



industriales  
etsii

Escuela Técnica  
Superior  
de Ingeniería  
Industrial

# UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

## Estudio técnico y económico para la mejora del comportamiento energético del Colegio de Educación Infantil y Primaria “CEIP FONTES” en Torre-Pacheco, (Murcia)

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA

**Autor:** Mariano José Sánchez Lozano  
**Director:** D. Juan Martínez Tudela



Universidad  
Politécnica  
de Cartagena

Cartagena, abril de 2015



## ÍNDICE

<b>1. MEMORIA DESCRIPTIVA</b>	<b>6</b>
<b>1.1. ANTECEDENTES</b>	<b>6</b>
<b>1.2. OBJETO</b>	<b>6</b>
<b>1.3. REGLAMENTACIÓN</b>	<b>7</b>
<b>1.4. EMPLAZAMIENTO</b>	<b>7</b>
<b>1.5. DESCRIPCIÓN DE LOS EDIFICIOS</b>	<b>7</b>
1.5.1. DATOS GENERALES	7
1.5.2. CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS DE LOS EDIFICIOS	8
1.5.2.1. Edificio antiguo	8
1.5.2.2. Edificio nuevo	9
1.5.3. CARACTERÍSTICAS DE LAS INSTALACIONES	10
1.5.3.1. Instalación de electricidad	10
1.5.3.2. Instalación de calefacción	10
1.5.3.2.1. Edificio antiguo	10
1.5.3.2.2. Edificio nuevo	11
1.5.3.3. Otras instalaciones	12
1.5.4. CONSUMOS ENERGÉTICOS	12
1.5.4.1. Electricidad	12
1.5.4.2. Combustible	14
1.5.4.3. Reparto de consumos	14
1.5.5. REPORTAJE FOTOGRÁFICO	15
<b>1.6. CERTIFICACIÓN ENERGÉTICA SIMPLIFICADA DE LOS EDIFICIOS</b>	<b>16</b>
1.6.1. INTRODUCCIÓN AL PROCEDIMIENTO DE CERTIFICACIÓN	16
1.6.2. APLICACIÓN A LOS EDIFICIOS OBJETO DE ESTUDIO	18
<b>1.7. MEDIDAS DE MEJORA</b>	<b>19</b>
1.7.1. LIMITACIÓN DE LA DEMANDA. ACTUACIONES EN ENVOLVENTE	19
1.7.1.1. Mejora de huecos	19
1.7.1.2. Mejora de aislamiento en fachadas	20
1.7.1.3. Mejora de aislamiento en cubiertas	20
1.7.1.4. Mejora de aislamiento en fachada y huecos	21
1.7.2. MEJORA EN EL SISTEMA DE CALEFACCIÓN	21
1.7.2.1. Sustitución de la llave de corte en radiadores	22
1.7.2.2. Implantación de un sistema de regulación basado en temperatura exterior	22
1.7.2.3. Implantación de bombas de circulación de caudal variable	23
1.7.2.4. Sustitución de caldera de combustible fósil por otra de biomasa	25
1.7.3. MEJORA EN EL SISTEMA DE ILUMINACIÓN	26
1.7.4. ENERGÍAS RENOVABLES	28
1.7.4.1. Incorporación de sistemas de energía solar térmica	28
1.7.4.2. Incorporación de sistemas de energía solar fotovoltaica	29
1.7.5. ANÁLISIS ECONÓMICO	31
1.7.5.1. Mejora de huecos	32
1.7.5.2. Mejora de aislamiento en fachadas	32
1.7.5.3. Mejora de aislamiento en cubiertas	33
1.7.5.4. Mejora de aislamiento en fachadas y huecos	33
1.7.5.5. Sustitución de las llaves de corte en radiadores	34
1.7.5.6. Mejora de sistemas de iluminación	34
1.7.5.7. Mejora instalación caldera de biomasa y apoyo con energía solar	35
1.7.5.8. Mejora instalación solar fotovoltaica	35



1.8.	EJECUCIÓN DE LAS MEDIDAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y CONCLUSIONES	36
2.	REFORMA DE LA INSTALACIÓN TÉRMICA DEL COLEGIO	38
2.1.	RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS	38
2.1.1.	POTENCIA TÉRMICA DE LOS GENERADORES EN: CALOR, FRÍO Y ACS	38
2.1.2.	POTENCIA ELÉCTRICA ABSORBIDA PARA: CALOR, FRÍO Y ACS	38
2.1.3.	CAUDAL TOTAL EN M <sup>3</sup> /H	38
2.1.4.	CAPACIDAD MÁXIMA DE OCUPANTES	38
2.2.	DATOS IDENTIFICATIVOS	38
2.2.1.	DATOS DE LA INSTALACIÓN: DOMICILIO, POBLACIÓN, PROVINCIA, CÓDIGO POSTAL	38
2.2.2.	TITULAR	39
2.3.	ANTECEDENTES	39
2.4.	OBJETO	39
2.5.	LEGISLACIÓN APLICABLE	39
2.6.	DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO	39
2.6.1.	USO DEL EDIFICIO	39
2.6.2.	OCUPACIÓN	40
2.6.3.	NÚMERO DE PLANTAS Y USO DE LAS DISTINTAS DEPENDENCIAS	40
2.6.4.	SUPERFICIE Y VOLÚMENES POR PLANTA. PARCIALES Y TOTALES	40
2.6.5.	EDIFICACIONES COLINDANTES	42
2.6.6.	HORARIO DE APERTURA Y CIERRE DEL EDIFICIO	42
2.6.7.	ORIENTACIÓN	42
2.6.8.	LOCALES SIN CLIMATIZAR	42
2.6.9.	DESCRIPCIÓN DE LOS CERRAMIENTOS ARQUITECTÓNICOS	42
2.6.9.1.	Edificio antiguo	42
2.6.9.2.	Edificio nuevo	43
2.7.	DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN	43
2.7.1.	HORARIO DE FUNCIONAMIENTO	43
2.7.2.	SISTEMA DE INSTALACIÓN ELEGIDO	43
2.7.3.	CALIDAD DEL AIRE INTERIOR Y VENTILACIÓN	45
2.7.4.	SISTEMAS EMPLEADOS PARA AHORRO ENERGÉTICO EN CUMPLIMIENTO DE LA IT 1.2.	45
2.8.	EQUIPOS TÉRMICOS Y FUENTES DE ENERGÍA	48
2.8.1.	ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLE	48
2.8.2.	RELACIÓN DE EQUIPOS GENERADORES DE ENERGÍA TÉRMICA, CON DATOS TÉRMICOS Y TIPO DE ENERGÍA EMPLEADA	48
2.9.	ELEMENTOS INTEGRANTES DE LA INSTALACIÓN	49
2.9.1.	EQUIPOS GENERADORES DE ENERGÍA TÉRMICA	49
2.9.2.	UNIDADES TERMINALES	53
2.9.3.	SISTEMAS DE RENOVACIÓN DE AIRE	54
2.9.4.	UNIDADES DE TRATAMIENTO DE AIRE CON INDICACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO DE SUS COMPONENTES	54
2.9.5.	SISTEMAS DE CONTROL AUTOMÁTICO Y SU FUNCIONAMIENTO	54
2.10.	DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS DE TRANSPORTE DE FLUIDOS	54
2.10.1.	REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE	54
2.10.2.	REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA	55
2.10.2.1.	Tuberías en sala de calderas	55
2.10.2.2.	Tuberías enterradas	56



	2.10.2.3. Tuberías de distribución a emisores	56
	2.10.3. REDES DE DISTRIBUCIÓN DE REFRIGERANTE	56
<b>2.11.</b>	<b>SALA DE MÁQUINAS SEGÚN NORMA UNE APLICABLE</b>	<b>56</b>
	2.11.1. CLASIFICACIÓN	56
	2.11.2. DIMENSIONES Y DISTANCIAS A ELEMENTOS ESTRUCTURALES	57
	2.11.3. VENTILACIÓN	57
	2.11.4. ACCESOS	58
	2.11.5. CONDICIONES DE SEGURIDAD	58
	2.11.6. SALIDA DE HUMOS	59
<b>2.12.</b>	<b>SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA</b>	<b>59</b>
<b>2.13.</b>	<b>PREVENCIÓN DE RUIDO Y VIBRACIONES</b>	<b>59</b>
<b>2.14.</b>	<b>MEDIDAS ADOPTADAS PARA LA PREVENCIÓN DE LA LEGIONELA</b>	<b>60</b>
<b>2.15.</b>	<b>PROTECCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE</b>	<b>60</b>
<b>2.16.</b>	<b>JUSTIFICACIÓN DE APLICACIÓN DEL CTE</b>	<b>61</b>
<b>2.17.</b>	<b>INSTALACIÓN ELÉCTRICA</b>	<b>61</b>
	2.17.1. CUADRO GENERAL DE BAJA TENSIÓN	61
	2.17.2. CUADRO SECUNDARIO DE CALEFACCIÓN	61
	2.17.3. CUADRO DE MANIOBRAS	62
	2.17.4. PROTECCIONES EMPLEADAS FRENTE A CONTACTOS INDIRECTOS	62
	2.17.5. PROTECCIONES FRENTE A SOBRECARGAS Y CORTOCIRCUITOS	62
	2.17.6. SALA DE MÁQUINAS	62
	2.17.7. RELACIÓN DE EQUIPOS QUE CONSUMEN ENERGÍA ELÉCTRICA, CON DATOS IDENTIFICATIVOS Y POTENCIA	63
<b>3.</b>	<b>CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS REFORMA INSTALACIÓN TÉRMICA</b>	<b>64</b>
<b>3.1.</b>	<b>RESUMEN DE FÓRMULAS</b>	<b>64</b>
	3.1.1. CARGA TÉRMICA DE CALEFACCIÓN DE UN LOCAL “ $Q_{ct}$ ”	64
	3.1.1.1. Pérdida de calor sensible por transmisión a través de los cerramientos “ $Q_{stm}$ ”	65
	3.1.1.2. Pérdida de calor sensible por infiltraciones de aire exterior “ $Q_{si}$ ”	65
	3.1.1.2.1. Infiltraciones de aire exterior por el método de las rendijas “ $V_i$ ”	65
	3.1.1.2.2. Caudal de aire exterior por la tasa de renovación horaria “ $V_r$ ”	66
	3.1.1.3. Ganancia de calor sensible por aportaciones internas permanentes “ $Q_{saip}$ ”	66
	3.1.1.4. Suplementos	66
	3.1.1.5. Pérdida de calor sensible por aire de ventilación “ $Q_{sv}$ ”	67
	3.1.2. TRANSMITANCIA TÉRMICA DE LOS CERRAMIENTOS “ $U$ ”	67
	3.1.3. CONDENSACIONES	67
	3.1.3.1. Temperatura superficial interior y temperatura en las caras interiores del cerramiento	67
	3.1.3.2. Presión de vapor de saturación en la superficie interior y en las caras interiores del cerramiento	68
	3.1.3.3. Presión de vapor en la superficie interior y en las caras interiores del cerramiento	68
	3.1.3.4. Temperatura de rocío en la superficie interior y en las caras interiores del cerramiento	68
	3.1.4. MÉTODO DE CÁLCULO DE LAS REDES DE TUBERÍAS Y RADIADORES	69
<b>3.2.</b>	<b>CONDICIONES INTERIORES Y EXTERIORES DE CÁLCULO</b>	<b>72</b>
	3.2.1. DATOS DE PARTIDA	72



3.3.	COEFICIENTES DE TRANSMISIÓN DEL CALOR DE LOS DIFERENTES ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS	73
3.4.	RESULTADO DEL CÁLCULO DE CARGAS TÉRMICAS DEL EDIFICIO NUEVO	80
3.5.	JUSTIFICACIÓN DE LA IDONEIDAD DE LOS RADIADORES EXISTENTES CON EL NUEVO SALTO TÉRMICO UTILIZADO	87
3.6.	CÁLCULO DE LA RED DE TUBERÍAS Y DIMENSIONADO DE RADIADORES EN EL EDIFICIO NUEVO	89
3.7.	DIMENSIONADO DE CALDERA, BOMBAS, VASOS DE EXPANSIÓN Y CHIMENEA	96
3.7.1.	GENERADOR DE CALOR	96
3.7.2.	BOMBAS	96
3.7.3.	VASOS DE EXPANSIÓN	97
3.7.4.	CHIMENEA	98
3.8.	CÁLCULO DE LA INSTALACIÓN SOLAR	101
3.8.1.	ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA DE INVIERNO	101
3.8.2.	PÉRDIDAS POR SOMBRAS, ORIENTACIÓN E INCLINACIÓN	102
3.8.2.1.	Pérdidas por orientación e inclinación	102
3.8.2.2.	Pérdidas por sombras	103
3.8.2.3.	Pérdidas totales	103
3.8.2.4.	Distancia mínima entre filas de captadores	103
3.8.3.	DIMENSIONADO DE LA SUPERFICIE DE CAPTACIÓN Y CÁLCULO DE LA FRACCIÓN SOLAR APORTADA	104
3.8.4.	DIMENSIONADO DEL CIRCUITO PRIMARIO	106
3.8.5.	DIMENSIONADO DE LA BOMBA DEL SECUNDARIO Y DEL INTERCAMBIADOR	109
4.	MEMORIA DESCRIPTIVA. CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA	110
4.1.	DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA	110
4.1.1.	MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	111
4.1.2.	INVERSOR	112
4.2.	BALANCE ENERGÉTICO	113
4.3.	CONFIGURACIÓN DE LA INSTALACIÓN	113
4.3.1.	DISTANCIA MÍNIMA ENTRE FILAS DE CAPTADORES	114
4.3.2.	SELECCIÓN DEL INVERSOR Y DISTRIBUCIÓN DE PANELES EN RAMAS SERIE PARALELO	114
4.4.	CÁLCULOS ELÉCTRICOS	116
4.4.1.	TENSIÓN NOMINAL Y CAÍDA DE TENSIÓN MÁXIMA ADMISIBLE	116
4.4.2.	FÓRMULAS UTILIZADAS	116
4.4.3.	RESULTADOS OBTENIDOS	117
4.4.4.	DESCRIPCIÓN DE LAS PROTECCIONES A INSTALAR	118
5.	REFERENCIAS	
6.	LISTADO DE FIGURAS Y TABLAS	
	ANEXO I. CERTIFICADO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EDIFICIO ANTIGUO	
	ANEXO II. CERTIFICADO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EDIFICIO NUEVO	
	ANEXO III. MEDICIONES Y PRESUPUESTO DE LAS MEJORAS	



**ANEXO IV. CÁLCULO DEL VAN**

**ANEXO V. PLANOS**

- 1 SITUACIÓN Y EMPLAZAMIENTO**
- 2 PLANTA GENERAL PARCELA DEL COLEGIO**
- 3 COTAS Y SUPERFICIES EDIFICIO ANTIGUO**
- 4 COTAS Y SUPERFICIES EDIFICIO NUEVO**
- 5 ALZADOS EDIFICIO ANTIGUO**
- 6 SECCIONES Y DETALLES CONSTRUCTIVOS. EDIFICIO ANTIGUO**
- 7 ALZADOS Y SECCIONES EDIFICIO NUEVO**
- 8 SECCIONES CONSTRUCTIVAS. EDIFICIO NUEVO**
- 9 INSTALACIÓN ELÉCTRICA. EDIFICIO ANTIGUO. ESTADO ACTUAL**
- 10 INSTALACIÓN ELÉCTRICA. EDIFICIO NUEVO. ESTADO ACTUAL**
- 11 INSTALACIÓN CALEFACCIÓN. EDIFICIO ANTIGUO. ESTADO ACTUAL**
- 12 INSTALACIÓN CALEFACCIÓN. EDIFICIO NUEVO. ESTADO ACTUAL**
- 13 INSTALACIÓN CALEFACCIÓN. EDIFICIO ANTIGUO. ESTADO PROYECTADO**
- 14 INSTALACIÓN CALEFACCIÓN. EDIFICIO NUEVO. PLANTA BAJA ESTADO PROYECTADO**
- 15 INSTALACIÓN CALEFACCIÓN. EDIFICIO NUEVO. PLANTA PRIMERA ESTADO PROYECTADO**
- 16 INSTALACIÓN CALEFACCIÓN. REFORMA DE SALA DE CALDERAS. ALMACÉN DE COMBUSTIBLE**
- 17 ESQUEMA DE PRINCIPIO DE LA INSTALACIÓN**
- 18 INSTALACIÓN CALEFACCIÓN. DETALLE CAPTADORES SOLARES EN LA CUBIERTA**
- 19 ESQUEMA ELÉCTRICO UNIFILAR DEL CUADRO**
- 20 INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA. EDIFICIO NUEVO. DETALLE CAPTADORES SOLARES EN LA CUBIERTA**
- 21 ESQUEMA ELÉCTRICO UNIFILAR INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA**

## **1. MEMORIA DESCRIPTIVA**

### **1.1. ANTECEDENTES**

Este proyecto se redacta en desarrollo de la propuesta de trabajo fin de grado que fue realizada en la fecha 20 de octubre de 2014, con la aprobación del profesor director, D. Juan Martínez Tudela, y del Departamento de Ingeniería Eléctrica, presentada posteriormente en la Secretaría de Gestión Académica de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de la Universidad Politécnica de Cartagena.

Consiste en un estudio técnico y económico para mejora del comportamiento energético del colegio de educación infantil y primaria “Fontes” de Torre-Pacheco, e incluye el diseño de la instalación de una caldera de biomasa y sistema activo de aprovechamiento de la energía solar, en sustitución de la actual caldera de gasóleo y radiadores eléctricos.

### **1.2. OBJETO**

La energía es un elemento clave en el desarrollo económico y social. El aumento del consumo de energía, derivado del crecimiento económico y de la tendencia a satisfacer un mayor número de necesidades, hace cada vez más urgente la integración de los aspectos medioambientales y el desarrollo sostenible en la política energética.

El siguiente gráfico muestra el consumo de energía final en España durante el año 2013:

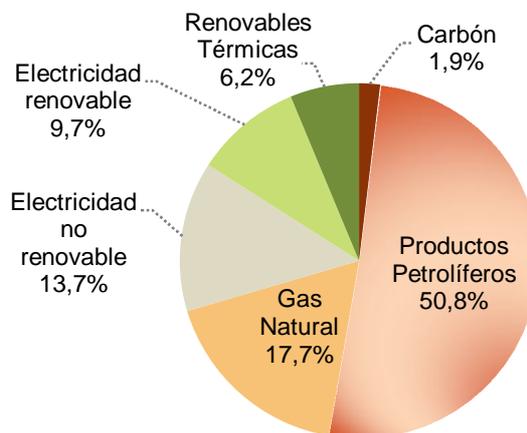


Figura 1: consumo energía final en España año 2013. Fuente IDAE

El consumo de energía primaria en España el mismo año fue del 73,9 % en energías fósiles, (carbón, petróleo y gas natural), un 12,2 % de energía nuclear y el resto, un 14,2 % de energías renovables, (hidráulica, eólica, biomasa, biogás, RSU, biocarburantes y solar).

La conclusión es que el alto porcentaje no renovable conlleva importantes implicaciones medioambientales, (emisión de compuestos a la atmósfera que causan gran impacto ambiental), además de una fuerte dependencia del abastecimiento exterior.

La creciente preocupación por las consecuencias ambientales, sociales y económicas del cambio climático, reflejado en los compromisos derivados de los acuerdos alcanzados en Kioto, junto con el hecho de que la producción y el consumo de energía son los principales responsables de las emisiones de gases invernadero, hacen que el sector energético sea clave para alcanzar los objetivos. **La eficiencia energética y el desarrollo de energías renovables son los principales instrumentos para conseguirlos.**

Lo anterior descrito forma el marco de trabajo de este proyecto, en el cual se analizará el comportamiento energético de un edificio destinado a colegio de educación infantil y primaria, para reducir su huella ecológica mediante la mejora energética de los elementos constructivos, de las instalaciones e incorporar energías renovables en su funcionamiento.

### **1.3. REGLAMENTACIÓN**

Los reglamentos de referencia son los siguientes:

- Código Técnico de la Edificación, (Real Decreto 314/2006 de 17 de marzo).
- Reglamento de instalaciones térmicas de los edificios (RITE), DB HE 2, (Real Decreto 1027/2007 de 20 de julio) y sus modificaciones en aspectos relativos a la materia objeto de este estudio, (Real Decreto 1826/2009 de 27 de noviembre y Real Decreto 238/2013 de 5 de abril).
- Certificación de la eficiencia energética de los Edificios, (Real Decreto 235/2013 de 5 de abril).

### **1.4. EMPLAZAMIENTO**

El centro de educación se halla ubicado en calle Guillén de Castro, Torre-Pacheco, tal y como se indica en el documento planos de situación y emplazamiento.

La altitud sobre el nivel del mar (snm) es de 43 m y las coordenadas, longitud 0° 57' Oeste, latitud 37° 44' Norte.

### **1.5. DESCRIPCIÓN DE LOS EDIFICIOS**

El centro de educación “*Fontes*” consta de 3 edificios diferenciados, 2 de ellos destinados a educación primaria y otro, separado de los anteriores por una calle, (Avda. Fontes), para educación infantil. **El objeto de este estudio comprende los edificios de educación primaria.**

Ambos edificios tienen una antigüedad superior a 30 años. No fueron construidos en la misma fecha, uno de ellos el más reciente, data del año 1984. El otro edificio es aún anterior. **La fachada delantera de ambos edificios tiene orientación Suroeste y la trasera tiene orientación Noreste.**

#### **1.5.1. DATOS GENERALES**

**Uso:** Colegio de Educación Infantil y Primaria.

**Ubicación:** Municipio de Torre-Pacheco, (zona climática B3).

 <p><b>Universidad Politécnica de Cartagena</b></p>	 <p><b>industriales</b> ENFI LUPCT</p>	<p><b>TRABAJO FIN DE GRADO (TFG)</b></p> <p>ESTUDIO TÉCNICO Y ECONÓMICO PARA LA MEJORA DEL COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO DEL COLEGIO DE EDUCACIÓN INFANTIL Y PRIMARIA "CEIP FONTES" EN TORRE-PACHECO, (MURCIA)</p>
--	---	--

Fecha de construcción: anterior a 1979, (edificio antiguo) y sobre 1984, (edificio nuevo).

Ocupación: 525 personas.

Horario: calendario lectivo con horario de mañana, de 9:00 horas a 14:00 horas los días laborables.

Nº edificios en estudio: 2.

Nº de plantas: 2.

Superficie construida: 2.259,95 m<sup>2</sup>.

Superficie útil: 2.036,66 m<sup>2</sup>.

### 1.5.2. CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS DE LOS EDIFICIOS

En el año 2010 se efectuó la reparación de fachada y sustitución de cubierta del edificio antiguo que consistió en:

- **Fachada:**  
La fachada existente estaba compuesta por fábrica de ladrillo cerámico perforado de ½ pie de espesor, tomado con mortero de cemento 1:6 marrón, y bloque cerámico de 7 cm con cámara de aire intermedia. En la reparación se añadió una capa de monocapa transpirable de 1,5 cm de espesor por el exterior en zócalos y en los alzados laterales.
- **Cubiertas:**  
Inclinada con formación de tabiques palomeros existentes y correas metálicas en UPN que se mantuvieron, sobre las que se colocaron paneles sándwich de lana de roca de 40 mm de espesor, prelacados por ambas caras, en sustitución del fibrocemento existente.  
Cubierta invertida que estaba formada por capa de hormigón celular de 10 cm de espesor medio, en formación de pendiente, una capa de 2 cm de mortero de cemento y arena de río 1/6 fratasado, un panel aislante de poliestireno extruido mecanizado de 60 mm de espesor, una capa separadora de fieltro sintético geotextil, sobre la que se añadió tela de pizarra polimérica de 4 kg como impermeabilización de la cubierta.

El presupuesto de ejecución por contrata de la reparación ascendió a la cantidad de 82.415,67 €

De las visitas efectuadas se puede observar una serie de problemas destacables relativos a la envolvente:

- Huecos acristalados. Carpintería metálica con vidrio simple.
- Infiltraciones: fundamentalmente a través de huecos, (ventanas y puertas).

#### 1.5.2.1. Edificio antiguo

Normativa de construcción: anterior a la NBE-CT-79.

Cimentación: zapatas arriostradas mediante correas de atado.

Estructura: mediante pórticos de hormigón armado.

Fachada: fábrica de ladrillo a la capuchina, formada por ½ pie de ladrillo visto, cámara de aire y tabicón de ladrillo hueco doble.  $U=1,69 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Partición interior horizontal en contacto con espacio no habitable inferior (cámara sanitaria): baldosa de terrazo, mortero de agarre y forjado unidireccional entrevigado de hormigón.  $U=1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Partición interior horizontal en contacto con espacio no habitable superior (cubierta inclinada): mortero de cemento, forjado unidireccional entrevigado de hormigón y enlucido de yeso.  $U=1,19 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Cubierta: plana con forjado unidireccional  $U=0,57 \text{ W/m}^2\text{K}$  y cubierta de panel sándwich de lana de roca de 40 mm espesor,  $U=0,87 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Huecos:

Tipo de marco: carpintería metálica sin rotura de puente térmico,  $U=5,70 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Acristalamiento: cristal simple,  $U=5,70 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Superficie acristalada: 281 m<sup>2</sup>. Aproximadamente un 46 % del total del cerramiento en fachadas SO y NE.

### 1.5.2.2. Edificio nuevo

Normativa de construcción: NBE-CT-79.

Cimentación: zapatas arriostradas mediante correas de atado.

Estructura: mediante pórticos de hormigón armado.

Fachada: fábrica de ladrillo a la capuchina, formada por ½ pie de ladrillo visto, cámara de aire, aislamiento poliestireno expandido 3 cm y tabicón de ladrillo hueco doble.  $U=0,81 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Partición interior horizontal en contacto con espacio no habitable inferior (cámara sanitaria): baldosa de terrazo, mortero de agarre y forjado unidireccional entrevigado de hormigón.  $U=1,33 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Partición interior horizontal en contacto con espacio no habitable superior (cubierta inclinada): mortero de cemento, forjado unidireccional entrevigado de hormigón y enlucido de yeso.  $U=1,19 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Cubierta: inclinada de teja cerámica sobre tablero cerámico y tabiquillos palomeros,  $U=1,04 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Huecos:

Tipo de marco: carpintería metálica sin rotura de puente térmico,  $U=5,70 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Acristalamiento: cristal simple,  $U=5,70 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Superficie acristalada: 81 m<sup>2</sup>. Aproximadamente un 27 % del total del cerramiento en fachadas SO y NE.

### 1.5.3. CARACTERÍSTICAS DE LAS INSTALACIONES

#### 1.5.3.1. Instalación de electricidad

En el año 2010 se realizó una actuación sobre la instalación eléctrica que consistió en la sustitución de las luminarias fluorescentes tubulares de regleta sencilla, sin condensadores ni equipos de encendido, por otras luminarias más eficientes, dotadas con equipos electrónicos. Esta modificación permitió corregir el elevado consumo de energía reactiva que existía en la instalación, disminuyendo las pérdidas energéticas, mejorando el factor de potencia y evitando las penalizaciones económicas mensuales de la factura de electricidad. El importe total de la actuación, que incluye la reforma de los cuadros eléctricos, sustitución de todo el cableado y las canalizaciones eléctricas e instalación de nuevas luminarias ascendió a la cantidad total de 103.131,89 €

Tipo de luminaria principal: lámpara fluorescente, MASTER TL-D 36 W y equipo electrónico HF.

Nº de luminarias: 266.

Alumbrado exterior: 11 luminarias tipo vial. Lámparas VSAP 100 W y equipo electromagnético.

Sistema de control y regulación: detectores de movimiento en pasillos y aseos. En el resto, encendido y apagado manual. Alumbrado exterior, mediante reloj astronómico. No existe regulación.

Otros equipos:

- Equipos informáticos: ordenadores, impresoras, fax, ...
- Ascensor.
- Equipos bombas de calor en aula plumier, sala profesores y dirección.

Potencia total contratada:  $P_{PUNTA}$ : 23,1 kW;  $P_{LLANO}$ : 23,1 kW;  $P_{VALLE}$ : 23,1 kW.

(Tipo de discriminación horaria: 3P; peaje de acceso a la red: 3.0A).

#### 1.5.3.2. Instalación de calefacción

##### 1.5.3.2.1. Edificio antiguo

Tipo de instalación: sistema calefacción por radiadores.

Tipo de generador: caldera estándar.

Potencia: 120.000 kcal/h, ( $\approx$ 140 kW).

Combustible: gasóleo C.

Tipo de quemador: 1 etapa.

Tipo de emisores: radiadores de acero sin cabezas termostáticas.

Sistema de control y regulación: no existe.

Horario de funcionamiento de la caldera: de 7:00 a 13:30 laborables.

La instalación tiene la misma antigüedad que el edificio. En el año 1998 se sustituyó el quemador de la caldera por otro de similares características, modelo CRONO 20-L, 10-20 kg/h, 118,5-237 kW. Las tuberías están empotradas en los cerramientos verticales y horizontales, existiendo un sólo circuito de

impulsión, accionado por bomba MC 1230W, 2,5 A 360/675 W, 1450 rpm clase F. Dispone de vaso de expansión de 80 l.

De las visitas efectuadas se puede observar una serie de problemas destacables relativos a esta instalación:

- Sin zonificación en la distribución que permita la optimización de la generación de calor (por usos, por fachadas, etc.). Además, las llaves de corte de los radiadores no funcionan y actualmente están todas en posición abierta, lo que produce una falta de regulación en los recintos a acondicionar, dándose la situación de ventanas abiertas en las orientaciones suroeste y cerradas en la noreste.
- Radiadores antiguos.
- Control manual encendido/apagado. Inexistencia de control termostático, de regulación de temperatura de impulsión.
- Inexistencia de control de horas de funcionamiento en la caldera.
- La temperatura de impulsión es de 70 °C (cuando lo normal según diseño debe ser de 90 °C), y el retorno de 55 °C (cuando lo normal es de 70 °C). Además, las tuberías generales van empotradas en los forjados por lo que existen pérdidas de calor al no estar aisladas.

Del análisis de combustión de la caldera efectuado por la empresa mantenedora con un analizador electrónico se obtienen los siguientes datos:

O <sub>2</sub> (%)	CO (ppm)	CO <sub>2</sub> (%)	qA (%)	T <sub>AMB.</sub> (°C)	Rend. Comb. (%)	Tiro (hPa)	T <sub>GASES</sub> (°C)
7,1	10	10,26	9,4	19,7	90,6	-0,347	128,5

qA: pérdidas por chimenea.

**Tabla 1: Análisis combustión de la caldera existente. Elaboración propia.**

El rendimiento de la combustión se encuentra dentro de los límites establecidos en la guía técnica del IDAE, "*Procedimiento de inspección periódica de eficiencia energética para calderas*", ( $10 < CO_2$  (%)  $< 12,5$  y pérdidas de calor sensible en los humos comprendidas entre el 6 y el 10 %).

#### **1.5.3.2.2. Edificio nuevo**

Tipo de instalación: radiadores eléctricos.

Nº de equipos: 8.

Potencia: 2.000 W cada uno.

Combustible: electricidad.

Sistema de control y regulación: termostato y programador.

Horario de funcionamiento: de 8:00 a 14:00 h laborables.

### 1.5.3.3. Otras instalaciones

La instalación de ACS se resuelve con el apoyo puntual de 2 termos eléctricos situados en los aseos. No hay servicio de duchas, por lo que prácticamente no se produce demanda de ACS.

La instalación de fontanería está directamente conectada a la red de distribución municipal, sin depósitos de reserva ni equipos de presión.

En despachos de profesores y aula plumier existen pequeños equipos de bomba de calor para la refrigeración en verano.

## 1.5.4. CONSUMOS ENERGÉTICOS

### 1.5.4.1. Electricidad

El consumo total de energía eléctrica en los últimos 4 años ha sido el siguiente:

	Año 2011	Año 2012	Año 2013	Año 2014
Energía activa (kWh)	51.698	53.682	51.621	50.184
Energía reactiva (kVArh)	4.338	4.903	3.047	197

Tabla 2: Consumo energía eléctrica. Elaboración propia.

De los datos anteriores se concluye que el consumo de energía activa es similar de un año a otro. La diferencia mayor o menor se debe al consumo de energía eléctrica para calefacción en el edificio nuevo durante los meses de invierno, esto es, que el año sea más o menos frío. Así, en el año 2012, mientras que el consumo medio en los meses de no calefacción, (exceptuando el periodo estival), fue de 4.083 kWh, el exceso de energía ese año en relación al valor medio durante los meses de calefacción fue de 7.056 kWh. En el año 2014, el consumo medio en los meses de no calefacción fue de 4.096 kWh, (muy similar al dato del año 2012), mientras que el exceso de energía en relación a este valor medio durante los meses de calefacción ha sido de 4.303 kWh.

Según datos de la Agencia Estatal de Meteorología, el año 2014 ha sido extremadamente cálido en España, en particular en la Región de Murcia. En cambio, en el año 2012, según datos de la misma fuente, el mes de febrero de 2012 fue extremadamente frío en Murcia, mientras que marzo resultó de normal a frío. El consumo de energía eléctrica esos meses fueron de 8.077 y 6.064 kWh respectivamente.

En las gráficas siguientes de distribución de consumos de energía activa y demanda de potencia para el año 2014, se puede constatar la influencia de la instalación de calefacción eléctrica del edificio nuevo en el consumo de energía eléctrica del edificio:

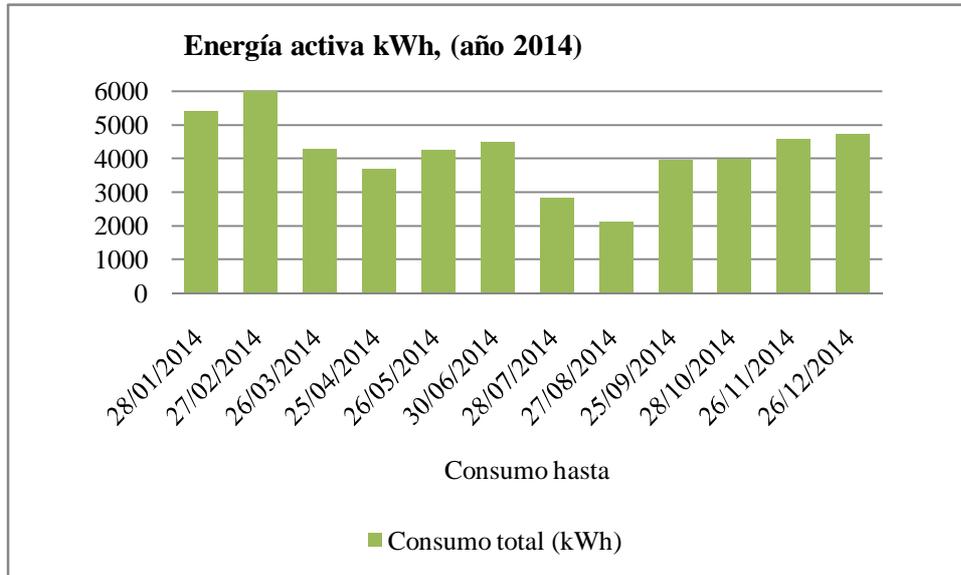


Figura 2: Consumo energía eléctrica activa año 2014

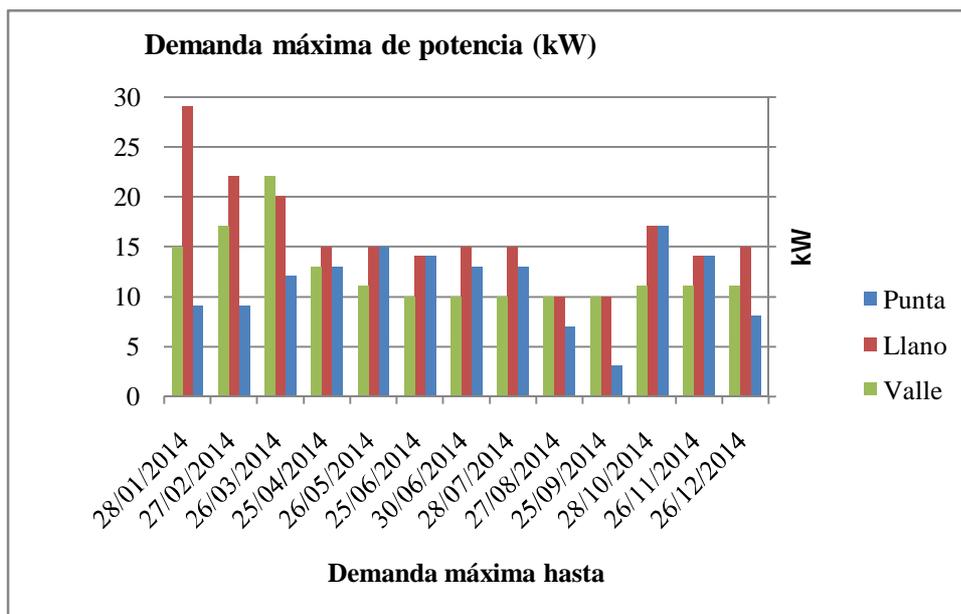


Figura 3: Demanda máxima de potencia año 2014

Se considera un consumo medio anual de 51.796 kWh.

### 1.5.4.2. Combustible

La tabla siguiente muestra los datos de suministro de combustible para calefacción en los 3 últimos años:

Fecha	Producto	Cantidad (l)	Precio (€/l)	Importe (€)	Energía (kWh) <sup>(*)</sup>
26/01/2012	Gasóleo C	2.000	1,091	2.182	20.000
05/02/2013	Gasóleo C	1.500	1,148	1.722	15.000
03/01/2014	Gasóleo C	1.000	1,135	1.135	10.000
07/02/2014	Gasóleo C	1.000	1,113	1.113	10.000
12/12/2014	Gasóleo C	1.000	0,931	931	10.000

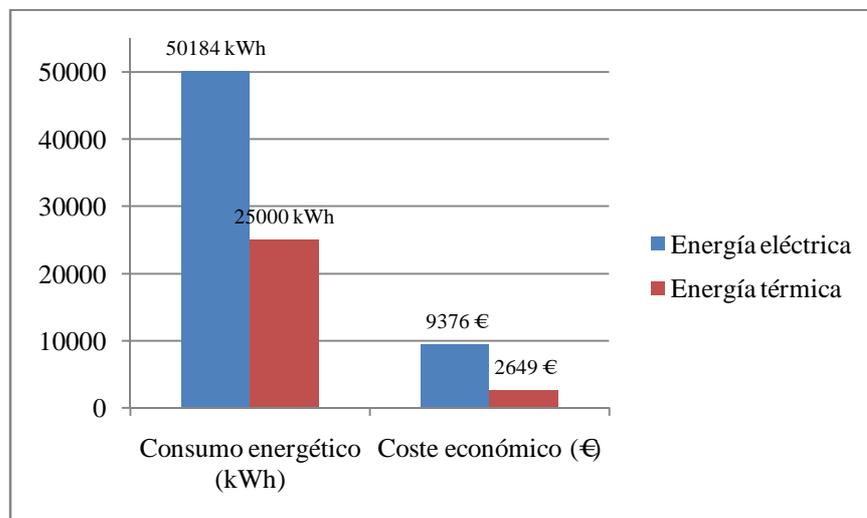
(\*) Densidad del gasóleo C de 850 kg/m<sup>3</sup> y PCI de 11,74 kWh/kg)

**Tabla 3: Cantidad de combustible para calefacción**

Se considera un consumo medio anual de 2.500 l, (25.000 kWh).

