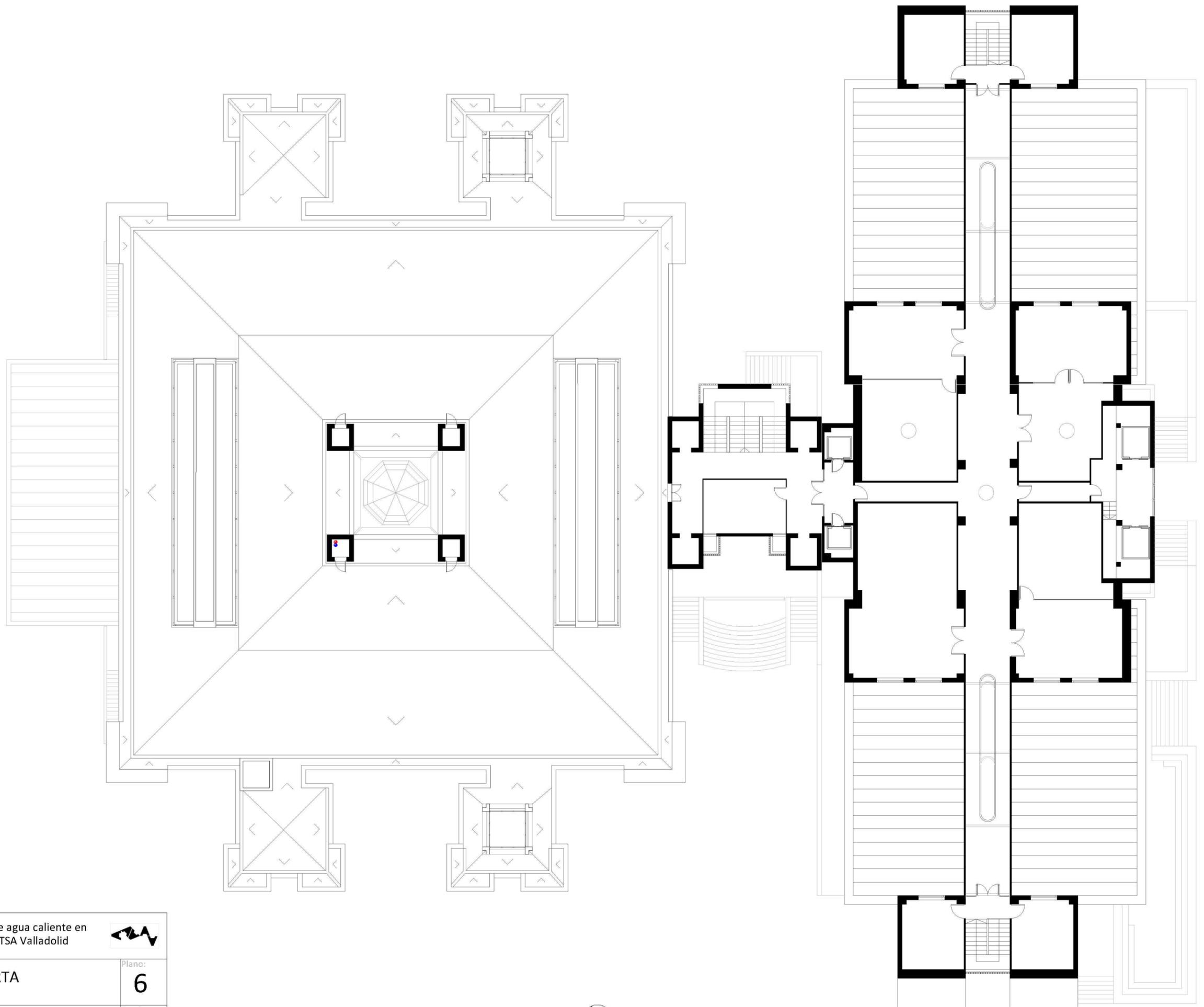
	Gestión de la producción de agua caliente en las instalaciones de la ETSA Valladolid			
	Nombre:	PLANTA SEGUNDA		
	Plano:	4		
	Autor:	Isabel Rodríguez Hontangas		
		Escala:	1/250	





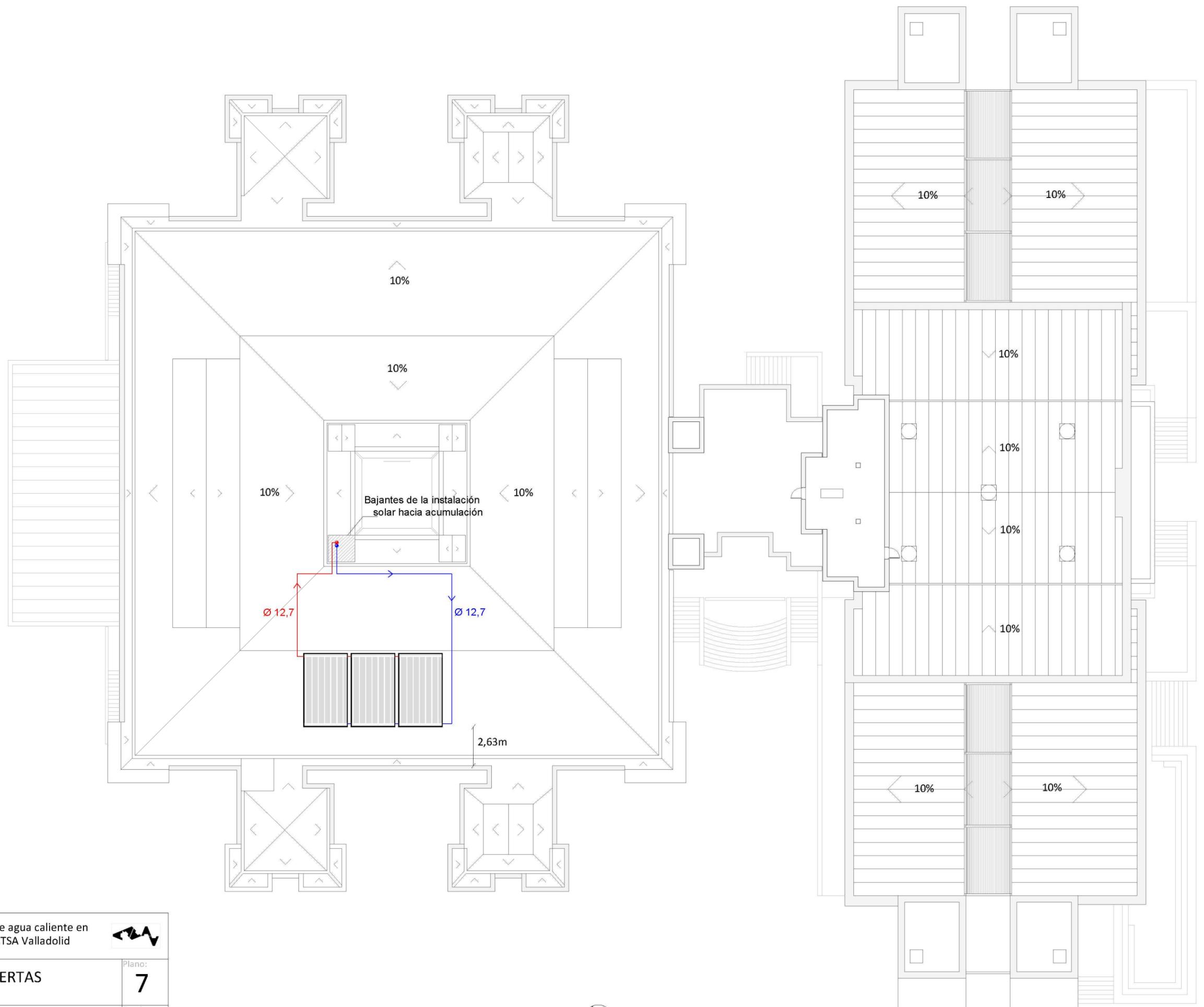
	Gestión de la producción de agua caliente en las instalaciones de la ETSA Valladolid			
	Nombre:	PLANTA TERCERA		
	Plano:	5		
	Autor:	Isabel Rodríguez Hontangas		
		Escala: 1/250		





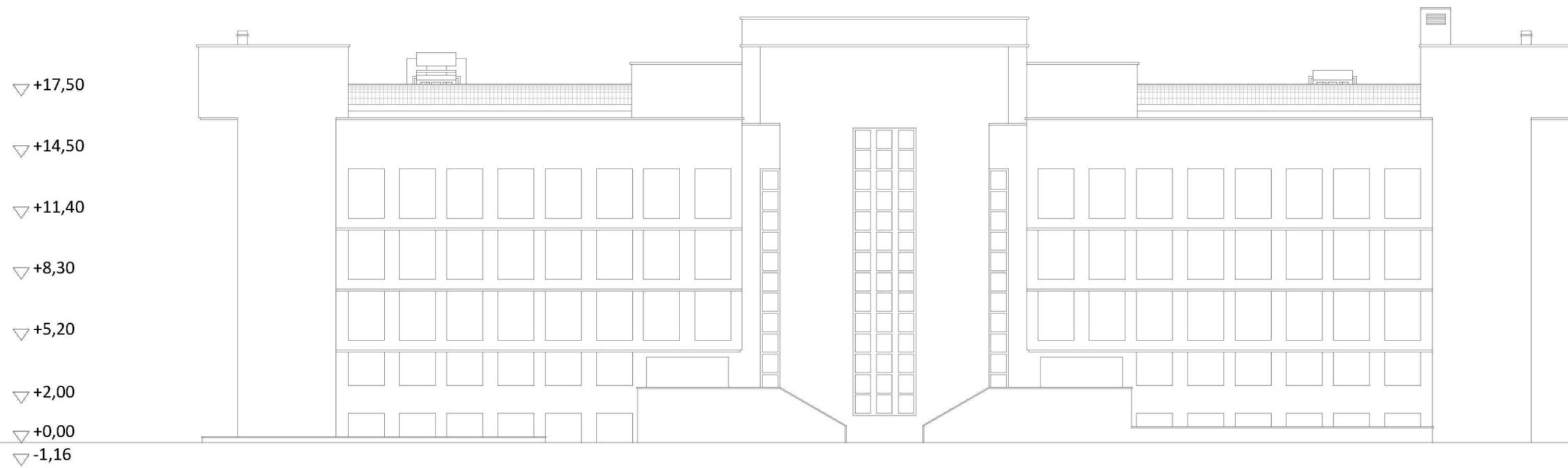
	Gestión de la producción de agua caliente en las instalaciones de la ETSA Valladolid				
	Nombre:	PLANTA CUARTA		Plano:	6
	Autor:	Isabel Rodríguez Hontangas		Escala:	1/250



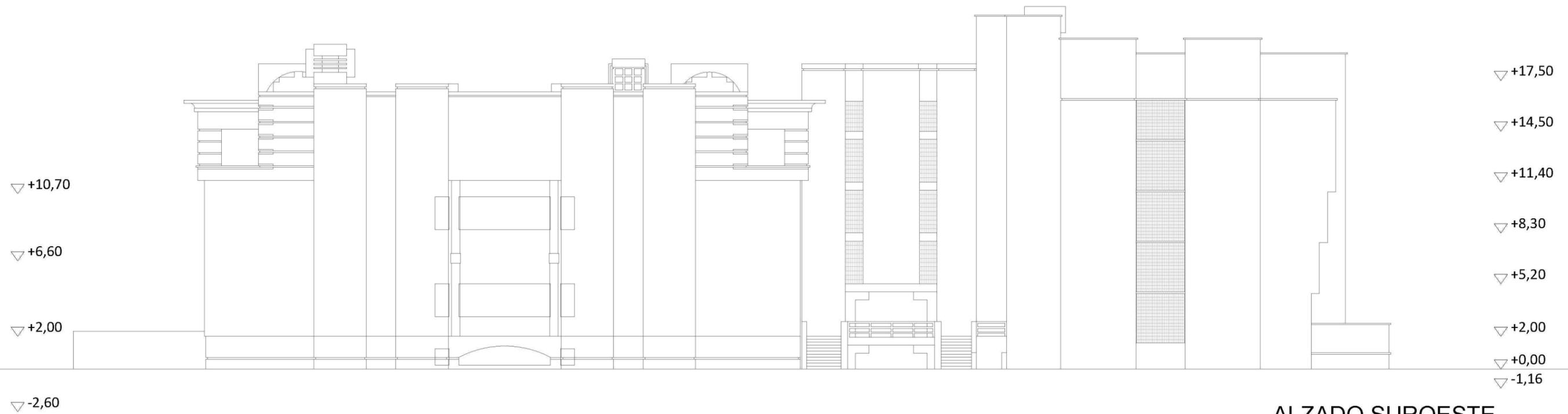


	Gestión de la producción de agua caliente en las instalaciones de la ETSA Valladolid				
	Nombre:	PLANTA DE CUBIERTAS		Plano:	7
	Autor:	Isabel Rodríguez Hontangas		Escala:	1/250





