



industriales
etsii

**Escuela Técnica
Superior
de Ingeniería
Industrial**

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

**Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Industrial**

Realización de plantillas para la recopilación de datos y realización correcta de auditorías energéticas en pabellones deportivos

TRABAJO FIN DE GRADO

**GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES**

Autor: Javier Fuentes García
Director: Francisco Vera García



**Universidad
Politécnica
de Cartagena**

Cartagena, abril de 2019

Agradecimientos

En primer lugar, me gustaría agradecer a mi familia y amigos el apoyo y mensajes de ánimo que me han transmitido durante los meses de realización de este trabajo. Sin su ayuda no habría sido posible.

Agradecer también a todas aquellas personas que nos recibieron en los pabellones deportivos, por ofrecernos su ayuda y dedicarnos su tiempo.

Por último, y no por ello menos importante, le doy las gracias de verdad a D. Francisco Vera García, por su amabilidad, disponibilidad y ayuda siempre que la he requerido.

Contenido

1. Definición del proyecto	3
1.1 Objeto del proyecto	3
1.2 Estructura de la memoria	3
2. Eficiencia energética.....	5
2.1 Eficiencia energética en la edificación	5
2.2 Situación actual en España	6
2.3 Situación actual en la Región de Murcia.....	7
3. Análisis de la normativa.....	8
4. Metodología	10
5. Plantillas.....	13
5.1 Datos generales de la auditoría	13
5.2 Características generales y constructivas del edificio	14
5.3 Consumos energéticos	19
5.4 Sistema de agua caliente sanitaria	22
5.5 Sistema de calefacción.....	29
5.6 Sistema de refrigeración	34
5.7 Sistema de ventilación	39
5.8 Iluminación.....	43
5.9 Instalación de energía solar térmica.....	47
5.10 Energía solar fotovoltaica	52
5.11 Otros equipos.....	56
6. Informe de la auditoría energética.....	58
6.1 Informe del Pabellón Cabezo de Torres.....	61
6.1.1 Datos generales de la auditoría	61
6.1.2 Características generales y constructivas del edificio.....	61
6.1.3 Sistema de agua caliente sanitaria.....	67
6.1.4 Sistema de calefacción	70
6.1.5 Sistema de ventilación	72
6.1.6 Iluminación.....	78

6.1.7 Otros equipos	86
6.1.8 Demanda y consumo energético	89
6.1.9 Propuestas de mejora	106
7. Resultados globales	131
8. Conclusión	135
9. Bibliografía.....	136
Anexo 1. Informe del Pabellón Zeneta	141
Anexo 2. Informe del Pabellón Sangonera la Seca	209

1. Definición del proyecto

Con el presente trabajo se pretende tratar uno de los temas más importantes de la actualidad: el uso eficiente de la energía. El proyecto consistirá en la elaboración de unas plantillas para la óptima realización de auditorías energéticas, así como unos informes evaluando el estado energético de los establecimientos visitados. Para ello, se han tomado medidas en trece polideportivos pertenecientes al Municipio de Murcia, en los que se deben realizar una serie de cambios y mejoras para que puedan desarrollar una óptima utilización de la energía.

1.1 Objeto del proyecto

Por tanto, los principales objetivos del proyecto son:

- Elaborar, a modo de plantilla, una serie de fichas técnicas en las que se deben incluir todo tipo de datos referentes al edificio que se vaya a tratar. Cada una de estas plantillas se rellenará con la información necesaria y disponible, que será recogida en las visitas a cada pabellón.
- Una vez se hayan tomado los datos de todas las instalaciones, se realizará un informe detallado (en tres de los trece pabellones estudiados) para analizar los flujos energéticos y establecer las estrategias a seguir de ahorro y eficiencia más adecuadas. Así, se podrá establecer un diagnóstico del edificio desde el punto de vista de la eficiencia energética.
- Por último, definir una serie de mejoras y recomendaciones a seguir con el fin de reducir el consumo de energía, conseguir un ahorro económico y asegurar un mayor control de los equipos e instalaciones, pudiendo evitar así sobrecargas o fallos en el sistema.

1.2 Estructura de la memoria

Las fases que comprende todo el estudio realizado son las siguientes:

- Estudio preliminar. Esta fase abarca toda la búsqueda de información relativa al proyecto, como es estudio de la eficiencia energética en la actualidad y el análisis de toda la normativa referente a las auditorías energéticas.
- Redacción de las plantillas necesarias para la auditoría de pabellones deportivos, salas de congreso, etc. Se analizará cada equipo o sistema de la

instalación y se incluirán tablas para completar con la información necesaria tomada en la instalación.

- Redacción de los informes de auditoría. Se elaborarán tres informes pertenecientes a tres pabellones deportivos con diferentes condicionantes, donde se incluirá un inventario de los equipos y sistemas de la instalación, un desglose de la demanda y consumos anuales y, por último, una serie de propuestas para mejorar el estado del edificio, reduciendo así el consumo, el coste y las emisiones de CO₂.

2. Eficiencia energética

2.1 Eficiencia energética en la edificación

Un edificio eficiente desde el punto de vista energético es aquel que lleva a cabo una reducción de la utilización de las energías convencionales, optimizando los procesos de producción y el consumo de energía. El principal objetivo es disminuir lo máximo posible la demanda energética y realizar un uso eficiente de la energía final necesaria.

Para lograr dicho propósito, se requieren medidas que afecten al diseño pasivo y al diseño activo del edificio. Las estrategias de diseño pasivo buscan lograr el mayor aprovechamiento energético posible mediante el estudio de variables como el clima de la zona donde se localiza el edificio, orientación y los recursos naturales disponibles (sol y viento). Algunas estrategias a seguir son las siguientes:

- Reducción del consumo de los equipos de refrigeración a través de la ventilación natural del establecimiento. Se debe diseñar desde el principio un sistema eficiente de ventilación, que permita la renovación del aire y mantener en el interior unas condiciones de temperatura y humedad deseadas.
- Reducción del consumo de los equipos de calefacción a través de un envolvente térmica que permita la acumulación de calor y, por tanto, pérdidas térmicas en invierno. Una estructura con los materiales adecuados permitirá disminuir el consumo energético, el coste económico y la emisión de residuos contaminantes.
- Reducción de los consumos de los sistemas de calefacción y refrigeración a partir de la radiación solar, aprovechando su uso para el calentamiento del local en invierno o para evitar el exceso de temperatura en verano.
- Reducción del consumo de los equipos de iluminación mediante ganancia directa, basado en el aprovechamiento de la luz natural del sol a través de superficies acristaladas.

Por otro lado, las estrategias de diseño activo consisten en la utilización de los recursos naturales, como la radiación solar, viento, agua, etc, para la generación de energía. Para ello se pueden emplear equipos como captadores solares térmicos, placas fotovoltaicas o calderas de biomasa. Las mejoras propuestas en cada uno de los informes realizados serán estrategias de diseño activo.

2.2 Situación actual en España

Según el artículo 1 de la directiva 2013/12/UE, el consumo energético de la Unión Europea en 2020 no debe exceder los 1,483 Mtep (millón de tonelada equivalente de petróleo) de energía primaria, lo que conlleva una reducción de 400 Mtep del consumo de referencia tomado en 2007.

A su vez, en España se desarrolló el Plan Nacional de Ahorro y Eficiencia Energética (PNAEE) 2011-2020, cuyo fin era disminuir el consumo un 16%, llegando a reducir la cantidad de 25 Mtep.

Este documento analiza la situación energética, determina el consumo estimado de energía y ofrece unas medidas y mejoras a llevar a cabo. Además, se describen los beneficios económicos y medioambientales que tendrán las medidas propuestas, así como los recursos económicos necesarios para llevarlas a cabo y el impacto socioeconómico.

Algunas de las medidas propuestas en el PNAEE, referidas a la edificación, son las siguientes:

- Rehabilitación de la envolvente térmica de los edificios existentes.
- Mejora de la eficiencia energética de las instalaciones térmicas de los edificios existentes.
- Mejora de la eficiencia energética de las instalaciones de iluminación interior de los edificios existentes.
- Construcción de nuevos edificios y rehabilitación integral de los existentes con alta calificación energética.
- Construcción o rehabilitación de edificios de consumo de energía casi nulo.
- Mejora de la eficiencia energética de las instalaciones de frío.
- Mejora de la eficiencia energética del parque de electrodomésticos.
- Revisión de las exigencias energéticas en la normativa edificatoria.

El PNAEE ofrece también la normativa a aplicar para lograr los objetivos necesarios. En el sector de la edificación, se encuentran:

- Código Técnico de Edificación (CTE).
- Certificación Energética de Edificios (RD 47/2007).
- Reglamento de Instalaciones Térmicas de Edificios (RITE).
- RD 56/2016 relativa a la eficiencia energética.

Tres años después de la elaboración del PNAEE 2011-2020, se desarrolla el PNAEE 2014-2020, que pretende una reducción del consumo de energía primaria de 43 Mtep, respecto a la referencia (2007).

Por último, se elabora el PNAEE 2017-2020, cuyo objetivo es la consecución de un consumo de energía primaria de 123 Mtep, lo que significa una reducción del 25% respecto de la referencia.

El siguiente gráfico muestra la evolución del consumo de energía primaria desde 2007, además del consumo establecido en cada PNAEE. Se observa cómo se ha ido reduciendo el consumo desde 2007, cumpliéndose los objetivos establecidos por el PNAEE.

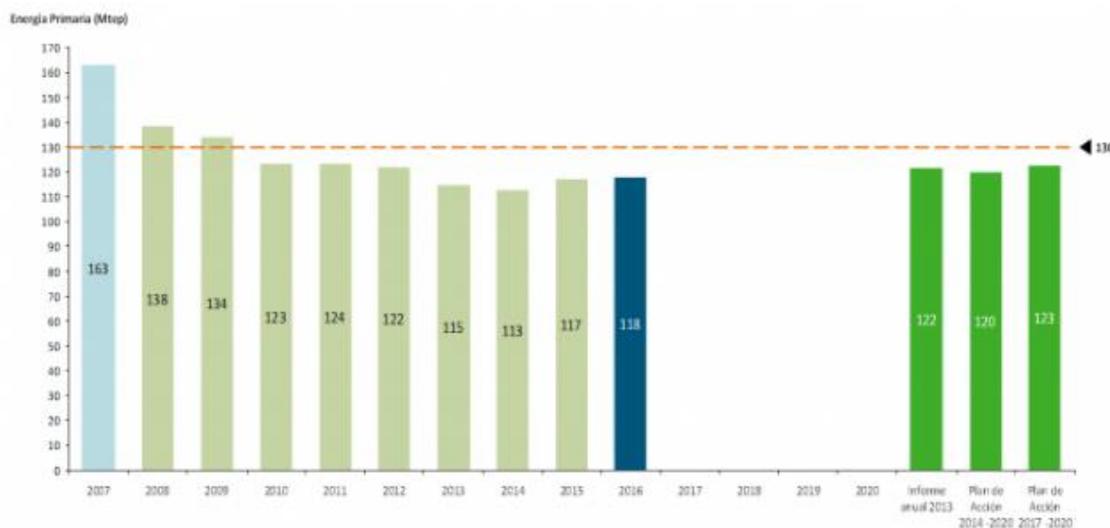


Gráfico 1. Evolución del consumo de energía primaria. Fuente: PNAEE

2.3 Situación actual en la Región de Murcia

La Agencia Local de la Energía y el Cambio Climático tiene como objetivo fomentar el uso racional de la energía, impulsando el uso de energías renovables para conseguir que en el municipio de Murcia alcance unos niveles óptimos en la utilización y gestión de los recursos energéticos de la región.

Para ello, la Agencia lleva a cabo distintas propuestas, como la realización de auditorías energéticas en edificios municipales y el alumbrado público o el estudio de la eficiencia energética en semáforos y señales de tráfico luminosas. En definitiva, mejoras destinadas al ahorro, minimizar la emisión de contaminantes e impulsar el uso de las energías renovables.

3. Análisis de la normativa

La normativa se define como un conjunto de normas, leyes o reglas que regulan o rigen una determinada materia o actividad. Para la óptima realización del proyecto se ha utilizado y aplicado la normativa referente a la eficiencia energética y a las auditorías energéticas.

- Código Técnico de la Edificación. Es la normativa que establece las condiciones sobre seguridad y habitabilidad que debe cumplir todo inmueble. Dentro del CTE se ha recurrido al documento de Ahorro de Energía (HE), que trata los siguientes aspectos:
 - Limitación del consumo energético (HE-0).
 - Limitación de la demanda energética (HE-1).
 - Rendimiento de las instalaciones térmicas (HE-2).
 - Eficiencia energética de las instalaciones de iluminación (HE-3).
 - Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria (HE-4).
 - Contribución fotovoltaica mínima de energía eléctrica (HE-5).
- Reglamento de Instalaciones Térmicas de Edificios. Determina los requisitos necesarios que deben cumplir las instalaciones de agua caliente sanitaria, calefacción, refrigeración y ventilación en cada establecimiento, con el objetivo de lograr un uso energético eficiente.
- Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión. Con el fin de mantener la seguridad de las personas y del establecimiento, evalúa las condiciones técnicas que debe cumplir toda instalación eléctrica de baja tensión en España.
- UNE-EN 12464-1: Iluminación en los lugares de trabajo en interiores.

Para la correcta realización de las auditorías energéticas y sus respectivos informes se ha recurrido a la siguiente normativa:

- UNE-EN 16247-1: Auditorías energéticas. Parte 1: Requisitos generales.
- UNE-EN 16247-2: Auditorías energéticas. Parte 2: Edificios.

La primera de ellas define una auditoría energética como “la inspección y análisis sistemáticos del uso y consumo de energía en un emplazamiento, edificio, sistema u organización con el objeto de identificar e informar acerca de los flujos de energía y del potencial de mejora de la eficiencia energética. Define también el

objetivo de una auditoría como el desarrollo de una serie de propuestas o mejoras a realizar para conseguir un uso energético eficiente.

Según la norma, la audición solo puede ser llevada a cabo por un auditor energético, encargado de la realización de la auditoría energética en el edificio o sistema de estudio, actuando siempre de forma competente, confidencial, objetiva y transparente.

Por último, la normativa constituye el proceso de audición en siete fases diferenciadas:

- Contacto preliminar. Primero, se debe acordar con la organización el alcance y objetivo de la auditoría. Además, es importante obtener información sobre el edificio que se vaya a auditar.
- Reunión inicial. Consiste en informar a cada una de las partes interesadas en el proceso sobre el alcance y objetivo de la auditoría.
- Recopilación de datos. Se debe obtener toda la información posible acerca del edificio a auditar, como un inventario energético, consumos energéticos o planos del edificio.
- Trabajo de campo. Inspección “in situ” de las instalaciones y equipos, con el fin de determinar posibles mejoras para el edificio.
- Análisis. Estudio de la situación energética del inmueble e identificar una serie de propuestas para mejorar determinados aspectos de la instalación, teniendo en cuenta el ahorro económico que esta medida pueda generar y la inversión necesaria para su consecución.
- Informe de auditoría. Redactar un informe que incluya las condiciones de la instalación, los resultados del análisis energético y cada una de las propuestas de forma detallada.
- Reunión final. Presentar a cada una de las partes el informe de auditoría energética y los resultados obtenidos.

4. Metodología

En este estudio se han auditado un total de trece pabellones deportivos pertenecientes al Municipio de Murcia durante los meses de marzo, abril, mayo y junio de 2018.

Polideportivo	Localización	Fecha de la auditoría
Palacio de los Deportes	Murcia	26/03/2018
Pabellón Príncipe de Asturias	Murcia	26/03/2018
Pabellón Infante D. Juan Manuel	Murcia	13/04/2018
Pabellón Municipal San Basilio	Murcia	13/04/2018
Pabellón Sangonera la Verde	Sangonera la Verde	19/04/2018
Pabellón Sangonera la Seca	Sangonera la Seca	19/04/2018
Pabellón Javalí Nuevo	Javalí Nuevo	20/04/2018
Pabellón Javalí Viejo	Javalí Viejo	20/04/2018
Pabellón Cabezo de Torres	Cabezo de Torres	24/05/2018
Pabellón Esparragal	Esparragal	24/05/2018
Pabellón Zarandona	Zarandona	30/05/2018
Pabellón Zeneta	Zeneta	30/05/2018
Pabellón Beniaján	Beniaján	06/06/2018

Tabla 1. Polideportivos auditados

Antes de visitar cada uno de los polideportivos se realizó un estudio preliminar, en el que se analizó la situación del edificio y se elaboró unas plantillas para la recopilación de la mayor cantidad de información posible durante la audición.

Una vez en el pabellón, se pudo acceder a cada una de las zonas y estancias del edificio:

- Primero, se pidió información general del edificio, como su horario habitual, meses de menor actividad, prácticas deportivas más comunes y número máximo y mínimo de usuarios.
- En vestuarios y aseos se tomaron datos de la potencia de las luminarias y de los radiadores, además de realizar fotografías para incluirlas en los informes.

- De igual modo, en la pista se anotó información sobre la iluminación y ventilación de la misma, tomando también algunas fotografías necesarias.
- En salas de gimnasia, cuartos de limpieza, almacenes, pasillos y entrada al edificio se realizó el mismo procedimiento que en los casos anteriores.
- Por último, en la sala de máquinas se anotaron todos los equipos y sus especificaciones (bombas, compresores, calderas, vasos de expansión, acumuladores, etc). Además, se utilizó un analizador de gases de combustión, un dispositivo capaz de medir los parámetros más importantes de la combustión de una caldera, tales como rendimiento, temperatura en humos, concentración de CO, CO₂ y O₂ o índice de exceso de aire.



Figura 1. Analizador de gases de combustión



Figura 2. Parámetros mostrados por un analizador de gases

Cabe destacar también la información proporcionada por la Universidad Politécnica de Cartagena, especialmente el nivel de iluminación de cada zona o estancia de todos los pabellones deportivos. Para ello, se utilizó un luxómetro, un instrumento que mide la iluminancia en lux sobre una superficie determinada.



Figura 3. Luxómetro

5. Plantillas

Uno de los principales objetivos de este Trabajo de Fin de Grado es la elaboración de unas plantillas para realizar una correcta auditoría energética, es decir, una serie de tablas que sirvan de modelo o guía para facilitar el desarrollo de la audición.

Estas tablas están orientadas a que el auditor pueda anotar in situ todo tipo de datos e información referente a los ámbitos del edificio que se van a inspeccionar. Además, dichos datos aparecerán ordenados y desglosados adecuadamente en capítulos, mostrando la información que el auditor crea conveniente. Se tratarán los siguientes aspectos:

- Datos generales de la auditoría.
- Características generales y constructivas del edificio.
- Consumos.
- Agua caliente sanitaria.
- Calefacción.
- Refrigeración.
- Ventilación.
- Iluminación.
- Energía solar térmica y solar fotovoltaica.
- Otros equipos.

A continuación, se explicará detalladamente cada relación de tablas relacionadas con el edificio a auditar.

5.1 Datos generales de la auditoría

Consiste en detallar la auditoría, estableciendo el número de la misma y la fecha de la toma de datos en el edificio auditado. Además, será necesario indicar el nombre y la firma del auditor, así como la empresa encargada de la realización de dicha auditoría

Datos generales de la auditoría	
Número de la auditoría	
Fecha de la auditoría	
Número de edificios a auditar	
Auditor	
Empresa	
Firma	

Tabla 2. Datos generales de la auditoría

5.2 Características generales y constructivas del edificio

En primer lugar, se destacará información de carácter general relativa al edificio, como su nombre y uso principal y la localización exacta de la instalación. Conocer la localidad permite estimar las condiciones climáticas de la zona.

También será necesario indicar una persona responsable de la instalación y una manera de establecer contacto con ella.

Información general	
Nombre de la instalación	
Uso principal	
Dirección	
Municipio	
Provincia	
Persona de contacto	
Correo electrónico	

Tabla 3. Información general de la instalación

En la siguiente tabla se detallará el uso que se hace de la instalación, incluyendo las tareas que se suelen llevar a cabo, el número aproximado de personas que disfrutan de la instalación a diario y los horarios de apertura.

Régimen de funcionamiento	
Número de usuarios por día	usuarios/día
Número aproximado de trabajadores	
Descripción de las tareas más habituales	
Horario habitual	
Días de la semana en los que el centro no abre	

Meses de mayor inactividad

Tabla 4. Régimen de funcionamiento de la instalación

Por último, en este capítulo se abarcará lo referente a los detalles constructivos. La plantilla comenzará con unas cuestiones de carácter general y se pedirá un dibujo, aproximado, de las principales vistas de la instalación (alzado, planta y perfil).

Características constructivas		
Año de construcción		
Tipo de edificio		
<ul style="list-style-type: none"> - Monumental ____ - Catalogada ____ - Normal ____ 		
Situación del edificio		
<ul style="list-style-type: none"> - Aislada ____ - Entre medianeras ____ - Protegido por edificios ____ 		
Número de plantas		
Superficie construida y útil de cada planta		
Planta	Superficie construida	Superficie útil
	m ²	m ²
Esquema básico de la instalación		

Tabla 5. Detalles constructivos del edificio

En la segunda parte se detallarán los siguientes aspectos constructivos:

- Cerramientos exteriores y sus aislamientos.
- Superficies acristaladas.
- Puentes térmicos.
- Puertas y zonas de acceso.

Muros, cubiertas y suelos					
Identificación y posición	Material	Superficie	Aislante	Transmitancia térmica	Peso por superficie
		m ²		W/m ² ·k	Kg/m ²
		m ²		W/m ² ·k	Kg/m ²
		m ²		W/m ² ·k	Kg/m ²
		m ²		W/m ² ·k	Kg/m ²
		m ²		W/m ² ·k	Kg/m ²
		m ²		W/m ² ·k	Kg/m ²
		m ²		W/m ² ·k	Kg/m ²
		m ²		W/m ² ·k	Kg/m ²
		m ²		W/m ² ·k	Kg/m ²
Observaciones					

Tabla 6. Cerramientos de la instalación

Incluye tejados, cubiertas, fachadas, medianerías, etc. Cada elemento se deberá identificar e indicar su orientación en el edificio. Seguidamente, se añadirá el material que lo compone, la superficie ocupada, si presenta aislante o no, la transmitancia térmica y el peso del elemento por unidad de superficie. Se permite algún comentario como observación.

La transmitancia térmica en una fachada viene dada por la siguiente expresión,

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

siendo R la resistencia térmica total del elemento constructivo [$m^2 \cdot k/W$]. A su vez,

$$R = \frac{e}{\lambda}$$

donde e es el espesor de la capa [m] y λ es la conductividad térmica del material [$W/m \cdot K$].

En el caso de huecos y lucernarios (puertas, ventanas, etc), las características son similares al caso anterior, salvo el factor solar y la absortividad del marco. El primero hace referencia a la relación entre la energía solar que atraviesa el vidrio y la que incide en él, mientras que el segundo término es la fracción de la radiación solar incidente a una superficie que es absorbida por la misma, dependiendo del color.

Huecos y lucernarios						
Nombre	Tipo	Superficie	Cerramiento asociado	Transmitancia térmica	Factor solar	Absortividad del marco
		m^2		$W/m^2 \cdot k$		
		m^2		$W/m^2 \cdot k$		
		m^2		$W/m^2 \cdot k$		
		m^2		$W/m^2 \cdot k$		
Observaciones						

Tabla 7. Características generales de huecos y lucernarios de la instalación

En cuanto a los puentes térmicos, se debe identificar cada uno de ellos e indicar de qué tipo es. Además, es importante anotar qué cerramiento lleva asociado y su longitud y conductividad térmica.

Puentes térmicos				
Nombre	Tipo	Cerramiento asociado	Longitud	Conductividad térmica
			m	$W/m \cdot k$
			m	$W/m \cdot k$
			m	$W/m \cdot k$

			m	W/m·k
Observaciones				

Tabla 8. Características de los puentes térmicos de un edificio

Por último, se contestarán a una serie de cuestiones sobre la estructura del edificio y su mantenimiento.

Mantenimiento	
Año de la última reforma estructural	
Motivo de dicha reforma	
Posibles modificaciones a realizar	
Posibles medidas de ahorro	
Observaciones	

Tabla 9. Información sobre el mantenimiento del inmueble

5.3 Consumos energéticos

En este capítulo se mostrarán los suministros energéticos que se disponen en el establecimiento a auditar: electricidad, gasóleo, propano, gas natural, GLP, etc. Se añadirán, por tanto, todos los datos referentes a los contratos de estas fuentes energéticas.

Primero se estudiará el consumo eléctrico. Se puede obtener información sobre el suministro a través de varias maneras:

- Contrato del suministro (potencia contratada, número de acometidas, etc).
- Recibos y facturas (energía consumida anual, coste medio, etc).
- Mediciones realizadas in situ (situación real de la instalación).

Se comenzará con una breve descripción del contrato con la compañía y el consumo eléctrico en el último año.

Suministro eléctrico	
Compañía suministradora	
Número de contrato y tarifa	
Tensión de suministro	
Potencia contratada	

Tabla 10. Principales características del suministro eléctrico

A continuación, se ha elaborado una tabla en la que se debe anotar los consumos mensuales de energía activa y reactiva a lo largo de un año (no es necesario un año natural, se puede empezar en cualquier mes siempre y cuando se acabe en ese mismo mes al año siguiente).

Consumo eléctrico mensual		
Mes	Energía activa	Energía reactiva
Enero	KWh	KVarh
Febrero	KWh	Kvarh
Marzo	KWh	Kvarh
Abril	KWh	Kvarh
Mayo	KWh	Kvarh
Junio	KWh	Kvarh
Julio	KWh	Kvarh
Agosto	KWh	Kvarh
Septiembre	KWh	Kvarh
Octubre	KWh	Kvarh

Noviembre	KWh	Kvarh
Diciembre	KWh	Kvarh

Tabla 11. Consumo eléctrico anual del edificio

Posteriormente, se procede a analizar cada equipo que consume electricidad, clasificándose en ACS, calefacción, ventilación, refrigeración, iluminación, fuerza y otros usos.

Consumos		
Equipo	Potencia	Electricidad
ACS	KW	KWh
Calefacción	KW	KWh
Ventilación	KW	KWh
Refrigeración	KW	KWh
Iluminación	KW	KWh
Fuerza	KW	KWh
Otros equipos	KW	KWh

Tabla 12. Consumo de los diferentes equipos de la instalación

En cuanto al combustible, se puede conseguir información acerca del suministro, al igual que en el caso anterior, de las siguientes formas:

- Mediante el contrato de suministro: tipo de combustible, características del mismo, mantenimiento, etc.
- Recibos y facturas: consumo de combustible anual y coste.
- Toma de mediciones in situ: información real de la instalación.

En primer lugar, se indicarán los principales datos del suministro del combustible

Suministro	
Compañía suministradora	
Número de contrato y tarifa	
Forma de suministro	
Potencia contratada	

Tabla 13. Suministro del combustible

El combustible se encuentra en tunos depósitos de almacenamiento, por lo que se elabora la siguiente tabla:

Depósitos de combustible			
Combustible			
Número de depósitos iguales			
Marca y modelo			
Capacidad	L	L	L
Temperatura	°C	°C	°C
Material			
Número de purgas/año			

Tabla 14. Características de los depósitos de combustible

Por último, se debe indicar el consumo mensual de combustible a lo largo de un año.

Consumo de combustible mensual	
Mes	Capacidad
Enero	L
Febrero	L
Marzo	L
Abril	L
Mayo	L
Junio	L
Julio	L
Agosto	L
Septiembre	L
Octubre	L
Noviembre	L
Diciembre	L

Tabla 15. Consumo de combustible en el último año

5.4 Sistema de agua caliente sanitaria

El agua caliente sanitaria (ACS) es el agua, calentada previamente, distribuida al consumo humano. Este consumo puede tener funciones sanitarias, de limpieza, etc.

Un sistema de ACS es el conjunto de equipos y elementos destinados a producir el agua caliente y transportarla a través de todo el circuito. Algunos de los componentes que integran los sistemas ACS son los siguientes:

- Intercambiadores, donde se mantienen separadas el agua de las calderas y el agua de consumo. Éstos pueden ser de placas o tubulares.



Figura 4. Intercambiador de placas



Figura 5. Intercambiador tubular

- Depósitos: tanques encargados de almacenar el agua caliente. Se pueden diferenciar dos clases de depósitos:
 - Acumuladores. Únicamente almacenan ACS, siendo necesario un intercambiador exterior y una bomba para circular el agua entre intercambiador y depósito.
 - Interacumuladores. Disponen en su interior del ACS y del intercambiador.

A continuación, se presenta el siguiente esquema gráfico, mostrando un acumulador (izquierda) y un interacumulador (derecha).

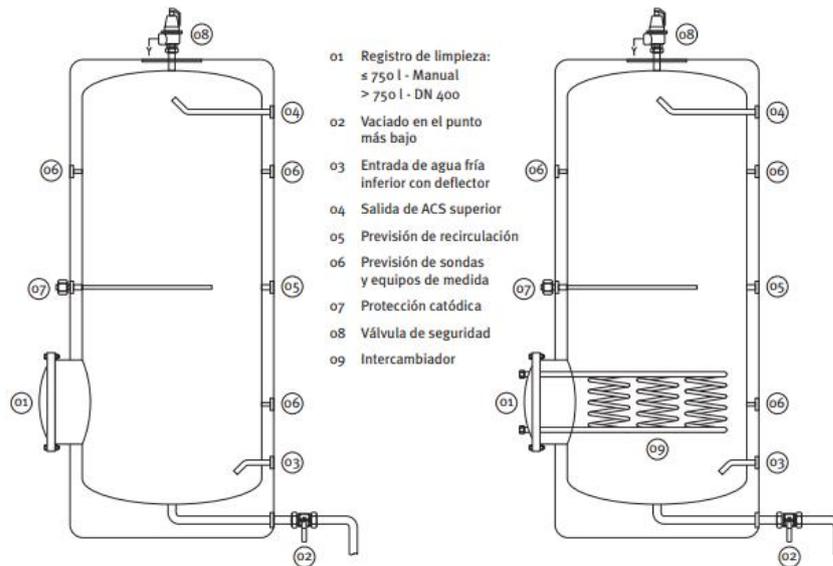


Figura 6. Depósito acumulador e interacumulador

- Red de suministro y circuito de retorno. Conjunto de tuberías que suministran el agua a los elementos terminales (suministro) y la transportan finalmente de vuelta al acumulador (retorno). Ambos circuitos contienen algunos de los siguientes elementos auxiliares:
 - Válvulas de regulación, cuya misión es ajustar la temperatura de ACS. Pueden ser motorizadas o termostáticas.
 - Bombas de circulación, necesarias para impulsar el fluido por toda la instalación.



Figura 7. Conjunto de tuberías de los sistemas de calefacción y ACS

- Elementos terminales. Son todos los grifos, duchas y otros elementos que permiten la utilización del agua caliente sanitaria.
- Equipos de calentamiento. Elementos que aportan calor cuyo objetivo es elevar la temperatura del agua fría. En las instalaciones industriales podemos encontrarlos de diferentes tipos:
 - Caldera.
 - Generador de calor.
 - Termos.
 - Bomba de calor

En el tipo de edificio que se ha estudiado, lo más común es incorporar calderas para generar calor, ya que, entre otras cosas, son sistemas económicamente bastante eficientes. Si hay una o más calderas en el sistema de ACS se utilizarán intercambiadores de calor, diferenciándose el circuito de ACS del circuito de agua de la caldera.



Figura 8. Caldera ACS

- Vaso de expansión. Es un elemento de seguridad que absorbe los aumentos de presión producidos al subir la temperatura del agua.



Figura 9. Vaso de expansión

Por otra parte, también es de gran utilidad conocer la forma de producción del ACS, donde se distinguen dos tipos de instalaciones: con o sin acumulación.

- Producción instantánea. Generan agua caliente en el momento de la demanda, es decir, no es necesario el uso de acumulador o interacumulador. Una de las ventajas de este sistema es la menor probabilidad de aparición de la bacteria legionela.
- Producción con acumulación. En los momentos de demanda se utiliza el agua caliente acumulada. Dicha agua acumulada debe mantenerse a una temperatura superior a los 60°C, para evitar en la medida de lo posible la aparición de la bacteria legionela.
- Producción mixta. Suministran el agua caliente sanitaria mediante acumulación y suministran la demanda a través de la producción instantánea.

Por tanto, a la hora de que el auditor pueda plasmar todos los datos disponibles, la plantilla comenzará con una serie de cuestiones a nivel general

Generalidades ACS	
La instalación dispone de sistema ACS	SI/NO
Forma de producción: <ul style="list-style-type: none"> - Instantánea ____ - Con acumulación ____ - Mixta ____ 	
Depósitos de acumulación <ul style="list-style-type: none"> - Acumuladores ____ - Interacumuladores ____ 	
Esquema del circuito	

Tabla 16. Características generales del sistema ACS

A continuación, elaboraremos unas tablas para que el auditor pueda completarlas con las principales características de cada elemento del sistema.

Equipo de calentamiento			
Elemento			
Número de unidades			
Marca y modelo			
Combustible			
Fluido calefactor			
Capacidad de agua	L	L	L
Presión máxima	bar	bar	bar
Temperatura máxima	°C	°C	°C
Potencia nominal	KW	KW	KW
Potencia útil	KW	KW	KW
Rendimiento	%	%	%
Temperatura humos	°C	°C	°C
% O₂	%	%	%
% CO₂	%	%	%
Coef. Exceso aire			
Horas operación	h/día	h/día	h/día

Tabla 17. Características de los equipos de calentamiento

Quemador (en el caso de caldera de combustible)			
Marca y modelo			
Gasto	Kg/h	Kg/h	Kg/h
Potencia	Kw	KW	KW
Consumo	A	A	A
Presión	mbar	mbar	mbar

Tabla 18. Características del quemador

Depósitos de acumulación		
Número de depósitos		
Marca y modelo		
Capacidad	L	L
Temperatura	°C	°C
Conexión entre acumuladores		
Material		

Tabla 19. Características de los acumuladores del sistema ACS

Vasos de expansión	
Marca y modelo	
Capacidad de agua	L
Presión máxima	bar
Presión de llenado	bar

Tabla 20. Vaso de expansión del sistema ACS

Sistema de bombeo			
Número de bombas			
Marca y modelo			
Potencia		KW	KW
Caudal		l/s	l/s
Velocidad de giro		rpm	rpm
Potencia eléctrica total			KW
Horario de operación		h/día	h/día

Tabla 21. Grupo de bombeo del sistema ACS

Intercambiador	
Marca y modelo	
Tipo	
Volumen	L
Presión de diseño	bar
Temperatura de diseño	°C
Presión en operación	bar
Temperatura de operación	°C

Tabla 22. Intercambiador del sistema ACS

Por último, se realizará una serie de cuestiones sobre el mantenimiento del sistema de agua caliente sanitaria del emplazamiento.

Mantenimiento	
Frecuencia de las revisiones de la instalación	
Fecha de la última revisión	
Fecha de la última modificación en el sistema	
Fecha de la última avería en el sistema	

Operaciones de mantenimiento realizadas
Posibles deficiencias actuales
Medidas de ahorro empleadas
Observaciones

Tabla 23. Información sobre el mantenimiento del sistema ACS

5.5 Sistema de calefacción

Se define como el conjunto de equipos y elementos que generan calor en un determinado espacio para conseguir unas condiciones de bienestar.

En primer lugar, se comenzará indicando qué tipo de sistema de calefacción presenta el establecimiento que se está auditando.

- Calefacción por combustibles.
- Calefacción por electricidad.
- Calefacción mediante bomba de calor.

Seguidamente, será necesario seleccionar el modo de distribución del calor, ya sea por aire, agua o mixto (aire y agua). Además, se debe mencionar el tipo de elemento terminal, o dicho de otro modo, el emisor del calor al ambiente:



Figura 10. Radiador



Figura 11. Convector



Figura 12. Ventiloconvector

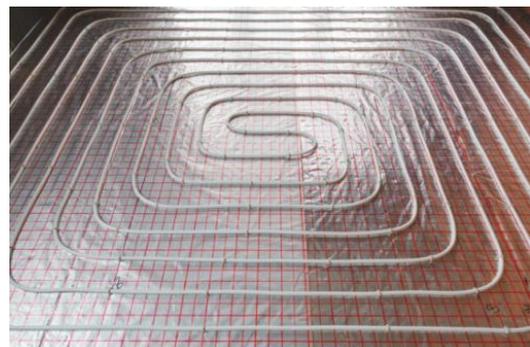


Figura 13. Suelo radiante

Al igual que en el sistema ACS, se permite realizar un boceto de la instalación.

Generalidades	
La instalación dispone de sistema de calefacción	SÍ/NO

<p>Forma de producción:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Por combustible _____ - Por electricidad _____ - Mediante bomba de calor _____
<p>Modo de distribución del calor</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aire _____ - Agua _____ - Aire y agua _____
<p>Elementos terminales:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Radiadores _____ - Convectores _____ - Ventilconvectores _____ - Suelo radiante _____ - Otros* _____ <p>Especificar Otros*</p>
<p>Esquema del circuito</p>

Tabla 24. Generalidades del sistema de calefacción

A continuación, se indicarán los elementos principales del sistema de calefacción y sus características más relevantes. Como en un sistema de agua caliente sanitaria, tendremos un elemento que aporte calor (caldera, generador de calor, bomba de calor, etc), un grupo de bombeo, quemador (en caso de sistema de calefacción por combustible), vaso de expansión, intercambiador de placas y un depósito acumulador. Incluir también las especificaciones de los elementos emisores del calor.

Equipo de calentamiento			
Elemento			
Número de unidades			

Marca y modelo			
Combustible			
Fluido calefactor			
Capacidad de agua	L	L	L
Presión máxima	bar	bar	bar
Temperatura máxima	°C	°C	°C
Potencia nominal	KW	KW	KW
Potencia útil	KW	KW	KW
Rendimiento	%	%	%
Temperatura humos	°C	°C	°C
% O₂	%	%	%
% CO₂	%	%	%
Coef. Exceso aire			
Horas operación	h/día	h/día	h/día

Tabla 25. Equipo de calentamiento

Quemador (en el caso de caldera de combustible)			
Marca y modelo			
Gasto	Kg/h	Kg/h	Kg/h
Potencia	Kw	KW	KW
Consumo	A	A	A
Presión	mbar	mbar	mbar

Tabla 26. Quemador

Sistema de bombeo			
Número de bombas			
Marca y modelo			
Potencia		KW	KW
Caudal		l/s	l/s
Velocidad de giro		rpm	rpm
Potencia eléctrica total			KW
Horario de operación		h/día	h/día

Tabla 27. Sistema de bombeo

Vaso de expansión	
Marca y modelo	
Capacidad de agua	L
Presión máxima	bar
Presión de llenado	bar

Tabla 28. Vaso de expansión

Intercambiador de placas	
Marca y modelo	
Volumen	L
Presión de diseño	bar
Temperatura de diseño	°C
Presión en operación	bar
Temperatura de operación	°C

Tabla 29. Intercambiador de placas

Equipos emisores de calor			
Elemento			
Número de unidades			
Zonas o locales			
Marca y modelo			
Fluido			
Potencia útil	KW	KW	KW
Caudal	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h
Temperatura entrada	°C	°C	°C
Temperatura salida	KW	KW	KW
Potencia térmica total			KW
Horas operación	h/día	h/día	h/día

Tabla 30. Emisores de calor

Una vez apuntadas las especificaciones de todos los equipos, se indicarán las principales medidas de mantenimiento, que aseguren un uso correcto y eficiente de la instalación.

Mantenimiento	
Frecuencia de las revisiones de la instalación	
Fecha de la última revisión	
Fecha de la última modificación en el sistema	
Fecha de la última avería en el sistema	
Operaciones de mantenimiento realizadas	
Posibles deficiencias actuales	
Medidas de ahorro empleadas	
Observaciones	

Tabla 31. Información sobre el mantenimiento del sistema de calefacción

5.6 Sistema de refrigeración

Un sistema de refrigeración se refiere a aquellos equipos destinados a reducir los niveles de temperatura y humedad, mediante intercambios térmicos con fluidos como agua y aire. La refrigeración puede realizarse por los siguientes medios:

- Absorción: sistema que utiliza sustancias (bromuro de litio) para aprovechar la absorción de calor producida en un cambio de estado.
- Compresión, en el que un refrigerante absorbe calor en el evaporador y lo cede en el condensador (a otra corriente fluida o al ambiente). El fluido es impulsado por un compresor.

Según el modo de funcionamiento, una máquina refrigeradora puede producir sólo frío, por lo que se usaría una enfriadora, o, por otro lado, frío y calor, por lo que se podría utilizar una bomba de calor.

Otra clasificación de los sistemas de los sistemas de refrigeración es según el medio donde se toma o cede la energía.

- Aire- aire: intercambio de aire entre exterior e interior (equipos de ventana, split, etc).
- Agua- agua: intercambio con agua en ambas unidades (torres de enfriamiento).
- Aire- agua: intercambio con aire en la unidad exterior y con agua en la unidad interior (fan- coils, radiadores, etc).
- Agua- aire: intercambio con aire en la unidad interior y con agua en la unidad exterior (techos o suelos radiantes).



Figura 14. Split de techo



Figura 15. Torre de refrigeración



Figura 16. Techo radiante



Figura 17. Fan-coil

Una vez explicado algunas de las clasificaciones de los sistemas de refrigeración, se expone a continuación una primera plantilla con aspectos más generales sobre la instalación, sin indagar todavía en los equipos que lo componen.

Generalidades ACS
La instalación dispone de sistema ACS SI/NO
Forma de producción: <ul style="list-style-type: none">- Absorción ____- Compresión ____
Medio de intercambio de energía <ul style="list-style-type: none">- Aire- aire ____- Aire- agua ____- Agua- agua ____- Agua- agua ____
Tipo de máquina refrigeradora <ul style="list-style-type: none">- Enfriadora ____- Bomba de calor ____- Otro _____

<p>Zonas a refrigerar</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aseos y vestuarios ____ - Pasillos ____ - Oficinas y otras estancias ____ - Pista deportiva ____ - Otros _____
<p>Esquema del circuito</p>

Tabla 32. Características del sistema de refrigeración

Se presenta en la siguiente figura un esquema básico de ciclo de refrigeración.

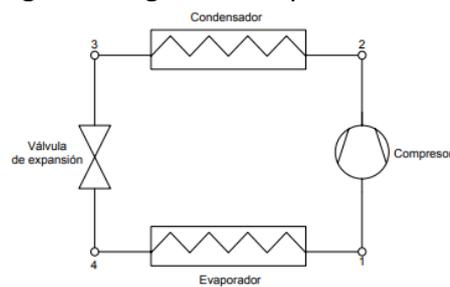


Figura 18. Ciclo de refrigeración

A continuación, se elaborarán las plantillas para los componentes principales de los sistemas de refrigeración.

En la siguiente tabla se deberá indicar si se genera frío a través de una enfriadora, o bien, si se requiere frío y calor, utilizándose por tanto una bomba de calor.

Equipo generador de frío			
Denominación			
Nº equipos iguales			
Marca			
Modelo			
Tipo			
Potencia máxima	KW	KW	KW

Potencia útil	KW	KW	KW
COP			
Temperatura máxima	°C	°C	°C
Temperatura mínima	°C	°C	°C
Presión máxima	bar	bar	bar
Presión mínima	bar	bar	bar
Compresor/es			
Número de meses			

Tabla 33. Características principales del generador de frío

Climatizadoras			
Denominación			
Nº clima. iguales			
Marca			
Modelo			
Fluido			
Masa de fluido	Kg	Kg	kg
Potencia útil	KW	KW	KW
Caudal	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h
Temperatura entrada	°C	°C	°C
Temperatura salida	°C	°C	°C
Zona a climatizar			

Tabla 34. Características principales de una climatizadora

Por último se elaborará una plantilla para los elementos terminales del sistema de refrigeración, como pueden ser los fan-coils o split.

Equipos emisores			
Elemento			
Número de unidades			
Zonas o locales			
Marca y modelo			
Tipo			

Potencia útil	KW	KW	KW
Caudal	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h
Temperatura entrada	°C	°C	°C
Temperatura salida	KW	KW	KW
Potencia térmica total	KW		
Horas operación	h/día	h/día	h/día

Tabla 35. Características principales de equipos emisores de calor

Además, se debe incluir una serie de cuestiones sobre el mantenimiento de los equipos, para prevenir fallos y poder mejorar el rendimiento del sistema.