### 1.5.4.3. Reparto de consumos

Los consumos principales son debidos a combustible y electricidad. La figura 4 muestra el reparto de los consumos:



**Figura 4: Reparto de consumos energéticos y económicos**

La energía eléctrica supone un 67 % del total del consumo energético.



### 1.5.5. REPORTAJE FOTOGRÁFICO



Figura 5: Vista aérea del colegio *Fontes*



Figura 6: fachada principal edificio nuevo



Figura 7: fachada principal edificio antiguo



Figura 8: interior aula colegio *Fontes*. Edificio antiguo



Figura 9: interior aula colegio *Fontes*. Edificio nuevo



Figura 10: detalle radiador existente. Edificio antiguo



Figura 11: detalle caldera existente. Edificio antiguo



Figura 12: detalle radiador existente. Edificio nuevo



Figura 13: Termo eléctrico en uno de los aseos

## **1.6. CERTIFICACIÓN ENERGÉTICA SIMPLIFICADA DE LOS EDIFICIOS**

### **1.6.1. INTRODUCCIÓN AL PROCEDIMIENTO DE CERTIFICACIÓN**

El Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios, establece la obligación de efectuar una certificación de eficiencia energética de edificios o partes de edificios en los que una autoridad pública ocupe una superficie útil total superior a 250 m<sup>2</sup> y que sean frecuentados habitualmente por el público.

El artículo 3 del Real Decreto anterior se refiere a los documentos reconocidos, creándose al efecto en el Ministerio de Industria, Energía y Turismo y adscrito a la Secretaria de Estado de Energía, el Registro general de documentos reconocidos para la certificación de eficiencia energética, que tendrá carácter público e informativo.

El programa informático CE3X, es una herramienta informática promovida por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo, a través del IDAE, y por el Ministerio de Fomento, que permite obtener la certificación de eficiencia energética de un edificio existente. Este procedimiento de certificación

consiste en la obtención de la etiqueta de eficiencia energética, que indica la calificación asignada al edificio. Incorpora además una serie de conjuntos de medidas de mejora de eficiencia energética, la nueva calificación que la aplicación de cada conjunto de medidas de mejora supondría y la posibilidad de realizar un análisis económico del impacto de dichas medidas basado en los ahorros energéticos estimados por la herramienta o las facturas de consumo de energía.

El programa se fundamenta en la comparación del edificio objeto de la certificación y una base de datos que ha sido elaborada para cada una de las ciudades representativas de las zonas climáticas, con los resultados obtenidos a partir de realizar un gran número de simulaciones con CALENER. De esta forma, el software busca las simulaciones con características más similares a las del edificio objeto e interpola respecto a ellas la demanda de calefacción y refrigeración, obteniendo así las demandas de calefacción y refrigeración del edificio objeto.

El procedimiento CE3X establece diferentes niveles de entrada de datos, en función del grado de conocimiento de las características térmicas del edificio y de sus instalaciones:

- a) Valores por defecto.
- b) Valores estimados.
- c) Valores conocidos (ensayados/justificados).

Los **valores por defecto**, para aquellos edificios de los que se desconozca las características térmicas de los cerramientos y demás parámetros que afectan a la eficiencia energética del edificio. Son valores, en la mayoría de los casos establecidos por la normativa térmica vigente durante el desarrollo del proyecto, y por lo tanto, a falta de más información, garantizan las calidades térmicas mínimas de los diferentes elementos que componen la envolvente del edificio.

Los **valores estimados** se deducen de un valor conocido/justificado (en la mayoría de los casos, el aislamiento térmico del cerramiento) y de otros valores conservadores, que se definen a partir de las características del elemento, lo cual implica que son válidos para todos aquellos elementos similares o para aquellos de propiedades más favorables.

Los **valores conocidos o justificados** se obtienen directamente de ensayos, catas en los cerramientos, del proyecto original o de sus reformas, de una monitorización de las instalaciones térmicas, o de cualquier otro documento, prueba o análisis que justifique el parámetro solicitado.

La demanda energética es la energía útil necesaria que tendrían que proporcionar los sistemas técnicos para mantener en el interior del edificio unas condiciones definidas reglamentariamente en función del uso del edificio (perfiles de uso) y de la zona climática en la que se ubique (clima de referencia). Se puede dividir en demanda energética de calefacción, de refrigeración, de agua caliente sanitaria (ACS) y de iluminación, y se expresa en kWh/m<sup>2</sup>.año, considerada la superficie útil de los espacios habitables del edificio.

Con el fin de conseguir una calificación energética más alta, el certificador debe introducir una serie de medidas de mejora de eficiencia energética para valorar su impacto sobre la calificación energética del edificio. Para que el informe final de certificación energética, emitido por el programa, se considere completo debe incorporar en él al menos un conjunto de medidas de mejora de eficiencia energética de aplicación al edificio.

### 1.6.2. APLICACIÓN A LOS EDIFICIOS OBJETO DE ESTUDIO

Se ha realizado la certificación de la eficiencia energética de los edificios existentes siguiendo el procedimiento simplificado CE3X v1.3.

Este procedimiento comienza con la recogida de datos que definen el comportamiento térmico del edificio existente y la eficiencia de sus instalaciones térmicas:

- Datos administrativos.
- Datos generales: año de construcción, superficie útil habitable, altura, nº de plantas...
- Características de la envolvente térmica: cubierta, muros, suelo, particiones interiores, huecos y lucernarios, puentes térmicos.
- Instalaciones: iluminación, calefacción, refrigeración, ACS...
- Contribuciones energéticas.
- Facturas de combustibles.

En el apartado 1.4. se incluye el resultado de la recogida de datos. Estos datos sirven de entrada a la herramienta informática.

En anexo 1 se adjuntan los certificados de eficiencia energética de los edificios existentes.

De acuerdo a lo anterior, la situación energética actual de los edificios existentes es:

#### Edificio antiguo:

• Demanda de calefacción (kWh/m <sup>2</sup> )	54,45	G
• Demanda de refrigeración (kWh/m <sup>2</sup> )	27,97	E
• Emisiones de calefacción (kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	23,3	G
• Emisiones de refrigeración (kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	11,26	F
• Emisiones de ACS (kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	0,0	A
• Emisiones de iluminación (kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	5,18	A
• <b>Calificación energética (kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>)</b>	<b>39,74</b>	<b>D</b>

Tabla 4: Calificación energética edificio antiguo

#### Edificio nuevo:

• Demanda de calefacción (kWh/m <sup>2</sup> )	55,62	G
• Demanda de refrigeración (kWh/m <sup>2</sup> )	23,53	C
• Emisiones de calefacción (kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	36,1	G
• Emisiones de refrigeración (kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	8,98	C
• Emisiones de ACS (kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	0,0	A
• Emisiones de iluminación (kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	9,78	A
• <b>Calificación energética (kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>)</b>	<b>54,87</b>	<b>D</b>

Tabla 5: Calificación energética edificio nuevo

## **1.7. MEDIDAS DE MEJORA**

### **1.7.1. LIMITACIÓN DE LA DEMANDA. ACTUACIONES EN ENVOLVENTE**

Las actuaciones de mejora de la envolvente exterior son las primeras que se deben tener en cuenta a la hora de plantear una rehabilitación que aumente la eficiencia energética de un edificio. La mejora de la envolvente térmica tiene dos consecuencias posibles:

- mejora del aislamiento térmico.
- reducción de las infiltraciones de aire del exterior.

En ambos casos esto supone una reducción de la demanda energética, que es lo que determina el consumo energético para unas instalaciones de climatización dadas. Como beneficio añadido, en caso de proceder a una mejora de las instalaciones, si se reduce la demanda se reducen las exigencias de capacidad de los equipos e instalaciones, pudiéndose sustituir éstos por otros de menor potencia, generalmente más económicos.

Las exigencias en las características térmicas de la envolvente son superiores en el CTE con respecto a la norma CT-79, (por ejemplo, para Murcia en muros de fachada la exigencia del CTE es de  $1 \text{ W/m}^2\text{K}$  frente a los  $1,80\text{-}1,20 \text{ W/m}^2\text{K}$  de la normativa anterior). Por lo tanto, una conclusión inicial que se puede extraer de estos datos es que, el potencial de reducción de la demanda de los edificios existentes puede ser importante.

En cada caso, expertos habrán de estudiar de forma exhaustiva y en su caso, efectuar los ensayos necesarios, (estudios termográficos, mediciones de temperatura, humedad, etc.), sobre la envolvente del edificio, al objeto de detectar problemas de aislamiento térmico y presencia de humedades, evaluando las mejoras a introducir en el proyecto de rehabilitación.

En los apartados siguientes se realizan propuestas de mejora.

#### **1.7.1.1. Mejora de huecos**

En este caso concreto, la actuación sobre los huecos es evidente, ya que de la inspección visual realizada y de las entrevistas efectuadas con las personas que utilizan el edificio, se puede asegurar el mal estado de carpinterías, dando lugar a infiltraciones de aire del exterior. Aparte del consumo energético que supone, es un problema que genera una disconformidad evidente. La solución analizada consiste en el cambio de carpinterías por otras de PVC o aluminio con rotura de puente térmico y cristal tipo climalit de doble hoja (4-6-4).

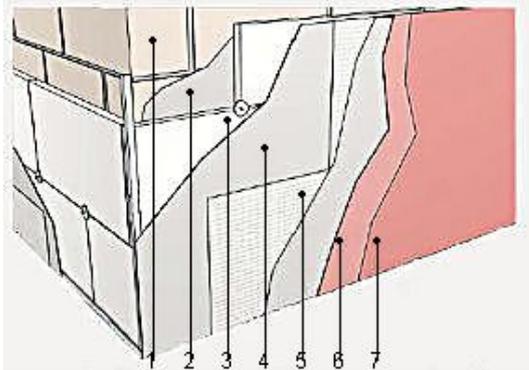
Con esta medida, según el programa informático conseguiremos un ahorro energético entre un  $1,4\text{-}7,4 \%$  respecto a la situación actual, siendo la reducción de emisiones globales de  $\text{CO}_2$  equivalente aproximadamente a un  $2 \%$  respecto a la situación actual.

No obstante, como las infiltraciones son importantes en las carpinterías actuales, se estima que el ahorro energético superará el  $10\%$ .



### 1.7.1.2. Mejora de aislamiento en fachadas

Esta opción consiste en actuar sobre la fachada de los edificios por el exterior, mejorando su aislamiento térmico, incorporando un panel rígido de poliestireno expandido (EPS), según UNE-EN 13163, de superficie lisa y mecanizado lateral recto, de 40 mm de espesor, color gris, resistencia térmica 1,1 m<sup>2</sup>K/W, conductividad térmica 0,036 W/(mK), densidad 20 kg/m<sup>3</sup>, Euroclase E de reacción al fuego.



- 1: Soporte.
- 2: Mortero base.
- 3: Aislamiento (EPS).
- 4: Mortero base.
- 5: Malla.
- 6: Imprimación.
- 7: Mortero decorativo.

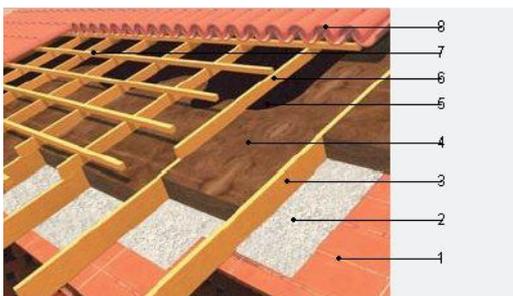
Figura 14: detalle aislamiento propuesto para fachada edificios

Las mejoras que se obtienen con esta actuación son de una reducción de la demanda energética de calefacción entre un 13 % y un 20,2 % y una reducción de emisiones globales del 7 % respecto a la situación actual.

### 1.7.1.3. Mejora de aislamiento en cubiertas

Esta opción consiste en actuar sobre la cubierta del edificio nuevo por el exterior, añadiendo un aislante térmico ya que actualmente no dispone de ninguno.

La rehabilitación energética de cubierta inclinada consiste en la incorporación de aislamiento termoacústico por el exterior de la cubierta, formado por panel de lana mineral natural (LMN) semirrígido, no revestido, Panel Plus (TP 138) "KNAUF INSULATION", de 50 mm de espesor, colocado entre rastreles de madera, fijado mecánicamente al soporte; previo desmontaje de la capa de cobertura de teja cerámica curva existente; barrera de vapor adherida al soporte, bajo el aislante; colocación de la impermeabilización sobre el aislante; y cobertura de teja cerámica mixta, 43x26 cm, fijada con tornillos rosca-madera sobre rastreles de madera, formando una cámara de aire ventilada por encima del aislamiento.



- 1: Soporte base.
- 2: Barrera de vapor.
- 3: 1ª hilera de rastreles de madera.
- 4: Aislamiento.
- 5: Impermeabilización.
- 6: 2ª hilera de rastreles de madera.
- 7: 3ª hilera de rastreles perpendicular a las anteriores.
- 8: Cobertura.

Figura 15: detalle aislamiento propuesto para cubierta edificio nuevo

Con esta opción se reduciría la demanda de calefacción un 4,5 % respecto a la situación actual.

#### **1.7.1.4. Mejora de aislamiento en fachadas y huecos**

Esta opción es una combinación de dos medidas expuestas anteriormente, esto es, actuar conjuntamente sobre las fachadas y los huecos. Permite alcanzar una reducción de la demanda de calefacción entre un 18,5 % y un 27,2 %, y una reducción de las emisiones globales de CO<sub>2</sub> entre un 6 % y un 9 %.

#### **1.7.2. MEJORAS EN EL SISTEMA DE CALEFACCIÓN**

La climatización en los edificios se circunscribe únicamente al sistema de calefacción. Debido a la climatología y a las fechas de utilización del centro de educación, no existe sistema de refrigeración alguno en las aulas. Por otro lado, tampoco hay presencia de sistemas de ventilación mecánica en los edificios.

En los sistemas de calefacción existe un potencial de mejora importante. Así, se analizarán medidas de ahorro sencillas y eficaces, aunque hay que avanzar ya que las mejoras van a ir normalmente ligadas a la realización de inversiones de cierta entidad, y que su rentabilidad no va a ser excesivamente elevada debido a la baja utilización de estos sistemas de calefacción en nuestra situación geográfica.

Hay que señalar también que en el caso de la sustitución de calderas, esta es una operación compleja, en cuanto que hay que considerar factores que van más allá del rendimiento de los equipos o la selección de uno u otro combustible. Además de las características térmicas, habrá de tener en cuenta:

- Posibilidad de acceso y distancia a la red de gas natural (que tiene influencia en la rentabilidad de la inversión).
- Tamaño de la sala de calderas, o espacio disponible para la instalación del silo en el caso de calderas de biomasa.
- En el caso de la biomasa, posibilidad de acceso de los camiones de suministro.
- Horas de funcionamiento de la instalación. Cuanto mayor es el tiempo de funcionamiento, mayor es el consumo energético, lo que favorece la instalación de calderas con el combustible más económico.

Puede establecerse una serie de circunstancias generales bajo las cuales es aconsejable analizar la posibilidad de acometer una rehabilitación de las instalaciones de calefacción:

- Siempre que se acometa una reforma integral de la envolvente del edificio, para mejorar la eficiencia, el confort, la seguridad u otro tipo de problemas asociados a aquella, es el momento apropiado para analizar las posibilidades de mejora en la instalación de calefacción. De esta manera, se podrá incluir como factor de cálculo en las mejoras de calefacción, la reducción de la demanda derivada de las actuaciones en la envolvente.
- En caso de averías importantes ligadas al sistema de generación.
- La elevada antigüedad de las instalaciones, acentuado por la falta de políticas adecuadas de mantenimiento de las instalaciones.
- La utilización de gasóleo de calefacción como combustible.
- Cuando los ratios energéticos así lo aconsejen.

A continuación se desarrollan una serie de propuestas de mejora para el sistema de calefacción.

### 1.7.2.1. Sustitución de las llaves de corte en radiadores

Esta mejora es evidente y se debe efectuarse de manera inmediata. Tal y como se explicó en el apartado 1.4.3.2.1., la falta de regulación al estar las llaves de corte totalmente en posición abierta genera un despilfarro claro de energía.

Las llaves de corte permiten regular el caudal que pasa por el radiador, pudiendo cerrar el emisor en caso de alcanzar la temperatura deseada.

Existe la posibilidad también de sustituirlas por válvulas termostáticas. Estas válvulas permiten establecer una temperatura de consigna o equilibrio, y por tanto, la apertura, y por tanto el caudal que atravesará el emisor, es proporcional a la desviación de la temperatura ambiente sobre la de consigna o equilibrio. Cuanto más próxima este la temperatura ambiente a la de consigna, más cerrada estará la válvula y por tanto menos potencia emitirá el emisor.



Figura 16: ejemplo de válvulas termostáticas. (Fuente: Danfoss)

Los ahorros energéticos generados por esta medida son muy variables. La bibliografía consultada explica que en instalaciones donde no existe ningún tipo de control termostático, los ahorros pueden llegar a ser importantes (superiores al 10 %), especialmente en edificios con fachadas principales norte sur y cargas internas desequilibradas.

### 1.7.2.2. Implantación de un sistema de regulación basado en temperatura exterior

Actualmente no existe ningún sistema de regulación, y su aplicación es obligatoria para las instalaciones efectuadas a partir de la entrada en vigor de las Instrucciones Técnicas Complementarias al Reglamento de instalaciones de calefacción, climatización y agua caliente sanitaria en noviembre de 1981. La instalación de calefacción del colegio es anterior a esta fecha.

El objetivo de esta mejora es adaptar la temperatura de impulsión del agua del circuito de calefacción a la carga real del edificio en cada momento, para disminuir así las pérdidas de la instalación. De esta manera, a partir de la temperatura máxima de diseño (condiciones más desfavorables), se va a ir disminuyendo la temperatura de impulsión a medida que la temperatura exterior vaya aumentando.

La disminución de la temperatura exterior en el circuito secundario (distribución), disminuirá las pérdidas por radiación y convección en la red, (ambas, función de la temperatura), sobre todo en edificios con aislamiento deficiente en la distribución.

También se podría disminuir la temperatura en el circuito primario de caldera, pero para eso es necesario sustituir la caldera actual por otra que así lo permita, como puede ser la caldera de baja temperatura para gas natural o de condensación, también de gas natural.

Actualmente, en Torre-Pacheco se está introduciendo la red de distribución de gas natural. En la fecha de redacción de este trabajo, aún no existe esta red en la zona del colegio.

Para variar la temperatura del secundario únicamente es necesaria la modificación del circuito hidráulico del secundario del sistema de calefacción, incorporando los siguientes elementos: válvula de tres vías motorizada, sonda de temperatura exterior, sonda de temperatura de impulsión y centralita de regulación.

La válvula de tres vías motorizada, (de accionamiento eléctrico) se abrirá y cerrará de acuerdo a las órdenes recibidas de la centralita de regulación, que estará incorporando como señales la temperatura exterior y la temperatura de impulsión.

Es complicado estimar los ahorros generados, no obstante, la inversión del sistema de regulación supone un coste relativamente reducido por lo que siempre es recomendable para mejorar la eficiencia de la instalación.



Figura 17: ejemplo de componentes de regulación. (Fuente: Danfoss)

### 1.7.2.3. Implantación de bombas de circulación de caudal variable

El objetivo de la sustitución de las bombas de circulación de caudal constante por otras de caudal variable es la disminución del consumo eléctrico de las mismas.

La bomba centrífuga utilizada en la instalación de calefacción es una bomba de caudal (velocidad) constante, modelo MC 1230 W de *ROCA*. Su curva de funcionamiento es la siguiente:

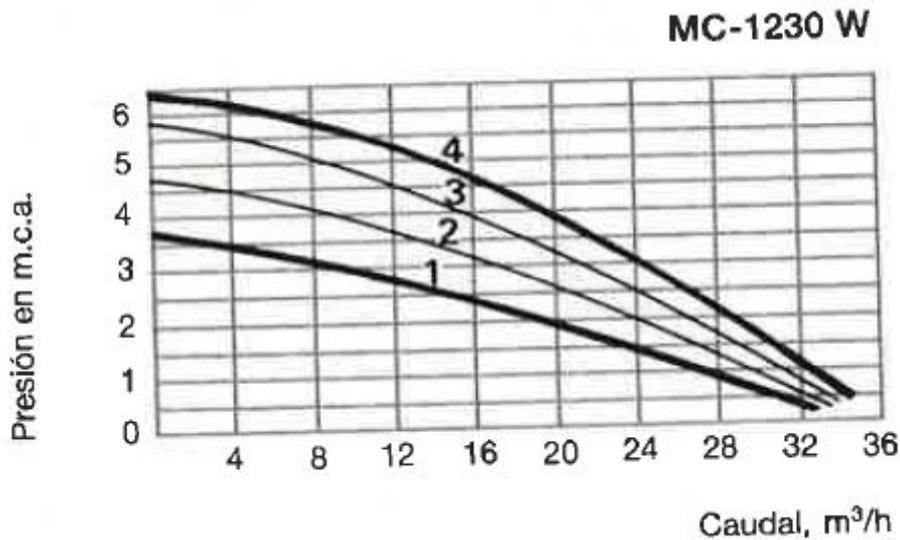


Figura 18: curva Q-H de la bomba centrífuga existente en la instalación de calefacción

En el caso de las bombas de caudal (velocidad) constante, el caudal de operación viene dado por la intersección entre la curva de funcionamiento (Q-H) de la bomba y la curva (Q-H) de la instalación.

Con el fin de poder desplazar la curva (Q-H) de la bomba hacia valores más pequeños, puede disminuirse la velocidad del motor de accionamiento de la bomba, alimentando éste a través de un convertidor de frecuencia que es un dispositivo electrónico que permite variar la frecuencia y tensión de alimentación a la carga.

La razón de disminuir la curva Q-H de la bomba es que para un punto de trabajo determinado (caudal), se tendrá una menor altura manométrica y por tanto un menor consumo asociado, (hay que recordar que el consumo de bombeo es proporcional al caudal y a la altura manométrica).

En la instalación original el caudal de diseño se ajusta mediante una válvula de estrangulamiento que eleva la curva característica de la instalación hasta cortar a la curva de la bomba en el caudal de diseño. El ahorro de consumo viene dado por la sustitución de dicha válvula de estrangulamiento por una bomba de caudal variable.

Como valores orientativos, para una reducción del caudal del 20%, el consumo de energía es de aproximadamente el 95% en el caso de utilizar una válvula de estrangulamiento, mientras que en el caso de utilizar una bomba de caudal variable, sería del 65%.



Figura 19. Bomba de caudal constante, (izquierda) y bomba de caudal variable (derecha)

#### 1.7.2.4. Sustitución de caldera de combustible fósil por otra de biomasa

Los objetivos que se consiguen con esta mejora son:

- Disminuir el coste energético total mediante la sustitución de un combustible fósil (gasóleo-C, GLP o gas natural) que en todos los casos, tiene mayor coste unitario que la biomasa.
- Reducir las emisiones de contaminantes a la atmósfera y no contribuir al efecto invernadero por tener la biomasa un balance neutro de CO<sub>2</sub>.
- Mejorar la calificación energética del edificio.

La sustitución de una caldera de combustible fósil por otra de biomasa va a conllevar una serie de cambios en la sala de calderas. Las principales diferencias entre ambos tipos de instalaciones son:

- Los sistemas basados en biomasa requieren más espacio. Ello es debido al mayor tamaño de las calderas, y a la necesidad de instalar subsistemas de acumulación de inercia, almacenamiento de combustible y sistema de alimentación.
- Las instalaciones necesitan de operaciones de mantenimiento más frecuentes y de una mayor vigilancia, si bien existen en el mercado calderas automatizadas que apenas requieren de intervención.
- La inversión inicial suele ser superior a los sistemas de combustibles fósiles.
- El coste de la biomasa es inferior al de los combustibles fósiles y mucho más estable.

La tecnología de las calderas de biomasa ha hecho importantes progresos, consiguiendo que las emisiones de CO<sub>2</sub> hayan disminuido hasta valores de 50 mg/m<sup>3</sup> y alcanzando rendimientos entre un 85 y un 92%, es decir, del mismo orden que los que presentan las calderas de gasóleo o de gas estándar.

Las calderas de biomasa actuales presentan un alto grado de automatización lo que facilita en gran medida su mantenimiento y utilización:

- Arranque automático y regulación en función de la demanda.
- Adaptación a cualquier sistema de gestión.
- Limpieza automática de las superficies de intercambio.
- Extracción automática de cenizas.
- Actuación por control remoto para la solución de incidentes y supervisión.

En la elección de una caldera de biomasa hay varios factores a tener en cuenta, entre ellos se pueden enumerar los siguientes:

- Tipo y calidad del combustible utilizado.
- Equipos de alto rendimiento (>90%) y bajas emisiones.
- Alto nivel de automatización, reduciendo al mínimo los trabajos de mantenimiento. Las calderas con niveles mayores de automatización suelen ser más eficientes, pero presentan mayores costes de inversión.
- Se recomiendan los sistemas modulantes que permiten una variación continua de la potencia para adecuarla a la demanda existente en cada momento.
- Es necesario tener asegurada la disponibilidad de un distribuidor y de una empresa instaladora autorizada.
- El coste del sistema y las ayudas públicas existentes.

Debido al bajo número de horas de funcionamiento de la calefacción en el colegio el periodo de retorno simple de la inversión es elevado. Sin embargo, el bajo precio del combustible y su estabilidad puede mejorar el análisis del retorno de la inversión con criterios de valoración en el tiempo de los flujos de caja generados como son la TIR (tasa interna de retorno) o el VAN (valor actual neto).

La implantación de esta mejora sirve como actuación ejemplarizante y educativa sobre las energías renovables y la protección del medio ambiente. Esta circunstancia se ve acentuada por la mejora en la calificación energética que supone: hasta una letra B, e incluso hasta una A. Este aumento en la calificación ha de exhibirse mediante la correspondiente etiqueta energética a la entrada al tratarse de un edificio con acceso de público.

Se considera una opción a tener en cuenta al sustituir la caldera existente dado que se dan las condiciones adecuadas de acceso del camión de suministro y hay espacio suficiente en la sala de calderas para el almacenamiento de combustible.

### 1.7.3. MEJORAS EN EL SISTEMA DE ILUMINACIÓN

Es una de las actuaciones con mayor potencial de aumento de la eficiencia energética, ya que la iluminación puede suponer entre el 40-50% del consumo eléctrico del edificio. Sin embargo, también es cierto que una correcta iluminación es fundamental en el centro educativo, por lo que las actuaciones van más allá que una mera sustitución de lámparas, equipos o luminarias. Es necesaria una correcta evaluación de la situación antes de llevar a cabo la mejora, así como un perfecto conocimiento previo de sus resultados, para seleccionar las opciones que permiten maximizar la eficiencia energética y el confort.

La calidad de la iluminación se determina fundamentalmente con estos parámetros:

Illuminancia (E): se mide en luxes y define el flujo luminoso que existe en una zona.

Uniformidad: se utiliza para dar cuenta de la relación entre los valores máximos y mínimos de la iluminancia en una estancia. Cuanto mayor es la uniformidad, menor diferencia existe entre los valores de iluminancia máxima y mínima.

Deslumbramiento: definido como la incomodidad en la visión producida cuando partes del campo visual son muy brillantes en relación a las cercanías a las que el ojo está adaptado. Se mide con el índice de deslumbramiento unificado ( $UGR_L$ ).

Índice de reproducción cromática: capacidad de la fuente de luz analizada de reproducir los colores reales (establecidos por una fuente de referencia).

Temperatura de color (K): color emitido por una fuente de luz en comparación al color de un cuerpo negro. Se emplea para medir la calidad cromática de la luz, y en función de su temperatura de color, la norma DIN 5035 divide la luz en tres clases:

- Blanco cálido:  $T_c < 3.300 \text{ K}$ .
- Blanco neutro:  $3.300 \text{ K} < T_c < 5000 \text{ K}$ .
- Luz fría:  $T_c > 5000 \text{ K}$ .



El sistema de iluminación del edificio se modificó recientemente, sustituyendo las luminarias tipo regleta de tubos fluorescentes, con equipos electromagnéticos, arrancadores y sin condensadores, por otras luminarias, con lámparas fluorescentes tipo T8 y balastos electrónicos. Esta sustitución ha permitido la reducción del consumo de energía reactiva del edificio, tal y como se puede verificar en la tabla 2. Además, se han implantado sistemas de detección de movimiento en pasillos y aseos y se han sustituido las luminarias de exterior dotadas de lámpara de descarga de vapor de mercurio y accionamiento por fotocélula, por otras con lámpara de descarga de sodio alta presión, equipo electromagnético y accionamiento mediante programador astronómico.

Analizada la calidad de la iluminación, la medida de mejora consiste en la sustitución de las lámparas T8 actuales, por luminarias LED, tipo *MASTER LED Tube VLE HF PHILIPS* o similar, 16,5 W, 840, y en la sustitución de lámpara de VSAP en exteriores por otra de LED, de 40 W.



Figura 20: T8 fluorescente 36W, (izquierda) y T8 LED, 16,5 W, (derecha)



Figura 21: Tubular SAP 100 W, (izquierda) y lámpara equivalente LED 40 W, (derecha)

El consumo estimado de energía eléctrica en iluminación es el siguiente:

Tipo luminaria	Pot. sistema (W) incluye balasto	Cantidad	Horas utilización al día (media)	Nº horas al año (estimado)	Consumo energía (kwh)
2x36 W (aulas)	72	236	6	1200	20.390
2x36 W (pasillos)	72	30	4	800	1.728
100 SAP	116	11	11,5	4200	5.359
<b>TOTAL ENERGÍA ILUMINACIÓN:</b>					<b>27.477</b>

Tabla 6: Consumo actual estimado de energía (kWh) en iluminación

Si se aplica la mejora estudiada, el consumo de energía eléctrica pasaría a ser el siguiente:

Tipo luminaria	Pot. sistema (W) incluye balasto	Cantidad	Horas utilización al día (media)	Nº horas al año (estimado)	Consumo energía (kwh)
LED 2x16,5 W (aulas)	33	236	6	1200	9.346
LED 2x16,5 W (pasillos)	33	30	4	800	792
LED 40 W	40	11	11,5	4200	1.848
<b>TOTAL ENERGÍA ILUMINACIÓN:</b>					<b>11.986</b>

Tabla 7: Consumo estimado de energía (kWh) en iluminación una vez efectuada la mejora

El ahorro energético al aplicar la medida es de 13.257 kWh, que supone una reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> de 8,60 ton, (649 gr CO<sub>2</sub>/kWh e. Fuente IDAE).

## 1.7.4. ENERGÍAS RENOVABLES

### 1.7.4.1. Incorporación de sistemas de energía solar térmica

Los objetivos que se consiguen con esta medida son:

- Disminuir el coste energético total y las emisiones de gases de efecto invernadero mediante el uso de las energías renovables.
- El cumplimiento del apartado HE 4 del CTE, que obliga a la utilización de energía solar para la producción de ACS, en obra nueva o rehabilitaciones integrales.
- Como medida ejemplarizante y educativa del uso de las energías renovables y del cuidado del medio ambiente.

En el caso de aplicación al colegio “*Fontes*”, dado que apenas existe demanda de ACS, la instalación de sistemas de aprovechamiento de la energía solar térmica como apoyo al sistema de calefacción sería una medida ejemplarizante y educativa del uso de este tipo de energía y, de la preocupación y cuidado por el medio ambiente.

Desde el punto de vista únicamente de la viabilidad económica, la implantación de estos sistemas para el colegio presenta periodos de retorno elevados, debido a:

- Baja demanda de ACS.
- Hay periodos en los que el edificio no tiene uso.
- En el caso de apoyo a la instalación de calefacción, poseen rendimientos bajos dado que el sistema existente opera con temperaturas elevadas en el retorno y además, suelen tener altos periodos de estancamiento,

En los documentos 2 y 3 de este trabajo se diseña una instalación de calefacción con caldera de biomasa, apoyo con energía solar, trabajando a temperaturas del orden de 70°C en impulsión y 50°C en retorno.



#### 1.7.4.2. Incorporación de sistemas de energía solar fotovoltaica.

El edificio nuevo emplea como sistema de calefacción radiadores eléctricos, que como se explica en 1.4.4.1., supone un consumo de energía comprendido entre 7.506 y 4.303 kWh anuales, (dependiendo de que el año sea más o menos frío respectivamente). Se puede plantear entonces que esta energía fuera proporcionada por una fuente de energía renovable solar fotovoltaica, como por ejemplo, un sistema de autoconsumo instantáneo con control sobre la inyección a red. Para garantizar dicho autoconsumo instantáneo, los equipos deben permitir ajustar de forma instantánea, la potencia producida por los inversores fotovoltaicos a la demanda de consumo en cada momento.

Existen en el mercado kits fotovoltaicos integrados que realizan lo anterior. Están constituidos por:

- Controlador dinámico de potencia, (permite regular el nivel de generación del inversor en función del consumo mediante el desplazamiento del punto de trabajo del campo solar, MPPT).
- Analizador de redes trifásico.
- Transformadores de corriente.
- Protecciones contra sobretensiones, interruptores magnetotérmicos y diferenciales.
- Estructura soporte y anclajes.
- Inversor.
- Módulos fotovoltaicos.

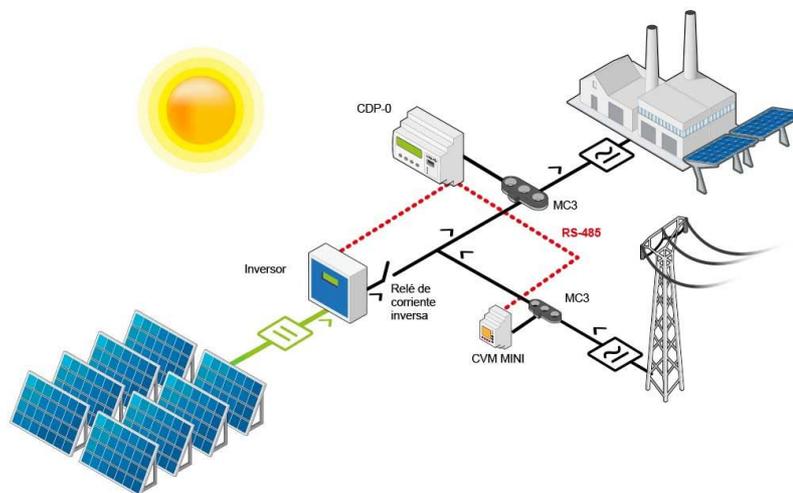
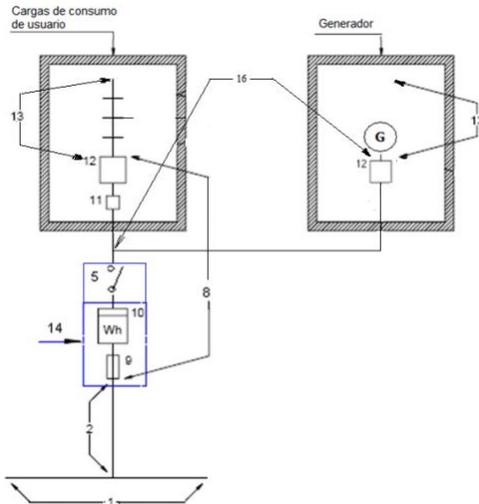


Figura 22. Instalación generadora conectada a la red interior y suministro asociado

La clasificación de este tipo de instalación, según ITC-BT-40 del Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión, es una instalación generadora conectada a la red interior y suministro asociado, acometida de único usuario, método de medida bidireccional, conexión en la derivación individual:



Del lado del generador:

- 13 Equipo generador-inversor (GEN)
- 12 Dispositivos de mando y protección interiores (DPI)

Del lado de la instalación receptora:

- 1 Red de distribución
- 2 Acometida
- 5 Interruptor general de maniobra (IGM)
- 8 Derivación individual (DI)
- 9 Fusible de seguridad
- 10 Contador
- 11 Caja para interruptor de control de potencia (ICP)
- 12 Dispositivos generales de mando y protección (DGMP)
- 13 Instalación interior
- 14 Conjunto de protección y medida (CPM)

Figura 23. Esquema método bidireccional. Conexión en derivación individual

Con ayuda del programa “PVGIS” se puede estimar la energía eléctrica generada para una instalación fotovoltaica de potencia nominal 5 kW, situada exactamente en la localización del edificio en estudio, con una orientación de 0° sur e inclinación de 55°. La razón de escoger la inclinación de 55° se debe a la necesidad de producir la máxima energía posible en los meses de invierno, en contraprestación con los meses de verano en los que apenas existe demanda de energía debido al periodo vacacional.

Conforme al programa anterior, disponible en <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>, la energía eléctrica generada sería la siguiente:

Mes	Ed (kWh)	Em (Kwh)	Hd (kWh/m <sup>2</sup> )	Hm (kWh/m <sup>2</sup> )
Enero	18,60	575	4,80	149
Febrero	21,00	587	5,47	153
Marzo	23,30	722	6,21	192
Abril	21,30	640	5,73	172
Mayo	20,70	641	5,64	175
Junio	20,60	619	5,72	172
Julio	21,00	652	5,91	183
Agosto	21,90	680	6,15	191
Septiembre	21,60	648	5,95	179
Octubre	21,10	654	5,74	178
Noviembre	18,50	556	4,88	146
Diciembre	17,20	532	4,45	138
<b>Total año</b>		<b>7510</b>		<b>2030</b>

Tabla 8. Generación energía eléctrica instalación solar fotovoltaica

Siendo:

Ed: media diaria de la energía eléctrica producida por el sistema.

Em: media mensual de la energía eléctrica producida por el sistema.

Hd: media diaria de la radiación por m<sup>2</sup> recibida por los módulos.

Hm: media mensual de la radiación por m<sup>2</sup> recibida por los módulos.