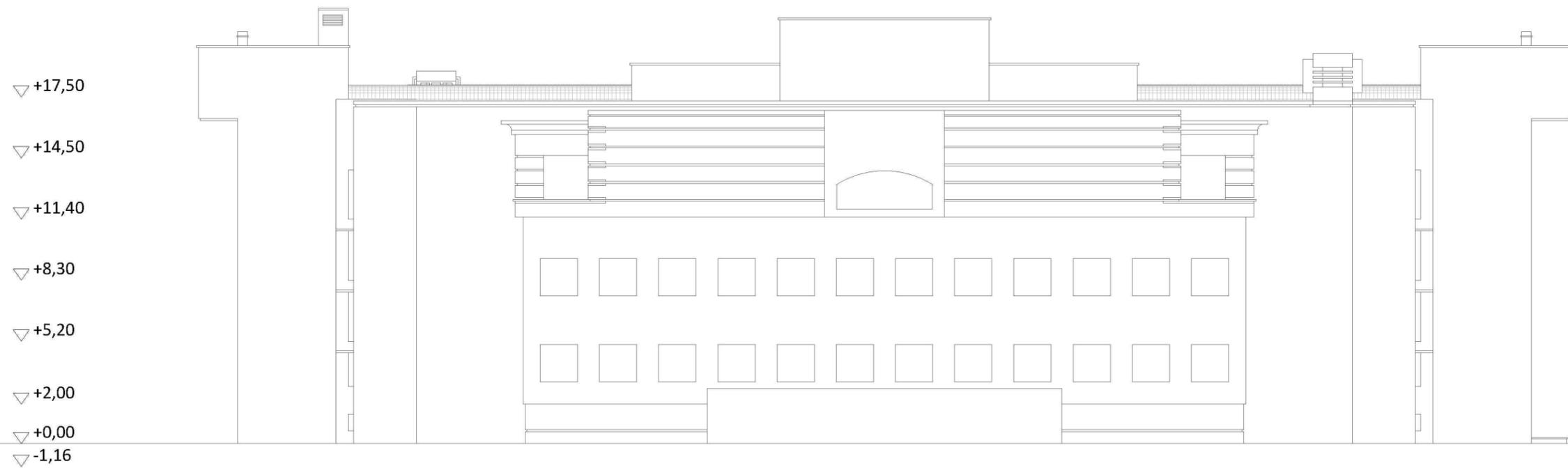
ALZADO SURESTE



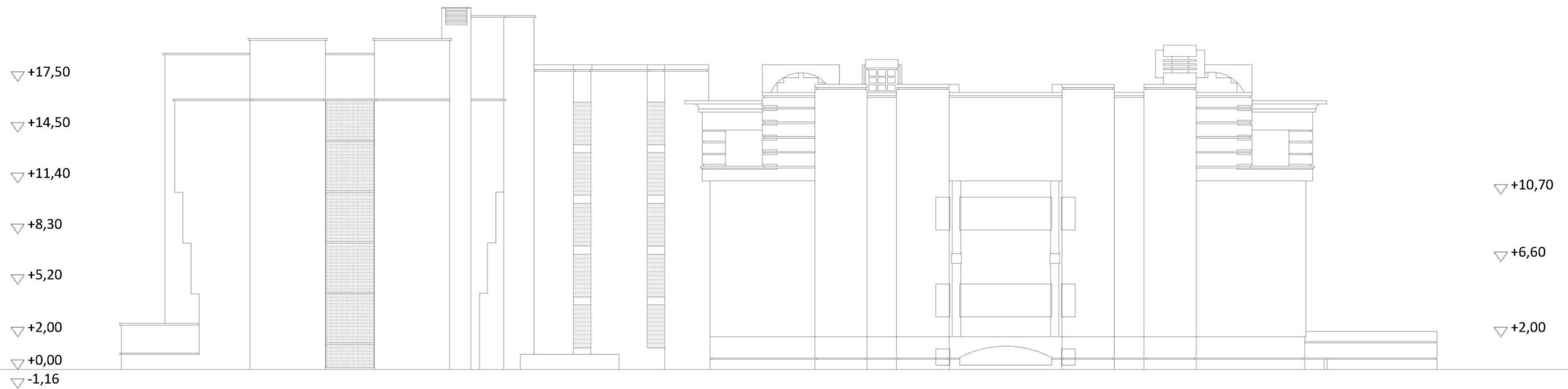
ALZADO SUROESTE

	Gestión de la producción de agua caliente en las instalaciones de la ETSA Valladolid		
	Nombre: ALZADOS SURESTE Y SUROESTE	Plano: 8	
Autor: Isabel Rodríguez Hontangas	Escala: 1/250		





ALZADO NOROESTE



ALZADO NORESTE

 Gestión de la producción de agua caliente en las instalaciones de la ETSA Valladolid 	
Nombre:	ALZADOS NORESTE Y NOROESTE
Plano:	9
Autor:	Isabel Rodríguez Hontangas
Escala:	1/250





Anexo 3: Estudio del comportamiento energético del edificio

Contexto.

El anexo 3 del presente trabajo se realiza como una ampliación del mismo debido a que la situación académica permite dedicarle más tiempo. Así, se aprovecha la oportunidad de profundizar un poco más en el tema de eficiencia energética tratado hasta ahora, al desarrollar un pequeño estudio sobre el comportamiento energético del edificio académico. Este estudio se realiza desde el punto de vista de la investigación de nuevas técnicas que permiten avanzar en el proceso de realización de eficiencias energéticas.

Hasta este punto del documento se ha trabajado el tema de la eficiencia energética aplicada al caso práctico de una instalación de agua caliente sanitaria. Siguiendo esta línea de trabajo, el siguiente paso sería diseñar y dimensionar del sistema de placas solares para abastecer, junto a la instalación de agua sanitaria, la instalación de calefacción de la escuela.

El completo desarrollo de la instalación de calefacción no es posible realizarlo puesto que abarcaría otro trabajo fin de grado. Sin embargo uno de los primeros pasos para realizar esa instalación de calefacción es estudiar el comportamiento energético del edificio y, concretamente, el comportamiento térmico de la envolvente del edificio. En eso es en lo que se centra este anexo, en el estudio del comportamiento de la energía en relación a la fachada.

Cuando se habla del comportamiento energético en una fachada, se habla de la transmitancia. Esto es, la cantidad de calor que pasa en la unidad de tiempo a través de la unidad de área de una muestra de extensión infinita y caras plano-paralelas y de espesor unidad, cuando se establece una diferencia de temperatura entre sus caras de un grado.

Es necesario conocer el valor de transmitancia térmica de cada una de las partes de la envolvente. Este valor puede calcularse a partir de la relación entre la conductividad térmica de cada elemento constructivo que forma el conjunto del cerramiento y el espesor de cada uno de ellos. Sin embargo, puede que en algunas ocasiones no se conozcan con exactitud cada una de las capas que componen el cerramiento y el espesor de cada una. Esto ocurre en el caso de la fachada del edificio académico de la escuela; los componentes se pueden intuir por el espesor y en función del año de construcción, sin embargo no se conoce con exactitud. Por esto se recurre a un método que permita obtener ese valor cuando no se conoce la composición interior de la fachada.

Un método que permite obtener el valor de transmitancia de un cerramiento es el uso de la temoflujometría. En este anexo se va a desarrollar un estudio que permita controlar el uso de un termoflujómetro para calcular la transmitancia de un cerramiento.

A partir de unos ejemplos se va a establecer un criterio en cuanto a las medidas que hay que tomar y las condiciones que se tienen que dar para que el proceso sea exitoso; y además se definirá el procedimiento a seguir a la hora de manipular los datos obtenidos.

Termoflujometría.

La termoflujometría consiste en un sistema de medición *in situ* para analizar la transmitancia de cerramientos. Se trata de un ensayo no destructivo que consiste en la medición del flujo de calor a través de un cerramiento representativo; para ello es necesario utilizar unas sondas determinadas y un sensor de flujo de calor, es decir, una placa base de espesor definido cuyo coeficiente de transmisión calorífica es conocido.

El proceso de medida del ensayo tiene una duración de varios días y requiere de unas condiciones muy específicas. Estas condiciones, necesarias para que el ensayo se realice correctamente, se describen a continuación:

- Realizar el ensayo sobre cerramientos que no reciban radiación solar; es decir, es preferible realizar los ensayos en la cara norte del edificio o, en su defecto, proteger los dispositivos de la radiación solar puesto que la incidencia de un rayo de sol en alguno de los elementos de medida alteraría el resultado.
- Hay que tener en cuenta que el resultado es muy sensible a pequeñas variaciones en los valores medios de las temperaturas (estamos hablando de décimas).
- Colocar los instrumentos del ensayo en lugares que no se vean alterados por la presencia de puentes térmicos; es decir, las sondas se colocarán lo más alejadas posible de ventanas, pilares, radiadores, luminarias...
- La diferencia de temperatura interior-exterior debe ser al menos de 10°C.
- Los tres sensores colocados en la pared deben estar separados al menos 10cm.
- El equipo de medida responsable de la medición de la temperatura ambiente, en este caso la sonda, debe estar separado de la pared suficientemente para evitar interferencias con la temperatura superficial del cerramiento. La posición ideal sería colocarlo en el centro de la habitación en la que se encuentran.
- La medición se debe realizar al menos durante 24 horas.

Descripción de la instalación empleada.

El ensayo se realiza con un termoflujómetro cuya función es, entre otras, medir el valor de la transmitancia de los cerramientos de edificios.

Su componente básico es un datalogger o registrador de datos, es un dispositivo electrónico que registra datos en el tiempo en relación a unos sensores que se conectan externamente. Estos datos son transferidos a un ordenador en el que un programa calcula el valor de transmitancia a partir de éstos. El datalogger empleado en este caso es ALMEMO 2590-2A/-4AS con una amplia gama de funciones para todas las áreas de aplicación, pantalla gráfica para mostrar los valores medidos y programados, y 4 entradas de medición.

Los controles de funcionamiento y las partes del datalogger son las siguientes:



- 1) Entradas de medición. Son los puertos M0, M1, M2 y M3 a los que se conectan las sondas de medida de temperatura (Measuring inputs, M0 to M3 depending on type).
- 2) Tomas de salida. Los puertos A1 y A2, en los que se realizan las conexiones con el ordenador. (Output sockets A1, A2)
- 3) Conexión a corriente (Socket, DC, 12V)
- 4) Luz led (Sleep LED)
- 5) Pantalla gráfica LCD con 7 renglones/líneas para funciones y 1 para las teclas programables.
- 6) Teclas de manejo (Operating keys)
- 7) Compartimento para la batería (3 AA alkaline-manganese batteries) en la parte trasera del dispositivo.

Ilustración (A.1): Datalogger. Controles de funcionamiento y puertos de conexión

Este datalogger está preparado específicamente para obtener el valor de transmitancia a partir de los datos recibidos por las sondas exteriores que se conectan al mismo. A continuación se desarrollan las conexiones que se hacen a cada clavija.

En uno de los puertos de entrada de datos se conecta una placa base⁸ que mide la temperatura superficial de la cara interior del paramento y del flujo térmico producido a través del mismo. La instalación de este elemento es la siguiente: se fija la placa base a la cara interior del paramento con una cinta adhesiva. Hay placas de distinto tamaño y la elección de éste depende de la superficie en la que se vaya a colocar; las placas de mayor tamaño son más indicadas para colocar en las superficies heterogéneas. En este caso la placa base empleada es la mayor de 35x35cm. Hay que tener en cuenta que en función de cómo se coloque la placa, en función de qué cara de la placa esté en contacto con la superficie del paramento, el sentido del flujo térmico será positivo o negativo.

En otro de los puertos de entrada se conecta una sonda de medida de la temperatura superficial exterior. La sonda se fija con cinta adhesiva a la cara exterior del paramento poniendo en contacto con la superficie la cara de cobre de la sonda. Otro requisito a tener en cuenta es que hay que colocar la sonda en el punto equivalente al punto central de la placa base en la cara opuesta del cerramiento.

⁸ Hay dos placas base que se diferencian en su tamaño. La de menor tamaño se emplea para superficies continuas y la de mayor tamaño se emplea en superficies rugosas y heterogéneas como por ejemplo fachadas de ladrillo.

En los dos puertos de entrada restantes se conectan dos sondas de medida de temperatura ambiente, una para el espacio interior y otra para medir la temperatura del aire en el exterior.

En una de las tomas de salida se realiza la conexión con un ordenador vía USB que permita el envío de los datos registrados por las sondas anteriormente citadas a un programa instalado en el ordenador (AMR WinControl) que almacena estos valores y además calcula los valores de transmitancia relativos a cada medición y el valor de transmitancia media.

Por último, se realiza la conexión a la corriente continua al puerto DC para garantizar el funcionamiento del datalogger.

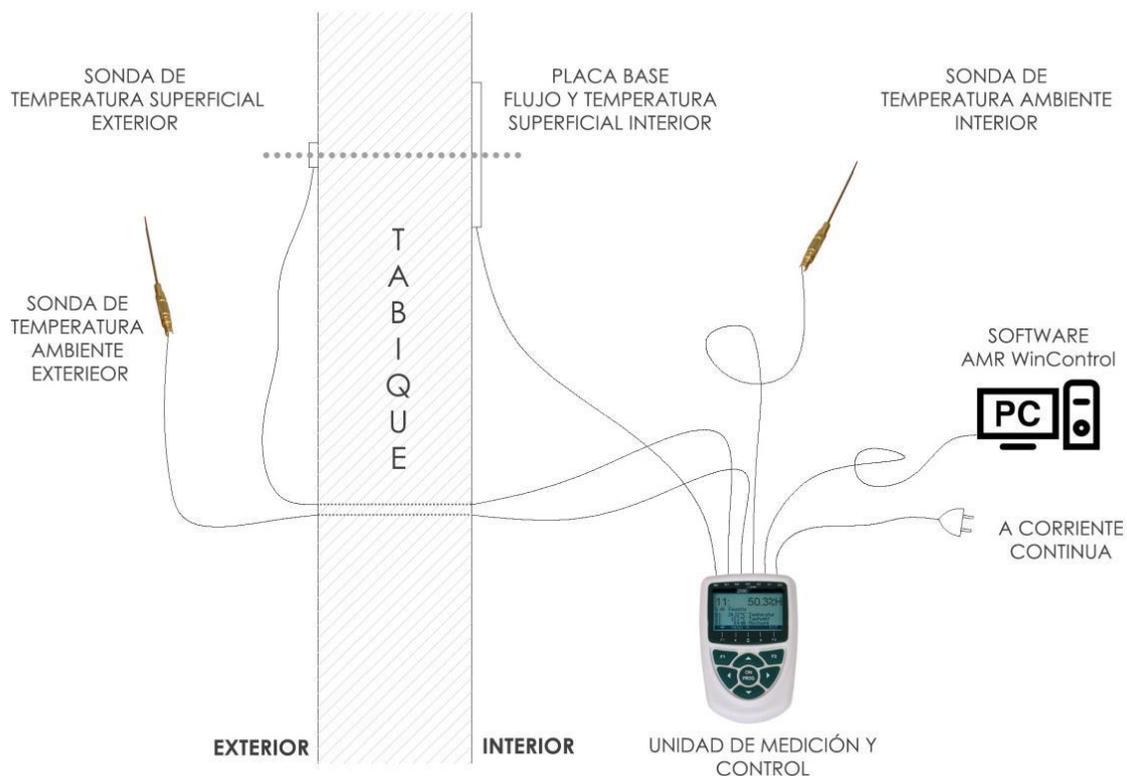


Ilustración (A.2): Esquema de la instalación de termoflujometría.