Mantenimiento	
Frecuencia de las revisiones de la instalación	
Fecha de la última revisión	
Fecha de la última modificación en el sistema	
Fecha de la última avería en el sistema	
Operaciones de mantenimiento realizadas	
Posibles deficiencias actuales	
Medidas de ahorro empleadas	
Observaciones	

Tabla 36. Mantenimiento del sistema de refrigeración

5.7 Sistema de ventilación

Se define como el conjunto de equipos que renuevan el aire en el interior de un local, es decir, sustituyen el aire interior por el del exterior, que presenta unas mejores características (humedad, temperatura, etc).

De manera general, los sistemas de ventilación se clasifican en:

- Ventilación natural: aprovecha la diferencia de presiones presente en el edificio para mover el aire sin necesidad de elementos mecánicos.
- Ventilación forzada: utiliza equipos accionados mecánicamente para impulsar y renovar el aire en el local. Esos elementos pueden ser extractores, ventiladores, etc.

Los principales elementos o equipos que componen un sistema de ventilación son los siguientes:

- Ventiladores de extracción y aportación del aire (ventilación forzada).
- Conductos en los que circula el aire.
- Elementos que permitan la entrada y salida del aire.

A modo de ejemplo, se adjunta la siguiente imagen, donde se muestra la pista de un polideportivo y el sistema de ventilación.

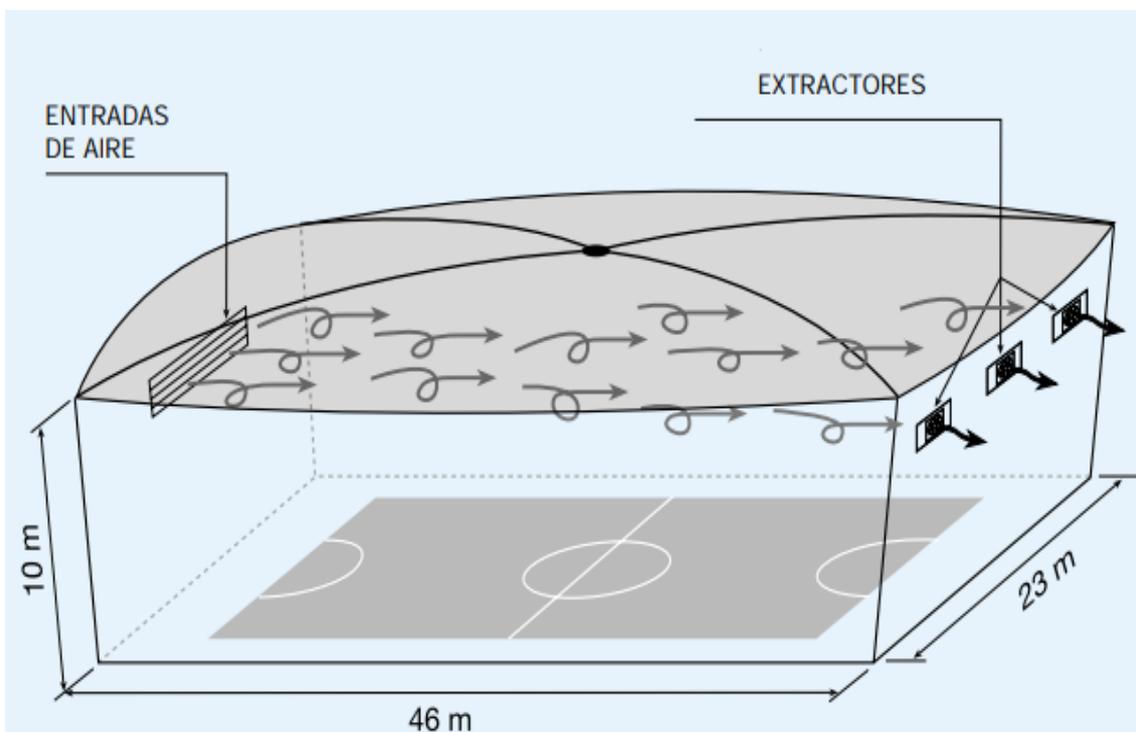


Figura 19. Ventilación en una pista polideportiva

La plantilla comenzará con una serie de cuestiones a nivel general, donde se describe el sistema de ventilación y sus características. Se pide también un dibujo sencillo de la instalación.

Generalidades
La instalación dispone de sistema de ventilación SÍ/NO
Forma de producción: <ul style="list-style-type: none"> - Ventilación natural ____ - Ventilación forzada ____
Zonas ventiladas: <ul style="list-style-type: none"> - Aseos y vestuarios ____ - Pista deportiva ____ - Pasillos ____ - Oficinas y estancias ____ - Otros* ____ <p>Especificar Otros*</p>
Esquema del circuito

Tabla 37. Generalidades del sistema de ventilación

En el siguiente epígrafe se describirán los equipos que conforman el sistema de ventilación (ventiladores, extractores, etc), así como cada una de las entradas y salidas de aire.



Figura 20. Salida de aire



Figura 21. Extractor de aire

Equipo de ventilación			
Elemento			
Número de unidades			
Marca y modelo			
Local a ventilar			
Dimensión del local			
Impulsión/ Extracción			
Caudal de aire total	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h
Caudal de aire renovado	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h
Potencia nominal	KW	KW	KW
Potencia útil	KW	KW	KW
Rendimiento	%	%	%
Velocidad de giro	rpm	rpm	rpm
Potencia térmica total	KW	KW	KW

Tabla 38. Elementos del sistema de ventilación

Aberturas			
Localización			
Entrada/ Salida			
Número de unidades			
Accesorio			
Material			

Dimensiones			
Caudal de aire	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h

Tabla 39. Aberturas de aire

Por último, se pide mencionar algunas de las principales medidas de ahorro y mantenimiento, que aseguren la máxima eficiencia posible en el sistema.

Mantenimiento	
Frecuencia de las revisiones del sistema	
Fecha de la última revisión	
Fecha de la última modificación en el sistema	
Fecha de la última avería en el sistema	
Frecuencia de la limpieza en la instalación	
Operaciones de mantenimiento realizadas	
Posibles deficiencias actuales	
Medidas de ahorro empleadas	
Observaciones	

Tabla 40. Mantenimiento del sistema de ventilación

5.8 Iluminación

En este capítulo se anotará toda la información posible referente al alumbrado, ya sea el tipo y el lugar donde se ubican todos los tipos de luminaria. Se pueden clasificar en las siguientes variedades:



Figura 22. Incandescente convencional



Figura 23. Incandescente halógena



Figura 24. Fluorescente compacta



Figura 25. Fluorescente tubular



Figura 26. Vapor de mercurio



Figura 27. Halogenuro metálico



Figura 28. LED



Figura 29. Vapor de sodio

Además, la plantilla incluye algunas de sus características principales, como la potencia, altura, etc.

Lugar: Pasillos	
Tipo:	
Incandescente convencional ___	Vapor de mercurio ___
Incandescente halógena ___	Halogenuros metálicos ___
Fluorescente tubular ___	Vapor de sodio ___
Fluorescente compacta ___	LED ___
Número de luminarias	
Luminarias fundidas actualmente	
Potencia lámpara	W
Potencia luminaria	W
Potencia total instalada	KW
Altura	m
Temperatura	°C
Número de horas al día	h/día

Tabla 41. Iluminación en pasillos

Lugar: Pista	
Tipo:	
Incandescente convencional ___	Vapor de mercurio ___
Incandescente halógena ___	Halogenuros metálicos ___
Fluorescente tubular ___	Vapor de sodio ___
Fluorescente compacta ___	LED ___
Número de luminarias	
Luminarias fundidas actualmente	
Potencia lámpara	W
Potencia luminaria	W
Potencia total instalada	KW
Altura	m
Temperatura	°C
Número de horas al día	h/día

Tabla 42. Iluminación en pista

Lugar: Aseos y vestuarios

Tipo:	
Incandescente convencional ___	Vapor de mercurio ___
Incandescente halógena ___	Halogenuros metálicos ___
Fluorescente tubular ___	Vapor de sodio ___
Fluorescente compacta ___	LED ___
Número de luminarias	
Luminarias fundidas actualmente	
Potencia lámpara	W
Potencia luminaria	W
Potencia total instalada	KW
Altura	m
Temperatura	°C
Número de horas al día	h/día

Tabla 43. Iluminación en aseos y vestuarios

Lugar: Estancias	
Tipo:	
Incandescente convencional ___	Vapor de mercurio ___
Incandescente halógena ___	Halogenuros metálicos ___
Fluorescente tubular ___	Vapor de sodio ___
Fluorescente compacta ___	LED ___
Número de luminarias	
Luminarias fundidas actualmente	
Potencia lámpara	W
Potencia luminaria	W
Potencia total instalada	KW
Altura	m
Temperatura	°C
Número de horas al día	h/día

Tabla 44. Iluminación en estancias

Para concluir, se puede añadir una pequeña tabla para indicar fallos y posibles errores del sistema que se hayan producido anteriormente o puedan originarse. Se anotarán también observaciones destinadas a posibles medidas a resolver o ahorros en la instalación

Errores que puedan producirse

Observaciones

Tabla 45. Deficiencias en el sistema de iluminación

5.9 Instalación de energía solar térmica

Este tipo de sistemas consisten en la captación de energía solar térmica, que absorbe por tanto la energía de los rayos del sol en forma de calor. Mediante esta energía, se calienta una corriente de agua que pasa por el interior de las placas. Al haber aumentado la temperatura del agua, ésta cede calor a través de un intercambiador a otra corriente de agua, que se encuentra almacenada para que sea transportada a los puntos de consumo. Se presenta en la siguiente imagen un esquema básico de una instalación de energía solar térmica.

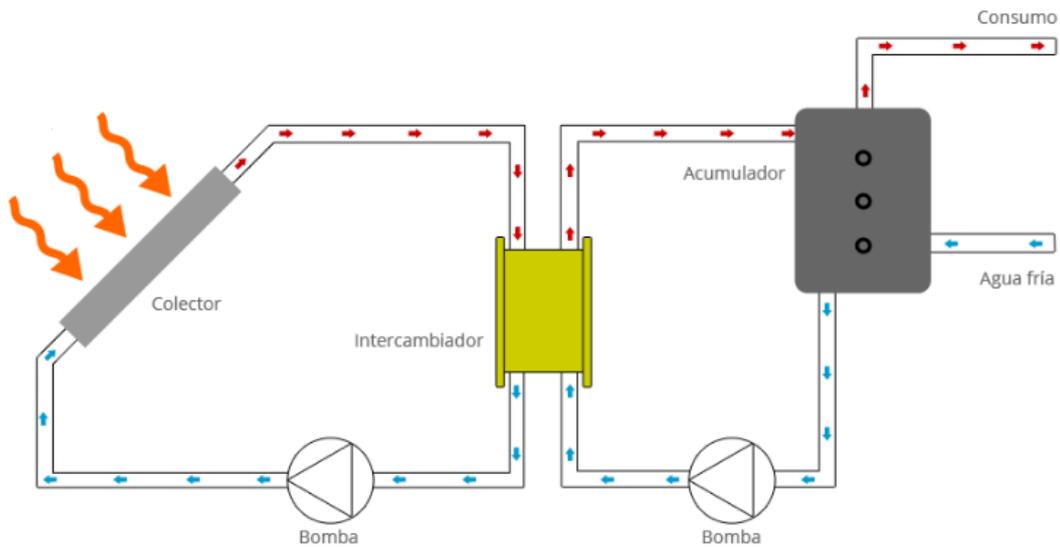


Figura 30. Ciclo de una instalación de energía solar térmica

En primer lugar, la plantilla recogerá una serie de cuestiones generales sobre la instalación, realizando al final un dibujo básico del circuito de la instalación.

Generalidades solar térmica	
La instalación dispone de la instalación solar térmica	SI/NO
Uso principal: <ul style="list-style-type: none"> - ACS _____ - Piscina _____ - Calefacción _____ 	
Demanda energética anual	KWh
Contribución energía solar anual	KWh
Contribución energía solar anual	%

Esquema del circuito

Tabla 46. Generalidades instalación solar térmica

A continuación se describen los principales elementos de la instalación:

- Colectores solares, que absorben la energía solar y la transmiten al fluido que circula en su interior.



Figura 31. Colectores solares

- Acumulador aislado que almacena el agua de consumo.
- Intercambiador, donde se transfiere la energía absorbida por los captadores al agua almacenada en el acumulador.
- Bombas de circulación, que impulsan el fluido a través de todo el circuito.
- Vasos de expansión, cuya función es absorber las subidas de presión del fluido debido a aumentos de temperatura.
- Se deben incluir también a las tuberías, válvulas, purgadores y otros accesorios que permiten que la instalación funcione debidamente.

Colectores solares	
Número de colectores	
Marca y modelo	
Material	
Potencia	W
Temperatura	°C

Área efectiva	m^2
Dimensiones	m
Factor de eficiencia	
Coeficiente global de pérdidas	$W/m^{\circ}C$
Orientación	
Inclinación	$^{\circ}$

Tabla 47. Características de los colectores solares

Depósito de acumulación	
Marca y modelo	
Capacidad	L
Temperatura	$^{\circ}C$
Material	
Intercambiador interior	SÍ/NO
Temperatura intercambiador	$^{\circ}C$
Presión intercambiador	bar

Tabla 48. Características del acumulador

Vaso de expansión	
Marca y modelo	
Capacidad de agua	L
Presión máxima	bar
Presión de llenado	bar

Tabla 49. Características del vaso de expansión

Sistema de bombeo		
Número de bombas		
Marca y modelo		
Potencia	KW	KW
Caudal	l/s	l/s
Velocidad de giro	rpm	rpm
Potencia eléctrica total		KW
Horario de operación	h/día	h/día

Tabla 50. Características del grupo de bombeo

Intercambiador	
Marca y modelo	
Tipo	
Volumen	L
Presión de diseño	bar
Temperatura de diseño	°C
Presión en operación	bar
Temperatura de operación	°C

Tabla 51. Características del intercambiador

Por último, se rellenará un cuestionario acerca del mantenimiento de la instalación:

Mantenimiento	
Frecuencia de las revisiones de la instalación	
Fecha de la última revisión	
Fecha de la última modificación en el sistema	
Fecha de la última avería en el sistema	
Operaciones de mantenimiento realizadas	
Estado de los captadores	
Porcentaje de pérdidas de los captadores	
<ul style="list-style-type: none"> - Por orientación: - Por inclinación: - Por sombra: 	
Posibles deficiencias actuales	
Medidas de ahorro empleadas	
Observaciones	

--

Tabla 52. Mantenimiento de la instalación de energía solar térmica

5.10 Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es aquella que genera electricidad a través de la radiación solar, empleando un dispositivo semiconductor denominado célula fotovoltaica. Es un tipo de energía renovable, inagotable y no contaminante, utilizada en pequeñas instalaciones para el autoconsumo y en grandes plantas fotovoltaicas.

En primer lugar, la plantilla recogerá una serie de cuestiones generales sobre la instalación.

Generalidades solar fotovoltaica	
Se dispone de una instalación solar fotovoltaica	SÍ/NO
La energía eléctrica producida es para:	
<ul style="list-style-type: none"> - Uso propio__ - Suministro de red __ 	
Tipo de instalación:	
<ul style="list-style-type: none"> - Aislada de red __ - Conectada a red __ 	
Superficie total de la instalación	m ²
Potencia pico	KW
Potencia mínima requerida	KW
Esquema de la instalación	

Tabla 53. Característica generales de la instalación fotovoltaica

Existen dos tipos de instalaciones de energía solar fotovoltaica: conectadas a red y aisladas de red. Las conectadas a red son aquellas en las que toda la energía (planta fotovoltaica) o parte de ella (instalaciones de autoconsumo) se vierte a la red eléctrica. Estas instalaciones disponen de los siguientes elementos:

- Paneles fotovoltaicos. Captan la radiación solar y producen la energía eléctrica.

- Inversores. Convierten la corriente continua generada en los paneles fotovoltaicos en corriente alterna, para el uso de aparatos y equipos eléctricos.



Figura 32. Paneles fotovoltaicos

Paneles fotovoltaicos	
Número de paneles	
Marca y modelo	
Material	
Potencia	W
Temperatura	°C
Área efectiva	m ²
Dimensiones	m
Orientación	
Inclinación	°

Tabla 54. Características de los paneles fotovoltaicos

Inversores	
Número de inversores	
Marca y modelo	
Tipo	
Potencia total	KW
Potencia individual	KW
Rendimiento del inversor	%

Tabla 55. Inversores

Por otro lado, las instalaciones aisladas a red son aquellas que posibilitan la generación de corriente eléctrica sin conexión a la red. Además de los dos equipos mencionados anteriormente, estas instalaciones cuentan con dos elementos adicionales.

- Baterías. Almacenan la energía producida por los paneles en los momentos de demanda nula.

Baterías	
Número de baterías	
Marca y modelo	
Capacidad nominal	Ah
Capacidad útil	Ah
Estado de carga	
Régimen de carga o descarga	h

Tabla 56. Baterías

- Reguladores. Elemento que protege a la batería de sobrecargas y sobredescargas.

Regulador	
Marca y modelo	
Voltaje de desconexión de las cargas de consumo	V
Voltaje final de carga	V

Tabla 57. Regulador

Por último, se rellenará un cuestionario acerca del mantenimiento de la instalación:

Mantenimiento	
Frecuencia de las revisiones de la instalación	
Fecha de la última revisión	
Fecha de la última modificación en el sistema	
Fecha de la última avería en el sistema	
Operaciones de mantenimiento realizadas	

Estado de los captadores
Porcentaje de pérdidas de los captadores
<ul style="list-style-type: none"> - Por orientación: - Por inclinación: - Por sombra:
Posibles deficiencias actuales
Medidas de ahorro empleadas
Observaciones

Tabla 58. Mantenimiento de la instalación de energía solar térmica

El autoconsumo energético está regulado por el RDL 244/2019, que define una nueva tipología o división de modalidades de autoconsumo, permite el autoconsumo colectivo y simplifica los trámites administrativos. Así, el objetivo del Real-Decreto de Autoconsumo es regular estos aspectos que habían quedado abiertos tras la publicación del antiguo RDL 15/18, relacionados con configuraciones de medida, condiciones administrativas y técnicas para conexión a red, los mecanismos de compensación de excedentes para las instalaciones de autoconsumo, así como la organización de un registro de autoconsumo administrativo sencillo.

5.11 Otros equipos

Este apartado se cumplimentará en el caso de que se disponga de aquellos equipos o sistemas que consuman una cantidad notoria de energía, y que además no se hayan tenido en cuenta en los anteriores epígrafes.

- Sistemas elevadores. Hace referencia a cada uno de los ascensores y montacargas situados en el establecimiento. Se indicará el número de equipos iguales, su localización y sus características principales, como son la velocidad, potencia, etc.

Elevadores			
Número total de elevadores			
Identificación elevador			
Nº unidades iguales			
Marca y modelo			
Número de plantas			
Carga máxima	Kg	Kg	Kg
Horas operación	h/día	h/día	h/día
Nº usuarios/día			
Velocidad	m/s	m/s	m/s
Potencia	KW	KW	KW
Frecuencia mantenimiento			

Tabla 59. Elevadores

- Equipos ofimáticos. Incluye ordenadores, impresoras, fotocopiadoras, televisiones, proyectores, etc. Se deberá anotar las horas de uso, consumo y el número de equipos iguales.

Equipos ofimáticos						
Equipo						
Nº unidades iguales						
Localización						
Horas de uso	h/día	h/día	h/día	h/día	h/día	h/día
Consumo normal	W	W	W	W	W	W
Consumo <i>stand by</i>	W	W	W	W	W	W

Tabla 60. Equipos ofimáticos

- Electrodomésticos. En el caso de contar con estos equipos en el establecimiento, nombrar cada uno de ellos e indicar sus horas de uso y su consumo.

Electrodomésticos						
Equipo						
Nº unidades iguales						
Localización						
Horas de uso	h/día	h/día	h/día	h/día	h/día	h/día
Consumo normal	W	W	W	W	W	W

Tabla 6153. Electrodomésticos

Por último, un apartado de observaciones, para aclarar, si es necesario, algunas anotaciones realizadas anteriormente.

Observaciones	
----------------------	--

Tabla 62. Observaciones

6. Informe de la auditoría energética

La fase final del Trabajo de Fin de Estudios consiste en la redacción de la memoria de la auditoría energética del edificio estudiado. En ella se expondrán con detalle aspectos como los consumos energéticos, detalles constructivos, sistema de agua caliente sanitaria o la calefacción, a partir de los datos tomados en las mediciones realizadas al visitar el edificio en cuestión.

Las plantillas descritas anteriormente se utilizarán en la visita al establecimiento y se completarán, en la medida de lo posible, con la información obtenida in situ. Dicha información se analizará y se obtendrán nuevos valores necesarios para conocer con precisión si, tanto el edificio como los sistemas y equipos, cumplen con los requisitos que exige la normativa y legislación sobre eficiencia energética en España y si, además, son eficientes energéticamente.

Una vez analizado y examinado toda la información disponible se propondrán una serie de reformas y mejoras, a realizar por los responsables de la instalación. Estos nuevos planteamientos de mejora no sólo supondrán un avance energético para el edificio, sino que también se busca que las soluciones impliquen que el coste del mantenimiento del edificio y de los equipos que lo integran se vea altamente reducido.

Una vez se ha redactado el certificado energético, se entregará al responsable de la instalación para que adopte las medidas propuestas por el auditor.

Como se ha mencionado anteriormente, se han auditado un total de trece establecimientos, todos ellos pabellones deportivos. Por razones de extensión, se ha decidido que en este estudio se realizarán tan sólo tres informes de auditoría.

El primer edificio elegido para realizar su certificado es el Pabellón Cabezo de Torres, debido al buen estado de los equipos y de la instalación y a sus condiciones de salubridad.

El segundo pabellón elegido es el Pabellón Zarandona. Este edificio tiene la singularidad de contar con un sistema de energía solar térmica, por lo que conviene estudiar este caso concreto para entender las ventajas e inconvenientes que supone la utilización de placas solares en el sistema de agua caliente sanitaria (ver Anexo 1).

El tercer y último informe corresponde al Pabellón Sangonera la seca. Ha sido elegido principalmente por tratarse de una instalación con una estructura similar al Pabellón Zeneta, y así poder realizar una comparación entre ambos, ya que uno cuenta con un sistema de energía solar térmica y el otro no dispone de dicha instalación (ver Anexo 2).

La estructura de cada uno de los informes es la misma: información general sobre el edificio, un inventario de los sistemas y equipos que componen la instalación, un análisis y desglose de los consumos energéticos y de combustible, así como el coste económico y las emisiones generadas y, por último, una serie de propuestas con el fin de disminuir el consumo y minimizar las emisiones de CO₂.

El informe comenzará identificando la auditoría, el edificio auditado y el auditor encargado. A continuación, se expondrán una serie de datos generales acerca del edificio, como los horarios que permanece abierto, los meses de menor actividad, las tareas y ejercicios que se realizan habitualmente en el edificio y el máximo y mínimo número de usuarios diarios.

La segunda parte del informe está compuesta de todos los equipos y sistemas dentro de la instalación, además de sus respectivas propiedades y especificaciones. Es habitual incluir algunas fotografías para acompañar la descripción de los equipos. Esta se ha dividido en características estructurales, sistema de ACS, calefacción, refrigeración, ventilación, iluminación, sistema de placas solares y otros equipos que consuman energía.

Una vez completado el inventario de equipos y sus características principales, se debe indicar un desglose detallado de los consumos del pabellón en cuestión. Primero, se deben calcular las demandas de agua caliente sanitaria (a partir del Código Técnico de Edificación) y las demandas de refrigeración y calefacción (a través del software “VPCLIMA”) y posteriormente calcular sus respectivos consumos. Después, se procede a la obtención de los consumos de iluminación, sistema de ventilación y otros equipos. El objetivo de este apartado es comparar en cada mes del año los consumos energéticos, el consumo de combustible, el coste económico y las emisiones generadas.



Figura 32. Inicio del programa “VPCLIMA”

Por último, la descripción de las propuestas para mejorar los aspectos que el auditor considere conveniente. Para cada una de ellas se analizará el consumo energético y coste económico para todos los meses de un año, con el objetivo de

realizar comparaciones entre los resultados obtenidos de la propuesta y los de la instalación actual. Además, se realizará un estudio de viabilidad económica de la inversión, calculando parámetros como el valor actualizado neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR) y el período de retorno de la inversión (PRI). Las mejoras propuestas son las siguientes:

- Sustitución de las luminarias convencionales por LED. Su instalación y uso conlleva numerosas ventajas no solo para el edificio, sino también para los usuarios y trabajadores. Además de una importante reducción del consumo energético y coste anual, estas luminarias tienen numerosos beneficios, como mayor duración, mayor calidad de iluminación y altamente ecológicas. Se adjunta un gráfico comparativo entre el consumo mensual de tres tipos de luminarias: halógena, de bajo consumo y LED.



Gráfico 2. Ahorro LED respecto al resto de luminarias. Fuente: IDAE

- Sustitución de la caldera actual por caldera de gas natural o biomasa. El gasóleo es uno de los combustibles que se utilizan en la actualidad que conlleva un mayor consumo de combustible y que más favorece a la contaminación. Las calderas de gas natural presentan una mayor vida útil y eficiencia que las de gasóleo, además de producir un impacto ambiental mucho menor, pues la combustión de gas natural es menos contaminante. Las calderas de biomasa utilizan como fuente de energía combustibles naturales, como astillas, leña o pellets, lo que las convierte en una tecnología segura y avanzada, utilizando una energía limpia e inagotable. Se muestra un gráfico de las emisiones de CO₂ generadas por algunos combustibles, entre los que se encuentran el gasóleo, gas natural y biomasa.

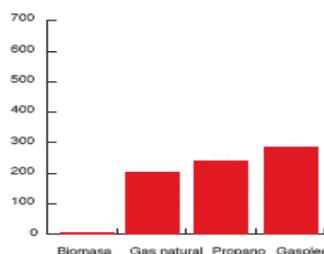


Gráfico 3. Emisiones de CO₂ generadas por cada combustible. Fuente: IDEA

6.1 Informe del Pabellón Cabezo de Torres

6.1.1 Datos generales de la auditoría

Datos generales de la auditoría	
Número de la auditoría	001
Fecha de la auditoría	30/05/2018
Número de edificios a auditar	3
Auditor	Javier Fuentes García
Empresa	Universidad Politécnica de Cartagena
Firma	

Tabla 63. Características de la auditoría

6.1.2 Características generales y constructivas del edificio

El edificio a auditar es el Pabellón Cabezo de Torres, situado en la calle Rambla del Carmen, 16, en Cabezo de Torres, Murcia.

Información general	
Nombre de la instalación	Pabellón Cabezo de Torres
Uso principal	Polideportivo
Dirección	Calle Rambla del Carmen, 16
Municipio	Murcia
Provincia	Murcia
Persona de contacto	José Ángel Sánchez
Correo electrónico o número de teléfono	649 245 926

Tabla 64. Información general del Pabellón Cabezo de Torres



Figura 33. Exterior del Pabellón Cabezo de Torres



Figura 34. Vista desde arriba del Pabellón Cabezo de Torres

El edificio consta de una pista deportiva, sala de gimnasia, vestuarios (dos masculinos, dos femeninos, dos para minusválidos y uno para el equipo de árbitros), una habitación de primeros auxilios, un almacén, un cuarto de limpiezas y la sala de máquinas.



Figura 35. Pista deportiva



Figura 36. Sala de gimnasia

Régimen de funcionamiento	
Número de usuarios por día	50-100 usuarios/día
Número aproximado de trabajadores	5-10
Descripción de las tareas más habituales	
Clases de Educación Física (alumnos de Primaria y ESO), clases de ballet en la sala de gimnasia, alquiler de la pista para actividades deportivas.	
Horario habitual	Lunes a viernes: 9.00 - 0.00 Sábado: 8.00 – 21.00 Domingo: 9.00 – 15.00
Días de la semana en los que el centro no abre	
Domingo (solo permanece abierto 6 horas).	
Meses de mayor inactividad	
Julio (menos actividades deportivas) Agosto (cerrado 15 días)	

Tabla 65. Régimen de funcionamiento del Pabellón Cabezo de Torres

El centro se encuentra abierto de lunes a viernes de 9.00 a 0.00, es decir, quince horas diarias. Los sábados abren trece horas, mientras que los domingos son seis. Teniendo en cuenta que durante la segunda quincena de agosto cierran las instalaciones y tomando como media unos diez días festivos al año, el número de horas de operación anuales es aproximadamente de:

$$15 \times (365 - 52 \times 2 - 12 - 10) = 3585 \text{ h/año (lunes – viernes).}$$

$$13 \times (52 - 2) = 650 \text{ h/año (sábados).}$$

$$6 \times (52 - 2) = 300 \text{ h/año (domingos).}$$

Por tanto, hacen un total de $3585 + 650 + 300 = 4535$ h/año.

Se procederá ahora a estudiar los diferentes espacios que presenta el establecimiento. A continuación, se muestra una tabla con cada una de las zonas del edificio, con sus respectivas áreas.

Zona	Dimensiones (m)	Área (m²)
Pista deportiva	48x33x7	1584
Sala de gimnasia	3x8x3	24
Vestuario femenino 1	2,5x8x3	20

Vestuario femenino 2	2,5x8x3	20
Vestuario masculino 1	2,5x8x3	20
Vestuario masculino 2	2,5x8x3	20
Vestuario minusválidos 1	2x3x3	6
Vestuario minusválidos 2	2x3x3	6
Vestuario equipo arbitraje	3x2x3	6
Habitación primeros auxilios	3x2x3	6
Cuarto de limpieza	3x2x3	6
Sala de máquinas	4x6x3	24
Pasillos	45x1,5x3	67,5
Entrada al edificio	7x4x3	28
Área total (m²)		2048

Tabla 66. Dimensiones y áreas del edificio.

Por último, en este apartado se analizará la envolvente térmica. Para ello, se recurre al DB HE-1, Apéndice B, donde se obtiene la siguiente tabla de zonas climatológicas:

Capital	Z.C.	Altitud	A4	A3	A2	A1	B4	B3	B2	B1	C4	C3	C2	C1	D3	D2	D1	E1
Albacete	D3	677									h < 450			h < 950				h ≥ 950
Alicante/Alacant	B4	7					h < 250					h < 700						h ≥ 700
Almería	A4	0	h < 100				h < 250	h < 400				h < 800			h > 800			
Ávila	E1	1054														h < 550	h < 850	h ≥ 850
Badajoz	C4	168								h < 400	h < 450				h < 450			
Barcelona	C2	1										h < 250			h < 450	h < 750	h ≥ 750	
Bilbao/Bilbo	C1	214											h < 250				h < 250	
Burgos	E1	861															h < 600	h ≥ 600
Cáceres	C4	385									h < 600				h < 1050			h ≥ 1050
Cádiz	A3	0	h < 150				h < 450					h < 600	h < 850			h ≥ 850		
Castellón/Castelló	B3	18					h < 50					h < 500			h < 600	h < 1000		h ≥ 1000
Ceuta	B3	0					h < 50											
Ciudad Real	D3	630									h < 450	h < 500			h > 500			
Córdoba	B4	113					h < 150				h < 550				h ≥ 550			
Coruña, La/ A Coruña	C1	0												h < 200			h ≥ 200	
Cuenca	D2	975													h < 800	h < 1050		h ≥ 1050
Gerona/Girona	D2	143										h < 100			h < 600			h ≥ 600
Granada	C3	754	h < 50				h < 350				h < 600	h < 800			h < 1300			h ≥ 1300
Guadalajara	D3	708													h < 950	h < 1000		h ≥ 1000
Huelva	A4	50	h < 50				h < 150	h < 350				h < 800			h > 800			
Huesca	D2	432										h < 200			h < 400	h < 700		h ≥ 700
Jafn	C4	436					h < 350				h < 750				h < 1250			h ≥ 1250
León	E1	346																h < 1250
Lérida/Leida	D3	131									h < 100			h < 600				h ≥ 600
Logroño	D2	379											h < 200		h < 700			h ≥ 700
Lugo	D1	412															h < 500	h ≥ 500
Madrid	D3	589										h < 500			h < 950	h < 1000		h ≥ 1000
Málaga	A3	0						h < 300				h < 700			h > 700			
Melilla	A3	130																
Murcia	B3	25					h < 100					h < 550			h > 550			
Ourense/Ourense	D2	327									h < 150	h < 300			h < 800			h ≥ 800
Oviedo	D1	214											h < 50				h < 550	h ≥ 550
Palencia	D1	722															h < 800	h ≥ 800
Palma de Mallorca	B3	1					h < 250					h > 250						
Pamplona/Iruña	D1	456										h < 100			h < 300	h < 600	h ≥ 600	
Pontevedra	C1	77											h < 350			h > 350		
Salamanca	D2	770													h < 800			h ≥ 800
San Sebastián/Donostia	D1	5														h < 400	h > 400	
Santander	C1	1											h < 150				h > 650	h ≥ 650
Segovia	D2	1013													h < 1000			h ≥ 1000
Sevilla	B4	9					h < 200				h > 200							
Soria	E1	984													h < 750	h < 800	h > 800	
Tarragona	B3	1					h < 50				h < 500				h > 500			
Tenue	D2	995									h < 450	h < 500			h < 1000			h ≥ 1000
Toledo	C4	445									h < 500				h > 500			
Valencia/Valencia	B3	8					h < 50				h < 500				h < 950			h ≥ 950
Valladolid	D2	704													h < 800			h ≥ 800
Vitoria/Gasteiz	D1	512														h < 500		h ≥ 500
Zamora	D2	617													h < 800			h ≥ 800
Zaragoza	D3	207									h < 200				h < 650			h ≥ 650

Tabla 67. Zonas climáticas de la Península Ibérica. Fuente: CTE

Se considera la zona climatológica B3, con una altitud respecto del nivel del mar de 25 metros.

Se presenta a continuación un boceto de los planos de alzado y planta del edificio, con el objetivo de numerar las fachadas y evitar así errores posteriores. Los números que se encuentran fuera del dibujo, identifican un muro perpendicular al plano.

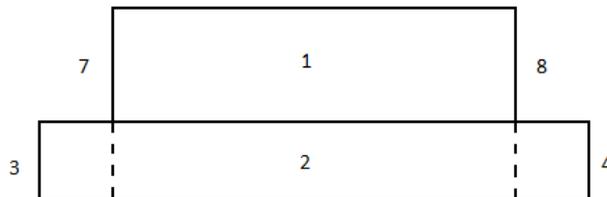


Figura 37. Alzado del edificio

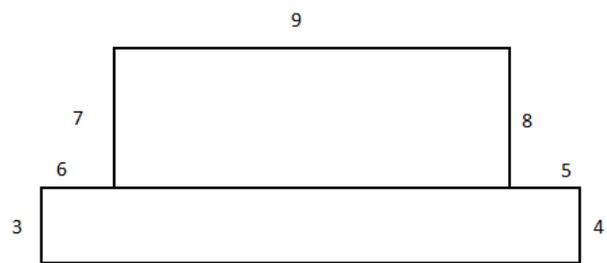


Figura 38. Planta del edificio

Una vez determinada la zona climática, se ha recurrido al software “VPCLIMA”, una simulación en la que a partir del diseño de la envolvente térmica del edificio, el programa ofrece numerosos resultados. De todos ellos, se incluirán en el informe la transmitancia térmica en muros y huecos, además de la demanda de calefacción (se analizará posteriormente).

Por simplicidad, se puede dividir el edificio en dos partes: la pista deportiva y el resto de la instalación, que contiene todos los vestuarios, habitaciones y sala de gimnasia.

- Pista deportiva. Área = 1584 m².

Elemento	Tipo	Superficie (m ²)	Transmitancia (W/m ² k)
Pared 1	Fachada	192	0,83
Pared 7	Fachada	231	0,83
Pared 8	Fachada	231	0,83

Pared 9	Fachada	336	0,83
Suelo pista	Suelo	1584	0,52
Cubierta pista	Cubierta	1584	0,45

Tabla 68. Transmitancia de cada elemento perteneciente a la pista deportiva.

Elemento	Tipo	Superficie (m ²)	Orientación	Transmitancia (W/m ² k)
Puerta emergencia 1	Puerta	3,225	NO	2,5
Puerta emergencia 2	Puerta	3,225	SE	2,5

Tabla 69. Transmitancia de cada hueco perteneciente a la pista deportiva

- Resto de la instalación. Área = 464 m².

Elemento	Tipo	Superficie (m ²)	Transmitancia (W/m ² k)
Pared 2	Fachada	174	0,83
Pared 3	Fachada	24	0,83
Pared 4	Fachada	24	0,83
Pared 5	Fachada	15	0,83
Pared 6	Fachada	15	0,83
Suelo	Suelo	464	0,52
Cubierta	Cubierta	464	0,45

Tabla 70. Transmitancia de cada elemento perteneciente al resto del inmueble

Elemento	Tipo	Superficie (m ²)	Orientación	Transmitancia (W/m ² k)
Puerta principal	Puerta	6,25	NE	2,5
Ventanas vestuarios	Ventana	0,28	NE	2,5
Ventanas sala de gimnasia	Ventana	0,21	SE	2,5

Tabla 71. Transmitancia de cada hueco perteneciente al resto del inmueble

6.1.3 Sistema de agua caliente sanitaria

El polideportivo cuenta con una caldera, dos acumuladores, un sistema de bombeo, un vaso de expansión y un intercambiador de placas.

Generalidades ACS
La instalación dispone de sistema ACS SI
Forma de producción: Con acumulación
Depósitos de acumulación : Acumuladores

Tabla 72. Generalidades ACS del Pabellón Cabezo de Torres

Este edificio cuenta con un sistema ACS con producción con acumulación, es decir, que en los momentos de demanda se utiliza el agua caliente acumulada. El agua es almacenada en dos acumuladores conectados en paralelo.

A continuación, se presentan cada uno de los componentes del sistema y sus características.

Equipo de calentamiento	
Elemento	Caldera
Número de unidades	1
Marca/modelo	Roca/ GO 50/40 GT
Combustible	Gasóleo
Fluido calefactor	Agua caliente
Capacidad de agua	25 L
Presión máxima	4 bar
Temperatura máxima	100 °C
Potencia nominal	49,8 KW
Potencia útil	45,3 W
Rendimiento	83,6 %
Temperatura humos	288 °C
% O₂	8,8%
% CO₂	9%
ppm CO	115 ppm

Coef. exceso aire	1,72
--------------------------	------

Tabla 73. Equipo de calentamiento de ACS del Pabellón Cabezo de Torres



Figura 39. Caldera y quemador ACS

Vasos de expansión	
Marca/ modelo	Roca/ VASOFLEX 35L
Capacidad de agua	35 L
Presión máxima	3 bar
Presión de llenado	0,5 bar

Tabla 74. Vaso de expansión ACS

Depósitos de acumulación		
Número de depósitos	2	
Marca y modelo	ICUEM	ICUEM
Capacidad	3000 L	3000 L
Conexión entre acumuladores	Paralelo	

Tabla 75. Acumuladores ACS

Sistema de bombeo	
Marca/ modelo	Roca/ PC-1045
Potencia	360-675 W
Velocidad de giro	1450 rpm

Tabla 76. Sistema de bombeo ACS



Figura 40. Acumulador ACS



Figura 41. Vaso de expansión



Figura 42. Sistema de bombeo ACS

Intercambiador de placas	
Marca/ modelo	ALFA LAVAL/ M3 FM
Volumen	L
Presión de diseño	10 bar
Presión prueba	13 bar
Temperatura máxima	110 °C
Número de placas	41

Tabla 77. Intercambiador sistema ACS



Figura 43. Intercambiador de placas

6.1.4 Sistema de calefacción

La instalación presenta un equipo de calefacción que, según su forma de producción, trabaja con combustible y emplea agua como modo de distribución del calor. Además, los elementos terminales del sistema son radiadores.

Generalidades	
La instalación dispone de sistema de calefacción	SÍ
Forma de producción: Por combustible	
Modo de distribución del calor: Agua	
Elementos terminales: Radiadores	

Tabla 78. Generalidades del sistema de calefacción

Además de los radiadores, se ha incluido información sobre el equipo de calentamiento (caldera) y el depósito de acumulación.

Equipo de calentamiento	
Elemento	Caldera
Número de unidades	1
Marca/ modelo	Roca/ GO 50/55 GT
Combustible	Gasóleo
Fluido calefactor	Agua caliente
Capacidad de agua	33 L
Presión máxima	4 bar
Temperatura máxima	100 °C
Potencia nominal	67,6 KW
Potencia útil	61,6 KW
Rendimiento	83,6%
Temperatura humos	262 °C
% O₂	8,8%
% CO₂	10,48%
Coef. Exceso aire	1,48
Horas operación	4 h/día

Tabla 79. Caldera de calefacción

La caldera de calefacción sólo se utiliza durante tres meses al año aproximadamente, desde diciembre hasta el mes de marzo.

Depósito de combustible	
Capacidad	5000 L

Tabla 80. Depósito de combustible del sistema de calefacción

Equipos emisores de calor		
Elemento	Radiador	Radiador
Número de módulos	13	6
Número de unidades	6	7
Zonas o locales	Vestuarios (femenino y masculino), pasillos	Vestuarios (minusválido y equipo de arbitraje)

	y sala de gimnasia	y pasillos
Marca y modelo		
Fluido	Agua	Agua
Potencia	1300 W	600 W

Tabla 81. Características de los equipos emisores de calor



Figura 44. Radiador (13 módulos) de vestuario

6.1.5 Sistema de ventilación

El edificio cuenta con un sistema de ventilación natural a través de puertas, ventanas y rejillas de ventilación. El objetivo de la ventilación de un local es conseguir unas determinadas condiciones de temperatura y humedad. Según el Reglamento de Instalaciones Térmicas de Edificios (RITE), las condiciones óptimas son las siguientes:

Tabla 1.4.1.1 Condiciones interiores de diseño		
Estación	Temperatura operativa °C	Humedad relativa %
Verano	23...25	45...60
Invierno	21...23	40...50

Tabla 82. Condiciones óptimas en el interior de un local. Fuente: RITE

La pista deportiva cuenta con dos puertas de emergencia de aproximadamente 1,50 m de ancho y 2,15 metros de largo y con un sistema de rejillas de 40 cm de ancho y 30 cm de alto, encontrándose a unos 6 metros del suelo.



Figura 45. Puerta de emergencia



Figura 46. Rejilla de ventilación

Estos elementos se encuentran dispuestos de la siguiente manera:



Figura 47. Pista deportiva vista desde arriba

La superficie marcada en azul representa los lados de la pista que contienen las rejillas de ventilación.

Para calcular el caudal mínimo de aire de ventilación en la pista, se debe conocer el aforo máximo y el caudal mínimo de aire exterior por persona. A través del RITE y el CTE se puede obtener toda esa información.