### 1.7.5. ANÁLISIS ECONÓMICO

A continuación se representarán las inversiones que supondrían llevar a cabo cada una de las soluciones previstas en los puntos anteriores, y se efectuará un análisis dinámico del plazo de recuperación, teniendo en cuenta las variables en el tiempo que intervienen de forma decisiva en el resultado final del plazo de amortización de la inversión. Estos factores son:

- El precio de la energía.
- La tasa de inflación.
- El precio del dinero: tasa de interés para la financiación del proyecto.

Se ha utilizado el Valor Actualizado Neto (VAN) como criterio dinámico de valoración de inversiones, con el fin de determinar un plazo de recuperación más ajustado a la realidad.

Este criterio se basa en la determinación de los ahorros futuros, a partir de la variación del valor del dinero en el tiempo y de todos los flujos de caja generados por el proyecto. Su resultado viene expresado por la diferencia entre dichos ahorros futuros y el coste neto de la inversión.

$$\text{VAN} = \text{Ahorros futuros actualizados} - \text{Coste neto de la inversión.}$$

Los **ahorros futuros actualizados** se determinarán teniendo en cuenta el incremento del precio de la energía y la tasa de descuento, mediante la actualización de los flujos de caja de la inversión.

Se consideran como flujos positivos todos los ahorros que se generarán como consecuencia de la mejora de la eficiencia energética del edificio y, como flujos negativos, todos los costes derivados del correspondiente mantenimiento de las medidas de mejora introducidas.

La tasa de descuento corresponde a la diferencia entre la tasa de interés nominal y la tasa de inflación.

$$\text{Ahorros futuros actualizados} = \text{Ahorro energético actualizado} - \text{Coste de mantenimiento actualizado}$$

El **ahorro energético actualizado** viene dado por la siguiente expresión:

$$\text{Ahorro energético actualizado} = \sum_{i=1}^n [(1 + K\text{Penergía}) / (1 + T\text{descuento})]^n \times \text{Ahorro energético anual}$$

Siendo:

$KP_{energía}$ : incremento anual previsto del precio de la energía, (5% en el estudio).

$T_{descuento}$ : tasa de descuento (Tasa de interés nominal – Tasa de inflación prevista)

El coste de mantenimiento actualizado viene dado por la siguiente expresión:

$$Coste\ mantenimiento\ actualizado = \sum_{i=1}^n [(1 + T_{inflación}) / (1 + T_{interés})^n \times Coste\ anual\ de\ mantenimiento]$$

Siendo:

$T_{inflación}$ : tasa de inflación prevista, (1,2 % en el estudio).

$T_{interés}$ : tasa de interés nominal, (5% en el estudio).

El coste neto de la inversión se determina mediante la suma de los costes de las medidas de mejora, descontando el montante económico de las ayudas y subvenciones efectivas asociadas a dichas medidas de mejora.

Coste neto de la inversión: Coste de la inversión – Ayudas y subvenciones

### 1.7.5.1. Mejora de huecos

Se adjunta anexo de detalle de mediciones y presupuesto.

El coste de la inversión es de 16.392,64 €

Ahorro energético anual						
Consumo de las instalaciones	Consumo inicial		Consumo final		Diferencia (kWh)	Ahorro generado (€)
	kWh	%	kWh	% ahorro		
Calefacción (gasóleo)	25.000	100	22.500	10	2.500	232,75
Calefacción (electricidad)	5.500	≈ 10,96	4.950	10	550	73,15
<b>Total ahorro anual generado (€)</b>						<b>305,9</b>

Precio del gasóleo C sin impuestos = 0,931 €/l (diciembre 2014)

Precio del kWh eléctrico sin impuestos=0.133 €/kWh (diciembre 2014).

**Tabla 9. Total ahorro generado mejora de huecos**

El VAN de la inversión es positivo en el año 42, esto es, a partir de ese año se empieza a generar ganancia o beneficio adicional.

En el Anexo IV se justifica el cálculo del VAN para esta mejora.

### 1.7.5.2. Mejora de aislamiento en fachadas

Se adjunta anexo de detalle de mediciones y presupuesto.

El coste de la inversión es de 64.473,48 €

 <b>Universidad Politécnica de Cartagena</b>		<b>TRABAJO FIN DE GRADO (TFG)</b>	
		ESTUDIO TÉCNICO Y ECONÓMICO PARA LA MEJORA DEL COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO DEL COLEGIO DE EDUCACIÓN INFANTIL Y PRIMARIA "CEIP FONTES" EN TORRE-PACHECO, (MURCIA)	

Ahorro energético anual						
Consumo de las instalaciones	Consumo inicial		Consumo final		Diferencia (kWh)	Ahorro generado (€)
	kWh	%	kWh	% ahorro		
Calefacción (gasóleo)	25.000	100	21.750	13	3.250	302,58
Calefacción (electricidad)	5.500	≈ 10,96	4.389	20,2	1.111	147,76
<b>Total ahorro anual generado (€)</b>						<b>450,34</b>

Precio del gasóleo C sin impuestos = 0,931 €/l (diciembre 2014)

Precio del kWh eléctrico sin impuestos=0.133 €/kWh (diciembre 2014).

**Tabla 10. Total ahorro generado mejora de aislamiento en fachadas**

En el año 50 el VAN de esta inversión continúa siendo negativo. Esto es, con los ahorros futuros que se esperan, actualizados, no se recuperaría la inversión en el año 50.

En el Anexo IV se justifica el cálculo del VAN para esta mejora.

### 1.7.5.3. Mejora de aislamiento en cubiertas

Se adjunta anexo de detalle de mediciones y presupuesto.

El coste de la inversión es de 32.943,36 €

Ahorro energético anual						
Consumo de las instalaciones	Consumo inicial		Consumo final		Diferencia (kWh)	Ahorro generado (€)
	kWh	%	kWh	% ahorro		
Calefacción (electricidad)	5.500	≈ 10,96	5.252,5	4,5	247,5	147,76
<b>Total ahorro anual generado (€)</b>						<b>32,92</b>

Precio del kWh eléctrico sin impuestos=0.133 €/kWh (diciembre 2014).

**Tabla 11. Total ahorro generado mejora de aislamiento en cubiertas**

En el año 50 el VAN de esta inversión continúa siendo negativo. Esto es, con los ahorros futuros que se esperan, actualizados, no se recuperaría la inversión en el año 50.

En el Anexo IV se justifica el cálculo del VAN para esta mejora.

### 1.7.5.4. Mejora de aislamiento en fachadas y huecos

Se adjunta anexo de detalle de mediciones y presupuesto.

El coste de la inversión es de 80.866,12 €

Ahorro energético anual						
Consumo de las instalaciones	Consumo inicial		Consumo final		Diferencia (kWh)	Ahorro generado (€)
	kWh	%	kWh	% ahorro		
Calefacción (gasóleo)	25.000	100	20.375	18,5	4.625	430,59
Calefacción (electricidad)	5.500	≈ 10,96	4.004	27,2	1.496	198,97
<b>Total ahorro anual generado (€)</b>						<b>629,56</b>

Precio del gasóleo C sin impuestos = 0,931 €/l (diciembre 2014)

Precio del kWh eléctrico sin impuestos=0.133 €/kWh (diciembre 2014).

**Tabla 12. Total ahorro generado mejora de aislamiento en fachadas y huecos**

En el año 50 el VAN de esta inversión continúa siendo negativo. Esto es, con los ahorros futuros que se esperan, actualizados, no se recuperaría la inversión en el año 50.

En el Anexo IV se justifica el cálculo del VAN para esta mejora.

### 1.7.5.5. Sustitución de las llaves de corte en radiadores

Se adjunta anexo de detalle de mediciones y presupuesto.

El coste de la inversión es de 1428 € para reguladores convencionales y de 2087,82 € si se sustituyen por llaves termostáticas.

Ahorro energético anual						
Consumo de las instalaciones	Consumo inicial		Consumo final		Diferencia (kWh)	Ahorro generado (€)
	kWh	%	kWh	% ahorro		
Calefacción (gasóleo)	25.000	100	22.500	10	2.500	232,75
<b>Total ahorro anual generado (€)</b>						<b>232,75</b>

Precio del gasóleo C sin impuestos = 0,931 €/l (diciembre 2014)

**Tabla 13. Total ahorro generado mejora sustitución llaves corte radiadores**

El VAN de la inversión es positivo en el año 6, (año 9 para el caso de instalar llaves termostáticas), esto es, a partir de ese año se empieza a generar ganancia o beneficio adicional.

En el Anexo IV se justifica el cálculo del VAN para esta mejora.

### 1.7.5.6. Mejora del sistema de iluminación

Se adjunta anexo de detalle de mediciones y presupuesto.

El coste de la inversión es de 11.120,00 €

Ahorro energético anual						
Consumo de las instalaciones	Consumo inicial		Consumo final		Diferencia (kWh)	Ahorro generado (€)
	kWh	%	kWh	% ahorro		
Iluminación (electricidad)	27.477	≈ 53,05	11.986	56,38	15.491	2.060,30
<b>Total ahorro anual generado (€)</b>						<b>2.060,30</b>

Precio del kWh eléctrico sin impuestos = 0,133 €/kWh (diciembre 2014).

**Tabla 14. Total ahorro generado mejora sistema iluminación**

El VAN de la inversión es positivo en el año 6, esto es, a partir de ese año se empieza a generar ganancia o beneficio adicional.

En el Anexo IV se justifica el cálculo del VAN para esta mejora.

### 1.7.5.7. Mejora instalación caldera de biomasa y apoyo con energía solar

Se adjunta anexo de detalle de mediciones y presupuesto.

El coste de la inversión es de 139.537,71 €

Ahorro energético anual						
Consumo de las instalaciones	Consumo inicial		Consumo final		Diferencia (kWh)	Ahorro generado (€)
	kWh	%	kWh	% ahorro		
Calefacción (gasóleo)	25.000	100	0	100	25.000	2.327,5
Calefacción (electricidad)	5.500	≈ 10,96	0	100	5.500	731,5
Calefacción (biomasa)	0	0	33832	0	- 33832	-1.566,27
<b>Total ahorro anual generado (€)</b>						<b>1.492,73</b>

Precio del gasóleo C sin impuestos = 0,931 €/l (diciembre 2014)

Precio del kWh eléctrico sin impuestos=0.133 €/kWh (diciembre 2014).

Precio del kWh de biomasa sin impuestos (pellets)=0.046 €/kWh (diciembre 2014).

**Tabla 15. Total ahorro generado mejora caldera biomasa y apoyo solar**

En el año 25 el VAN de esta inversión continúa siendo negativo. Esto es, con los ahorros futuros que se esperan, actualizados, no se recuperaría la inversión en el año 25.

En el Anexo IV se justifica el cálculo del VAN para esta mejora.

### 1.7.5.8. Mejora instalación solar fotovoltaica

Se adjunta anexo de detalle de mediciones y presupuesto.

El coste de la inversión es de 15.926 €

Ahorro energético anual						
Consumo de las instalaciones	Consumo inicial		Consumo final		Diferencia (kWh)	Ahorro generado (€)
	kWh	%	kWh	% ahorro		
Instalación (electricidad)	51.796	100 %	44.286	14,50	7.510	998,83
<b>Total ahorro anual generado (€)</b>						<b>998,83</b>

Precio del kWh eléctrico sin impuestos=0.133 €/kWh (diciembre 2014).

**Tabla 16. Total ahorro generado mejora instalación solar fotovoltaica**

El VAN de la inversión es positivo en el año 15, esto es, a partir de ese año se empieza a generar ganancia o beneficio adicional.

En el Anexo IV se justifica el cálculo del VAN para esta mejora.

## 1.8. EJECUCIÓN DE LAS MEDIDAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y CONCLUSIONES

Las medidas de rehabilitación energética no son medidas aisladas, independientes entre sí o de otras actuaciones en los edificios docentes. Por esta razón es interesante conocer cuando es más conveniente llevar a cabo estas medidas. Ante todo, hay que tener en cuenta estos dos razonamientos:

- Contemplar el edificio de una forma global: hay medidas de mejora que potencian sus efectos si se realizan de forma conjunta. Por ejemplo, ante una sustitución de calderas, cualquier

medida que reduzca la demanda del edificio permitirá disminuir la potencia de la nueva caldera.

- Aprovechar otras medidas de rehabilitación para llevar a cabos las mejoras en eficiencia energética. Esto optimiza costes de forma significativa.

Las medidas de eficiencia energética se deben llevar a cabo en el momento en el que el coste de implantación sea mínimo. De acuerdo con esto, se podría hacer la siguiente clasificación:

- Medidas que se pueden implantar en cualquier momento, como por ejemplo sustitución de llaves, implantación de sistemas de regulación basados en la temperatura exterior, aislamiento de la red de distribución, sustitución de lámparas.
- Medidas que se pueden llevar a cabo como parte del mantenimiento preventivo rutinario, como por ejemplo sustitución de llaves, implantación de sistemas de regulación basados en la temperatura exterior, aislamiento de la red de distribución, sustitución de lámparas.
- Medidas que se pueden implantar en el momento de sustitución de equipos o instalaciones, como por ejemplo sustitución de calderas por otras más eficientes, cambio de combustible, instalación de calderas de biomasa, incorporación de sistemas de energía solar térmica o energía solar fotovoltaica.
- Medidas que se pueden implantar cuando se realicen otras actuaciones de rehabilitación, como por ejemplo actuaciones en la envolvente térmica, aprovechamiento de iluminación natural, incorporación de sistemas de energía solar.

Se deben aprovechar actuaciones de mejora de habitabilidad, reparación de defectos, adecuación a normativa, etc. para introducir mejoras en la eficiencia energética, optimizando los recursos y reduciendo los costes significativamente.

### CONCLUSIONES:

1. Por condiciones de habitabilidad primero, y después, por ahorro energético, se deben reducir las infiltraciones de aire exterior no acondicionado.
2. La caldera existente es ya muy antigua y se puede afirmar que está casi ya al final de su vida útil, al igual que el resto de la instalación.

Por otro lado, la red de distribución de gas natural se está introduciendo en la población. Es de esperar que pronto esta red sea instalada en la urbanización donde se encuentra el colegio. Además, por lo general, el gas natural es mejor opción como combustible que el gasóleo, por su menor coste por kWh y por su menor factor de emisión de CO<sub>2</sub>.

Las calderas más eficientes son las de condensación. Sin embargo, con radiadores convencionales el número de horas de funcionamiento en modo condensación sería bastante corto, por lo que otro tipo de calderas de alta eficiencia (las de baja temperatura), serían más rentables.

En este momento, se debe valorar la inversión para renovar todo el conjunto de la instalación de calefacción del edificio antiguo para cambio a gas natural, caldera de condensación y sustitución total

del sistema de distribución por otro y radiadores a baja temperatura. Sería conveniente modificar la ubicación de la sala de calderas y disponerla en el espacio entre los dos edificios. Esta opción se debe comparar con la implantación de una caldera de biomasa. Quizás la inversión sería mayor, pero puede verse compensada por un combustible más barato y de precio más estable, junto con una mejora notable en emisiones de CO<sub>2</sub>. Este es el momento de efectuar un buen aislamiento en la distribución, instalar válvulas termostáticas, un sistema de control de temperatura exterior y bombas de caudal variable.

Con la decisión que se adopte se debe valorar también, o al menos dejar previsto para su instalación en el futuro, la instalación de apoyo solar a la calefacción, dado que al trabajar ya con temperaturas de impulsión y retorno más reducidas, el rendimiento de la instalación solar sería mayor que trabajando a altas temperaturas.

3. La mejora en iluminación se debería efectuar una vez se vayan amortizando y/o sustituyendo los equipos existentes, cuanto antes mejor, pues según hemos visto, la iluminación supone un consumo eléctrico importante. La mejora se basa en la sustitución de los tubos fluorescentes y lámparas de descarga actuales por lámparas de LED. Además, permitiría reducir la potencia contratada, con lo que el periodo de recuperación de la inversión todavía sería mayor que el previsto.

4. La implantación del sistema solar fotovoltaico se puede implantar en cualquier momento, ya que como hemos visto, el periodo de recuperación es pequeño.

5. Finalmente también está la educación ambiental. Consiste en elaborar un folleto y disponer carteles en el edificio explicativos para conseguir una correcta gestión de la energía, concienciando a los ciudadanos sobre el ahorro energético y la conservación del medio ambiente. Su utilidad, como todas las campañas a favor del respeto medioambiental y del ahorro energético, es dudosa y probablemente de efecto no inmediato. En cambio presenta una serie de aspectos positivos: programa de educación ciudadana, bajo costo y fácil generalización a otros edificios municipales.

## **2. REFORMA DE LA INSTALACIÓN TÉRMICA DEL COLEGIO**

Se entiende la ejecución una reforma ya que se efectúa una sustitución de los generadores, (de calor en este caso), por otro de otras dimensiones o naturaleza, (diferente combustible y uso de energías renovables).

En caso de reforma de acuerdo con la definición anterior, será de aplicación el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios en todo lo que se refiere al diseño, dimensionado y puesta en marcha, y por lo tanto lo relativo a documentación y legalización de instalaciones.

### **2.1. RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS**

#### **2.1.1. POTENCIA TÉRMICA DE LOS GENERADORES EN: CALOR, FRÍO Y ACS**

Calor: 36,7-181,4 kW.

Frío: no procede.

ACS: no procede.

#### **2.1.2. POTENCIA ELÉCTRICA ABSORBIDA PARA: CALOR, FRÍO Y ACS**

Calor: 5,037 kW.

Frío: no procede.

ACS: no procede.

#### **2.1.3. CAUDAL DE AGUA EN M<sup>3</sup>/H**

Subsistema edificio existente: 3,61 m<sup>3</sup>/h.

Subsistema edificio nuevo: 1,73 m<sup>3</sup>/h.

#### **2.1.4. CAPACIDAD MÁXIMA DE OCUPANTES**

525 personas.

### **2.2. DATOS IDENTIFICATIVOS.**

#### **2.2.1. DATOS DE LA INSTALACIÓN: DOMICILIO, POBLACIÓN, PROVINCIA, CÓDIGO POSTAL**

Colegio Público de Educación Infantil y Primaria (CEIP) “*Fontes*”, sito en calle Guillén de Castro, 30700 Torre-Pacheco, (Murcia).

### **2.2.2. TITULAR**

Ayuntamiento de Torre-Pacheco, con domicilio en Paseo Villa Esperanza nº 5, 30700 Torre-Pacheco, (Murcia). Teléfono: 968577108, [www.torrepackeco.es](http://www.torrepackeco.es).

### **2.3. ANTECEDENTES**

En la primera parte de este trabajo se ha llevado a cabo la certificación energética de los edificios del colegio. Para mejorar la calificación energética obtenida es necesario ejecutar medidas de mejora de eficiencia energética. Entre las medidas propuestas, se encuentra una nueva definición de las instalaciones, que se basa en la sustitución de la actual caldera de gasóleo por otra de biomasa. En el edificio antiguo se aprovecha el subsistema de distribución, sustituyendo la actual bomba por otras de mejor calificación energética. También se modifica el subsistema de emisión. En el edificio nuevo, se realiza un nuevo subsistema de distribución y de emisión en sustitución de los radiadores eléctricos actuales. La instalación térmica de calefacción dispondrá de un apoyo mediante un sistema de energía solar de baja temperatura, circuito cerrado y circulación forzada.

### **2.4. OBJETO**

Consiste en el diseño de la instalación conforme a las condiciones y garantías mínimas de seguridad y confort exigidas por la reglamentación vigente, con el fin de proceder a la ejecución de la instalación.

### **2.5. LEGISLACIÓN APLICABLE**

El presente estudio recoge las características de los materiales, los cálculos que justifican su empleo y la forma de ejecución de las obras a realizar, dando con ello cumplimiento a las disposiciones siguientes:

- Versión actualizada del Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificio, (RITE), y sus Instrucciones Técnicas Complementarias, teniendo en cuenta las correcciones de errores y modificaciones realizadas sobre el mismo a partir de su publicación en el B.O.E. del 29 de agosto de 2007.
- Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias.
- Normas UNE de aplicación.

### **2.6. DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO**

#### **2.6.1. USO DEL EDIFICIO**

Colegio Público de Educación Infantil y Primaria.



## 2.6.2. OCUPACIÓN

525 personas.

## 2.6.3. NÚMERO DE PLANTAS Y USO DE LAS DISTINTAS DEPENDENCIAS

Ambos edificios constan de dos plantas sobre rasante.

El uso de las dependencias es principalmente para aulas, y también para despachos de dirección, zonas de paso, aseos de planta y salas técnicas.

## 2.6.4. SUPERFICIE Y VOLÚMENES POR PLANTA. PARCIALES Y TOTALES

Cuadro resumen por plantas de los distintos módulos que componen la edificación:

### EDIFICIO ANTIGUO

Planta	Espacio	Área útil (m <sup>2</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )	Calefacción	Habitable
Baja	Caldera	7,40	22,20	No	No
Baja	Recinto 3	8,70	26,10	No	No
Baja	Aula 9	35,54	106,62	Si	Si
Baja	Escalera 1	11,21	33,63	No	Si
Baja	Dirección	11,39	34,17	Si	Si
Baja	Fotocopiadora	7,48	22,44	No	Si
Baja	Secretaria	31,36	94,08	Si	Si
Baja	Pasillo distribuidor	121,51	364,53	No	Si
Baja	Sala de profesores	51,75	155,25	Si	Si
Baja	Escalera 2	8,69	26,07	No	Si
Baja	Recinto 4	2,06	6,18	No	No
Baja	Aula plumier	53,36	160,08	Si	Si
Baja	Aseo 7	11,64	34,92	No	Si
Baja	Recinto 5	3,11	9,33	No	No
Baja	Aula 14	59,22	177,66	Si	Si
Baja	Almacén	16,10	48,30	No	No
Baja	Vestíbulo 1	2,25	6,75	No	Si
Baja	Aseo 2	2,70	8,10	No	Si
Baja	Aula 12	56,70	170,10	Si	Si
Baja	Fisioterapia	18,71	56,13	Si	Si
Baja	Aula	57,52	172,56	Si	Si
Baja	Aseo 3	16,00	48,00	No	Si
Baja	Aseo 4	2,32	6,96	No	Si
Baja	Recinto 2	2,10	6,30	No	No
Baja	Aula 10	56,38	169,14	Si	Si
Baja	Aseo 5	12,51	37,53	No	Si
Baja	Aseo 6	2,80	8,40	No	Si
		<b>Σ 670,51</b>	<b>Σ 2011,53</b>		
Primera	Aula 1	53,36	160,08	Si	Si
Primera	Escalera 1	11,21	33,63	No	Si
Primera	Aula 3	52,37	157,11	Si	Si
Primera	Dep. 3º pedagogía	19,26	57,78	Si	Si



Primera	Aula 5	52,37	157,11	Si	Si
Primera	Escalera 2	11,21	33,63	No	Si
Primera	Aula 7	53,36	160,08	Si	Si
Primera	Recinto 1	3,11	9,33	No	No
Primera	Aseo 3	11,64	34,92	No	Si
Primera	Aula 8	59,22	177,66	Si	Si
Primera	Dep. 3º ciclo	18,90	56,70	Si	Si
Primera	Aula 6	56,34	169,02	Si	Si
Primera	Dep. 3º comprensión	18,90	56,70	Si	Si
Primera	Aula 4	55,71	167,13	Si	Si
Primera	Dep. 1º ciclo	19,84	59,52	Si	Si
Primera	Aula 2	58,59	175,77	Si	Si
Primera	Aseo 1	12,72	38,16	No	Si
Primera	Aseo 2	1,05	3,15	No	Si
Primera	Pasillo distribuidor	114,94	344,82	No	Si
		<b>Σ 684,10</b>	<b>Σ 2052,30</b>		

Tabla 17. Superficie y volúmenes edificio antiguo

## EDIFICIO NUEVO

Planta	Espacio	Área útil (m <sup>2</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )	Calefacción	Habitable
Baja	Aula 1	60,00	180,00	Si	Si
Baja	Sala de profesores	19,50	58,50	Si	Si
Baja	Aula 2	60,00	180,00	Si	Si
Baja	Escalera	10,72	32,16	No	Si
Baja	Recinto 1	2,25	6,75	No	No
Baja	Aula 3	60,00	180,0	Si	Si
Baja	Aseo 1	18,35	55,05	No	Si
Baja	Aseo 2	3,00	9,00	No	Si
Baja	Aula 4	60,00	180,00	Si	Si
Baja	Distribuidor	43,07	129,21	No	Si
		<b>Σ 336,89</b>	<b>Σ 1010,67</b>		
Primera	Aula 5	60,00	180,00	Si	Si
Primera	Pedagogía	19,50	58,50	Si	Si
Primera	Aula 6	60,00	180,00	Si	Si
Primera	Escalera	13,57	40,71	No	Si
Primera	Aula 7	60,00	180,00	Si	Si
Primera	Aseo 1	18,35	55,05	No	Si
Primera	Aseo	3,00	9,00	No	Si
Primera	Aula 8	60,00	180,00	Si	Si
Primera	Audición	17,70	53,10	Si	Si
Primera	Distribuidor	32,45	97,35	No	Si
		<b>Σ 344,57</b>	<b>Σ 1033,71</b>		

Tabla 18. Superficie y volúmenes edificio nuevo

**SUPERFICIE TOTAL ÚTIL CALEFACCIÓN: 1.486,85 m<sup>2</sup>.**

**VOLUMEN TOTAL ÚTIL CALEFACCIÓN: 4.460,55 m<sup>3</sup>.**

### 2.6.5. EDIFICACIONES COLINDANTES

Ambos edificios se encuentran en una parcela independiente, rodeados de patios de recreo y pistas deportivas. Ninguno de los edificios tiene otros edificios colindantes.

### 2.6.6. HORARIO DE APERTURA Y CIERRE DEL EDIFICIO

Horario de funcionamiento: conforme al calendario lectivo con horario de mañana, de 9:00 horas a 14:00 horas los días laborables.

### 2.6.7. ORIENTACIÓN

Para ambos edificios la orientación es la misma.

Fachada principal: suroeste.

Fachada posterior: noreste.

Fachadas laterales: noroeste y sureste.

### 2.6.8. LOCALES SIN CLIMATIZAR

Zonas de paso, aseos y salas técnicas.

### 2.6.9. DESCRIPCIÓN DE LOS CERRAMIENTOS ARQUITECTÓNICOS

#### 2.6.9.1. Edificio antiguo

Normativa de aplicación: anterior a la NBE-CT-79.

Cimentación: zapatas arriostradas mediante correas de atado.

Estructura: mediante pórticos de hormigón armado.

Fachada: fábrica de ladrillo a la capuchina, formada por ½ pie de ladrillo visto, cámara de aire y tabicón de ladrillo hueco doble.  $U=1,69 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Partición interior horizontal en contacto con espacio no habitable inferior (cámara sanitaria): baldosa de terrazo, mortero de agarre y forjado unidireccional entrevigado de hormigón.  $U=1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Partición interior horizontal en contacto con espacio no habitable superior (cubierta inclinada): mortero de cemento, forjado unidireccional entrevigado de hormigón y enlucido de yeso.  $U=1,19 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Cubierta: plana con forjado unidireccional  $U=0,57 \text{ W/m}^2\text{K}$  y cubierta de panel sándwich de lana de roca de 40 mm espesor,  $U=0,87 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Huecos:

Tipo de marco: carpintería metálica sin rotura de puente térmico,  $U=5,70 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Acristalamiento: cristal simple,  $U=5,70 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Superficie acristalada: 281 m<sup>2</sup>. Aproximadamente un 46 % del total del cerramiento en fachadas SO y NE.

### **2.6.9.2. Edificio nuevo**

Normativa de aplicación: NBE-CT-79.

Cimentación: zapatas arriostradas mediante correas de atado.

Estructura: mediante pórticos de hormigón armado.

Fachada: fábrica de ladrillo a la capuchina, formada por ½ pie de ladrillo visto, cámara de aire, aislamiento poliestireno expandido 3 cm y tabicón de ladrillo hueco doble.  $U=0,81 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Partición interior horizontal en contacto con espacio no habitable inferior (cámara sanitaria): baldosa de terrazo, mortero de agarre y forjado unidireccional entrevigado de hormigón.  $U=1,33 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Partición interior horizontal en contacto con espacio no habitable superior (cubierta inclinada): mortero de cemento, forjado unidireccional entrevigado de hormigón y enlucido de yeso.  $U=1,19 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Cubierta: inclinada de teja cerámica sobre tablero cerámico y tabiquillos palomeros,  $U=1,04 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Huecos:

Tipo de marco: carpintería metálica sin rotura de puente térmico,  $U=5,70 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Acristalamiento: cristal simple,  $U=5,70 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Superficie acristalada: 81 m<sup>2</sup>. Aproximadamente un 27% del total del cerramiento en fachadas SO y NE.

## **2.7. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN**

### **2.7.1. HORARIO DE FUNCIONAMIENTO**

La instalación estará preparada para su funcionamiento durante los meses de uso de calefacción, principalmente noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo y abril, conforme al periodo lectivo del curso escolar. El horario de disponibilidad de la caldera será desde las 8.00 horas hasta las 13.00 horas.

### **2.7.2. SISTEMA DE INSTALACIÓN ELEGIDO**

Existen numerosas razones que aconsejan la utilización de modernos sistemas de calefacción con biomasa. Entre éstas se pueden citar las siguientes:

- Las instalaciones abastecidas con biomasa en sus diferentes formas (pélets, astillas, huesos de aceitunas triturados, etc.) son respetuosas con el medio ambiente al presentar una emisión reducida de contaminantes a la atmósfera y no contribuir al efecto invernadero por tener un balance neutro de CO<sub>2</sub>. Esta última característica ayuda a cumplir los acuerdos sobre el cambio climático.

- En la actualidad, otra razón es el menor precio comparativo con otros combustibles y su mayor estabilidad, al no depender de las fluctuaciones exteriores, aunque el coste de inversión inicial de los equipos es normalmente superior al de los equipos que utilizan combustibles convencionales.
- La operación y mantenimiento de estos sistemas es sencillo al ser sistemas automáticos con incorporación de control electrónico.
- La limpieza del equipo, en las calderas con tecnologías avanzadas, es totalmente automática y la retirada de las cenizas una tarea poco frecuente.
- Las calderas con biomasa tienen una alta resistencia al desgaste, larga vida útil y, lo más importante, presentan un buen rendimiento energético, superando valores entre el 75 y el 90% de eficiencia según el equipo.

Se elige por tanto una caldera de biomasa, trabajando con temperaturas de impulsión de 70°C y retorno de 50°C. Las distribuciones generales de calefacción parten de los colectores de la sala de calderas y constan de dos tuberías (impulsión y retorno) por circuito.

Existen dos circuitos de calefacción: uno ya existente para el edificio antiguo que se mantiene. Otro que se crea para satisfacer las necesidades del edificio nuevo.

El subsistema emisor son radiadores, con  $\Delta T=40^{\circ}\text{C}$ , (T. media del radiador – T. ambiente). Sistema bitubular.

Se complementa la instalación de calefacción con una instalación solar de baja temperatura, funcionando en circuito cerrado y circulación forzada. El sistema solar precalienta el agua de retorno procedente de la instalación. Una vez precalentada, el agua es enviada al depósito de inercia, donde su temperatura es elevada hasta la necesaria para la instalación, mediante la caldera de biomasa. La válvula de tres vías actúa en función de la temperatura del depósito solar; si éste es superior a la consigna, se envía el agua de retorno directamente al depósito de inercia.

Se opta por un sistema de baja fracción solar, (entre el 20% y el 50% de la demanda de energía total), debido a los siguientes motivos:

- No existe sistema de ACS y/o calentamiento de piscina al que transferir la energía que se produciría en temporadas de escasa o nula utilización del sistema de calefacción.
- Para alcanzar un alto rendimiento de la instalación solar, el sistema de calefacción deberá operarse con temperaturas de impulsión y retorno en un nivel lo más bajo posible. Las temperaturas de retorno deben ser siempre inferiores a 50 °C, (idóneo para suelo radiante). La instalación diseñada no opera con temperaturas de retorno inferiores a 50 °C, por ello, cuanto más alta se elija la fracción solar para la calefacción, mayor será el efecto de las elevadas temperaturas del sistema de calefacción sobre la reducción del rendimiento de la instalación solar.

El Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura del IDAE, establece que la orientación e inclinación del sistema de captación y las posibles sombras sobre el mismo serán tales que las pérdidas respecto al óptimo, sean inferiores a los límites de la tabla siguiente:

	<i>Orientación e inclinación (OI)</i>	<i>Sombras (S)</i>	<i>Total (OI+S)</i>
General	10 %	10 %	15 %
Superposición	20 %	15 %	30 %
Integración arquitectónica	40 %	20 %	50 %

**Tabla 19. Pérdidas por orientación, inclinación y sombras**

Se considera la dirección sur como orientación óptima y la mejor inclinación,  $\beta_{opt}$ , dependiendo del periodo de utilización, uno de los valores siguientes:

- Consumo constante anual: la latitud geográfica.
- Consumo preferente en invierno: la latitud geográfica +10°.
- Consumo preferente en verano: la latitud geográfica -10°.

Además, en todas las instalaciones solares se recomienda que para la calefacción se utilice un mayor ángulo de inclinación del captador que en las instalaciones sólo de ACS. De este modo, se consigue tanto una ligera atenuación de los excedentes de energía en verano, como una incidencia de la radiación solar más favorable durante los periodos de transición climatológica y en invierno. De las tablas de radiación solar sobre superficies horizontales y coeficientes para superficies inclinadas del libro “Atlas de radiación solar y temperatura ambiente en la comunidad autónoma de la Región de Murcia” editado por la Agencia de Gestión de la Energía de la Región de Murcia, (ARGEM), o incluso también, de la página web <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis>, se deduce que el ángulo óptimo de inclinación para lograr lo anterior es de 55°.

Siguiendo las recomendaciones de la guía técnica “Instalaciones de biomasa térmica en los edificios” publicada por el IDAE, se instalarán dos depósitos de acumulación, uno para la energía solar de 1500 l de capacidad y otro de 5000 l para la energía auxiliar (biomasa).

### **2.7.3. CALIDAD DEL AIRE INTERIOR Y VENTILACIÓN**

El estudio de reforma no modifica el sistema de ventilación natural del edificio.

### **2.7.4. SISTEMAS EMPLEADOS PARA AHORRO ENERGÉTICO EN CUMPLIMIENTO DE LA IT 1.2.**

Se opta por el procedimiento simplificado que consiste en la adopción de soluciones basadas en la limitación indirecta del consumo de energía de la instalación térmica mediante el cumplimiento de los valores límite y soluciones especificadas en la sección IT 1.2., para cada sistema o subsistema diseñado. Su cumplimiento asegura la superación de la exigencia de eficiencia energética.

#### Generación de calor

El rendimiento mínimo instantáneo a plena carga será del 92,3% para pélets, (superior al 80% exigido).

Los emisores se han calculado para una temperatura media de 60°C.

Fraccionamiento de potencia y regulación de quemadores

No se exige fraccionamiento de potencia en el generador de calor al estar alimentado con biomasa. Tampoco se exige regulación del quemador.

Redes de tuberías

Todas las tuberías y accesorios, así como equipos, aparatos y depósitos dispondrán de aislamiento térmico cuando contengan fluidos con temperatura mayor que 40°C cuando estén instalados en locales no calefactados, entre los que se deben considerar pasillos, salas de máquinas, falsos techos, patinillos, galerías y suelos técnicos. En toda instalación térmica por la que circulen fluidos no sujetos a cambio de estado, en general las que el fluido caloportador es agua, las pérdidas térmicas globales por el conjunto de conducciones no superarán el 4% de la potencia máxima que transporta.

Para el cálculo del espesor mínimo de aislamiento se podrá optar por el procedimiento simplificado, en dicho procedimiento los espesores mínimos de aislamiento térmico, expresados en mm, en función del diámetro exterior de la tubería sin aislar y de la temperatura del fluido en la red y para un material con conductividad térmica de referencia a 10°C de 0,040 W/(m.K) deben ser los indicados en la siguientes tablas:

<b>Espesores mínimos de aislamiento (mm) de tuberías y accesorios que transportan fluidos calientes que discurren por el interior de edificios.</b>			
Diámetro exterior (mm)	Temperatura máxima del fluido (°C)		
	40...60	>60...100	>100...180
D ≤ 35	25	25	30
35 < D ≤ 60	30	30	40
60 < D ≤ 90	30	30	40
90 < D ≤ 140	30	40	50
140 < D	35	40	50

Tabla 20. Espesores aislamiento tuberías interior edificios

<b>Espesores mínimos de aislamiento (mm) de tuberías y accesorios que transportan fluidos calientes que discurren por el exterior de edificios.</b>			
Diámetro exterior (mm)	Temperatura máxima del fluido (°C)		
	40...60	>60...100	>100...180
D ≤ 35	35	35	40
35 < D ≤ 60	40	40	50
60 < D ≤ 90	40	40	50
90 < D ≤ 140	40	50	60
140 < D	45	50	60

Tabla 21. Espesores aislamiento tuberías exterior edificios

Cuando las tuberías estén instaladas al exterior, la terminación final del aislamiento deberá poseer la protección suficiente contra la intemperie.

Los componentes que vengan aislados de fábrica tendrán el nivel de aislamiento indicado por la respectiva normativa o determinado por el fabricante.

### Eficiencia energética de los equipos para el transporte de fluidos

La selección de los equipos de propulsión de los fluidos portadores se realizará de forma que su rendimiento sea máximo en las condiciones calculadas de funcionamiento.

### Redes de tuberías

Los trazados de los circuitos de tuberías de los fluidos portadores se diseñarán, en el número y forma que resulte necesario, teniendo en cuenta el horario de funcionamiento de cada subsistema, la longitud hidráulica del circuito y el tipo de unidades terminales servidas.

### Control

Todas las instalaciones térmicas estarán dotadas de los sistemas de control automático necesarios para que se puedan mantener en los locales las condiciones de diseño previstas, ajustando los consumos de energía a las variaciones de la carga térmica.

Para las bombas de circulación de agua en redes de tuberías será suficiente equilibrar el circuito por diseño y, luego, emplear válvulas de equilibrado, si fuera necesario.

Los sistemas formados por diferentes subsistemas deben disponer de los dispositivos necesarios para dejar fuera de servicio cada uno de estos en función del régimen de ocupación, sin que se vea afectado el resto de las instalaciones.

### Contabilización de consumos

Las instalaciones solares de más de 20 m<sup>2</sup> de superficie de apertura dispondrán de un sistema de medida de energía final suministrada, con objeto de poder verificar el cumplimiento del programa de gestión energética y las inspecciones periódicas de eficiencia energética especificados en la IT 3.4.3 y en la IT 4.2.1.