Obtención del valor de transmitancia.

A partir de los datos registrados por las sondas, el programa calcula la transmitancia en cada instante de registro⁹ y ofrece un valor de transmitancia puntual a la vez que muestra un valor de transmitancia media a partir de los valores puntuales hasta ese momento calculados. El objetivo es que el valor de transmitancia media se establezca progresivamente en el tiempo y acabe ofreciendo un valor muy preciso. Para el cálculo del valor de transmitancia del cerramiento, el software (AMR WinControl) se basa en la norma ISO 6946, dónde:

⁹ El software calcula el valor de transmitancia a partir de los valores de las sondas en un determinado momento. Este proceso se repite sucesivamente en el tiempo, pudiendo seleccionarse la frecuencia con la que se registran las mediciones.

$$U = \frac{1}{R_k} = \frac{1}{(R_i + R + R_a)} = \frac{1}{\left(\frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\beta} + \frac{1}{\alpha_a}\right)}$$

Ecuación (A.1): Calculo de transmitancia según el software AMR Win Control

Así, los coeficientes térmicos de transmitancia interior y exterior se aplican las fórmulas siguientes:

$$\alpha_i = \frac{q}{W_i - T_i}$$

$$\alpha_a = \frac{q}{W_a - T_a}$$

$$\beta = \frac{q}{W_i - W_a}$$

Dónde:

q es el flujo de calor (W/m²)

T_i es la temperatura del aire interior (K)

T_a es la temperatura del aire exterior (K)

W_i es la temperatura superficial interior (K)

W_a es la temperatura superficial exterior (K)

Ensayos.

Procedimiento.

Se instala cada uno de los instrumentos en su posición acorde al cerramiento del cual se quiere obtener el valor de transmitancia. La sonda de temperatura superficial exterior y el centro de la placa base se colocan en el mismo punto equivalente a ambas caras del paramento tomando como referencia las dimensiones de altura respecto al suelo y longitud hasta la pared más cercana. Las sondas de temperatura ambiente deberían colocarse en el centro de la habitación pero como en este caso no es posible, se mantienen colgando a una cierta distancia de la pared teniendo en cuenta que no se ven influidas por fuentes de calor que puedan alterar los resultados (como luminarias, radiadores, ventanas...).

Todas las sondas se conectan al dispositivo electrónico que registra los datos comprobando que el datalogger recibe cada una de las señales, y además se conecta a la corriente continua.

Una vez fijados y conectados todos los elementos se conecta el dispositivo al ordenador y se configura el software. Se asigna cada conexión a un canal teniendo en cuenta qué sonda se ha conectado en cada entrada y además sabiendo que a la placa base le corresponden dos canales; uno para medir el flujo y otro para la temperatura superficial interior.

Puerto M0 – Placa base que registra datos de temperatura superficial interior y flujo térmico.

Puerto M1 - Sonda de temperatura superficial exterior.

Puerto M2 - Sonda de temperatura ambiente exterior.

Puerto M3 - Sonda de temperatura ambiente interior.

Puerto A2 - Conexión con ordenador vía USB.

Puerto DC - Conexión a corriente continua.

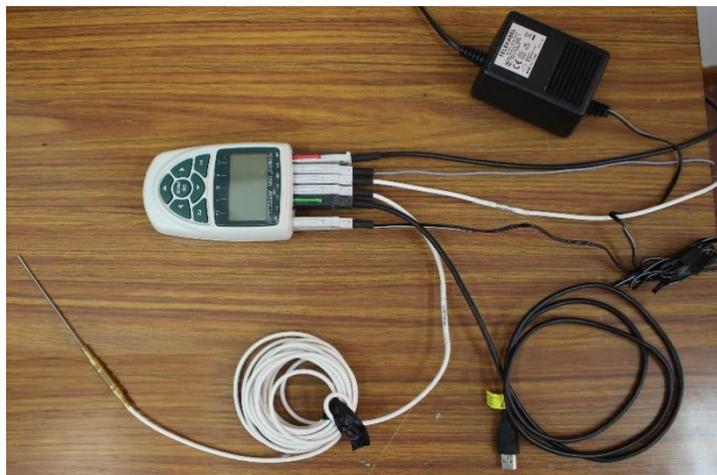


Ilustración (A.3): Conexiones de las sondas al termoflujómetro.

Algunos de los canales y valores de medida necesitan ser corregidos; es decir algunos sensores usualmente requieren un ajuste inicial. En este caso, se programa el dispositivo para que calibre los valores automáticamente (Zero-point Adjustment).

Hay que programar el método de evaluar, esto es, si queremos obtener el valor medio de las temperaturas y a partir de éste calcular la transmitancia o calcular el valor medio de transmitancia en cada punto. En estos casos, el proceso se programa para que se obtengan los dos resultados de transmitancia con el fin de acotar al máximo posible su valor real ya que éste se va a encontrar entre dichos valores obtenidos.

Los datos necesarios para realizar el cálculo son: el flujo térmico, la temperatura superficial exterior, la temperatura ambiente exterior, la temperatura ambiente interior y la temperatura superficial interior. A partir de éstos el programa calcula con una frecuencia determinada los valores de la transmitancia en ese determinado momento y la transmitancia media a partir de los valores puntuales anteriores.

Los resultados del proceso descrito arriba se reflejan en el programa AMR Win Control (.amr) de dos formas distintas; en primer lugar, de manera gráfica, se muestra la evolución de los datos registrados según dos ejes de coordenadas. Y en segundo lugar, se pueden visualizar los valores en una tabla que se puede exportar a excel con formato .xlsx. Los resultados que se reflejan en la tabla son los siguientes:

Día y hora de la medición	Flujo térmico (W/m ²)	T ^a sup. Ext. (°C)	T ^a amb. Ext. (°C)	T ^a amb. Int. (°C)	T ^a sup. Int. (°C)	U (W/m ² °C)	U suma (W/m ² °C)	Nº	U media (W/m ² °C)
---------------------------	-----------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	-------------------------	------------------------------	----	-------------------------------

ENSAYO PRIMERO.

Descripción del proceso.

Con el fin de comprender, dominar y controlar el proceso de obtención de la termoflujometría; los instrumentos se van a instalar en un tabique interior que separa dos despachos del edificio administrativo. De esta forma, se suprimen todos los factores exteriores que pueden influir en el proceso como la incidencia directa del sol.

La instalación se hará en un tabique que permita simular las condiciones térmicas requeridas de tal forma que entre los ambientes a ambos lados del tabique la diferencia de temperatura sea como mínimo de 10°C.

Puesto que el profesor José Luis Meana no frecuenta su despacho en unos días; el termoflujómetro se coloca en el tabique que separa el despacho de José Luis Meana y el de Miguel Ángel Padilla. Aprovechando esta situación, el despacho de José Luis simulará las condiciones del ambiente exterior (en dicho momento en el exterior se dan bajas temperaturas y nieblas durante la mañana o durante la mayor parte del día) y el de Miguel Ángel las condiciones propias del ambiente interior.



Ilustración (A.4): Instalación del equipo a ambos lados del tabique interior.

Se trata de un tabique con una subestructura autoportante de perfiles de acero inoxidable a los que se fijan unas placas de yeso laminado; en la cámara interior del tabique se suele colocar lana mineral para aislar acústicamente los espacios; sin embargo, en el proceso de perforación no se detecta ningún resto de material que indique que en el interior haya algún tipo de aislamiento.

Se acondicionan los espacios de tal forma que se cumpla la condición de temperatura citadas con anterioridad. Para ello, por un lado, en el despacho que se comporta como espacio exterior se cierra el radiador y se abre ligeramente la ventana; por el otro lado, en el otro despacho se abre el radiador al máximo y se plantea dejar un calefactor eléctrico durante el fin de semana (cuando se apague la calefacción) para mantener la situación.

Se coloca cada elemento en su lugar. En el despacho con condiciones térmicas exteriores se instalan una sonda de medida de temperatura ambiente y la de temperatura superficial conectándolas al dispositivo que se encuentra en el otro despacho tras hacerlas pasar por un pequeño agujero en el tabique. En el despacho de condiciones térmicas interiores se instala la sonda de temperatura ambiente, la placa base (de tal forma que su centro coincida con la posición de la sonda de medida de temperatura superficial), y se conecta el dispositivo al ordenador y a la red eléctrica.

Tras el programado del proceso, el ensayo comienza el jueves 1 de diciembre de 2016 a las 12:43 horas, se deja funcionando durante 6 días y se finaliza el miércoles 7 de diciembre a las 13:14 horas.

Análisis de resultados.

Los resultados obtenidos en forma de gráfica se muestran más adelante (en la página 127) a continuación se analizarán los resultados en forma de tabla pero haciendo referencia a la gráfica citada.

Los primeros datos que se tienen en cuenta son los registrados 10 minutos después de iniciar el proceso; a las 12:53, dando así un pequeño margen para que las sondas estabilicen la temperatura.

Día y hora de la medición	Flujo térmico (W/m ²)	T ^a sup. Ext. (°C)	T ^a amb. Ext. (°C)	T ^a amb. Int. (°C)	T ^a sup. Int. (°C)	U (W/m ² °C)	U suma (W/m ² °C)	Nº	U media (W/m ² °C)
1/12/2016 12:53	-1	24.31	24.56	26.76	26.22	-0.893	-99.166	60	-1.653

A medida que pasan las horas, los valores de temperatura superficial y temperatura ambiente exteriores van disminuyendo como era de esperar pues al abrirse la ventana del despacho éste va adquiriendo la temperatura del exterior. De esta forma, la diferencia de temperatura entre ambos espacios aumenta progresivamente hasta las 20:00 horas donde esta diferencia es máxima y es de $\Delta T = 5.71^{\circ}\text{C}$. En consecuencia, el flujo térmico también ha aumentado su valor.

Día y hora de la medición	Flujo térmico (W/m ²)	T ^a sup. Ext. (°C)	T ^a amb. Ext. (°C)	T ^a amb. Int. (°C)	T ^a sup. Int. (°C)	U (W/m ² °C)	U suma (W/m ² °C)	Nº	U media (W/m ² °C)
1/12/2016 20:00	-2.4	22.37	21.38	27.09	26.05	-0.661	-1267.848	2625	-0.483

A partir de este momento las temperaturas del espacio exterior continúan bajando pero también empiezan a hacerlo las temperaturas del espacio interior. Esto se debe a que se ha apagado la calefacción del edificio y por lo tanto el despacho interior comienza a perder calor.

Este descenso de las temperaturas se produce hasta el viernes 2 de diciembre a las 7:00 cuando los valores de temperatura interiores comienzan a subir debido a que se ha encendido la calefacción.

Día y hora de la medición	Flujo térmico (W/m ²)	T ^a sup. Ext. (°C)	T ^a amb. Ext. (°C)	T ^a amb. Int. (°C)	T ^a sup. Int. (°C)	U (W/m ² °C)	U suma (W/m ² °C)	Nº	U media (W/m ² °C)
2/12/2016 7:00	-1.8	18.18	16.18	22.93	22.82	-0.276	-1772.371	6041	-0.293

Además de aumentar las temperaturas interiores, a partir de las 7:00, también comienzan a aumentar las exteriores; éstas lo hacen más lentamente y debido a que el espacio que funciona como exterior está rodeado de espacios calefactados.

La temperatura de ambiente interior aumenta hasta estabilizarse a las 11:25 en un valor de 26.79°C. En este momento la diferencia de temperaturas es $\Delta T = 7.58^\circ\text{C}$.

Día y hora de la medición	Flujo térmico (W/m ²)	T ^a sup. Ext. (°C)	T ^a amb. Ext. (°C)	T ^a amb. Int. (°C)	T ^a sup. Int. (°C)	U (W/m ² °C)	U suma (W/m ² °C)	Nº	U media (W/m ² °C)
2/12/2016 11:25	-3.8	20.18	19.21	26.79	25.64	-0.72	-3520.233	7632	-0.461

La temperatura de ambiente interior que se ha estabilizado a las 11:25 se mantiene estable hasta las 21:00 donde comienza a bajar puesto que se ha apagado la calefacción. Respecto a la temperatura de ambiente exterior, desde las 11:25 hasta las 21:00 ha aumentado ligeramente.

Día y hora de la medición	Flujo térmico (W/m ²)	T ^a sup. Ext. (°C)	T ^a amb. Ext. (°C)	T ^a amb. Int. (°C)	T ^a sup. Int. (°C)	U (W/m ² °C)	U suma (W/m ² °C)	Nº	U media (W/m ² °C)
2/12/2016 21:00	-0.7	21.72	20.67	26.41	25.88	-0.15	-5488.043	11082	-0.495

En este momento, a las 21:00 la diferencia de temperatura es de $\Delta T = 5.74^\circ\text{C}$. Y desde entonces, todas las temperaturas comienzan a descender; la temperatura exterior descende influida por las condiciones climatológicas y la temperatura interior descende porque se apaga la calefacción y no hay ninguna otra fuente de calor (se olvida conectar el radiador eléctrico). Por ello ambos espacios están en condiciones climatológicas similares siendo siempre la temperatura exterior algo inferior (unos 4°C) puesto que ese despacho tiene la ventana abierta.

A partir del viernes 2 de diciembre a las 21:00 la escuela permanece cerrada hasta el martes 7 de diciembre a las 7:00. Este periodo incluye el fin de semana y la fiesta del 6 de diciembre. Durante este tiempo los despachos cuentan con condiciones similares y sus temperaturas varían únicamente en relación a las condiciones meteorológicas exteriores. En la tabla siguiente se reflejan los valores máximos y mínimos de las variaciones de temperatura durante estos días.