Tabla 2.1. Densidades de ocupación⁽¹⁾

<i>Uso previsto</i>	<i>Zona, tipo de actividad</i>	<i>Ocupación (m²/persona)</i>
Cualquiera	Zonas de ocupación ocasional y accesibles únicamente a efectos de mantenimiento: salas de máquinas, locales para material de limpieza, etc.	<i>Ocupación nula</i>
	Aseos de planta	3
<i>Residencial Vivienda</i>	Plantas de vivienda	20
<i>Residencial Público</i>	Zonas de alojamiento	20
	Salones de uso múltiple	1
	Vestíbulos generales y zonas generales de uso público en plantas de sótano, baja y entreplanta	2
<i>Aparcamiento⁽²⁾</i>	Vinculado a una actividad sujeta a horarios: comercial, espectáculos, oficina, etc.	15
	En otros casos	40
<i>Administrativo</i>	Plantas o zonas de oficinas	10
	Vestíbulos generales y zonas de uso público	2
<i>Docente</i>	Conjunto de la planta o del edificio	10
	Locales diferentes de aulas, como laboratorios, talleres, gimnasios, salas de dibujo, etc.	5
	Aulas (excepto de escuelas infantiles)	1,5
	Aulas de escuelas infantiles y salas de lectura de bibliotecas	2
<i>Hospitalario</i>	Salas de espera	2
	Zonas de hospitalización	15

Tabla 83. Densidades de ocupación. Fuente: RITE

Siendo el uso docente y la zona de actividad un gimnasio, se toma un valor de 5 m² por persona. Sabiendo que el área de la pista es de 1584 m²,

$$\frac{1584 \text{ m}^2}{5 \text{ m}^2/\text{persona}} = 317 \text{ personas}$$

A partir de la siguiente tabla, se obtiene el caudal mínimo por persona de aire exterior de ventilación:

Tabla 1.4.2.1 Caudales de aire exterior, en dm³/s por persona	
Categoría	dm³/s por persona
IDA 1	20
IDA 2	12,5
IDA 3	8
IDA 4	5

Tabla 84. Caudal mínimo de aire exterior de ventilación. Fuente: RITE

Al estar trabajando con un polideportivo, se toma el valor perteneciente a la categoría IDA 3: 8 dm³/s por persona. Por tanto, el caudal mínimo de ventilación será:

$$\frac{8 \text{ dm}^3}{\text{s} \cdot \text{persona}} \cdot 317 \text{ personas} \cdot \frac{\text{m}^3}{1000 \text{ dm}^3} \cdot \frac{3600 \text{ s}}{\text{h}} = 9129,6 \text{ m}^3/\text{h}$$

En cuanto a la sala de gimnasia, esta cuenta con 16 ventanas de 70x30 cm, además de una rejilla de ventilación.



Figura 48. Ventana de la sala de gimnasia

Para determinar el caudal mínimo de aire de ventilación, se seguirá el mismo procedimiento utilizado para la pista deportiva. Según la Tabla 77 y la Tabla 78, la ocupación de la sala será de 5 m² por persona, mientras que el caudal mínimo de aire será también de 8 dm³/persona. Sabiendo que la sala de gimnasia tiene un área de aproximadamente 25 m²:

$$\frac{25 \text{ m}^2}{5 \text{ m}^2/\text{persona}} = 5 \text{ personas}$$

$$\frac{8 \text{ dm}^3}{\text{s} \cdot \text{persona}} \cdot 5 \text{ personas} \cdot \frac{\text{m}^3}{1000 \text{ dm}^3} \cdot \frac{3600 \text{ s}}{\text{h}} = 144 \text{ m}^3/\text{h}$$

Otra zona a estudiar son los vestuarios masculino y femenino. Estos cuentan con una rejilla de ventilación y 8 ventanas en una pared del vestuario.



Figura 49. Ventana del vestuario femenino

Para vestuarios se tomará un valor de 3 m²/persona, además de un caudal mínimo de 8 dm³ por persona. Teniendo cada vestuario un área de 20 m²:

$$\frac{20 \text{ m}^2}{3 \text{ m}^2/\text{persona}} = 7 \text{ personas}$$

$$\frac{8 \text{ dm}^3}{\text{s} \cdot \text{persona}} \cdot 7 \text{ personas} \cdot \frac{\text{m}^3}{1000 \text{ dm}^3} \cdot \frac{3600 \text{ s}}{\text{h}} = 201,6 \text{ m}^3/\text{h}$$

A continuación, se analizarán los dos vestuarios de minusválidos y el vestuario de árbitros, ambos con un área similar de 6 m², contando únicamente con una rejilla de ventilación de 35x15 cm. Para este caso se han utilizado los mismos parámetros que en el análisis en los vestuarios masculino y femenino.

$$\frac{6 \text{ m}^2}{3 \text{ m}^2/\text{persona}} = 2 \text{ personas}$$

$$\frac{8 \text{ dm}^3}{\text{s} \cdot \text{persona}} \cdot 2 \text{ personas} \cdot \frac{\text{m}^3}{1000 \text{ dm}^3} \cdot \frac{3600 \text{ s}}{\text{h}} = 57,6 \text{ m}^3/\text{h}$$

Por último, se obtendrá el caudal mínimo para el almacén, cuarto de limpieza y habitación de primeros auxilios, todas ellas con una rendija de ventilación de 35x15 cm.

- Cuarto de limpieza y habitación de primeros auxilios. Se analizan conjuntamente, pues estas dos estancias tienen la misma área e igual densidad de ocupación.

$$\frac{6 \text{ m}^2}{2 \text{ m}^2/\text{persona}} = 3 \text{ personas}$$

$$\frac{8 \text{ dm}^3}{\text{s} \cdot \text{persona}} \cdot 3 \text{ personas} \cdot \frac{\text{m}^3}{1000 \text{ dm}^3} \cdot \frac{3600 \text{ s}}{\text{h}} = 86,4 \text{ m}^3/\text{h}$$

- Almacén. Cuenta con un área de 16 m² y, al igual que las dos zonas anteriores, una densidad de ocupación de 2 m²/persona.

$$\frac{16 \text{ m}^2}{2 \text{ m}^2/\text{persona}} = 8 \text{ personas}$$

$$\frac{8 \text{ dm}^3}{\text{s} \cdot \text{persona}} \cdot 8 \text{ personas} \cdot \frac{\text{m}^3}{1000 \text{ dm}^3} \cdot \frac{3600 \text{ s}}{\text{h}} = 230,4 \text{ m}^3/\text{h}$$

La ventilación de la sala de calderas no se puede estudiar a partir de la Tabla 77, ya que el tipo de actividad “Zonas de ocupación ocasional accesibles únicamente a efectos de mantenimiento” presenta una ocupación nula. Por tanto, el RITE (apartado IT 1.1.4.2.3, método D) ofrece la siguiente tabla:

Categoría	dm ³ /(s·m ²)
IDA 1	no aplicable
IDA 2	0,83
IDA 3	0,55
IDA 4	0,28

Tabla 85. Caudales mínimos de aire para zonas no dedicadas a ocupación permanente. Fuente: RITE

La sala de calderas tiene un área de 24 m², por lo que tomando un flujo de 0,55 dm³/(s·m²) (IDA 3),

$$\frac{0,55 \text{ dm}^3}{\text{s} \cdot \text{m}^2} \cdot 24 \text{ m}^2 \cdot \frac{\text{m}^3}{1000 \text{ dm}^3} \cdot \frac{3600 \text{ s}}{\text{h}} = 47,52 \text{ m}^3/\text{h}$$

Se ofrece a continuación, a modo de resumen, una tabla con todas las estancias y sus caudales de aire de ventilación mínimos.

Zona	Caudal mínimo de ventilación (m ³ /h)
Vestuarios masculino y femenino	201,6
Vestuario minusválidos	57,6
Vestuario árbitros	57,6
Cuarto de limpieza	86,4
Sala primeros auxilios	86,4
Pista	9.129,6
Sala de gimnasia	144
Almacén	230,4
Sala de máquinas	47,52

Tabla 86. Caudales mínimos de aire de ventilación

Al no disponer de los medidores necesarios en la toma de datos in situ, no se pueden comparar estos valores teóricos con los valores reales de la instalación.

6.1.6 Iluminación

En este apartado se tratarán las diferentes luminarias que componen el edificio, indicando el número de ellas en cada lugar del establecimiento, así como su potencia y sus horas de funcionamiento. Además, se comprobará si cumplen o no con la norma establecida.

Al no disponer de un luxómetro, aparato necesario para mediar la iluminancia real (lux) de la instalación, se ha optado por recurrir a los siguientes datos de iluminancia media aportados por la Universidad Politécnica de Cartagena

Lugar	Iluminancia (lux)
Pista deportiva	368,2
Sala de gimnasia	131,63
Vestuarios masculino y femenino	227,86
Vestuario minusválidos	105
Vestuario árbitros	137,5
Entrada al edificio	243,75
Pasillos	84,33
Sala de máquinas	89,5
Cuarto de limpieza	108,75
Sala de primeros auxilios	172,50
Almacén	163

Tabla 87. Valores de iluminancia horizontal media en cada zona. Fuente: UPCT

Estos resultados se pueden comparar con los valores de iluminancia horizontal media recomendados, proporcionados por la norma UNE-EN 12464-1.

Lugar	Iluminancia (lux)	Iluminancia recomendada (lux)	CUMPLE E_m
Pista deportiva	368,2	300	SÍ
Sala de gimnasia	131,63	300	FALTA ILUMINACIÓN
Vestuarios masculino y femenino	227,86	200	SÍ
Vestuario minusválidos	105	200	FALTA ILUMINACIÓN
Vestuario árbitros	137,5	200	FALTA ILUMINACIÓN
Entrada al edificio	243,75	100	SÍ
Pasillos	84,33	100	FALTA ILUMINACIÓN

Sala de máquinas	89,5	200	FALTA ILUMINACIÓN
Cuarto de limpieza	108,75	100	SÍ
Sala de primeros auxilios	172,50	500	FALTA ILUMINACIÓN
Almacén	163	100	SÍ

Tabla 88. Verificación iluminancia

A partir de los datos de iluminancia media proporcionados por la Universidad Politécnica de Cartagena, se obtendrá el Valor de la Eficiencia Energética de la Instalación (VEEI) por cada 100 lux, que se obtendrá mediante la siguiente expresión:

$$VEEI = \frac{P \cdot 100}{S \cdot E}$$

Los valores a introducir en la anterior igualdad son los siguientes:

- P es la potencia de las lámparas (W).
- S es la superficie iluminada (m²).
- E es la iluminancia media horizontal obtenida (lux).

Los valores del VEEI límite están reflejados en la siguiente tabla, obtenida del CTE, sección HE 3 (iluminación):

Tabla 2.1 Valores límite de eficiencia energética de la instalación

Zonas de actividad diferenciada	VEEI límite
administrativo en general	3,0
andenes de estaciones de transporte	3,0
pabellones de exposición o ferias	3,0
salas de diagnóstico ⁽¹⁾	3,5
aulas y laboratorios ⁽²⁾	3,5
habitaciones de hospital ⁽³⁾	4,0
recintos interiores no descritos en este listado	4,0
zonas comunes ⁽⁴⁾	4,0
almacenes, archivos, salas técnicas y cocinas	4,0
aparcamientos	4,0
espacios deportivos ⁽⁵⁾	4,0
estaciones de transporte ⁽⁶⁾	5,0
supermercados, hipermercados y grandes almacenes	5,0
bibliotecas, museos y galerías de arte	5,0
zonas comunes en edificios no residenciales	6,0
centros comerciales (excluidas tiendas) ⁽⁷⁾	6,0
hostelería y restauración ⁽⁸⁾	8,0
religioso en general	8,0
salones de actos, auditorios y salas de usos múltiples y convenciones, salas de ocio o espectáculo, salas de reuniones y salas de conferencias ⁽⁹⁾	8,0
tiendas y pequeño comercio	8,0
habitaciones de hoteles, hostales, etc.	10,0

Tabla 89. Valores límite de eficiencia energética de la instalación. Fuente: CTE

A continuación, se muestra el inventario de equipos de iluminación de toda la instalación:

Lugar: Pasillos	
Tipo: Fluorescente tubular	
Número de luminarias	24
Luminarias fundidas actualmente	0
Potencia lámpara	18 W
Potencia total instalada	432 W
Altura	2,5 m
Número de horas al día	5 h/día

Tabla 90. Iluminación en y pasillos

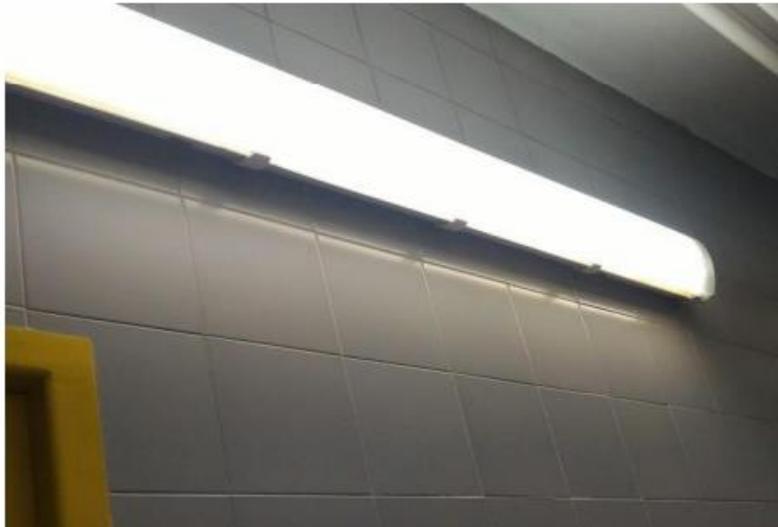


Figura 50. Tubo fluorescente en pasillo

Tomando de la Tabla 81 una iluminancia horizontal media de 84,33 lux y sabiendo que el área total a iluminar en los pasillos es de unos 67,5 m², se tiene que

$$VEEI = \frac{P \cdot 100}{S \cdot E} = \frac{432 \cdot 100}{67,5 \cdot 84,33} = 7,53$$

Se ha tomado como referencia la actividad “zonas comunes en edificios no residenciales” de la Tabla 83, con un VEEI igual a 6, por lo que supera el valor de eficiencia energética de iluminación límite.

Lugar: Pista	
Tipo: Halogenuros metálicos	
Número de luminarias	40
Luminarias fundidas actualmente	5
Potencia lámpara	400 W
Potencia total instalada	Para todas las luminarias: 16 KW Para las luminarias encendidas: 14 KW
Altura	6 m
Número de horas al día	10 h/día

Tabla 91. Iluminación en pista

Para el cálculo del VEEI en la pista, se va a considerar que no hay ningún foco fundido. Por tanto, sabiendo que la iluminancia horizontal media es de 368,2 lux y que el área total a iluminar en la pista es de 1584 m², se tiene que

$$VEEI = \frac{P \cdot 100}{S \cdot E} = \frac{16000 \cdot 100}{1584 \cdot 368,2} = 2,74$$

Se ha tomado como referencia la actividad “espacios deportivos” de la Tabla 83, con un VEEI igual a 4, por lo que el obtenido se encuentra por debajo del límite.

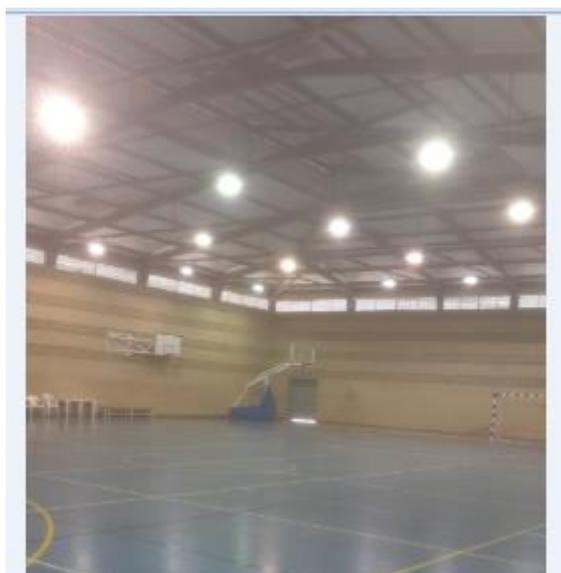


Figura 51. Halogenuros metálicos en pista

Lugar: Aseos y vestuarios	
Tipo: Fluorescente tubular	
Número de luminarias	44
Luminarias fundidas actualmente	0
Potencia lámpara	18 W
Potencia total instalada	792 W
Altura	3 m
Número de horas al día	3 h/día

Tabla 92. Iluminación en aseos y vestuarios

En la siguiente tabla se muestran las áreas de cada vestuario, así como el número de luminarias.

Vestuario	Área (m²)	Luminarias
Masculino 1	20	8
Masculino 2	20	8
Femenino 1	20	8
Femenino 2	20	8
Minusválido 1	6	2
Minusválido 2	6	2
Equipo árbitros	6	2

Tabla 93. Áreas y luminarias de cada vestuario

Por tanto, se calculará del Valor de la Eficiencia Energética de la Instalación para cada vestuario:

- Vestuarios masculino y femenino (mismas dimensiones e igual número de luminarias).

$$VEEI = \frac{P \cdot 100}{S \cdot E} = \frac{8 \cdot 18 \cdot 100}{20 \cdot 227,86} = 3,16$$

- Vestuarios de minusválidos.

$$VEEI = \frac{P \cdot 100}{S \cdot E} = \frac{2 \cdot 18 \cdot 100}{6 \cdot 105} = 5,71$$

- Vestuario del equipo de arbitraje.

$$VEEI = \frac{P \cdot 100}{S \cdot E} = \frac{2 \cdot 18 \cdot 100}{6 \cdot 137,5} = 4,36$$

Si se toma como referencia la actividad “zonas comunes en espacios no residenciales” de la Tabla 83, con un VEEI igual a 4, el valor obtenido para los vestuarios masculino y femenino es válido, mientras que el VEEI calculado para el resto de vestuarios se encuentra por encima del límite.



Figura 52. Tubo fluorescente en vestuario masculino

Lugar: Sala de gimnasia	
Tipo: Fluorescente tubular	
Número de luminarias	16
Luminarias fundidas actualmente	0
Potencia lámpara	18 W
Potencia total instalada	228 W
Altura	3 m
Número de horas al día	3 h

Tabla 94. Iluminación en la sala de gimnasia



Figura 53. Tubos fluorescentes de la sala de gimnasia

Para este caso, se sabe que la iluminancia horizontal media es de 131,63 lux, contando dicha sala con un área total de 25 m².

$$VEEI = \frac{P \cdot 100}{S \cdot E} = \frac{224 \cdot 100}{25 \cdot 131,63} = 8,75$$

Para el caso “espacios deportivos” el Valor de la Eficiencia Energética de la Instalación es igual a 4, mientras que se ha obtenido un valor igual a 8,75, muy por encima del límite.

Lugar: Otras estancias	
Tipo: Fluorescente tubular	
Número de luminarias	22
Potencia lámpara	18 W
Potencia total instalada	360 W
Altura	3 m

Tabla 95. Iluminación en otras estancias del edificio

El número de horas de uso de cada tubo depende de la estancia. Por ejemplo, en la entrada se mantiene encendido las doce horas que está abierta la instalación. Sin embargo, la sala de calderas no suele estar ocupada, por lo que los tubos fluorescentes se encuentran encendidos durante muy poco tiempo. Lo mismo ocurre con el cuarto de limpieza, la habitación de primeros auxilios o el almacén, que al estar poco transitados las luminarias funcionan pocas horas al día. Se va a estimar una media de una hora para las tres estancias.

La siguiente tabla muestra el área y el número de luminarias de cada estancia a analizar.

Estancia	Área (m²)	Luminarias
Entrada	28	10
Sala de máquinas	24	6
Habitación de primero auxilios	6	2
Cuarto de limpieza	6	2
Almacén	16	2

Tabla 96. Luminarias en el resto de estancias del edificio

Por un lado, se va a tratar primero la entrada al establecimiento. Considerando una iluminancia de 243,75 lux y un VEEI igual a 6 (“zonas comunes no residenciales”):

$$VEEI = \frac{P \cdot 100}{S \cdot E} = \frac{10 \cdot 18 \cdot 100}{28 \cdot 243,75} = 2,64$$

Se encuentra por debajo del VEEI límite, pero muy alejado. Para el caso de la sala de máquinas, se toma una iluminancia de 89,5 lux y de la Tabla 81 se toma la referencia “almacenes, archivos, salas técnicas y cocinas”, que proporciona un VEEI igual a 4.

$$VEEI = \frac{P \cdot 100}{S \cdot E} = \frac{6 \cdot 18 \cdot 100}{24 \cdot 89,5} = 5,03$$

En cuanto al almacén, con una iluminancia media de 163 lux, se toma, al igual que en el caso anterior, la referencia “almacenes, archivos, salas técnicas y cocinas”, con un VEEI límite igual a 4.

$$VEEI = \frac{P \cdot 100}{S \cdot E} = \frac{2 \cdot 18 \cdot 100}{16 \cdot 163} = 1,38$$

Por último, se analizarán el cuarto de limpieza y la habitación de primeros auxilios, ambas estancias muy similares. Al tomar iluminancias medias diferentes para cada una, se estudiarán por separado:

- Cuarto de limpieza (E = 108,75 lux). Se ha cogido la referencia “almacenes, archivos, salas técnicas y cocinas”, ya que un cuarto de limpieza puede tratarse como un almacén. El valor proporcionado por la Tabla 83 es 4, muy inferior al valor calculado.

$$VEEI = \frac{P \cdot 100}{S \cdot E} = \frac{2 \cdot 18 \cdot 100}{6 \cdot 108,75} = 5,52$$

- Habitación de primero auxilios (E = 172,5 lux). Se observa a continuación que el VEEI obtenido igual a 3,48, mientras que el valor proporcionado por la Tabla 83 (“sala de diagnóstico”) es 3,5.

$$VEEI = \frac{P \cdot 100}{S \cdot E} = \frac{2 \cdot 18 \cdot 100}{6 \cdot 172,5} = 3,48$$

Por tanto, se ha realizado la siguiente tabla, donde se recoge cada zona analizada.

Zona	VEEI límite	VEEI calculado	Cumple VEEI
Vestuario masculino (x2)	4	3,16	SÍ

Vestuario femenino (x2)	4	3,16	SÍ
Vestuario minusválidos (x2)	4	5,71	NO
Vestuario equipo arbitraje	4	4,36	NO
Pista	4	2,74	SÍ
Sala de gimnasia	4	8,75	NO
Sala de máquinas	4	5,03	NO
Cuarto de limpieza	4	5,52	NO
Habitación de primeros auxilios	3,5	3,48	SÍ
Almacén	4	1,38	SÍ
Entrada al inmueble	6	2,64	SÍ
Pasillos	6	7,53	NO

Tabla 97. Resumen luminarias de la instalación

En la tabla realizada se observan resultados muy diversos. Por un lado, tan solo los vestuarios masculino y femenino, la pista, la habitación de primeros auxilios, el almacén y la entrada al edificio presentan un VEEI inferior al límite. Sin embargo, algunos se encuentran muy por debajo de dicho valor límite, como el almacén o la entrada.

Por otro lado, el valor de eficiencia energética de iluminación en los vestuarios de minusválidos, el vestuario de árbitros, la sala de gimnasia, la sala de máquinas, el cuarto de limpieza y los pasillos es superior al límite. Para reducir su valor se debe reducir el número de luminarias en cada zona o la potencia de las mismas.

6.1.7 Otros equipos

Este apartado recoge cada uno de los equipos consumidores no incluidos anteriormente, como ascensores y montacargas, equipos ofimáticos o electrodomésticos. Al ser un establecimiento pequeño y de una sola planta, el edificio no cuenta con ascensores de ningún tipo. Simplemente se hará especial hincapié en la máquina expendedora de alimentos y bebidas situada en la entrada del edificio y en el ordenador e impresora de los que dispone el encargado.

Equipos ofimáticos	
Equipo	Ordenador
Nº unidades iguales	1

Localización	Puesto del encargado
Horas de uso	Lunes-sábado: 10 h/día Domingo: 5 h/día
Consumo normal	30 W
Consumo <i>stand by</i>	2 W

Tabla 98. Características de los equipos ofimáticos

Al no conocerse con exactitud la potencia del ordenador que se utiliza en el polideportivo, se ha realizado una media en su estado normal y en *stand by*.



Figura 54. Ordenador

También se debe incluir una máquina expendedora situada en la entrada del pabellón, que permanece activa todas las horas en las que el polideportivo está abierto.

Electrodomésticos	
Equipo	Máquina expendedora de alimentos
Nº unidades iguales	1
Localización	Entrada del edificio
Horas de uso	Todas las horas que permanece abierto el pabellón
Consumo normal	650 W

Tabla 99. Características de la máquina expendedora

Para el consumo de esta máquina también se ha realizado una estimación, por lo que es importante resaltar que dicho dato no es una medida real, tan solo una aproximación



Figura 55. Máquina expendedora

Se debe incluir también la impresora situada junto al ordenador en el puesto del encargado.

Equipos ofimáticos	
Equipo	Impresora
Nº unidades iguales	1
Localización	Puesto del encargado
Consumo normal	100 W

Tabla 100. Características de la impresora



Figura 56. Impresora

6.1.8 Demanda y consumo energético

La demanda de ACS se calcula empleando el Código Técnico de Edificación, sección HE-4, tomando los valores unitarios proporcionados por la siguiente tabla (demanda de referencia a 60°C):

Criterio de demanda	Litros/día·unidad	unidad
Vivienda	28	Por persona
Hospitales y clínicas	55	Por persona
Ambulatorio y centro de salud	41	Por persona
Hotel *****	69	Por persona
Hotel ****	55	Por persona
Hotel ***	41	Por persona
Hotel/hostal **	34	Por persona
Camping	21	Por persona
Hostal/pensión *	28	Por persona
Residencia	41	Por persona
Centro penitenciario	28	Por persona
Albergue	24	Por persona
Vestuarios/Duchas colectivas	21	Por persona
Escuela sin ducha	4	Por persona
Escuela con ducha	21	Por persona
Cuarteles	28	Por persona
Fábricas y talleres	21	Por persona
Oficinas	2	Por persona
Gimnasios	21	Por persona
Restaurantes	8	Por persona
Cafeterías	1	Por persona

Tabla 101. Demanda de referencia a 60°C. Fuente: CTE

Se tomará la cantidad de 21 litros/día·unidad, pertenecientes a “Vestuarios/Duchas colectivas” y a “Gimnasios”. A partir de este valor, se calculará la demanda para cada mes mediante la expresión

$$\text{Demanda} = c_p \cdot m \cdot \Delta T,$$

donde:

- c_p es el calor específico del agua e igual a 4,1754288 J/gK.
- El caudal másico m , obtenido a partir de la densidad del agua (1000 g/L).
- Se obtendrá la demanda de cada mes para el número máximo de usuarios (100 personas) y para el mínimo de usuarios (50 personas).

- ΔT es la variación de la temperatura, entre la temperatura de referencia (60°C) y la temperatura del agua fría. Dicha temperatura es diferente para cada mes y están recogidas igualmente en la sección HE-4 del CTE.

Mes	Temperatura (°C)
Enero	11
Febrero	11
Marzo	12
Abril	13
Mayo	15
Junio	17
Julio	19
Agosto	20
Septiembre	18
Octubre	16
Noviembre	13
Diciembre	11

Tabla 102. Temperatura diaria media mensual del agua fría en la Región de Murcia. Fuente: CTE

Por tanto, la demanda energética de agua caliente sanitaria para cada mes, para el máximo y mínimo de usuarios, se recoge en la siguiente tabla.

Mes	Días	Temperatura (°C)	Demanda ACS 100 usuarios (kWh)	Demanda ACS 50 usuarios (kWh)
Enero	31	11	3.699,77	1.849,89
Febrero	28	11	3.341,73	1.670,87
Marzo	31	12	3.624,27	1.812,13
Abril	30	13	3.434,29	1.717,14
Mayo	31	15	3.397,75	1.698,88
Junio	30	17	2.670,70	1.335,35
Julio	31	19	2.321,80	1.160,90
Agosto	31	20	1.510,11	755,06
Septiembre	30	18	2.608,60	1.304,30
Octubre	31	16	3.322,24	1.661,12
Noviembre	30	13	3.434,29	1.717,14
Diciembre	31	11	3.699,77	1.849,89
Total (kWh)			37.065,32	18.532,66

Tabla 103. Demanda mensual de ACS para el máximo y mínimo de usuarios

En cuanto a la demanda de calefacción, esta se ha obtenido a partir del software “VPCLIMA”, en el que se han introducido datos del edificio tales como fachadas, suelos, cubiertas y huecos. Los resultados obtenidos con el programa son los siguientes:

Mes	Días	Temperatura (°C)	Demanda calefacción (kWh)
Enero	31	11	1.428
Febrero	28	11	901
Marzo	31	12	629
Abril	30	13	67
Mayo	31	15	0
Junio	30	17	0
Julio	31	19	0
Agosto	31	20	0
Septiembre	30	18	0
Octubre	31	16	0
Noviembre	30	13	324
Diciembre	31	11	1.179
Total (kWh)			4.528

Tabla 104. Demanda de calefacción: Fuente: VPCLIMA

Además, el “VPCLIMA” proporciona el siguiente gráfico, referente a la demanda mensual de refrigeración y calefacción:

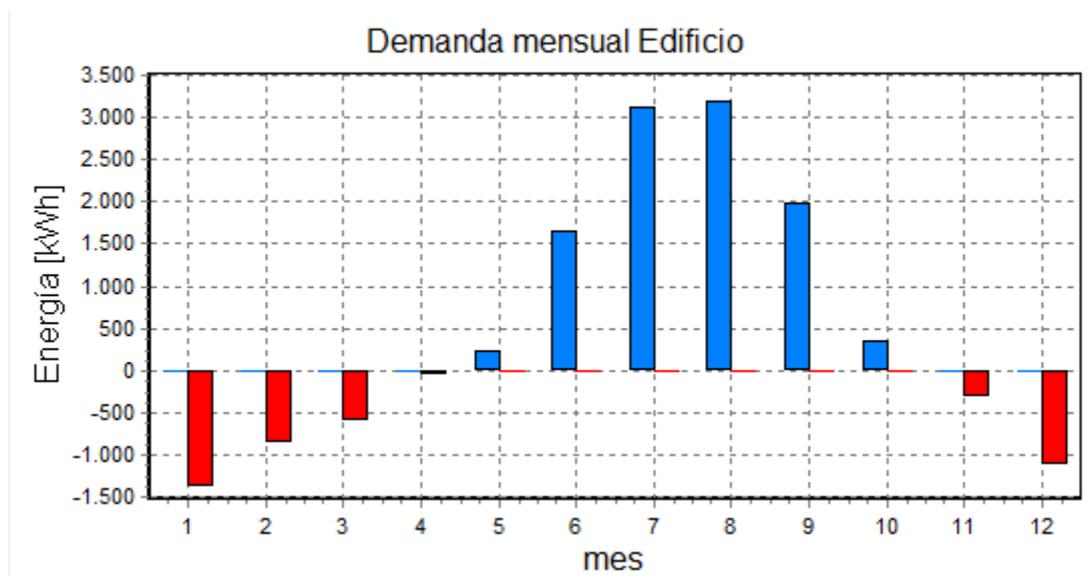


Gráfico 4. Demanda mensual de refrigeración (azul) y calefacción (rojo). Fuente: VPCLIMA

Al no disponer el edificio de un sistema de refrigeración, no se tendrá en cuenta dicha demanda.

Por tanto, se puede obtener la demanda energética total, que va a depender del número de usuarios.

- Para el máximo de usuarios.

Mes	Demanda ACS (kWh)	Demanda calefacción (kWh)	Demanda total (kWh)
Enero	3.699,77	1.428	5.127,77
Febrero	3.341,73	901	4.242,73
Marzo	3.624,27	629	4.253,27
Abril	3.434,29	67	3.501,29
Mayo	3.397,75	0	3.397,75
Junio	2.670,70	0	2.670,70
Julio	2.321,80	0	2.321,80
Agosto	1.510,11	0	1.510,11
Septiembre	2.608,60	0	2.608,60
Octubre	3.322,24	0	3.322,24
Noviembre	3.434,29	324	3.758,29
Diciembre	3.699,77	1.179	4.878,77
Total (kWh)	37.065,32	4.528	41.593,32

Tabla 105. Demanda energética total para el máximo de usuarios

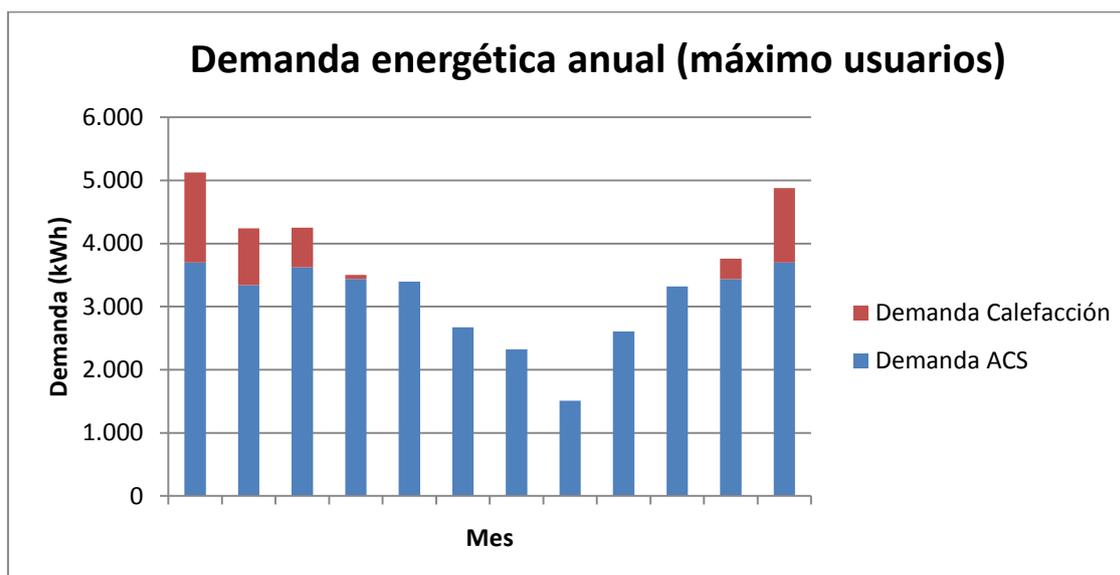


Gráfico 5. Demanda energética anual para el máximo de usuarios

- Para el mínimo de usuarios.

Mes	Demanda ACS (kWh)	Demanda calefacción (kWh)	Demanda total (kWh)
Enero	1.849,89	1.428	3.277,89
Febrero	1.670,87	901	2.571,87
Marzo	1.812,13	629	2.441,13
Abril	1.717,14	67	1.784,14
Mayo	1.698,88	0	1.698,88
Junio	1.335,35	0	1.335,35
Julio	1.160,90	0	1.160,90
Agosto	755,06	0	755,06
Septiembre	1.304,30	0	1.304,30
Octubre	1.661,12	0	1.661,12
Noviembre	1.717,14	324	2.041,14
Diciembre	1.849,89	1.179	3.028,89
Total (kWh)	18.532,66	4.528	23.060,66

Tabla 106. Demanda energética total para el mínimo de usuarios

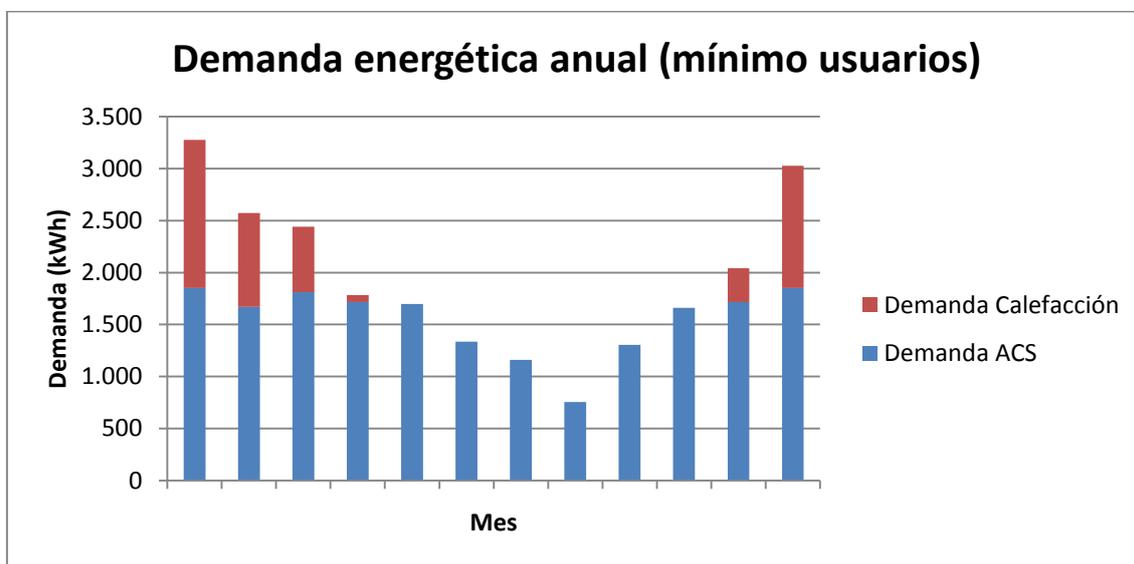


Gráfico 6. Demanda energética anual para el máximo de usuarios

En ambos casos se observa claramente un descenso de la demanda en los meses de verano (en el caso de la calefacción la demanda es nula), mientras que en los meses de invierno la demanda energética es mayor, tanto de ACS como de calefacción.

Otra variable importante a tratar en un informe de auditoría son los consumos energéticos, que muestran una medida real de cómo funciona toda la instalación.

Para los consumos de agua caliente sanitaria y calefacción, basta con dividir la demanda de cada mes por el rendimiento de la caldera en cuestión.

- Agua caliente sanitaria. Rendimiento igual a 0,836.

Máximo número de usuarios	
Mes	Consumo ACS (kWh)
Enero	4.425,57
Febrero	3.997,28
Marzo	4.335,25
Abril	4.108,00
Mayo	4.064,29
Junio	3.194,62
Julio	2.777,27
Agosto	1.806,35
Septiembre	3.120,33
Octubre	3.973,98
Noviembre	4.108,00
Diciembre	4.425,57
Total (kWh)	44.336,50

Tabla 107. Consumo energético de ACS para el máximo de usuarios

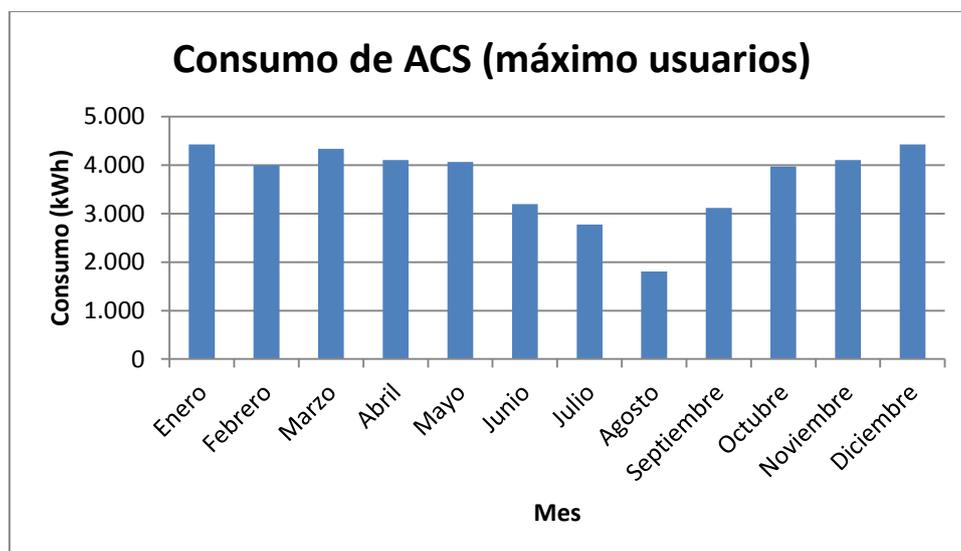


Gráfico 7. Consumo mensual de ACS para el máximo de usuarios

El consumo en los meses de invierno, otoño y primavera es muy elevado, mientras que se puede apreciar un claro descenso a partir del mes de junio hasta agosto, para luego ir creciendo hasta los 4000 kWh cada mes.

De igual forma, se ha calculado el consumo energético mensual de ACS para el mínimo de usuarios.

Mes	Consumo ACS (kWh)
Enero	2.212,78
Febrero	1.998,64
Marzo	2.167,62
Abril	2.054,00
Mayo	2.032,15
Junio	1.597,31
Julio	1.388,63
Agosto	903,18
Septiembre	1.560,16
Octubre	1.986,99
Noviembre	2.054,00
Diciembre	2.212,78
Total (kWh)	22.168,25

Tabla 108. Consumo energético de ACS para el mínimo de usuarios

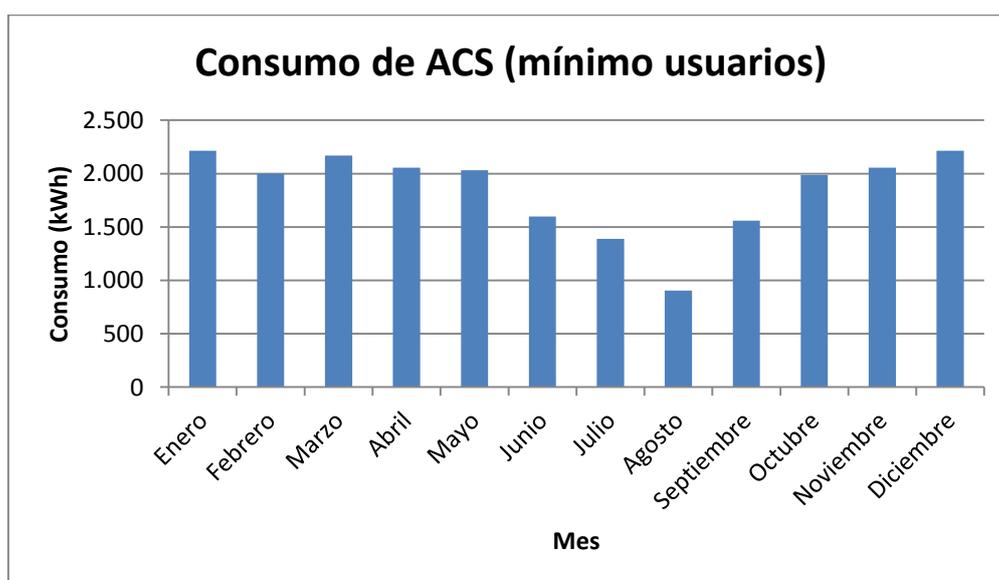


Gráfico 8. Consumo mensual de ACS para el mínimo de usuarios

- Calefacción. Rendimiento igual 0,887.

Mes	Consumo calefacción (kWh)
Enero	1.609,92
Febrero	1.015,78
Marzo	709,13
Abril	75,54
Mayo	0,00
Junio	0,00
Julio	0,00
Agosto	0,00
Septiembre	0,00
Octubre	0,00
Noviembre	365,28
Diciembre	1.329,20
Total (kWh)	5.104,85

Tabla109. Consumo mensual de calefacción

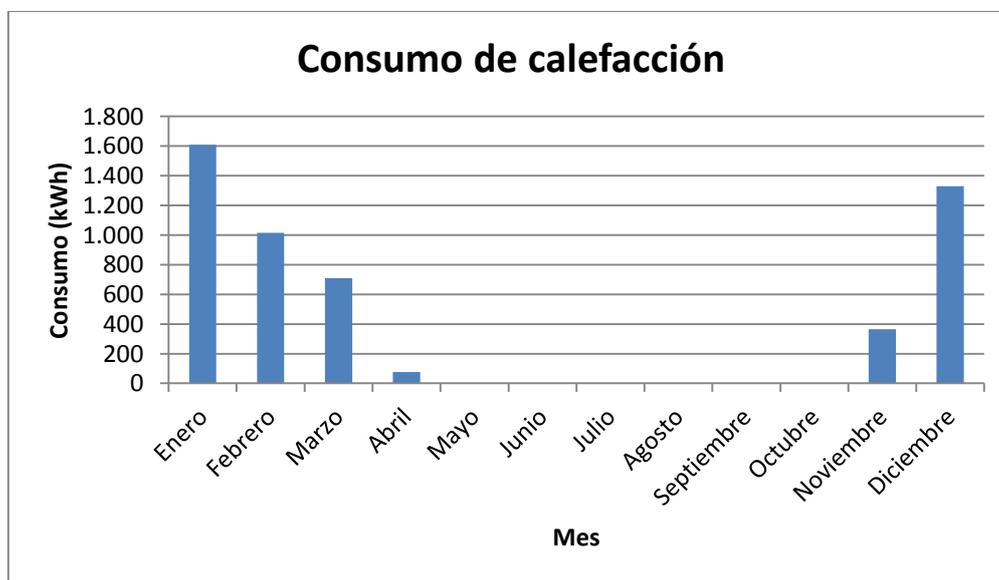


Gráfico 9. Consumo mensual de calefacción

Al igual que para el agua caliente sanitaria, el consumo de calefacción es mayor en los meses de invierno, solo que en este caso en el resto del año el consumo es nulo, ya que el sistema de calefacción no está en funcionamiento.