El diseño del sistema de contabilización de energía solar debe permitir al usuario de la instalación comprobar de forma directa, visual e inequívoca el correcto funcionamiento de la instalación, de manera que esta pueda controlar periódicamente la producción de la instalación.

Las instalaciones térmicas de potencia útil nominal mayor que 70 kW, en régimen de calefacción, dispondrán de dispositivos que permita efectuar la medición y registrar el consumo de combustible y energía eléctrica, de forma separada del consumo debido a otros usos del resto del edificio.

Se dispondrán dispositivos para la medición de la energía térmica generada o demandada en centrales de potencia útil nominal mayor que 70 kW, Este dispositivo se podrá emplear también para modular la producción de energía térmica en función de la demanda.

Se dispondrá de un dispositivo que permita registrar el número de horas de funcionamiento del generador.

## **2.8. EQUIPOS TÉRMICOS Y FUENTES DE ENERGÍA**

### **2.8.1. ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLE**

Se ha considerado un sistema de almacenamiento de obra, destinado exclusivamente para este uso. Se trata de una sala de nueva construcción colindante a la sala de calderas. En ella se colocarán dos falsos suelos de madera sobre soportes metálicos, inclinados un ángulo de 43° para que el pélets almacenado entre ellos se deslice por gravedad hasta los dos tornillos sinfín situados en la parte inferior y posteriormente, mediante aspiración a través de 2 conductos de transporte hasta el depósito de alimentación, situado junto a la caldera. Se instalarán dos conductos de retorno de aire a la sala de almacenamiento.

Se ha previsto una trampilla superior para descarga directa de biomasa al almacenamiento. El camión de descarga dispone de acceso fácil desde el exterior de la valla del colegio.

La capacidad del silo de almacenamiento calculada es de 13,41 m<sup>3</sup>, bastante superior al volumen mínimo exigido en el RITE para edificios de nueva construcción, (consumo máximo de 2 semanas). Considerando un valor de densidad del pélets, (alta calidad), de 1.120 kg/m<sup>3</sup> y un PCI de 4.300 kcal/kg, la carga máxima del almacenamiento sería de 15 t y la energía capaz de suministrar de 64.582.560 Kcal, (75.110 kWh), muy superior a la que se consumiría en una temporada.

#### Sistemas de seguridad en el almacenamiento, conforme IT 1.3.4.1.4:

Ausencia de humedad. Las paredes, suelo y techo del almacenamiento no permitirán filtraciones de humedad.

No se realiza ninguna instalación eléctrica dentro del almacén.

Se prevé una puerta de acceso al almacén con dispositivo interior de contención en previsión de vaciado del almacenamiento, realizar trabajos de mantenimiento, de reparación o en situaciones de riesgo de incendio.

El sistema de alimentación a la caldera dispone de un dispositivo de protección de retroceso de llama y un sistema con aspersores para sistema de extinción automático.

Las paredes y puertas del almacén deben ser capaces de soportar la presión del biocombustible. Asimismo, la resistencia al fuego de los elementos delimitadores y estructurales del almacenamiento de biocombustibles será la que determine la reglamentación de protección contra incendios vigente. En este caso EI 120 y R120.

### **2.8.2. RELACIÓN DE EQUIPOS GENERADORES DE ENERGÍA TÉRMICA, CON DATOS TÉRMICOS Y TIPO DE ENERGÍA EMPLEADA**

#### **GRUPO TÉRMICO PARA CALEFACCIÓN:**

- Equipo: caldera de biomasa, (pélets).
- Potencia térmica: 35,9-183 kW.
- Energía empleada: térmica, (combustión biocombustible de origen renovable).

**INSTALACIÓN SOLAR DE BAJA TEMPERATURA:**

- Equipo generador: colectores solares planos.
- Potencia térmica:  $P_{Tnominal} = \eta \cdot A \cdot G_{ref} = 0,7 \cdot 33,18 \text{ m}^2 \cdot 1000 \text{ W/m}^2 = 23,23 \text{ kW}$ .
  - $\eta$  = rendimiento del sistema de captación, (0,7 es el valor que internacionalmente se ha definido como factor de transformación).
  - $G_{ref}$  = Irradiancia solar de referencia, igual a 1000 W/m<sup>2</sup>.
- Energía empleada: solar, (origen renovable).

**2.9. ELEMENTOS INTEGRANTES DE LA INSTALACIÓN**

**2.9.1. EQUIPOS GENERADORES DE ENERGÍA TÉRMICA**

**CARACTERÍSTICAS DEL GRUPO TÉRMICO PARA CALEFACCIÓN**

Se ha previsto un grupo térmico HERZ modelo FIREMATIC 180, o similar, compuesto por todos los elementos de seguridad, regulación y control indicados en las instrucciones técnicas.

<b>Datos técnicos</b>	
Potencia nominal	35,9-183 kW
Dimensiones:	2071 x 1888 x 1818 mm (L x A x H)
Peso caldera:	1370 kg
Diámetro chimenea	200 mm
Rendimiento (potencia nominal)	92,3 %
Rendimiento (potencia parcial)	94,1 %
Max. Presión trabajo	5 bar
Max. Temperatura trabajo	95°C
Contenido de agua	254 l
Caudal de gases a potencia nominal	0,105 kg/s
Caudal de gases a potencia parcial	0,022 kg/s
Temperatura gases - potencia nominal	160 °C
Temperatura gases - potencia parcial	85 °C
Diámetro interior impulsión y retorno	2"
Diámetro interior conexión de llenado/vaciado	1/2"
Diámetro interior entrada/salida intercambiador calor seguridad	1/2"

Tabla 22. Características del grupo térmico para calefacción

Dispone de sistema de control, ampliable, que permite la regulación de la combustión, (con sonda lambda), la inercia, la temperatura de retorno, (bomba y válvula mezcladora), los circuitos de calefacción, (bomba y válvula mezcladora), y la instalación solar.

La sonda lambda supervisa de forma permanente los valores de gases y reacciona a las distintas calidades de combustible, controla la impulsión de aire primario y secundario, y consigue una combustión más limpia, incluso en funcionamiento a carga parcial. El resultado es una combustión perfecta, valores de emisiones reducidos y un menor consumo de combustible.

Los intercambiadores de la caldera se limpian automáticamente asegurando un rendimiento elevado.

La caldera dispone de un aislamiento térmico de alta eficiencia.

## INSTALACIÓN HIDRÁULICA

Se propone la instalación de bombas de circulación de caudal variable, que permiten desplazar la curva Q-H de la bomba hacia valores más pequeños, disminuyendo la velocidad de accionamiento del motor de la bomba, alimentando éste a través de un convertidor de frecuencia, (capaz de variar la frecuencia y la tensión de alimentación a la carga). La razón de disminuir la curva Q-H de la bomba es que para un punto de trabajo determinado (caudal), se tendrá una menor altura manométrica y por tanto un menor consumo asociado, (el consumo de bombeo es proporcional al caudal y a la altura manométrica).

En la sala de calderas se realizarán nuevos colectores de impulsión y retorno, en acero no aleado S195T, tubería sin soldadura, según norma UNE-EN 10255 (DIN 2440), con aislamiento térmico. Desde estos colectores partirán 4 circuitos de calefacción: 1 para el edificio nuevo y 3 para el edificio antiguo.

Desde la sala de calderas se llega al edificio nuevo mediante tubería pre aislada y flexible LHD enterrada.

Como la actual sala de calderas se ubica en la misma posición que la nueva prevista, en el interior de esta última se llevará a cabo la conexión de los circuitos de impulsión y retorno de la instalación existente a los nuevos colectores. Se sustituirá el actual grupo de bombeo a caudal constante por tres de caudal variable, uno para cada circuito de calefacción existente.

La instalación estará dotada de todos los elementos necesarios para el cumplimiento del RITE:

- Válvulas de corte para independizar los distintos elementos del sistema.
- Filtros en protección de bombas y válvulas motorizadas.
- Válvulas de retención para evitar circulaciones no deseadas.
- Válvulas de regulación de caudal para realizar el equilibrado hidráulico de cada circuito.
- Válvulas motorizadas para la regulación de la instalación.
- Contadores de Kcal/h tanto en producción como en consumo.

Para la protección de la instalación frente a las dilataciones del agua al calentarse se instalará un vaso de expansión cerrado de membrana fija, con capacidad para 600 litros, y dispondrán de un manómetro y una válvula de seguridad.

Dado que la caldera de biomasa tiene una elevada inercia, es necesario disponer de un depósito de inercia que se encargue de absorber ese calor residual tras el paro de la caldera. La capacidad aproximada ronda los 20-30 l/kW. Siguiendo las recomendaciones de la guía técnica “Instalaciones de biomasa térmica en los edificios” publicada por el IDAE, se instalarán dos depósitos de acumulación, uno para la energía solar de 1500 l de capacidad y otro de 5000 l para la energía auxiliar (biomasa), aislados con espuma de poliuretano de 100 mm, libre de CFC, envueltos con una capa externa de polipropileno de color blanco.

### CARACTERÍSTICAS DE LOS CAPTADORES SOLARES

Se han previsto 14 captadores solares planos de BAXI, modelo SOL 250 o similar, de las siguientes características:

Datos técnicos	
Superficie útil captación	2,37 m <sup>2</sup>
Ecuación característica. Curva de rendimiento.	$\eta = 0,814 - 3,639 \cdot T^* - 0,089 \cdot G \cdot T^{*2}$
Absorbedor	Aluminio altamente selectivo
Coefficiente absorción	0,95
Carcasa	Aluminio gris
Aislamiento	Fibra de vidrio 40 mm
Cubierta	Vidrio texturizado templado
Dimensiones	2187x1147x87 mm.
Capacidad	2,9 l
Peso vacío	47 kg
Presión máxima trabajo	10 bar
Temperatura de estancamiento	198,1°C
Caudal recomendado	120 l/h

Tabla 23. Características de los captadores solares

La curva de rendimiento del colector solar es  $\eta = \eta_0 - a_1 \cdot T^* - a_2 \cdot G \cdot T^{*2}$ , que para este caso particular:

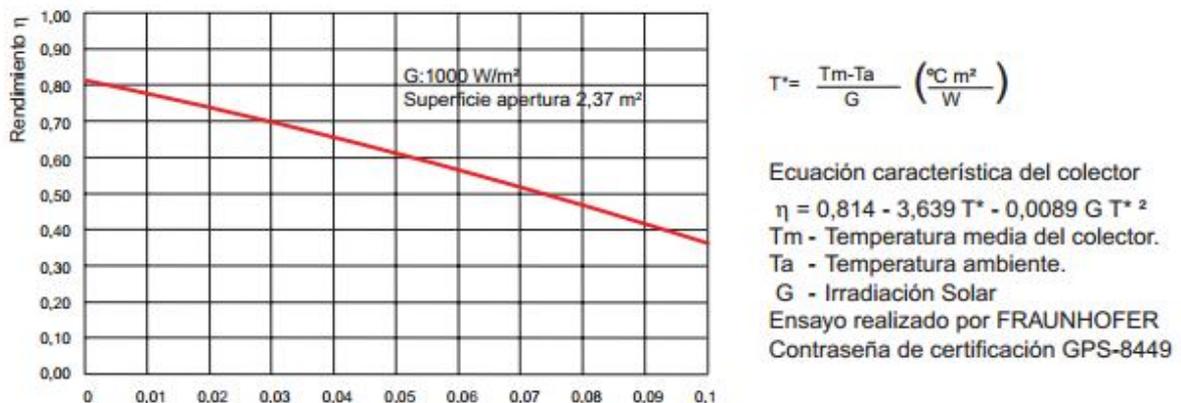


Figura 24. Curva de rendimiento del colector solar

Donde:

Símbolo	Unidad	Descripción	Valor
$\eta$	%	Rendimiento del captador	
$\eta_0$	%	Rendimiento óptico del captador = $\alpha \cdot \tau \cdot F' (\theta=0^\circ)$	0,814
$a_1$	W/(m <sup>2</sup> ·K)	Coefficiente lineal de pérdidas térmicas	3,639
$a_2$	W/(m <sup>2</sup> ·K <sup>2</sup> )	Coefficiente cuadrático de pérdidas térmicas	0,0089
$T_e$	°C	Temperatura de entrada del fluido de trabajo	
$T_s$	°C	Temperatura de salida del fluido de trabajo	
$T_m$	°C	Temperatura media fluido de trabajo en el absorbedor	
$T_a$	°C	Temperatura ambiente	
$G$	W/m <sup>2</sup>	Irradiancia	
$F'$	%	Factor de eficiencia del captador	0,92-0,97

 <p><b>Universidad Politécnica de Cartagena</b></p>	 <p><b>industriales</b></p>	<p align="center"><b>TRABAJO FIN DE GRADO (TFG)</b></p> <p align="center">ESTUDIO TÉCNICO Y ECONÓMICO PARA LA MEJORA DEL COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO DEL COLEGIO DE EDUCACIÓN INFANTIL Y PRIMARIA "CEIP FONTES" EN TORRE-PACHECO, (MURCIA)</p>
--	--	--

$\tau$	%	Transmitancia de la cubierta	0,88-0,91
$\alpha$	%	Absortancia del absorbedor	0,90-0,96
$a_{glob} = a_1 + a_2 \Delta T$ $\Delta T = (T_m - T_a)$		Coefficiente global de pérdidas térmicas	

**Tabla 24. Datos rendimiento colector solar**

Elementos de la instalación:

- 1 Grupo hidráulico BAXI modelo Solar Hydraulic 20 (primario solar).
- 1 circulador BAXI modelo Quantum Eco 1025 (secundario solar).
- 1 Deposito de expansión cerrado BAXI modelo VASOFLEX 80 litros.
- 1 Intercambiador de calor de placas desmontables BAXIROCA modelo M10H, 20 placas.
- 1 Depósito acumulador de inercia modelo ASA 1500 IN.
- 1 Deposito de expansión cerrado BAXI modelo VASOFLEX 80 litros.
- 1 Central de regulación BAXI CS 10.
- 1 Aerotermo modelo UL-214 G o disipador por gravedad.

Soportes para cubierta, tuberías, aislamientos, valvulería.

Cubiertas de captadores para tapado del campo solar.

Los captadores irán montados sobre la cubierta formando dos baterías de 7 captadores cada una, conexionado en paralelo con retorno invertido Dentro de las baterías, los colectores entre sí también estarán conectados en paralelo. Las tuberías serán de cobre según UNE 37.141-76. El diámetro de las tuberías se seleccionará de forma que la velocidad de circulación del fluido sea inferior a 2 m/s cuando la tubería discurra por locales habitados y a 3 m/s cuando el trazado sea al exterior o por locales no habitados.

El dimensionado de las tuberías se realizará de forma que la pérdida de carga unitaria en tuberías nunca sea superior a 40 mm de columna de agua por metro lineal.

El equilibrado hidráulico de los circuitos asegurará que el caudal, en cualquiera de las distintas baterías de captadores, no difiera en más del 20% del caudal de diseño.

El caudal en el circuito primario será conforme a las recomendaciones del fabricante, (120 l/h en el colector).

Todos los componentes de la instalación (equipos, aparatos, conducciones y accesorios) dispondrán de aislamiento térmico cuando contengan fluidos a temperatura superior a 40°C y estén situados en locales no calefactados. Los espesores mínimos de aislamiento serán los indicados en el apartado 2.7.4. El aislamiento de las tuberías que discurren por el exterior se realizará con coquilla de lana de vidrio de 40 mm de espesor, recubierto con chapa de aluminio, para evitar su degradación, debido a la exposición a los agentes exteriores. En las tuberías no expuestas a la intemperie, el aislamiento será de caucho microporoso, (armaflex HT o similar) de 27 mm, apto para el funcionamiento a altas temperaturas.

El fluido de trabajo en el circuito primario será líquido solar compuesto por propilenglicol e inhibidores de corrosión y agua, (25% en volumen líquido solar y 75% de agua).

Se debe hacer uso además de válvula de seguridad tarada a 6 bares, purgador en el punto más alto de la instalación y en la salida de cada batería de captadores, así como manómetro de presión del circuito solar.

### 2.9.2. UNIDADES TERMINALES

Todas las unidades terminales tendrán válvulas de cierre en la entrada y en la salida del fluido portador, así como un dispositivo, manual o automático, para poder modificar las aportaciones térmicas. Una de las válvulas de las unidades será específicamente para el equilibrado del sistema.

Los radiadores se dimensionarán de acuerdo a la demanda térmica máxima del local o zona en que estén situadas.

El número y ubicación por local perseguirán la correcta distribución de la energía transferida al ambiente a tratar, de acuerdo a su forma de transmisión, y al movimiento provocado, natural o artificial, en el volumen de aire contenido en el espacio del local.

En el edificio nuevo se instalará un emisor ROCA modelo DUBAL 60 o similar. Se trata de radiadores formados por elementos acoplables entre sí mediante manguitos de  $\Phi 1''$  y junta de estanquidad. Elementos fabricados por inyección a presión de aluminio fundido, acabados en pintura color blanco al horno.

Tiene las siguientes características:

<b>Datos técnicos emisor frontal aberturas</b>	
Emisión calorífica por elemento	89,4 W (UNE-EN 442 para $\Delta t=40^{\circ}\text{C}$ )
Capacidad de agua	0,36 l
Exponente "n" curva característica	1,35
Instalaciones	Agua caliente hasta 6 bar y $110^{\circ}\text{C}$
Dimensiones	571x500x80 mm

Tabla 25. Características técnicas emisor proyectado

En el edificio antiguo, los radiadores son existentes de acero tres columnas, de las siguientes características:

<b>Datos técnicos</b>	
Emisión calorífica por elemento	81,7 W (UNE-EN 442 para $\Delta t=40^{\circ}\text{C}$ )
Capacidad de agua	1,69 l
Exponente "n" curva característica	1,33
Instalaciones	Agua caliente hasta 6 bar y $110^{\circ}\text{C}$
Dimensiones	900x800x80 mm

Tabla 26. Características técnicas emisor existente

### **2.9.3. SISTEMAS DE RENOVACIÓN DE AIRE**

No procede.

### **2.9.4. UNIDADES DE TRATAMIENTO DE AIRE CON INDICACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO DE SUS COMPONENTES**

No procede.

### **2.9.5. SISTEMAS DE CONTROL AUTOMÁTICO Y SU FUNCIONAMIENTO**

Se instalarán dos termostatos diferenciales.

Uno para el sistema de energía solar. La bomba de carga del acumulador se conectará sólo cuando la diferencia de temperaturas entre la impulsión del circuito primario (T2), y la parte inferior del acumulador, (T3), haya alcanzado un valor suficientemente elevado, por ejemplo de 5 K a 7 K. Sin embargo, hay que considerar la condición adicional que la bomba de circuito primario ya debe estar en funcionamiento. La bomba de carga se desconecta cuando la diferencia de temperaturas mencionada se reduce a un valor inferior a 3 K. La bomba de circulación del circuito primario se conecta cuando la diferencia de temperaturas entre el captador (T1) y la parte inferior del acumulador, (T3), sobrepasa un valor determinado, por ejemplo de 6 K a 10 K. Se desconecta cuando la diferencia de temperaturas mencionada se reduce a un valor entre 3 K y 4 K, con un tiempo mínimo de funcionamiento de 3-5 minutos.

El bypass tiene la función de proteger el lado secundario del intercambiador de calor contra la congelación. Durante una noche fría de invierno el fluido de trabajo dentro de las tuberías colocadas al aire libre puede enfriarse a temperaturas por debajo de 0°C. Aunque el sol de la mañana si calienta los captadores, no logra calentar, sin embargo, el fluido de trabajo de las tuberías instaladas al aire libre. Si este fluido entra en el intercambiador, el agua presente en el lado secundario podría congelarse súbitamente y provocar la rotura del mismo.

El otro termostato diferencial se instala para el control de carga de los dos acumuladores, el de inercia y el solar, en la época en la que no existe demanda de calefacción. El objetivo es lograr alcanzar con los captadores solares la mayor temperatura posible en el agua almacenada.

Finalmente, para cada circuito de calefacción se instalarán termostato programable con optimización sobre la temperatura exterior, que actúa sobre las bombas de impulsión.

## **2.10. DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS DE TRANSPORTE DE FLUIDOS**

### **2.10.1. REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE**

No procede.

## 2.10.2. REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA

La alimentación de los circuitos se realizará mediante un dispositivo que servirá para reponer las pérdidas de agua. El dispositivo, denominado desconector, será capaz de evitar el refluo del agua de forma segura en caso de caída de presión de la red pública, creando una discontinuidad entre el circuito y la misma red pública.

Antes de este dispositivo se dispondrá una válvula de cierre, un filtro y un contador, en el orden indicado. El llenado será manual, y se instalará también un presostato que actúe una alarma y pare los equipos. El diámetro mínimo de las conexiones en función de la potencia térmica nominal será:

Potencia térmica nominal (kW)	DN (mm)
$P \leq 70$	15
$70 < P \leq 150$	20
<b><math>150 &lt; P \leq 400</math></b>	<b>25</b>
$400 < P$	32

Tabla 27. Diámetro de la conexión de alimentación

Los puntos altos de los circuitos deben estar provistos de un dispositivo de purga de aire, manual o automático. El diámetro mínimo del purgador no será menor que 15 mm.

Los circuitos cerrados de agua o soluciones acuosas estarán equipados con un dispositivo de expansión de tipo cerrado, que permita absorber, sin dar lugar a esfuerzos mecánicos, el volumen de dilatación del fluido. Se diseñará siguiendo los criterios de la norma UNE 100155.

Los circuitos cerrados con fluidos calientes dispondrán, además de la válvula de alivio, de una o más válvulas de seguridad. El valor de la presión de tarado, mayor que la presión de ejercicio en el punto de la instalación y menor que la de prueba, vendrá determinado por la norma específica del producto o, en su defecto, por la reglamentación de equipos y aparatos a presión. Su descarga estará conducida a un lugar seguro y será visible. En el caso de generadores de calor estará dimensionada por el fabricante del generador.

Las variaciones de longitud a las que están sometidas las tuberías debido a la variación de la temperatura del fluido que contiene se deben compensar con el fin de evitar roturas en los puntos más débiles. En los tendidos de gran longitud, tanto horizontales como verticales, los esfuerzos sobre las tuberías se absorberán por medio de compensadores de dilatación y cambios de dirección.

Todas las redes de tuberías deben diseñarse de tal manera que puedan vaciarse de forma parcial o total.

Al fin de prevenir los fenómenos de corrosión e incrustación calcárea en las instalaciones son válidos los criterios indicados en las normas prEN 12502, parte 3 y UNE 112076, así como los indicados por los fabricantes de los equipos.

### 2.10.2.1. Tuberías en sala de calderas

Se realizará en acero no aleado S195T, tubería sin soldadura, según norma UNE-EN 10255 (DIN 2440).

Las tuberías se colocarán en lugares que permitan la accesibilidad a lo largo de su recorrido para facilitar la inspección de las mismas, especialmente en sus tramos principales, accesorios, válvulas, instrumentos de regulación y medida, y en su caso, del aislamiento térmico.

Estarán aisladas térmicamente cumpliendo las exigencias de eficiencia energética mediante espuma elastomérica basada en caucho sintético, recubrimiento autoadhesivo recubierto con lámina de polietileno, AS/armaflex o similar.

### **2.10.2.2. Tuberías enterradas**

Tubería pre aislada y flexible LHD enterrada, basada en redes de distrito para la distribución de calor y/o frío Ecoflex Thermo Twin, UPONOR o similar.

Los sistemas LHD están hechos con espuma de polietileno reticulado, resistente al paso del tiempo, resistente a humedades ( $x < 1\%$ ) y de larga duración.

La parte superior de la generatriz de la tubería estará a una distancia de 500 mm de la rasante. La profundidad de la zanja será de 800 mm. Para reducir la carga de presión que soporta el tubo envolvente, se hará un asentamiento de la tubería sobre un lecho de arena (al menos 10 cm sobre el suelo) con granulación de 0-2/3 mm. El relleno y compactación de la zanja se hará manualmente por capas y una vez cubierto 500 mm de profundidad se puede compactar con máquinas adecuadas.

### **2.10.2.3. Tuberías de distribución a emisores**

Se realizará en acero inoxidable AISI inoxidable AISI 316, unión prensada en frío, máxima presión de trabajo PN 16, máxima temperatura de trabajo 90°C, junta caucho EPDM.

Estarán aisladas térmicamente cumpliendo las exigencias de eficiencia energética mediante espuma elastomérica basada en caucho sintético, recubrimiento autoadhesivo recubierto con lámina de polietileno, AS/Armaflex o similar.

### **2.10.3. REDES DE DISTRIBUCIÓN DE REFRIGERANTE**

No procede.

## **2.11. SALA DE MÁQUINAS SEGÚN NORMA UNE APLICABLE**

Es el local técnico donde se alojarán los equipos de producción de frío o calor, así como otros equipos auxiliares y accesorios de la instalación térmica, con potencia superior a 70 kW.

### **2.11.1. CLASIFICACIÓN**

De acuerdo con el RITE, las instalaciones que requieren salas de máquinas con riesgo alto son aquellas que cumplen una cualquiera de las siguientes condiciones:

- a) Las realizadas en edificios institucionales o de pública concurrencia.
- b) Las que trabajen con temperatura superior a 110°C.

Al tratarse de un centro de enseñanza infantil y primaria, la sala de máquinas de nuestra instalación se considera de riesgo alto, por lo tanto, además de los requisitos generales exigidos para cualquier sala de máquinas deberá cumplirse que el cuadro eléctrico de protección y mando de los equipos instalados en la sala o, por lo menos el interruptor general y el interruptor del sistema de ventilación deben situarse fuera de la misma y en la proximidad de uno de los accesos.

### 2.11.2. DIMENSIONES Y DISTANCIAS A ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Cumplirán las especificaciones indicadas en la IT 1.3.4.1.2.2. y en la IT 1.3.4.1.2.6.:

- Las dimensiones de la puerta de acceso serán las suficientes para permitir el movimiento sin riesgo o daño de aquellos equipos que deban ser reparados fuera de la sala de máquinas.
- Entre la maquinaria y los elementos que delimitan la sala de máquinas deben dejarse los pasos y accesos libres para permitir el movimiento de equipos, o de partes de ellos, desde la sala hacia el exterior y viceversa;
- La conexión entre generadores de calor y chimeneas debe ser perfectamente accesible.
- Las instalaciones térmicas deberán ser perfectamente accesibles en todas sus partes de forma que puedan realizarse adecuadamente y sin peligro todas las operaciones de mantenimiento, vigilancia y conducción.
- La altura mínima de la sala será de 2,50 m; respetándose una altura libre de tuberías y obstáculos sobre la caldera de 0,5 m.
- Los espacios mínimos libres que deben dejarse alrededor de los generadores de calor, serán los que se señalan a continuación, o los que indique el fabricante, cuando sus exigencias superen las mínimas anteriores:

El espacio libre en el frente de la caldera será como mínimo de 1 m, con una altura mínima de 2 m libre de obstáculos.

Entre calderas, así como las calderas extremas y los muros laterales y de fondo, debe existir un espacio libre de al menos 0,5 m que podrá disminuirse en los modelos en que el mantenimiento de las calderas y su aislamiento térmico lo permita. Deben tenerse en cuenta las recomendaciones del fabricante.

Con calderas de combustibles sólidos, la distancia entre éstas y la chimenea será igual, al menos, al tamaño de la caldera.

Las calderas de combustibles sólidos en las que sea necesaria la accesibilidad al hogar, para carga o reparto del combustible, tendrán un espacio libre frontal igual, por lo menos, a una vez y media la profundidad de la caldera.

Las calderas de biocombustibles sólidos en las que la retirada de cenizas sea manual, tendrán un espacio libre frontal igual, por lo menos, a una vez y media la profundidad de la caldera.

### 2.11.3. VENTILACIÓN

Toda sala de máquinas cerrada debe disponer de medios suficientes de ventilación.

No se permitirá ninguna toma de ventilación que comunique con otros locales cerrados.

Para mayor garantía de funcionamiento, se ha optado por el sistema de ventilación directa por orificios, mediante aberturas de área libre mínima de  $5 \text{ cm}^2/\text{kW}$  de potencia térmica nomina contiguas a zonas al aire libre, colocadas en diferentes fachadas y a distintas alturas, de manera que se creen corrientes de aire que favorezcan el barrido de la sala.

La sala de máquinas objeto del estudio dispone de dos aberturas en diferentes fachadas, de dimensiones  $100 \times 300 \text{ mm}$  y  $600 \times 300 \text{ mm}$ , con una superficie de área libre de  $4.800 \text{ cm}^2 \gg (5 \text{ cm}^2 \times 180 \text{ kW})$  exigidos en la legislación.

#### 2.11.4. ACCESOS

Los accesos en una sala de máquinas deben cumplir las siguientes condiciones:

- a) No se debe practicar el acceso normal a la sala de máquinas a través de una abertura en el suelo o techo;
- b) Las puertas tendrán una permeabilidad no mayor a  $1 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$  bajo una presión diferencial de  $100 \text{ Pa}$ , salvo cuando estén en contacto directo con el exterior.
- c) Las dimensiones de la puerta de acceso serán las suficientes para permitir el movimiento sin riesgo o daño de aquellos equipos que deban ser reparados fuera de la sala de máquinas.
- d) Las puertas deben estar provistas de cerradura con fácil apertura desde el interior, aunque hayan sido cerradas con llave desde el exterior.
- e) En el exterior de la puerta se colocara un cartel con la inscripción: «Sala de Máquinas. Prohibida la entrada a toda persona ajena al servicio».

#### 2.11.5. CONDICIONES DE SEGURIDAD

Los elementos de cerramiento de la sala no permitirán filtraciones de humedad.

La sala dispondrá de un eficaz sistema de desagüe por gravedad o, en caso necesario, por bombeo.

El cuadro eléctrico de protección y mando de los equipos instalados en la sala o, por lo menos, el interruptor general estará situado en las proximidades de la puerta principal de acceso. Este interruptor no podrá cortar la alimentación al sistema de ventilación de la sala.

El nivel de iluminación medio en servicio de la sala de máquinas será suficiente para realizar los trabajos de conducción e inspección, como mínimo, de  $200 \text{ lux}$ , con una uniformidad media de  $0,5$ .

La sala no podrá ser utilizada para otros fines, ni podrá realizarse en ella trabajos ajenos a los propios de la instalación.

Los motores y sus transmisiones deberán estar suficientemente protegidos contra accidentes fortuitos del personal.

En el interior de la sala de máquinas figurarán, visibles y debidamente protegidas, las indicaciones siguientes:

- i. Instrucciones para efectuar la parada de la instalación en caso necesario, con señal de alarma de urgencia y dispositivo de corte rápido.
- ii. El nombre, dirección y número de teléfono de la persona o entidad encargada del mantenimiento de la instalación.

- iii. La dirección y número de teléfono del servicio de bomberos más próximo, y del responsable del edificio.
- iv. Indicación de los puestos de extinción y extintores cercanos.
- v. Plano con esquema de principio de la instalación.

Los generadores de calor que utilicen biocombustible sólido tendrán:

- a) Un dispositivo de interrupción de funcionamiento del sistema de combustión en caso de retroceso de los productos de la combustión o de llama. Deberá incluirse un sistema que evite la propagación del retroceso de la llama hasta el silo de almacenamiento que puede ser de inundación del alimentador de la caldera o dispositivo similar, o garantice la depresión en la zona de combustión.
- b) Un dispositivo de interrupción de funcionamiento del sistema de combustión que impida que se alcancen temperaturas mayores que las de diseño, que será de rearme manual.
- c) Un sistema de eliminación del calor residual producido en la caldera como consecuencia del biocombustible ya introducido en la misma cuando se interrumpa el funcionamiento del sistema de combustión. Son válidos a estos efectos un recipiente de expansión abierto que pueda liberar el vapor si la temperatura del agua en la caldera alcanza los 100 °C o un intercambiador de calor de seguridad.
- d) Una válvula de seguridad tarada a 1 bar por encima de la presión de trabajo del generador. Esta válvula en su zona de descarga deberá estar conducida hasta sumidero.

#### **2.11.6. SALIDA DE HUMOS**

El dimensionado de las chimeneas para la evacuación de los productos de la combustión en las instalaciones térmicas se realizará de acuerdo con las siguientes normas generales, UNE 123001, UNE-EN 13384-1 y UNE-EN 13384-2, según el caso.

La chimenea será de material resistente a la acción agresiva de los productos de la combustión y a la temperatura, con la estanquidad adecuada al tipo de generador empleado. En el caso de chimeneas metálicas la designación según la norma UNE-EN 1856-1 o UNE-EN 1856-2 de la chimenea elegida en cada caso y para cada aplicación será de acuerdo a lo establecido en la norma UNE 123001.

#### **2.12. SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA**

No procede.

#### **2.13. PREVENCIÓN DE RUIDO Y VIBRACIONES**

La reforma de la instalación térmica del edificio cumplirá la exigencia del documento DB-HR Protección frente al ruido del Código Técnico de la Edificación.

El nivel de potencia acústica máximo de los equipos generadores de ruido estacionario (como los quemadores, las calderas, las bombas de impulsión, etc.) situados en recintos de instalaciones, será tal

que se cumplan los niveles de inmisión en los recintos colindantes y en el medio ambiente exterior, expresados en el desarrollo reglamentario de la Ley 37/2003 del Ruido.

Estos niveles son los siguientes:

a) Valor límite de inmisión de ruido aplicable en:

Tipo de área acústica	Índices de ruido		
	$L_{K,d}$	$L_{K,e}$	$L_{K,n}$
Sector del territorio con predominio de suelo de uso residencial	55	55	45

Tabla 28. Valores de inmisión de ruido

b) Valor límite de ruido transmitido a locales colindantes:

Uso del local colindante	Tipo de recinto	Índices de ruido		
		$L_{K,d}$	$L_{K,e}$	$L_{K,n}$
Educativo o cultural	Aulas	35	35	35
	Salas de lectura	30	30	30

$L_{K,x}$  = índice de ruido continuo equivalente corregido promedio a largo plazo.

Tabla 29. Valores de ruido transmitido

La velocidad de circulación del agua se limitará a 1 m/s en las tuberías de calefacción y los radiadores.

Respecto al montaje, todo punto de contacto entre las partes mecánicas y las paredes o el suelo debe tener aislamiento acústico. Además, los equipos se han de instalar sobre soportes elásticos antivibratorios cuando se trate de equipos pequeños y compactos. Las patas de los equipos se atornillan a chapas metálicas que a su vez se colocan sobre gomas.

Sin embargo, cuando se trate de equipos que no posean una base propia, es necesaria una bancada suficientemente rígida para soportar los esfuerzos causados por el movimiento y de masa e inercia suficiente para evitar el paso de vibraciones al edificio. Los equipos deben conectarse a las condiciones mediante conexiones flexibles.

Entre sala de almacenamiento y sala de calderas, se evitará el paso de las vibraciones de las conducciones a los elementos constructivos mediante sistemas antivibratorios como pasamuros, coquillas, manguitos elásticos, abrazaderas y suspensiones elásticas.

## **2.14. MEDIDAS ADOPTADAS PARA LA PREVENCIÓN DE LA LEGIONELA**

No procede.

## **2.15. PROTECCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE**

Los productos de la combustión deberán cumplir con los requerimientos medioambientales de las autoridades nacionales y regionales, que limitan los valores máximos de las emisiones de contaminantes.

La norma UNE-EN-303-5 (Calderas de calefacción. Parte 5: Calderas especiales para combustibles sólidos, de carga manual y automática y potencia útil nominal hasta 300 kW), establece los límites de emisiones de CO, COV y partículas.

La eficiencia de la caldera elegida es del 92,3 %, superior al 75% exigido en el RITE.

## **2.16. JUSTIFICACIÓN DE APLICACIÓN DEL CTE**

En este estudio de reforma de la instalación térmica existente se aplica el DB Ahorro de Energía HE 2 Rendimiento de las instalaciones térmicas. Esta exigencia se desarrolla actualmente en el vigente Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios, RITE, y su aplicación queda definida en este documento.

Por otra parte, según el Documento Básico SI Seguridad en caso de incendio del Código Técnico de la Edificación (CTE), el nivel de riesgo de la sala de calderas se establece según la potencia.

Al estar comprendida la potencia útil nominal entre  $70 < P \leq 200$  kW, se trata de una zona de riesgo especial bajo.

También, la zona de almacenamiento de combustible se clasifica según CTE bajo el nivel de riesgo medio.

Ambas zonas deberán cumplir sus correspondientes exigencias de seguridad de acuerdo a la siguiente tabla:

<b>Característica</b>	<b>Riesgo bajo</b>	<b>Riesgo medio</b>
Resistencia al fuego de la estructura portante	R 90	R 120
Resistencia al fuego de las paredes que separan la zona del resto del edificio	EI 90	EI 120
Vestíbulo de independencia en cada comunicación	No	Sí
Puertas de comunicación con el resto del edificio	EI2 45-C5	2xEI2 30-C5
Máximo recorrido de evacuación hasta alguna salida del local	$\leq 25$ m	$\leq 25$ m

Tabla 30. Exigencias de seguridad sala de máquinas y almacén combustible

## **2.17. INSTALACIÓN ELÉCTRICA**

### **2.17.1. CUADRO GENERAL DE BAJA TENSIÓN**

Existente situado en la zona de secretaría. Las protecciones actuales de la línea eléctrica a sala decladeras son un interruptor magnetotérmico general de 16 A, IV P, curva B y un interruptor diferencial de IV P 25 A, 30 mA. La línea hasta la sala de caldera es del tipo RZ1-K 06/1 Kv 4x(1x2.5 mm<sup>2</sup>)+TT 2.5 mm<sup>2</sup>, instalada bajo tubo protector y bandeja. Se comprueba su validez para la nueva instalación.

### **2.17.2. CUADRO SECUNDARIO DE CALEFACCIÓN**

El cuadro actual en sala de calderas se sustituirá por otro nuevo que contendrá en su interior los interruptores automáticos de mando y protección de los circuitos de fuerza motriz y alumbrado, así como los automáticos diferenciales de protección de personas contra contactos indirectos.

Se dispondrá un armario modular de una puerta, en montaje empotrado, con grado de protección IP 54.

El cuadro secundario se sitúa junto a la puerta de acceso a la sala de calderas.

### **2.17.3. CUADRO DE MANIOBRAS**

El cuadro de control de la instalación se situará próximo al cuadro secundario y tendrá las mismas características técnicas que aquel.

### **2.17.4. PROTECCIONES EMPLEADAS FRENTE A CONTACTOS INDIRECTOS**

Existe una red con neutro conectada directamente a tierra y masas puestas a tierra en puntos diferentes al anterior, (redes TT).