En la siguiente tabla se observa que durante el periodo no lectivo la temperatura interior permanece bastante constante y la temperatura exterior varía en función de las condiciones exteriores. El valor de transmitancia y el de transmitancia media también permanecen bastante constantes; sin embargo no hay suficiente diferencia de temperatura entre ambas habitaciones por lo que este valor no se considera fiable.

Día y hora de la medición	Flujo térmico (W/m ²)	T ^a sup. Ext. (°C)	T ^a amb. Ext. (°C)	T ^a amb. Int. (°C)	T ^a sup. Int. (°C)	U (W/m ² °C)	U suma (W/m ² °C)	Nº	U media (W/m ² °C)
3/12/2016 11:00	-2.2	17.7	15.73	22.5	22.52	-0.323	-6232.524	15625	-0.399
3/12/2016 17:35	-1.2	19.94	18.9	23.32	23.26	-0.279	-7330.766	17923	-0.409

4/12/2016 5:10	-1.2	18.37	16.92	21.76	21.89	-0.235	-8208.411	22054	-0.372
4/12/2016 17:30	-0.9	19.16	18.2	21.72	21.8	-0.245	-9485.334	26497	-0.358
5/12/2016 8:30	-1.1	17.71	16.1	20.71	20.84	-0.226	-10738.391	31897	-0.337
5/12/2016 17:30	-0.8	18.64	17.68	20.99	21.05	-0.233	-11731.351	34828	-0.337
6/12/2016 9:30	-1.6	15.57	13.48	19.5	19.61	-0.256	-13046.53	40569	-0.322
6/12/2016 23:13	-1.2	15.69	14.2	18.99	19.15	-0.235	-14409.596	45510	-0.317
7/12/2016 7:03	-1.6	14.95	13.24	18.61	18.69	-0.289	-15133.45	48330	-0.313

El miércoles 7 a las 7:00 se considera que se enciende la calefacción y por lo tanto las temperaturas comienzan a subir. El valor del flujo térmico y el de transmitancia comienzan a incrementarse notablemente hasta que dicho día a las 7:51 el valor, de $-3.60288E+16$, se dispara exageradamente.

Día y hora de la medición	Flujo térmico (W/m ²)	T ^a sup. Ext. (°C)	T ^a amb. Ext. (°C)	T ^a amb. Int. (°C)	T ^a sup. Int. (°C)	U (W/m ² °C)	U suma (W/m ² °C)	Nº	U media (W/m ² °C)
7/12/2016 7:30	-4	15.55	16.55	19.86	18.95	-2.685	-15272.896	48491	-0.315
7/12/2016 7:35	-4.6	15.76	17.03	20.12	19.03	-5.055	-15393.505	48521	-0.317
7/12/2016 7:40	-5.1	15.97	17.39	20.31	19.12	-9.444	-15589.475	48552	-0.321
7/12/2016 7:45	-5.3	16.17	17.42	20.64	19.22	-13.947	-16020.538	48581	-0.33
7/12/2016 7:47	-5.6	16.24	17.38	20.73	19.25	-14.359	-16157.81	48591	-0.333
7/12/2016 7:47	-5.8	16.25	17.55	20.78	19.26	-30.526	-16206.773	48593	-0.334
7/12/2016 7:48	-5.9	16.27	17.66	20.8	19.27	-73.75	-16386.446	48596	-0.337
7/12/2016 7:48	-5.9	16.28	17.7	20.83	19.28	-196.667	-16722.875	48599	-0.344
7/12/2016 7:49	-5.8	16.31	17.52	20.89	19.29	-34.118	-16864.847	48603	-0.347
7/12/2016 7:49	-6.1	16.33	17.53	20.92	19.31	-35.882	-17000.729	48606	-0.35
7/12/2016 7:50	-6.1	16.35	7.53	20.95	19.31	-43.571	-17077.633	48608	-0.351
7/12/2016 7:50	-6.2	16.38	17.47	21.03	19.33	-38.75	-17223.059	48612	-0.354
7/12/2016 7:51	-5.9	16.39	17.62	21.06	19.34	-3.6E+16	-3.6E+16	48614	-7.4E+11
7/12/2016 7:51	-6	16.39	17.74	21.04	19.34	60	-3.6E+16	48615	-7.4E+11
7/12/2016 7:52	-6.4	16.43	17.75	21.13	19.37	45.714	-3.6E+16	48622	-7.4E+11
7/12/2016 7:53	-6.5	16.48	17.85	21.22	19.4	24.074	-3.6E+16	48628	-7.4E+11
7/12/2016 7:54	-6.5	16.55	18.22	21.23	19.42	10.656	-3.6E+16	48633	-7.4E+11

7/12/2016 7:55	-6.7	16.66	18.56	21.22	19.46	7.791	-3.6E+16	48641	-7.4E+11
7/12/2016 8:00	-7.6	16.96	18.91	21.41	19.6	6.786	-3.6E+16	48668	-7.4E+11
7/12/2016 8:05	-8.1	17.25	19.21	21.69	19.77	5.956	-3.6E+16	48699	-7.3E+11
7/12/2016 8:15	-8.4	17.69	19.77	22.11	20.06	4.773	-3.6E+16	48757	-7.3E+11
7/12/2016 8:30	-8.1	18.36	20.14	22.61	20.51	4.682	-3.6E+16	48850	-7.3E+11
7/12/2016 9:00	-6.4	18.92	20.17	23.36	21.18	5.47	-3.6E+16	49028	-7.3E+11
7/12/2016 9:30	-5.8	19.45	20.65	23.84	21.75	5.859	-3.6E+16	49208	-7.3E+11
7/12/2016 11:00	-3.6	20.87	21.97	24.52	22.92	5.538	-3.6E+16	49749	-7.2E+11
7/12/2016 13:00	-1.7	21.53	22.23	24.75	23.6	-7.727	-2.7E+16	50469	-5.3E+11
7/12/2016 13:14	-2.2	21.6	22.23	24.68	23.64	-5.946	-2.7E+16	50553	-5.3E+11

En la tabla anterior se reflejan los datos más significantes, considerándose los que más varían respecto al resto. En este periodo de 7:30 a 13:14, las temperaturas interiores y exteriores han ido aumentando progresivamente, aunque la temperatura de ambiente exterior ha aumentado más rápidamente alcanzando casi al valor de temperatura ambiente interna. Este hecho puede deberse a que el equipo de limpieza al entrar al despacho a primera hora haya cerrado la ventana y abierto el radiador.

En cuanto al valor de transmitancia U, a partir de las 7:30 del miércoles 7 ha ido aumentando rápidamente con un punto de inflexión a las 7:48 a partir del cual el valor comienza a disminuir también rápidamente hasta que a las 7:51 el valor de U se dispara exageradamente alcanzado el valor de $-3.60288E+16$. A partir de este punto el valor de U comienza a descender hasta mantenerse en valores aproximados de entre 4 y 7; valores todavía bastante superiores a los que se han medido antes de este extraño valor producido a las 7:51.

Como se describió anteriormente, el valor de transmitancia media en un punto se obtiene sumando los valores de transmitancia hasta ese punto y dividiendo entre el número de valores existentes hasta el mismo. Debido a este proceso, el valor de transmitancia que se ha despuntado se ha ido arrastrando afectando al valor de transmitancia media final.

Se desconocen las causas por las que se ha producido este error en el proceso; podría considerarse como válido el valor de transmitancia media hasta ese punto pero no se considera válido porque en ningún momento se ha cumplido la condición de que $\Delta T > 10^{\circ}\text{C}$.

Puesto que no es un proceso viable se decide repetir de nuevo el ensayo tratando de evitar que se repita de nuevo esa anomalía y asegurando esta vez una diferencia de temperatura entre los espacios superior a 10°C .

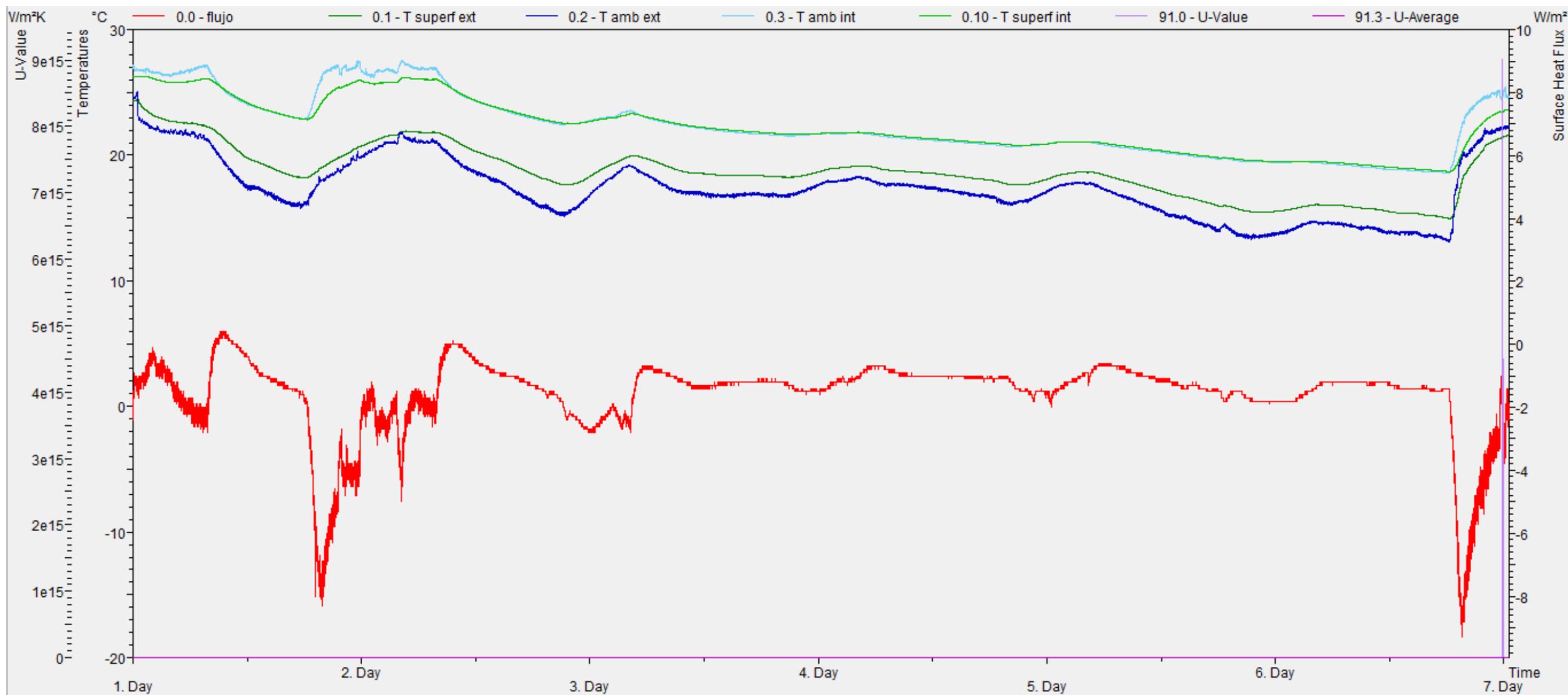


Ilustración (A.5): Gráfica de valores registrados en el ensayo 1.

ENSAYO SEGUNDO

Descripción del proceso.

Se vuelve a poner en marcha la instalación en el mismo tabique intentando conseguir que las condiciones térmicas simuladas sean las adecuadas; es decir, se intentará cumplir el salto térmico necesario entre ambos espacios.

El ensayo comienza el miércoles 7 de diciembre de 2016 a las 13:53. En ese momento se sube notablemente la temperatura del despacho que funciona como espacio interior manteniendo el radiador abierto y conectando un calefactor eléctrico. En el otro escenario se mantiene abierta la ventana del despacho favoreciendo una mayor diferencia de temperatura entre espacios que en el caso anterior.

Es necesario tener en cuenta a la hora de analizar los resultados una serie de sucesos. El día jueves 8 de diciembre es el día de la Inmaculada por lo tanto la escuela permanece cerrada. El día viernes 9 de diciembre cuando Miguel Ángel llega a las 8:00 de la mañana a su despacho (condiciones de espacio interior) la temperatura del despacho es de 45°C y la diferencia de temperatura entre ambos despachos es de 28°C. Se cierra el radiador y se apaga el calefactor eléctrico del ambiente interior puesto que el espacio no es habitable. A partir de este momento la diferencia de temperatura entre ambos despachos va disminuyendo progresivamente hasta alcanzar una diferencia de temperatura de 6°C cuando en el ambiente interior se estabiliza la temperatura a 20°C y en el ambiente exterior se mantiene una temperatura de 15°C. Tras continuar en funcionamiento durante el fin de semana, el ensayo finaliza el lunes 12 de diciembre a las 9:29 horas.

Análisis de resultados.

El proceso de medida se inicia el miércoles 7 de diciembre a las 13:53. A continuación se muestran los primeros datos registrados y los valores 20 minutos después cuando se considera que las sondas se han estabilizado.

Día y hora de la medición	Flujo térmico (W/m ²)	T ^a sup. Ext. (°C)	T ^a amb. Ext. (°C)	T ^a amb. Int. (°C)	T ^a sup. Int. (°C)	U (W/m ² °C)	U suma (W/m ² °C)	Nº	U media (W/m ² °C)
7/12/2016 13:53	-15.7	20.69	19.6	29.21	24.99	-13.419	-13.419	1	-13.419
7/12/2016 14:08	-23.8	20.38	19.1	33.45	26.41	-88.148	-4516.358	96	-47.045

Como se puede observar, a las 14:08 la diferencia de temperatura entre ambos ambientes es superior a 10°C; $\Delta T = 14.35^\circ\text{C} > 10^\circ\text{C}$.

A partir de este momento, la temperatura ambiente exterior se mantiene constante y la temperatura ambiente interior comienza a subir debido a la presencia de la calefacción y del calefactor eléctrico.

Esta temperatura ambiente interior continúa aumentando a la vez que la temperatura exterior se mantiene constante hasta las 17:53.