Además de los sistemas de ACS y calefacción, también se debe analizar el sistema de iluminación del establecimiento. Conociendo la potencia de las luminarias y el número de horas aproximadas de funcionamiento, se han calculado los consumos para cada zona del pabellón deportivo, expresados en la siguiente tabla:

Mes	Consumo iluminación (kWh)										
	Pista	Sala de gimnasia	Vestuarios MF	Vestuarios Minusválidos	Árbitros	Limpieza	Enfermería	Pasillos	Entrada	Máquinas	Almacén
Enero	3.968	17,71	11,38	0,24	0,22	0,56	0,45	53,57	50,22	1,34	0,50
Febrero	3.584	18,82	12,10	0,25	0,25	0,50	0,50	60,48	50,40	1,51	0,50
Marzo	3.968	20,83	13,39	0,28	0,28	0,56	0,56	66,96	55,80	1,67	0,56
Abril	3.840	20,16	12,96	0,27	0,27	0,54	0,54	64,80	54,00	1,62	0,54
Mayo	3.968	20,83	13,39	0,28	0,28	0,56	0,56	66,96	55,80	1,67	0,56
Junio	3.456	15,12	9,72	0,20	0,20	0,54	0,41	48,60	54,00	1,22	0,49
Julio	2.777,6	10,42	6,70	0,14	0,06	0,45	0,22	26,78	55,80	0,67	0,28
Agosto	1.587,2	2,08	2,68	0,06	0,01	0,22	0,06	13,39	27,90	0,25	0,17
Septiembre	3.456	15,12	9,72	0,20	0,20	0,54	0,41	48,60	54,00	1,22	0,49
Octubre	3.968	20,83	13,39	0,28	0,28	0,56	0,56	66,96	55,80	1,67	0,56
Noviembre	3.840	20,16	12,96	0,27	0,27	0,54	0,54	64,80	54,00	1,62	0,54
Diciembre	3.968	17,71	11,38	0,12	0,22	0,56	0,45	53,57	50,22	1,34	0,50

Tabla 110. Consumo de Iluminación en todo el establecimiento

En la siguiente tabla se muestra el consumo total anual para cada zona del inmueble, con el objetivo de ver qué porcentaje del consumo representa cada estancia.

Zona	Consumo (kWh)	Porcentaje
Pista	42.380,80	95,477
Sala	199,79	0,450
Vestuario	526,81	1,187
Pasillo	1.253,41	2,824
Otros	27,61	0,062
Total (kWh)	44.388,42	100

Tabla 111. Consumo de iluminación anual



Gráfico 10. Porcentaje del consumo de iluminación de cada zona del edificio

En el gráfico anterior se observa que alrededor del 95% del consumo de iluminación se debe a las luminarias de la pista deportiva.

Por último, se reflejará también el consumo de otros equipos del edificio, que no pertenecen a los sistemas de ACS, calefacción, ventilación o iluminación.

Mes	Días	Consumo (kWh)			
		Ordenador	Máquina expendedora	Impresora	Total
Enero	31	2,009	191,425	0,419	193,434
Febrero	28	2,016	182,000	0,420	184,016
Marzo	31	2,232	201,500	0,465	203,732
Abril	30	2,160	195,000	0,450	197,160
Mayo	31	2,232	201,500	0,465	203,732
Junio	30	2,160	195,000	0,383	197,160
Julio	31	2,232	201,500	0,326	203,732
Agosto	31	0,893	100,750	0,233	101,643
Septiembre	30	2,160	195,000	0,383	197,160
Octubre	31	2,232	201,500	0,465	203,732
Noviembre	30	2,160	195,000	0,450	197,160
Diciembre	31	2,009	191,425	0,419	193,434
Total (kWh)		24,494	2.251,600	4,875	2.276,094

Tabla 112. Consumo del resto de equipos de la instalación

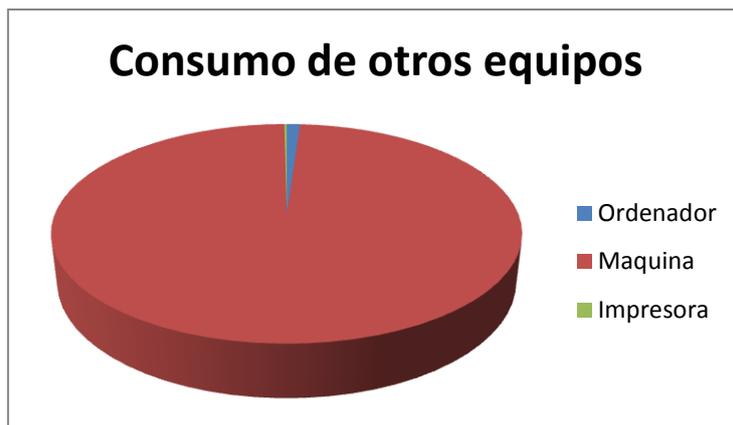


Gráfico 11. Consumo de otros equipos de la instalación

A partir del gráfico anterior se puede ver que todo el consumo relativo a los demás equipos del edificio corresponde mayoritariamente a la máquina expendedora de alimentos.

A modo de resumen, la siguiente tabla contendrá los consumos para cada sistema del edificio, así como el porcentaje que representa. Además, gracias a los datos proporcionados por el Ayuntamiento de Murcia, se sabe que en 2017 el coste de la energía fue 17,325 c€/kWh, por lo que se puede estimar el coste anual del consumo de los equipos.

- Para el máximo número de usuarios.

Sistema	Consumo (kWh)	Porcentaje (%)	Coste (€)
ACS	44.336,50	46,13	7.681,30
Calefacción	5.104,85	5,31	884,41
Iluminación	44.393,66	46,19	7.691,20
Otros equipos	2.276,09	2,37	394,33
Total	96.111,10	100,00	16.651,25

Tabla 113. Distribución del consumo energético anual para el máximo de usuarios

Se puede comprobar que para el máximo número de usuarios el consumo de agua caliente e iluminación son muy parecidos, representando ambos más del 90% del consumo total en un año.

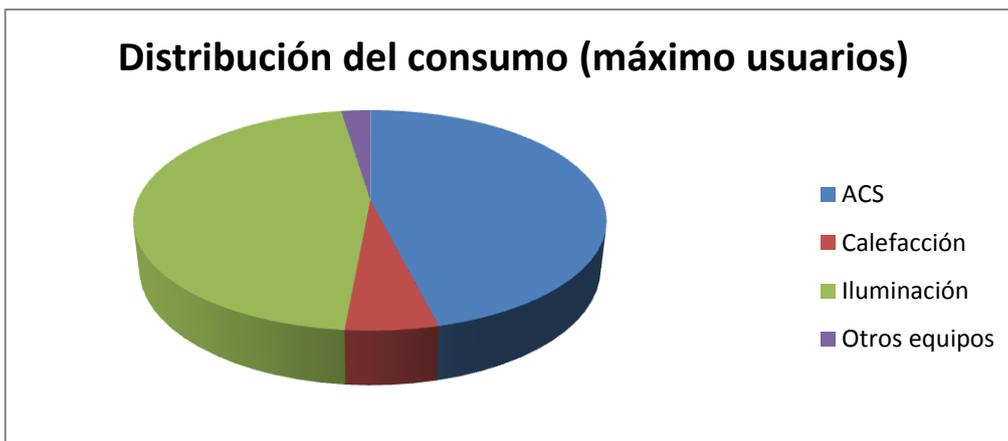


Gráfico 12. Distribución del consumo energético anual para el máximo de usuarios

A partir del Gráfico 12, se puede comprobar también que los sistemas de iluminación y ACS producen el mayor consumo, seguido del sistema de calefacción. El consumo de equipos como ordenadores, impresoras o máquinas expendedoras de alimentos es muy reducido en comparación con los demás sistemas de la instalación.

- Para el mínimo número de usuarios.

Sistema	Consumo (kWh)	Porcentaje (%)	Coste (€)
ACS	22.168,25	29,98	3.840,65
Calefacción	5.104,85	6,90	884,41
Iluminación	44.393,66	60,04	7.691,20
Otros equipos	2.276,09	3,08	394,33
Total	73.942,85	100,00	12.810,60

Tabla 114. Distribución del consumo energético anual para el mínimo de usuarios



Gráfico 13. Distribución del consumo energético anual para el mínimo de usuarios

En este caso, el consumo de iluminación representa un 60% del total, seguido del sistema de ACS (30%), el sistema de calefacción (7%) y otros equipos (3%).

Por último, se elaborará un gráfico para observar el consumo de todos los equipos cada mes durante un año, para el máximo y mínimo de usuarios. Para ello, se ha elaborado la siguiente tabla.

Mes	Consumo (kWh)		Coste (€)	
	Máximo usuarios	Mínimo usuarios	Máximo usuarios	Mínimo usuarios
Enero	10.367,49	8.154,70	1.796,17	1.412,80
Febrero	8.962,94	6.964,30	1.552,83	1.206,57
Marzo	9.417,46	7.249,83	1.631,57	1.256,03
Abril	8.415,54	6.361,54	1.457,99	1.102,14
Mayo	8.437,37	6.405,22	1.461,77	1.109,71
Junio	7.007,64	5.410,32	1.214,07	937,34
Julio	5.880,34	4.491,70	1.018,77	778,19
Agosto	3.550,11	2.646,93	615,06	458,58
Septiembre	6.933,34	5.373,17	1.201,20	930,90
Octubre	8.347,05	6.360,06	1.446,13	1.101,88
Noviembre	8.705,28	6.651,28	1.508,19	1.152,34
Diciembre	10.086,53	7.873,75	1.747,49	1.364,13
Total	96.111,10	73.942,85	16.651,25	12.810,60

Tabla 115. Consumo mensual y su coste correspondiente

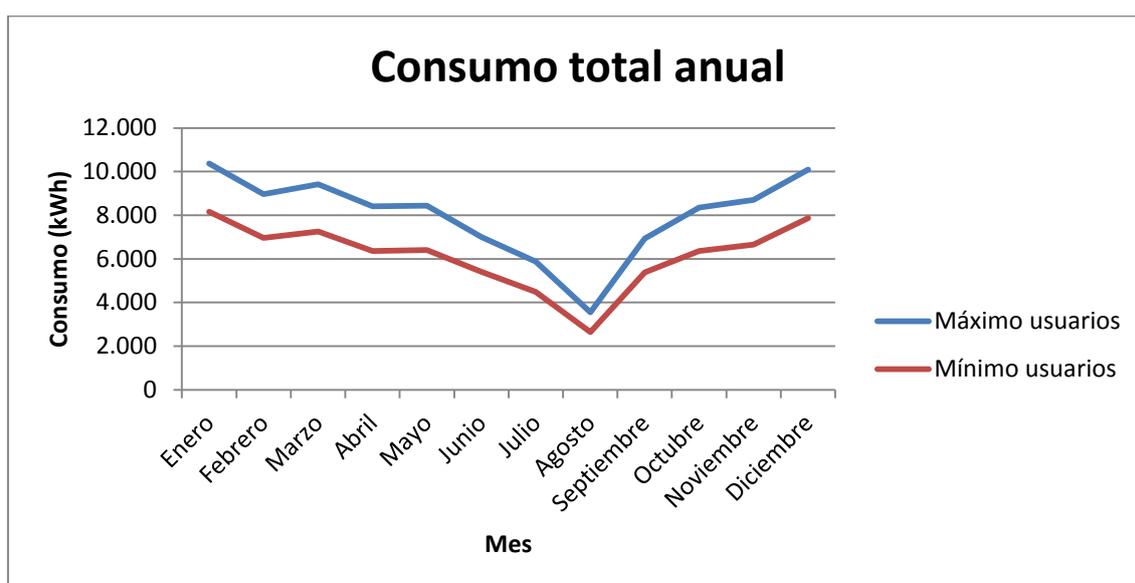


Gráfico 14. Consumo total en un año para el máximo y mínimo de usuarios.

Al igual que se ha visto en todos los gráficos, se aprecia claramente para ambos casos que el consumo se reduce en los meses de verano, ya sea por un menor uso de los equipos o por el cierre de las instalaciones durante algún período de tiempo en esos meses.

Según datos proporcionados por la Universidad Politécnica de Cartagena, los consumos de energía de los últimos tres años en el Pabellón Cabezo de Torres son los siguientes:

Año	Consumo energético (kWh)
2015	89.056,00
2016	91.721,32
2017	92.448,00

Tabla 116. Consumo energético de años anteriores

Los resultados obtenidos durante este estudio son:

- Máximo número de usuarios: 96.111,10 kWh/año.
- Mínimo número de usuarios: 73.942,85 kWh/año.

Por tanto, se puede decir que los consumos de energía obtenidos son correctos, y que los proporcionados de años anteriores se encuentran entre esos dos límites.

Para acabar, se obtendrá el consumo de combustible anual. Este se calcula a partir de la expresión

$$\text{Cantidad_combustible} = \frac{\text{Consumo_energético_anual}}{\text{PCI_combustible}}$$

El consumo energético anual hace referencia a los consumos de agua caliente sanitaria y calefacción, mientras que el poder calorífico del combustible es una constante e igual a 11,67 kWh/kg en el caso del gasóleo. El coste del combustible es de 67,40 c€/L, por lo que para poder trabajar en litros es necesario convertir la cantidad de combustible en kilogramos a partir de la densidad del gasóleo, igual a 0,85 kg/L. En este caso también se diferenciará entre máximo y mínimo de usuarios.

- Máximo número de usuarios.

Mes	Consumo calefacción+ACS (kWh)	Cantidad combustible (kg)	Cantidad Combustible (L)	Coste (€)
Enero	6.035,49	517,18	608,45	410,09
Febrero	5.013,07	429,57	505,38	340,62
Marzo	5.044,38	432,25	508,53	342,75
Abril	4.183,53	358,49	421,75	284,26
Mayo	4.064,29	348,27	409,73	276,16
Junio	3.194,62	273,75	322,05	217,06
Julio	2.777,27	237,98	279,98	188,71
Agosto	1.806,35	154,79	182,10	122,74
Septiembre	3.120,33	267,38	314,57	212,02
Octubre	3.973,98	340,53	400,62	270,02
Noviembre	4.473,27	383,31	450,96	303,95
Diciembre	5.754,76	493,12	580,15	391,02
Total	49.441,35	4.236,62	4.984,26	3.359,39

Tabla 117. Consumo de combustible mensual y su coste correspondiente para el máximo de usuarios

- Mínimo número de usuarios.

Mes	Consumo calefacción+ACS (kWh)	Cantidad combustible (kg)	Cantidad Combustible (L)	Coste (€)
Enero	3.822,70	327,57	385,37	259,74
Febrero	3.014,43	258,31	303,89	204,82
Marzo	2.876,76	246,51	290,01	195,47
Abril	2.129,53	182,48	214,68	144,70
Mayo	2.032,15	174,13	204,86	138,08
Junio	1.597,31	136,87	161,03	108,53
Julio	1.388,63	118,99	139,99	94,35
Agosto	903,18	77,39	91,05	61,37
Septiembre	1.560,16	133,69	157,28	106,01
Octubre	1.986,99	170,26	200,31	135,01
Noviembre	2.419,27	207,31	243,89	164,38
Diciembre	3.541,98	303,51	357,07	240,67
Total	27.273,10	2.337,03	2.749,44	1.853,12

Tabla 118. Consumo de combustible mensual y su coste correspondiente para el mínimo de usuarios

A continuación, se presenta un gráfico del consumo mensual de combustible, para el máximo y mínimo de usuarios.

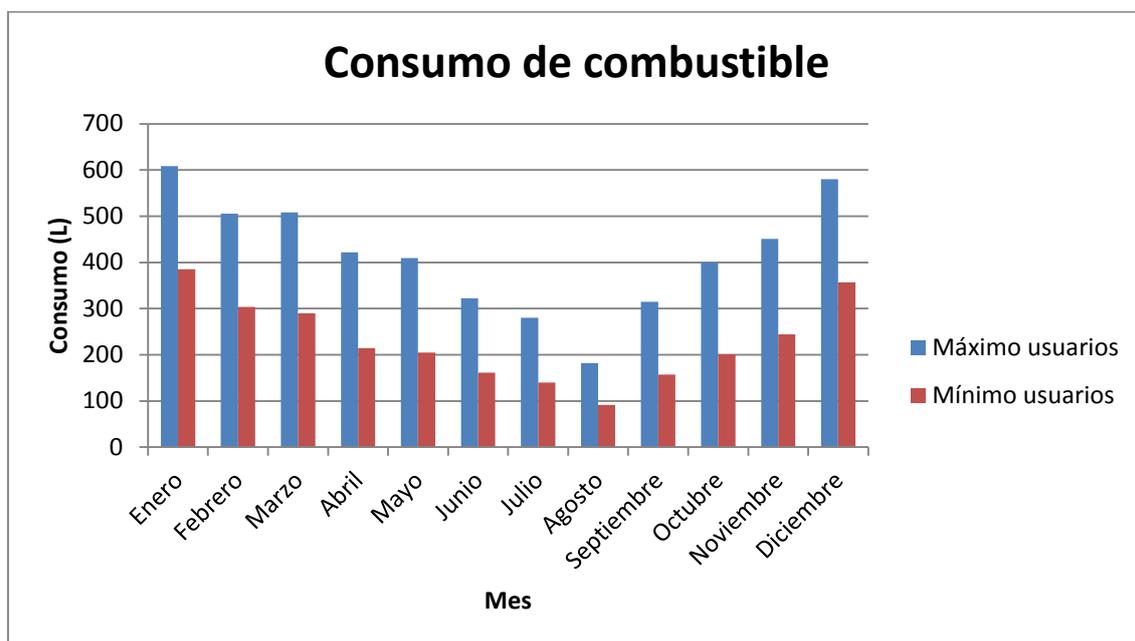


Gráfico 15. Consumo mensual de gasóleo para el máximo y mínimo de usuarios

Al igual que en el consumo energético, el gasto de combustible en los meses de verano es mucho menor que en el resto de meses del año, debido a un menor uso de los equipos de calefacción y ACS. Se puede observar cómo en los meses de invierno el consumo llega a superar los 600 litros, mientras que en los meses de menor actividad el consumo oscila entre los 100 y 250 litros.

Según los datos proporcionados por la Universidad politécnica de Cartagena, el consumo anual de combustible en litros en el año 2016 fue de 5.500 litros, valor muy próximo a los resultados obtenidos en el estudio.

Al estudiar el consumo de combustible de una caldera es inevitable analizar las emisiones de dióxido de carbono producidas. Se considerarán unas emisiones de 289 gCO₂/kWh.

Mes	Máximo usuarios		Mínimo usuarios	
	Consumo calefacción+ACS (kWh)	Emisiones CO ₂ (Tn)	Consumo calefacción+ACS (kWh)	Emisiones CO ₂ (Tn)
Enero	6.035,49	1,744	3.822,70	1,105
Febrero	5.013,07	1,449	3.014,43	0,871
Marzo	5.044,38	1,458	2.876,76	0,831
Abril	4.183,53	1,209	2.129,53	0,615

Mayo	4.064,29	1,175	2.032,15	0,587
Junio	3.194,62	0,923	1.597,31	0,462
Julio	2.777,27	0,803	1.388,63	0,401
Agosto	1.806,35	0,522	903,18	0,261
Septiembre	3.120,33	0,902	1.560,16	0,451
Octubre	3.973,98	1,148	1.986,99	0,574
Noviembre	4.473,27	1,293	2.419,27	0,699
Diciembre	5.754,76	1,663	3.541,98	1,024
Total	49.441,34	14,289	27.273,09	7,882

Tabla 119. Emisiones mensuales de CO₂ en toneladas para el máximo y mínimo de usuarios

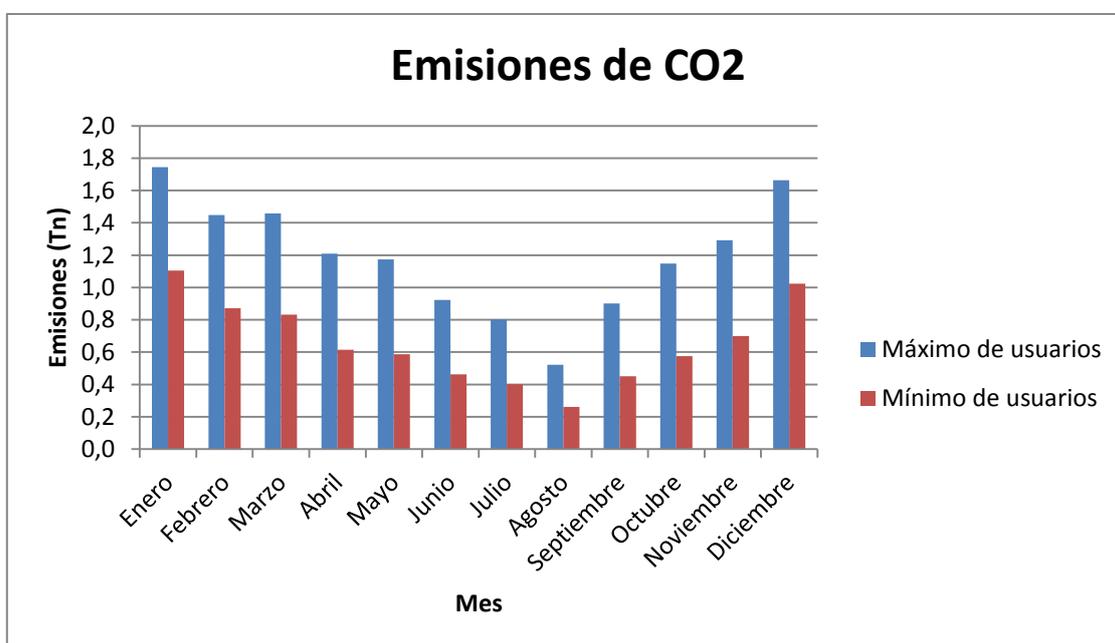


Gráfico 16. Emisiones mensuales de CO₂ para el máximo y mínimo de usuarios

En el gráfico se puede observar un descenso de las emisiones desde abril hasta octubre, por debajo de una tonelada, sobre todos en los meses de verano debido al menor uso de los sistemas de ACS y calefacción. Todo lo contrario ocurre en invierno, donde se alcanzan emisiones de casi 1,8 toneladas de CO₂.

6.1.9 Propuestas de mejora

En este apartado se presentará una serie de propuestas para mejorar el estado del edificio desde el punto de vista energético y económico. Todas ellas están destinadas a una reducción del consumo energético y, por consiguiente, una reducción en el coste. Aunque se expongan solo tres mejoras, no se cierran las posibilidades a nuevas ideas. Se proponen las siguientes reformas:

- Reemplazar las calderas de gasóleo por calderas de gas natural.
- Sustitución de las calderas actuales de gasóleo por calderas de biomasa.
- Cambiar todos los tubos fluorescentes y halogenuros metálicos por luminarias LED.

6.1.9.1 Caldera de gas natural

La sustitución de las calderas de gasóleo por calderas de gas natural se realiza con el objetivo de disminuir tanto las emisiones de CO₂ como el consumo energético, lo que conlleva una reducción del coste anual.

Para determinar la potencia de la caldera a instalar, se debe tener en cuenta la demanda total del edificio (ACS y calefacción), además del número de horas de operación al día. Se supondrá un total de ocho horas al día de funcionamiento.

Mes	Días	Temperatura (°C)	Demanda ACS (kWh)	Demanda Calefacción (kWh)	Demanda Total (kWh)
Enero	31	11	3.699,77	1.428	5.127,77
Febrero	28	11	3.341,73	901	4.242,73
Marzo	31	12	3.624,27	629	4.253,27
Abril	30	13	3.434,29	67	3.501,29
Mayo	31	15	3.397,75	0	3.397,75
Junio	30	17	2.670,70	0	2.670,70
Julio	31	19	2.321,80	0	2.321,80
Agosto	31	20	1.510,11	0	1.510,11
Septiembre	30	18	2.608,60	0	2.608,60
Octubre	31	16	3.322,24	0	3.322,24
Noviembre	30	13	3.434,29	324	3.758,29
Diciembre	31	11	3.699,77	1.179	4.878,77
Total (kWh)			37.065,32	4.528,00	41.593,32

Tabla 120. Demanda energética total del edificio para el máximo de usuarios

Para considerar toda la demanda mensual posible, se van a realizar los cálculos para el mes en el que la demanda es mayor (enero), contando con el número máximo de usuarios (100 personas por día).

Mes	Días	Demanda Total (kWh)	Demanda diaria (kWh)	Potencia (kW)
Enero	31	5.127,77	165,41	20,68

Tabla 121. Demanda energética para el mes de enero

Por tanto, se propone la instalación de la siguiente caldera, cuyas especificaciones se encuentran en la Tabla 116.



Figura 57. Caldera de gas natural

Marca	BAXI-ROCA
Modelo	24 GTAF COMBI
Combustible	Gas natural
Potencia	25,9 KW
Rendimiento	90 %
Capacidad depósito ACS	160 L
Dimensiones (mm)	600x723x1688

Producción ACS para $\Delta T=25^{\circ}\text{C}$	108 L/min
--	-----------

Tabla 122. Especificaciones técnicas de la caldera de gas natural.

Por otro lado, la siguiente tabla muestra las características principales del gas natural:

Gas natural	
PCI (kJ/kg)	39.900
PCS (kJ/kg)	44.000
Densidad (kg/m ³)	0,737
Coste (c€/kWh)	5
Emisiones (gCO ₂ /kWh)	202

Tabla 123. Propiedades del gas natural

Así, a partir de la demanda de cada mes de ACS y calefacción utilizando las calderas de gasóleo, se puede obtener el consumo de gas natural y su respectivo coste.

Mes	Días	Temperatura (°C)	Demanda ACS (kWh)	Demanda Calefacción (kWh)	Demanda Total (kWh)	Consumo Total (kWh)
Enero	31	11	3.699,77	1.428	5.127,77	5.397,65
Febrero	28	11	3.341,73	901	4.242,73	4.466,03
Marzo	31	12	3.624,27	629	4.253,27	4.477,13
Abril	30	13	3.434,29	67	3.501,29	3.685,57
Mayo	31	15	3.397,75	0	3.397,75	3.576,58
Junio	30	17	2.670,70	0	2.670,70	2.811,26
Julio	31	19	2.321,80	0	2.321,80	2.444,00
Agosto	31	20	1.510,11	0	1.510,11	1.589,59
Septiembre	30	18	2.608,60	0	2.608,60	2.745,89
Octubre	31	16	3.322,24	0	3.322,24	3.497,09
Noviembre	30	13	3.434,29	324	3.758,29	3.956,09
Diciembre	31	11	3.699,77	1.179	4.878,77	5.135,55
Total (kWh)			37.065,32	4.528,00	41.593,32	43.728,44

Tabla 124. Consumo y demanda energética con la caldera de gas natural

A continuación, se expone un gráfico comparativo de los consumos mensuales con la caldera de gasóleo y la caldera de gas natural.

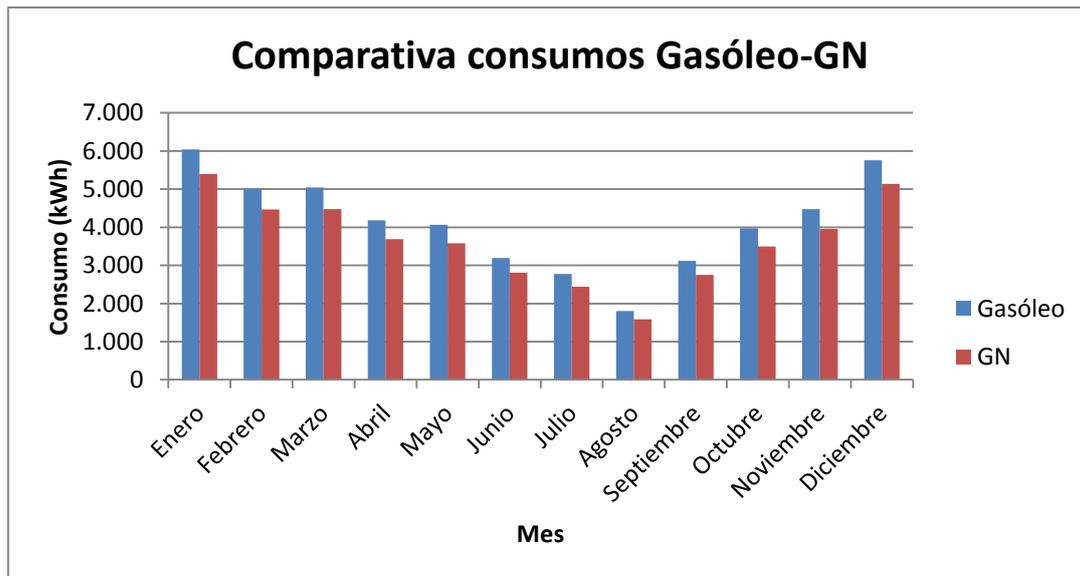


Gráfico 17. Consumo energético mensual de gasóleo y gas natural

Se puede observar la diferencia en el consumo energético cuando se utilizan calderas de gas natural, sobre todo en los meses de invierno, donde más se utilizan los sistemas de ACS y calefacción.

Esta diferencia de consumos energéticos conlleva una importante diferencia de consumo de combustible y de coste económico.

Mes	Coste gasóleo (€)	Coste GN (€)	Ahorro (€)	Ahorro (%)
Enero	410,09	269,88	140,21	34,19
Febrero	340,62	223,30	117,32	34,44
Marzo	342,75	223,86	118,89	34,69
Abril	284,26	184,28	99,98	35,17
Mayo	276,16	178,83	97,33	35,24
Junio	217,06	140,56	76,50	35,24
Julio	188,71	122,20	66,51	35,24
Agosto	122,74	79,48	43,26	35,25
Septiembre	212,02	137,29	74,73	35,24
Octubre	270,02	174,85	95,17	35,24
Noviembre	303,95	197,80	106,15	34,92
Diciembre	391,02	256,78	134,24	34,33
Total (€)	3.359,40	2.189,12	1.170,28	34,84

Tabla 125. Coste mensual de gasóleo y gas natural

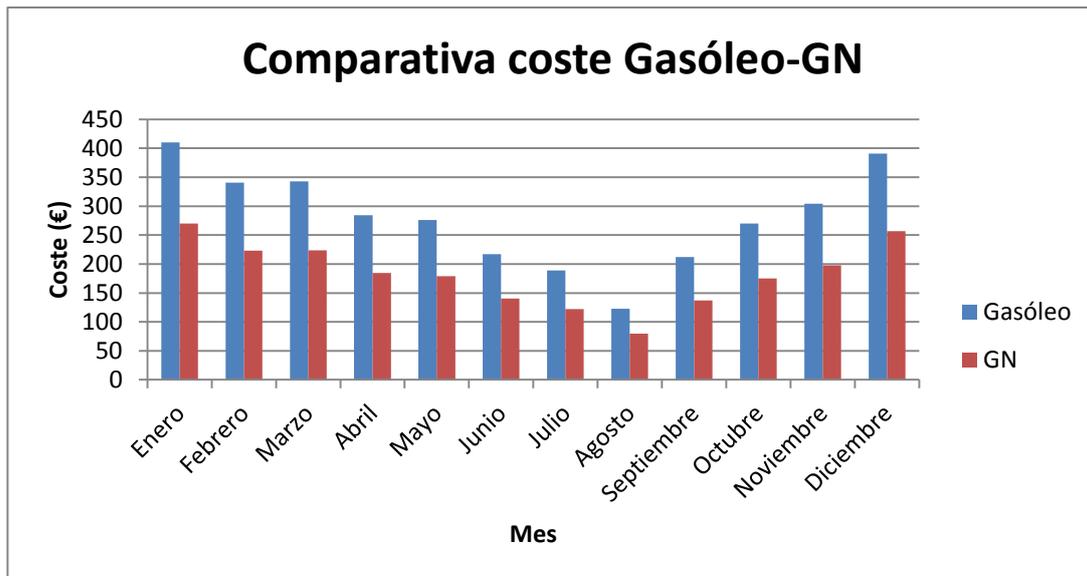


Gráfico 18. Coste mensual de gasóleo y gas natural

Lógicamente, al tener un menor consumo con el gas natural, el coste es menor que en el caso del gasóleo, logrando un ahorro anual del 34,84%.

Por último, se analizará la reducción de emisiones de CO₂, cuya cantidad es bastante menor al utilizar calderas de gas natural.

Mes	Emisiones gasóleo (Tn)	Emisiones GN (Tn)	Reducción (Tn)	Reducción (%)
Enero	1,744	1,09	0,65	37,48
Febrero	1,449	0,90	0,55	37,74
Marzo	1,458	0,90	0,55	37,97
Abril	1,209	0,74	0,46	38,42
Mayo	1,175	0,72	0,45	38,51
Junio	0,923	0,57	0,36	38,48
Julio	0,803	0,49	0,31	38,52
Agosto	0,522	0,32	0,20	38,49
Septiembre	0,902	0,55	0,35	38,51
Octubre	1,148	0,71	0,44	38,47
Noviembre	1,293	0,80	0,49	38,20
Diciembre	1,663	1,04	0,63	37,62
Total (Tn)	14,289	8,84	5,44	38,11

Tabla 126. Reducción de emisiones de CO₂ con gas natural respecto al gasóleo

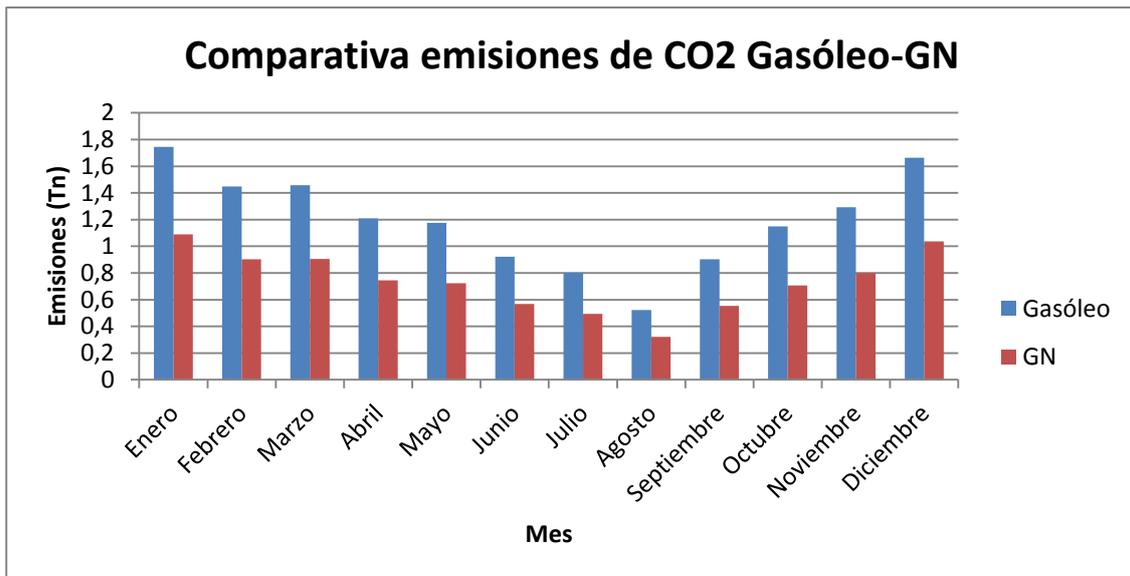


Gráfico 19. Emisiones de CO2 mensuales para gasóleo y gas natural

Se ve cómo al usar calderas de gas natural se emiten menos contaminantes, llegando a una reducción anual de los mismos de un 38,11%.

A continuación, se presenta el presupuesto detallado de la instalación de gas natural.

Elemento	Importe (€)
Caldera 24 GTAF COMBI y quemador	4.494,75
Kit de seguridad para caldera a gas	170,63
Kit de unión de caldera a vaso de expansión	108,23
Kit de montaje de grupo de bombeo	43,88
Grupo de bombeo	468,00
Colector y compensador hidráulico	302,25
Interacumulador vertical de suelo	682,50
Kit de unión de caldera al acumulador	312,00
Termostato de ambiente	45,59
Material auxiliar para instalaciones de ACS y calefacción	10,74
Depósito de gas natural	1.853,00
Acometida de gas	517,17
Conjunto de regulación con armario	181,40

Contadores de gas	1.349,41
Tubería para instalación de gas	5,13
Sistema de detección de gas	793,04
Instalaciones auxiliares	160,90
Mano de obra	1.195,77
Costes indirectos	253,89
TOTAL	12.948,28

Tabla 127. Presupuesto de la instalación de gas natural

La inversión total requerida es de 12.948,28 €. Para estudiar la viabilidad del proyecto, se deben calcular el valor actualizado neto, la tasa interna de retorno y el período de retorno de la inversión. Para ello, se va a tomar un plazo de 15 años y un interés del 2%.

VAN	2.052,96 €
TIR	4,03%
PRI	11,06 años

Tabla 128. Parámetros de rentabilidad del proyecto

El proyecto será rentable en un período de 15 años, ya que el valor actualizado neto es positivo. Además, la inversión estará recuperada en aproximadamente 11 años.

6.1.9.2 Caldera de biomasa

Las calderas de biomasa son cada vez más automáticas y fiables, generando grandes ahorros económicos y numerosos beneficios sobre el medioambiente al no emitir emisiones de CO₂ a la atmósfera.

En una instalación de biomasa, el primer paso es decidir el combustible que se va a utilizar. Los más utilizados son pellets, astilla, por lo que se va a realizar un análisis y comparativa de cada uno de ellos.



Figura 58. Pellets para calderas de biomasa



Figura 59. Astilla para calderas de biomasa

Las principales especificaciones para cada uno de estos dos combustibles son las siguientes:

	Pellets	Astilla
PCI (kWh/kg)	5,1	4,07
Densidad (kg/m ³)	650	280
Precio (€/Tn)	252,25	90,00

Tabla 129. Características de los combustibles

Al igual que en el caso de la instalación de la caldera de gas natural, se van a realizar los cálculos para el mes en el que la demanda es mayor (enero), contando con el número máximo de usuarios (100 personas por día).

Mes	Días	Demanda Total (kWh)	Demanda diaria (kWh)	Potencia (kW)
Enero	31	5.127,77	165,41	20,68

Tabla 130. Demanda energética para el mes de enero

Por tanto, se propone la instalación de una de las siguientes calderas:

Marca y modelo	FROELING T4-24
Combustible	Astilla
Potencia nominal	24 kW
Rendimiento	91 %
Peso	620 kg
Contenido de agua	105 L
Temperatura máxima	90 °C
Presión de trabajo	3 bar

Tabla 131. Características de la caldera T4-24



Figura 60. Caldera T4-24

Marca y modelo	BAXI CBP MATIC
Combustible	Pellets
Potencia nominal	24 kW
Rendimiento	90,2 %
Peso	350 kg

Tabla 132. Características de la caldera CBP MATIC



Figura 61. Caldera CBP MATIC

Una vez elegidas las calderas se compararán los consumos de energía y combustible de cada una, además de su coste.

Mes	Días	Temperatura (°C)	Demanda Total (kWh)	Consumo pellets (kWh)	Consumo astilla (kWh)
Enero	31	11	5.127,77	5.684,89	5.634,91
Febrero	28	11	4.242,73	4.703,69	4.662,34
Marzo	31	12	4.253,27	4.715,38	4.673,92
Abril	30	13	3.501,29	3.881,70	3.847,57
Mayo	31	15	3.397,75	3.766,91	3.733,79
Junio	30	17	2.670,70	2.960,86	2.934,84
Julio	31	19	2.321,80	2.574,06	2.551,43
Agosto	31	20	1.510,11	1.674,18	1.659,46
Septiembre	30	18	2.608,60	2.892,02	2.866,59

Octubre	31	16	3.322,24	3.683,19	3.650,81
Noviembre	30	13	3.758,29	4.166,62	4.129,99
Diciembre	31	11	4.878,77	5.408,84	5.361,29
Total (kWh)			41.593,32	46.112,33	45.706,95

Tabla 133. Consumo para las calderas de pellets y astilla

A continuación, se presenta un gráfico comparativo entre los consumos energéticos con caldera de gasóleo, caldera de astilla y caldera de pellets.

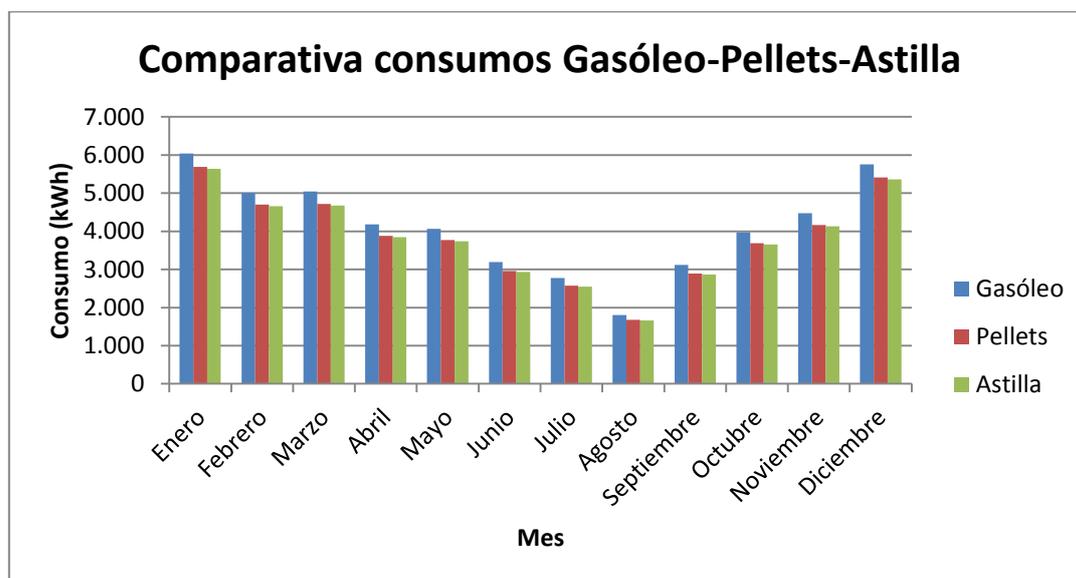


Gráfico 20. Comparación de consumos entre calderas de gasóleo, pellets y astillas

Se aprecia en el gráfico que el consumo con caldera de biomasa es inferior al que se tiene actualmente con calderas de gasóleo. También se ve que los consumos con caldera de pellets y caldera de astilla son prácticamente idénticos, siendo ligeramente inferior la caldera de astilla.

Además del consumo energético, se deberá obtener la cantidad de cada combustible consumido. Este consumo se calcula dividiendo el consumo energético por el PCI del combustible.

$$\text{Consumo_combustible (kg)} = \frac{\text{Consumo_combustible (kWh)}}{\text{PCI}}$$

Mes	Consumo Pellets (kg)	Consumo Astilla (kg)
Enero	1.114,68	1.384,50
Febrero	922,29	1.145,54
Marzo	924,58	1.148,38
Abril	761,12	945,35
Mayo	738,61	917,39
Junio	580,56	721,09
Julio	504,72	626,89
Agosto	328,27	407,73
Septiembre	567,06	704,32
Octubre	722,19	897,01
Noviembre	816,98	1.014,74
Diciembre	1.060,56	1.317,27
Total	9.041,63	11.230,21

Tabla 134. Consumo en kilogramos de cada combustible

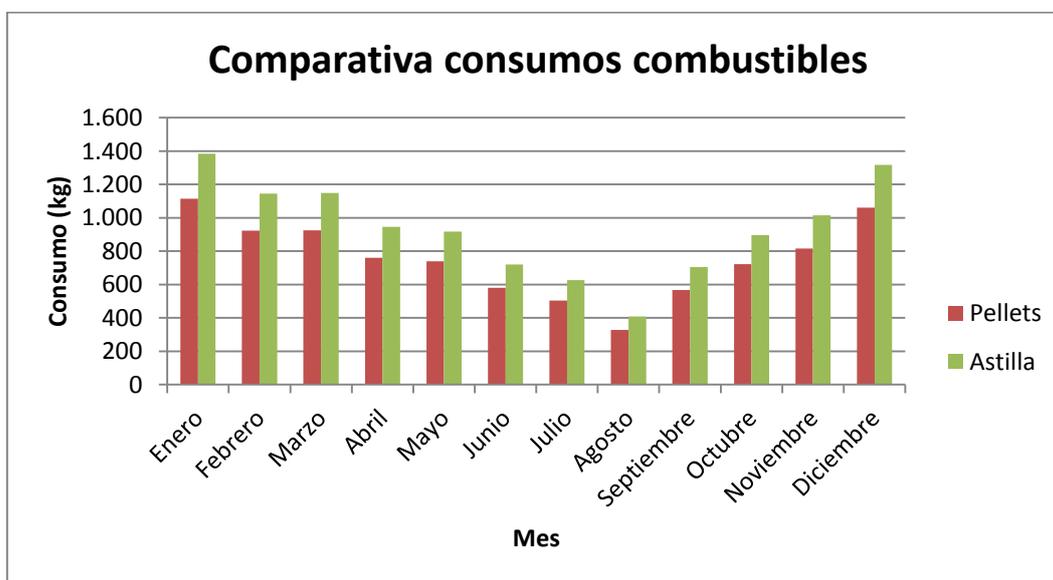


Gráfico 21. Consumo en kilogramos de cada combustible

El consumo de astilla es mayor en todos los meses, sobre todo en los meses de invierno, donde el consumo de combustible es mucho mayor.