La protección contra contactos indirectos se realizará mediante interruptores automáticos diferenciales con una sensibilidad de 30/300 mA, según esquema unifilar adjunto.

### **2.17.5. PROTECCIONES FRENTE A SOBRECARGAS Y CORTOCIRCUITOS**

Todo circuito estará protegido contra los efectos de las sobrecargas que puedan presentarse en el mismo, para lo cual la interrupción de este circuito se realizará en un tiempo conveniente o estará dimensionado para las sobrecargas previsibles.

El dispositivo de protección contra sobrecargas estará constituido por un interruptor automático de corte omnipolar con una curva térmica de corte adecuada.

Para la protección contra cortocircuitos se establece un dispositivo de protección cuya capacidad de corte estará de acuerdo con la intensidad de cortocircuito que pueda presentarse en el punto de su conexión.

### **2.17.6. SALA DE MÁQUINAS**

Se clasifica como local mojado y local polvoriento, sin riesgo de incendio o explosión, según ITC BT 30.

Las canalizaciones serán estancas utilizándose para terminales, empalmes y conexiones de las mismas, sistemas y dispositivos que presenten el grado de protección correspondiente a las proyecciones de polvo y agua, IP54.

Los conductores tendrán una tensión asignada mínima 450/750 V, y discurrirán por el interior de tubos rígidos o flexibles en superficie, según ITC BT 21, pero con grado de resistencia a la corrosión 4.

Los aparatos de mando y protección, interruptores, tomas de corriente y receptores de alumbrado serán del tipo protegido contra el polvo y las proyecciones de agua, IP54.

### 2.17.7. RELACIÓN DE EQUIPOS QUE CONSUMEN ENERGÍA ELÉCTRICA, CON DATOS IDENTIFICATIVOS Y POTENCIA

<b>Denominación de la línea</b>	<b>Tensión (V)</b>	<b>Potencia (W)</b>
A1. Alumbrado y emergencia	230	232
F1. Sinfín nº 1	230	550
F2. Sinfín nº 2	230	550
F3. Caldera	400	2800
F4. Bomba anticondensación	230	130
F5. Bomba calefacción (BC) circuito 1	230	130
F6. BC circuito 2	230	130
F7. BC circuito 3	230	130
F8. BC circuito 4	230	130
F9 Bomba circuito retorno a depósito solar	230	20
F10 Bomba circuito primario solar	230	110
F11 Bomba circuito secundario solar	230	20
F12 Aerotermo	230	100
F13 Central de regulación	230	5

Tabla 31. Equipos que consumen energía eléctrica y su potencia

### **3. CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS REFORMA INSTALACIÓN TÉRMICA**

En este apartado se incluye:

- a) Cálculo de cargas térmicas del edificio nuevo.
- b) Justificación de la idoneidad de los radiadores existentes con el nuevo salto térmico utilizado.
- c) Cálculo de la red de tuberías y dimensionado de radiadores en el edificio nuevo.
- d) Dimensionado de caldera, bombas, vasos de expansión y chimenea.
- e) Dimensionado de la instalación solar de baja temperatura.

#### **3.1. RESUMEN DE FÓRMULAS**

##### **3.1.1. CARGA TÉRMICA DE CALEFACCIÓN DE UN LOCAL "Q<sub>ct</sub>"**

El método de cálculo de las necesidades de cargas térmicas es el método clásico utilizado en los sistemas de calefacción por agua caliente.

Básicamente se desarrolla en los siguientes apartados:

- a) Pérdidas por transmisión, consistente en la determinación de las pérdidas en los cerramientos de los locales calefactados.
- b) Pérdidas por entrada de aire exterior, donde se evalúan las pérdidas correspondientes a las entradas de aire exterior, bien por los niveles de infiltraciones en carpinterías o huecos al exterior (utilizando el método de las rendijas y comprobándolas por el de las superficies), bien por los niveles mínimos de ventilación para mantener las condiciones de salubridad e higiene en las estancias.
- c) Mayoraciones y minoraciones de las cargas. En este apartado se mayoran las cargas térmicas de los locales, en función del régimen de funcionamiento de la instalación, (interrupción de servicio), así como los suplementos por orientación de los cerramientos y el número de paredes frías y la altura del edificio.

La fórmula general es:

$$Q_{ct} = (Q_{stm} + Q_{si} - Q_{saip}) \cdot (1+F) + Q_{sv}$$

Siendo:

$Q_{stm}$  = Pérdida de calor sensible por transmisión a través de los cerramientos (W).

$Q_{si}$  = Pérdida de calor sensible por infiltraciones de aire exterior (W).

$Q_{saip}$  = Ganancia de calor sensible por aportaciones internas permanentes (W).

F = Suplementos (tanto por uno).

$Q_{sv}$  = Pérdida de calor sensible por aire de ventilación (W).

### 3.1.1.1. Pérdida de calor sensible por transmisión a través de los cerramientos "Q<sub>stm</sub>"

$$Q_{stm} = U \cdot A \cdot (T_i - T_e)$$

Siendo:

- U = Transmitancia térmica del cerramiento (W/m<sup>2</sup> K). Obtenido según CTE DB-HE 1.
- A = Superficie del cerramiento (m<sup>2</sup>).
- T<sub>i</sub> = Temperatura interior de diseño del local (K).
- T<sub>e</sub> = Temperatura de diseño al otro lado del cerramiento (K).

### 3.1.1.2. Pérdida de calor sensible por infiltraciones de aire exterior "Q<sub>si</sub>"

$$Q_{si} = V_{ae} \cdot 0,33 \cdot (T_i - T_e)$$

Siendo:

- V<sub>ae</sub> = Caudal de aire exterior frío que se introduce en el local (m<sup>3</sup>/h).
- T<sub>i</sub> = Temperatura interior de diseño del local (K).
- T<sub>e</sub> = Temperatura exterior de diseño (K).

El caudal de aire exterior "V<sub>ae</sub>" se estima como el mayor de los descritos a continuación (2 métodos).

#### 3.1.1.2.1. Infiltraciones de aire exterior por el método de las rendijas "V<sub>i</sub>"

$$V_i = (\sum f_i \cdot L_i) \cdot R \cdot H$$

Siendo:

- f = Coeficiente de infiltración de puertas y ventanas exteriores sometidas a la acción del viento, a barlovento (m<sup>3</sup>/h·m).
- L = Longitud de rendijas de puertas y ventanas exteriores sometidas a la acción del viento, a barlovento (m).
- R = Coeficiente característico del local. Según RIESTSCHEL Y RAISS viene dado por:

$$R = 1 / [1 + (\sum_j \cdot f_j \cdot L_j / \sum_n \cdot f_n \cdot L_n)]$$

- $\sum_j \cdot f_j \cdot L_j$  = Caudal de aire infiltrado por puertas y ventanas exteriores sometidas a la acción del viento, a barlovento (m<sup>3</sup>/h).
- $\sum_n \cdot f_n \cdot L_n$  = Caudal de aire exfiltrado a través de huecos exteriores situados a sotavento o bien a través de huecos interiores del local (m<sup>3</sup>/h).
- H = Coeficiente característico del edificio. Se obtiene en función del viento dominante, el tipo y la situación del edificio.

### 3.1.1.2.2. Caudal de aire exterior por la tasa de renovación horaria "Vr"

$$V_r = V \cdot n$$

Siendo:

- V = Volumen del local (m<sup>3</sup>).
- n = Número de renovaciones por hora (ren/h).

### 3.1.1.3. Ganancia de calor sensible por aportaciones internas permanentes "Qsaip"

$$Q_{saip} = Q_{sil} + Q_{sp} + Q_{sad}$$

Siendo:

- $Q_{sil}$  = Ganancia interna de calor sensible por Iluminación (W).
- $Q_{sp}$  = Ganancia interna de calor sensible debida a los Ocupantes (W).
- $Q_{sad}$  = Ganancia interna de calor sensible por aparatos diversos (motores eléctricos, ordenadores, etc).

### 3.1.1.4. Suplementos

$$F = Z_o + Z_{is} + Z_{pe}$$

Siendo:

- $Z_o$  = Suplemento por orientación Norte.
- $Z_{is}$  = Suplemento por interrupción del servicio.
- $Z_{pe}$  = Suplemento por más de 2 paredes exteriores.

### 3.1.1.5. Pérdida de calor sensible por aire de ventilación "Qsv"

$$Q_{sv} = V_v \cdot 0,33 \cdot (T_i - T_e)$$

Siendo:

- $V_v$  = Caudal de aire exterior necesario para la ventilación del local (m<sup>3</sup>/h). Estimado según RITE (Real Decreto 1027/2007) y CTE DB-HS 3.
- $T_i$  = Temperatura interior de diseño del local (K).
- $T_e$  = Temperatura exterior de diseño (K). Es la temperatura de la localidad del proyecto o la proporcionada por el recuperador de energía.

### 3.1.2. TRANSMITANCIA TÉRMICA DE LOS CERRAMIENTOS "U"

$$U = 1 / (1/h_i + 1/h_e + \sum_i e_i/\lambda_i + r_c + r_f)$$

Siendo:

- $U$  = Transmitancia térmica del cerramiento (W/m<sup>2</sup> K).
- $1/h_i$  = Resistencia térmica superficial interior (m<sup>2</sup> K / W).
- $1/h_e$  = Resistencia térmica superficial exterior (m<sup>2</sup> K / W).
- $e$  = Espesor de las láminas del cerramiento (m)
- $\lambda$  = Conductividad térmica de las láminas del cerramiento (W/m K).
- $r_c$  = Resistencia térmica de la cámara de aire (m<sup>2</sup> K / W).
- $r_f$  = Resistencia térmica del forjado (m<sup>2</sup> K / W).

### 3.1.3. CONDENSACIONES

#### 3.1.3.1. Temperatura superficial interior y temperatura en las caras interiores del cerramiento

$$T_x = T_{x-1} - [(T_i - T_e) \cdot R_{(x,x-1)} / R_T]$$

Siendo:

- $T_x$  = Temperatura en la cara x (°C).
- $T_{x-1}$  = Temperatura en la cara x-1 (°C).
- $T_i$  = Temperatura interior (°C).
- $T_e$  = Temperatura exterior (°C).

$R_{(x,x-1)}$  = Resistencia térmica de la lámina comprendida entre las superficies x y x-1 ( $m^2 K / W$ ).

$R_T$  = Resistencia térmica total del cerramiento ( $m^2 K / W$ ).

### 3.1.3.2. Presión de vapor de saturación en la superficie interior y en las caras interiores del cerramiento

$$P_{vs_x} = \exp [A - B/T_x]$$

Siendo:

$P_{vs_x}$  = Presión de vapor de saturación en la cara x (bar).

$T_x$  = Temperatura en la cara x ( $^{\circ}K$ ).

A, B = Coeficientes en función de la temperatura en la cara x.

### 3.1.3.3. Presión de vapor en la superficie interior y en las caras interiores del cerramiento

$$P_{v_x} = P_{v_{x-1}} - [(P_{v_i} - P_{v_e}) \cdot R_{v_{(x, x-1)}} / R_{v_T}]$$

Siendo:

$P_{v_x}$  = Presión de vapor en la cara x (mbar).

$P_{v_{x-1}}$  = Presión de vapor en la cara x-1 (mbar).

$P_{v_i}$  = Presión de vapor interior (mbar).

$P_{v_e}$  = Presión de vapor exterior (mbar).

$R_{v_{(x, x-1)}}$  = Resistencia al vapor de la lámina comprendida entre las superficies x y x-1 ( $MN \cdot s/g$ ).

$R_{v_T}$  = Resistencia al vapor total del cerramiento ( $MN \cdot s/g$ ).

### 3.1.3.4. Temperatura de rocío en la superficie interior y en las caras interiores del cerramiento

$$T_{R_x} = B / (A - \ln P_{v_x})$$

Siendo:

$T_{R_x}$  = Temperatura de rocío en la cara x (K).

$P_{v_x}$  = Presión de vapor en la cara x (bar).

A, B = Coeficientes en función de la temperatura en la cara x.

### 3.1.4. MÉTODO DE CÁLCULO DE LAS REDES DE TUBERÍAS Y RADIADORES

El dimensionado de la red de tuberías consiste fundamentalmente en la determinación de las pérdidas de carga de la misma, mediante la selección de los diámetros más apropiados. Por su parte, el equilibrado de la red se basa en conseguir que los distintos circuitos por los que puede circular el fluido caloportador, (en nuestro caso agua), dentro de la red de tuberías, presente, teóricamente, la misma caída de presión. En la práctica esto es prácticamente imposible, considerándose el circuito equilibrado si “la diferencia entre valores extremos de las presiones diferenciales en las acometidas de las distintas unidades terminales no sea mayor que el 15% del valor medio”.

Para proceder al dimensionado es preciso, en primer lugar, seleccionar el material con el que se va a construir la red de tuberías, lo que fija la rugosidad de la tubería y las dimensiones normalizadas con las que se va a proceder a su ejecución. Es necesario, en segundo lugar, fijar las velocidades límites de circulación del fluido caloportador, (en nuestro caso la fijaremos inferior a 2 m/s) y, sin sobrepasar en ningún caso, una caída de presión de 400 Pa/m en los tramos rectos.

Para el cálculo de las pérdidas de carga, se determinarán en primer lugar las pérdidas en los tramos rectos y seguidamente las pérdidas en los accesorios, cambios de dirección o cambios de velocidad, es decir, las llamadas pérdidas singulares o pérdidas simples.

La determinación de las pérdidas en los tramos rectos se realiza utilizando las fórmulas experimentales de uso generalizado en la Mecánica de Fluidos, tales como Darcy, Fanning, Voisins o Weisbach, o bien los ábacos, tablas, monogramas curvas, etc. obtenidos de las fórmulas experimentales mencionadas. Obteniéndose, en función de los caudales, tipo de material y régimen de circulación, las pérdidas unitarias, (por unidad de longitud), para el diámetro seleccionado.

Las pérdidas singulares o simples se producen en elementos tales como codos, curvas, té, válvulas, emisores, etc. La determinación de las pérdidas en dichos elementos se obtiene utilizando dos métodos:

- Método de coeficientes de pérdidas singulares, basado en la proporcionalidad de la pérdida de carga en función de la presión dinámica del fluido en el elemento simple.
- Método de las longitudes equivalentes, basado en la sustitución de cada uno de los accesorios o elementos simples por una longitud ficticia de tramo recto, tal que las pérdidas de carga que se produzcan en dicho tramo sean iguales a las que se producen en el elemento simple considerado.

Para ambos métodos de cálculo existen diversidad de tablas, de uso generalizado en ingeniería térmica y mecánica de fluidos, que proporcionan bien los coeficientes de resistencias singulares (método de pérdidas singulares), o bien las longitudes equivalentes de los distintos accesorios o elementos, (método de las longitudes equivalentes).

Las fórmulas utilizadas son:

$$H = Z + (P/\gamma) ; \gamma = \rho \cdot g ; H1 = H2 + h_f$$

Siendo:

- H = Altura piezométrica, energía por unidad de peso (mca).  
 Z = Cota (m).  
 P/γ = Altura de presión (mca).  
 γ = Peso específico fluido.  
 ρ = Densidad fluido (kg/m³).  
 g = Aceleración gravedad. 9,81 m/s².  
 h<sub>f</sub> = Pérdidas de altura piezométrica, energía por unidad de peso (mca).

#### a) Tuberías y válvulas

$$H_i - H_j = h_{ij} = r_{ij} \times Q_{ij}^n + m_{ij} \times Q_{ij}^2$$

Siendo:

- H = Altura piezométrica, energía por unidad de peso (mca).  
 Z = Cota (m).  
 P/γ = Altura de presión (mca).  
 γ = Peso específico fluido.  
 ρ = Densidad fluido (kg/m³).  
 g = Aceleración gravedad. 9,81 m/s².  
 h<sub>f</sub> = Pérdidas de altura piezométrica, energía por unidad de peso (mca).

Darcy - Weisbach:

$$r_{ij} = 10^9 \cdot 8 \cdot f \cdot L \cdot \rho / (\pi^2 \cdot g \cdot D^5 \cdot 1000); n = 2$$

$$m_{ij} = 10^6 \cdot 8 \cdot k \cdot \rho / (\pi^2 \cdot g \cdot D^4 \cdot 1000)$$

$$Re = 4 \cdot Q / (\pi \cdot D \cdot v)$$

$$f = 0.25 / [\lg_{10}(\epsilon / (3.7 \cdot D) + 5.74 / Re^{0.9})]^2$$

Hazen - Williams:

$$r_{ij} = 12,171 \cdot 10^9 \cdot L / (C^{1,852} \cdot D^{4,871}) ; n = 1,852$$

$$m_{ij} = 10^6 \cdot 8 \cdot k / (\pi^2 \cdot g \cdot D^4)$$



## b) Bombas-Grupos de presión

$$h_{ij} = -\omega^2 \cdot (h_0 - r_b \cdot (Q/\omega)^{n_b})$$

Siendo:

- f = Factor de fricción en tuberías (adimensional).
- L = Longitud equivalente de tubería (m).
- D = Diámetro de tubería o válvula (mm).
- Q = Caudal (l/s).
- $\varepsilon$  = Rugosidad absoluta tubería (mm).
- Re = Número de Reynolds (adimensional).
- $\nu$  = Viscosidad cinemática del fluido (m<sup>2</sup>/s).
- k = Coeficiente de pérdidas en válvula (adimensional).
- $\omega$  = Coeficiente de velocidad en bombas (adimensional).
- $h_0$  = Altura bomba a caudal cero (mca).
- $r_b$  = Coeficiente en bombas.
- $n_b$  = Exponente caudal en bombas.

## c) Cálculos Térmicos

Caudal demandado por unidades terminales

$$Q = P / (4186 \cdot \Delta t)$$

Siendo:

- Q = Caudal (l/s).
- P = Potencia calorífica (calor) (W).
- $\Delta t$  = Salto térmico ( $t_e - t_s$ ) (°C).
- $t_e$  = t<sup>a</sup> de entrada a la unidad terminal (°C).
- $t_s$  = t<sup>a</sup> de salida de la unidad terminal (°C).

Radiadores bitubo

$$\Delta t_e = t_e - t_a;$$

$$\Delta t_s = t_s - t_a;$$

$$a = \Delta t_s / \Delta t_e;$$

$$Dt1 = [(te + ts) / 2] - ta;$$

$$Dt2 = (te - ts) / \ln(Dte / Dts);$$

$$Pce = Pce_{50} \times (Dt / 50)^n$$

Siendo:

te = t<sup>a</sup> de entrada emisor (°C).

ts = t<sup>a</sup> de salida emisor (°C).

ta = t<sup>a</sup> ambiente (°C).

Pce = Potencia calorífica por elemento, ml, etc (W).

Pce<sub>50</sub> = Potencia calorífica por elemento, ml, etc, a 50 °C (W).

n = Exponente de la curva característica del emisor.

Dt = Dt1 si a >= 0.70, sino Dt2.

### Bomba/circulador

$$P = (9,81 \cdot Q \cdot h) / (\eta / 100)$$

Siendo:

P = Potencia de la bomba/circulador (W).

Q = Caudal de trasiego (l/s).

h = Energía que proporciona la bomba/circulador (mca).

η = Rendimiento de la bomba/circulador (%).

## **3.2. CONDICIONES INTERIORES Y EXTERIORES DE CÁLCULO**

### **3.2.1. DATOS DE PARTIDA**

#### CONDICIONES EXTERIORES:

Localidad base: Murcia

Localidad real: Torre-Pacheco

Altitud s.n.m. (m): 42

Longitud: 0° 57' Oeste

Latitud: 37° 44' Norte

Zona Climática: B3

Situación edificio: edificios separados, o casas de ciudad que sobresalen sensiblemente de sus vecinos.

Tipo edificio: edificios de varias plantas o de una sola planta con viviendas adosadas.

INVIERNO

Nivel percentil (%): 97.5

T<sup>a</sup> seca (°C): 1,6

T<sup>a</sup> seca corregida (°C): 1,6

Grados día anuales base 15°C: 601

Intensidad viento dominante (m/s): 3,3

Dirección viento dominante: Suroeste

CONDICIONES INTERIORES:

INVIERNO

T<sup>a</sup> locales calefactados (°C): 20

T<sup>a</sup> locales no calefactados (°C): 10

Interrupción servicio instalación calefacción: más de 10 horas parada.

No se utilizará ningún sistema con consumo de energía para modificar la humedad relativa del aire en el interior de las distintas dependencias.

**3.3. COEFICIENTES DE TRANSMISIÓN DEL CALOR DE LOS DIFERENTES ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS**

PAREDES

- Descripción de la fábrica: tabicón ladrillo hueco doble, (panderete).

Descripción láminas	espesor (cm)	Ts (°C)	Tr (°C)	Pv (mbar)	Pvs (mbar)
Interior					
Enlucido de yeso d<1000	1,5				
Tabicón de LH doble [60mm<E<90mm]	9				
Enlucido de yeso d<1000	1,5				
Superficial					
Interior					

Tabla 32. Composición cerramiento entre locales

U (W/m<sup>2</sup> K): 1,84

Kg/m<sup>2</sup>: 110,7

Higrometría espacio interior: 3 o inferior

- Descripción de la fábrica: ladrillo hueco (9+11 cm) y cámara con aislante.

Descripción láminas	espesor (cm)	Ts (°C)	Tr (°C)	Pv (mbar)	Pvs (mbar)
Interior		20	10,68	12,81	23,29
Superficial		18,98	10,68	12,81	21,85
Enlucido de yeso d<1000	1,5	18,68	10,52	12,67	21,45
Tabicón de LH doble [60mm<E<90mm]	9	17,05	8,86	11,34	19,35
EPS Poliestireno Expandido [0.029 W/[mK]]	1	14,34	8,47	11,05	16,27
Cámara aire sin ventilar	2	13	8,43	11,02	14,92
Tabicón de LH triple [100mm<E<110mm]	11	10,98	6,08	9,39	13,06
Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido d>2000	1,5	10,91	5,73	9,17	13,01
Exterior		10,6	5,73	9,17	12,74

Tabla 33. Composición cerramiento exterior

U (W/m<sup>2</sup> K): 0,84

Kg/m<sup>2</sup>: 230,2

Color: medio

Higrometría espacio interior: 3 o inferior

### FORJADO

- Descripción de la fábrica: forjado entreplantas sin aislamiento

Descripción láminas	espesor (cm)	Ts (°C)	Tr (°C)	Pv (mbar)	Pvs (mbar)
Interior					
Plaqueta o baldosa cerámica	1				
Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido d>2000	3				
Arena y grava [1700<d<2200]	4				
FU Entrevigado de hormigón -Canto 300 mm	30				
Enlucido de yeso d<1000	1,5				
Superficial					
Interior					

Tabla 34. Composición cerramiento forjado entre plantas

U flujo ascendente (W/m<sup>2</sup> K): 2,02

U flujo descendente (W/m<sup>2</sup> K): 1,57

Kg/m<sup>2</sup>: 526,5

Higrometría espacio interior: 3 o inferior

## CUBIERTAS

- Descripción de la fábrica: cubierta de teja sin aislamiento

Descripción láminas	espesor (cm)	Ts (°C)	Tr (°C)	Pv (mbar)	Pvs (mbar)
Exterior		10,6	5,73	9,17	12,74
Teja cerámica-porcelana	1	11,18	5,73	9,17	13,24
Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido d>2000	1	11,29	5,8	9,22	13,33
Tabique de LH sencillo [40mm<Espesor<60mm]	3	11,37	5,82	9,23	13,4
Cámara aire variable ligeramente ventilada	10	12,35	5,89	9,27	14,29
FU Entrevigado de hormigón -Canto 300 mm	30	14,95	5,91	9,29	16,93
Enlucido de yeso d<1000	1,5	18,01	10,67	12,79	20,56
Superficial		18,55	10,68	12,81	21,27
Interior		20	10,68	12,81	23,29

**Tabla 35. Composición cubierta de teja sin aislamiento**

U flujo ascendente (W/m<sup>2</sup> K): 1,56 (Aue = 360 m<sup>2</sup>, Aiu = 360 m<sup>2</sup>)

U flujo descendente (W/m<sup>2</sup> K): 1,19 (Aue = 360 m<sup>2</sup>, Aiu = 360 m<sup>2</sup>)

Kg/m<sup>2</sup>: 459,5

Color: Medio

Higrometría espacio interior: 3 o inferior

## SUELOS

- Descripción de la fábrica: forjado anti-humedad sin impermeabilización ni aislamiento

Descripción láminas	espesor (cm)	Ts (°C)	Tr (°C)	Pv (mbar)	Pvs (mbar)
Interior					
Superficial					
Plaqueta o baldosa cerámica	1				
Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido d>2000	3				
Arena y grava [1700<d<2200]	4				
FU Entrevigado de hormigón -Canto 300 mm	30				
Cámara aire ventilada	50				
Terreno					

**Tabla 36. Composición suelo (forjado cámara sanitaria)**

U flujo ascendente (W/m<sup>2</sup> K): 1.29 (P = 77.5 m, A = 360 m<sup>2</sup>)

U flujo descendente (W/m<sup>2</sup> K): 1.29 (P = 77.5 m, A = 360 m<sup>2</sup>)

Kg/m<sup>2</sup>: 513

Higrometría espacio interior: 3 o inferior

### PUERTAS

- Tipo de carpintería: metálica, sin rotura puente térmico, marco 50 mm, acristalamiento doble 30 a 70 %, cámara 6 mm.

U panel sep. ext. (W/m<sup>2</sup> K): 4,04

U marco sep. ext. (W/m<sup>2</sup> K): 6,6

Fracción marco (%): 20

U puerta (W/m<sup>2</sup> K): 4,55

f(m<sup>3</sup>/h·m): 1.5

- Tipo de carpintería: madera, madera blanda, marco 50 mm, opaca.

U panel sep. int. (W/m<sup>2</sup> K): 2.04

U marco sep. int. (W/m<sup>2</sup> K): 2

Fracción marco (%): 20

U puerta (W/m<sup>2</sup> K): 2,03

f(m<sup>3</sup>/h·m): 15

### VENTANAS

- Tipo de carpintería: metálica, sin rotura puente térmico, acristalamiento monolítico 4 (sin revestir):

Vidrio: sencillo, ordinario

Protección: pers.ext/medio

U acristalamiento (W/m<sup>2</sup> K): 5,7

U marco (W/m<sup>2</sup> K): 5,7

Fracción marco (%): 20

Color marco: blanco

Tono marco: medio

U ventana (W/m<sup>2</sup> K): 5,7

f(m<sup>3</sup>/h·m): 1,9

Factor atenuación radiación solar: 0,22

Factor solar vidrio: 0,85

Dispositivo sombra: retranqueo 20 cm



**FICHAS JUSTIFICATIVAS DE LA OPCIÓN SIMPLIFICADA CTE (LIMITACION DEMANDA ENERGETICA)**

ZONA CLIMÁTICA	B3	Zona de baja carga interna	Zona de alta carga interna	X
----------------	----	----------------------------	----------------------------	---

MUROS (UMm) y (UTm)					
Tipos		A (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> K)	A·U (W/K)	Resultados
N	Pared int. ENH	248,95	1,03	256,42	ΣA = 399,55
	Pared ext.	150,6	0,84	126,5	ΣA·U = 382,92
					UMm = ΣA·U / ΣA = 0,96
E					ΣA =
					ΣA·U =
					UMm = ΣA·U / ΣA =
O					ΣA =
					ΣA·U =
					UMm = ΣA·U / ΣA =
S					ΣA =
					ΣA·U =
					UMm = ΣA·U / ΣA =
SE	Pared ext.	81,93	0,84	68,82	ΣA = 81,93
					ΣA·U = 68,82
					UMm = ΣA·U / ΣA = 0,84
SO	Pared ext.	85,48	0,84	71,8	ΣA = 85,48
					ΣA·U = 71,8
					UMm = ΣA·U / ΣA = 0,84
C-TER					ΣA =
					ΣA·U =
					UTm = ΣA·U / ΣA =

SUELOS (USm)					
Tipos		A (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> K)	A·U (W/K)	Resultados
Suelo sanit.		264,41	1,29	341,09	ΣA = 283,06
Suelo int. ENH		18,65	0,88	16,41	ΣA·U = 357,5
					USm = ΣA·U / ΣA = 1,26

CUBIERTAS Y LUCERNARIOS (UCm, FLm)					
Tipos		A (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> K)	A·U (W/K)	Resultados
					ΣA =
					ΣA·U =
					UCm = ΣA·U / ΣA =
Tipos		A (m <sup>2</sup> )	F	A·F (m <sup>2</sup> )	Resultados
					ΣA =
					ΣA·F =
					FLm = ΣA·F / ΣA =



HUECOS (UHm, FHm)							
Tipos		A (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> K)	A·U (W/K)		Resultados	
N	Ventana	36,9	5,7	210,33		ΣA = 36,9	
						ΣA·U = 210,33	
						UHm = ΣA·U / ΣA = 5,7	
Tipos		A (m <sup>2</sup> )	U	F	A·U	A·F (m <sup>2</sup> )	Resultados
E							ΣA =
							ΣA·U =
							ΣA·F =
							UHm = ΣA·U / ΣA =
O							FHm = ΣA·F / ΣA =
							ΣA =
							ΣA·U =
							ΣA·F =
S							UHm = ΣA·U / ΣA =
							FHm = ΣA·F / ΣA =
							ΣA =
							ΣA·U =
SE	Ventana	6,15	5,7	0,55	35,06	3,38	ΣA·F = 3,38
							UHm = ΣA·U / ΣA = 5,7
							FHm = ΣA·F / ΣA = 0,55
							ΣA = 6,15
SO	Ventana	39,98	5,7	0,55	227,89	21,99	ΣA·U = 227,89
							ΣA·F = 21,99
							UHm = ΣA·U / ΣA = 5,7
							FHm = ΣA·F / ΣA = 0,55

**FICHA 2 CONFORMIDAD-Demanda energética.**

<b>ZONA CLIMÁTICA</b> <b>B3</b>	<b>Zona de baja carga interna</b> <input type="checkbox"/> <b>Zona de alta carga interna</b> <input checked="" type="checkbox"/>
---------------------------------	--

<b>Cerramientos y particiones interiores de la envolvente térmica</b>	$U_{\max(\text{proyecto})}^{(1)}$	$U_{\max}^{(2)}$
Muros de fachada		$\leq$ 1.07
Primer metro del perímetro de suelos apoyados y muros en contacto con el terreno		
Particiones interiores en contacto con espacios no habitables		
Suelos		$\leq$ 0.68
Cubiertas		$\leq$ 0.59
Vidrios de huecos y lucernarios		$\leq$ 5.7
Marcos de huecos y lucernarios		
Medianerías		$\leq$ 1.07

Particiones interiores (edificios de viviendas) <sup>(3)</sup>	$\leq$	1.2 W/m <sup>2</sup> K
--	--------	------------------------

<b>MUROS DE FACHADA</b>		
$U_{Mm}^{(4)}$		$U_{Mlim}^{(5)}$
N		$\leq$ 0.82
E		
O		
S		
SE		
SO		

<b>HUECOS</b>					
$U_{Hm}^{(4)}$		$U_{Hlim}^{(5)}$		$F_{Hm}^{(4)}$	$F_{Hlim}^{(5)}$
	$\leq$	5.7			
	$\leq$	5.7			
	$\leq$	5.7			
	$\leq$	5.7			
	$\leq$	5.7			
	$\leq$	5.7			

<b>CERR. CONTACTO TERRENO</b>		
$U_{Tm}^{(4)}$		$U_{Mlim}^{(5)}$
	$\leq$	0.82

<b>SUELOS</b>		
$U_{Sm}^{(4)}$		$U_{Slim}^{(5)}$
	$\leq$	0.52

<b>CUBIERTAS Y LUCERNARIOS</b>		
$U_{Cm}^{(4)}$		$U_{Clim}^{(5)}$
	$\leq$	0.45

<b>LUCERNARIOS</b>		
$F_{Lm}^{(4)}$		$F_{Llim}^{(5)}$
	$\leq$	0.3

<b>ZONA CLIMÁTICA</b> <b>B3</b>	<b>Zona de baja carga interna</b> <input type="checkbox"/> <b>Zona de alta carga interna</b> <input checked="" type="checkbox"/>
---------------------------------	--

<b>Cerramientos y particiones interiores de la envolvente térmica</b>	$U_{\max(\text{proyecto})}^{(1)}$	$U_{\max}^{(2)}$
Muros de fachada	0.84	$\leq$ 1.07
Primer metro del perímetro de suelos apoyados y muros en contacto con el terreno		
Particiones interiores en contacto con espacios no habitables	1.03	
Suelos	1.29 (!!)	$\leq$ 0.68
Cubiertas		$\leq$ 0.59
Vidrios de huecos y lucernarios	5.7	$\leq$ 5.7
Marcos de huecos y lucernarios	5.7	
Medianerías		$\leq$ 1.07

Particiones interiores (edificios de viviendas) <sup>(3)</sup>	$\leq$	1.2 W/m <sup>2</sup> K
--	--------	------------------------

<b>MUROS DE FACHADA</b>		
$U_{Mm}^{(4)}$		$U_{Mlim}^{(5)}$
N	0.96 (!!)	$\leq$ 0.82
E		
O		
S		
SE	0.84 (!!)	
SO	0.84 (!!)	

<b>HUECOS</b>					
$U_{Hm}^{(4)}$		$U_{Hlim}^{(5)}$		$F_{Hm}^{(4)}$	$F_{Hlim}^{(5)}$
5.7 (!!)	$\leq$	5.4			
	$\leq$	5.7			
	$\leq$	5.7			
	$\leq$	5.7			
5.7	$\leq$	5.7		0.55	
5.7 (!!)	$\leq$	5.6		0.55 (!!)	$\leq$ 0.5

 <b>Universidad Politécnica de Cartagena</b>		<b>TRABAJO FIN DE GRADO (TFG)</b>
		ESTUDIO TÉCNICO Y ECONÓMICO PARA LA MEJORA DEL COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO DEL COLEGIO DE EDUCACIÓN INFANTIL Y PRIMARIA "CEIP FONTES" EN TORRE-PACHECO, (MURCIA)

<b>CERR. CONTACTO TERRENO</b>	<b>SUELOS</b>	<b>CUBIERTAS Y LUCERNARIOS</b>	<b>LUCERNARIOS</b>
$U_{Tm}^{(4)}$ $U_{Mlim}^{(5)}$ $\leq$ 0.82	$U_{Sm}^{(4)}$ $U_{Slim}^{(5)}$ 1.26 (!!) $\leq$ 0.52	$U_{Cm}^{(4)}$ $U_{Clim}^{(5)}$ $\leq$ 0.45	$F_{Lm}^{(4)}$ $F_{Llim}^{(5)}$ $\leq$ 0.3

NOTA:

- (!!)

 El cerramiento no cumple la Limitación de Demanda Energética del CTE.

### FICHA 3 CONFORMIDAD-Condensaciones.

CERRAMIENTOS, PARTICIONES INTERIORES, PUENTES TÉRMICOS														
Tipos	C.superficiales	C. intersticiales												
	$fR_{si} \geq fR_{smin}$	$P_n \leq$	Capa											
		$P_{sat,n}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

TFG_Fab. lad.hueco (9+11)	$fR_{si}$	0.79	$P_{sat,n}$	2145	1935	1627	1492	1306	1301						
cámara con aislante	$fR_{smin}$	0.52	$P_n$	1267	1134	1105	1102	939	917						

### 3.4. RESULTADO DEL CÁLCULO DE CARGAS TÉRMICAS DEL EDIFICIO NUEVO

El cálculo se efectúa con un programa informático de cargas térmicas, "cálculo de instalaciones en edificio, dm ELECT, S.L. versión 13.0.0", y los resultados son los siguientes:

ZONA ZM1.