Día y hora de la medición	Flujo térmico (W/m ²)	T ^a sup. Ext. (°C)	T ^a amb. Ext. (°C)	T ^a amb. Int. (°C)	T ^a sup. Int. (°C)	U (W/m ² °C)	U suma (W/m ² °C)	Nº	U media (W/m ² °C)
7/12/2016 17:53	-10.8	20.08	18.9	39.74	34.11	-1.127	-11144.08	1446	-7.707

En este momento, la diferencia de temperatura entre ambos ambientes ha aumentado considerablemente hasta obtener el valor de $\Delta T = 20.84^{\circ}\text{C}$. En cambio, el flujo térmico ha disminuido su valor y se ha reducido más de la mitad. Respecto al valor de la transmitancia, a las 17:53 el valor es considerablemente inferior que a las 14:08.

A partir de las 17:53 la temperatura interior continúa subiendo a causa de la presencia del calefactor eléctrico y la temperatura exterior comienza a bajar influida por las condiciones meteorológicas exteriores.

Esta temperatura de ambiente interior continúa subiendo hasta las 1:42 de la mañana del jueves 8 de diciembre cuando se estabiliza en valores en torno a los 40°C .

Día y hora de la medición	Flujo térmico (W/m ²)	T ^a sup. Ext. (°C)	T ^a amb. Ext. (°C)	T ^a amb. Int. (°C)	T ^a sup. Int. (°C)	U (W/m ² °C)	U suma (W/m ² °C)	Nº	U media (W/m ² °C)
8/12/2016 1:42	-8.5	18.15	15.36	40.77	35.83	-0.547	-13339.788	4261	-3.131

Puesto que en este momento el espacio interior únicamente cuenta con la energía calorífica del calefactor, la temperatura interior se mantiene constante y la temperatura exterior continúa descendiendo puesto que las condiciones meteorológicas exteriores son más extremas.

Día y hora de la medición	Flujo térmico (W/m ²)	T ^a sup. Ext. (°C)	T ^a amb. Ext. (°C)	T ^a amb. Int. (°C)	T ^a sup. Int. (°C)	U (W/m ² °C)	U suma (W/m ² °C)	Nº	U media (W/m ² °C)
8/12/2016 6:59	-12.3	16.87	13.8	40.76	35.94	-0.71	-14439.05	6163	-2.343

A la vista de estos datos, con una diferencia de temperatura entre ambientes de $\Delta T = 26.96^{\circ}\text{C}$ la transmitancia es de $U = -0.71$

El jueves 8 de diciembre es festivo y por lo tanto la escuela no está abierta; así las condiciones se mantienen; el espacio exterior mantiene la ventana abierta y el espacio interior únicamente cuenta con el calefactor como fuente de energía. Por ello, las únicas variaciones de temperatura que se producen a partir de este momento son las causadas por las condiciones meteorológicas externas.

A partir de las 6:59 tanto la temperatura ambiente interior como la exterior comienzan a aumentar; hasta las 11:28 de la mañana cuando la temperatura interior se estabiliza en torno a los 45°C, cifra muy elevada.

Día y hora de la medición	Flujo térmico (W/m ²)	T ^a sup. Ext. (°C)	T ^a amb. Ext. (°C)	T ^a amb. Int. (°C)	T ^a sup. Int. (°C)	U (W/m ² °C)	U suma (W/m ² °C)	Nº	U media (W/m ² °C)
8/12/2016 11:28	-12.1	18.88	17	45	39.43	-0.718	-15789.94	7773	-2.031

En este momento, las 11:28 del jueves 8 de diciembre, la diferencia de temperatura es de casi 30°C y el valor de la transmitancia U = -0.718.

Alrededor de las 17:35 se produce un punto de inflexión en la temperatura exterior, ésta ha llegado a su máximo valor y a partir de aquí comienza a descender. Respecto a la temperatura interior, a partir de este momento ésta comienza a descender ligeramente

Día y hora de la medición	Flujo térmico (W/m ²)	T ^a sup. Ext. (°C)	T ^a amb. Ext. (°C)	T ^a amb. Int. (°C)	T ^a sup. Int. (°C)	U (W/m ² °C)	U suma (W/m ² °C)	Nº	U media (W/m ² °C)
8/12/2016 17:35	-9.2	21.53	20.11	45.69	40.91	-0.574	-17394.718	9975	-1.744

Dado que las condiciones meteorológicas exteriores son que empieza a descender la temperatura; la temperatura ambiente exterior continúa descendiendo y la temperatura interior se mantiene hasta las 21:41.

Día y hora de la medición	Flujo térmico (W/m ²)	T ^a sup. Ext. (°C)	T ^a amb. Ext. (°C)	T ^a amb. Int. (°C)	T ^a sup. Int. (°C)	U (W/m ² °C)	U suma (W/m ² °C)	Nº	U media (W/m ² °C)
8/12/2016 21:41	-9.1	20.64	18.02	45.43	10.96	-0.496	-18340.64	11451	-1.602

A partir de las 21:41 ambas temperaturas comienzan a descender aunque la temperatura interior más lentamente puesto que cuenta con el apoyo del calefactor eléctrico.

$$\Delta T = 27.41^{\circ}\text{C} \quad U = -0.496$$

A las 7:00 del viernes 9 de diciembre la escuela vuelve a abrir y de nuevo se enciende la calefacción lo que hace que vuelvan a variar los factores que influyen en las variaciones de temperatura. Esto es, la calefacción junto con unas condiciones meteorológicas exteriores favorables provocan que tanto la temperatura ambiente exterior como interior comiencen a subir.

Día y hora de la medición	Flujo térmico (W/m ²)	T ^a sup. Ext. (°C)	T ^a amb. Ext. (°C)	T ^a amb. Int. (°C)	T ^a sup. Int. (°C)	U (W/m ² °C)	U suma (W/m ² °C)	Nº	U media (W/m ² °C)
9/12/2016 7:00	-9.5	17.3	13.51	43.49	39.27	-0.441	-20057.25	14805	-1.355

$$\Delta T = 29.98^{\circ}\text{C} \quad U = -0.441$$

El viernes 9 de diciembre cuando Miguel Ángel llega al despacho se encuentra con que la temperatura ambiente interior es de 45°C. Puesto que es un valor muy elevado y el despacho no es habitable se cierra el radiador y se apaga el calefactor. Lo que esto va a suponer es que la diferencia de temperatura entre los ambientes comience a ser menor pudiendo comparar los valores de transmitancia con diferencias de temperatura altas y bajas.

Día y hora de la medición	Flujo térmico (W/m ²)	T ^a sup. Ext. (°C)	T ^a amb. Ext. (°C)	T ^a amb. Int. (°C)	T ^a sup. Int. (°C)	U (W/m ² °C)	U suma (W/m ² °C)	Nº	U media (W/m ² °C)
9/12/2016 8:01	-12.9	18.01	17.61	45	39.55	-0.782	-20279.80	15173	-0.337

De las 8:01 en adelante, la temperatura ambiente interior comienza a descender y la temperatura ambiente exterior continúa subiendo.

Cabe hacer un inciso a las 14:12 donde la diferencia de temperatura entre ambos despachos ha descendido hasta $\Delta T = 10^{\circ}\text{C}$ y el valor de transmitancia se ha mantenido en $U = -0.436$.

Día y hora de la medición	Flujo térmico (W/m ²)	T ^a sup. Ext. (°C)	T ^a amb. Ext. (°C)	T ^a amb. Int. (°C)	T ^a sup. Int. (°C)	U (W/m ² °C)	U suma (W/m ² °C)	Nº	U media (W/m ² °C)
9/12/2016 14:42	-4.1	20.26	19.61	29.69	29.35	-0.436	-20449.70	17467	-1.171

A partir de las 17:10 las temperaturas comienzan a descender de nuevo, aunque la temperatura interior lo hace más lentamente que la exterior.

Día y hora de la medición	Flujo térmico (W/m ²)	T ^a sup. Ext. (°C)	T ^a amb. Ext. (°C)	T ^a amb. Int. (°C)	T ^a sup. Int. (°C)	U (W/m ² °C)	U suma (W/m ² °C)	Nº	U media (W/m ² °C)
9/12/2016 17:10	-4.3	21.55	21.3	30	29.52	-0.556	-20893.13	18346	-1.139

Ambas temperaturas continúan descendiendo hasta las 9:20 del sábado 10 de diciembre.

Día y hora de la medición	Flujo térmico (W/m ²)	T ^a sup. Ext. (°C)	T ^a amb. Ext. (°C)	T ^a amb. Int. (°C)	T ^a sup. Int. (°C)	U (W/m ² °C)	U suma (W/m ² °C)	Nº	U media (W/m ² °C)
10/12/2016 9:20	-3.1	14.95	11.6	23.45	23.69	-0.251	-22200.56	24165	-0.919

En este punto, $\Delta T = 11.85^{\circ}\text{C}$ y el valor de transmitancia es $U = -0.251$.

A partir de este momento la temperatura exterior comienza a ascender y la temperatura interior tiene un punto de inflexión a partir del cual el valor de la temperatura comienza a subir ligeramente.

Esta situación se mantiene hasta las 17:35 del mismo día, cuando las temperaturas tanto interior como exterior alcanzan sus máximos valores del día.

Día y hora de la medición	Flujo térmico (W/m ²)	T ^a sup. Ext. (°C)	T ^a amb. Ext. (°C)	T ^a amb. Int. (°C)	T ^a sup. Int. (°C)	U (W/m ² °C)	U suma (W/m ² °C)	Nº	U media (W/m ² °C)
10/12/2016 17:35	-2.3	17.25	15.11	23.8	23.78	-0.266	-23278.56	27104	-0.859

En este momento se observa que la diferencia de temperaturas entre ambientes es inferior a 10°C y el valor de transmitancia es de $U = -0.266$.

A partir de aquí los valores de temperatura comienzan a descender y lo hacen a la par, manteniéndose la diferencia de temperatura entre ambos entre 9 y 10°C con valores de transmitancia $U = -0.234$ hasta el día siguiente; domingo 11 de diciembre.

Día y hora de la medición	Flujo térmico (W/m ²)	T ^a sup. Ext. (°C)	T ^a amb. Ext. (°C)	T ^a amb. Int. (°C)	T ^a sup. Int. (°C)	U (W/m ² °C)	U suma (W/m ² °C)	Nº	U media (W/m ² °C)
11/12/2016 11:30	-2.9	14.27	11.98	20.81	20.84	-0.326	-24932.79	22543	-0.743

A partir de las 11:30 y hasta las 18:00 del mismo día donde las condiciones climatológicas externas son menos extremas, las temperaturas aumentan ligeramente su valor.

Día y hora de la medición	Flujo térmico (W/m ²)	T ^a sup. Ext. (°C)	T ^a amb. Ext. (°C)	T ^a amb. Int. (°C)	T ^a sup. Int. (°C)	U (W/m ² °C)	U suma (W/m ² °C)	Nº	U media (W/m ² °C)
11/12/2016 18:00	-1.6	15.91	14.19	21.01	21.1	-0.229	-25729.64	35699	-0.721

A partir del domingo 11 de diciembre a las 18:00 las temperaturas comienzan a descender hasta el día siguiente, lunes 12 de diciembre a las 9:15. Se observa que en el periodo de 9:15 a 9:23 la temperatura interior sube 4°C sin ningún motivo aparente y el valor de U asciende también considerablemente.

Día y hora de la medición	Flujo térmico (W/m ²)	T ^a sup. Ext. (°C)	T ^a amb. Ext. (°C)	T ^a amb. Int. (°C)	T ^a sup. Int. (°C)	U (W/m ² °C)	U suma (W/m ² °C)	Nº	U media (W/m ² °C)
12/12/2016 9:15	-7.7	14.16	12.23	20.82	19.7	-1.213	-27131.76	41186	-0.659
12/12/2016 9:23	-15.6	14.19	12.24	25.25	20.72	-3.949	-27304.86	41238	-0.662

El proceso se detiene el lunes 12 de diciembre a las 9:29.

Día y hora de la medición	Flujo térmico (W/m ²)	T ^a sup. Ext. (°C)	T ^a amb. Ext. (°C)	T ^a amb. Int. (°C)	T ^a sup. Int. (°C)	U (W/m ² °C)	U suma (W/m ² °C)	Nº	U media (W/m ² °C)
12/12/2016 9:29	-11.7	14.23	12.57	23.97	20.95	-2.183	-27424.64	41270	-0.665

En la página siguiente se muestran todos estos resultados en forma de gráfica de tal manera que todo lo dicho hasta este punto se comprende mejor con un golpe de vista a la gráfica.

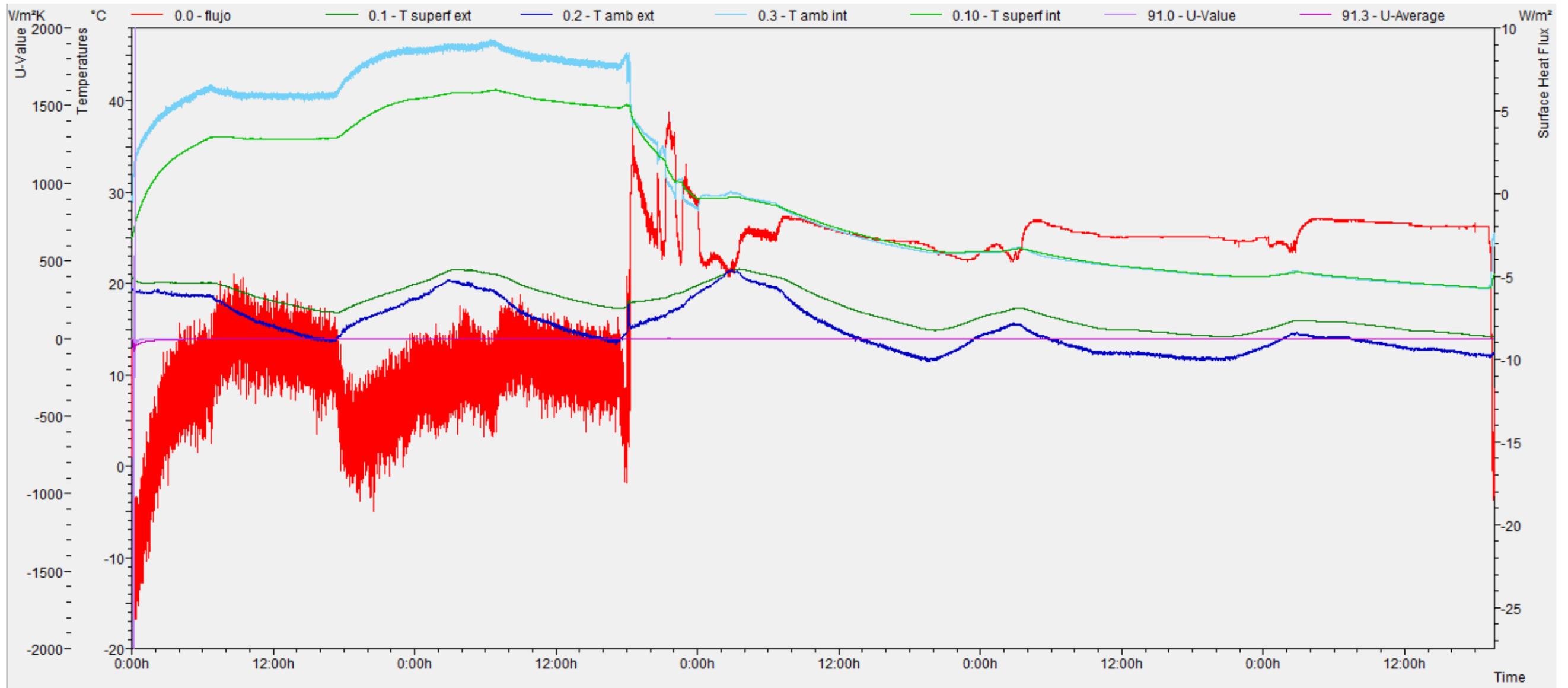


Ilustración (A.6): Gráfica de resultados del ensayo 2.