Esta diferencia de consumos entre los diferentes combustibles conlleva una importante diferencia en el coste económico.

Mes	Coste gasóleo (€)	Coste pellets (€)	Coste astilla (€)	Ahorro pellets (€)	Ahorro astilla (€)	Ahorro pellets (%)	Ahorro astilla (%)
Enero	410,09	281,18	124,60	128,91	285,49	31,43	69,62
Febrero	340,62	232,65	103,10	107,97	237,52	31,70	69,73
Marzo	342,75	233,23	103,35	109,52	239,40	31,95	69,85
Abril	284,26	191,99	85,08	92,27	199,18	32,46	70,07
Mayo	276,16	186,31	82,57	89,85	193,59	32,53	70,10
Junio	217,06	146,45	64,90	70,61	152,16	32,53	70,10
Julio	188,71	127,31	56,42	61,40	132,29	32,53	70,10
Agosto	122,74	82,81	36,70	39,93	86,04	32,54	70,10
Septiembre	212,02	143,04	63,39	68,98	148,63	32,53	70,10
Octubre	270,02	182,17	80,73	87,85	189,29	32,53	70,10
Noviembre	303,95	206,08	91,33	97,87	212,62	32,20	69,95
Diciembre	391,02	267,53	118,55	123,49	272,47	31,58	69,68
Total	3.359,40	2.280,75	1.010,72	1.078,65	2.348,68	32,21	69,96

Tabla 135. Coste y ahorro económico mensual para con cada combustible

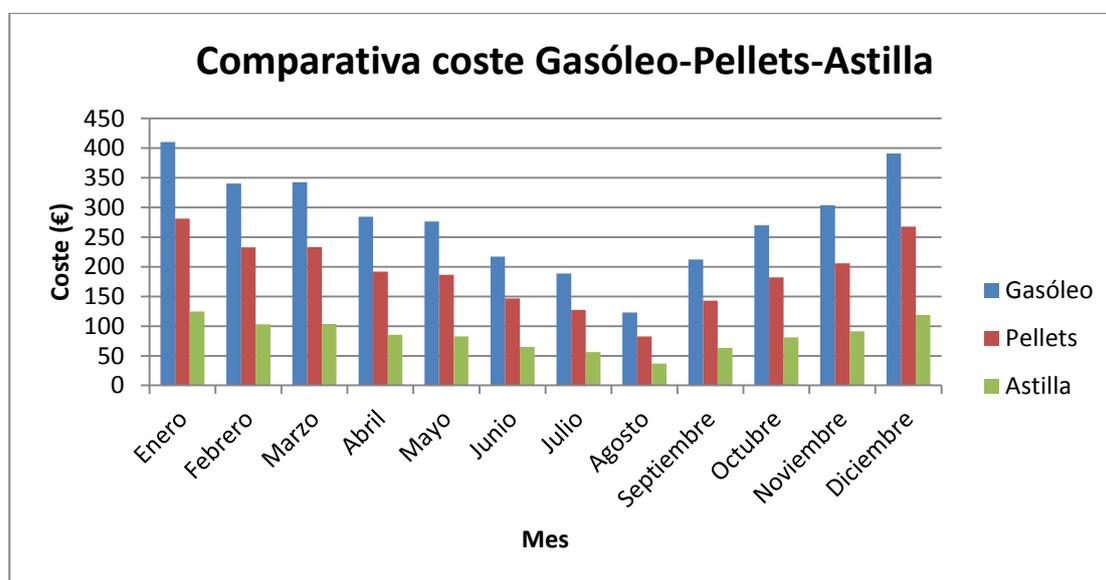


Gráfico 22. Coste mensual del consumo de gasóleo, pellets y astilla

Se observa que las calderas de biomasa son menos costosas que las de gasóleo, especialmente las que utilizan astilla.

Además de la caldera, es necesario instalar un depósito de inercia. Es simplemente un depósito acumulador que almacena calor residual en el momento de la parada de la caldera.

Se supondrá una capacidad para el depósito de 20 L/kW, por lo que, al ser las dos calderas propuestas de 24 kW, el depósito podrá acumular 480 litros de agua. Se elige por tanto el siguiente:

Marca y modelo	INEROX COOL-500L
Capacidad	500 L
Diámetro	650 mm
Altura	1401 mm
Presión	6 bar
Precio	326,32 €

Tabla 136. Características principales del depósito de inercia



Figura 62. Depósito de inercia COOL 500L

Por último, se dimensionará un silo para el almacenamiento de combustible. Según la normativa española, la capacidad del silo será la suficiente para abastecer a la caldera durante dos semanas. Para ello, se va a analizar únicamente el mes de enero, ya que es el mes con más consumo de combustible, por lo que la capacidad mínima del silo calculada en este mes será mayor que la del resto de los meses del año. Los cálculos se harán para los dos combustibles estudiados.

- Pellets.

Mes	Días	Consumo (kWh)	Consumo combustible (kg)	Consumo combustible (m ³)	Consumo diario (m ³)	Consumo quincenal (m ³)
Enero	31	5.684,89	1.114,68	1,71	0,06	0,83

Tabla 137. Dimensionamiento del silo para pellets

- Astilla.

Mes	Días	Consumo (kWh)	Consumo combustible (kg)	Consumo combustible (m ³)	Consumo diario (m ³)	Consumo quincenal (m ³)
Enero	31	5.634,91	1.384,50	4,94	0,16	2,39

Tabla 138. Dimensionamiento del silo para astilla

Por tanto, la capacidad mínima del silo será de 0,83 m³ en el caso de utilizar una caldera de pellets, y 2,39 m³ al usar astilla.

Por último, se presenta una estimación del presupuesto de toda la instalación de biomasa, tanto para astilla como para pellets.

- Pellets.

Elemento	Importe (€)
Caldera BAXI CBP MATIC	5.183
Kit de montaje de la instalación	1.651,66
Sistema de alimentación	1.806,65
Sistema de llenado del silo	6.232,22
Depósito de inercia	326,32
Mano de obra	410,03
Costes indirectos	303,99
TOTAL	15.892,28

Tabla 139. Presupuesto de la instalación de biomasa (pellets)

- Astilla.

Elemento	Importe (€)
Caldera FROELING T4-24	13.419,90
Kit de montaje de la instalación	2.957,18
Sistema de alimentación	4.399,21
Sistema de llenado del silo	6.232,22
Depósito de inercia	326,32
Mano de obra	622,37
Costes indirectos	559,14
TOTAL	28.516,34

Tabla 140. Presupuesto de la instalación de biomasa (astilla)

Para estudiar la viabilidad del proyecto, se deben calcular el valor actualizado neto, la tasa interna de retorno y el período de retorno de la inversión. Para ello, se va a tomar un plazo de 15 años y un interés del 2%.

	Pellets	Astilla
VAN	-5.950,82	1.662,46
TIR	-2,43%	2,77%
PRI	18,34 años	12,14 años

Tabla 141. Parámetros de rentabilidad del proyecto

La sustitución de la caldera de gasóleo actual por una caldera de biomasa de pellets no es una inversión rentable (VAN negativo) debido, entre otros, al alto precio unitario de los pellets y el precio de la instalación.

Al ser el precio unitario de la astilla más bajo que el de los pellets, su inversión si resulta algo rentable, pero aun así el valor actualizado neto y el TIR son muy bajos.

6.1.9.3 Sustitución de tubos fluorescentes y halogenuros por LED

Esta propuesta pretende implantar iluminación LED en todas las zonas del edificio, ya que presenta numerosos beneficios como un bajo consumo, ahorro energético y económico, poca emisión de calor y larga duración. Para determinar qué tipo de luminaria instalar, será necesario conocer los lúmenes de cada una de las que están instaladas actualmente.

Zona	Área (m ²)	Número luminarias	Potencia (W)	E (lux)	Lumen/ud mínimo
Vestuario masculino (x2)	20	8	144	227,86	570
Vestuario femenino (x2)	20	8	144	227,86	570
Vestuario minusválidos (x2)	6	2	36	105,00	315
Vestuario equipo arbitraje	6	2	36	137,50	413
Pista	1.584	40	16.000	368,20	14.581
Sala de gimnasia	25	16	288	131,63	206
Sala de máquinas	24	6	108	89,50	358
Cuarto de limpieza	6	2	36	108,75	326
Primeros auxilios	6	2	36	172,50	518
Entrada al inmueble	28	10	180	243,75	683
Pasillos	68	24	432	84,33	239
Almacén	16	2	36	163	1.304

Tabla 142. Especificaciones de iluminación de cada luminaria

Así, se pretende instalar luminarias LED con una iluminancia similar pero de menor potencia, consiguiéndose un ahorro energético y económico. Por tanto, a partir de varios catálogos de luminarias, se propone la siguiente instalación:

Zona	Número luminarias	Potencia (W/ud)	Lumen/ud	Modelo
Vestuario masculino (x2)	8	9	800	Regleta LED OSRAM BATTEN 9W
Vestuario femenino (x2)	8	9	800	Regleta LED OSRAM BATTEN 9W
Vestuario minusválidos (x2)	2	9	800	Regleta LED OSRAM BATTEN 9W
Vestuario equipo arbitraje	2	9	800	Regleta LED OSRAM BATTEN 9W
Pista	40	115	15.000	Compact High Bay S

Sala de gimnasia	16	9	800	Regleta LED OSRAM BATTEN 9W
Sala de máquinas	6	9	800	Regleta LED OSRAM BATTEN 9W
Cuarto de limpieza	2	9	800	Regleta LED OSRAM BATTEN 9W
Primeros auxilios	2	9	800	Regleta LED OSRAM BATTEN 9W
Entrada al inmueble	10	9	800	Regleta LED OSRAM BATTEN 9W
Pasillos	24	9	800	Regleta LED OSRAM BATTEN 9W
Almacén	2	15	1.650	Regleta LED Inspire MOSS 15W

Tabla 143. Propuesta de luminarias LED

Por tanto, las luminarias elegidas son las siguientes:

Marca y modelo	OSRAM BATTEN 9W
Tecnología	LED
Forma	Rectangular
Dimensiones (cm)	57,8x4,12,3
Potencia	9 W
Flujo luminoso	800 lm
Tono de luz	4000 K
Color	Blanco
Material	Plástico
Eficiencia energética	A+
Precio unitario	19,95 €/ud

Tabla 144. Especificaciones de la regleta LED OSRAM BATTEN 9W



Figura 63. Regleta LED OSRAM BATTEN 9W

Este modelo se implantará en los vestuarios masculino y femenino, vestuarios de minusválidos y del equipo de arbitraje, sala de máquinas, cuarto de limpieza, habitación de primeros auxilios, pasillos y entrada al edificio. El siguiente modelo se sugiere para el almacén.

Marca y modelo	Inspire MOSS 15W
Tecnología	LED
Forma	Rectangular
Longitud	120,9 cm
Potencia	15 W
Flujo luminoso	1650 lm
Tono de luz	4000 K
Color	Blanco
Material	Plástico
Eficiencia energética	A+
Precio unitario	19,95 €/ud

Tabla 145. Especificaciones de la regleta LED Inspire MOSS 15W



Figura 64. Regleta LED Inspire MOSS 15W

Y, por último, las luminarias a instalar en la pista deportiva siguen las siguientes especificaciones:

Marca y modelo	OSRAM-Compact High Bay S
Tecnología	LED
Forma	Circular
Diámetro	299 mm
Potencia	115W
Flujo luminoso	15.000 lm

Tono de luz	4000 K
Color	Blanco
Eficiencia energética	A+
Precio unitario	189,95 €/ud

Tabla 146. Especificaciones de Compact High Bay S



Figura 65. Compact High Bay S

Antes de evaluar el consumo de las luminarias seleccionadas, es necesario comprobar que cada una de ellas cumple con los valores recomendados de iluminación.

Zona	Área	Número luminarias	Potencia (W)	Iluminancia (lux)	Iluminancia recomendada (lux)	CUMPLE
Vestuario masculino (x2)	20	8	72	320	200	SÍ
Vestuario femenino (x2)	20	8	72	320	200	SÍ
Vestuario minusválidos (x2)	6	2	18	266,67	200	SÍ
Vestuario equipo arbitraje	6	2	18	266,67	200	SÍ
Pista	1.584	40	4.600	378,79	300	SÍ
Sala de gimnasia	25	16	144	512	300	SÍ
Sala de máquinas	24	6	54	200	200	SÍ
Cuarto de limpieza	6	2	18	266,67	100	SÍ
Primeros auxilios	6	2	18	266,67	500	NO
Entrada al inmueble	28	10	90	285,71	100	SÍ
Pasillos	68	24	216	282,35	100	SÍ
Almacén	16	2	30	206,25	200	SÍ

Tabla 147. Verificación iluminancia

Se puede observar en la tabla que la única estancia que carece de la suficiente iluminación es la habitación de primeros auxilios, ya que requiere una iluminancia muy alta. Para solucionar este problema se debería instalar, por ejemplo, una luminaria de mayor potencia.

Por otro lado, se debe calcular para cada luminaria el Valor de Eficiencia Energética de Iluminación, con el objetivo de comprobar si son aptas para su instalación y uso. Este coeficiente se calcula como

$$VEEI = \frac{P \cdot 100}{S \cdot E}$$

Zona	VEEI	VEEI límite
Vestuario masculino (x2)	1,125	4
Vestuario femenino (x2)	1,125	4
Vestuario minusválidos (x2)	1,125	4
Vestuario equipo arbitraje	1,125	4
Pista	0,777	4
Sala de gimnasia	1,125	4
Sala de máquinas	1,125	4
Cuarto de limpieza	1,125	4
Primeros auxilios	1,125	3,5
Entrada al inmueble	1,125	6
Pasillos	1,125	6
Almacén	0,909	4

Tabla 148. Cálculo del VEEI para cada zona del edificio

En la tabla anterior se puede observar que cada VEEI calculado es inferior a su respectivo VEEI límite, por lo que todas las luminarias son eficientes energéticamente.

A continuación se analizará el ahorro en el consumo energético y el coste para cada mes.

Mes	Días	Consumo original (kWh)	Consumo LED (kWh)	Ahorro (kWh)	Ahorro (%)
Enero	31	4.138,57	1.228,78	2.909,79	70,31
Febrero	28	3.765,86	1.124,19	2.641,67	70,15
Marzo	31	4.169,35	1.244,63	2.924,71	70,15
Abril	30	4.034,85	1.204,49	2.830,37	70,15

Mayo	31	4.169,35	1.244,63	2.924,71	70,15
Junio	30	3.615,85	1.075,85	2.540,00	70,25
Julio	31	2.899,34	861,01	2.038,33	70,30
Agosto	31	1.642,11	484,13	1.157,98	70,52
Septiembre	30	3.615,85	1.075,85	2.540,00	70,25
Octubre	31	4.169,35	1.244,63	2.924,71	70,15
Noviembre	30	4.034,85	1.204,49	2.830,37	70,15
Diciembre	31	4.138,33	1.228,66	2.909,67	70,31
Total		44.393,66	13.221,34	31.172,31	70,22

Tabla 149. Ahorro energético con luminarias LED

En la tabla anterior se ve cómo el ahorro es prácticamente el mismo en todos los meses, un 70%. Este ahorro conseguido se observa mejor en el siguiente gráfico.

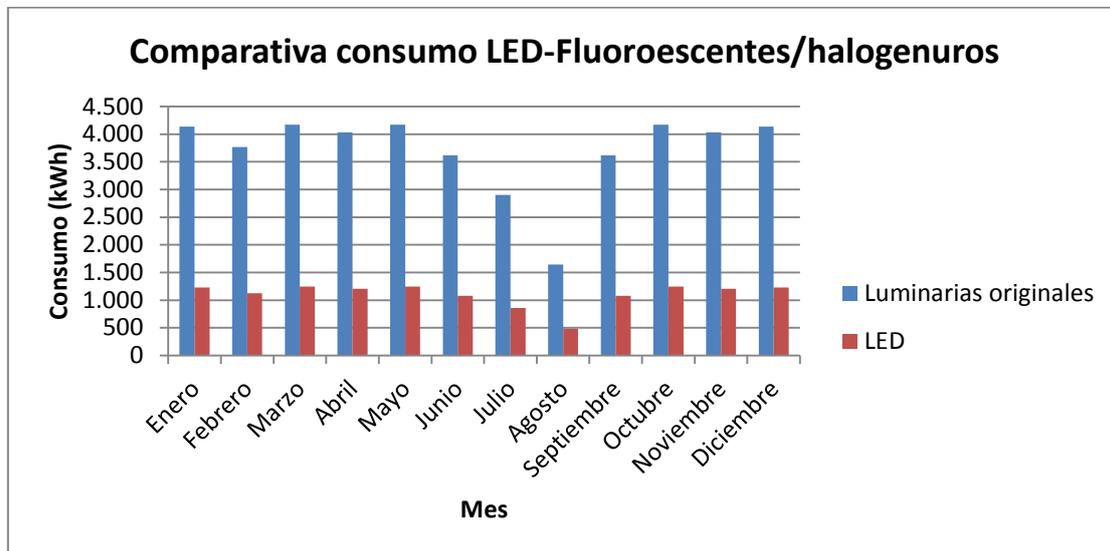


Gráfico 23. Comparativa entre el consumo LED y las luminarias actuales

Se aprecia en todos los meses una reducción del consumo energético de iluminación de aproximadamente el 70%.

En cuanto al coste mensual, a continuación se verá que también queda bastante reducido. Se considerará un coste de la energía de 17,325 c€/kWh.

Mes	Días	Coste actual (€)	Coste LED (€)	Ahorro (€)	Ahorro (%)
Enero	31	717,01	212,89	504,12	70,31
Febrero	28	652,44	194,77	457,67	70,15
Marzo	31	722,34	215,63	506,71	70,15
Abril	30	699,04	208,68	490,36	70,15

Mayo	31	722,34	215,63	506,71	70,15
Junio	30	626,45	186,39	440,06	70,25
Julio	31	502,31	149,17	353,14	70,30
Agosto	31	284,50	83,88	200,62	70,52
Septiembre	30	626,45	186,39	440,06	70,25
Octubre	31	722,34	215,63	506,71	70,15
Noviembre	30	699,04	208,68	490,36	70,15
Diciembre	31	716,97	212,87	504,10	70,31
Total		7.691,20	2.290,60	5.400,60	70,22

Tabla 150. Ahorro en el coste de iluminación

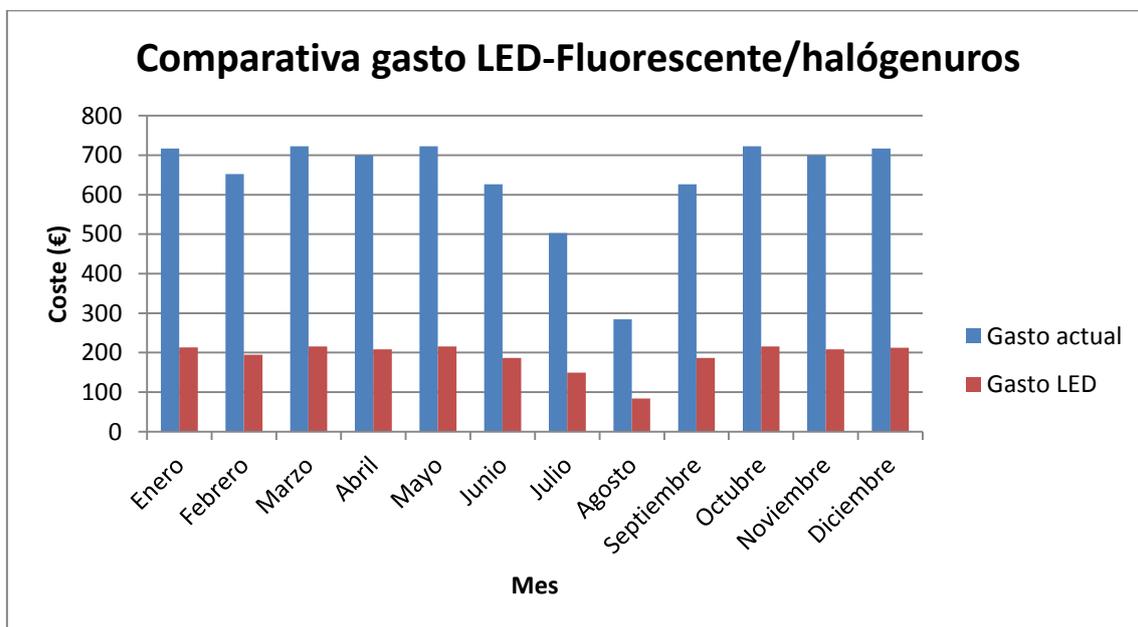


Gráfico 24. Comparativa entre el gasto LED y las luminarias actuales

Se reduce por tanto un 70 % el gasto mensual de iluminación debido a la instalación de LED en todas las zonas del inmueble. De este modo, el ahorro tanto energético como económico en un año es el siguiente:

Ahorro energético	31.172,31 kWh
Ahorro económico	5.400,60 €

Tabla 151. Ahorro en consumo y coste en un año debido a la instalación LED

A continuación, se propone una estimación del presupuesto de la instalación de luminarias LED en el edificio:

Elemento	Importe (€)
Regleta LED OSRAM BATTEN 9W (x98)	1.955,10
Foco Compact High Bay S (x40)	7.598
Regleta LED Inspire MOSS 15W (x2)	39,90
Equipos auxiliares	3.500
Mano de obra	21,65
Costes indirectos	262,29
TOTAL	13.376,24

Tabla 152. Presupuesto de la instalación de luminarias LED

La inversión total requerida es de 13.376,24 €. Para estudiar la viabilidad del proyecto, se deben calcular el valor actualizado neto, la tasa interna de retorno y el período de retorno de la inversión. Para ello, se va a tomar un plazo de 7 años y un interés del 2%.

VAN	24.497,96 €
TIR	35,58%
PRI	2,48 años

Tabla 153. Parámetros de rentabilidad del proyecto

Al ser el VAN positivo, el proyecto será completamente rentable. Además, el TIR es del 35,58%, lo que también indica una gran rentabilidad. La inversión se recuperará en aproximadamente dos años y medio.

6.1.9.4 Resumen de propuestas

Propuesta	Inversión (€)	Ahorro anual (€)	VAN (€)	TIR (%)	PRI (años)	RENTABLE
Caldera gas natural	12.948,28	1.170,28	2.052,96	4,03	11,06	SÍ
Caldera biomasa (pellets)	15.892,28	1.078,65	-2.032,43	0,22	18,34	NO
Caldera biomasa (astilla)	28.516,34	2.348,68	1.662,46	2.77	12.14	SÍ
LED	13.376,24	5.400,16	24.497,96	35,58	2,48	SÍ

Tabla 154. Resumen de las medidas propuestas

7. Resultados globales

En este apartado se ha realizado una comparación entre los resultados obtenidos en los tres informes realizados, para determinar las diferencias entre cada uno de ellos.

En primer lugar, se analizará la diferencia de consumo energético anual y su respectivo coste a través de las siguientes gráficas:

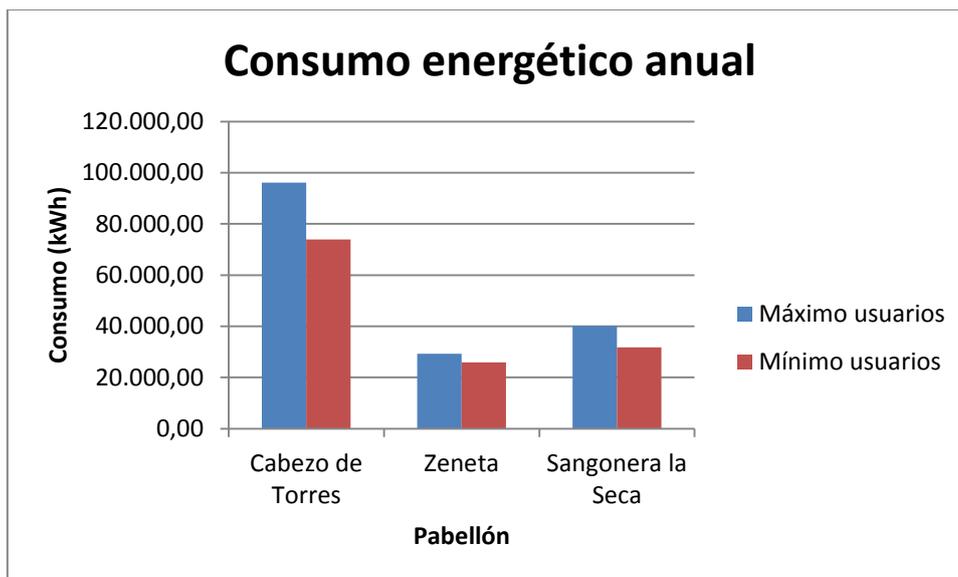


Gráfico 25. Consumo energético anual de cada pabellón

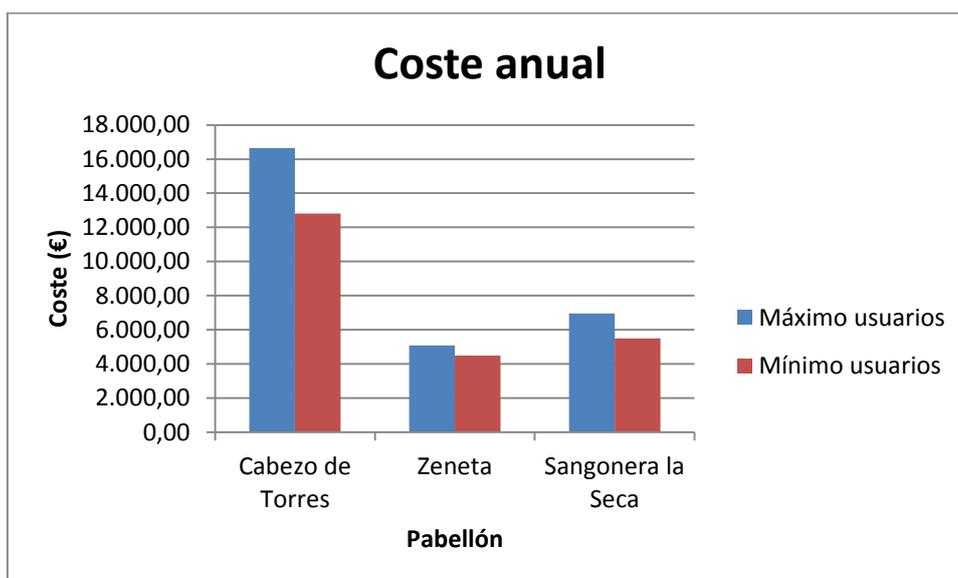


Gráfico 26. Coste anual de cada pabellón

En ambas gráficas se observa claramente que el Pabellón Cabezo de Torres es que más consumo energético presenta y, por tanto, mayor gasto económico conlleva. Esto es debido a que la instalación es mayor que los otros dos casos y, sobre todo, al número de usuarios que utilizan las instalaciones diariamente. El Pabellón Cabezo de Torres cuenta con un mínimo de cincuenta y un máximo de cien usuarios diarios, mientras que el Pabellón Zeneta oscila entre los quince y treinta usuarios al día y el Pabellón Sangonera la Seca entre veinte y cuarenta.

Además, es de gran utilidad estudiar las diferencias entre el Pabellón Zeneta y el Pabellón Sangonera la Seca. Ambos polideportivos presentan la misma estructura y distribución, siendo la única diferencia entre ellos que el Pabellón Zeneta cuenta con un instalación solar térmica, lo que reduce notablemente el consumo. En la gráfica se puede ver que el consumo del Pabellón Sangonera la Seca está comprendido entre 40.000-30.000 kWh/año, mientras que el consumo energético del Pabellón Zeneta es inferior a los 30.000 kWh/año.

Otro aspecto a tener en cuenta es el consumo del combustible utilizado (gasóleo en este caso) y las emisiones de CO₂ emitidas al ambiente.

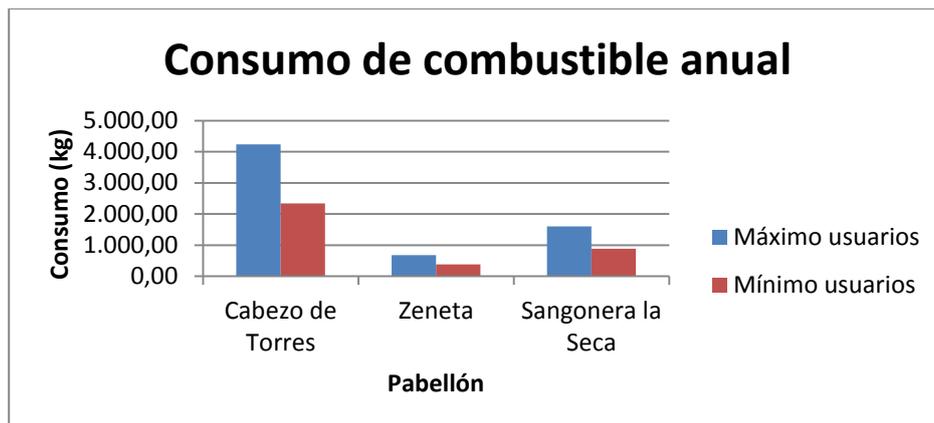


Gráfico 27. Consumo de gasóleo anual para cada pabellón

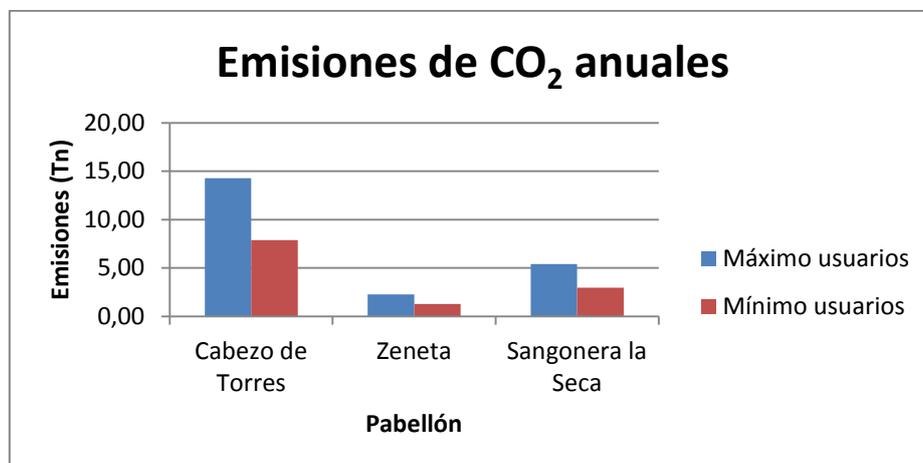


Gráfico 28. Toneladas de CO₂ anuales emitidas por cada pabellón

Del mismo modo, el consumo anual de combustible y las toneladas de CO₂ emitidas son mayores en el Pabellón Cabezo de Torres, debido al mayor número de usuarios y al mayor uso de las instalaciones. Para los otros dos pabellones, se aprecia claramente que el uso de placas solares por parte del Pabellón Zeneta permite una reducción del consumo de combustible y de las emisiones de CO₂, aportando una reducción de aproximadamente el 50%, comparado con el Pabellón Sangonera la Seca.

Por último, se ha realizado una comparación de la viabilidad de las propuestas de mejora: sustitución de las caderas de gasóleo por calderas de gas natural y biomasa e implementación de luminarias LED en toda la instalación.

- Caldera de gas natural.

Pabellón	VAN (€)	TIR (%)	PRI (años)
Cabezo de Torres	2.052,96	4,03	11,06
Zeneta	-8.686,88	-14,20	63,03
Sangonera la Seca	-5.693,31	-6,54	26,87

Tabla 155. Viabilidad de la instalación de gas natural para cada pabellón

El Pabellón Cabezo de Torres es el único rentable para la instalación de gas natural. En los otros dos pabellones el ahorro anual que se consigue con una caldera de gas natural es muy pequeño frente a la gran inversión que supone.

- Caldera de biomasa. Se ha realizado el estudio con dos distintos combustibles: pellets y astillas.

Combustible: pellets			
Pabellón	VAN (€)	TIR (%)	PRI (años)
Cabezo de Torres	-2.032,43	0,22	18,34
Zeneta	-12.968,03	-17,42	95,56
Sangonera la Seca	-10.276,99	-10,51	40,78

Tabla 156. Viabilidad de la instalación de caldera de pellets para cada pabellón

Combustible: astilla			
Pabellón	VAN (€)	TIR (%)	PRI (años)
Cabezo de Torres	1.662,46	2,77	12,14
Zeneta	-23.772,67	-15,81	77,24
Sangonera la Seca	-17.311,67	-8,46	32,7

Tabla 157. Viabilidad de la instalación de caldera de astillas para cada pabellón

La instalación y mantenimiento de una caldera de biomasa es muy costoso. En el caso de utilizar pellets como combustible, en ninguno de los pabellones resulta rentable la instalación. Sin embargo, al emplear astilla como combustible, en el Pabellón Cabezo de Torres sí es rentable la sustitución por la actual de gasóleo, ya que el ahorro anual es considerable.

- Luminarias LED.

Pabellón	VAN (€)	TIR (%)	PRI (años)
Cabezo de Torres	24.497,96	35,58	2,48
Zeneta	5.130,75	5,96	9,73
Sangonera la Seca	9.801,53	9,72	7,73

Tabla 158. Viabilidad de la instalación de luminarias LED para cada pabellón

Debido a su bajo precio y alto ahorro en el consumo energético anual, cada uno de los tres polideportivos puede permitirse la sustitución de las luminarias actuales por LED.

8. Conclusión

Al estudiar la eficiencia energética de un edificio o instalación es fundamental realizar una auditoría energética, mediante una visita a la instalación y una toma de datos. El principal objetivo de este proyecto ha sido el desarrollo de una serie de fichas técnicas o plantillas, en las que se debe incluir toda la información posible acerca del edificio a auditar. Esta información incluye datos sobre el uso de la instalación, estructura, consumos, especificaciones técnicas de equipos, etc.

A partir de toda la información recogida, se estudian las diferentes alternativas de ahorro energético evaluando el coste y rentabilidad de las propuestas. Para ello, se han realizado tres informes de auditoría para tres pabellones seleccionados, indicando de manera ordenada toda la información y datos obtenidos en la visita a dichos polideportivos, un desglose del consumo energético y de combustible, coste económicos y toneladas de CO₂ emitidas al exterior y una serie de propuestas con el fin de conseguir un ahorro energético, económico y de emisión de contaminantes.

Aunque no se pudo recoger toda la información necesaria durante las visitas a los pabellones, se han podido realizar tres informes bastante completos. El Pabellón Cabezo de Torres dispone de un gran número de usuarios al día, lo que hace que el consumo energético anual sea bastante elevado. Por ello, es bastante recomendable realizar algunas de las reformas propuestas para disponer del mejor estado posible de las instalaciones y conseguir que los usuarios se sientan confortables durante la estancia en el pabellón, así como la reducción del consumo y las emisiones de contaminantes.

En cuanto a los pabellones de Zeneta y Sangonera la Seca (ver anexos 1 y 2), estos cuentan con un bajo número de usuarios que disponen de las instalaciones cada día, por lo que el consumo es menor. Por ello, algunas de las medidas propuestas no son económicamente viables, ya que el ahorro energético y económico es muy bajo comparado con la gran inversión inicial. Sin embargo la sustitución de las luminarias actuales por LED es bastante rentable, debido al alto ahorro conseguido al año.

9. Bibliografía

- www.energiamurcia.eu Agencia Local de la Energía y el Cambio Climático, ALEM.
- www.argem.es Agencia Regional de Gestión de la Energía de Murcia.
- www.ciemat.es Página del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas.
- www.ieabioenergy.com Sección de biomasa y biocombustibles de la Agencia Internacional de la Energía.
- www.idae.es Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, IDAE.
- Biomasa, Fundamentos, Tecnologías y Aplicaciones.
- IDAE. Guía técnica. Mantenimiento de instalaciones térmicas.
- IDAE. Guía técnica. Procedimientos para la determinación del rendimiento energético de plantas enfriadoras de agua y equipos autónomo de tratamiento de aire.
- IDAE. Guía técnica. Torres de refrigeración.
- IDAE. Guía técnica. Procedimiento de inspección periódica de eficiencia energética para calderas.
- Enrique Borrás Brucart: Gas natural: Características, distribución y aplicaciones industriales. Editores Técnicos Asociados, 1987.
- Centro de Estudios de la Energía. Técnicas de Conservación Energética en la Industria. Ministerio de Industria y Energía, 1982.
- UNE-EN 16247-1. Auditorías Energéticas. Parte 1: Requisitos generales.
- UNE-EN 16247-2. Auditorías Energéticas. Parte 2: Edificios.
- UNE-EN 12464-1:2003. Iluminación de los lugares de trabajo. Parte 1: Lugares de trabajo en interiores.

- Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión, REBT.
- Código Técnico de Edificación, CTE.
- Reglamento de Instalaciones Térmicas de Edificios, RITE.
- www.grupobiosan.com, catálogo de productos.
- www.baxi.es, catálogo de productos.
- www.froeling.com, catálogo de productos.
- www.junkers.com, catálogo de productos.
- www.siteco.com, catálogo de productos.
- www.osram.com, catálogo de productos.
- www.leroymerlin.com, catálogo de productos.
- www.ledmatel.com, catálogo de productos.
- www.masterled.es, catálogo de productos.
- www.opple.es, catálogo de productos.
- Apuntes de la asignatura *Eficiencia Energética de Edificios (GITI)*, por Fernando Illán Gómez.

ANEXOS

Anexo 1. Informe del Pabellón Zeneta

1. Datos generales de la auditoría

Datos generales de la auditoría	
Número de la auditoría	002
Fecha de la auditoría	30/05/2018
Número de edificios a auditar	3
Auditor	Javier Fuentes García
Empresa	Universidad Politécnica de Cartagena
Firma	

Tabla 159. Características de la auditoría

2. Características generales y constructivas del edificio

El edificio a auditar es el Pabellón Zeneta, situado en la calle Camino Belmontes 6, Murcia.

Información general	
Nombre de la instalación	Pabellón Zeneta
Uso principal	Polideportivo
Dirección	Calle Camino Belmontes, 6
Municipio	Murcia
Provincia	Murcia
Persona de contacto	José Ángel Sánchez
Correo electrónico o número de teléfono	968 811 363

Tabla 160. Información general del Pabellón Zeneta



Figura 66. Exterior del Pabellón Zeneta



Figura 67. Pabellón Zeneta visto desde el aire

El edificio consta de una pista deportiva, vestuario femenino, vestuario masculino, vestuario para minusválidos, vestuario del equipo de arbitraje, un almacén, un cuarto de limpiezas y la sala de máquinas.



Figura 68. Pista deportiva



Figura 69. Sala de calderas

Régimen de funcionamiento	
Número de usuarios por día	15-30 usuarios/día
Número aproximado de trabajadores	5-10
Descripción de las tareas más habituales	
Clases de Educación Física (alumnos de Primaria y ESO) y alquiler de la pista para actividades deportivas.	
Horario habitual	Lunes a viernes: 8.30- 23.30 Sábado: 8.00 – 21.00 Domingo: 9.00 – 15.00
Días de la semana en los que el centro no abre	
Sábado y domingo (horario más reducido)	
Meses de mayor inactividad	
Julio (menos actividades deportivas) Agosto (cerrado 15 días)	

Tabla 161. Régimen de funcionamiento del Pabellón Zeneta

El centro se encuentra abierto de lunes a viernes de 8.30 a 23.30, es decir, quince horas diarias. Los sábados abren trece horas, mientras que los domingos son seis. Teniendo en cuenta que durante la segunda quincena de agosto cierran las instalaciones y tomando como media unos diez días festivos al año, el número de horas de operación anuales es aproximadamente de:

$$15 \times (365 - 52 \times 2 - 12 - 10) = 3585 \text{ h/año (lunes – viernes).}$$

$$13 \times (52 - 2) = 650 \text{ h/año (sábados).}$$

$$6 \times (52 - 2) = 300 \text{ h/año (domingos).}$$

Por tanto, hacen un total de $3585 + 650 + 300 = 4535$ h/año.

Se procederá ahora a estudiar los diferentes espacios que presenta el establecimiento. A continuación, se muestra una tabla con cada una de las zonas del edificio, con sus respectivas áreas.

Zona	Dimensiones (m)	Área (m²)
Pista deportiva	48x33x7	1584
Vestuario femenino	3x8x3	24
Vestuario masculino	3x8x3	24

Vestuario minusválidos	2x3x3	6
Vestuario equipo arbitraje	4x3x3	12
Cuarto de limpieza	3x2x3	6
Sala de máquinas	4x5x3	20
Entrada al edificio	5x6x3	30
Almacén	4x4x3	16
Área total (m2)		1790

Tabla 162. Dimensiones y áreas del edificio.

Por último, en este apartado se analizará la envolvente térmica. Para ello, se recurre al DB HE-1, Apéndice B, donde se obtiene la siguiente tabla de zonas climatológicas:

Capital	Z.C.	Altitud	A4	A3	A2	A1	B4	B3	B2	B1	C4	C3	C2	C1	D3	D2	D1	E1
Albacete	D3	677										h < 450			h < 950			h ≥ 950
Alicante/Alacant	B4	7					h < 250					h < 700			h ≥ 700			
Almería	A4	0	h < 100				h < 250	h < 400				h < 800			h ≥ 800			
Ávila	E1	1054														h < 550	h < 850	h ≥ 850
Badajoz	C4	168								h < 400	h < 450			h ≥ 450				
Barcelona	C2	1										h < 250			h < 450	h < 750	h ≥ 750	
Bilbao/Bilbo	C1	214											h < 250				h ≥ 250	
Burgos	E1	861															h < 600	h ≥ 600
Cáceres	C4	385								h < 600				h < 1050				h ≥ 1050
Cádiz	A3	0		h < 150				h < 450				h < 600	h < 850			h ≥ 850		
Castellón/Castelló	B3	18						h < 50				h < 500			h < 600	h < 1000		h ≥ 1000
Ceuta	B3	0						h < 50										
Ciudad Real	D3	630									h < 450	h < 500			h ≥ 500			
Córdoba	B4	113					h < 150				h < 550				h ≥ 550			
Coruña, La / A Coruña	C1	0											h < 200				h ≥ 200	
Cuenca	D2	975												h < 800	h < 1050			h ≥ 1050
Girona/Girona	D2	143											h < 100		h < 600			h ≥ 600
Granada	C3	754	h < 50				h < 350				h < 600	h < 800			h < 1300			h ≥ 1300
Guadalajara	D3	708													h < 950	h < 1000		h ≥ 1000
Huelva	A4	50	h < 50				h < 150	h < 350				h < 800			h ≥ 800			
Huesca	D2	432										h < 200			h < 400	h < 700		h ≥ 700
Jaén	C4	436					h < 350				h < 750				h < 1250			h ≥ 1250
León	E1	346																h < 1250
Lérida/Lleida	D3	131									h < 100				h < 600			h ≥ 600
Logroño	D2	379										h < 200			h < 700			h ≥ 700
Lugo	D1	412														h < 500		h ≥ 500
Madrid	D3	589										h < 500			h < 950	h < 1000		h ≥ 1000
Málaga	A3	0						h < 300				h < 700			h ≥ 700			
Melilla	A3	130																
Murcia	B3	25						h < 100				h < 550			h ≥ 550			
Orense/Ourense	D2	327										h < 150	h < 300		h < 800			h ≥ 800
Oviedo	D1	214												h < 50			h < 550	h ≥ 550
Palencia	D1	722															h < 800	h ≥ 800
Palma de Mallorca	B3	1					h < 250					h ≥ 250						
Pamplona/Iruña	D1	456									h < 100				h < 300	h < 600	h ≥ 600	
Portevedra	C1	77											h < 350				h ≥ 350	
Salamanca	D2	770													h < 800			h ≥ 800
San Sebastián/Donostia	D1	5														h < 400	h ≥ 400	
Santander	C1	1											h < 150			h < 650	h ≥ 650	
Segovia	D2	1013													h < 1000			h ≥ 1000
Sevilla	B4	9					h < 200				h ≥ 200							
Soria	E1	984														h < 750	h < 800	h ≥ 800
Tarragona	B3	1						h < 50				h < 500			h ≥ 500			
Teruel	D2	995										h < 450	h < 500		h < 1000			h ≥ 1000
Toledo	C4	445										h < 500			h ≥ 500			
Valencia/València	B3	8					h < 50					h < 500			h < 950			h ≥ 950
Valladolid	D2	704													h < 800			h ≥ 800
Vitoria/Gasteiz	D1	512														h < 500	h ≥ 500	
Zamora	D2	617													h < 800			h ≥ 800
Zaragoza	D3	207										h < 200			h < 650			h ≥ 650

Tabla 163. Zonas climáticas de la Península Ibérica. Fuente: CTE

Se considera la zona climatológica B3, con una altitud respecto del nivel del mar de 25 metros.