DENOMINACIÓN LOCAL: **Aula 1**

Fluido calefacción: agua

Sistema calefacción: radiadores

Temperatura (°C): 20

Pérdidas de calor por transmisión "Qstm":

Cerramiento	Orientación	U (W/m² K)	Superficie (m²)	Ti - Te (K)	Qstm (W)
Pared ext.	SE	0.84	17.84	18.4	276
Pared int.		1.84	5.37	10	99
Puerta madera		2.03	4.2	10	85
Pared int.		1.84	17.84	10	328
Pared ext.	SO	0.84	19.63	18.4	303
Ventana metálica	SO	5.7	3.08	18.4	323
Ventana metálica	SO	5.7	3.08	18.4	323
Ventana metálica	SO	5.7	3.08	18.4	323
Suelo terreno	Horizontal	1.29	61	18.4	1448
TOTAL (W)					3508

Pérdidas de calor por infiltraciones de aire exterior "Qsi":

Infiltración rendijas Vi (m³/h)	Renovaciones/hora Vr (m³/h)	da·Cpa/3600	Ti - Te (K)	Qsi (W)
50.98 *	0	0.33	18.4	310

 <p><b>Universidad Politécnica de Cartagena</b></p>	 <p><b>industriales</b></p>	<p align="center"><b>TRABAJO FIN DE GRADO (TFG)</b></p> <p align="center">ESTUDIO TÉCNICO Y ECONÓMICO PARA LA MEJORA DEL COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO DEL COLEGIO DE EDUCACIÓN INFANTIL Y PRIMARIA "CEIP FONTES" EN TORRE-PACHECO, (MURCIA)</p>
--	--	--

Infiltración por rendijas:

Cerramiento	Or	f(m <sup>3</sup> /h·m)	l(m)	R	H	Vi (m <sup>3</sup> /h)
Ventana metálica	SO	1.9	8.6	0,76	1,37	16,99
Ventana metálica	SO	1.9	8.6	0,76	1,37	16,99
Ventana metálica	SO	1.9	8.6	0,76	1,37	16,99
Total (m <sup>3</sup> /h)						50.98 *

Carga suplementaria "Qss":

Qstm + Qsi - Qsaip (W)	Orientación Zo	Interrupción Servicio Zis	+ 2 paredes exteriores Zpe	F	Qss (W)
3818		0.1		0.1	382

**DENOMINACIÓN LOCAL: Aula 2**

Fluido calefacción: agua

Sistema calefacción: radiadores

Temperatura (°C): 20

Pérdidas de calor por transmisión "Qstm":

Cerramiento	Orientación	U (W/m <sup>2</sup> K)	Superficie (m <sup>2</sup> )	Ti - Te (K)	Qstm <sub>i</sub> (W)
Pared ext.	SE	0.84	17.5	18.4	270
Pared ext.	NE	0.84	20.23	18.4	313
Ventana metálica	NE	5.7	3.08	18.4	323
Ventana metálica	NE	5.7	3.08	18.4	323
Ventana metálica	NE	5.7	3.08	18.4	323
Pared int.		1.84	17.5	10	322
Pared int.		1.84	5.96	10	110
Puerta madera		2.03	4.2	10	85
Suelo terreno	Horizontal	1.29	61.08	18.4	1450
TOTAL (W)					3519

Carga suplementaria "Qss":

Qstm + Qsi - Qsaip (W)	Orientación Zo	Interrupción Servicio Zis	+ 2 paredes exteriores Zpe	F	Qss (W)
3519		0.1		0.1	352

**DENOMINACIÓN LOCAL: Aula 3**

Fluido calefacción: agua

Sistema calefacción: radiadores

Temperatura (°C): 20

Pérdidas de calor por transmisión "Qstm":

Cerramiento	Orientación	U (W/m <sup>2</sup> K)	Superficie (m <sup>2</sup> )	Ti - Te (K)	Qstm <sub>i</sub> (W)
Pared int.		1.84	17.84	10	328
Pared ext.	NE	0.84	19.83	18.4	307
Ventana metálica	NE	5.7	3.08	18.4	323

 <b>Universidad Politécnica de Cartagena</b>		<b>TRABAJO FIN DE GRADO (TFG)</b>			
		ESTUDIO TÉCNICO Y ECONÓMICO PARA LA MEJORA DEL COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO DEL COLEGIO DE EDUCACIÓN INFANTIL Y PRIMARIA "CEIP FONTES" EN TORRE-PACHECO, (MURCIA)			

Ventana metálica	NE	5.7	3.08	18.4	323
Ventana metálica	NE	5.7	3.08	18.4	323
Pared ext.	NO	0.84	17.84	18.4	276
Pared int.		1.84	24.86	10	457
Puerta madera		2.03	4.2	10	85
Suelo terreno	Horizontal	1.29	61.42	18.4	1458
				<b>TOTAL (W)</b>	<b>3880</b>

Carga suplementaria "Qss":

<b>Qstm + Qsi - Qsaip (W)</b>	<b>Orientación Zo</b>	<b>Interrupción Servicio Zis</b>	<b>+ 2 paredes exteriores Zpe</b>	<b>F</b>	<b>Qss (W)</b>
3880		0.1		0.1	388

**DENOMINACIÓN LOCAL: Aula 4**

Fluido calefacción: agua

Sistema calefacción: radiadores

Temperatura (°C): 20

Pérdidas de calor por transmisión "Qstm":

<b>Cerramiento</b>	<b>Orientación</b>	<b>U (W/m² K)</b>	<b>Superficie (m²)</b>	<b>Ti - Te (K)</b>	<b>Qstm<sub>i</sub> (W)</b>
Pared int.		1.84	17.58	10	324
Pared int.		1.84	25.26	10	465
Puerta madera		2.03	4.2	10	85
Pared ext.	NO	0.84	17.58	18.4	272
Pared ext.	SO	0.84	20.23	18.4	313
Ventana metálica	SO	5.7	3.08	18.4	323
Ventana metálica	SO	5.7	3.08	18.4	323
Ventana metálica	SO	5.7	3.08	18.4	323
Suelo terreno	Horizontal	1.29	61.38	18.4	1457
				<b>TOTAL (W)</b>	<b>3885</b>

Pérdidas de calor por infiltraciones de aire exterior "Qsi":

<b>Infiltración rendijas Vi (m³/h)</b>	<b>Renovaciones/hora Vr (m³/h)</b>	<b>da·Cpa/3600</b>	<b>Ti - Te (K)</b>	<b>Qsi (W)</b>
50.98 *	0	0.33	18.4	310

Infiltración por rendijas:

<b>Cerramiento</b>	<b>Or</b>	<b>f(m³/h·m)</b>	<b>l(m)</b>	<b>R</b>	<b>H</b>	<b>Vi (m³/h)</b>
Ventana metálica	SO	1.9	8.6	0,76	1,37	16,99
Ventana metálica	SO	1.9	8.6	0,76	1,37	16,99
Ventana metálica	SO	1.9	8.6	0,76	1,37	16,99
<b>Total (m³/h)</b>						<b>50.98 *</b>

 <p><b>Universidad Politécnica de Cartagena</b></p>	 <p><b>industriales</b></p>	<p align="center"><b>TRABAJO FIN DE GRADO (TFG)</b></p> <p align="center">ESTUDIO TÉCNICO Y ECONÓMICO PARA LA MEJORA DEL COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO DEL COLEGIO DE EDUCACIÓN INFANTIL Y PRIMARIA "CEIP FONTES" EN TORRE-PACHECO, (MURCIA)</p>
--	--	--

Carga suplementaria "Qss":

<b>Qstm + Qsi - Qsaip (W)</b>	<b>Orientación Zo</b>	<b>Interrupción Servicio Zis</b>	<b>+ 2 paredes exteriores Zpe</b>	<b>F</b>	<b>Qss (W)</b>
4195		0.1		0.1	420

**DENOMINACIÓN LOCAL: Sala profesores**

Fluido calefacción: agua

Sistema calefacción: radiadores

Temperatura (°C): 20

Pérdidas de calor por transmisión "Qstm":

<b>Cerramiento</b>	<b>Orientación</b>	<b>U (W/m² K)</b>	<b>Superficie (m²)</b>	<b>Ti - Te (K)</b>	<b>Qstm<sub>i</sub> (W)</b>
Pared ext.	SE	0.84	5.63	18.4	87
Ventana metálica	SE	5.7	3.08	18.4	323
Pared int.		1.84	6.82	10	125
Puerta madera		2.03	1.89	10	38
Suelo terreno	Horizontal	1.29	19.54	18.4	464
Techo int.	Horizontal	1.57	18.78	-1	-29
<b>TOTAL (W)</b>					<b>1008</b>

Carga suplementaria "Qss":

<b>Qstm + Qsi - Qsaip (W)</b>	<b>Orientación Zo</b>	<b>Interrupción Servicio Zis</b>	<b>+ 2 paredes exteriores Zpe</b>	<b>F</b>	<b>Qss (W)</b>
1008		0.1		0.1	101

**DENOMINACIÓN LOCAL: Aula 5**

Fluido calefacción: agua

Sistema calefacción: radiadores

Temperatura (°C): 20

Pérdidas de calor por transmisión "Qstm":

<b>Cerramiento</b>	<b>Orientación</b>	<b>U (W/m² K)</b>	<b>Superficie (m²)</b>	<b>Ti - Te (K)</b>	<b>Qstm<sub>i</sub> (W)</b>
Pared ext.	SE	0.84	17.68	18.4	273
Pared int.		1.84	19.09	-1	-35
Pared int.		1.84	5.61	10	103
Puerta madera		2.03	4.2	10	85
Pared ext.	SO	0.84	20.03	18.4	310
Ventana metálica	SO	5.7	3.08	18.4	323
Ventana metálica	SO	5.7	3.08	18.4	323
Ventana metálica	SO	5.7	3.08	18.4	323
Suelo int.	Horizontal	1.57	0.44	10	7
Techo int.	Horizontal	2.02	61.27	10	1238
<b>TOTAL (W)</b>					<b>2950</b>

 <b>Universidad Politécnica de Cartagena</b>		<b>TRABAJO FIN DE GRADO (TFG)</b>
		ESTUDIO TÉCNICO Y ECONÓMICO PARA LA MEJORA DEL COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO DEL COLEGIO DE EDUCACIÓN INFANTIL Y PRIMARIA "CEIP FONTES" EN TORRE-PACHECO, (MURCIA)

Pérdidas de calor por infiltraciones de aire exterior "Qsi":

Infiltración rendijas Vi (m³/h)	Renovaciones/hora Vr (m³/h)	da·Cpa/3600	Ti - Te (K)	Qsi (W)
50.98 *	0	0.33	18.4	310

Infiltración por rendijas:

Cerramiento	Or	f(m³/h·m)	l(m)	R	H	Vi (m³/h)
Ventana metálica	SO	1.9	8.6	0,76	1,37	16,99
Ventana metálica	SO	1.9	8.6	0,76	1,37	16,99
Ventana metálica	SO	1.9	8.6	0,76	1,37	16,99
Total (m³/h)						50.98 *

Carga suplementaria "Qss":

Qstm + Qsi - Qsaip (W)	Orientación Zo	Interrupción Servicio Zis	+ 2 paredes exteriores Zpe	F	Qss (W)
3260		0.1		0.1	326

**DENOMINACIÓN LOCAL: Pedagogía**

Fluido calefacción: agua

Sistema calefacción: radiadores

Temperatura (°C): 20

Pérdidas de calor por transmisión "Qstm":

Cerramiento	Orientación	U (W/m² K)	Superficie (m²)	Ti - Te (K)	Qstm (W)
Pared ext.	SE	0.84	5.45	19.4	89
Ventana metálica	SE	5.7	3.08	19.4	340
Pared int.		1.84	19.09	1	35
Pared int.		1.84	6.64	11	134
Puerta madera		2.03	1.89	11	42
Pared int.		1.84	19.09	1	35
Suelo int.	Horizontal	1.57	19.28	1	30
Techo int.	Horizontal	2.02	19.28	11	429
TOTAL (W)					1134

Carga suplementaria "Qss":

Qstm + Qsi - Qsaip (W)	Orientación Zo	Interrupción Servicio Zis	+ 2 paredes exteriores Zpe	F	Qss (W)
1134		0.1		0.1	113

**DENOMINACIÓN LOCAL: Aula 6**

Fluido calefacción: agua

Sistema calefacción: radiadores

Temperatura (°C): 20

 <p><b>Universidad Politécnica de Cartagena</b></p>	 <p><b>industriales</b></p>	<p align="center"><b>TRABAJO FIN DE GRADO (TFG)</b></p> <p align="center">ESTUDIO TÉCNICO Y ECONÓMICO PARA LA MEJORA DEL COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO DEL COLEGIO DE EDUCACIÓN INFANTIL Y PRIMARIA "CEIP FONTES" EN TORRE-PACHECO, (MURCIA)</p>
--	--	--

Pérdidas de calor por transmisión "Qstm":

Cerramiento	Orientación	U (W/m <sup>2</sup> K)	Superficie (m <sup>2</sup> )	Ti - Te (K)	Qstm <sub>i</sub> (W)
Pared ext.	SE	0.84	17.84	18.4	276
Pared ext.	NE	0.84	19.82	18.4	306
Ventana metálica	NE	5.7	3.08	18.4	323
Ventana metálica	NE	5.7	3.08	18.4	323
Ventana metálica	NE	5.7	3.08	18.4	323
Pared int.		1.84	17.84	10	328
Pared int.		1.84	5.41	10	100
Puerta madera		2.03	4.2	10	85
Pared int.		1.84	19.09	-1	-35
Suelo int.	Horizontal	1.57	0.19	10	3
Techo int.	Horizontal	2.02	61.4	10	1240
<b>TOTAL (W)</b>					<b>3272</b>

Carga suplementaria "Qss":

Qstm + Qsi - Qsaip (W)	Orientación Zo	Interrupción Servicio Zis	+ 2 paredes exteriores Zpe	F	Qss (W)
3272		0.1		0.1	327

DENOMINACIÓN LOCAL: **Aula 7**

Fluido calefacción: agua

Sistema calefacción: radiadores

Temperatura (°C): 20

Pérdidas de calor por transmisión "Qstm":

Cerramiento	Orientación	U (W/m <sup>2</sup> K)	Superficie (m <sup>2</sup> )	Ti - Te (K)	Qstm <sub>i</sub> (W)
Pared int.		1.84	17.84	10	328
Pared ext.	NE	0.84	19.77	18.4	306
Ventana metálica	NE	5.7	3.08	18.4	323
Ventana metálica	NE	5.7	3.08	18.4	323
Ventana metálica	NE	5.7	3.08	18.4	323
Pared ext.	NO	0.84	17.85	18.4	276
Pared int.		1.84	24.79	10	456
Puerta madera		2.03	4.2	10	85
Techo int.	Horizontal	2.02	61.31	10	1238
<b>TOTAL (W)</b>					<b>3658</b>

Carga suplementaria "Qss":

Qstm + Qsi - Qsaip (W)	Orientación Zo	Interrupción Servicio Zis	+ 2 paredes exteriores Zpe	F	Qss (W)
3658		0.1		0.1	366

DENOMINACIÓN LOCAL: **Aula 8**

Fluido calefacción: agua

Sistema calefacción: radiadores

Temperatura (°C): 20

 <b>Universidad Politécnica de Cartagena</b>		<b>TRABAJO FIN DE GRADO (TFG)</b>
		ESTUDIO TÉCNICO Y ECONÓMICO PARA LA MEJORA DEL COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO DEL COLEGIO DE EDUCACIÓN INFANTIL Y PRIMARIA "CEIP FONTES" EN TORRE-PACHECO, (MURCIA)

Pérdidas de calor por transmisión "Qstm":

Cerramiento	Orientación	U (W/m <sup>2</sup> K)	Superficie (m <sup>2</sup> )	Ti - Te (K)	Qstm <sub>i</sub> (W)
Pared int.		1.84	24.9	10	458
Puerta madera		2.03	4.2	10	85
Pared ext.	NO	0.84	17.68	18.4	273
Pared ext.	SO	0.84	19.87	18.4	307
Ventana metálica	SO	5.7	3.08	18.4	323
Ventana metálica	SO	5.7	3.08	18.4	323
Ventana metálica	SO	5.7	3.08	18.4	323
Techo int.	Horizontal	2.02	60.95	10	1231
<b>TOTAL (W)</b>					<b>3323</b>

Pérdidas de calor por infiltraciones de aire exterior "Qsi":

Infiltración rendijas Vi (m <sup>3</sup> /h)	Renovaciones/hora Vr (m <sup>3</sup> /h)	da·Cpa/3600	Ti - Te (K)	Qsi (W)
50.98 *	0	0.33	18.4	310

Infiltración por rendijas:

Cerramiento	Or	f(m <sup>3</sup> /h·m)	l(m)	R	H	Vi (m <sup>3</sup> /h)
Ventana metálica	SO	1.9	8.6	0,76	1,37	16,99
Ventana metálica	SO	1.9	8.6	0,76	1,37	16,99
Ventana metálica	SO	1.9	8.6	0,76	1,37	16,99
<b>Total (m<sup>3</sup>/h)</b>						<b>50.98 *</b>

Carga suplementaria "Qss":

Qstm + Qsi - Qsaip (W)	Orientación Zo	Interrupción Servicio Zis	+ 2 paredes exteriores Zpe	F	Qss (W)
3633		0.1		0.1	363

**DENOMINACIÓN LOCAL: Audición**

Fluido calefacción: agua

Sistema calefacción: radiadores

Temperatura (°C): 20

Pérdidas de calor por transmisión "Qstm":

Cerramiento	Orientación	U (W/m <sup>2</sup> K)	Superficie (m <sup>2</sup> )	Ti - Te (K)	Qstm <sub>i</sub> (W)
Pared int.		1.84	6.9	10	127
Puerta madera		2.03	1.89	10	38
Pared ext.	SO	0.84	5.71	18.4	88
Ventana metálica	SO	5.7	3.08	18.4	323
Suelo int.	Horizontal	1.57	18.02	10	283
Techo int.	Horizontal	2.02	18.41	10	372
<b>TOTAL (W)</b>					<b>1231</b>

 <b>Universidad Politécnica de Cartagena</b>		<b>TRABAJO FIN DE GRADO (TFG)</b>
		ESTUDIO TÉCNICO Y ECONÓMICO PARA LA MEJORA DEL COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO DEL COLEGIO DE EDUCACIÓN INFANTIL Y PRIMARIA "CEIP FONTES" EN TORRE-PACHECO, (MURCIA)

Pérdidas de calor por infiltraciones de aire exterior "Qsi":

Infiltración rendijas Vi (m³/h)	Renovaciones/hora Vr (m³/h)	da·Cpa/3600	Ti - Te (K)	Qsi (W)
18.95 *	0	0.33	18.4	115

Infiltración por rendijas:

Cerramiento	Or	f(m³/h·m)	l(m)	R	H	Vi (m³/h)
Ventana metálica	SO	1.9	8.6	0,85	1,37	18,95
Total (m³/h)						18,95 *

Carga suplementaria "Qss":

Qstm + Qsi - Qsaip (W)	Orientación Zo	Interrupción Servicio Zis	+ 2 paredes exteriores Zpe	F	Qss (W)
1346		0.1		0.1	135

RESUMEN CARGA TÉRMICA ZONA ZM1

Local	Transm. Qstm (W)	Infiltrac. Qsi (W)	Ap. int. Qsaip (W)	Suplem. Qss (W)	Fs (%)	Qc (W)	Ventilac. Qsv (W)	Qct (W)
Aula 1	3508	310	0	382	10	4620	0	4620
Aula 2	3519	0	0	352	10	4258	0	4258
Aula 3	3880	0	0	388	10	4695	0	4695
Aula 4	3885	310	0	420	10	5076	0	5076
Sala profesores	1008	0	0	101	10	1220	0	1220
Aula 5	2950	310	0	326	10	3945	0	3945
Pedagogía	1134	0	0	113	10	1372	0	1372
Aula 6	3272	0	0	327	10	3959	0	3959
Aula 7	3658	0	0	366	10	4426	0	4426
Aula 8	3323	310	0	363	10	4396	0	4396
Audición	1231	115	0	135	10	1629	0	1629
Suma	31368	1355	0	3273		39596		
<b>TOTAL ZONA (W)</b>								<b>39596</b>

Tabla 37. Resumen carga térmica edificio nuevo

### 3.5. JUSTIFICACIÓN DE LA IDONEIDAD DE LOS RADIADORES EXISTENTES CON EL NUEVO SALTO TÉRMICO UTILIZADO

Siguiendo el método anterior, se han calculado las cargas térmicas para el edificio antiguo, siendo el resultado el siguiente:

RESUMEN CARGA TÉRMICA EDIFICIO ANTIGUO.

Local	Transm. Qstm (W)	Infiltrac. Qsi (W)	Ap. int. Qsaip (W)	Suplem. Qss (W)	Ventilac. Qsv (W)	Qct (W)
Aula plumier	3907	279	0	419	0	4605
Oficina	3527	317	0	384	0	4228
Secretaría	1397	120	0	152	0	1669
Dirección	1084	113	0	120	0	1317
Aula 9	2627	198	0	283	0	3108
Aula 14	4198	0	0	420	0	4618

 <b>Universidad Politécnica de Cartagena</b>	 <b>industriales</b> <small>en el UPCT</small>	<b>TRABAJO FIN DE GRADO (TFG)</b>  ESTUDIO TÉCNICO Y ECONÓMICO PARA LA MEJORA DEL COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO DEL COLEGIO DE EDUCACIÓN INFANTIL Y PRIMARIA "CEIP FONTES" EN TORRE-PACHECO, (MURCIA)

Aula 12	3481	0	0	348	0	3829
Aula 10	4067	0	0	407	0	4474
Aula 16	3525	0	0	353	0	3878
Oficina	1066	0	0	107	0	1173
Aula 8	4339	0	0	434	0	4773
Aula 6	3703	0	0	370	0	4073
Aula 4	3653	0	0	365	0	4018
Aula 2	4354	0	0	435	0	4789
Aula 1	4671	279	0	495	0	5445
Aula 3	4549	317	0	487	0	5353
Aula 5	4193	317	0	451	0	4961
Aula 7	4370	279	0	465	0	5114
DEP 3 CICLO	1505	0	0	151	0	1656
DEP 1 CICLO	1550	0	0	155	0	1705
DEP 3 COMP	1212	0	0	121	0	1333
Suma	66978	2219		6922		76119
<b>TOTAL ZONA (W)</b>						<b>76119</b>

Tabla 38. Resumen carga térmica edificio antiguo

Local	Nº elementos instalados	Emisión calorífica por elemento (W)	Emisión calorífica total instalada Qci (W)	Emisión necesaria Qct (W)	Válido (si Qci ≥ Qct)
Aula plumier	60	81,7	4605	5066	Si
Aula 9	40	81,7	3268	3108	Si
Aula 14	60	81,7	4605	4618	No
Aula 10	60	81,7	4605	4474	Si
Sala profesores	40	81,7	3268	3878	No
Aula 8	60	81,7	4605	4773	No
Aula 6	40	81,7	3268	4073	No
Aula 4	40	81,7	3268	4018	No
Aula 2	60	81,7	4605	4789	No
Aula 1	60	81,7	4605	5445	No
Aula 3	40	81,7	3268	5353	No
Aula 5	40	81,7	3268	4961	No
Aula 7	60	81,7	4605	5114	No
DEP 3 CICLO	15	81,7	1225	1656	No
DEP 1 CICLO	15	81,7	1225	1705	No
DEP 3 COM	15	81,7	1225	1333	No

Tabla 39. Comprobación de la validez de los radiadores existentes

En la mayor parte de las zonas, la potencia emitida por los radiadores existentes para  $\Delta t=40^{\circ}\text{C}$  es inferior a la potencia necesaria. Se opta por cambiar todos los radiadores del edificio antiguo por el mismo modelo que los que se proyectan para el edificio nuevo, DUBAL 60, ROCA o similar, siendo el resultado el siguiente:

Local	Nº elementos instalados	Emisión calorífica por elemento (W)	Emisión calorífica total instalada Qci (W)	Emisión necesaria Qct (W)	Válido (si Qci ≥ Qct)
Aula plumier	60	86,86	5212	5066	Si
Aula 9	40	86,86	3474	3108	Si

 <b>Universidad Politécnica de Cartagena</b>		<b>TRABAJO FIN DE GRADO (TFG)</b>			
		ESTUDIO TÉCNICO Y ECONÓMICO PARA LA MEJORA DEL COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO DEL COLEGIO DE EDUCACIÓN INFANTIL Y PRIMARIA "CEIP FONTES" EN TORRE-PACHECO, (MURCIA)			

Aula 14	60	86,86	5212	4618	Si
Aula 10	60	86,86	5212	4474	Si
Sala profesores	46	86,86	3996	3878	Si
Aula 8	60	86,86	5212	4773	Si
Aula 6	48	86,86	4169	4073	Si
Aula 4	48	86,86	4169	4018	Si
Aula 2	60	86,86	5212	4789	Si
Aula 1	63	86,86	5472	5445	Si
Aula 3	62	86,86	5385	5353	Si
Aula 5	62	86,86	5385	4961	Si
Aula 7	60	86,86	5212	5114	Si
DEP 3 CICLO	20	86,86	1737	1656	Si
DEP 1 CICLO	20	86,86	1737	1705	Si
DEP 3 COM	20	86,86	1737	1333	Si

Tabla 40. Radiadores edificio antiguo

### **3.6. CÁLCULO DE LA RED DE TUBERÍAS Y DIMENSIONADO DE RADIADORES EN EL EDIFICIO NUEVO**

Cálculo por: Darcy – Weisbach

Densidad fluido: 1000 kg/m<sup>3</sup>

Viscosidad cinemática del fluido: 0.0000011 m<sup>2</sup>/s

Pérdidas secundarias: 10 %

Velocidad máxima: 2 m/s

T<sup>a</sup> entrada Unidad Terminal (°C):

- Radiadores (sistema bitubo): 70

Salto térmico (°C):

- Radiadores (sistema bitubo): 20

Coefficiente convección h(W/m<sup>2</sup>°C): 11.

El cálculo se efectúa con un programa informático de cargas térmicas, “*cálculo de instalaciones en edificio, dm ELECT, S.L. versión 13.0.0*”, y los resultados son los siguientes:

Línea	Nudo Orig.	Nudo Dest.	Lreal (m)	Función tramo	Mat./Rug. (mm/K)	f	Q (l/s)	Dn (mm)	Dint (mm)	hf (mca)	hu (mmca/m)	V (m/s)
1	2	1		Gen.agua cal.			0,4797			0,08		
2	1	3	0,5	Tubería	Mult.Pol/Al/PE-X/0,1	0,033	0,4797	40	33	0,009	17,5	0,56
3	4	7		V3V	K=0,5	0,02	0,4797	25	27,3	0,018		0,82*
4	5	7		V3V	K=0,5	0,02	-	25	27,3	0,018		0,82
5	6	7		V3V	K=0,5	0,02	0	25	16,1	0,141		0
3	3	4	0,8	Tubería	Mult.Pol/Al/PE-X/0,1	0,033	0,4797	40	33	0,014	17,5	0,56
7	5	8	0,8	Tubería	Mult.Pol/Al/PE-X/0,1	0,033	0,4797	40	33	0,014	17,5	0,56
8	8	9		VC	K=0,5	0,02	0,4797	25	27,3	0,018		0,82



9	9	10		Bomba circ.			0,4797			-5,2		
10	10	11		VC	K=0,5	0,02	0,4797	25	27,3	0,018		0,82
15	11	16	100	Tubería	PE-X 6.3/0,1	0,033	0,4797	40	34	1,507	15,1	0,53
16	16	18	1,29	Tubería	Acero G/0,1	0,036	0,2417	25	27,3	0,016	12,8	0,41
19	19	20	6,62	Tubería	Acero G/0,1	0,038	0,1857	20	21,7	0,163	24,7	0,5
21	21	22	17,19	Tubería	Acero G/0,1	0,041	0,1245	20	21,7	0,205	11,9	0,34
23	23	24	6,9	Tubería	Acero G/0,1	0,044	0,0674	20	21,7	0,026	3,8	0,18
25	26	27		Radiador			0,0187			0,001		
25	18	26		VRG	K=5	0,02	0,0187	15	16,1	0,002		0,09
27	28	29		Radiador			0,0187			0,001		
27	19	28		VRG	K=5	0,02	0,0187	15	16,1	0,002		0,09
29	30	31		Radiador			0,0207			0,001		
29	20	30		VRG	K=5	0,02	0,0207	15	16,1	0,003		0,1
31	32	33		Radiador			0,0207			0,001		
31	21	32		VRG	K=5	0,02	0,0207	15	16,1	0,003		0,1
33	34	35		Radiador			0,0197			0,001		
33	22	34		VRG	K=5	0,02	0,0197	15	16,1	0,002		0,1
35	36	37		Radiador			0,0187			0,001		
35	23	36		VRG	K=5	0,02	0,0187	15	16,1	0,002		0,09
37	38	39		Radiador			0,0176			0,001		
37	24	38		VRG	K=5	0,02	0,0176	15	16,1	0,002		0,09
39	40	41		Radiador			0,0176			0,001		
39	25	40		VRG	K=5	0,02	0,0176	15	16,1	0,002		0,09
41	16	42	1,5	Tubería	Acero G/0,1	0,036	0,238	20	21,7	0,059	39	0,64
38	2	39	0,5	Tubería	Mult.Pol/Al/PE-X/0,1	0,033	-	40	33	0,009	17,5	0,56
39	39	40	0,65	Tubería	Mult.Pol/Al/PE-X/0,1	0,033	-	40	33	0,011	17,5	0,56
41	40	6	0,25	Tubería	Mult.Pol/Al/PE-X/0,1		0	20	16	0	0	0
41	41	41	3,61	Tubería	Acero G/0,1	0,036	-	25	27,3	0,046	12,8	0,41
43	42	43	6,62	Tubería	Acero G/0,1	0,038	-	20	21,7	0,163	24,7	0,5
44	43	100	3,07	Tubería	Acero G/0,1	0,039	-0,165	20	21,7	0,061	19,9	0,45
45	44	45	16,54	Tubería	Acero G/0,1	0,041	-	20	21,7	0,197	11,9	0,34
47	46	47	6,94	Tubería	Acero G/0,1	0,044	-	20	21,7	0,026	3,8	0,18
49	41	48		DET/VRQ	K=5		0,0176	15	16,1	0,286		0,09
50	39	47		DET/VRQ	K=5		0,0176	15	16,1	0,299		0,09
51	37	46		DET/VRQ	K=5		0,0187	15	16,1	0,351		0,09
52	35	45		DET/VRQ	K=5		0,0197	15	16,1	0,449		0,1
53	33	44		DET/VRQ	K=5		0,0207	15	16,1	0,851		0,1
54	31	43		DET/VRQ	K=5		0,0207	15	16,1	1,085		0,1
55	29	42		DET/VRQ	K=5		0,0187	15	16,1	1,413		0,09
56	27	41		DET/VRQ	K=5		0,0187	15	16,1	1,849		0,09
57	41	49	2,35	Tubería	Acero G/0,1	0,036	-0,238	20	21,7	0,092	39	0,64
58	42	50	3,3	Tubería	Mult.Pol/Al/PE-X/0,1	0,036	0,238	32	26	0,052	15,8	0,45
59	50	51	0,5	Tubería	Acero G/0,1	0,036	0,238	20	21,7	0,02	39	0,64
60	51	52	0,29	Tubería	Acero G/0,1	0,036	0,238	20	21,7	0,011	39	0,64
62	53	54	3,58	Tubería	Acero G/0,1	0,038	0,1903	20	21,7	0,092	25,8	0,51
63	54	55	3,24	Tubería	Acero G/0,1	0,038	0,1706	20	21,7	0,068	21,1	0,46
65	56	57	16,93	Tubería	Acero G/0,1	0,041	0,1177	20	21,7	0,182	10,8	0,32
67	58	59	6,74	Tubería	Acero G/0,1	0,042	0,0647	20	21,7	0,022	3,3	0,18
69	60	61	8,26	Tubería	Acero G/0,1	0,071	0,017	20	21,7	0,003	0,4	0,05
70	62	63		Radiador			0,0166			0,001		
70	52	62		VRG	K=5	0,02	0,0166	15	16,1	0,002		0,08
72	64	65		Radiador			0,0156			0,001		
72	53	64		VRG	K=5	0,02	0,0156	15	16,1	0,002		0,08
74	66	67		Radiador			0,0197			0,001		
74	54	66		VRG	K=5	0,02	0,0197	15	16,1	0,002		0,1
76	68	69		Radiador			0,0176			0,001		
76	55	68		VRG	K=5	0,02	0,0176	15	16,1	0,002		0,09
78	70	71		Radiador			0,0176			0,001		
78	56	70		VRG	K=5	0,02	0,0176	15	16,1	0,002		0,09
80	72	73		Radiador			0,0176			0,001		



80	57	72		VRG	K=5	0,02	0,0176	15	16,1	0,002		0,09
82	74	75		Radiador			0,0176			0,001		
82	58	74		VRG	K=5	0,02	0,0176	15	16,1	0,002		0,09
84	76	77		Radiador			0,0166			0,001		
84	59	76		VRG	K=5	0,02	0,0166	15	16,1	0,002		0,08
86	78	79		Radiador			0,0156			0,001		
86	60	78		VRG	K=5	0,02	0,0156	15	16,1	0,002		0,08
88	80	81		Radiador			0,017			0,001		
88	61	80		VRG	K=5	0,02	0,017	15	16,1	0,002		0,08
90	49	83	3,3	Tubería	Mult.Pol/Al/PE-X/0,1	0,036	-0,238	32	26	0,052	15,8	0,45
91	83	84	2,6	Tubería	Acero G/0,1	0,036	-0,238	20	21,7	0,101	39	0,64
93	85	86	3,54	Tubería	Acero G/0,1	0,038	-0,1903	20	21,7	0,091	25,8	0,51
94	86	87	3,3	Tubería	Acero G/0,1	0,038	-0,1706	20	21,7	0,07	21,1	0,46
96	88	89	16,26	Tubería	Acero G/0,1	0,041	-0,1177	20	21,7	0,175	10,8	0,32
98	90	91	6,81	Tubería	Acero G/0,1	0,042	-0,0647	20	21,7	0,023	3,3	0,18
100	92	93	8,81	Tubería	Acero G/0,1	0,071	-0,017	20	21,7	0,003	0,4	0,05
101	63	84		DET/VRQ	K=5		0,0166	15	16,1	1,525		0,08
102	65	85		DET/VRQ	K=5		0,0156	15	16,1	1,124		0,08
103	67	86		DET/VRQ	K=5		0,0197	15	16,1	0,94		0,1
104	69	87		DET/VRQ	K=5		0,0176	15	16,1	0,802		0,09
105	71	88		DET/VRQ	K=5		0,0176	15	16,1	0,601		0,09
106	73	89		DET/VRQ	K=5		0,0176	15	16,1	0,244		0,09
107	75	90		DET/VRQ	K=5		0,0176	15	16,1	0,155		0,09
108	77	91		DET/VRQ	K=5		0,0166	15	16,1	0,11		0,08
109	79	92		DET/VRQ	K=5		0,0156	15	16,1	0,096		0,08
110	81	93		DET/VRQ	K=5		0,017	15	16,1	0,09		0,08
111	95	94		Radiador			0,0187			0,001		
111	41	95	3,42	Tubería	Acero G/0,1	0,037	-0,2231	20	21,7	0,118	34,6	0,6
112	95	42	3,4	Tubería	Acero G/0,1	0,037	-0,2044	20	21,7	0,1	29,4	0,55
113	94	95		DET/VRQ	K=5		0,0187	15	16,1	1,613		0,09
113	18	96	3,4	Tubería	Acero G/0,1	0,037	0,2231	20	21,7	0,118	34,6	0,6
114	96	19	3,41	Tubería	Acero G/0,1	0,037	0,2044	20	21,7	0,1	29,4	0,55
115	95	96		VRG	K=5	0,02	-0,0187	15	16,1	0,002		0,09
115	20	97	3,35	Tubería	Acero G/0,1	0,039	0,165	20	21,7	0,067	19,9	0,45
116	97	21	3,25	Tubería	Acero G/0,1	0,04	0,1452	20	21,7	0,051	15,8	0,39
117	99	98		Radiador			0,0197			0,001		
118	99	97		VRG	K=5	0,02	-0,0197	15	16,1	0,002		0,1
119	100	44	3,55	Tubería	Acero G/0,1	0,04	-0,1452	20	21,7	0,056	15,8	0,39
120	98	100		DET/VRQ	K=5		0,0197	15	16,1	0,958		0,1
125	24	105	2,86	Tubería	Acero G/0,1	0,031	0,0498	20	21,7	0,004	1,5	0,13
126	105	25	3,47	Tubería	Acero G/0,1	0,036	0,0332	20	21,7	0,003	0,8	0,09
126	47	106	2,93	Tubería	Acero G/0,1	0,031	-0,0498	20	21,7	0,004	1,5	0,13
127	106	48	3,39	Tubería	Acero G/0,1	0,036	-0,0332	20	21,7	0,003	0,8	0,09
128	107	108		Radiador			0,0166			0,001		
129	105	107		VRG	K=5	0,02	0,0166	15	16,1	0,002		0,08
130	108	106		DET/VRQ	K=5		0,0166	15	16,1	0,291		0,08
131	25	109	8,14	Tubería	Acero G/0,1	0,077	0,0156	20	21,7	0,003	0,4	0,04
132	48		8,16	Tubería	Acero G/0,1	0,077	-0,0156	20	21,7	0,003	0,4	0,04
133	110	111		Radiador			0,0156			0,001		
134	110	109		VRG	K=5	0,02	-0,0156	15	16,1	0,002		0,08
135	111			DET/VRQ	K=5		0,0156	15	16,1	0,28		0,08
135	52	113	2,88	Tubería	Acero G/0,1	0,037	0,2214	20	21,7	0,098	34,1	0,6
136	113	53	3,4	Tubería	Acero G/0,1	0,037	0,2058	20	21,7	0,101	29,8	0,56
136	84	114	3,06	Tubería	Acero G/0,1	0,037	-	20	21,7	0,104	34,1	0,6



137	114	85	3,25	Tubería	Acero G/0,1	0,037	0,2214						
							-	20	21,7	0,097	29,8	0,56	
							0,2058						
138	115	116		Radiador			0,0156			0,001			
139	115	113		VRG	K=5	0,02	-	15	16,1	0,002		0,08	
							0,0156						
140	116	114		DET/VRQ	K=5		0,0156	15	16,1	1,323		0,08	
139	55	117	3,53	Tubería	Acero G/0,1	0,039	0,1529	20	21,7	0,061	17,3	0,41	
140	117	56	2,9	Tubería	Acero G/0,1	0,04	0,1353	20	21,7	0,04	13,9	0,37	
141	87	118	3,17	Tubería	Acero G/0,1	0,039	-	20	21,7	0,055	17,3	0,41	
							0,1529						
142	118	88	3,25	Tubería	Acero G/0,1	0,04	-	20	21,7	0,045	13,9	0,37	
							0,1353						
143	119	120		Radiador			0,0176			0,001			
144	119	117		VRG	K=5	0,02	-	15	16,1	0,002		0,09	
							0,0176						
145	120	118		DET/VRQ	K=5		0,0176	15	16,1	0,686		0,09	
144	89	121	3,12	Tubería	Acero G/0,1	0,043	-0,1	20	21,7	0,025	8,1	0,27	
145	121	90	3,32	Tubería	Acero G/0,1	0,045	-	20	21,7	0,019	5,7	0,22	
							0,0824						
146	57	122	3,37	Tubería	Acero G/0,1	0,043	0,1	20	21,7	0,027	8,1	0,27	
147	122	58	3,07	Tubería	Acero G/0,1	0,045	0,0824	20	21,7	0,018	5,7	0,22	
148	123	124		Radiador			0,0176			0,001			
149	123	122		VRG	K=5	0,02	-	15	16,1	0,002		0,09	
							0,0176						
150	124	121		DET/VRQ	K=5		0,0176	15	16,1	0,191		0,09	
149	91	125	3,26	Tubería	Acero G/0,1	0,03	-	20	21,7	0,004	1,3	0,13	
							0,0481						
150	125	92	3,28	Tubería	Acero G/0,1	0,037	-	20	21,7	0,002	0,7	0,09	
							0,0326						
151	59	126	3,51	Tubería	Acero G/0,1	0,03	0,0481	20	21,7	0,005	1,3	0,13	
152	126	60	3,1	Tubería	Acero G/0,1	0,037	0,0326	20	21,7	0,002	0,7	0,09	
153	127	128		Radiador			0,0156			0,001			
153	126	127		VRG	K=5	0,02	0,0156	15	16,1	0,002		0,08	
155	128	125		DET/VRQ	K=5		0,0156	15	16,1	0,101		0,08	
121	101	23	3,31	Tubería	Acero G/0,1	0,044	0,0861	20	21,7	0,02	6,2	0,23	
120	22	101	3,31	Tubería	Acero G/0,1	0,042	0,1048	20	21,7	0,029	8,8	0,28	
124	104	46	3,35	Tubería	Acero G/0,1	0,044	-	20	21,7	0,021	6,2	0,23	
							0,0861						
123	45	104	3,19	Tubería	Acero G/0,1	0,042	-	20	21,7	0,028	8,8	0,28	
							0,1048						
122	102	103		Radiador			0,0187			0,001			
125	103	104		DET/VRQ	K=5		0,0187	15	16,1	0,392		0,09	
123	101	102		VRG	K=5	0,02	0,0187	15	16,1	0,002		0,09	
40		41	100,5	Tubería	PE-X 6.3/0,1	0,033	-	40	34	1,514	15,1	0,53	
							0,4797						
156	130	133		V3V	K=0,5	0,02	0,4797	25	27,3	0,018		0,82	
157	131	133		V3V	K=0,5	0,02	-	25	27,3	0,018		0,82	
							0,4797						
158	132	133		V3V	K=0,5	0,02	0	25	16,1	0,024		0	
156		130	0,2	Tubería	Mult.Pol/Al/PE-X/0,1	0,033	0,4797	40	33	0,003	17,5	0,56	
160	132	134		VC	K=0,5	0,02	0	15	16,1	0		0	
161	134	135	0,3	Acumulador			0			-0			
162	135	136		VC	K=0,5	0,02	0	15	16,1	0		0	
163	136	137	1,97	Tubería	Mult.Pol/Al/PE-X/0,1		0	20	16	0	0	0	
164	131	137	0,34	Tubería	Mult.Pol/Al/PE-X/0,1	0,033	0,4797	40	33	0,006	17,5	0,56	
165	137	40	0,41	Tubería	Mult.Pol/Al/PE-X/0,1	0,033	0,4797	40	33	0,007	17,5	0,56	