Conclusiones:

En esta segunda ocasión, se ha conseguido aumentar ese salto térmico; pero además se han registrado datos en condiciones de temperatura muy diversas lo que permite obtener valores de transmitancia medida para cada una de las distintas situaciones. Manipulando los valores en la tabla Excel, se obtiene el valor de transmitancia media en función de los valores obtenidos a partir de diferentes rangos de temperatura.

Anteriormente se ha mostrado las fórmulas que emplea el software para calcular los valores de transmitancia. Para eliminar la opción de que el programa obtenga los valores de transmitancia de forma errónea se parte de los valores obtenidos de flujo, temperatura superficial exterior, temperatura ambiente exterior, temperatura ambiente interior y temperatura superficial interior y se calcula personalmente la transmitancia a partir de las fórmulas.

El resultado de este proceso es que los valores de transmitancia puntual obtenidos mediante el método del Código Técnico son los mismos que el programa daba como soluciones aplicando las fórmulas internas. Por lo tanto se descarta la posibilidad de que haya un error con el propio software a la hora de manipular los registros para calcular el resultado.

Así pues, se trabaja con los valores de transmitancia y de temperaturas del archivo Excel. Como se ha comentado antes, hay una gran cantidad de valores tomados en diferentes rangos de temperatura. Como se conoce que la diferencia de temperatura entre ambos espacios influye en la veracidad del resultado, a la hora de calcular el valor promedio se introduce como restricción un rango de salto térmico determinado. Los resultados se muestran en la tabla siguiente:

Δ Temperatura	10 < ΔT < 30	10 < ΔT < 25	10 < ΔT < 20	10 < ΔT < 15	5 < ΔT < 15	ΔT < 10
Transmitancia	-0,98261585	-1,29720108	-1,55874813	-1,20336838	-0,5283706	-0.301191

Tabla (A.1): Valores de transmitancia en función de la diferencia de temperatura. Ensayo 2.

A la vista de los resultados de la tabla anterior, el valor de transmitancia varía notablemente en función del rango de temperatura que tomemos como referencia. Puesto que se conoce la composición del tabique, se calcula la transmitancia según las fórmulas del Código Técnico. Posteriormente se compararán ambas tablas para conocer cuál es el rango de temperatura con el que se obtiene el valor de transmitancia considerado real. Las fórmulas empleadas son las siguientes:

$$U = \frac{1}{R_t}$$

$$R_t = R_{si} + R_{t1} + \dots + R_{tn} + R_{se}$$

$$R_t = \frac{\text{espesor}}{\text{conductividad}}$$

Ecuación (A.2): Valor de transmitancia según CTE.

Dónde:

U el valor de transmitancia [$W/m^2\text{°C}$]

R_t la resistencia térmica [$m^2\text{°C}/W$]

R_{si} la resistencia superficial interior

R_{se} la resistencia superficial exterior

No se conoce la composición exacta del tabique ni el efecto que tendrían las condiciones climáticas exteriores en relación a la resistencia superficial exterior. Por ello se aplican las fórmulas del código técnico variando esos parámetros.

Opción 1;

Tabique con subestructura autoportante de acero galvanizado con cámara de aire de 7cm y acabado de placas de yeso laminado.

Las resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior en m^2K/W son, para cerramientos verticales y flujo horizontal, de 0.04 la resistencia exterior y 0.13 la resistencia interior.

La conductividad de una placa de yeso laminado es de 0.25W/mK. [38]

La resistencia de una cámara de aire de 10cm sin ventilar es de 0.19 m^2K/W .

$$U = \frac{1}{0.04 + \frac{0.025}{0.25} + 0.19 + \frac{0.025}{0.25} + 0.13} = 1.79 W/m^2K$$

Opción 2;

En este caso se considera la resistencia térmica superficial exterior igual que la interior debido a la ausencia de los factores exteriores que se producirían en la cara exterior del cerramiento, como corrientes de aire, que en el tabique no se han producido. Las resistencias térmicas superficiales son de 0.13 m^2K/W para ambos casos.

La conductividad de una placa de yeso laminado es de 0.25 W/mK.

La resistencia de una cámara de aire de 10cm sin ventilar es de 0.19 m^2K/W .

$$U = \frac{1}{0.13 + \frac{0.025}{0.25} + 0.19 + \frac{0.025}{0.25} + 0.13} = 1.54 W/m^2K$$

Opción 3;

Tabique con subestructura autoportante de acero galvanizado con cámara de lana mineral de 7cm y acabado de placas de yeso laminado.

Para la lana mineral (densidad 0.04 W/mk) se considera una conductividad de 0.041 W/mK.

$$U = \frac{1}{0.13 + \frac{0.025}{0.25} + \frac{0.07}{0.041} + \frac{0.025}{0.25} + 0.13} = 0.46 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Opción 4;

Tabique con subestructura autoportante de acero galvanizado con cámara de aire de 4.8 cm y acabado de placas de yeso laminado.

Las resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior en m²K/W son, para cerramientos verticales y flujo horizontal de, 0.04 la resistencia exterior y 0.13 la resistencia interior.

La conductividad de una placa de yeso laminado es de 0.25 W/mK.

La resistencia de una cámara de aire de 5cm sin ventilar es de 0.18 m²K/W

$$U = \frac{1}{0.04 + \frac{0.025}{0.25} + 0.18 + \frac{0.025}{0.25} + 0.13} = 1.82 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Opción 5;

En este caso se considera de nuevo la resistencia térmica superficial exterior igual que la interior. Las resistencias térmicas superficiales, por lo tanto, son 0.13 m²K/W para ambos casos.

La conductividad de una placa de yeso laminado es de 0.25 W/mK.

La resistencia de una cámara de aire de 5 cm sin ventilar es de 0.18 m²K/W.

$$U = \frac{1}{0.13 + \frac{0.025}{0.25} + 0.18 + \frac{0.025}{0.25} + 0.13} = 1.56 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Opción 6;

Tabique con subestructura autoportante de acero galvanizado con cámara de lana mineral de 4.8 cm y acabado de placas de yeso laminado.

La lana mineral (se considera de densidad 0.04W/mK) conductividad 0.041 W/mK.

$$U = \frac{1}{0.13 + \frac{0.025}{0.25} + \frac{0.048}{0.041} + \frac{0.025}{0.25} + 0.13} = 0.61 \text{ W/m}^2\text{K}$$

En la siguiente tabla se resumen de datos obtenidos en los seis casos anteriores:

Tabique	Cámara		Rsi 0.13 y Rse 0.04	Rsi y Rse 0.13
Subestructura autoportante de perfiles con cámara interior y acabado de placas de yeso laminado	Aire	4.8 cm	1.82	1.56
		10 cm	1.79	1.54
	Lana mineral	4.8 cm	-	0.61
		10 cm	-	0.46

Tabla (A.2): Resumen resultados de transmitancia según tipo de tabique. Ensayo 2.

A continuación, se procede a comparar la tabla anterior con la tabla (A.1) que mostraba los valores de transmitancia obtenidos por el termoflujómetro. Se observa una gran similitud entre el valor de transmitancia calculado para un rango de temperaturas de entre 10°C y 20°C y los valores obtenidos a partir de las fórmulas del Código Técnico de Edificación cuando el tabique no tiene aislamiento en su interior y las resistencias superficiales se consideran la misma.

Los valores que ofrece el código técnico para la resistencia térmica de una cámara de aire difieren en el espesor de esa cámara. El valor obtenido con el ensayo, 1.5587 W/m²K, es un valor que se encuentra entre los obtenidos por el CTE para una cámara de aire de 4.8 cm y 10 cm; por lo tanto se considera que la cámara de aire del tabique debe ser de un espesor intermedio. Teniendo en cuenta las medidas comerciales de los perfiles de acero galvanizado que sostienen el tabique, se puede afirmar que la cámara de aire del tabique es de 7cm y que el valor de transmitancia obtenido con los valores registrados por el termoflujómetro es válido.

En resumen, a la vista de estos resultados se puede determinar que el tabique estudiado está compuesto por una cámara de aire de 7cm. Además, se considera acertado haber considerado la resistencia superficial exterior como la interior por no estar el tabique totalmente expuesto a las condiciones exteriores; únicamente está sometido a las condiciones de temperatura.

Una vez acotados los valores de transmitancia según el tipo de tabique se concluye que el valor obtenido con el termoflujómetro que más se aproxima es el dado para una variación de temperatura de entre 10 y 20°C. Por lo tanto, se deduce que para que el valor de transmitancia obtenido por la termoflujometría sea fiable y preciso; la diferencia de temperatura entre

ambos ambientes debe ser, como ya se conocía, superior a 10°C y además se estima que debe ser inferior a 20°C.

Sin embargo, contra todo pronóstico, al reflejar los valores de transmitancia en función de la diferencia de temperatura entre ambientes para un rango de temperaturas de un grado centígrado el resultado descoloca todas las conclusiones sacadas hasta este punto.

La línea representada en la gráfica se esperaba que fuera más amable y que oscilara de manera constante entorno al valor de transmitancia media obtenido. Sin embargo, se ve que hay un valor extraño, el valor para $14 \leq \Delta T < 15$, además de diferir enormemente en valor, éste tiene signo contrario al resto.

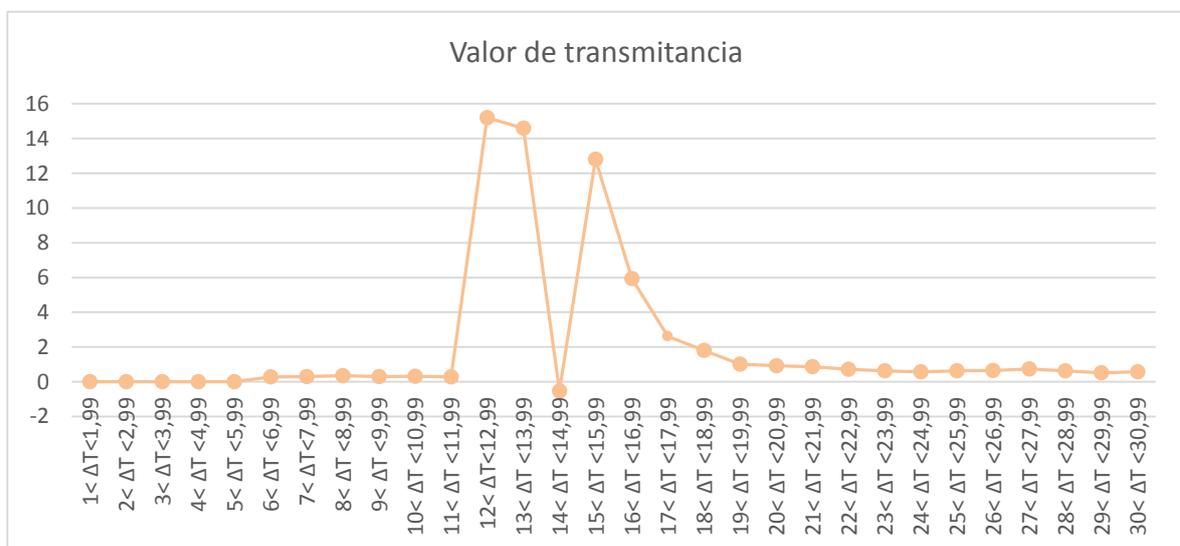


Ilustración (A.7): Valor de transmitancia según salto térmico. Ensayo 2.

Se detecta el problema en el número de mediciones empleadas a la hora de calcular ese valor de transmitancia media. Esto es, el número de mediciones registradas para esa diferencia de temperatura de entre 14 y 15 grados centígrados es muy inferior al disponible para el resto de situaciones. Por lo tanto, se acusa el problema a la insuficiencia de registros dentro de ese rango de temperaturas.

De igual modo, si ese valor no se considerara válido y no se incluyera en la media aritmética del valor de transmitancia para una diferencia de temperatura de entre 10°C y 20°C, el valor ya no coincidiría con el obtenido mediante las fórmulas de Código Técnico de Edificación.

Finalmente, no se considera válido el resultado por esta razón. Independientemente del resultado, se considera este ejemplo productivo y se tendrán en cuenta las pautas seguidas y los criterios aplicados en los siguientes ensayos.

ENSAYO 3

Descripción del proceso.