Una vez determinada la zona climática, se ha recurrido al software “VPCLIMA”, una simulación en la que a partir del diseño de la envolvente térmica del edificio, el programa ofrece numerosos resultados. De todos ellos, se incluirán en el informe la transmitancia térmica en muros y huecos, además de la demanda de calefacción (se analizará posteriormente).

Por simplicidad, se puede dividir el edificio en dos partes: la pista deportiva y el resto de la instalación, que contiene todos los vestuarios, las demás estancias y la entrada al edificio.

- Pista deportiva. Área = 1584 m².

Elemento	Tipo	Orientación	Superficie (m ²)	Transmitancia (W/m ² K)
Pared 1	Fachada	NO	336	0,83
Pared 2	Fachada	SO	231	0,83
Pared 3	Fachada (parte de ella es interior)	SE	336	0,58
Pared 4	Fachada	NE	231	0,83
Suelo pista	Suelo	-	1584	0,52
Cubierta pista	Cubierta	-	1584	0,45

Tabla 164. Transmitancia de cada elemento perteneciente a la pista deportiva

Elemento	Tipo	Superficie (m ²)	Orientación	Transmitancia (W/m ² k)
Puerta emergencia 1	Puerta	3,225	NO	2,5
Puerta emergencia 2	Puerta	3,225	NO	2,5
Puerta entrada pista	Puerta	6	SE	2,5
Claraboyas en la cubierta (x64)	Claraboya	0,35	-	2,5

Tabla 165. Transmitancia de cada hueco perteneciente a la pista deportiva

El software establece un valor de 2,5 W/m²K por cada hueco, indistintamente si es ventana, puerta exterior o claraboya.

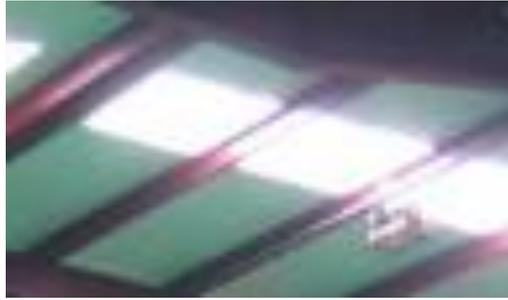


Figura 70. Claraboyas de la pista deportiva

- Resto de la instalación. Área = 190 m².

Elemento	Tipo	Superficie (m ²)	Transmitancia (W/m ² K)
Pared 1'	Muro interior	114	0,58
Pared 2'	Fachada	15	0,83
Pared 3'	Fachada	114	0,83
Pared 4'	Fachada	15	0,83
Suelo	Suelo	190	0,52
Cubierta	Cubierta	190	0,45

Tabla 166. Transmitancia de cada elemento perteneciente al resto del inmueble

Elemento	Tipo	Superficie (m ²)	Orientación	Transmitancia (W/m ² K)
Puerta principal	Puerta	6,25	SE	2,5
Puerta sala de máquinas (x2)	Puerta	3	NO	2,5
Puerta cuarto de limpieza	Puerta	3	SO	2,5
Ventanas vestuarios (x8)	Ventana	0,28	NE	2,5

Tabla 167. Transmitancia de cada hueco perteneciente al resto del inmueble

3. Sistema de agua caliente sanitaria

El polideportivo cuenta con una caldera, dos acumuladores, un sistema de bombeo, un vaso de expansión y un intercambiador de placas, contando además con un sistema de energía solar térmica, que se analizará detalladamente más adelante.

Generalidades ACS
La instalación dispone de sistema ACS SI
Forma de producción: Con acumulación
Depósitos de acumulación : Acumuladores

Tabla 168. Generalidades ACS del Pabellón Zeneta

Este edificio cuenta con un sistema ACS con producción con acumulación, es decir, que en los momentos de demanda se utiliza el agua caliente acumulada. El agua es almacenada en dos acumuladores.

A continuación, se presentan cada uno de los componentes del sistema y sus características.

Equipo de calentamiento	
Elemento	Caldera
Número de unidades	1
Marca/modelo	Roca/ LIDIA 20GT
Combustible	Gasóleo
Fluido calefactor	Agua caliente
Temperatura máxima	100 °C
Potencia útil	20,9 KW
Rendimiento	86,4 %
Temperatura humos	255 °C
% O₂	8,7%
% CO₂	7,47%
ppm CO	28 ppm
Coef. exceso aire	1,7

Tabla 169. Equipo de calentamiento de ACS del Pabellón Zeneta



Figura 71. Caldera ACS

Depósitos de acumulación		
Número de depósitos	2	
Marca y modelo	ICUEM	FAGOR
Capacidad	500 L	1000 L (sistema de energía solar térmica)
Conexión entre acumuladores	Paralelo	

Tabla 170. Acumuladores ACS



Figura 72. Acumulador ACS

Además, el sistema cuenta con un vaso de expansión, un intercambiador de calor (placas) y un grupo de bombeo.



Figura 73. Vaso de expansión



Figura 74. Intercambiador de placas



Figura 75. Bomba del sistema ACS

4. Sistema de calefacción

La instalación presenta un equipo de calefacción que, según su forma de producción, trabaja con combustible y emplea agua como modo de distribución del calor. Además, los elementos terminales del sistema son radiadores.

Generalidades	
La instalación dispone de sistema de calefacción	Sí
Forma de producción: Por combustible	
Modo de distribución del calor: Agua	
Elementos terminales: Radiadores	

Tabla 171. Generalidades del sistema de calefacción

Además de los radiadores, se ha incluido información sobre el equipo de calentamiento (caldera) y el depósito de acumulación.

Equipo de calentamiento	
Elemento	Caldera
Número de unidades	1
Marca/ modelo	Roca/ LIDIA 40GT
Combustible	Gasóleo
Fluido calefactor	Agua caliente
Presión máxima	4 bar
Temperatura máxima	100 °C
Potencia nominal	52,8 KW
Potencia útil	48,3 KW
Rendimiento	91,5%
Temperatura humos	194,6 °C
% O₂	5,9%
% CO₂	11,15%
Coef. Exceso aire	1,39
Horas operación	4 h/día

Tabla 172. Caldera de calefacción

La caldera de calefacción sólo se utiliza durante tres meses al año aproximadamente, desde diciembre hasta el mes de marzo.

El sistema también cuenta con un vaso de expansión, grupo de bombeo e intercambiador de placas. Además, el depósito del gasóleo necesario para las calderas de ACS y calefacción tiene una capacidad de 5000 litros.



Figura 76. Vaso de expansión

Equipos emisores de calor		
Elemento	Radiador	Radiador
Número de módulos	15	6
Número de unidades	4	3
Zonas o locales	Vestuarios masculino y femenino	Vestuarios (minusválido y equipo de arbitraje) y entrada al edificio
Fluido	Agua	Agua
Potencia	1500 W	600 W

Tabla 173. Características de los equipos emisores de calor



Figura 77. Radiador (15 módulos) de vestuario

5. Sistema de ventilación

El edificio cuenta con un sistema de ventilación natural a través de puertas, ventanas y rejillas de ventilación. El objetivo de la ventilación de un local es conseguir unas determinadas condiciones de temperatura y humedad. Según el Reglamento de Instalaciones Térmicas de Edificios (RITE), las condiciones óptimas son las siguientes:

Tabla 1.4.1.1 Condiciones interiores de diseño		
Estación	Temperatura operativa °C	Humedad relativa %
Verano	23...25	45...60
Invierno	21...23	40...50

Tabla 174. Condiciones óptimas en el interior de un local. Fuente: RITE

La pista deportiva cuenta con dos puertas de emergencia de aproximadamente 2 m de ancho y 2,5 metros de largo, ambas en la fachada de orientación noroeste. Además, cuenta con dos rejillas de 80 cm de ancho y 120 cm de alto, encontrándose aproximadamente a un metro del suelo.



Figura 78. Puerta de emergencia



Figura 79. Pista deportiva con puerta de emergencia y rejilla de ventilación (fondo)

Para calcular el caudal mínimo de aire de ventilación en la pista, se debe conocer el aforo máximo y el caudal mínimo de aire exterior por persona. A través del RITE y el CTE se puede obtener toda esa información.

Tabla 2.1. Densidades de ocupación⁽¹⁾

Uso previsto	Zona, tipo de actividad	Ocupación (m ² /persona)
Cualquiera	Zonas de ocupación ocasional y accesibles únicamente a efectos de mantenimiento: salas de máquinas, locales para material de limpieza, etc.	Ocupación nula
	Aseos de planta	3
Residencial Vivienda	Plantas de vivienda	20
Residencial Público	Zonas de alojamiento	20
	Salones de uso múltiple	1
	Vestíbulos generales y zonas generales de uso público en plantas de sótano, baja y entreplanta	2
Aparcamiento ⁽²⁾	Vinculado a una actividad sujeta a horarios: comercial, espectáculos, oficina, etc.	15
	En otros casos	40
Administrativo	Plantas o zonas de oficinas	10
	Vestíbulos generales y zonas de uso público	2
Docente	Conjunto de la planta o del edificio	10
	Locales diferentes de aulas, como laboratorios, talleres, gimnasios, salas de dibujo, etc.	5
	Aulas (excepto de escuelas infantiles)	1,5
	Aulas de escuelas infantiles y salas de lectura de bibliotecas	2
Hospitalario	Salas de espera	2
	Zonas de hospitalización	15

Tabla 175. Densidades de ocupación. Fuente: RITE

Siendo el uso docente y la zona de actividad un gimnasio, se toma un valor de 5 m² por persona. Sabiendo que el área de la pista es de 1584 m²,

$$\frac{1584 \text{ m}^2}{5 \text{ m}^2/\text{persona}} = 317 \text{ personas}$$

A partir de la siguiente tabla, se obtiene el caudal mínimo por persona de aire exterior de ventilación:

Tabla 1.4.2.1 Caudales de aire exterior, en dm³/s por persona	
Categoría	dm ³ /s por persona
IDA 1	20
IDA 2	12,5
IDA 3	8
IDA 4	5

Tabla 176. Caudal mínimo de aire exterior de ventilación. Fuente: RITE

Al estar trabajando con un polideportivo, se toma el valor perteneciente a la categoría IDA 3: 8 dm³/s por persona. Por tanto, el caudal mínimo de ventilación será:

$$\frac{8 \text{ dm}^3}{\text{s} \cdot \text{persona}} \cdot 317 \text{ personas} \cdot \frac{\text{m}^3}{1000 \text{ dm}^3} \cdot \frac{3600 \text{ s}}{\text{h}} = 9129,6 \text{ m}^3/\text{h}$$

Otra zona a estudiar son los vestuarios masculino y femenino. Estos cuentan con una rejilla de ventilación y 8 ventanas en una pared del vestuario.



Figura 80. Ventana del vestuario masculino

Para vestuarios se tomará un valor de $3 \text{ m}^2/\text{persona}$, además de un caudal mínimo de 8 dm^3 por persona. Teniendo cada vestuario un área de 24 m^2 :

$$\frac{24 \text{ m}^2}{3 \text{ m}^2/\text{persona}} = 8 \text{ personas}$$

$$\frac{8 \text{ dm}^3}{\text{s} \cdot \text{persona}} \cdot 8 \text{ personas} \cdot \frac{\text{m}^3}{1000 \text{ dm}^3} \cdot \frac{3600 \text{ s}}{\text{h}} = 230,4 \text{ m}^3/\text{h}$$

A continuación, se analizarán los dos vestuarios de minusválidos y el vestuario de árbitros, contando únicamente con una rejilla de ventilación de $35 \times 15 \text{ cm}$. Para este caso se han utilizado los mismos parámetros que en el análisis en los vestuarios masculino y femenino.

- Vestuario de minusválidos. Área = 6 m^2 .

$$\frac{6 \text{ m}^2}{3 \text{ m}^2/\text{persona}} = 2 \text{ personas}$$

$$\frac{8 \text{ dm}^3}{\text{s} \cdot \text{persona}} \cdot 2 \text{ personas} \cdot \frac{\text{m}^3}{1000 \text{ dm}^3} \cdot \frac{3600 \text{ s}}{\text{h}} = 57,6 \text{ m}^3/\text{h}$$

- Vestuario del equipo de árbitros. Área = 12 m^2 .

$$\frac{12 \text{ m}^2}{3 \text{ m}^2/\text{persona}} = 4 \text{ personas}$$

$$\frac{8 \text{ dm}^3}{\text{s} \cdot \text{persona}} \cdot 4 \text{ personas} \cdot \frac{\text{m}^3}{1000 \text{ dm}^3} \cdot \frac{3600 \text{ s}}{\text{h}} = 115,2 \text{ m}^3/\text{h}$$

Por último, se obtendrá el caudal mínimo para el almacén y el cuarto de limpieza, ambos con una rendija de ventilación de $35 \times 15 \text{ cm}$.

- Cuarto de limpieza. Esta habitación tiene un área de 6 m^2 y una densidad de ocupación de $2 \text{ m}^2/\text{persona}$.

$$\frac{6 \text{ m}^2}{2 \text{ m}^2/\text{persona}} = 3 \text{ personas}$$

$$\frac{8 \text{ dm}^3}{\text{s} \cdot \text{persona}} \cdot 3 \text{ personas} \cdot \frac{\text{m}^3}{1000 \text{ dm}^3} \cdot \frac{3600 \text{ s}}{\text{h}} = 86,4 \text{ m}^3/\text{h}$$

- Almacén. Cuenta con un área de 16 m² y la misma densidad de ocupación que presenta el cuarto de limpieza

$$\frac{16 \text{ m}^2}{2 \text{ m}^2/\text{persona}} = 8 \text{ personas}$$

$$\frac{8 \text{ dm}^3}{\text{s} \cdot \text{persona}} \cdot 8 \text{ personas} \cdot \frac{\text{m}^3}{1000 \text{ dm}^3} \cdot \frac{3600 \text{ s}}{\text{h}} = 230,4 \text{ m}^3/\text{h}$$

La ventilación de la sala de calderas no se puede estudiar a partir de la Tabla 169, ya que el tipo de actividad “Zonas de ocupación ocasional accesibles únicamente a efectos de mantenimiento” presenta una ocupación nula. Por tanto, el RITE (apartado IT 1.1.4.2.3, método D) ofrece la siguiente tabla:

Categoría	dm ³ /(s·m ²)
IDA 1	no aplicable
IDA 2	0,83
IDA 3	0,55
IDA 4	0,28

Tabla 177. Caudales mínimos de aire para zonas no dedicadas a ocupación permanente.
Fuente: RITE

La sala de calderas tiene un área de 24 m², por lo que tomando un flujo de 0,55 dm³/(s·m²) (IDA 3),

$$\frac{0,55 \text{ dm}^3}{\text{s} \cdot \text{m}^2} \cdot 24 \text{ m}^2 \cdot \frac{\text{m}^3}{1000 \text{ dm}^3} \cdot \frac{3600 \text{ s}}{\text{h}} = 47,52 \text{ m}^3/\text{h}$$

Se ofrece a continuación, a modo de resumen, una tabla con todas las estancias y sus caudales de aire de ventilación mínimos.

Zona	Caudal mínimo de ventilación (m ³ /h)
Vestuarios masculino y femenino	230,4
Vestuario minusválidos	57,6
Vestuario árbitros	115,2
Cuarto de limpieza	86,4
Pista	9.129,6
Almacén	230,4
Sala de máquinas	47,52

Tabla 178. Caudales mínimos de aire de ventilación

Al no disponer de los medidores necesarios en la toma de datos in situ, no se pueden comparar estos valores teóricos con los valores reales de la instalación.

6. Iluminación

En este apartado se tratarán las diferentes luminarias que componen el edificio, indicando el número de ellas en cada lugar del establecimiento, así como su potencia y sus horas de funcionamiento. Además, se comprobará si cumplen o no con la norma establecida.

Al no disponer de un luxómetro, aparato necesario para mediar la iluminancia real (lux) de la instalación, se ha optado por recurrir a los siguientes datos de iluminancia media aportados por la Universidad Politécnica de Cartagena

Lugar	Iluminancia (lux)
Pista deportiva	678,4
Vestuarios masculino y femenino	504,2
Vestuario minusválidos	105
Vestuario árbitros	90,5
Entrada al edificio	308,8
Sala de máquinas	256,75
Almacén	205,5

Tabla 179. Valores de iluminancia horizontal media en cada zona. Fuente: UPCT

Estos resultados se pueden comparar con los valores de iluminancia horizontal media recomendados, proporcionados por la norma UNE-EN 12464-1.

Lugar	Iluminancia (lux)	Iluminancia recomendada (lux)	CUMPLE E_m
Pista deportiva	678,4	300	SÍ
Vestuarios masculino y femenino	504,2	200	SÍ
Vestuario minusválidos	105	200	FALTA ILUMINACIÓN
Vestuario árbitros	90,5	200	FALTA ILUMINACIÓN
Entrada al edificio	308,8	100	SÍ
Sala de máquinas	256,75	200	SÍ
Almacén	205,5	100	SÍ

Tabla 180. Verificación iluminancia

A partir de los datos de iluminancia media proporcionados por la Universidad Politécnica de Cartagena, se obtendrá el Valor de la Eficiencia Energética de la Instalación (VEEI) por cada 100 lux, que se obtendrá mediante la siguiente expresión:

$$VEEI = \frac{P \cdot 100}{S \cdot E}$$

Los valores a introducir en la anterior igualdad son los siguientes:

- P es la potencia de las lámparas (W).
- S es la superficie iluminada (m²).
- E es la iluminancia media horizontal obtenida (lux).

Los valores del VEEI límite están reflejados en la siguiente tabla, obtenida del CTE, sección HE 3 (iluminación):

Tabla 2.1 Valores límite de eficiencia energética de la instalación

Zonas de actividad diferenciada	VEEI límite
administrativo en general	3,0
andenes de estaciones de transporte	3,0
pabellones de exposición o ferias	3,0
salas de diagnóstico ⁽¹⁾	3,5
aulas y laboratorios ⁽²⁾	3,5
habitaciones de hospital ⁽³⁾	4,0
recintos interiores no descritos en este listado	4,0
zonas comunes ⁽⁴⁾	4,0
almacenes, archivos, salas técnicas y cocinas	4,0
aparcamientos	4,0
espacios deportivos ⁽⁵⁾	4,0
estaciones de transporte ⁽⁶⁾	5,0
supermercados, hipermercados y grandes almacenes	5,0
bibliotecas, museos y galerías de arte	5,0
zonas comunes en edificios no residenciales	6,0
centros comerciales (excluidas tiendas) ⁽⁷⁾	6,0
hostelería y restauración ⁽⁸⁾	8,0
religioso en general	8,0
salones de actos, auditorios y salas de usos múltiples y convenciones, salas de ocio o espectáculo, salas de reuniones y salas de conferencias ⁽⁹⁾	8,0
tiendas y pequeño comercio	8,0
habitaciones de hoteles, hostales, etc.	10,0

Tabla 181. Valores límite de eficiencia energética de la instalación. Fuente: CTE

A continuación, se muestra el inventario de equipos de iluminación de toda la instalación:

Lugar: Pista	
Tipo: Halogenuros metálicos	
Número de luminarias	36
Luminarias fundidas actualmente	3
Potencia lámpara	400 W
Potencia total instalada	Para todas las luminarias: 14,4 KW Para las luminarias encendidas: 13,2 KW
Altura	6 m

Número de horas al día	8 h/día
-------------------------------	---------

Tabla 182. Iluminación en pista

Para el cálculo del VEI en la pista, se va a considerar que no hay ningún foco fundido. Por tanto, sabiendo que la iluminancia horizontal media es de 678,4 lux y que el área total a iluminar en la pista es de 1584 m², se tiene que

$$VEI = \frac{P \cdot 100}{S \cdot E} = \frac{14400 \cdot 100}{1584 \cdot 678,4} = 1,34$$

Se ha tomado como referencia la actividad “espacios deportivos” de la Tabla 175, con un VEI igual a 4, por lo que el obtenido se encuentra por debajo del límite.



Figura 81. Halogenuros metálicos en pista

Lugar: Aseos y vestuarios	
Tipo: Fluorescente tubular	
Número de luminarias	36
Luminarias fundidas actualmente	0
Potencia lámpara	18 W
Potencia total instalada	648 W
Altura	3 m
Número de horas al día	3 h/día

Tabla 183. Iluminación en aseos y vestuarios

En la siguiente tabla se muestran las áreas de cada vestuario, así como el número de luminarias.

Vestuario	Área (m ²)	Luminarias
Masculino	24	16
Femenino	24	16
Minusválido	6	2
Equipo árbitros	12	2

Tabla 184. Áreas y luminarias de cada vestuario

Por tanto, se calculará del Valor de la Eficiencia Energética de la Instalación para cada vestuario:

- Vestuarios masculino y femenino (mismas dimensiones e igual número de luminarias).

$$VEEI = \frac{P \cdot 100}{S \cdot E} = \frac{16 \cdot 18 \cdot 100}{20 \cdot 504,2} = 2,38$$

- Vestuarios de minusválidos.

$$VEEI = \frac{P \cdot 100}{S \cdot E} = \frac{2 \cdot 18 \cdot 100}{6 \cdot 105} = 5,71$$

- Vestuario del equipo de arbitraje.

$$VEEI = \frac{P \cdot 100}{S \cdot E} = \frac{2 \cdot 18 \cdot 100}{12 \cdot 90,5} = 3,31$$

Si se toma como referencia la actividad “zonas comunes en espacios no residenciales” de la Tabla 175, con un VEEI igual a 4, el valor obtenido para los vestuarios masculino, femenino y de árbitros es válido, mientras que el VEEI calculado para el vestuario de minusválidos se encuentra por encima del límite.

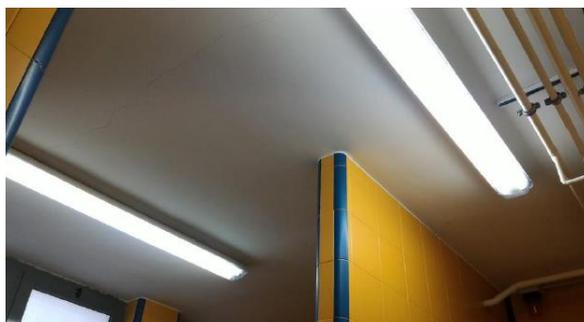


Figura 82. Tubo fluorescente en vestuario masculino

Lugar: Otras estancias	
Tipo: Fluorescente tubular	
Número de luminarias	18
Potencia lámpara	18 W
Potencia total instalada	324 W
Altura	3 m

Tabla 185. Iluminación en otras estancias del edificio

El número de horas de uso de cada tubo depende de la estancia. Por ejemplo, en la entrada se mantiene encendido las doce horas que está abierta la instalación. Sin embargo, la sala de calderas no suele estar ocupada, por lo que los tubos fluorescentes se encuentran encendidos durante muy poco tiempo. Lo mismo ocurre con el cuarto de limpieza o el almacén, que al estar poco transitados las luminarias funcionan pocas horas al día. Se va a estimar una media de una hora para las tres estancias.

La siguiente tabla muestra el área y el número de luminarias de cada estancia a analizar.

Estancia	Área (m²)	Luminarias
Entrada	30	10
Sala de máquinas	20	4
Cuarto de limpieza	6	2
Almacén	16	2

Tabla 186. Luminarias en el resto de estancias del edificio

Por un lado, se va a tratar primero la entrada al establecimiento. Considerando una iluminancia de 308,8 lux y un VEI igual a 6 (“zonas comunes no residenciales”):

$$VEI = \frac{P \cdot 100}{S \cdot E} = \frac{10 \cdot 18 \cdot 100}{30 \cdot 308,8} = 1,94$$

Se encuentra por debajo del VEI límite, pero muy alejado. Para el caso de la sala de máquinas, se toma una iluminancia de 256,75 lux y de la Tabla 175 se toma la referencia “almacenes, archivos, salas técnicas y cocinas”, que proporciona un VEI igual a 4.

$$VEI = \frac{P \cdot 100}{S \cdot E} = \frac{4 \cdot 18 \cdot 100}{20 \cdot 256,75} = 1,4$$

En cuanto al almacén, con una iluminancia media de 205,5 lux, se toma, al igual que en el caso anterior, la referencia “almacenes, archivos, salas técnicas y cocinas”, con un VEEI límite igual a 4.

$$VEEI = \frac{P \cdot 100}{S \cdot E} = \frac{2 \cdot 18 \cdot 100}{16 \cdot 205,5} = 1,09$$

En los datos proporcionados por la Universidad Politécnica de Cartagena, no se encuentran mediciones en el cuarto de limpieza, por lo que no se podrá analizar dicha estancia.

Por tanto, se ha realizado la siguiente tabla, donde se recoge cada zona analizada.

Zona	VEEI límite	VEEI calculado	Cumple VEEI
Vestuario masculino	4	2,38	SÍ
Vestuario femenino	4	2,38	SÍ
Vestuario minusválidos	4	5,71	NO
Vestuario equipo arbitraje	4	3,31	SÍ
Pista	4	1,34	SÍ
Sala de máquinas	4	1,4	SÍ
Almacén	4	1,09	SÍ
Entrada al inmueble	6	1,94	SÍ

Tabla 187. Resumen luminarias de la instalación

En la tabla realizada se observan resultados muy diversos. Por un lado, tan solo el vestuario de minusválidos presenta un valor de eficiencia energética de iluminación superior al límite. El resto de estancias sí superan el VEEI límite, aunque casi todos se encuentran muy por debajo de dicho valor límite, excepto el vestuario del equipo de arbitraje.

Para reducir el valor del VEEI de un sistema de iluminación y que se encuentre por debajo del límite se debe reducir el número de luminarias en cada zona o la potencia de las mismas.

7. Instalación de energía solar térmica

El edificio cuenta con un total de ocho captadores solares situados en la cubierta de la parte en la que se encuentran los vestuarios, sala de calderas y entrada al inmueble. Esta instalación está destinada exclusivamente al aporte de energía al sistema de agua caliente sanitaria.



Figura 83. Captadores solares vistos desde arriba



Figura 84. Captadores solares vistos de frente

Además de los captadores solares, el sistema cuenta con un vaso de expansión, un depósito de agua y un intercambiador de calor.

Depósito	
Marca	FAGOR
Capacidad	1000 L
Temperatura máxima	90 °C
Presión máxima	0,8 MPa

Tabla 188. Especificaciones del depósito de agua caliente



Figura 85. Depósito



Figura 86. Intercambiador de placas

Por último, mencionar que no se realiza ningún tipo de mantenimiento de la instalación solar térmica, lo que puede ocasionar un deterioro rápido del sistema.

8. Otros equipos

Este apartado recoge cada uno de los equipos consumidores no incluidos anteriormente, como ascensores y montacargas, equipos ofimáticos o electrodomésticos. Al ser un establecimiento pequeño y de una sola planta, el edificio no cuenta con ascensores de ningún tipo. Simplemente se hará especial hincapié en la máquina expendedora situada en la entrada y en el ordenador que dispone el encargado.

Equipos ofimáticos	
Equipo	Ordenador
Nº unidades iguales	1
Localización	Puesto del encargado
Horas de uso	Lunes-sábado: 10 h/día Domingo: 5 h/día
Consumo normal	30 W
Consumo <i>stand by</i>	2 W

Tabla 189. Características de los equipos ofimáticos

Al no conocerse con exactitud la potencia del ordenador que se utiliza en el polideportivo, se ha realizado una media en su estado normal y en *stand by*.



Figura 87. Ordenador

También se debe incluir una máquina expendedora situada en la entrada del pabellón, que permanece activa todas las horas en las que el polideportivo está abierto.

Electrodomésticos	
Equipo	Máquina expendedora de alimentos
Nº unidades iguales	1
Localización	Entrada del edificio
Horas de uso	Todas las horas que permanece abierto el pabellón
Consumo normal	650 W

Tabla 190. Características de la máquina expendedora

Para el consumo de esta máquina también se ha realizado una estimación, por lo que es importante resaltar que dicho dato no es una medida real, tan solo una aproximación



Figura 88. Máquina expendedora

9. Demanda y consumo energético

La demanda de ACS se calcula empleando el Código Técnico de Edificación, sección HE-4, tomando los valores unitarios proporcionados por la siguiente tabla (demanda de referencia a 60°C):

Criterio de demanda	Litros/día·unidad	unidad
Vivienda	28	Por persona
Hospitales y clínicas	55	Por persona
Ambulatorio y centro de salud	41	Por persona
Hotel *****	69	Por persona
Hotel ****	55	Por persona
Hotel ***	41	Por persona
Hotel/hostal **	34	Por persona
Camping	21	Por persona
Hostal/pensión *	28	Por persona
Residencia	41	Por persona
Centro penitenciario	28	Por persona
Albergue	24	Por persona
Vestuarios/Duchas colectivas	21	Por persona
Escuela sin ducha	4	Por persona
Escuela con ducha	21	Por persona
Cuarteles	28	Por persona
Fábricas y talleres	21	Por persona
Oficinas	2	Por persona
Gimnasios	21	Por persona
Restaurantes	8	Por persona
Cafeterías	1	Por persona

Tabla 191. Demanda de referencia a 60°C. Fuente: CTE

Se tomará la cantidad de 21 litros/día·unidad, pertenecientes a “Vestuarios/Duchas colectivas” y a “Gimnasios”. A partir de este valor, se calculará la demanda para cada mes mediante la expresión

$$\text{Demanda} = c_p \cdot m \cdot \Delta T,$$

donde:

- c_p es el calor específico del agua e igual a 4,1754288 J/gK.
- El caudal másico m , obtenido a partir de la densidad del agua (1000 g/L).
- Se obtendrá la demanda de cada mes para el número máximo de usuarios (30 personas) y para el mínimo de usuarios (15 personas).

- ΔT es la variación de la temperatura, entre la temperatura de referencia (60°C) y la temperatura del agua fría. Dicha temperatura es diferente para cada mes y están recogidas igualmente en la sección HE-4 del CTE.

Mes	Temperatura (°C)
Enero	11
Febrero	11
Marzo	12
Abril	13
Mayo	15
Junio	17
Julio	19
Agosto	20
Septiembre	18
Octubre	16
Noviembre	13
Diciembre	11

Tabla 192. Temperatura diaria media mensual del agua fría en la Región de Murcia. Fuente:CTE

Por tanto, la demanda energética de agua caliente sanitaria para cada mes, para el máximo y mínimo de usuarios, se recoge en la siguiente tabla.

Mes	Días	Temperatura (°C)	Demanda ACS máximo usuarios (kWh)	Demanda ACS mínimo usuarios (kWh)
Enero	31	11	1.109,93	554,97
Febrero	28	11	1.002,52	501,26
Marzo	31	12	1.087,28	543,64
Abril	30	13	1.030,29	515,14
Mayo	31	15	1.019,33	509,66
Junio	30	17	801,21	400,61
Julio	31	19	696,54	348,27
Agosto	31	20	453,03	226,52
Septiembre	30	18	782,58	391,29
Octubre	31	16	996,67	498,34
Noviembre	30	13	1.030,29	515,14
Diciembre	31	11	1.109,93	554,97
Total (kWh)			11.119,59	5.559,80

Tabla 193. Demanda mensual de ACS para el máximo y mínimo de usuarios

En la instalación existen captadores solares que con el objetivo de cubrir un porcentaje determinado de la demanda y, así, reducir el consumo energético y el gasto correspondiente. Al no disponer de datos suficientes para determinar la contribución energética solar, la Universidad Politécnica de Cartagena ha facilitado la siguiente información, obtenida a través del software “TRANSOL”.

Mes	Factor solar máx. usuarios (%)	Factor solar mín. usuarios (%)
Enero	41	50
Febrero	45	52
Marzo	59	63
Abril	52	54
Mayo	60	64
Junio	65	72
Julio	74	82
Agosto	80	87
Septiembre	64	71
Octubre	51	56
Noviembre	38	43
Diciembre	29	38
Total	53	60

Tabla 194. Factor solar para cada mes. Fuente: UPCT

Por tanto, se puede obtener la demanda total para el máximo y mínimo de usuarios:

Mes	Contribución solar máx. usuarios (kWh)	Contribución solar mín. usuarios (kWh)	Demanda ACS real máx. usuarios (kWh)	Demanda ACS real mín. usuarios (kWh)
Enero	455,07	277,48	654,86	227,48
Febrero	451,13	260,65	551,39	240,60
Marzo	641,50	342,49	445,78	201,15
Abril	537,75	278,18	494,54	236,97
Mayo	611,60	326,18	407,73	183,48
Junio	520,79	288,44	280,42	112,17
Julio	515,44	285,58	181,10	62,69
Agosto	362,43	197,07	90,61	29,45
Septiembre	500,85	277,82	281,73	113,47
Octubre	508,30	279,07	488,37	219,27

Noviembre	391,51	221,51	638,78	293,63
Diciembre	321,88	210,89	788,05	344,08
Total (kWh)	5.893,39	3.335,88	5.226,21	2.223,92

Tabla 195. Contribución en kWh de los captadores solares

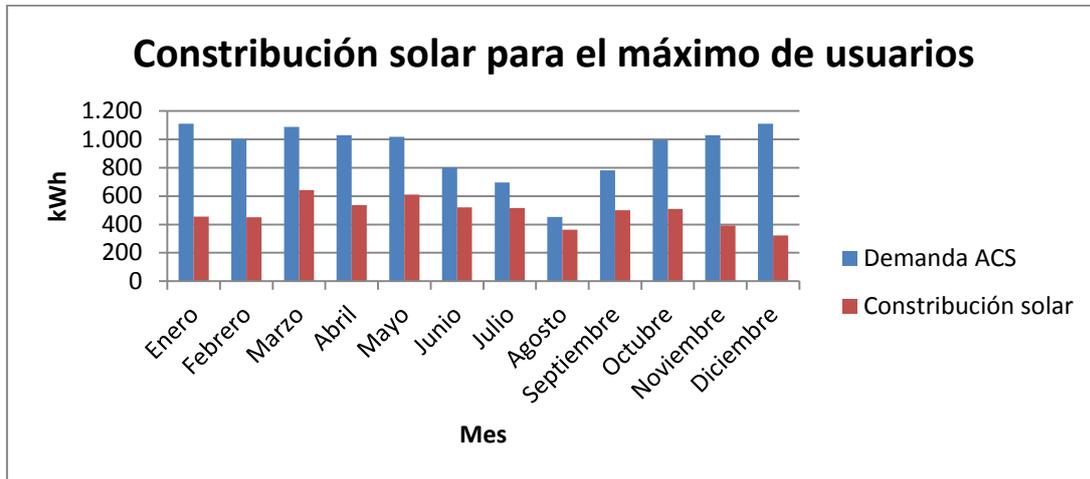


Gráfico 29. Contribución solar para el máximo número de usuarios

En cuanto a la demanda de calefacción, esta se ha obtenido a partir del software "VPCLIMA", en el que se han introducido datos del edificio tales como fachadas, suelos, cubiertas y huecos. Los resultados obtenidos con el programa son los siguientes:

Mes	Días	Temperatura (°C)	Demanda calefacción (kWh)
Enero	31	11	503
Febrero	28	11	263
Marzo	31	12	167
Abril	30	13	67
Mayo	31	15	0
Junio	30	17	0
Julio	31	19	0
Agosto	31	20	0
Septiembre	30	18	0
Octubre	31	16	0
Noviembre	30	13	199
Diciembre	31	11	421
Total (kWh)			1.620

Tabla 196. Demanda de calefacción. Fuente: VPCLIMA

Además, el “VPCLIMA” proporciona el siguiente gráfico, referente a la demanda mensual de refrigeración y calefacción:

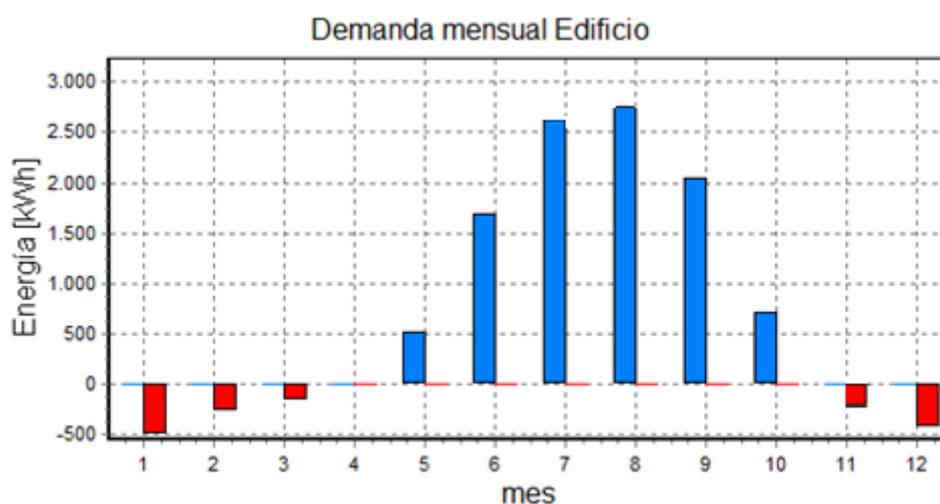


Gráfico 30. Demanda mensual de refrigeración (azul) y calefacción (rojo). Fuente: VPCLIMA

Al no disponer el edificio de un sistema de refrigeración, no se tendrá en cuenta dicha demanda.

Por tanto, se puede obtener la demanda energética total, que va a depender del número de usuarios.

- Para el máximo de usuarios.

Mes	Demanda ACS (kWh)	Contribución solar (kWh)	Demanda calefacción (kWh)	Demanda total (kWh)
Enero	654,86	455,07	503	1.612,93
Febrero	551,39	451,13	263	1.265,52
Marzo	445,78	641,50	167	1.254,28
Abril	494,54	535,75	67	1.097,29
Mayo	407,73	611,60	0	1.019,33
Junio	280,42	520,79	0	801,21
Julio	181,10	515,44	0	696,54
Agosto	90,61	362,43	0	453,03
Septiembre	281,73	500,85	0	782,58
Octubre	488,37	508,30	0	996,67
Noviembre	638,78	391,51	199	1.229,29
Diciembre	788,05	321,88	421	1.530,93

Total (kWh)	5.303,35	5.816,24	1.620,00	12.739,59
--------------------	----------	----------	----------	-----------

Tabla 197. Demanda energética total para el máximo de usuarios

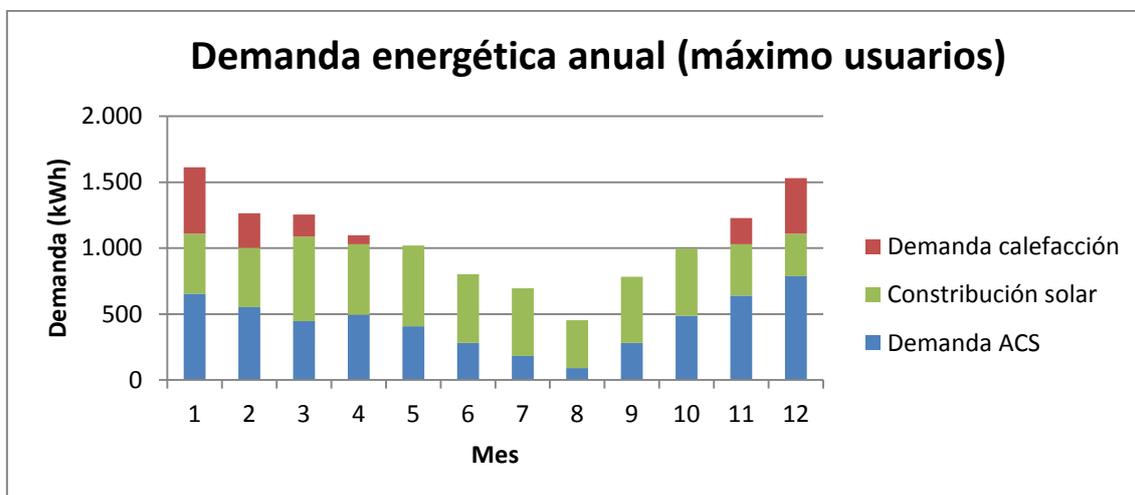


Gráfico 31. Demanda energética anual para el máximo de usuarios

- Para el mínimo de usuarios.

Mes	Demanda ACS(kWh)	Contribución solar (kWh)	Demanda calefacción (kWh)	Demanda total (kWh)
Enero	277,48	277,48	503	1.057,97
Febrero	240,60	260,65	263	764,26
Marzo	201,15	342,49	167	710,64
Abril	236,97	278,18	67	582,14
Mayo	183,48	326,18	0	509,66
Junio	112,17	288,44	0	400,61
Julio	62,69	285,58	0	348,27
Agosto	29,45	197,07	0	226,52
Septiembre	113,47	277,82	0	391,29
Octubre	219,27	279,07	0	498,34
Noviembre	293,63	221,51	199	714,14
Diciembre	344,08	210,89	421	975,97
Total (kWh)	2.314,44	3.245,36	1.620,00	7.179,80

Tabla 198. Demanda energética total para el mínimo de usuarios

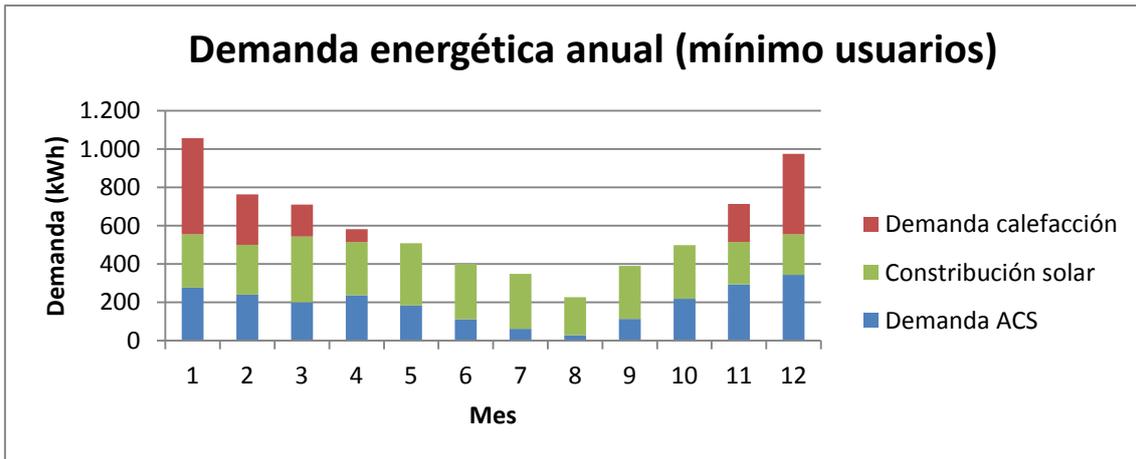


Gráfico 32. Demanda energética anual para el máximo de usuarios

En ambos casos se observa claramente un descenso de la demanda en los meses de verano (en el caso de la calefacción la demanda es nula), mientras que en los meses de invierno la demanda energética es mayor, tanto de ACS como de calefacción.