Tabla 41. Resultado del cálculo de tuberías de calefacción (I)

Nudo	Cota (m)	H (mca)	Presión (mca)
1	0	15	15
2	0	15,08	15,08
3	0	14,991	14,991



Universidad  
Politécnica  
de Cartagena



**TRABAJO FIN DE GRADO (TFG)**

ESTUDIO TÉCNICO Y ECONÓMICO PARA LA  
MEJORA DEL COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO DEL  
COLEGIO DE EDUCACIÓN INFANTIL Y PRIMARIA  
"CEIP FONTES" EN TORRE-PACHECO, (MURCIA)

4	0	14,977	14,977
5	0	14,94	14,94
6	0	15,1	15,1
7	0	14,959	14,959
8	0	14,926	14,926
9	0	14,908	14,908
10	0	20,108	20,108
11	0	20,089	20,089
16	0	18,583	18,583
18	0	18,566	18,566
19	0	18,348	18,348
20	0	18,185	18,185
21	0	18,067	18,067
22	0	17,862	17,862
23	0	17,813	17,813
24	0	17,787	17,787
25	0	17,78	17,78
26	0	18,564	18,564
27	0	18,563	18,563
28	0	18,346	18,346
29	0	18,345	18,345
30	0	18,182	18,182
31	0	18,181	18,181
32	0	18,064	18,064
33	0	18,063	18,063
34	0	17,86	17,86
35	0	17,859	17,859
36	0	17,811	17,811
37	0	17,81	17,81
38	0	17,785	17,785
39	0	17,784	17,784
40	0	17,778	17,778
41	0	17,777	17,777
42	0	18,524	18,524
39	0	15,089	15,089
40	0	15,1	15,1
	0	15,154	15,154
41	0	16,668	16,668
41	0	16,714	16,714
42	0	16,932	16,932
43	0	17,096	17,096
44	0	17,213	17,213
45	0	17,41	17,41
46	0	17,459	17,459
47	0	17,485	17,485
48	0	17,491	17,491
49	0	16,76	16,76
50	3,3	18,472	15,172
51	3,3	18,453	15,153
52	3,3	18,441	15,141
53	3,3	18,242	14,942
54	3,3	18,149	14,849
55	3,3	18,081	14,781
56	3,3	17,979	14,679
57	3,3	17,797	14,497
58	3,3	17,752	14,452
59	3,3	17,73	14,43
60	3,3	17,723	14,423
61	3,3	17,72	14,42
62	3,3	18,44	15,14
63	3,3	18,439	15,139
64	3,3	18,24	14,94
65	3,3	18,239	14,939
66	3,3	18,147	14,847
67	3,3	18,146	14,846
68	3,3	18,079	14,779
69	3,3	18,078	14,778



Universidad  
Politécnica  
de Cartagena



**TRABAJO FIN DE GRADO (TFG)**

ESTUDIO TÉCNICO Y ECONÓMICO PARA LA  
MEJORA DEL COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO DEL  
COLEGIO DE EDUCACIÓN INFANTIL Y PRIMARIA  
"CEIP FONTES" EN TORRE-PACHECO, (MURCIA)

70	3,3	17,977	14,677
71	3,3	17,976	14,676
72	3,3	17,795	14,495
73	3,3	17,794	14,494
74	3,3	17,75	14,45
75	3,3	17,749	14,449
76	3,3	17,728	14,428
77	3,3	17,727	14,427
78	3,3	17,722	14,422
79	3,3	17,721	14,421
80	3,3	17,718	14,418
81	3,3	17,717	14,417
83	3,3	16,812	13,512*
84	3,3	16,913	13,613
85	3,3	17,115	13,815
86	3,3	17,206	13,906
87	3,3	17,276	13,976
88	3,3	17,375	14,075
89	3,3	17,551	14,251
90	3,3	17,595	14,295
91	3,3	17,617	14,317
92	3,3	17,624	14,324
93	3,3	17,627	14,327
94	0	18,445	18,445
95	0	18,446	18,446
95	0	16,832	16,832
96	0	18,449	18,449
97	0	18,118	18,118
98	0	18,115	18,115
99	0	18,116	18,116
100	0	17,157	17,157
105	0	17,783	17,783
106	0	17,489	17,489
107	0	17,781	17,781
108	0	17,78	17,78
109	0	17,777	17,777
	0	17,494	17,494
110	0	17,776	17,776
111	0	17,775	17,775
113	3,3	18,343	15,043
114	3,3	17,018	13,718
115	3,3	18,341	15,041
116	3,3	18,34	15,04
117	3,3	18,02	14,72
118	3,3	17,33	14,03
119	3,3	18,018	14,718
120	3,3	18,017	14,717
121	3,3	17,576	14,276
122	3,3	17,77	14,47
123	3,3	17,768	14,468
124	3,3	17,767	14,467
125	3,3	17,622	14,322
126	3,3	17,725	14,425
127	3,3	17,724	14,424
128	3,3	17,723	14,423
101	0	17,833	17,833
104	0	17,438	17,438
102	0	17,831	17,831
103	0	17,83	17,83
130	0	15,15	15,15
131	0	15,113	15,113
132	0	15,107	15,107
133	0	15,132	15,132
134	0	15,107	15,107
135	0	15,107	15,107
136	0	15,107	15,107
137	0	15,107	15,107

NOTA:

- \* Rama de mayor velocidad o nudo de menor presión.

**Tabla 42. Resultado del cálculo de tuberías de calefacción (II)**

## Resultados Unidades Terminales

### Radiadores

Nudo Orig.	Loca 1	Tipo	Modelo	Nº el.	Long. (mm)	te (°C)	ts (°C)	Pot. el/m (W)	Pot. emit. (W)	Q dem. (l/s)	P.Det/VEA (mca)	Q Det/VEA (l/s)
26	Aula 1	Alum. elem. vert.	DUBAL 60 (FA)	18		70	50	86,86	1.563,44	0,0187	1,849	0,0187
28	Aula 1	Alum. elem. vert.	DUBAL 60 (FA)	18		70	50	86,86	1.563,44	0,0187	1,413	0,0187
30	Aula 4	Alum. elem. vert.	DUBAL 60 (FA)	20		70	50	86,86	1.737,15	0,0207	1,085	0,0207
32	Aula 4	Alum. elem. vert.	DUBAL 60 (FA)	20		70	50	86,86	1.737,15	0,0207	0,851	0,0207
34	Aula 3	Alum. elem. vert.	DUBAL 60 (FA)	19		70	50	86,86	1.650,3	0,0197	0,449	0,0197
36	Aula 3	Alum. elem. vert.	DUBAL 60 (FA)	18		70	50	86,86	1.563,44	0,0187	0,351	0,0187
38	Aula 2	Alum. elem. vert.	DUBAL 60 (FA)	17		70	50	86,86	1.476,58	0,0176	0,299	0,0176
40	Aula 2	Alum. elem. vert.	DUBAL 60 (FA)	17		70	50	86,86	1.476,58	0,0176	0,286	0,0176
62	Aula 5	Alum. elem. vert.	DUBAL 60 (FA)	16		70	50	86,86	1.389,72	0,0166	1,525	0,0166
64	Aula 5	Alum. elem. vert.	DUBAL 60 (FA)	15		70	50	86,86	1.302,87	0,0156	1,124	0,0156
66	Audi ción	Alum. elem. vert.	DUBAL 60 (FA)	19		70	50	86,86	1.650,3	0,0197	0,94	0,0197
68	Aula 8	Alum. elem. vert.	DUBAL 60 (FA)	17		70	50	86,86	1.476,58	0,0176	0,802	0,0176
70	Aula 8	Alum. elem. vert.	DUBAL 60 (FA)	17		70	50	86,86	1.476,58	0,0176	0,601	0,0176
72	Aula 7	Alum. elem. vert.	DUBAL 60 (FA)	17		70	50	86,86	1.476,58	0,0176	0,244	0,0176
74	Aula 7	Alum. elem. vert.	DUBAL 60 (FA)	17		70	50	86,86	1.476,58	0,0176	0,155	0,0176
76	Aula 6	Alum. elem. vert.	DUBAL 60 (FA)	16		70	50	86,86	1.389,72	0,0166	0,11	0,0166
78	Aula 6	Alum. elem. vert.	DUBAL 60 (FA)	15		70	50	86,86	1.302,87	0,0156	0,096	0,0156
80	Peda gogía	Alum. elem. vert.	DUBAL 60 (FA)	17		70	50	86,86	1.424,76	0,017	0,09	0,017
94	Aula	Alum.	DUBAL 60	18		70	50	86,86	1.563,44	0,0187	1,613	0,0187



	1	elem. vert.	(FA)									
98	Aula 4	Alum. elem. vert.	DUBAL 60 (FA)	19		70	50	86,86	1.650,3	0,0197	0,958	0,0197
107	Aula 2	Alum. elem. vert.	DUBAL 60 (FA)	16		70	50	86,86	1.389,72	0,0166	0,291	0,0166
110	Sala profe sores	Alum. elem. vert.	DUBAL 60 (FA)	15		70	50	86,86	1.302,87	0,0156	0,28	0,0156
115	Aula 5	Alum. elem. vert.	DUBAL 60 (FA)	15		70	50	86,86	1.302,87	0,0156	1,323	0,0156
119	Aula 8	Alum. elem. vert.	DUBAL 60 (FA)	17		70	50	86,86	1.476,58	0,0176	0,686	0,0176
123	Aula 7	Alum. elem. vert.	DUBAL 60 (FA)	17		70	50	86,86	1.476,58	0,0176	0,191	0,0176
127	Aula 6	Alum. elem. vert.	DUBAL 60 (FA)	15		70	50	86,86	1.302,87	0,0156	0,101	0,0156
102	Aula 3	Alum. elem. vert.	DUBAL 60 (FA)	18		70	50	86,86	1.563,44	0,0187	0,392	0,0187

Tabla 43. Resultado unidades terminales

### **3.7. DIMENSIONADO DE CALDERA, BOMBAS, VASOS DE EXPANSIÓN Y CHIMENEA**

#### **3.7.1. GENERADOR DE CALOR**

Resumen cargas térmicas por edificios:

<b>Necesidades por edificio:</b>	<b>kcal/h</b>	<b>kW</b>
Edificio antiguo	65.463	76,12
Edificio nuevo	34.056	39,60
<b>TOTALES:</b>	<b>99.519</b>	<b>115,72</b>

Tabla 44. Resumen necesidades térmicas por edificio

<b>Necesidades térmicas totales calefacción:</b>	99.519 kcal/h	115,72 kW
<b>Pérdidas por aislamiento y sala caldera (10%):</b>	9.952 kcal/h	11,57 kW
<b>Potencia total requerida:</b>	109.471 kcal/h	127,29 Kw
<b>Potencia total en caldera (calefacción):</b>	<b>154.800 kcal/h</b>	<b>180 Kw</b>

Tabla 45. Resumen potencia de calefacción

#### **3.7.2. BOMBAS**

Circuito edificio nuevo:

De la tabla de resultados de nudos y ramas se obtiene:

$$Q=0,4797 \text{ l/s}=1,73 \text{ m}^3/\text{h.}$$

$$h=5,2 \text{ mca}$$

**Seleccionamos 1 ud alta eficiencia ROCA QUANTUM 32 o similar.**

Circuito planta baja edificio antiguo:

Aplicando la fórmula del caudal a circular por la caldera para este circuito, obtenemos:

$$Q = \frac{P}{4180 \times \Delta T} = \frac{34899}{4186 \times 20} = 0,42 \frac{l}{s} = 1,51 m^3/h$$

La actual bomba en funcionamiento que existe para todos los circuitos de calefacción del edificio es el modelo *ROCA MC-1230 W*, que según las curvas del fabricante, da una presión máxima de 6 m.c.a. Al subdividir el circuito de calefacción actual en 3 circuitos independientes, es de esperar que las pérdidas sean menores a la presión máxima anterior. Por ello, para elegir el circulador, siendo conservadores, estimamos unas pérdidas  $h=6$  m.c.a.

**Seleccionamos 1 ud alta eficiencia ROCA QUANTUM 32 o similar.**

Circuito sur planta alta edificio antiguo:

Aplicando la fórmula del caudal a circular por la caldera para este circuito, obtenemos:

$$Q = \frac{P}{4180 \times \Delta T} = \frac{24427}{4186 \times 20} = 0,29 \frac{l}{s} = 1,05 m^3/h$$

Siendo conservadores, estimamos unas pérdidas  $h=6$  mca. (Se desconoce el diámetro de las tuberías existentes ya que van empotradas en el suelo, forjado y cerramientos).

**Seleccionamos 1 ud alta eficiencia ROCA QUANTUM 32 o similar.**

Circuito norte planta alta edificio antiguo:

Aplicando la fórmula del caudal a circular por la caldera para este circuito, obtenemos:

$$Q = \frac{P}{4180 \times \Delta T} = \frac{24406}{4186 \times 20} = 0,29 \frac{l}{s} = 1,05 m^3/h$$

Siendo conservadores, estimamos unas pérdidas  $h=6$  mca. (Se desconoce el diámetro de las tuberías existentes ya que van empotradas en el suelo, forjado y cerramientos).

**Seleccionamos 1 ud alta eficiencia ROCA QUANTUM 32 o similar.**

### 3.7.3. VASO DE EXPANSIÓN

Aplicamos las siguientes fórmulas:

$$C_p = P_{max} / (P_{max} - P_{min})$$

$$P_{min} = P_{llenado} + 1$$

$$P_{max1} = 0.9 \cdot P_{vs} + 1 \quad ; \quad P_{max2} = P_{vs} + 0.65$$

$$P_{max} = \text{Menor}(P_{max1}, P_{max2})$$

$$V_u = V \cdot C_e$$

$$V_t = V_u \cdot C_p$$

Siendo:

- Pllenado = Presión en la llave de llenado (bar).
- Pvs = Presión en la válvula de seguridad (bar).
- Pmin = Presión absoluta mínima (bar).
- Pmax = Presión absoluta máxima (bar).
- Cp = Coeficiente de presión (adimensional).
- Ce = Coeficiente de expansión térmica (adimensional).
- V = Volumen total de agua en la instalación (l).
- Vu = Volumen útil del vaso de expansión (l).
- Vt = Volumen total del vaso de expansión (l).

Resultados:

T (°C)	Pvs (bar)	Pllenado (bar)	Cp	Ce	V (l)	Vu (l)	Vtc (l)	Vt (l)
70	3	1,5	3,1739	0,0204	8794,48	179,41	569,42	<b>600</b>

### 3.7.4. CHIMENEA

Cálculo según EN 13384-1, chimenea en depresión. Resultados del cálculo efectuado con el software Dinakalc 4.2 Versión 4.2.0-ES:

DATOS DE LA INSTALACIÓN:

Combustible:	Pellets		
Tipo de aparato:	Caldera atmosférica		
Condensación:	NO		
	<b>Nominal</b>	<b>Mínimo</b>	
Potencia:	kW 181,4	36,7	
Rendimiento:	% 92,3	94,2	
Tª de humos:	°C 130	85	
Tiro mínimo:	Pa 3	3	
Caudal:	g/s 110	23	

 <p><b>Universidad Politécnica de Cartagena</b></p>	 <p><b>industriales</b></p>	<p align="center"><b>TRABAJO FIN DE GRADO (TFG)</b></p> <p align="center">ESTUDIO TÉCNICO Y ECONÓMICO PARA LA MEJORA DEL COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO DEL COLEGIO DE EDUCACIÓN INFANTIL Y PRIMARIA "CEIP FONTES" EN TORRE-PACHECO, (MURCIA)</p>
--	--	--

Altitud: m 40  
Tª máxima: °C 15

**DATOS DEL CONDUCTO:**

TRAMO HZTAL. (COND. UNIÓN)	Longitud total (m):	0,5
	Altura total (m):	0,5
TRAMO VERTICAL	Longitud total (m):	9,4
	Altura total (m):	9,4
	Conexión:	Te de 90°: 1
	Piezas:	Te de 135°: 2 Ampliaciones: 1
	Tipo de salida:	Sombrerete antiviento

**CÁLCULOS Y COMPROBACIONES:**

**REQUISITOS DE PRESIÓN**

		Nominal	Mínimo
Tiro disponible en la base de la vertical:	$P_z$	132,74	23,51 Pa
Tiro necesario en la base de la vertical:	$P_{ze}$	-6,78	-5,71 Pa

Primer requisito de presión:	$P_z$	$\geq$	$P_{ze}$	<b>Cumple</b>
A potencia nominal:	132,74	$>$	-6,78	SI
A potencia mínima:	23,51	$>$	-5,71	SI
Segundo requisito de presión:	$P_z$	$\geq$	$P_{BNL}$	<b>Cumple</b>
A potencia nominal:	132,74	$>$	0	SI
A potencia mínima:	23,51	$>$	0	SI



**REQUISITOS DE TEMPERATURA**

**Nominal Mínimo**

Tª de la pared interior en la salida de la chimenea:	$T_{iob}$	60,8	14,4 °C
Tª límite de la pared interior de la chimenea:	$T_g$	0	0 °C

Primer requisito de temperatura:	$T_{iob}$	$\geq$	$T_g$	<b>Cumple</b>
A potencia nominal:	60,8	$>$	0	SI
A potencia mínima:	14,4	$>$	0	SI

DIMENSIONADO:

**TRAMO HZTAL. (COND. UNIÓN)**

<b>Gama:</b>		<b>Dinak DP</b>
<i>Diámetro interior:</i>	mm	<b>200</b>
<i>Diámetro exterior:</i>	mm	<b>260</b>
<i>Designación EN 1856-1</i>		<b>T600 N1 D V2 G(XX)</b>

		Nom	Mín
<i>Velocidad media de los humos:</i>	m/s	4	0,7
<i>Tª media de los humos:</i>	°C	127	79
<i>Tª media de la pared exterior:</i>	°C	28	21

**TRAMO VERTICAL**

<b>Gama:</b>		<b>Dinak DP</b>
<i>Diámetro interior:</i>	mm	<b>250</b>
<i>Diámetro exterior:</i>	mm	<b>310</b>
<i>Designación EN 1856-1</i>		<b>T600 N1 D V2 G(XX)</b>

		Nom	Mín
<i>Velocidad media de los humos:</i>	m/s	2,3	0,4
<i>Tª media de los humos:</i>	°C	78	31
<i>Tª media de la pared exterior:</i>	°C	13	11

*SALIDA DE LA CHIMENEA*

		Nom	Mín
<i>Velocidad de los humos:</i>	m/s	2,1	0,4
<i>Tª de los humos:</i>	°C	48	17
<i>Tª de la pared exterior:</i>	°C	12	10

**3.8. CÁLCULO DE LA INSTALACIÓN SOLAR**

**3.8.1. ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA DE INVIERNO**

Mediante el método de los grados-día 15 se estimará la demanda de calefacción. Este método se basa en estimar que la demanda de calefacción depende de la diferencia de temperaturas interior y exterior media de cada mes (representada por los grados-día 15 de cada mes) y el coeficiente global de pérdidas  $K_G$  del edificio en cuestión.

De esta forma, se estima que la demanda mensual de calefacción de un determinado edificio se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$Q = 24 \cdot S \cdot K_G \cdot Z_m$$

Siendo:

- Q = Demanda de calefacción (kcal/mes)
- S = Superficie de la envolvente del edificio (m<sup>2</sup>)
- $K_G$  = Coeficiente global de pérdidas del edificio (kcal/h·m<sup>2</sup>·°C)
- $Z_m$  = Grados-día 15 del mes correspondiente (°C)

De la guía técnica editada por el IDAE “*Condiciones climáticas exteriores de proyecto*” obtenemos los siguientes datos para una latitud muy similar a la de Torre-Pacheco, (San Javier):

	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>
<b>TA (°C)</b>	11	11,9	14,2	16,2	19,5	23,4	25,7	26,3	24	20,1	14,9	11,9
<b>Z<sub>m</sub> (°C)</b>	134	101	60	28	5	0	0	0	0	5	51	108

Tabla 46. Datos mensuales de temperatura y grados día

La superficie de la envolvente es 2453 m<sup>2</sup> y 1340 m<sup>2</sup> para el edificio antiguo y edificio nuevo respectivamente. El  $K_G$  del edificio nuevo es 0,70 kcal/h·m<sup>2</sup>·°C, (según proyecto constructivo). El  $K_G$  del edificio antiguo se estima en 1,12 kcal/h·m<sup>2</sup>·°C, que corresponde con el valor más desfavorable calculado en función del factor de forma, (0,53), según artículo 4 de NBE-CT-79.

En la siguiente gráfica se muestra la demanda de calefacción estimada según el método de los “grados-día 15”:

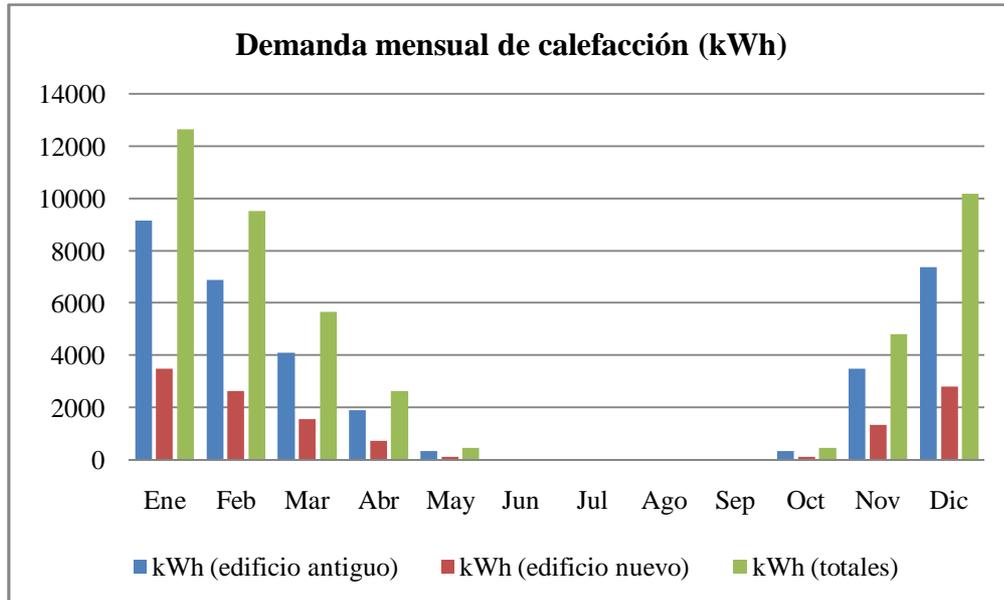


Figura 25. Datos mensuales de temperatura y grados día

### 3.8.2. PÉRDIDAS POR SOMBRAS, ORIENTACIÓN E INCLINACIÓN

#### 3.8.2.1. Pérdidas por orientación e inclinación

La inclinación de diseño del campo de captadores es  $\beta = 55^\circ$ . El azimut de los captadores es  $\alpha = 0^\circ$ .

Teniendo en cuenta la inclinación, la orientación del campo de captadores y la latitud de la instalación, las pérdidas debidas a la orientación e inclinación del campo son del 6,35%.

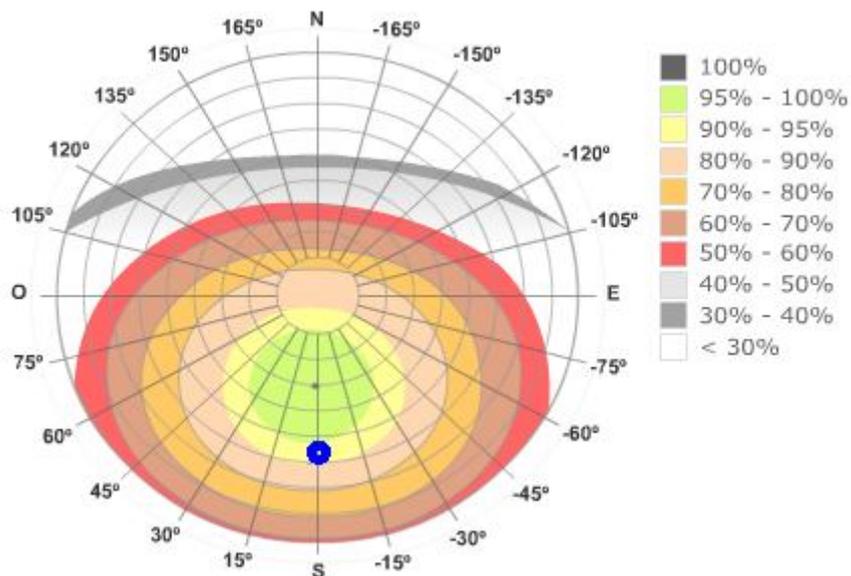


Figura 26. Pérdidas por orientación e inclinación



### 3.8.2.2 Pérdidas por sombras

Según la carta cilíndrica de la trayectoria solar, (Diagrama de trayectorias del sol), una vez introducidos todos los puntos de los perfiles de los obstáculos que están situados en torno al campo de captadores, estos producirán las siguientes sombras:

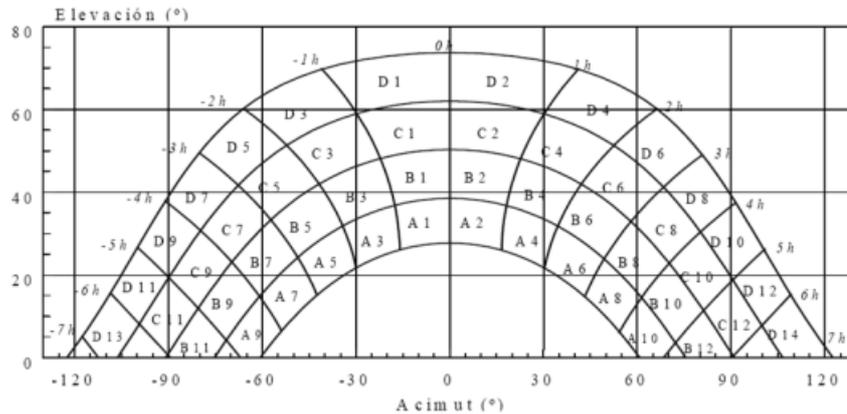


Figura 26. Pérdidas por sombras

Las sombras producen unas pérdidas por sombreado a lo largo de todo el año del 0 %

### 3.8.2.3. Pérdidas totales

	Orientación e inclinación	Sombras	Total
General	10%	10%	15%
Proyecto	6,35%	0%	<b>6,35%</b>

Tabla 47. Pérdidas totales instalación solar

Según el tipo de instalación de captadores, el sumario de pérdidas por sombreado y orientación e inclinación, la instalación cumple con lo establecido en la tabla 2.4 del apartado 2.1.8 del CTE.

### 3.8.2.4. Distancia mínima entre filas de captadores

La distancia  $d$ , medida sobre la horizontal, entre una fila de captadores y un obstáculo de altura  $h$ , que pueda producir sombras sobre la instalación deberá garantizar un mínimo de 4 horas de sol en torno al mediodía del solsticio de invierno. Esta distancia  $d$  será superior al valor obtenido por la expresión:

$$d = h / \tan(61^\circ - \text{latitud})$$

La separación entre la parte posterior de una fila y el comienzo de la siguiente no será inferior a la obtenida por la expresión anterior, aplicando  $h$  a la diferencia de alturas entre la parte alta de una fila y la parte baja de la siguiente, efectuando todas las medidas de acuerdo con el plano que contiene a las bases de los captadores.

En el estudio,  $h = l \cdot \text{sen } \beta$ , siendo  $l$  la altura del captador y  $\beta$  el ángulo de inclinación.

$$h = 2,187 \text{ m} \cdot \sin 55^\circ = 1,79 \text{ m}$$

$$d \geq 1,79 / \tan(61^\circ - 37^\circ) = 4,02 \text{ m}$$

### 3.8.3. DIMENSIONADO DE LA SUPERFICIE DE CAPTACIÓN Y CÁLCULO DE LA FRACCIÓN SOLAR APORTADA

Se debe considerar el rendimiento de los captadores, el cual dependerá de la temperatura ambiente, la radiación solar incidente y la temperatura de trabajo.

En el caso de disponer de radiadores trabajando de 70 a 50°C en el circuito de calefacción, la temperatura media de trabajo de los captadores será de 70 °C aproximadamente. De trabajar a temperaturas más altas en el circuito de calefacción, se penalizaría el rendimiento de la instalación de forma considerable. Este es el motivo por el cual siempre se ha de procurar trabajar con sistemas de emisión de calor a baja temperatura a la hora de diseñar sistemas de climatización apoyados por instalaciones de energía solar.

Teniendo en cuenta los valores de temperatura ambiente, radiación solar media diaria en el plano de captadores y una temperatura media de trabajo de los mismos de 70 °C, es posible calcular el rendimiento medio mensual del captador escogido con factor óptico de 0,814 y coeficiente de pérdidas 3,639, que se encuentra orientado al sur un ángulo de 55° aplicando la siguiente expresión:

Curva de rendimiento del colector elegido

$$r = 0,814 - 3,639 \cdot (t_e - t_a) / G - 0,0089 \cdot (t_e - t_a)^2 / G$$

Siendo:

$t_e$  = Temperatura de entrada del fluido al colector (°C)

$t_a$  = Temperatura media ambiente (°C)

$G$  = Radiación solar media diaria en el plano de captadores (W/m<sup>2</sup>)

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
$t_a$ (°C)	11	11,9	14,2	16,2	19,5	23,4	25,7	26,3	24	20,1	14,9	11,9
Radiación horizontal (kWh/m <sup>2</sup> /día)	2,55	3,50	5,09	5,95	7,06	7,93	7,86	6,88	5,30	4,04	2,75	2,24
Radiación inclinada (kWh/m <sup>2</sup> /día)	4,80	5,47	6,21	5,73	5,64	5,73	5,91	6,15	5,95	5,74	4,88	4,45
Nº medio horas diarias de sol	8	9	9	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9	9	8	7,5
$G$ (W/m <sup>2</sup> )	600	608	690	603	594	603	622	647	661	638	610	593
Rendimiento	0.40	0.42	0.48	0.45	0.47	0.50	0.53	0.54	0.53	0.49	0.44	0.41

Tabla 48. Rendimiento mensual de la instalación solar

Los valores de radiación horizontal y radiación inclinada un ángulo de 55° se han extraído de la página web <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>. Los valores del nº medio de horas de sol se han extraído de CENSOLAR, para una latitud comprendida entre +25° a +45° (hemisferio norte).

La aportación solar diaria por m<sup>2</sup> de captador es por tanto:

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Radiación inclinada (kWh/m <sup>2</sup> /día)	4,80	5,47	6,21	5,73	5,64	5,73	5,91	6,15	5,95	5,74	4,88	4,45
Rendimiento	0.40	0.42	0.48	0.45	0.47	0.50	0.53	0.54	0.53	0.49	0.44	0.41
Aportación solar diaria m <sup>2</sup> captador, (kWh/m <sup>2</sup> /día)	1,94	2,28	2,98	2,56	2,63	2,87	3,11	3,33	3,17	2,84	2,15	1,81

**Tabla 49. Aportación solar diaria**

Conocido el rendimiento medio del sistema solar en condiciones de calefacción y la demanda energética, se puede calcular la radiación solar incidente sobre el plano de captadores que se necesita para cubrir dicha demanda de calefacción para cada uno de los meses, simplemente dividiendo la demanda mensual por el rendimiento del sistema:

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Demanda (kWh/mes)	12.650	9.535	5.664	2.643	472	0	0	0	0	472	4.815	10.196
Rend.	0.40	0.42	0.48	0.45	0.47	0.50	0.53	0.54	0.53	0.49	0.44	0.41
E necesaria (kWh/mes)	31.272	22.882	11.81	5.917	1.012	0	0	0	0	954	10.918	25.049

**Tabla 50. Energía solar necesaria**

A diferencia de los sistemas de ACS y calentamiento de piscinas, para instalaciones solares de apoyo al sistema de calefacción la norma no establece una fracción solar mínima. Por ello se opta por una fracción solar de la demanda de energía total del edificio del orden del 25 %, y para efectuar un primer dimensionado se decide instalar 14 captadores solares de las características indicadas en el apartado 2.9.1 de la memoria descriptiva. El área de captadores es entonces 33,18 m<sup>2</sup>, y el resultado, considerando un rendimiento energético del resto de equipos de un 85%, es decir, unas pérdidas energéticas de un 15% atribuibles en la acumulación, en la distribución y en el intercambiador entre el primario y el secundario, se obtienen los siguientes resultados.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Demanda (kWh/mes)	12.650	9.535	5.664	2.643	472	0	0	0	0	472	4.815	10.196
Aportación solar diaria m <sup>2</sup> captador, (kWh/m <sup>2</sup> /día)	1,94	2,28	2,98	2,56	2,63	2,87	3,11	3,33	3,17	2,84	2,15	1,81
Aportación solar diaria m <sup>2</sup> captador con un rendimiento del 85%, (kWh/m <sup>2</sup> /día)	1,65	1,94	2,53	2,18	2,24	2,44	2,65	2,83	2,69	2,41	1,83	1,54
Nº días mes	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Aportación solar mes (kWh/m <sup>2</sup> /mes)	51,16	54,25	78,47	65,27	69,29	73,18	82,04	87,85	80,77	74,80	54,88	47,73
Aportación solar mes (kWh/mes)	1.698	1.800	2.604	2.166	2.299	2.428	2.722	2.915	2.680	2.482	1.821	1.584
% cobertura sobre la demanda	13,42	18,88	45,97	81,93	487,04	--	--	--	--	525,7	37,82	15,53

**Tabla 51. Cobertura solar sobre la demanda**

De lo anterior se deduce que en los meses de junio, julio, agosto y septiembre hay que tapar los captadores para evitar que produzcan energía que no se utilizará, lo que disminuye el rendimiento del sistema y reduciría su vida útil. En los meses de mayo y noviembre habrá que tapar el campo de captadores durante los días que no exista demanda de calefacción. Puede ser, según el año climatológico, que esto también haya que hacerlo durante los meses de abril y octubre y parte de marzo y noviembre, quedando el campo de captadores descubierto totalmente sólo en diciembre, enero y febrero.

La cobertura solar será:

$$\eta_{\text{captación}} = \frac{\sum_1^{12} \text{Demanda} \left( \frac{kWh}{\text{mes}} \right)}{\sum_1^{12} \text{Aportación solar mes} \left( \frac{kWh}{\text{mes}} \right)} = \frac{46.447}{12.615} = 27,16\%$$

### 3.8.4. DIMENSIONADO DEL CIRCUITO PRIMARIO

Para determinar la velocidad de un fluido que circula por una tubería, conocidos su diámetro y su caudal, se utiliza la siguiente expresión:

$$v = Q/S = Q/(\pi \cdot D^2/4)$$

Siendo:

- v = Velocidad del fluido (m/s)
- Q = Caudal (m<sup>3</sup>/s)
- D = Diámetro interior de la tubería (m)

Para dimensionar las tuberías también es necesario considerar las pérdidas de presión por rozamiento o pérdidas de carga lineales, las cuales dependen del diámetro de la tubería, de su rugosidad, de las características del fluido que lo recorre y de su velocidad.

Existen tablas y numerosas expresiones que expresan pérdidas de carga lineales en función del material a emplear. También existen numerosas tablas para estimar las pérdidas de carga singulares estableciendo una longitud equivalente de tubería, que produce la misma pérdida de carga que el elemento en cuestión.

El diámetro de tubería seleccionado será aquel que proporcione una velocidad y una pérdida de carga inferior a la máxima admisible o recomendable, y que son respectivamente, 3 m/s y 40 mmca por metro lineal de tubería.

Para el cálculo del diámetro de las tuberías de cobre y pérdida de carga del circuito primario, utilizamos la hoja de cálculo elaborada por la Agencia Andaluza de la Energía, <https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/ciudadania/herramientas-de-calculo-para-instalaciones-solares-y-eolicas>.

Los resultados obtenidos se pueden ver en las siguientes tablas:

Pérdida de carga en tuberías:

Tramo	Longitud (m)	Q (l/h)	Diámetro exterior (mm)	Diámetro interior (mm)	V (m/s)	mm.c.a. /m	mm.c.a. (tramo)	mm.c.a. (acumulado)
OA	2	1.680	35	33	0,55	11,82	23,63	23,63
AB	1,72	1.680	35	33	0,55	11,82	20,32	43,96
BC	1,4	1.680	35	33	0,55	11,82	16,54	60,50
CD	6	1.680	35	33	0,55	11,82	70,90	131,40
DE	0,5	840	35	33	0,27	3,27	1,64	133,03
EF	1,8	840	35	33	0,27	3,27	5,89	138,92
EG	13	840	35	33	0,27	3,27	42,55	181,48
HI	11,25	840	35	33	0,27	3,27	36,82	218,30
JH	34	1.680	35	33	0,55	11,82	401,75	<b>620,05</b>

Tabla 52. Pérdida de carga en tuberías primario solar

Pérdida de carga en accesorios:

Tramo	Q (l/h)	Nº válvulas retención	Nº codos	Nº T90	Nº válvulas esfera	mm.c.a. /m	Longitud equivalente (m)	Total accesorios (mm.c.a.)
OA	1.680	1	1	0	0	11,82	5,20	61,44
AB	1.680	0	1	0	0	11,82	1,00	11,82
BC	1.680	0	1	0	0	11,82	1,00	11,82
CD	1.680	0	1	0	0	11,82	1,00	11,82
DE	840	0	1	1	1	3,27	2,98	9,75
EF	840	0	1	0	0	3,27	1,00	3,27
EG	840	0	0	2	1	3,27	3,50	11,46
HI	840	0	4	0	1	3,27	4,46	14,60
JH	1.680	0	7	0	1	11,82	7,46	88,15
							<b>TOTAL:</b>	<b>224,12</b>

Tabla 53. Pérdida de carga en accesorios primario solar

Pérdida de carga en captadores:

Nº colectores por batería	7
Longitud de la base del colector (m)	1,147
Diámetro de tubería exterior del colector (mm)	18
Caudal batería colectores (l/h)	840
Pérdida de carga longitud del captador (mm.c.a.)	10
Velocidad (m/s)	1,16
Diámetro interior (mm)	16
mm.c.a./m	111,27
<b>Pérdidas de carga en colectores (mm.c.a.)</b>	<b>903,40</b>

Tabla 54. Pérdida de carga en captadores solares

Pérdida de carga en el intercambiador: 2 m.c.a. (según fabricante).