En este caso, se estudia un ensayo ya realizado anteriormente por el departamento de instalaciones en otro cerramiento y en otras condiciones. El objetivo de este análisis es permitir conocer mejor el criterio que hay que tomar a la hora de decidir, de entre todos los valores registrados, cuáles son los válidos para calcular el valor de transmitancia media.

El ensayo se realizó en el muro de hormigón armado del laboratorio de instalaciones localizado en el semisótano del edificio docente. Comenzó el martes 19 de enero de 2016 a las 11:43 y finalizó el martes 9 de febrero de 2016 a las 14:59.

Análisis de resultados.

Los valores de temperatura varían únicamente según las condiciones exteriores atmosféricas y según los periodos de calefacción de la escuela. Tras un estudio de los valores registrados por el termoflujómetro, no se detecta ninguna alteración de dichos valores de temperatura a expensas de las condiciones térmicas exteriores o interiores. Sin embargo, para estos valores similares de temperatura se producen valores muy diferentes y extremos de transmitancia. El primer punto en el que se produce esta anomalía es el domingo 24 de enero a partir de las 13 horas.

Día y hora de la medición	Flujo térmico (W/m ²)	T ^a sup. Ext. (°C)	T ^a amb. Ext. (°C)	T ^a amb. Int. (°C)	T ^a sup. Int. (°C)	U (W/m ² °C)	U suma (W/m ² °C)	Nº	U media (W/m ² °C)
24/01/2016 13:12	-15.1	12.91	12.17	19.94	16.81	-10	-214167.43	43722	-4.899
24/01/2016 13:14	-15.2	12.9	13.51	19.93	16.81	-84.444	-214582.05	43738	-4.906
24/01/2016 13:21	-15.5	16.24	13.74	19.93	16.79	172.222	-217197.96	43778	-4.962

En la tabla anterior se reflejan 3 mediciones del domingo 24 donde los valores de transmitancia varían notablemente, incluso llegando a cambiar el signo. Los registros son del mismo día y con unos minutos de diferencia; los valores de flujo y temperatura son muy similares a excepción del valor de temperatura superficial exterior. La diferencia de temperatura entre los dos últimos registros es de más de 3°C y se produce durante un periodo de 7 minutos. El valor de temperatura ambiente exterior lo registra la placa base; por lo que esta anomalía entre los dos últimos registros puede explicarse porque algo alteró la placa base como pudo haber sido un rayo de sol.

Sin embargo, los valores de transmitancia son tan diferentes para unos valores similares de temperatura que se indaga un poco más en ello. A partir de los valores de flujo y temperaturas de la tabla, se calcula el valor de transmitancia; este cálculo se realiza a mano, con una calculadora, y aplicando las mismas fórmulas que aplica el software. El resultado obtenido en cada caso difiere enormemente dependiendo de la cantidad de decimales que se

tengan en cuenta a la hora de hacer los cálculos. La diferencia en el resultado es tan grande que por ejemplo, en el tercer registro de la tabla, si se tienen en cuenta todos los decimales resultantes de cada operación la calculadora no es capaz de resolverlo, el resultado que refleja es *Math ERROR*; y a medida que esos números se redondean y se consideran menos decimales el valor va disminuyendo de manera radical.

Lo que esos resultados implican es que hay una gran sensibilidad a la cantidad de decimales considerados. Es muy difícil determinar un criterio de decimales que faciliten hallar el resultado válido.

En los días siguientes continúan apareciendo valores irreales que destacan por encima de los demás. Esto ocurre el domingo siguiente, 31 de enero, sobre las 13 horas; y lo mismo sucede el sábado 6 y domingo 7 de febrero.

Día y hora de la medición	Flujo térmico (W/m ²)	T ^a sup. Ext. (°C)	T ^a amb. Ext. (°C)	T ^a amb. Int. (°C)	T ^a sup. Int. (°C)	U (W/m ² °C)	U suma (W/m ² °C)	Nº	U media (W/m ² °C)
24/01/2016 13:21	-15.9	16.17	13.65	19.93	16.79	9.1E+15	9.1E+15	43779	2.1E+11
31/01/2016 13:24	-21.2	11.52	10.79	19.43	15.14	-353.333	4.6E+16	104270	-4.4E+11
7/02/2016 15:20	-23.3	10.34	9.22	18.99	14.14	-332.857	3.5E+16	165415	2.1E+11

Está claro que estos valores no son reales ni fiables y hay que descartarlos a la hora de calcular el valor de transmitancia media. Sin embargo, el problema es establecer un criterio que permita decidir dónde está el límite entre los valores fiables y los no fiables. Como no se puede determinar matemáticamente qué valor representa ese límite entre los valores válidos y los que no lo que se hace es eliminar todos los registros del día en el que se han producido esas irregularidades.

Puesto que en el gráfico general, Ilustración (A.10) en la página 151, no se distingue claramente cuáles son los días en los que se ha producido un error; se crea el gráfico inferior.

En el gráfico siguiente se representa el valor de transmitancia a lo largo del tiempo en función de la diferencia de temperatura entre ambientes a una escala muy pequeña, ahora sí, se ven directamente los días en los que se ha producido un fallo y se eliminan los registros de cada uno de esos días; se eliminan todos los registros tomados los días: 24, 31, 6 y 7.

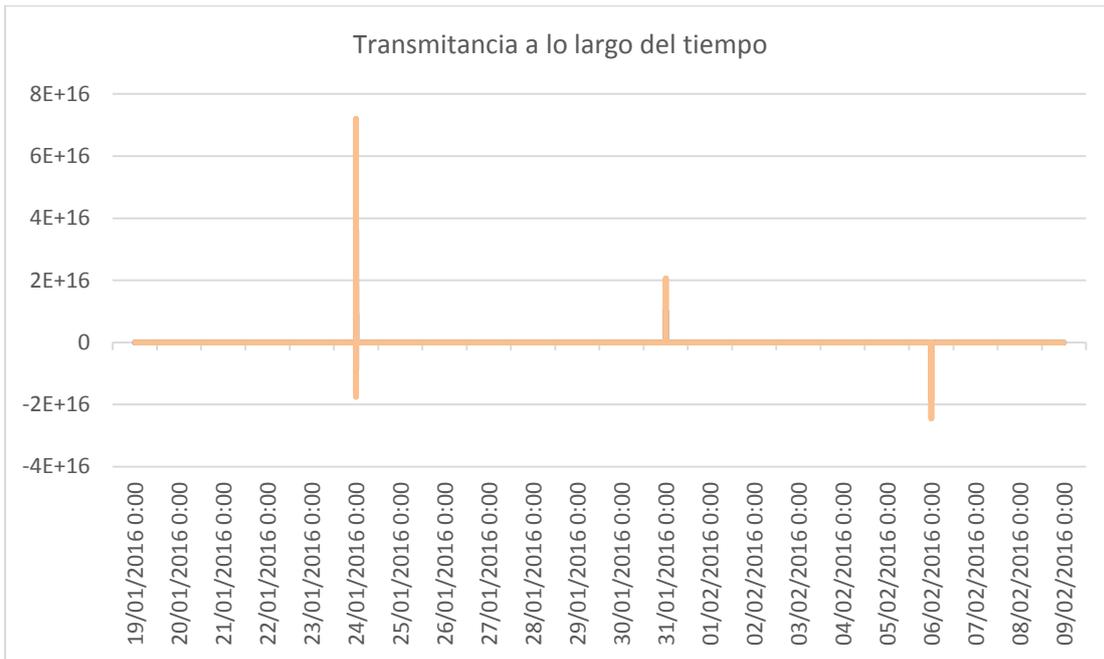


Ilustración (A.8): Transmitancia a lo largo del tiempo. Ensayo 3.

Una vez eliminados los registros que no se consideran válidos se procede a calcular el valor de transmitancia a partir del resto de valores. Dada la conciencia que se ha adquirido respecto a la importancia que tiene el rango de temperatura en que se recoge cada valor; se calcula la transmitancia para cada rango de temperatura. En este caso el rango de temperatura es de 1°C.

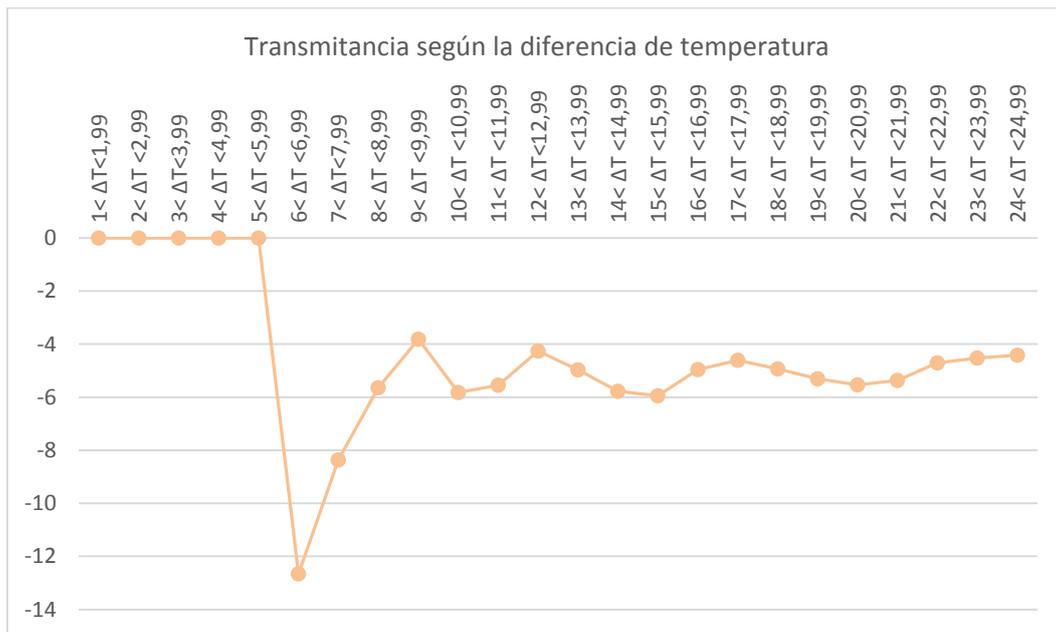


Ilustración (A.9): Valores de transmitancia según el salto térmico. Ensayo 3.

$5 \leq \Delta T < 6$	$6 \leq \Delta T < 7$	$7 \leq \Delta T < 8$	$8 \leq \Delta T < 9$	$9 \leq \Delta T < 10$
-	-12.6583	-8.3618	-5.6486	-3.8099
$10 \leq \Delta T < 11$	$11 \leq \Delta T < 12$	$12 \leq \Delta T < 13$	$13 \leq \Delta T < 14$	$14 \leq \Delta T < 15$
-5.821	-5.5434	-4.2599	-4.9666	-5.7754
$15 \leq \Delta T < 16$	$16 \leq \Delta T < 17$	$17 \leq \Delta T < 18$	$18 \leq \Delta T < 19$	$19 \leq \Delta T < 20$
-5.9497	-4.9618	-4.6095	-4.9303	-5.313
$20 \leq \Delta T < 21$	$21 \leq \Delta T < 22$	$22 \leq \Delta T < 23$	$23 \leq \Delta T < 24$	$24 \leq \Delta T < 25$
-5.5387	-5.3693	-4.7027	-4.52	-4.4193

Tabla (A.3): Valores de transmitancia según el salto térmico. Ensayo 3.

Los valores reflejados en la tabla y la gráfica anteriores muestran cierta similitud, a excepción del punto donde $6 \leq \Delta T < 7$ donde el valor se dispara, todos valores se encuentran en un rango relativamente pequeño de valores. Además, la línea de valores parece que tiene a estabilizarse en torno a un valor a medida que aumenta el salto térmico. Se calcula la transmitancia media teniendo en cuenta los valores registrados cuando el salto térmico es superior a 10°C e inferior a 20°C y el resultado es de: para $10 \leq \Delta T < 20$; **$U = 5.2131 \text{ W/m}^2 \text{ K}$** .

De nuevo, siguiendo la misma estrategia que en el ensayo anterior, se compara este valor con el valor teórico del código técnico.

Para un muro de hormigón armado de espesor 30cm las resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior en $\text{m}^2\text{K/W}$ son, para cerramientos verticales y flujo horizontal de, 0.04 la resistencia exterior y 0.13 la resistencia interior.

La conductividad del hormigón armado es de 2.5 W/mK (para $d > 2500$)

$$U = \frac{1}{0.04 + \frac{0.3}{2.5} + 0.13} = 3.45 \text{ W/m}^2\text{K}$$

El valor del CTE es un poco menor que el valor obtenido mediante termoflujometría; sin embargo si puede considerarse un valor correcto por la siguiente razón. Un muro de hormigón armado es heterogéneo y hay muchas variables como el porcentaje de acero que pueden marcar esa diferencia entre el valor teórico de un muro de hormigón y el de ese muro en concreto. El muro estudiado en este caso es un muro de borde que hace de zócalo del semisótano y se supone que cuenta con más armado debido a la cantidad de esfuerzos que tiene que soportar. El acero conduce mejor el calor, así que una mayor cantidad de acero implica una mayor transmitancia en el muro. Por esto, el valor obtenido con la termoflujometría se considera válido.