Otra variable importante a tratar en un informe de auditoría son los consumos energéticos, que muestran una medida real de cómo funciona toda la instalación.

Para los consumos de agua caliente sanitaria y calefacción, basta con dividir la demanda de cada mes por el rendimiento de la caldera en cuestión.

- Agua caliente sanitaria. Rendimiento igual a 0,864.

Máximo número de usuarios	
Mes	Consumo ACS (kWh)
Enero	757,94
Febrero	638,18
Marzo	515,95
Abril	572,38
Mayo	471,91
Junio	324,56
Julio	209,61
Agosto	104,87
Septiembre	326,07
Octubre	565,24
Noviembre	739,33
Diciembre	912,10
Total (kWh)	6.138,14

Tabla 199. Consumo energético de ACS para el máximo de usuarios

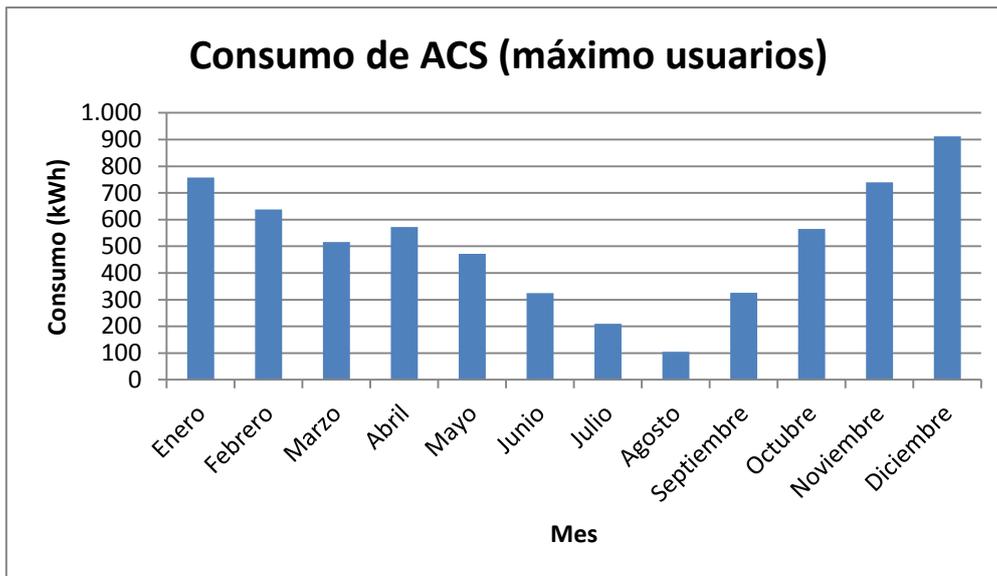


Gráfico 33. Consumo mensual de ACS para el máximo de usuarios

El consumo en los meses de invierno, otoño y primavera es muy elevado, mientras que se puede apreciar un claro descenso a partir del mes de junio hasta agosto, para luego ir creciendo hasta los 900 kWh.

De igual forma, se ha calculado el consumo energético mensual de ACS para el mínimo de usuarios.

Mes	Consumo ACS (kWh)
Enero	321,16
Febrero	278,48
Marzo	232,81
Abril	274,27
Mayo	212,36
Junio	129,83
Julio	72,56
Agosto	34,08
Septiembre	131,34
Octubre	253,78
Noviembre	339,85
Diciembre	398,24
Total (kWh)	2.678,75

Tabla 200. Consumo energético de ACS para el mínimo de usuarios

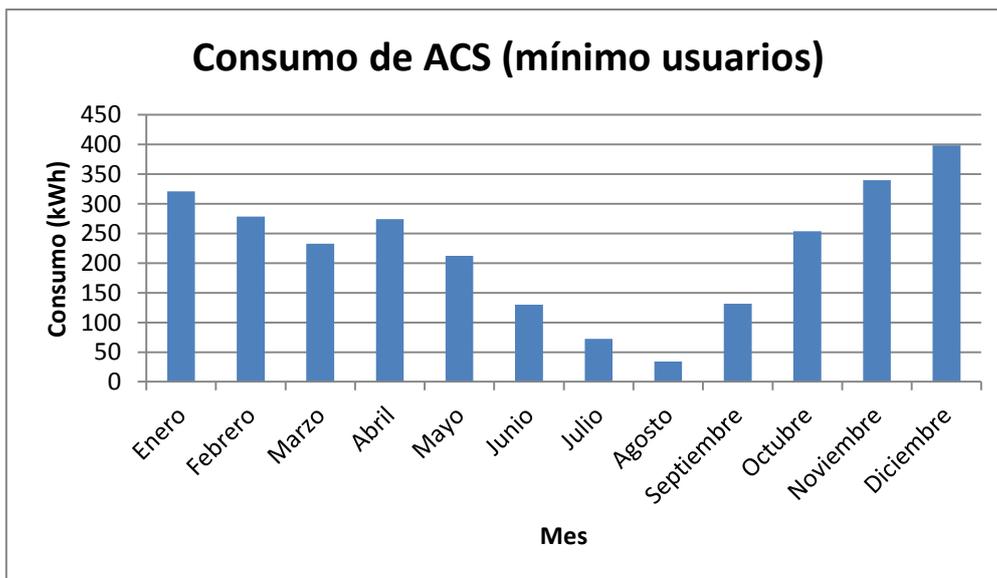


Gráfico 34. Consumo mensual de ACS para el mínimo de usuarios

- Calefacción. Rendimiento igual 0,915.

Mes	Consumo calefacción (kWh)
Enero	549,73
Febrero	287,43
Marzo	182,51
Abril	73,22
Mayo	0
Junio	0
Julio	0
Agosto	0
Septiembre	0
Octubre	0
Noviembre	217,49
Diciembre	460,11
Total (kWh)	1.770,49

Tabla 201. Consumo mensual de calefacción

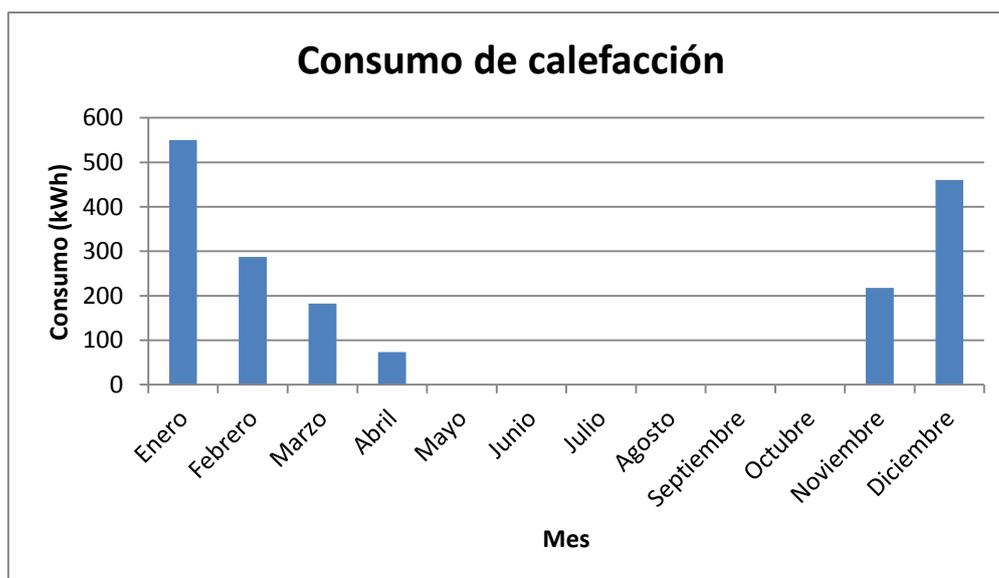


Gráfico 35. Consumo mensual de calefacción

Al igual que para el agua caliente sanitaria, el consumo de calefacción es mayor en los meses de invierno, solo que en este caso en el resto del año el consumo es nulo, ya que el sistema de calefacción no está en funcionamiento.

Además de los sistemas de ACS y calefacción, también se debe analizar el sistema de iluminación del establecimiento. Conociendo la potencia de las luminarias y el número de horas aproximadas de funcionamiento, se han calculado los consumos para cada zona del pabellón deportivo, expresados en la siguiente tabla:

Mes	Consumo iluminación (kWh)								
	Pista	Vestuarios MF	Vestuarios Minus	Vestuario Árbitros	Cuarto de limpieza	Entrada	Sala de máquinas	Almacén	Total
Enero	1.517,76	7,59	0,14	0,22	0,56	50,22	0,45	0,50	1.585,03
Febrero	1.612,80	8,06	0,15	0,25	0,50	50,40	0,50	0,50	1.681,24
Marzo	1.785,60	8,93	0,17	0,28	0,56	55,80	0,56	0,56	1.861,38
Abril	1.728,00	8,64	0,16	0,27	0,54	54,00	0,54	0,54	1.801,33
Mayo	1.785,60	8,93	0,17	0,28	0,56	55,80	0,56	0,56	1.861,38
Junio	1.339,20	6,48	0,12	0,20	0,54	54,00	0,41	0,49	1.407,92
Julio	1.071,36	4,46	0,08	0,06	0,45	55,80	0,22	0,28	1.137,18
Agosto	714,24	1,79	0,03	0,01	0,22	27,90	0,08	0,17	746,23
Septiembre	1.382,40	6,48	0,12	0,20	0,54	54,00	0,41	0,49	1.451,12
Octubre	1.785,60	8,93	0,17	0,28	0,56	55,80	0,56	0,56	1.861,38
Noviembre	1.728,00	8,64	0,16	0,27	0,54	54,00	0,54	0,54	1.801,33

Diciembre	1.897,20	7,59	0,14	0,22	0,56	50,22	0,45	0,50	1.964,47
-----------	----------	------	------	------	------	-------	------	------	----------

Tabla 202. Consumo de Iluminación en todo el establecimiento

En la siguiente tabla se muestra el consumo total anual para cada zona del inmueble, con el objetivo de ver qué porcentaje del consumo representa cada estancia.

Zona	Consumo (kWh)	Porcentaje (%)
Pista	18.347,76	95,761
Vestuarios	177,20	0,925
Entrada	617,94	3,225
Otros	17,07	0,089
Total (kWh)	19.159,97	100

Tabla 203. Consumo de iluminación anual



Gráfico 36. Porcentaje del consumo de iluminación de cada zona del edificio

En el gráfico anterior se observa que alrededor del 95% del consumo de iluminación se debe a las luminarias de la pista deportiva.

Por último, se reflejará también el consumo de otros equipos del edificio, que no pertenecen a los sistemas de ACS, calefacción, ventilación o iluminación.

Mes	Días	Consumo (kWh)		
		Ordenador	Máquina Expendedora	Total
Enero	31	2,009	191,425	193,434
Febrero	28	2,016	182,000	184,016
Marzo	31	2,232	201,500	203,732
Abril	30	2,160	195,000	197,160
Mayo	31	2,232	201,500	203,732
Junio	30	2,160	195,000	197,160
Julio	31	2,232	201,500	203,732
Agosto	31	0,893	100,750	101,643
Septiembre	30	2,160	195,000	197,160
Octubre	31	2,232	201,500	203,732
Noviembre	30	2,160	195,000	197,160
Diciembre	31	2,009	191,425	193,434
Total (kWh)		24,494	2.251,600	2.276,094

Tabla 204. Consumo del resto de equipos de la instalación



Gráfico 37. Consumo de otros equipos de la instalación

A partir del gráfico anterior se puede ver que todo el consumo relativo a los demás equipos del edificio corresponde mayoritariamente a la máquina expendedora de alimentos.

A modo de resumen, la siguiente tabla contendrá los consumos para cada sistema del edificio, así como el porcentaje que representa. Además, gracias a los

datos proporcionados por el Ayuntamiento de Murcia, se sabe que en 2017 el coste de la energía fue 17,325 c€/kWh, por lo que se puede estimar el coste anual del consumo de los equipos.

- Para el máximo número de usuarios.

Sistema	Consumo (kWh)	Porcentaje (%)	Coste (€)
ACS	6.138,14	20,92	1.063,43
Calefacción	1.770,49	6,03	306,74
Iluminación	19.159,97	65,29	3.319,47
Otros equipos	2.276,09	7,76	394,33
Total	29.344,70	100,00	5.083,97

Tabla 205. Distribución del consumo energético anual para el máximo de usuarios

Se puede comprobar que para el máximo número de usuarios el consumo de agua caliente e iluminación son muy parecidos, representando ambos más del 90% del consumo total en un año.

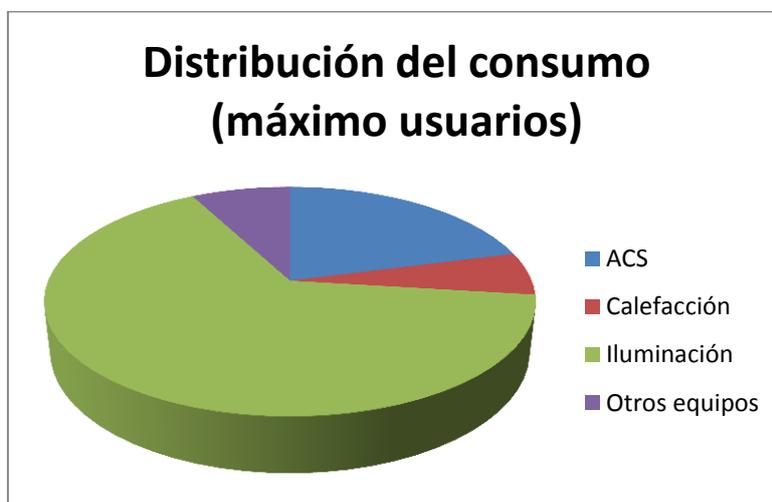


Gráfico 38. Distribución del consumo energético anual para el máximo de usuarios

A partir del Gráfico 38, se puede comprobar también que los sistemas de iluminación y ACS producen el mayor consumo. El consumo de calefacción y equipos como ordenadores o máquinas expendedoras de alimentos es muy reducido en comparación con los demás sistemas de la instalación.

- Para el mínimo número de usuarios.

Sistema	Consumo (kWh)	Porcentaje (%)	Coste (€)
ACS	2.678,75	10,35	464,09
Calefacción	1.770,49	6,84	306,74
Iluminación	19.159,97	74,02	3.319,47
Otros equipos	2.276,09	8,79	394,33
Total	25.885,31	100,00	4.484,63

Tabla 206. Distribución del consumo energético anual para el mínimo de usuarios

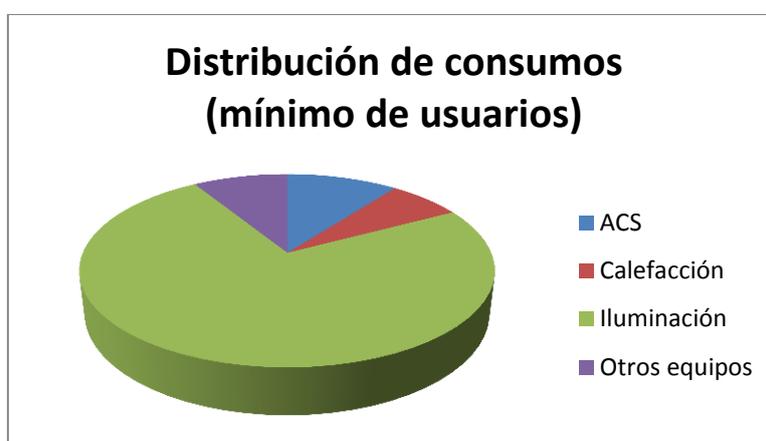


Gráfico 39. Distribución del consumo energético anual para el mínimo de usuarios

En este caso, el consumo de iluminación representa un 71% del total, seguido del sistema de ACS (14%), otros equipos (8%) y el sistema de calefacción (7%).

Por último, se elaborará un gráfico para observar el consumo de todos los equipos cada mes durante un año, para el máximo y mínimo de usuarios. Para ello, se ha elaborado la siguiente tabla.

Mes	Consumo (kWh)		Coste (€)	
	Máximo usuarios	Mínimo usuarios	Máximo usuarios	Mínimo usuarios
Enero	3.086,13	2.649,351	534,67	459,00
Febrero	2.790,87	2.431,168	483,52	421,20
Marzo	2.763,58	2.480,431	478,79	429,73
Abril	2.644,10	2.345,982	458,09	406,44
Mayo	2.537,02	2.277,468	439,54	394,57
Junio	1.929,64	1.734,901	334,31	300,57

Julio	1.550,51	1.413,464	268,63	244,88
Agosto	952,74	881,958	165,06	152,80
Septiembre	1.974,35	1.779,611	342,06	308,32
Octubre	2.630,35	2.318,891	455,71	401,75
Noviembre	2.955,30	2.555,829	512,01	442,80
Diciembre	3.530,11	3.016,252	611,59	522,57
Total	29.344,70	25.885,306	5.083,97	4.484,63

Tabla 207. Consumo mensual y su coste correspondiente

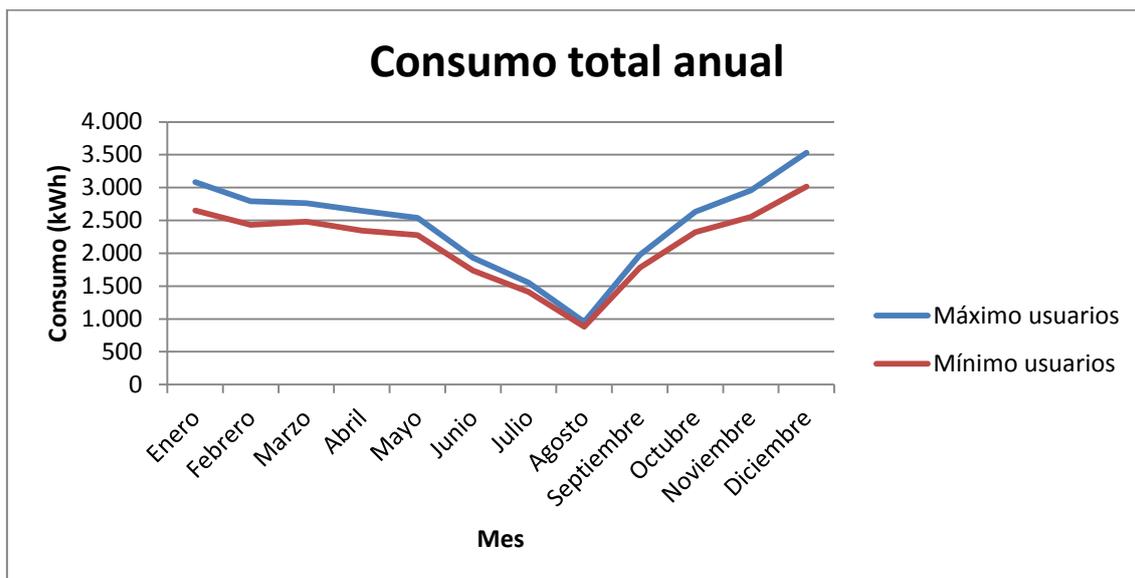


Gráfico 40. Consumo total en un año para el máximo y mínimo de usuarios.

Al igual que se ha visto en todos los gráficos, se aprecia claramente para ambos casos que el consumo se reduce en los meses de verano, ya sea por un menor uso de los equipos o por el cierre de las instalaciones durante algún período de tiempo en esos meses.

Según datos proporcionados por la Universidad Politécnica de Cartagena, los consumos de energía de los últimos tres años en el Pabellón Zeneta son los siguientes:

Año	Consumo energético (kWh)
2015	17.524,00
2016	28.063,40
2017	24.320,00

Tabla 208. Consumo energético de años anteriores

Los resultados obtenidos durante este estudio son:

- Máximo número de usuarios: 29.334,70 kWh/año.
- Mínimo número de usuarios: 25.885,306 kWh/año.

Por tanto, se puede decir que los consumos de energía obtenidos son correctos, y que los proporcionados de años anteriores se encuentran próximos a esos dos límites.

Para acabar, se obtendrá el consumo de combustible anual. Este se calcula a partir de la expresión

$$\text{Cantidad_combustible} = \frac{\text{Consumo_energético_anual}}{\text{PCI_combustible}}$$

El consumo energético anual hace referencia a los consumos de agua caliente sanitaria y calefacción, mientras que el poder calorífico del combustible es una constante e igual a 11,67 kWh/kg en el caso del gasóleo. El coste del combustible es de 67,40 c€/L, por lo que para poder trabajar en litros es necesario convertir la cantidad de combustible en kilogramos a partir de la densidad del gasóleo, igual a 0,85 kg/L. En este caso también se diferenciará entre máximo y mínimo de usuarios.

- Máximo número de usuarios.

Mes	Consumo calefacción+ACS (kWh)	Cantidad combustible (kg)	Cantidad Combustible (L)	Coste (€)
Enero	1.307,67	112,05	131,83	88,85
Febrero	925,61	79,32	93,31	62,89
Marzo	698,47	59,85	70,41	47,46
Abril	645,60	55,32	65,08	43,87
Mayo	471,91	40,44	47,57	32,06
Junio	324,56	27,81	32,72	22,05
Julio	209,61	17,96	21,13	14,24
Agosto	104,87	8,99	10,57	7,13
Septiembre	326,07	27,94	32,87	22,16
Octubre	565,24	48,44	56,98	38,41
Noviembre	956,81	81,99	96,46	65,01
Diciembre	1.372,21	117,58	138,33	93,24
Total	7.908,63	677,69	797,28	537,37

Tabla 209. Consumo de combustible mensual y su coste correspondiente para el máximo de usuarios

- Mínimo número de usuarios.

Mes	Consumo calefacción+ACS (kWh)	Cantidad combustible (kg)	Cantidad Combustible (L)	Coste (€)
Enero	870,89	74,63	87,80	59,17
Febrero	565,91	48,49	57,05	38,45
Marzo	415,32	35,59	41,87	28,22
Abril	347,49	29,78	35,03	23,61
Mayo	212,36	18,20	21,41	14,43
Junio	129,83	11,12	13,09	8,82
Julio	72,56	6,22	7,31	4,93
Agosto	34,08	2,92	3,44	2,32
Septiembre	131,34	11,25	13,24	8,92
Octubre	253,78	21,75	25,58	17,24
Noviembre	557,34	47,76	56,19	37,87
Diciembre	858,35	73,55	86,53	58,32
Total	4.449,24	381,25	448,53	302,31

Tabla 210. Consumo de combustible mensual y su coste correspondiente para el mínimo de usuarios

A continuación, se presenta un gráfico del consumo mensual de combustible, para el máximo y mínimo de usuarios.

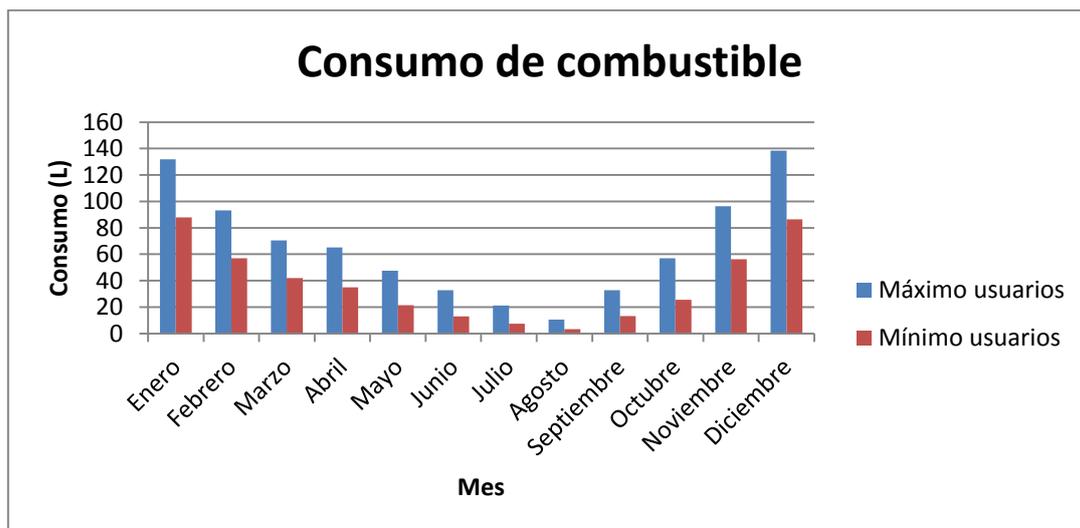


Gráfico 41. Consumo mensual de gasóleo para el máximo y mínimo de usuarios

Al igual que en el consumo energético, el gasto de combustible en los meses de verano es mucho menor que en el resto de meses del año, debido a un menor uso de

los equipos de calefacción y ACS. Se puede observar cómo en los meses de invierno el consumo llega a los 140 litros, mientras que en los meses de menor actividad el consumo oscila entre los 10 y 20 litros.

Al estudiar el consumo de combustible de una caldera es inevitable analizar las emisiones de dióxido de carbono producidas. Se considerarán unas emisiones de 289 gCO₂/kWh.

Mes	Máximo usuarios		Mínimo usuarios	
	Consumo calefacción+ACS (kWh)	Emisiones CO ₂ (Tn)	Consumo calefacción+ACS (kWh)	Emisiones CO ₂ (Tn)
Enero	1.307,67	0,378	870,89	0,252
Febrero	925,61	0,268	565,91	0,164
Marzo	698,47	0,202	415,32	0,120
Abril	645,60	0,187	347,49	0,100
Mayo	471,91	0,136	212,36	0,061
Junio	324,56	0,094	129,83	0,038
Julio	209,61	0,061	72,56	0,021
Agosto	104,87	0,030	34,08	0,010
Septiembre	326,07	0,094	131,34	0,038
Octubre	565,24	0,163	253,78	0,073
Noviembre	956,81	0,277	557,34	0,161
Diciembre	1.372,21	0,397	858,35	0,248
Total	7.908,63	2,286	4.449,24	1,286

Tabla 211. Emisiones mensuales de CO₂ en toneladas para el máximo y mínimo de usuarios

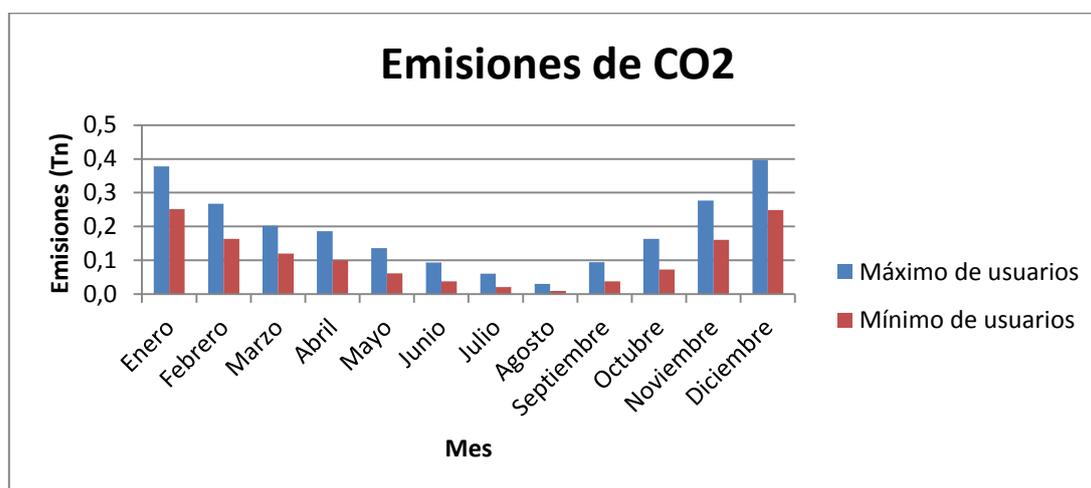


Gráfico 42. Emisiones mensuales de CO₂ para el máximo y mínimo de usuarios

En el gráfico se puede observar un descenso de las emisiones desde abril hasta octubre, por debajo de una tonelada, sobre todos en los meses de verano debido al menor uso de los sistemas de ACS y calefacción. Todo lo contrario ocurre en invierno, donde se alcanzan emisiones de casi 400 kilogramos de CO₂.

9. Propuestas de mejora

En este apartado se presentará una serie de propuestas para mejorar el estado del edificio desde el punto de vista energético y económico. Todas ellas están destinadas a una reducción del consumo energético y, por consiguiente, una reducción en el coste. Aunque se expongan solo tres mejoras, no se cierran las posibilidades a nuevas ideas. Se proponen las siguientes reformas:

- Reemplazar las calderas de gasóleo por calderas de gas natural.
- Sustitución de las calderas actuales de gasóleo por calderas de biomasa.
- Cambiar todos los tubos fluorescentes y halogenuros metálicos por luminarias LED.

9.1 Caldera de gas natural

La sustitución de las calderas de gasóleo por calderas de gas natural se realiza con el objetivo de disminuir tanto las emisiones de CO₂ como el consumo energético, lo que conlleva una reducción del coste anual.

Para determinar la potencia de la caldera a instalar, se debe tener en cuenta la demanda total del edificio (ACS y calefacción), además del número de horas de operación al día. Se supondrá un total de ocho horas al día de funcionamiento.

Mes	Días	Temperatura (°C)	Demanda ACS (kWh)	Contribución solar (kWh)	Demanda Calefacción (kWh)	Demanda Total (kWh)
Enero	31	11	1.109,93	455,07	503	1.157,86
Febrero	28	11	1.002,52	451,13	263	814,39
Marzo	31	12	1.087,28	641,5	167	612,78
Abril	30	13	1.030,29	537,75	67	559,54
Mayo	31	15	1.019,33	611,6	0	407,73
Junio	30	17	801,21	520,79	0	280,42
Julio	31	19	696,54	515,44	0	181,10
Agosto	31	20	453,03	362,43	0	90,60
Septiembre	30	18	782,58	500,85	0	281,73
Octubre	31	16	996,67	508,3	0	488,37
Noviembre	30	13	1.030,29	391,51	199	837,78
Diciembre	31	11	1.109,93	321,88	421	1.209,05
Total (kWh)			11.119,60	5.839,39	1.620	6.921,35

Tabla 212. Demanda energética total del edificio para el máximo de usuarios

Para considerar toda la demanda mensual posible, se van a realizar los cálculos para el mes en el que la demanda es mayor (diciembre), contando con el número máximo de usuarios (30 personas por día).

Mes	Días	Demanda Total (kWh)	Demanda diaria (kWh)	Potencia (kW)
Diciembre	31	1.209,05	39	4,875

Tabla 213. Demanda energética para el mes de enero

Por tanto, se propone la instalación de la siguiente caldera, cuyas especificaciones se encuentran en la Tabla 208.



Figura 89. Caldera de gas natural

Marca	BOSCH
Modelo	KBRC 15-1
Combustible	Gas natural
Potencia	15 KW
Rendimiento	93 %
Capacidad depósito ACS	160 L
Dimensiones (mm)	600x630x965
Temperatura máxima	100 °C

Tabla 214. Especificaciones técnicas de la caldera de gas natural

Por otro lado, la siguiente tabla muestra las características principales del gas natural:

Gas natural	
PCI (kJ/kg)	39.900
PCS (kJ/kg)	44.000
Densidad (kg/m ³)	0,737
Coste (c€/kWh)	5
Emisiones (gCO ₂ /kWh)	202

Tabla 215. Propiedades del gas natural

Así, a partir de la demanda de cada mes de ACS y calefacción utilizando las calderas de gasóleo, se puede obtener el consumo de gas natural y su respectivo coste.

Mes	Días	Temperatura (°C)	Demanda Total (kWh)	Consumo Total (kWh)
Enero	31	11	1.157,86	1.218,80
Febrero	28	11	814,39	857,25
Marzo	31	12	612,78	645,03
Abril	30	13	559,54	588,99
Mayo	31	15	407,73	429,19
Junio	30	17	280,42	295,18
Julio	31	19	181,10	190,63
Agosto	31	20	90,60	95,37
Septiembre	30	18	281,73	296,56
Octubre	31	16	488,37	514,07
Noviembre	30	13	837,78	881,87
Diciembre	31	11	1.209,05	1.272,68
Total (kWh)			6.921,35	7.285,63

Tabla 216. Consumo y demanda energética con la caldera de gas natural

A continuación, se expone un gráfico comparativo de los consumos mensuales con la caldera de gasóleo y la caldera de gas natural.

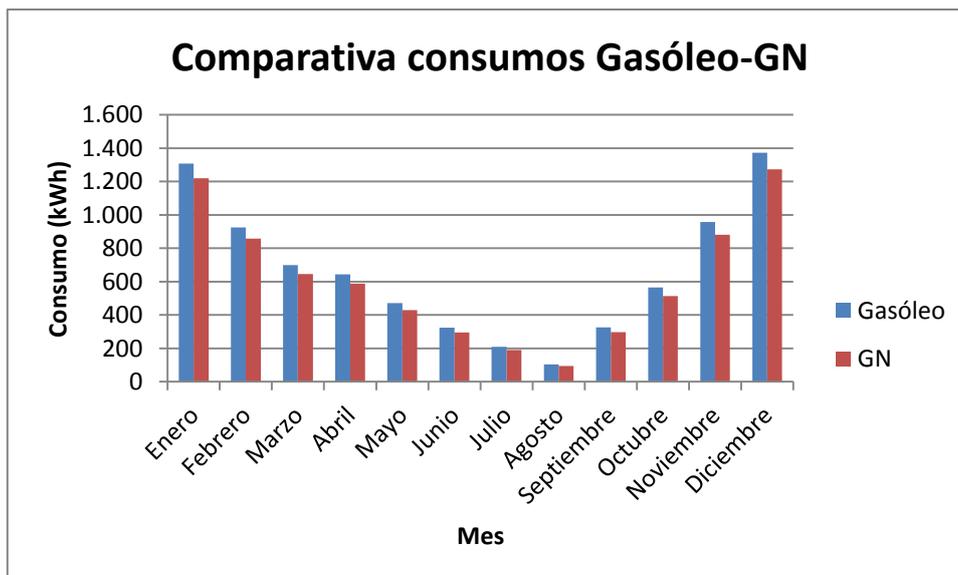


Tabla 43. Consumo energético mensual de gasóleo y gas natural

Se puede observar la diferencia en el consumo energético cuando se utilizan calderas de gas natural, sobre todo en los meses de invierno, donde más se utilizan los sistemas de ACS y calefacción.

Esta diferencia de consumos energéticos conlleva una importante diferencia de consumo de combustible y de coste económico.

Mes	Coste gasóleo (€)	Coste GN (€)	Ahorro (€)	Ahorro (%)
Enero	88,85	60,94	27,91	31,41
Febrero	62,89	42,86	20,03	31,85
Marzo	47,46	32,25	15,21	32,04
Abril	43,87	29,45	14,42	32,87
Mayo	32,06	21,46	10,60	33,06
Junio	22,05	14,76	7,29	33,07
Julio	14,24	9,53	4,71	33,06
Agosto	7,13	4,77	2,36	33,12
Septiembre	22,16	14,83	7,33	33,09
Octubre	38,41	25,70	12,71	33,08
Noviembre	65,01	44,09	20,92	32,17
Diciembre	93,24	63,63	29,61	31,75
Total	537,37	364,28	173,09	32,21

Tabla 217. Coste mensual de gasóleo y gas natural

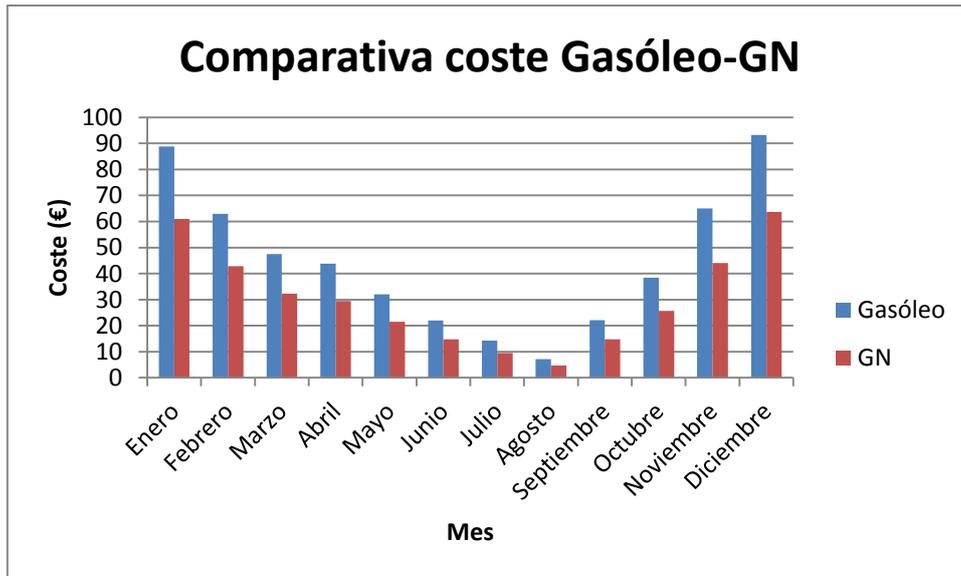


Gráfico 44. Coste mensual de gasóleo y gas natural

Lógicamente, al tener un menor consumo con el gas natural, el coste es menor que en el caso del gasóleo, logrando un ahorro anual del 32,21%.

Por último, se analizará la reducción de emisiones de CO₂, cuya cantidad es bastante menor al utilizar calderas de gas natural.

Mes	Emisiones gasóleo (Tn)	Emisiones GN (Tn)	Reducción (Tn)	Reducción (%)
Enero	0,378	0,25	0,13	34,87
Febrero	0,268	0,17	0,09	35,39
Marzo	0,202	0,13	0,07	35,50
Abril	0,187	0,12	0,07	36,38
Mayo	0,136	0,09	0,05	36,25
Junio	0,094	0,06	0,03	36,57
Julio	0,061	0,04	0,02	36,87
Agosto	0,03	0,02	0,01	35,79
Septiembre	0,094	0,06	0,03	36,27
Octubre	0,163	0,10	0,06	36,29
Noviembre	0,277	0,18	0,10	35,69
Diciembre	0,397	0,26	0,14	35,24
Total (Tn)	2,287	1,47	0,82	35,65

Tabla 218. Reducción de emisiones de CO₂ con gas natural respecto al gasóleo

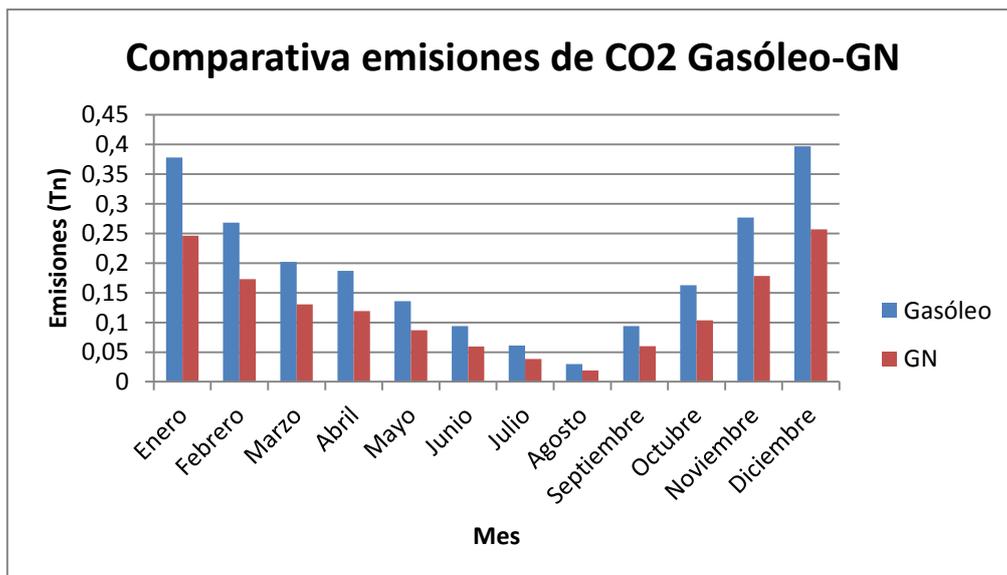


Gráfico 45. Emisiones de CO₂ mensuales para gasóleo y gas natural

Se ve cómo al usar calderas de gas natural se emiten menos contaminantes, llegando a una reducción anual de los mismos de un 35,65%.

A continuación, se presenta el presupuesto detallado de la instalación de gas natural.

Elemento	Importe (€)
Caldera 24 GTAF COMBI y quemador	2.497,36
Kit de seguridad para caldera a gas	170,63
Kit de unión de caldera a vaso de expansión	108,23
Kit de montaje de grupo de bombeo	43,88
Grupo de bombeo	468,00
Colector y compensador hidráulico	302,25
Interacumulador vertical de suelo	682,50
Kit de unión de caldera al acumulador	312,00
Termostato de ambiente	45,59
Material auxiliar para instalaciones de ACS y calefacción	10,74
Depósito de gas natural	1.853,00
Acometida de gas	517,17
Conjunto de regulación con armario	181,40

Contadores de gas	1.349,41
Tubería para instalación de gas	5,13
Sistema de detección de gas	793,04
Instalaciones auxiliares	160,90
Mano de obra	1.195,77
Costes indirectos	213,94
TOTAL	10.910,94

Tabla 219. Presupuesto de la instalación de gas natural

La inversión total requerida es de 10.910,94 €. Para estudiar la viabilidad del proyecto, se deben calcular el valor actualizado neto, la tasa interna de retorno y el período de retorno de la inversión. Para ello, se va a tomar un plazo de 15 años y un interés del 2%.

VAN	-8.686,88 €
TIR	-14,20%
PRI	63,03 años

Tabla 220. Parámetros de rentabilidad del proyecto

Al ser el VAN negativo, se puede afirmar que el proyecto no será rentable. Además el período de retorno de la inversión es de 63 años, lo que hace inviable la inversión.

9.2 Caldera de biomasa

Las calderas de biomasa son cada vez más automáticas y fiables, generando grandes ahorros económicos y numerosos beneficios sobre el medioambiente al no emitir emisiones de CO₂ a la atmósfera.

En una instalación de biomasa, el primer paso es decidir el combustible que se va a utilizar. Los más utilizados son pellets, astilla, por lo que se va a realizar un análisis y comparativa de cada uno de ellos.

Las principales especificaciones para cada uno de estos dos combustibles son las siguientes:

	Pellets	Astilla
PCI (kWh/kg)	5,1	4,07
Densidad (kg/m ³)	650	280
Precio (€/Tn)	252,25	90,00

Tabla 221. Características de los combustibles

Al igual que en el caso de la instalación de la caldera de gas natural, se van a realizar los cálculos para el mes en el que la demanda es mayor (diciembre), contando con el número máximo de usuarios (30 personas por día).

Mes	Días	Demanda Total (kWh)	Demanda diaria (kWh)	Potencia (kW)
Diciembre	31	1.209,05	39	4,875

Tabla 222. Demanda energética para el mes de enero

Por tanto, se propone la instalación de una de las siguientes calderas:

Marca y modelo	FROELING T4-24
Combustible	Astilla
Potencia nominal	24 kW
Rendimiento	91 %
Peso	620 kg
Contenido de agua	105 L
Temperatura máxima	90 °C
Presión de trabajo	3 bar

Tabla 223. Características de la caldera T4-24



Figura 90. Caldera T4-24

Marca y modelo	BAXI CBP MATIC
Combustible	Pellets
Potencia nominal	18 kW
Rendimiento	90%
Peso	350 kg

Tabla 224. Características de la caldera CBP MATIC



Figura 91. Caldera CBP MATIC

Una vez elegidas las calderas se compararán los consumos de energía y combustible de cada una, además de su coste.