Pérdida de carga total circuito primario (H):  $0,620 + 0,224 + 0,903 + 2 = 3,747$  m.c.a.

La selección de la bomba del circuito primario se ha realizado de modo que su curva característica contenga aproximadamente el punto de trabajo definido por la altura manométrica igual a la pérdida de carga del circuito  $H = 3,747$  m.c.a y un caudal mínimo de  $1,68$  m<sup>3</sup>/h. Se escoge el modelo *Solar Hydraulic 20* de *Baxi* o similar.

El volumen de fluido en el circuito primario es el siguiente:

Volumen colectores:  $14 \text{ ud} \times 2,91 \text{ l} = 40,6 \text{ l}$

Volumen tuberías:  $71,67 \text{ m tubería de cobre de } 35 \times 0,809 \text{ l/m} = 57,98 \text{ l}$

Volumen agua intercambiador:  $0,42 \text{ l (fabricante)}$

**Total volumen: 100,56 l**

El vaso de expansión se calcula a partir de la siguiente fórmula:

$$V_{\text{vaso}} = V \cdot \varepsilon \cdot P_f / (P_f - P_i)$$

Siendo:

$V_{\text{vaso}}$  = Volumen del vaso de expansión (l)

$V$  = Volumen fluido caloportador circuito primario (l)

$\varepsilon$  = Incremento volumen fluido caloportador desde  $40^\circ\text{C}$  hasta la temperatura máxima alcanzable por los captadores, (adimensional).

$P_f$  = Presión absoluta final del vaso de expansión (kg/cm<sup>2</sup>)

$P_i$  = Presión absoluta inicial del vaso de expansión (kg/cm<sup>2</sup>)

Puesto que en la instalación se utiliza agua con anticongelante, el valor de  $\varepsilon$  admitido es  $0,08$ .

Como valor de  $P_f$  se toma la presión correspondiente al tarado de la válvula de seguridad que es  $3$  kg/cm<sup>2</sup>, que es la máxima a la que la instalación puede funcionar. La presión absoluta es por tanto,  $4$  kg/cm<sup>2</sup>.

Normalmente, la presión inicial de llenado del circuito primario será como mínimo de  $0,5$  kg/cm<sup>2</sup> al nivel de los captadores solares, ( $P_i$  absoluta de  $1,5$  kg/cm<sup>2</sup>). A este valor deberá añadirse la presión correspondiente a la altura de la columna de agua situada sobre el vaso. La diferencia de cotas entre el punto más alto de la instalación y la posición del vaso en la sala de máquinas es de  $10$  m, por lo que la presión estática a añadir es  $1$  kg/cm<sup>2</sup> de presión relativa, ( $2$  kg/cm<sup>2</sup> presión absoluta). Por tanto, el valor de presión absoluta inicial es  $P_i = 1,5 + 2 = 3,5$  kg/cm<sup>2</sup>.

Sustituyendo en la fórmula de cálculo del vaso de expansión el resultado es de  $64,36$  l. Se elige un vaso de expansión *VASOFLEX* de  $80$  L de la marca *BAXI* o similar.

### 3.8.5. DIMENSIONADO DE LA BOMBA DEL SECUNDARIO Y DEL INTERCAMBIADOR

#### Bomba secundario

El caudal máximo que circulará por el circuito primario del intercambiador será de 1.680 l/h. El caudal máximo del secundario debe ser menor en un 10 % o igual al que circula por el primario.

Con las anteriores premisas se elige un circulador de alta eficiencia de velocidad variable QUANTUM ECO 1025 BAXI o similar,  $\Delta P_{max}$  3,5 m.c.a. y  $Q_{max}$  2,2 m<sup>3</sup>/h.

#### Intercambiador

El sistema de intercambio es el encargado de transferir el calor de la mezcla de agua y anticongelante del circuito primario al agua de calefacción proveniente del acumulador solar.

Al tratarse de una instalación mediana, conviene por lo general, emplear intercambiadores externos, trabajando ambos fluidos en circulación forzada a contracorriente entre las superficies metálicas que los separan.

La potencia mínima de diseño del intercambiador de placas será función del área del campo de colectores, (criterio de diseño establecido en el Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura del IDAE):

$$P(W) \geq 500 \cdot A \text{ (m}^2\text{)} = 500 \cdot 33,18 = 16.590 \text{ W} = \mathbf{14.267,4 \text{ kcal/h.}}$$

El caudal máximo que circulará por el circuito primario del intercambiador será de 1.680 l/h. El caudal máximo del secundario será también de **1.680 l/h.**

Además de los parámetros anteriores, se necesita una potencia de transferencia específica media de unos 100 W/K por m<sup>2</sup> de superficie de captación, con independencia del valor del caudal.

Se dimensiona el intercambiador con las siguientes condiciones:

<i>Aplicación</i>	<i>Temperatura entrada primario</i>	<i>Temperatura salida secundario</i>	<i>Temperatura entrada secundario</i>
Calefacción	60 °C	50 °C	45 °C

Con los datos anteriores, se elige un intercambiador modelo *M 10H* de *BAXI* o similar, formado por placas corrugadas de acero inoxidable AISI 316, de las siguientes características técnicas:

<i>Número de placas</i>	<i>Peso vacío (kg)</i>	<i>Capacidad (L)</i>	<i>Longitud (A)</i>
20	8,20	0,420/0,378	65,7

## **4. MEMORIA DESCRIPTIVA. CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA**

### **4.1. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA**

En el apartado 1.7.4.2. de la memoria se plantea la posibilidad de incorporar en el edificio nuevo un sistema de energía solar fotovoltaica, de autoconsumo instantáneo con control sobre la inyección a red.

El sistema descrito en la memoria se define como aplicación de autoconsumo asociado a un consumidor, según definición de la Ley 24/2013 de ordenamiento del sector eléctrico, sin inyección de excedentes a la red.

El sistema fotovoltaico responde a la tipología enumerada en el artículo 2b de la ITC-BT-40 del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, de clasificación de instalaciones como categoría C1, instalación interconectada sin vertido a red de excedentes, ya que su función es la de suministrar energía a las cargas estando asistida por la red para complementar el servicio requerido.

Por las razones que se indicaron en la Memoria, se elige un campo fotovoltaico, situado sobre la cubierta del edificio nuevo, con una potencia total de 5280 Wp, (5.000 W nominales), repartidos en dos ramas de 11 módulos cada una, de manera que los valores de corriente obtenidos al conectar estas ramas en paralelo y los rangos de tensión de salida sean compatibles con los valores de entrada del inversor, y hagan que este opere lo más cerca posible de su punto de funcionamiento.

Para la conversión de la corriente continua generada por los módulos fotovoltaicos en corriente alterna, de las mismas características (tensión y frecuencia) que de la red, se utilizará un inversor cuya potencia nominal sea apropiada para el campo instalado. El inversor irá conectado a cada uno de los grupos en los que se divide el campo generador fotovoltaico, conectados entre sí en paralelo. De esta manera se adecua la corriente generada por el sistema fotovoltaico a las características de la corriente que circula por la red, siendo posible la operación en paralelo de los dos campos generadores.

El dispositivo de protección que imposibilita el envío de potencia procedente del generador solar a la red en este estudio es el Control Dinámico de Potencia, (CDP), fabricado por *Circutor SA*, o equivalente. La estrategia de control dinámico del CDP consiste en el envío de consignas de limitación de potencia máxima a generar por el ondulator, siempre inferiores al consumo instantáneo medido en la línea de alimentación del edificio.

Estas consignas de limitación de potencia se envían al ondulator mediante un canal de comunicaciones Modbus RS485 o RS422.

El dispositivo CDP dispone además de una salida de relé libre de potencial que, en caso de pérdida de la comunicación con el ondulator y ante el riesgo de perder el control sobre la inyección, se activa, provoca la apertura automática de un contactor de potencia a la salida del ondulator, dejando a éste en circuito abierto, como acción preventiva redundante y evitando de esta forma la posibilidad de aparición de cualquier corriente inversa hacia la red.

 <p><b>Universidad Politécnica de Cartagena</b></p>	 <p><b>industriales</b></p>	<p align="center"><b>TRABAJO FIN DE GRADO (TFG)</b></p> <p align="center">ESTUDIO TÉCNICO Y ECONÓMICO PARA LA MEJORA DEL COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO DEL COLEGIO DE EDUCACIÓN INFANTIL Y PRIMARIA "CEIP FONTES" EN TORRE-PACHECO, (MURCIA)</p>
--	--	--

#### 4.1.1. MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

La siguiente tabla muestra las características de los módulos fotovoltaicos a emplear:

<b>Características eléctricas (STC: 1 kW/m<sup>2</sup>, 25±2 °C y AM 1,5)</b>	
Potencia máxima (0/+5 W)	240 W
Eficiencia del módulo	14,74 %
Corriente Punto de Máxima Potencia (I <sub>mp</sub> )	8,21 A
Tensión Punto de Máxima Potencia (V <sub>mp</sub> )	29,21 V
Corriente de cortocircuito (I <sub>sc</sub> )	8,73 A
Tensión de circuito abierto (V <sub>oc</sub> )	37,16 V
<b>Parámetros térmicos:</b>	
Temperatura normal de operación, TONC	47 ± 2 °C
Coeficiente de temperatura de I <sub>sc</sub> (α)	0,04%/°C
Coeficiente de temperatura de V <sub>oc</sub> (β)	-0,32%/°C
Coeficiente de temperatura de P (γ)	-0,43%/°C
<b>Características físicas</b>	
Dimensiones (mm ± 2 mm)	1640 x 992 x 40
Peso (kg)	21,5
Área (m <sup>2</sup> )	1,63
Tipo de célula	Policristalino 156 x 156 mm (6 pulgadas)
Células en serie	60 (6 x 10)
Cristal delantero	Cristal templado ultra claro de 4 mm
Caja de conexiones	IP 54
Cables	Cable solar 4 mm <sup>2</sup> 1100 mm
Conectores	MC4
<b>Rango de funcionamiento</b>	
Temperatura	-40 a + 85 °C
Máxima tensión del sistema /Protección	1000 V / Clase II
Carga máxima de viento	2400 Pa (130 km/h)
Máxima corriente inversa (IR)	15,1 A

Tabla 55. Características técnicas de los módulos fotovoltaicos

El módulo dispondrá de garantía de producto de 10 años y una garantía sobre el rendimiento de 12 años para el 90 % de la potencia y de 25 años para el 80 %.

El módulo seleccionado cumplirá las siguientes características:

- Satisfacen las especificaciones indicadas por la norma UNE-EN 61215.
- Tienen certificados de calidad adecuados acerca de las normas de fabricación europeas (registro TUV, declaración de conformidad CE, certificado sobre el cumplimiento de UNE-EN 61215).
- Identificación visible e indeleble del modelo y nombre del logotipo del fabricante, así como identificación individual o número de serie trazable a la fecha de fabricación.
- Diodos de derivación para evitar las posibles averías de las células y sus circuitos por sombreados parciales, con un grado de protección mínimo IP 65.
- Potencia máxima y corriente de cortocircuito reales referidas a condiciones estándar.
- Estructura del generador conectada a tierra.

 <p><b>Universidad Politécnica de Cartagena</b></p>	 <p><b>industriales</b></p>	<p align="center"><b>TRABAJO FIN DE GRADO (TFG)</b></p> <p align="center">ESTUDIO TÉCNICO Y ECONÓMICO PARA LA MEJORA DEL COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO DEL COLEGIO DE EDUCACIÓN INFANTIL Y PRIMARIA "CEIP FONTES" EN TORRE-PACHECO, (MURCIA)</p>
--	--	--

#### 4.1.2. INVERSOR

Los datos y características del inversor elegido son:

<b>Línea de entrada (CC):</b>	
Tensión de entrada de CC/Nº de seguidores de MPPT	3/3
Potencia máx. recomendada de CC	5800 W
Tensión máx. de entrada	950 V
Tensión de entrada mínima	180 V
Tensión de entrada en el arranque	180 V
Tensión nominal de entrada	680 V
Tensión MPP máx. a potencia nominal de CC del inversor	850 V
Rango de tensión MPP inferior ampliado, a potencia parcial del inversor	180 V
Porcentaje de pot. máx. de CC a transmitir en el rango de tensión MPP ampliado	Aprox. 70 %
Corriente de entrada máx. entrada MPP	9A
<b>Línea de salida (CA):</b>	
Nº de fases de inyección	3
Tensión de red	3/N/PE, AC, 230V/400V
Ucamax. límite superior de desconexión de tensión	253 V
Ucamin. límite inferior de desconexión de tensión	195,5 V
Corriente de salida máxima por fase	8 A
Potencia nominal CA	5000
Potencia máx. CA	5500 W
Coeficiente de rendimiento máx.	95,3%
Coeficiente rendimiento europeo	94,2 %
Frecuencia nominal	50 Hz
Frecuencia de red min., fmin, límite de desconexión	49 Hz
Frecuencia de red max., fmax, límite de desconexión	51 Hz
Potencia perdida por la noche	< 1 W
Clase de protección	I
Topología	Sin transformador
Factor de potencia reactiva nominal cos phi	1
Tipo de monitorización de red	ENS, monitorización trifásica
Protección contra polarización inversa	Diodos de cortocircuito lado CC
Protección para las personas	Interruptor de protección FI sensible a la corriente universal y monitorización de toma de tierra
Condiciones de uso	Interior y exterior
Temperatura ambiente	-20°C a 60°C
Temperatura Ambiente máxima P nom.	40°C
Humedad del aire	0...95%
Refrigeración	Ventilador controlado
Nivel acústico máx.	< 33 dBA

 <b>Universidad Politécnica de Cartagena</b>		<b>TRABAJO FIN DE GRADO (TFG)</b>
		ESTUDIO TÉCNICO Y ECONÓMICO PARA LA MEJORA DEL COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO DEL COLEGIO DE EDUCACIÓN INFANTIL Y PRIMARIA "CEIP FONTES" EN TORRE-PACHECO, (MURCIA)

Grado de protección	IP55
Tipo de conector lado entrada	MC4
Tipo de conector lado salida	Regleta de bornes con mecanismo de resorte
Dimensiones	420x211x350 mm
Peso	21,1 kg
Interruptor – seccionador CC	Dispositivo electrónico de desconexión integrado

Tabla 56. Características técnicas del inversor

## 4.2. BALANCE ENERGÉTICO

La cuantificación de la energía obtenida para la instalación elegida, de 5 kW de potencia nominal, orientación sur y ángulo de inclinación 55°, se obtienen del programa PVGIS de la Comisión Europea:

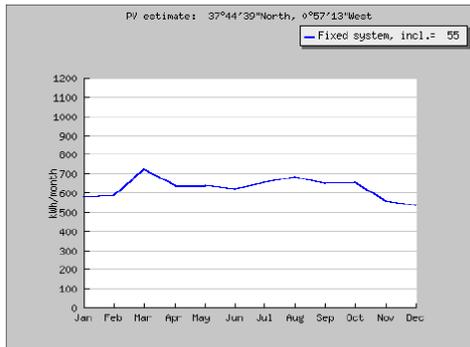
INSTALACIÓN FIJA		Mes	Producción mensual (kWh) Inclinación 55°, orientación 0°
 <p>Monthly energy output from fixed-angle PV system</p>		Enero	575
		Febrero	587
		Marzo	722
		Abril	640
		Mayo	641
		Junio	619
		Julio	652
		Agosto	680
		Sept.	648
		Octubre	654
		Nov.	556
		Dic.	532
Pérdidas estimadas debido a la temperatura y baja irradiancia: 11,1 % Pérdidas estimadas debido a efectos angulares de reflectancia: 2,8 % Otras pérdidas (cables, inverter, etc.): 14% <b>Pérdidas combinadas del sistema FV: 25,7 %</b>		<b>Media anual</b>	<b>625 kWh/mes</b>
<b>Pn=5 kW</b>	<b>Pp=5,28 kWp</b>	<b>Producción total anual (kWh): 7.510</b>	

Tabla 57. Balance energético de la instalación fotovoltaica

La energía anual generada por el sistema es de 7.510 kWh.

## 4.3. CONFIGURACIÓN DE LA INSTALACIÓN

COMPOSICIÓN DEL CAMPO FV Y CARACTERÍSTICAS:			
Nº mod./rama:	<b>11</b>	Tensión MPP por rama:	<b>321,31 Vcc</b>
Nº ramas/campo:	<b>2</b>	Intensidad MPP por campo:	<b>16,42 A</b>
Nº total módulos por campo:	<b>22</b>	Potencia pico por campo:	<b>5,28 kW<sub>pico</sub></b>
Nº de inversores por campo:	<b>1</b>	Potencia nominal por campo:	<b>5 Kw</b>
<b>TOTAL DEL S.F.C.R.:</b>			
Nº de campos:	<b>1</b>	Potencia pico del S.F.C.R.:	<b>5,28 Kw<sub>pico</sub></b>
Nº total de módulos:	<b>22</b>	Potencia nominal del S.F.C.R.:	<b>5 Kw</b>

Tabla 58. Resumen configuración de la instalación solar fotovoltaica

#### 4.3.1. DISTANCIA MÍNIMA ENTRE FILAS DE CAPTADORES

La distancia  $d$ , medida sobre la horizontal, entre una fila de captadores y un obstáculo de altura  $h$ , que pueda producir sombras sobre la instalación deberá garantizar un mínimo de 4 horas de sol en torno al mediodía del solsticio de invierno. Esta distancia  $d$  será superior al valor obtenido por la expresión:

$$d = h/\tan(61^\circ - \text{latitud})$$

La separación entre la parte posterior de una fila y el comienzo de la siguiente no será inferior a la obtenida por la expresión anterior, aplicando  $h$  a la diferencia de alturas entre la parte alta de una fila y la parte baja de la siguiente, efectuando todas las medidas de acuerdo con el plano que contiene a las bases de los captadores.

En el estudio,  $h = l \cdot \sin \beta$ , siendo  $l$  la altura del captador y  $\beta$  el ángulo de inclinación.

$$h = 1,64 \text{ m} \cdot \sin 55^\circ = 1,34 \text{ m}$$

$$d \geq 1,34/\tan(61^\circ - 37^\circ) = 3,02 \text{ m}$$

#### 4.3.2. SELECCIÓN DEL INVERSOR Y DISTRIBUCIÓN DE PANELES EN RAMAS SERIE PARALELO

En la cubierta del colegio se considera un rango de temperaturas históricas más desfavorables comprendido entre  $-7,5^\circ\text{C}$  en invierno y  $45,7^\circ\text{C}$  en verano, (tomados de [www.aemet.es](http://www.aemet.es) para el lugar más cercano, que es la ciudad de Murcia). Por tanto, deben corregirse los parámetros del módulo para estos valores extremos. La temperatura de trabajo que alcanzan los módulos puede aproximarse mediante la siguiente expresión:

$$T_p = T_a + \left( \frac{T_{ONC} - 20}{800} \right) \times I$$

Siendo:

$T_p$  Temperatura que alcanza el módulo a una temperatura ambiente determinada.

$T_a$  Temperatura ambiente del lugar donde se encuentran instalados los módulos.

$T_{ONC}$  Temperatura nominal de la célula, definida como la temperatura que alcanzan las células solares cuando se somete al módulo a una irradiación de  $800 \text{ W/m}^2$  con una distribución espectral AM 1,5, siendo la temperatura ambiente de  $20^\circ\text{C}$  y la velocidad del viento de  $1 \text{ m/s}$ .  
 $T_{ONC} = 47^\circ\text{C}$

$I$  Irradiación meda dependiendo del periodo considerado. En verano  $1000 \text{ W/m}^2$  y en invierno  $100 \text{ W/m}^2$ .

Los valores de tensión y corriente de circuito abierto en condiciones extremas de temperatura, se obtienen aplicando el coeficiente  $T_p$  a los valores de tensión  $V_{OC}$  y corriente  $I_{SC}$  obtenidos para la temperatura de  $25^\circ\text{C}$ .

$$V_{OC}(x^\circ\text{C}) = V_{OC}(25^\circ\text{C}) + \Delta T \times \Delta V_{OC} \times \beta$$

$$I_{SC}(x^\circ\text{C}) = I_{SC}(25^\circ\text{C}) + \Delta T \times \Delta I_{SC} \times \alpha$$

Para una temperatura ambiente de  $-7,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , los valores de  $V_{oc}$  e  $I_{sc}$  obtenidos son:

$$T_p = T_a + \left(\frac{T_{ONC} - 20}{800}\right) \times I = -7,5 + \left(\frac{47 - 20}{800}\right) \times 100 = -4,125^{\circ}\text{C}$$

$$V_{oc(-4,125\text{ }^{\circ}\text{C})} = V_{oc(25\text{ }^{\circ}\text{C})} + \Delta T \times \Delta V_{oc} \times \beta = 37,16 + (-4,125 - 25) \times (-0.119) = 40,63\text{ V}$$

$$I_{sc(-4,125\text{ }^{\circ}\text{C})} = I_{sc(25\text{ }^{\circ}\text{C})} + \Delta T \times \Delta I_{sc} \times \alpha = 8,73 + (-4,125 - 25) \times 3,5 \times 10^{-3} = 8,63\text{ A}$$

Para una temperatura ambiente de  $45,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ , los valores de  $V_{oc}$  e  $I_{sc}$  obtenidos son:

$$T_p = T_a + \left(\frac{T_{ONC} - 20}{800}\right) \times I = 45,7 + \left(\frac{47 - 20}{800}\right) \times 1000 = 79,45^{\circ}\text{C}$$

$$V_{oc(79,45\text{ }^{\circ}\text{C})} = V_{oc(25\text{ }^{\circ}\text{C})} + \Delta T \times \Delta V_{oc} \times \beta = 37,16 + (79,45 - 25) \times (-0.119) = 30,68\text{ V}$$

$$I_{sc(79,45\text{ }^{\circ}\text{C})} = I_{sc(25\text{ }^{\circ}\text{C})} + \Delta T \times \Delta I_{sc} \times \alpha = 8,73 + (79,45 - 25) \times 3,5 \times 10^{-3} = 8,92\text{ A}$$

Para obtener el coeficiente de variación de la tensión de máxima potencia respecto de la temperatura media se utilizará la siguiente expresión:

$$V_{mpp} \cong 0,76 \times V_{oc}$$

$$\Delta V_{mpp(T)} \cong 0,76 \times \beta = 0,76 \times (-0.119) = -0,09\text{ V}/^{\circ}\text{C}$$

Para una temperatura ambiente de  $-7,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ :

$$V_{mpp(-4,125\text{ }^{\circ}\text{C})} = V_{mpp(25\text{ }^{\circ}\text{C})} + \Delta T \times \Delta V_{oc} \times \beta = 29,21 + (-4,125 - 25) \times (-0.09) = 31,83\text{ V}$$

Para una temperatura ambiente de  $45,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ :

$$V_{mpp(79,45\text{ }^{\circ}\text{C})} = V_{mpp(25\text{ }^{\circ}\text{C})} + \Delta T \times \Delta V_{oc} \times \beta = 29,21 + (79,45 - 25) \times (-0.09) = 24,31\text{ V}$$

Selección el inversor y distribución de paneles en ramas serie paralelo:

Elegimos el inversor de las características indicadas en el apartado 4.1.2. anterior.

$N_{(\text{módulos serie})} = 11$  módulos.

$N_{\text{ramas-inversor}} = 2$  ramas.

	$V_{mpp}$	$V_{oc}$	$I_{sc}$
$-7,5\text{ }^{\circ}\text{C}$	$11 \times 31,83 = 350,13\text{ V}$	$11 \times 40,63 = 446,93\text{ V}$	$8,63\text{ A}$
$45,7\text{ }^{\circ}\text{C}$	$11 \times 24,31 = 267,41\text{ V}$	$11 \times 30,68 = 337,48\text{ V}$	$8,92\text{ A}$
$25\text{ }^{\circ}\text{C}$	$11 \times 29,21 = 321,31\text{ V}$	$11 \times 37,16 = 408,76\text{ V}$	$8,73\text{ A}$
Inversor	360 - 850 V	950 V	9 A

Tabla 59. Selección del inversor

$$N_{\text{módulos-inversor}} = 22 \times 1 = 22\text{ módulos}$$

$$N_{\text{inversores}} = \frac{22}{22} = 1$$

$$P_{\text{inversor}} = 22 \times 0,240 = 5,28\text{ kW} < 5,8\text{ kWp}$$

$$N_{\text{módulos fotovoltaicos}} = 22 \times 1 = 22 \text{ módulos}$$

$$P_{\text{total}} = 22 \times 0,240 = 5,28 \text{ kW} < 1 \times 5,8 = 195 \text{ kWp}$$

El campo FV estará formado por 22 módulos de 240 W cada uno, siendo la potencia total de 5.280 W y la energía esperada de 7.510 kWh anuales.

#### 4.4. CÁLCULOS ELÉCTRICOS

La instalación eléctrica objeto de este documento comprende las protecciones eléctricas tanto en la parte de continua como en alterna, así como el cableado de un parque fotovoltaico situado en la cubierta del edificio del colegio.

##### **4.4.1. TENSIÓN NOMINAL Y CAÍDAS DE TENSIÓN MÁXIMAS ADMISIBLES**

###### Tensiones de trabajo:

**Circuito de continua**, (desde paneles fotovoltaicos al inversor): la resultante de la conexión de las ramas fotovoltaicas.

**Circuito de alterna**, (desde inversor hasta punto de conexión a red, situado en la derivación individual de la acometida al colegio): corriente alterna trifásica, con tensión de servicio 400 V entre fases, 230 V entre fase y neutro y frecuencia nominal de 50 Hz.

Las caídas de tensión máximas admisibles serán, según Pliego de Condiciones Técnicas del IDAE e ITC-BT-40 del Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión:

**Circuito de continua:** no mayor del 1,5%.

**Circuito de alterna:** no mayor del 1,5%.

Los cables de conexión deberán estar dimensionados para una intensidad no inferior al 125% de la máxima intensidad del conductor.

##### **4.4.2. FÓRMULAS UTILIZADAS**

Para el dimensionado de las líneas eléctricas de la instalación, emplearemos las siguientes expresiones:

###### Líneas monofásicas de corriente continua:

<b>Potencia (W):</b>	$P = U \times I$	$I = \frac{P}{U}$
<b>Caída de tensión (V):</b>	$e = \frac{2 \times P \times L}{\gamma \times U \times S} = \frac{2 \times I \times L}{\gamma \times S}$	

**Líneas trifásicas de corriente alterna:**

<b>Potencia (W):</b>	$P = \sqrt{3} \times U \times I \times \cos\varphi$
<b>Caída de tensión (V):</b>	$e = \frac{P \times L}{\gamma \times U \times S}$

Siendo:

- P = Potencia de cálculo de la línea (W)
- U = Tensión de servicio (V)
- I = Intensidad de corriente (A)
- Cos  $\varphi$  = Factor de potencia
- L = Longitud de la línea (m)
- S = Sección del conductor (mm<sup>2</sup>)
- e = Caída de tensión (V)
- $\gamma$  = Conductividad del material (cobre=56; aluminio=35)

**4.4.3. RESULTADOS OBTENIDOS**

Rama 1:

11 módulos (240 Wp / U<sub>mp</sub>=29,21 V/ I<sub>mp</sub>=8,21 A) conectados en serie:

- Tensión de rama: U<sub>rama 1</sub> = 29,21 x 11 = 321,31 V
- Intensidad de rama: I<sub>rama 1</sub> = 8,21 A
- Potencia de rama: P<sub>rama 1</sub> = 2.638 W

Rama 2:

11 módulos (240 Wp / U<sub>mp</sub>=29,21 V/ I<sub>mp</sub>=8,21 A) conectados en serie:

- Tensión de rama: U<sub>rama 2</sub> = 29,21 x 11 = 321,31 V
- Intensidad de rama: I<sub>rama 2</sub> = 8,21 A
- Potencia de rama: P<sub>rama 2</sub> = 2.638 W

Las dos ramas se conectan a un inversor. Las características de la salida son las siguientes:

- Potencia nominal: P<sub>n</sub> = 5.000 W
- Tensión de salida: U<sub>inv</sub> = 400 V / 50 Hz
- Intensidad de salida: I<sub>inv</sub> = 7,22 A (cos  $\varphi$  = 1)

Línea	P (W)	P <sub>cálculo</sub> (W)	U (V)	L (m)	Cos φ	I (A)	S (mm <sup>2</sup> )	I max adm cable (A)	c.d.t. e (%)	
									Parcial (%)	Acum (%)
Rama 1	2.638	3.298	321,31	36	--	10,26	2x4	55	1,03	1,03
Rama 2	2.638	3.298	321,31	32	--	10,26	2x4	55	0,91	0,91
Inversor	5.000	6.250	400	125	1	9,02	5G6	53	1,45	1,45

**Tabla 60. Resultado cálculos eléctricos instalación solar fotovoltaica**

Las líneas de fuerza desde el inversor hasta el punto de conexión de la derivación individual estarán realizadas en manguera de cable de cobre, RZ1-K (0,6/1 kV), enterrada bajo tubo protector existente.

Las líneas de conexión entre paneles y entre éstos y el inversor, formadas por sistemas de conexión rápida tipo MC4 y conductor ZZ-F (AS) 1,8 kV DC - 0,6/1 kV AC 2x4 mm<sup>2</sup> de colores rojo y negro.

#### **4.4.4. DESCRIPCIÓN DE LAS PROTECCIONES A INSTALAR**

Los elementos de protección se pueden observar reflejados en el plano de esquema eléctrico unifilar.

La relación de protecciones es la siguiente:

- Seccionador fusible 16 A en caja de protecciones de continua.
- Interruptor magnetotérmico 4 P 25 A curva C e interruptor diferencial rearmable 4P 25 A 30 mA en la parte de alterna.

## **5. LISTA DE FIGURAS Y TABLAS**

### **5.1. FIGURAS**

Figura 1.	Consumo energía final en España año 2013. Fuente IDAE	6
Figura 2.	Consumo de energía eléctrica activa año 2014	13
Figura 3.	Demanda máxima de potencia año 2014	13
Figura 4.	Reparto de consumos energéticos y económicos	14
Figura 5.	Vista aérea del colegio “ <i>Fontes</i> ”	15
Figura 6.	Fachada principal edificio nuevo	15
Figura 7.	Fachada principal edificio antiguo	15
Figura 8.	Interior aula colegio <i>Fontes</i> . Edificio antiguo	15
Figura 9.	Interior aula colegio <i>Fontes</i> . Edificio nuevo	15
Figura 10.	Detalle radiador existente. Edificio antiguo	16
Figura 11.	Detalle caldera existente. Edificio antiguo	16
Figura 12.	Detalle radiador existente. Edificio nuevo	16
Figura 13.	Termo eléctrico en uno de los aseos	16
Figura 14.	Detalle aislamiento propuesto para fachada edificios	20
Figura 15.	Detalle aislamiento propuesto para cubierta edificio nuevo	20
Figura 16.	Ejemplo de válvulas termostáticas. (Fuente: Danfoss)	22
Figura 17.	Ejemplo de componentes de regulación. (Fuente: Danfoss)	23
Figura 18.	Curva Q-H de la bomba centrífuga existente en la instalación de calefacción	24
Figura 19.	Bomba de caudal constante, (izquierda) y bomba de caudal variable (derecha)	24
Figura 20.	T8 fluorescente 36W, (izquierda) y T8 LED, 16,5 W, (derecha)	27
Figura 21.	Tubular SAP 100 W, (izquierda) y lámpara equivalente LED 40 W, (derecha)	27
Figura 22.	Instalación generadora conectada a la red interior y suministro asociado	29
Figura 23.	Esquema método bidireccional. Conexión en derivación individual	30
Figura 24.	Curva de rendimiento del colector solar	51
Figura 25.	Estimación demanda mensual de calefacción	102
Figura 26.	Pérdidas por orientación e inclinación	102
Figura 27.	Pérdidas por sombras	103

### **5.2. TABLAS**

Tabla 1.	Análisis de combustión de la caldera existente	11
Tabla 2.	Consumo de energía eléctrica.	12
Tabla 3.	Cantidad de combustible para calefacción	14
Tabla 4.	Calificación energética edificio antiguo	18
Tabla 5.	Calificación energética edificio nuevo	18
Tabla 6.	Consumo actual estimado de energía (kWh) en iluminación	27
Tabla 7.	Consumo estimado de energía (kWh) en iluminación una vez efectuada la mejora	27
Tabla 8.	Generación de energía eléctrica instalación solar fotovoltaica	30
Tabla 9.	Total ahorro generado mejora de huecos	32
Tabla 10.	Total ahorro generado mejora de aislamiento en fachadas	33
Tabla 11.	Total ahorro generado mejora de aislamiento en cubiertas	33
Tabla 12.	Total ahorro generado mejora de aislamiento en fachadas y huecos	33
Tabla 13.	Total ahorro generado mejora sustitución llaves corte radiadores	34
Tabla 14.	Total ahorro generado mejora sistema iluminación	34
Tabla 15.	Total ahorro generado mejora caldera biomasa y apoyo solar	35



Tabla 16.	Total ahorro generado mejora instalación fotovoltaica	35
Tabla 17.	Superficie y volúmenes edificio antiguo	40
Tabla 18.	Superficie y volúmenes edificio nuevo	41
Tabla 19.	Pérdidas por orientación, inclinación y sombras	45
Tabla 20.	Espesores aislamiento tuberías interior edificios	46
Tabla 21.	Espesores aislamiento tuberías exterior edificios	46
Tabla 22.	Características del grupo térmico para calefacción	49
Tabla 23.	Características de los captadores solares	51
Tabla 24.	Datos rendimiento colector solar	51
Tabla 25.	Características técnicas emisor proyectado	53
Tabla 26.	Características técnicas emisor existente	53
Tabla 27.	Diámetro de la conexión de alimentación	55
Tabla 28.	Valor de inmisión de ruido	60
Tabla 29.	Valores de ruido transmitido	60
Tabla 30.	Exigencias de seguridad sala máquinas y almacén combustible	61
Tabla 31.	Equipos que consumen energía eléctrica y su potencia	63
Tabla 32.	Composición cerramiento entre locales	73
Tabla 33.	Composición cerramiento exterior	74
Tabla 34.	Composición cerramiento forjado entre plantas	74
Tabla 35.	Composición cubierta de teja sin aislamiento	75
Tabla 36.	Composición suelo (forjado cámara sanitaria)	75
Tabla 37.	Resumen carga térmica edificio nuevo	87
Tabla 38.	Resumen carga térmica edificio antiguo	87
Tabla 39.	Comprobación de la validez de los radiadores existentes	88
Tabla 40.	Radiadores edificio antiguo	88
Tabla 41.	Resultado del cálculo de tuberías de calefacción (I)	89
Tabla 42.	Resultado del cálculo de tuberías de calefacción (II)	92
Tabla 43.	Resultado unidades terminales	95
Tabla 44.	Resumen necesidades térmicas por edificio	96
Tabla 45.	Resumen potencia de calefacción	96
Tabla 46.	Datos mensuales de temperatura y grados día	101
Tabla 47.	Pérdidas totales instalación solar	103
Tabla 48.	Rendimiento mensual de la instalación solar	104
Tabla 49.	Aportación solar diaria	105
Tabla 50.	Energía solar necesaria	105
Tabla 51.	Cobertura solar sobre la demanda	105
Tabla 52.	Pérdida de carga en tuberías primario solar	107
Tabla 53.	Pérdida de carga en accesorios primario solar	107
Tabla 54.	Pérdida de carga en captadores solares	107
Tabla 55.	Características técnicas de los módulos fotovoltaicos	111
Tabla 56.	Características técnicas del inversor	112
Tabla 57.	Balance energético de la instalación fotovoltaica	113
Tabla 58.	Resumen configuración de la instalación solar fotovoltaica	113
Tabla 59.	Selección del inversor	115
Tabla 60.	Resultado cálculos eléctricos instalación solar fotovoltaica	118

## **6. REFERENCIAS**

- Manual de eficiencia energética en centros docentes. Rehabilitación. Junta de Castilla y León.
- Energía Solar Térmica. Manual del proyectista. Junta de Castilla y León.
- Manual de climatización solar. Junta de Castilla y León.
- Guía técnica. Selección de equipos de transporte de fluidos. IDAE.
- Guía técnica. Instalaciones de calefacción individual. IDAE.
- Guía técnica. Condiciones climáticas exteriores de proyecto. IDAE.
- Manual de usuario de calificación energética de edificios existentes CE<sup>3</sup>X. IDAE.
- Instalaciones de biomasa térmica en los edificios. IDAE.
- Calefacción en grandes edificios con biomasa. Aspectos técnicos básicos. IDAE.
- Pliego de condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura. Instalaciones de Energía Solar Térmica. IDAE.
- Eficiencia energética en los edificios. Certificación y Auditorías Energéticas. Francisco Javier Rey Martínez y Eloy Velasco Gómez. Thomson.
- Conocimientos técnicos de calefacción. Ediciones CEYSA.
- Energía solar térmica en la edificación. Autores: José M. Fernández Salgado y Vicente Gallardo Rodríguez. AMV Ediciones.
- Dimensionado de instalaciones solares térmicas. Amador Martínez Jiménez. Paraninfo.
- Versión consolidada. Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios.
- Sistemas solares térmicos. Diseño e instalación. Dr. Félix A. Peuser; Karl-Heinz Remmers y Martin Schnauss. Censolar.
- Guía de auditorías energéticas en centros docentes. Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid.
- Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión.
- Apuntes de la asignatura de Centrales Eléctricas y Energías Renovables.
- Guía técnica. Procedimiento de inspección periódica de eficiencia energética para calderas. IDAE.
- <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>