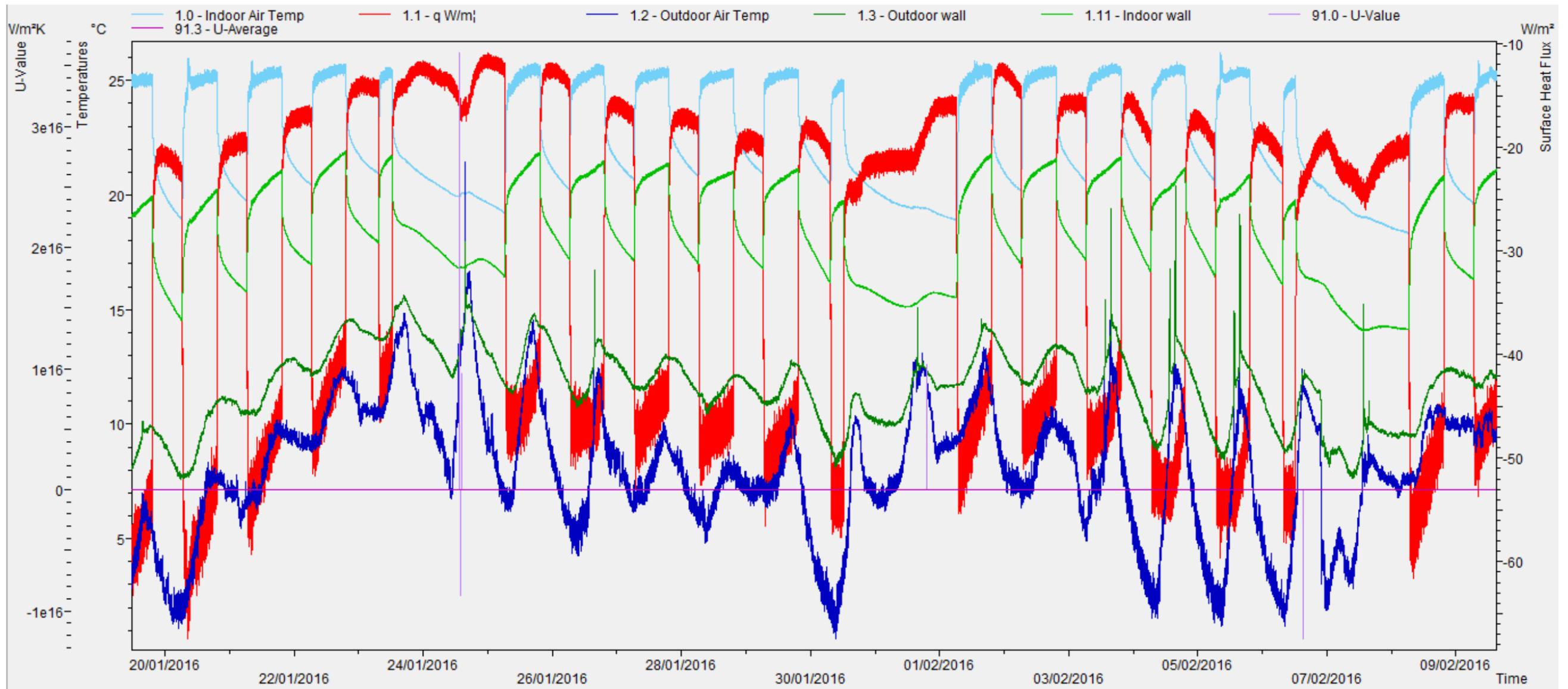


Ilustración (A.10): Gráfica de resultados obtenidos en el ensayo 3.

ENSAYO 4

Descripción del proceso:

Una vez llegado a este punto se considera que se ha adquirido la práctica suficiente como para instalar el equipo en el muro que realmente queremos estudiar.

Para garantizar la inaccesibilidad de los usuarios de la escuela al equipo, éste se instala en el muro del casetón del ascensor donde además, se pueden colocar los instrumentos con facilidad y, al situarlo orientado hacia el norte, se garantiza la no incidencia del sol.

Se mide el espesor del muro y éste es de 25cm, puesto que cuenta con un enfoscado al interior se presupone que el muro está compuesto por 1cm de enfoscado hacia el interior y un pie de ladrillo perforado 24cm. Se considera este tipo de muro, localizado en el casetón del ascensor, como el utilizado como cerramiento de las fachadas del edificio puesto que el espesor de ambos es el mismo. Además, el edificio académico se construyó en el año 1974-1979, antes de la publicación de la Norma Básica de la edificación “NBE-CT-79” sobre condiciones térmicas en los edificios, por ello la carencia de aislamiento en fachada.

En las imágenes inferiores se muestra cómo se realizó la instalación. Se coloca la placa base y la sonda de temperatura superficial exterior en la pared norte; se colocan a su vez las sondas de temperatura ambiente (tomando las debidas precauciones para que no sean afectadas por otras fuentes de energía) y se conecta el conjunto al termoflujómetro. Dadas las longitudes limitadas de los cables, el termoflujómetro se fija a una de las paredes y desde ahí se conecta a la red eléctrica y a la torre de ordenador que se coloca en un armario que hay en la sala.



Ilustración (A.11): Descripción de la instalación del equipo en el casetón del ascensor. Ensayo 4.

El inicio del registro de datos se produce el martes 4 de abril de 2017 a las 12:24 y finaliza el martes 18 de abril de 2017 a las 12:53.

Análisis de resultados.

Los valores de temperatura de este periodo de tiempo son el resultado de la acción atmosférica y de los ciclos de calefacción del edificio; no se ha añadido la presencia de un calefactor en el espacio interior.

De forma general, las temperaturas interiores han sufrido ligeras variaciones de temperatura oscilando entre valores de 15 y 20°C. En cambio las temperaturas exteriores han experimentado un mayor rango de temperaturas.

Lo primero que salta a la vista del gráfico inferior es que en algunos momentos las temperaturas exteriores han superado a las temperaturas interiores generando unos puntos en los que el salto térmico es cero. Si no hay diferencia de temperatura entre los dos espacios, el valor de transmitancia en ese punto es cero; curiosamente, en esos momentos se producen exagerados despuntes en los valores de transmitancia (color morado claro).

La gráfica inferior muestra los valores de transmitancia a una escala muy pequeña, lo que nos permite detectar los días en los que se han producido errores. Intentando recurrir a la metodología usada en el ensayo anterior, se crea este tipo de gráfica con el fin de eliminar los registros de todos los días en los que se han producido los errores. Sin embargo en este caso, se producen valores erróneos en prácticamente todos los días.

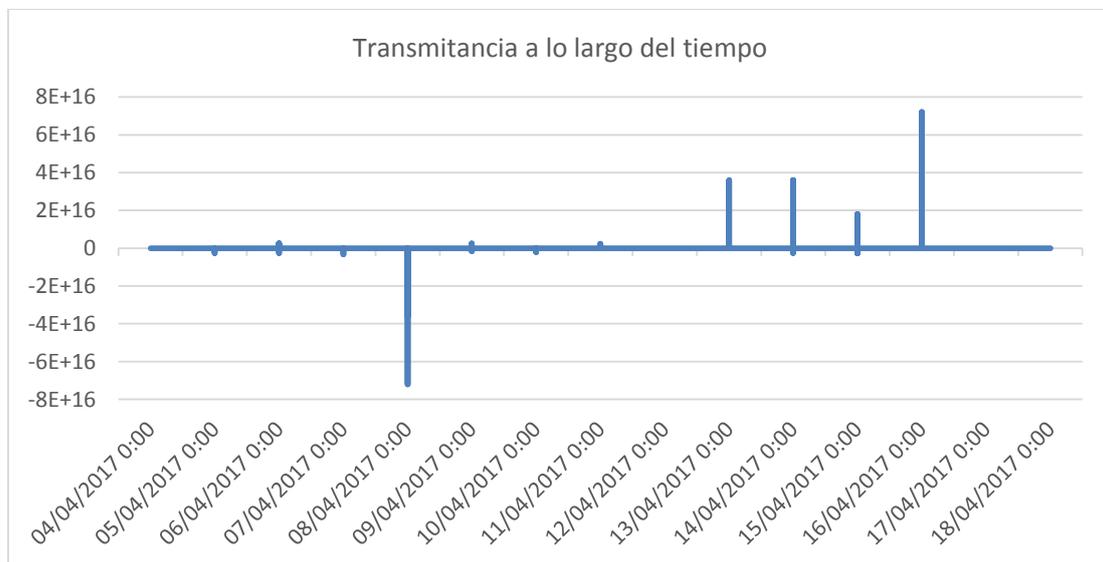


Ilustración (A.12): Valores de transmitancia a lo largo del tiempo. Ensayo 4.

No es posible seguir la misma metodología que en el ensayo anterior puesto que todos los días tienen registros erróneos. Por ello, se calcula el valor de transmitancia en relación a las diferencias de temperatura entre espacios.

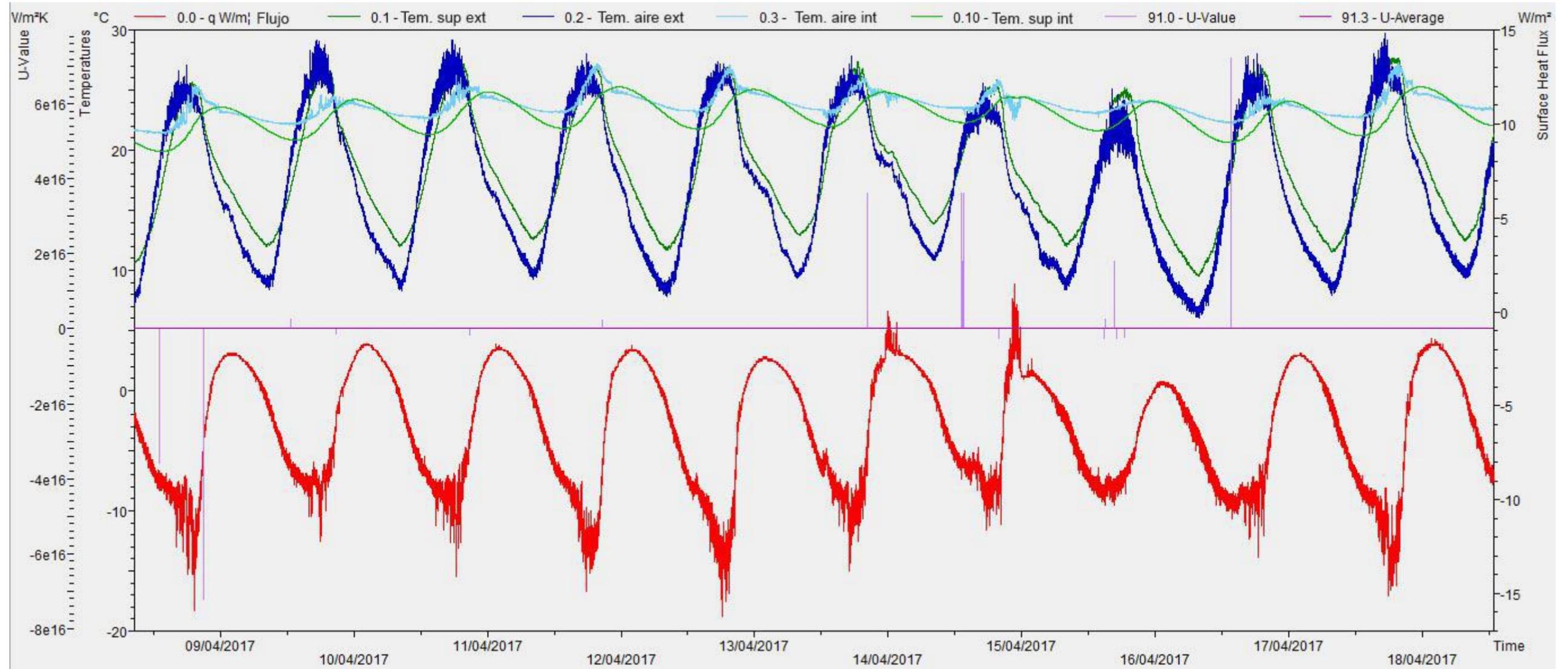


Ilustración (A.13): Gráfica de resultados obtenidos en el ensayo 4

Los despuntes en los valores de transmitancia se producen cada día en los momentos en los que los valores de temperatura interior y exterior coinciden. Momentos en los cuales la diferencia de temperaturas entre ambos ambientes es nula. Estos momentos suelen corresponderse a horas cercanas a las 13:30 horas y las 21:00 horas.

Puesto que se presume que los valores extraños se producen debido a la falta de salto de temperatura entre ambos lados del muro, se calcula el valor medio de transmitancia para diferencias de temperatura entre ambos ambientes superior a 10°C. El valor de transmitancia obtenido para un $\Delta T > 10^\circ\text{C}$ es de -0.4585799. Hay que puntualizar que al realizar este cálculo se observa que la diferencia de temperatura máxima que se alcanza entre ambos ambientes es de 16°C y que la cantidad de valores que participan en el cálculo de transmitancia media es inferior a la cantidad con la que se contaba en anteriores ensayos.

Siguiendo con el procedimiento llevado a cabo en anteriores ocasiones en las que ha sido exitoso. Se compara este valor con el de transmitancia obtenido a partir del cálculo aplicando el CTE para un muro de fábrica de ladrillo perforado de un pie de espesor con 1cm de mortero de cemento al interior.

Las resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior en $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ son, para cerramientos verticales y flujo horizontal de, 0.04 la resistencia exterior y 0.13 la resistencia interior.

Opción 1.

La conductividad de 1 pie Ladrillo Perforado métrico o catalán 40mm \times G >60 mm es de 0,743 W/mK.

La conductividad de 1cm de mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco / enlucido 1000 $<$ d $<$ 1250 es de 0,55 W/mK.

$$U = \frac{1}{0.04 + \frac{0.24}{0.743} + \frac{0.01}{0.55} + 0.13} = 1.65 \text{ W/m}^2\text{K}$$

En este caso no se ha tenido éxito a la hora de hallar el resultado. Se considera que la metodología ha sido correcta pero que no se ha dispuesto de suficientes valores dentro del rango de salto térmico considerado ideal, entre 10°C y 20°C.

Las conclusiones a la que se llega con este hecho es que se tiene que cumplir rigurosamente la condición de que haya una diferencia de temperatura entre ambos espacios superior a 10°C. Y que se tiene que contar con una amplia cantidad de valores registrados para que se pueda obtener un valor de transmitancia fiable.



Conclusiones

Este anexo ha permitido realizar una primera toma de contacto con el trabajo de investigación. Concretamente, se ha investigado una técnica basada en la termoflujometría que permite obtener el valor de transmitancia de distintos paramentos.

Durante el proceso, se han registrado los datos de varios ensayos con el fin de determinar una metodología que permita alcanzar resultados exitosos en los mismos.

Puesto que se ha alcanzado el resultado buscado, queda demostrado que el método y los criterios aplicados son correctos. Sin embargo, quedan abiertas líneas de investigación importantes que pueden llevarse a cabo en el futuro. Una de ellas es la de la influencia de la inercia térmica en el proceso que provocaría un retraso en los valores.