Mes	Días	Temperatura (°C)	Demanda Total (kWh)	Consumo pellets (kWh)	Consumo astilla (kWh)
Enero	31	11	1.157,86	1.286,51	1.272,37
Febrero	28	11	814,39	904,88	894,93
Marzo	31	12	612,78	680,87	673,38
Abril	30	13	559,54	621,71	614,88
Mayo	31	15	407,73	453,03	448,05
Junio	30	17	280,42	311,58	308,15
Julio	31	19	181,10	201,22	199,01
Agosto	31	20	90,60	100,67	99,56
Septiembre	30	18	281,73	313,03	309,59
Octubre	31	16	488,37	542,63	536,67
Noviembre	30	13	837,78	930,87	920,64
Diciembre	31	11	1.209,05	1.343,39	1.328,63
Total (kWh)			6.921,35	7.690,39	7.605,98

Tabla 225. Consumo para las calderas de pellets y astilla

A continuación, se presenta un gráfico comparativo entre los consumos energéticos con caldera de gasóleo, caldera de astilla y caldera de pellets.

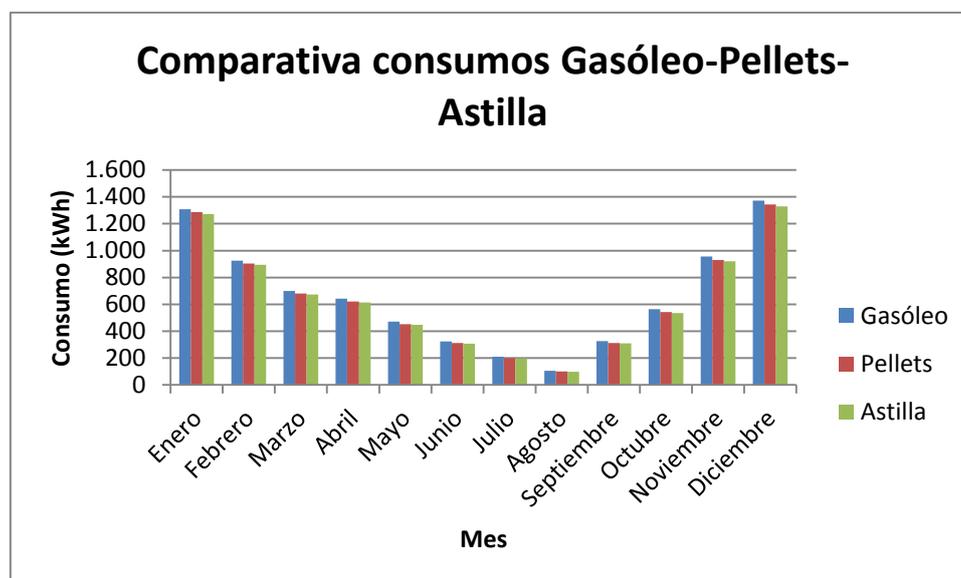


Gráfico 46. Comparación de consumos entre calderas de gasóleo, pellets y astillas

Se aprecia en el gráfico que el consumo con caldera de biomasa es ligeramente inferior al que se tiene actualmente con calderas de gasóleo. También se ve que los consumos con caldera de pellets y caldera de astilla son prácticamente idénticos, siendo ligeramente inferior la caldera de astilla.

Además del consumo energético, se deberá obtener la cantidad de cada combustible consumido. Este consumo se calcula dividiendo el consumo energético por el PCI del combustible.

$$\text{Consumo_combustible (kg)} = \frac{\text{Consumo_combustible (kWh)}}{\text{PCI}}$$

Mes	Consumo Pellets (kg)	Consumo Astilla (kg)
Enero	252,26	312,62
Febrero	177,43	219,89
Marzo	133,50	165,45
Abril	121,90	151,08
Mayo	88,83	110,09
Junio	61,09	75,71
Julio	39,46	48,90
Agosto	19,74	24,46
Septiembre	61,38	76,07
Octubre	106,40	131,86
Noviembre	182,52	226,20
Diciembre	263,41	326,44
Total (kg)	1.507,92	1.868,77

Tabla 226. Consumo en kilogramos de cada combustible

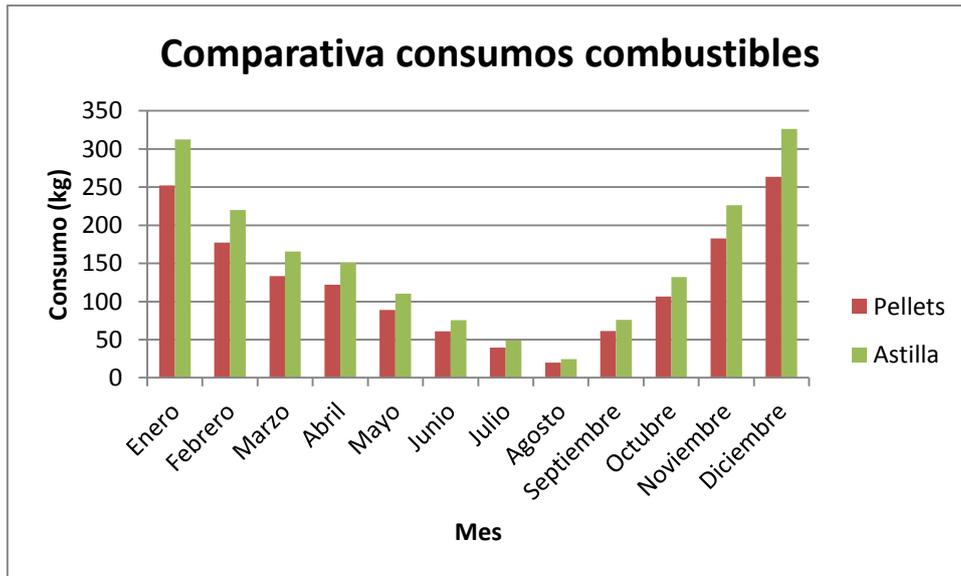


Gráfico 47. Consumo en kilogramos de cada combustible

El consumo de astilla es mayor en todos los meses, sobre todo en los meses de invierno, donde el consumo de combustible es mucho mayor.

Esta diferencia de consumos entre los diferentes combustibles conlleva una importante diferencia en el coste económico.

Mes	Coste gasóleo (€)	Coste pellets (€)	Coste astilla (€)	Ahorro pellets (€)	Ahorro astilla (€)	Ahorro Pellets (%)	Ahorro Astilla (%)
Enero	88,85	63,63	28,14	25,22	60,71	28,38	68,33
Febrero	62,89	44,76	19,79	18,13	43,10	28,83	68,53
Marzo	47,46	33,68	14,89	13,78	32,57	29,04	68,63
Abril	43,87	30,75	13,60	13,12	30,27	29,91	69,01
Mayo	32,06	22,41	9,91	9,65	22,15	30,11	69,10
Junio	22,05	15,41	6,81	6,64	15,24	30,11	69,10
Julio	14,24	9,95	4,40	4,29	9,84	30,11	69,10
Agosto	7,13	4,98	2,20	2,15	4,93	30,17	69,12
Septiembre	22,16	15,48	6,85	6,68	15,31	30,13	69,11
Octubre	38,41	26,84	11,87	11,57	26,54	30,12	69,10
Noviembre	65,01	46,04	20,36	18,97	44,65	29,18	68,68
Diciembre	93,24	66,45	29,38	26,79	63,86	28,74	68,49
Total	537,37	380,37	168,19	157,00	369,18	29,57	68,86

Tabla 227. Coste y ahorro económico mensual para con cada combustible

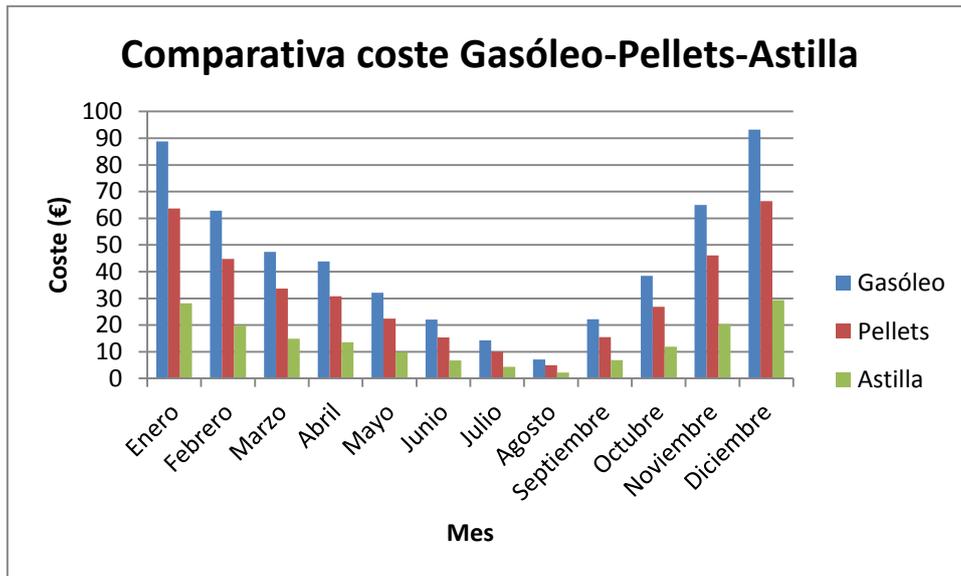


Gráfico 48. Coste mensual del consumo de gasóleo, pellets y astilla

Se observa que las calderas de biomasa son menos costosas que las de gasóleo, especialmente las que utilizan astilla.

Además de la caldera, es necesario instalar un depósito de inercia. Es simplemente un depósito acumulador que almacena calor residual en el momento de la parada de la caldera.

Se supondrá una capacidad para el depósito de 20 L/kW, por lo que se propone un depósito diferente para cada caldera:

- Caldera FROELING T4-24 (astilla).

Marca y modelo	INEROX COOL-500L
Capacidad	500 L
Diámetro	650 mm
Altura	1401 mm
Presión	6 bar
Precio	326,32 €

Tabla 228. Características principales del depósito de inercia (astilla)



Figura 92. Depósito de inercia COOL 500L

- Caldera BAXI CBP MATIC (pellets).

Marca y modelo	INEROX PS-540L
Capacidad	400 L
Diámetro	630 mm
Altura	1750 mm
Presión	6 bar
Precio	417,59 €

Tabla 229. Características principales del depósito de inercia (pellets)



Figura 93. Depósito de inercia PS 400L

Por último, se dimensionará un silo para el almacenamiento de combustible. Según la normativa española, la capacidad del silo será la suficiente para abastecer a la caldera durante dos semanas. Para ello, se va a analizar únicamente el mes de diciembre, ya que es el mes con más consumo de combustible, por lo que la capacidad mínima del silo calculada en este mes será mayor que la del resto de los meses del año. Los cálculos se harán para los dos combustibles estudiados.

- Pellets.

Mes	Días	Consumo (kWh)	Consumo combustible (kg)	Consumo combustible (m ³)	Consumo diario (m ³)	Consumo quincenal (m ³)
Diciembre	31	1.343,39	263,4096	0,4052	0,0131	0,1961

Tabla 230. Dimensionamiento del silo para pellets

- Astilla.

Mes	Días	Consumo (kWh)	Consumo combustible (kg)	Consumo combustible (m ³)	Consumo diario (m ³)	Consumo quincenal (m ³)
Diciembre	31	1.328,63	326,4438	1,1659	0,0376	0,5641

Tabla 231. Dimensionamiento del silo para astilla

Por tanto, la capacidad mínima del silo será de 0,196 m³ en el caso de utilizar una caldera de pellets, y 0,564 m³ al usar astilla.

Por último, se presenta una estimación del presupuesto de toda la instalación de biomasa, tanto para astilla como para pellets.

- Pellets.

Elemento	Importe (€)
Caldera BAXI CBP MATIC	4.191
Kit de montaje de la instalación	1.651,66
Sistema de alimentación	1.806,65
Sistema de llenado del silo	6.232,22
Depósito de inercia	417,59
Mano de obra	410,03

Costes indirectos	294,183
TOTAL	15.003,33

Tabla 232. Presupuesto de la instalación de biomasa (pellets)

- Astilla.

Elemento	Importe (€)
Caldera BAXI CBP MATIC	13.419,90
Kit de montaje de la instalación	2.957,18
Sistema de alimentación	4.399,21
Sistema de llenado del silo	6.232,22
Depósito de inercia	326,32
Mano de obra	622,37
Costes indirectos	559,14
TOTAL	28.516,34

Tabla 233. Presupuesto de la instalación de biomasa (astilla)

Para estudiar la viabilidad del proyecto, se deben calcular el valor actualizado neto, la tasa interna de retorno y el período de retorno de la inversión. Para ello, se va a tomar un plazo de 15 años y un interés del 2%.

	Pellets	Astilla
VAN	-12.968,03	-23.772,67
TIR	-17,42	-15,81
PRI	95,56 años	77,24 años

Tabla 234. Parámetros de rentabilidad del proyecto

La sustitución de la caldera de gasóleo actual por una caldera de biomasa (tanto astillas como pellets) no es una inversión rentable (VAN negativo) debido, entre otros, al alto precio unitario del combustible y el precio de la instalación.

9.3 Sustitución de tubos fluorescentes y halogenuros por LED

Esta propuesta pretende implantar iluminación LED en todas las zonas del edificio, ya que presenta numerosos beneficios como un bajo consumo, ahorro energético y económico, poca emisión de calor y larga duración. Para determinar qué tipo de luminaria instalar, será necesario conocer los lúmenes de cada una de las que están instaladas actualmente.

Zona	Área (m ²)	Número luminarias	Potencia (W)	E (lux)	Lumen/ud mínimo
Vestuario masculino	24	16	288	504,20	756
Vestuario femenino	24	16	288	504,20	756
Vestuario minusválidos	6	2	36	105,00	315
Vestuario equipo arbitraje	12	2	36	90,50	543
Pista	1.584	36	14.400	678,40	29.850
Sala de máquinas	20	4	72	256,75	1.284
Almacén	16	2	36	205,50	1.644
Entrada al inmueble	30	10	180	308,80	926
Cuarto de limpieza	6	2	36	100,00	300

Tabla 235. Especificaciones de iluminación de cada luminaria

Al no disponer de mediciones de iluminancia del cuarto de limpieza, se ha tomado el valor recomendado por la norma UNE-EN 12464-1, correspondiente a 100 lux.

Así, se pretende instalar luminarias LED con una iluminancia similar pero de menor potencia, consiguiéndose un ahorro energético y económico. Por tanto, a partir de varios catálogos de luminarias, se propone la siguiente instalación:

Zona	Número luminarias	Potencia (W/ud)	Lumen/ud	Modelo
Vestuario masculino	16	9	800	Regleta LED OSRAM BATTEN 9W
Vestuario femenino	16	9	800	Regleta LED OSRAM BATTEN 9W
Vestuario minusválidos	2	9	800	Regleta LED OSRAM BATTEN 9W
Vestuario equipo arbitraje	2	9	800	Regleta LED OSRAM BATTEN 9W

Pista	36	200	26.000	FOFI-PH30HU
Sala de máquinas	4	13	1300	Regleta LED T5 13W
Almacén	2	15	1.650	Regleta LED Inspire MOSS 15W
Entrada al inmueble	10	11	1.000	Regleta LED Inspire MOSS 11W
Cuarto de limpieza	2	9	800	Regleta LED OSRAM BATTEN 9W

Tabla 236. Propuesta de luminarias LED

Por tanto, las luminarias elegidas son las siguientes:

Marca y modelo	OSRAM BATTEN 9W
Tecnología	LED
Forma	Rectangular
Dimensiones (cm)	57,8x4,12,3
Potencia	9 W
Flujo luminoso	800 lm
Tono de luz	4000 K
Color	Blanco
Material	Plástico
Eficiencia energética	A+
Precio unitario	19,95 €/ud

Tabla 237. Especificaciones de la regleta LED OSRAM BATTEN 9W



Figura 94. Regleta LED OSRAM BATTEN 9W

Este modelo se implantará en los vestuarios masculino y femenino, vestuario de minusválidos y del equipo de arbitraje y cuarto de limpieza. El siguiente modelo se sugiere para la entrada al edificio.

Marca y modelo	Inspire MOSS 11W
Tecnología	LED
Forma	Rectangular
Longitud	110 cm
Potencia	11 W
Flujo luminoso	1.000 lm
Tono de luz	4000 K
Color	Blanco
Material	Plástico
Eficiencia energética	A+
Precio unitario	17,95 €/ud

Tabla 238. Especificaciones de la regleta LED Inspire MOSS 11W



Figura 95. Regleta LED Inspire MOSS 11W

Para la sala de máquinas se propone la siguiente luminaria:

Marca y modelo	T5 13W
Tecnología	LED
Forma	Rectangular
Longitud	117 cm
Potencia	13 W
Flujo luminoso	1300 lm
Tono de luz	6400 K
Color	Blanco
Eficiencia energética	A+
Precio unitario	7,95 €/ud

Tabla 239. Especificaciones de la regleta LED T5 13W



Figura 96. Regleta LED T5 13W

La luminaria a instalar en el almacén es la regleta LED Inspire MOSS 15W.

Marca y modelo	Inspire MOSS 15W
Tecnología	LED
Forma	Rectangular
Longitud	120,9 cm
Potencia	15 W
Flujo luminoso	1650 lm
Tono de luz	4000 K
Color	Blanco
Material	Plástico
Eficiencia energética	A+
Precio unitario	19,95 €/ud

Tabla 240. Especificaciones de la regleta LED Inspire MOSS 15W



Figura 97. Regleta LED Inspire MOSS 15W

Y, por último, las luminarias a instalar en la pista deportiva siguen las siguientes especificaciones:

Marca y modelo	FOFI-PH30HU
Tecnología	LED
Forma	Circular
Diámetro	280 mm
Potencia	200W
Flujo luminoso	26000 lm
Tono de luz	6000 K
Color	Blanco
Eficiencia energética	A+
Precio unitario	310,85 €/ud

Tabla 241. Especificaciones de FOFI-PH30HU



Figura 98. FOFI-PH30HU

Antes de evaluar el consumo de las luminarias seleccionadas, es necesario comprobar que cada una de ellas cumple con los valores recomendados de iluminación.

Zona	Área (m ²)	Número luminarias	Potencia (W)	Iluminancia (lux)	Iluminancia recomendada (lux)	CUMPLE
Vestuario masculino	24	16	144	533,33	200	SÍ
Vestuario femenino	24	16	144	533,33	200	SÍ
Vestuario minusválidos	6	2	18	266,67	200	SÍ

Vestuario equipo arbitraje	12	2	18	133,33	200	NO
Pista	1.584	36	7200	590,91	300	SÍ
Sala de máquinas	20	4	52	260,00	200	SÍ
Almacén	16	2	30	206,25	200	SÍ
Entrada al inmueble	30	10	110	333,33	100	SÍ
Cuarto de limpieza	6	2	18	266,67	100	SÍ

Tabla 242. Verificación iluminancia

Se puede observar en la tabla que la única estancia que carece de la suficiente iluminación es el vestuario del equipo de árbitros, ya que requiere una iluminancia muy alta. Para solucionar este problema se debería instalar, por ejemplo, una luminaria de mayor potencia o más luminarias.

Por otro lado, se debe calcular para cada luminaria el Valor de Eficiencia Energética de Iluminación, con el objetivo de comprobar si son aptas para su instalación y uso. Este coeficiente se calcula como

$$VEEI = \frac{P \cdot 100}{S \cdot E}$$

Zona	VEEI	VEEI recomendado	CUMPLE
Vestuario masculino	1,125	4	SÍ
Vestuario femenino	1,125	4	SÍ
Vestuario minusválidos	1,125	4	SÍ
Vestuario equipo arbitraje	1,125	4	SÍ
Pista	0,769	4	SÍ
Sala de máquinas	1	4	SÍ
Almacén	0,909	4	SÍ
Entrada al inmueble	1,1	6	SÍ
Cuarto de limpieza	1,125	4	SÍ

Tabla 243. Cálculo del VEEI para cada zona del edificio

En la tabla anterior se puede observar que cada VEEI calculado es inferior a su respectivo VEEI límite, por lo que todas las luminarias son eficientes energéticamente.

A continuación se analizará el ahorro en el consumo energético y el coste para cada mes.

Mes	Días	Consumo original (kWh)	Consumo LED (kWh)	Ahorro (kWh)	Ahorro (%)
Enero	31	1.585,03	798,36	786,67	49,63
Febrero	28	1.681,24	846,50	834,74	49,65
Marzo	31	1.861,38	937,20	924,18	49,65
Abril	30	1.801,33	906,97	894,37	49,65
Mayo	31	1.861,38	937,20	924,18	49,65
Junio	30	1.407,92	710,21	697,71	49,56
Julio	31	1.137,18	574,93	562,25	49,44
Agosto	31	746,23	376,29	369,94	49,57
Septiembre	30	1.451,12	731,81	719,31	49,57
Octubre	31	1.861,38	937,20	924,18	49,65
Noviembre	30	1.801,33	906,97	894,37	49,65
Diciembre	31	1.964,47	988,08	976,39	49,70
Total		19.159,97	9.651,71	9.508,26	49,63

Tabla 244. Ahorro energético con luminarias LED

En la tabla anterior se ve cómo el ahorro es prácticamente el mismo en todos los meses, casi un 50%. Este ahorro conseguido se observa mejor en el siguiente gráfico.

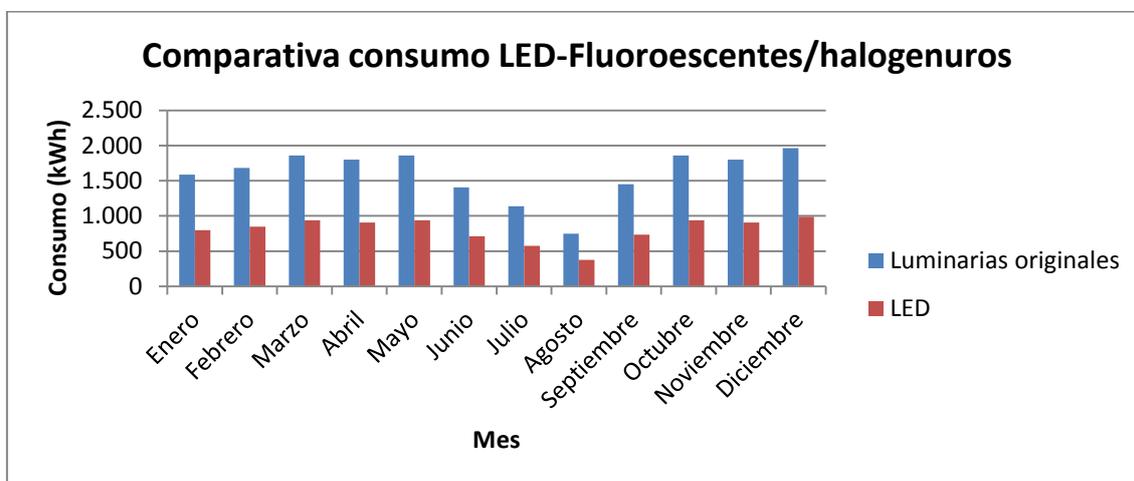


Gráfico 49. Comparativa entre el consumo LED y las luminarias actuales

Se aprecia en todos los meses una reducción del consumo energético de iluminación de aproximadamente el 50%.

En cuanto al coste mensual, a continuación se verá que también queda bastante reducido. Se considerará un coste de la energía de 17,325 c€/kWh.

Mes	Días	Coste actual (€)	Coste LED (€)	Ahorro (€)	Ahorro (%)
Enero	31	274,61	138,32	136,29	49,63
Febrero	28	291,28	146,66	144,62	49,65
Marzo	31	322,48	162,37	160,11	49,65
Abril	30	312,08	157,13	154,95	49,65
Mayo	31	322,48	162,37	160,11	49,65
Junio	30	243,92	123,04	120,88	49,56
Julio	31	197,02	99,61	97,41	49,44
Agosto	31	129,28	65,19	64,09	49,57
Septiembre	30	251,41	126,79	124,62	49,57
Octubre	31	322,48	162,37	160,11	49,65
Noviembre	30	312,08	157,13	154,95	49,65
Diciembre	31	340,34	171,19	169,16	49,70
Total		3.319,47	1.672,16	1.647,31	49,63

Tabla 245. Ahorro en el coste de iluminación

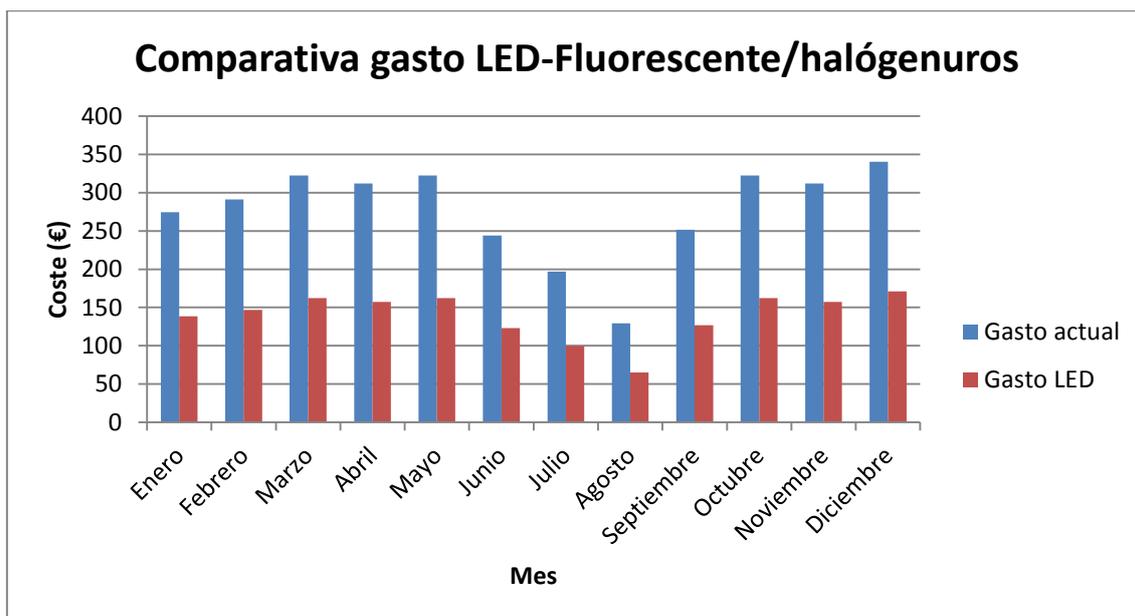


Gráfico 50. Comparativa entre el gasto LED y las luminarias actuales

Se reduce por tanto un 50 % el gasto mensual de iluminación debido a la instalación de LED en todas las zonas del inmueble. De este modo, el ahorro tanto energético como económico en un año es el siguiente:

Ahorro energético	9.508,26 kWh
-------------------	--------------

Ahorro económico	1.647,31 €
------------------	------------

Tabla 246. Ahorro en consumo y coste en un año debido a la instalación LED

A continuación, se propone una estimación del presupuesto de la instalación de luminarias LED en el edificio:

Elemento	Importe (€)
Regleta LED OSRAM BATTEN 9W (x38)	758,10
Regleta LED Inspire MOSS 11W (x10)	179,50
Regleta LED T5 13W (x4)	31,80
Regleta LED Inspire MOSS 15W (x2)	39,90
Foco FOFI-PH30HU (x36)	11.190,6
Equipos auxiliares	3.500
Mano de obra	21,65
Costes indirectos	314,43
Total	16.035,98

Tabla 247. Presupuesto de la instalación de luminarias LED

La inversión total requerida es de 16.035,98 €. Para estudiar la viabilidad del proyecto, se deben calcular el valor actualizado neto, la tasa interna de retorno y el período de retorno de la inversión. Para ello, se va a tomar un plazo de 15 años y un interés del 2%.

VAN	5.130,75 €
TIR	5,96%
PRI	9,73 años

Tabla 248. Parámetros de rentabilidad del proyecto

Al ser el VAN positivo, el proyecto será completamente rentable. Además, la inversión se recuperará en aproximadamente diez años.

Anexo 2. Informe del Pabellón Sangonera la Seca

1. Datos generales de la auditoría

Datos generales de la auditoría	
Número de la auditoría	003
Fecha de la auditoría	19/04/2018
Número de edificios a auditar	3
Auditor	Javier Fuentes García
Empresa	Universidad Politécnica de Cartagena
Firma	

Tabla 249. Características de la auditoría

2. Características generales y constructivas del edificio

El edificio a auditar es el Pabellón Cabezo de Torres, situado en la calle Rambla del Carmen, 16, en Cabezo de Torres, Murcia.

Información general	
Nombre de la instalación	Pabellón Sangonera la Seca
Uso principal	Polideportivo
Dirección	Calle Caridad Hernández Baro, 2
Municipio	Murcia
Provincia	Murcia
Persona de contacto	José Ángel Sánchez
Correo electrónico o número de teléfono	968 811 363

Tabla 250. Información general del Pabellón Sangonera la Seca



Figura 99. Exterior del Pabellón Sangonera la Seca



Figura 100. Pabellón Sangonera la Seca visto desde el aire

El edificio consta de una pista deportiva, vestuario femenino, vestuario masculino, vestuario para minusválidos, vestuario del equipo de arbitraje, un almacén, un cuarto de limpiezas y la sala de máquinas.



Figura 101. Pista deportiva



Figura 102. Sala de calderas

Régimen de funcionamiento	
Número de usuarios por día	20-40 usuarios/día
Número aproximado de trabajadores	5-10
Descripción de las tareas más habituales	
Clases de Educación Física (alumnos de Primaria y ESO) y alquiler de la pista para actividades deportivas.	
Horario habitual	Lunes a viernes: 8.30- 23.30 Sábado: 9.00 – 21.00 Domingo: 9.00 – 15.00
Días de la semana en los que el centro no abre	
Sábado y domingo (horario diferente)	
Meses de mayor inactividad	
Julio (menos actividades deportivas) Agosto (cerrado 15 días)	

Tabla 251. Régimen de funcionamiento del Pabellón Zeneta

El centro se encuentra abierto de lunes a viernes de 8.30 a 23.30, es decir, quince horas diarias. Los sábados abren doce horas, mientras que los domingos son seis. Teniendo en cuenta que durante la primera quincena de agosto cierran las instalaciones y tomando como media unos diez días festivos al año, el número de horas de operación anuales es aproximadamente de:

$$15 \times (365 - 52 \times 2 - 12 - 10) = 3585 \text{ h/año (lunes – viernes).}$$

$$12 \times (52 - 2) = 600 \text{ h/año (sábados).}$$

$$6 \times (52 - 2) = 300 \text{ h/año (domingos).}$$

Por tanto, hacen un total de $3585 + 600 + 300 = 4485$ h/año.

Se procederá ahora a estudiar los diferentes espacios que presenta el establecimiento. A continuación, se muestra una tabla con cada una de las zonas del edificio, con sus respectivas áreas.

Zona	Dimensiones (m)	Área (m²)
Pista deportiva	48x33x7	1584
Vestuario femenino	3x8x3	24
Vestuario masculino	3x8x3	24

Vestuario minusválidos	2x3x3	6
Vestuario equipo arbitraje	4x3x3	12
Cuarto de limpieza	3x2x3	6
Sala de máquinas	4x5x3	20
Entrada al edificio	5x6x3	30
Almacén	4x4x3	16
Área total (m²)		1790

Tabla 252. Dimensiones y áreas del edificio.

Por último, en este apartado se analizará la envolvente térmica. Para ello, se recurre al DB HE-1, Apéndice B, donde se obtiene la siguiente tabla de zonas climatológicas:

Capital	Z.C.	Altitud	A4	A3	A2	A1	B4	B3	B2	B1	C4	C3	C2	C1	D3	D2	D1	E1	
Albacete	D3	677										h < 450			h < 950			h ≥ 950	
Alicante/Alacant	B4	7					h < 250								h < 700			h ≥ 700	
Almería	A4	0	h < 100				h < 250	h < 400				h < 800			h < 800			h ≥ 800	
Ávila	E1	1054														h < 550	h < 850	h ≥ 850	
Badajoz	C4	168									h < 400	h < 450			h < 450				
Barcelona	C2	1										h < 250			h < 450	h < 750	h ≥ 750		
Bilbao/Bilbo	C1	214											h < 250			h < 250	h < 600	h ≥ 600	
Burgos	E1	861															h < 600	h ≥ 600	
Cáceres	C4	385									h < 600				h < 1050			h ≥ 1050	
Cádiz	A3	0	h < 150				h < 450					h < 600	h < 850			h < 850			
Castellón/Castelló	B3	18					h < 50					h < 500			h < 600	h < 1000		h ≥ 1000	
Ceuta	B3	0					h < 50												
Ciudad Real	D3	630									h < 450	h < 500			h < 500				
Córdoba	B4	113					h < 150				h < 550				h < 550				
Coruña, La/ A Coruña	C1	0												h < 200			h < 200		
Cuenca	D2	975													h < 800	h < 1050		h < 1050	
Girona/Girona	D2	143										h < 100			h < 600			h < 600	
Granada	C3	754	h < 50				h < 350				h < 600	h < 800			h < 1300			h < 1300	
Guadalajara	D3	708													h < 950	h < 1000		h < 1000	
Huelva	A4	50	h < 50				h < 150	h < 350				h < 800			h < 800				
Huesca	D2	432										h < 200			h < 400	h < 700		h < 700	
Jáen	C4	436					h < 350				h < 750				h < 1250			h < 1250	
León	E1	346																h < 1250	
Lérida/Leida	D3	131										h < 100			h < 600			h < 600	
Logroño	D2	379											h < 200			h < 700		h < 700	
Lugo	D1	412															h < 500	h < 500	
Madrid	D3	589										h < 500			h < 950	h < 1000		h < 1000	
Málaga	A3	0						h < 300				h < 700			h < 700				
Méllila	A3	130																	
Murcia	B3	25						h < 100				h < 550			h < 550				
Orense/Ourense	D2	327										h < 150	h < 300			h < 800		h < 800	
Oviedo	D1	214											h < 50				h < 550	h < 550	
Palencia	D1	722															h < 800	h < 800	
Palma de Mallorca	B3	1						h < 250				h < 250							
Pamplona/Iruña	D1	456											h < 100		h < 300	h < 600		h < 600	
Pontevedra	C1	77											h < 350					h < 350	
Salamanca	D2	770													h < 800			h < 800	
San Sebastián/Donostia	D1	5															h < 400	h < 400	
Santander	C1	1												h < 150			h < 650	h < 650	
Segovia	D2	1013														h < 1000		h < 1000	
Sevilla	B4	9					h < 200				h < 200								
Soria	E1	984															h < 750	h < 800	h < 800
Tarragona	B3	1					h < 50					h < 500			h < 500				
Teruel	D2	995										h < 450	h < 500			h < 1000		h < 1000	
Toledo	C4	445									h < 500				h < 500				
Valencia/València	B3	8					h < 50					h < 500				h < 950		h < 950	
Valladolid	D2	704													h < 800			h < 800	
Vitoria/Gasteiz	D1	512															h < 500	h < 500	
Zamora	D2	617														h < 800		h < 800	
Zaragoza	D3	207										h < 200			h < 650			h < 650	

Tabla 253. Zonas climáticas de la Península Ibérica

Se considera la zona climatológica B3, con una altitud respecto del nivel del mar de 25 metros.

Una vez determinada la zona climática, se ha recurrido al software “VPCLIMA”, una simulación en la que a partir del diseño de la envolvente térmica del edificio, el programa ofrece numerosos resultados. De todos ellos, se incluirán en el informe la transmitancia térmica en muros y huecos, además de la demanda de calefacción (se analizará posteriormente).

Por simplicidad, se puede dividir el edificio en dos partes: la pista deportiva y el resto de la instalación, que contiene todos los vestuarios, las demás estancias y la entrada al edificio.

- Pista deportiva. Área = 1584 m².

Elemento	Tipo	Orientación	Superficie (m ²)	Transmitancia (W/m ² K)
Pared 1	Fachada	NO	336	0,83
Pared 2	Fachada	SO	231	0,83
Pared 3	Fachada (parte de ella es interior)	SE	336	0,58
Pared 4	Fachada	NE	231	0,83
Suelo pista	Suelo	-	1584	0,52
Cubierta pista	Cubierta	-	1584	0,45

Tabla 254. Transmitancia de cada elemento perteneciente a la pista deportiva

Elemento	Tipo	Superficie (m ²)	Orientación	Transmitancia (W/m ² k)
Puerta emergencia 1	Puerta	3,225	NO	2,5
Puerta emergencia 2	Puerta	3,225	NO	2,5
Puerta entrada pista	Puerta	6	SE	2,5
Claraboyas en la cubierta (x64)	Claraboya	0,65	-	2,5

Tabla 255. Transmitancia de cada hueco perteneciente a la pista deportiva

El software establece un valor de 2,5 W/m²K por cada hueco, indistintamente si es ventana, puerta exterior o claraboya.

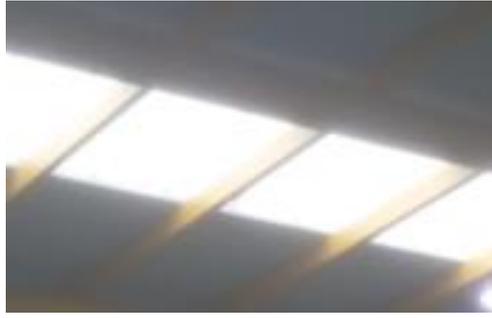


Figura 103. Claraboyas de la pista deportiva

- Resto de la instalación. Área = 190 m².

Elemento	Tipo	Superficie (m ²)	Transmitancia (W/m ² K)
Pared 1'	Muro interior	114	0,58
Pared 2'	Fachada	15	0,83
Pared 3'	Fachada	114	0,83
Pared 4'	Fachada	15	0,83
Suelo	Suelo	190	0,52
Cubierta	Cubierta	190	0,45

Tabla 256. Transmitancia de cada elemento perteneciente al resto del inmueble

Elemento	Tipo	Superficie (m ²)	Orientación	Transmitancia (W/m ² K)
Puerta principal	Puerta	6,25	SE	2,5
Puerta sala de máquinas (x2)	Puerta	3	NO	2,5
Puerta cuarto de limpieza	Puerta	3	SO	2,5
Ventanas vestuarios (x8)	Ventana	0,28	NE	2,5

Tabla 257. Transmitancia de cada hueco perteneciente al resto del inmueble

3. Sistema de agua caliente sanitaria

El pabellón cuenta con una caldera, un acumulador, un sistema de bombeo, un vaso de expansión y un intercambiador de placas.

Generalidades ACS
La instalación dispone de sistema ACS SI
Forma de producción: Con acumulación
Depósitos de acumulación : Acumuladores

Tabla 258. Generalidades ACS del Pabellón Sangonera la Seca

Este edificio cuenta con un sistema ACS con producción con acumulación, es decir, que en los momentos de demanda se utiliza el agua caliente acumulada. El agua es almacenada en dos acumuladores.

A continuación, se presentan cada uno de los componentes del sistema y sus características.

Equipo de calentamiento	
Elemento	Caldera
Número de unidades	1
Marca/modelo	Roca/ LIDIA 40GT
Combustible	Gasóleo
Fluido calefactor	Agua caliente
Temperatura máxima	100 °C
Potencia útil	48,3 KW
Rendimiento	88,2 %
Temperatura humos	265,4 °C
% O₂	8,7%
% CO₂	11,01%
ppm CO	45 ppm
Coef. exceso aire	1,4

Tabla 259. Equipo de calentamiento de ACS del Pabellón Sangonera la Seca



Figura 104. Caldera ACS

Depósitos de acumulación	
Número de depósitos	1
Capacidad	1000 L

Tabla 260. Acumulador ACS



Figura 105. Acumulador ACS



Figura 106. Vaso de expansión



Figura 107. Intercambiador de placas



Figura 108. Bomba del sistema ACS

4. Sistema de calefacción

La instalación presenta un equipo de calefacción que, según su forma de producción, trabaja con combustible y emplea agua como modo de distribución del calor. Además, los elementos terminales del sistema son radiadores.

Generalidades	
La instalación dispone de sistema de calefacción	SÍ
Forma de producción: Por combustible	
Modo de distribución del calor: Agua	
Elementos terminales: Radiadores	

Tabla 261. Generalidades del sistema de calefacción

Además de los radiadores, se ha incluido información sobre el equipo de calentamiento (caldera) y el depósito de acumulación.

Equipo de calentamiento	
Elemento	Caldera
Número de unidades	1
Marca/ modelo	Roca/ LIDIA 20GT
Combustible	Gasóleo
Fluido calefactor	Agua caliente
Presión máxima	4 bar
Temperatura máxima	100 °C
Potencia nominal	23,3 KW
Potencia útil	20,9 KW
Rendimiento	85%
Temperatura humos	331,9 °C
% O ₂	4,9%
% CO ₂	11,88%
Coef. Exceso aire	1,3
Horas operación	4 h/día

Tabla 262. Caldera de calefacción

La caldera de calefacción sólo se utiliza durante tres meses al año aproximadamente, desde diciembre hasta el mes de marzo.

El sistema también cuenta con un vaso de expansión, grupo de bombeo e intercambiador de placas. Además, el depósito del gasóleo necesario para las calderas de ACS y calefacción tiene una capacidad de 5000 litros.



Figura 109. Caldera de calefacción

Equipos emisores de calor		
Elemento	Radiador	Radiador
Número de módulos	15	6
Número de unidades	4	3
Zonas o locales	Vestuarios masculino y femenino	Vestuarios (minusválido y equipo de arbitraje) y entrada al edificio
Fluido	Agua	Agua
Potencia	1500 W	600 W

Tabla 263. Características de los equipos emisores de calor



Figura 110. Radiador (15 módulos) de vestuario

5. Sistema de ventilación

El edificio cuenta con un sistema de ventilación natural a través de puertas, ventanas y rejillas de ventilación. El objetivo de la ventilación de un local es conseguir unas determinadas condiciones de temperatura y humedad. Según el Reglamento de Instalaciones Térmicas de Edificios (RITE), las condiciones óptimas son las siguientes:

Tabla 1.4.1.1 Condiciones interiores de diseño		
Estación	Temperatura operativa °C	Humedad relativa %
Verano	23...25	45...60
Invierno	21...23	40...50

Tabla 264. Condiciones óptimas en el interior de un local. Fuente: RITE

La pista deportiva cuenta con dos puertas de emergencia de aproximadamente 2 m de ancho y 2,5 metros de largo, ambas en la fachada de orientación noroeste. Además, cuenta con dos rejillas de 80 cm de ancho y 120 cm de alto, encontrándose aproximadamente a un metro del suelo.



Figura 111. Pista deportiva con puerta de emergencia y rejilla de ventilación (fondo)

Para calcular el caudal mínimo de aire de ventilación en la pista, se debe conocer el aforo máximo y el caudal mínimo de aire exterior por persona. A través del RITE y el CTE se puede obtener toda esa información.

Tabla 2.1. Densidades de ocupación⁽¹⁾

Uso previsto	Zona, tipo de actividad	Ocupación (m ² /persona)
Cualquiera	Zonas de ocupación ocasional y accesibles únicamente a efectos de mantenimiento: salas de máquinas, locales para material de limpieza, etc.	Ocupación nula
	Aseos de planta	3
Residencial Vivienda	Plantas de vivienda	20
Residencial Público	Zonas de alojamiento	20
	Salones de uso múltiple	1
	Vestíbulos generales y zonas generales de uso público en plantas de sótano, baja y entreplanta	2
Aparcamiento ⁽²⁾	Vinculado a una actividad sujeta a horarios: comercial, espectáculos, oficina, etc.	15
	En otros casos	40
Administrativo	Plantas o zonas de oficinas	10
	Vestíbulos generales y zonas de uso público	2
Docente	Conjunto de la planta o del edificio	10
	Locales diferentes de aulas, como laboratorios, talleres, gimnasios, salas de dibujo, etc.	5
	Aulas (excepto de escuelas infantiles)	1,5
	Aulas de escuelas infantiles y salas de lectura de bibliotecas	2
Hospitalario	Salas de espera	2
	Zonas de hospitalización	15

Tabla 265. Densidades de ocupación dadas por el CTE. Fuente: RITE

Siendo el uso docente y la zona de actividad un gimnasio, se toma un valor de 5 m² por persona. Sabiendo que el área de la pista es de 1584 m²,

$$\frac{1584 \text{ m}^2}{5 \text{ m}^2/\text{persona}} = 317 \text{ personas}$$

A partir de la siguiente tabla, se obtiene el caudal mínimo por persona de aire exterior de ventilación:

Tabla 1.4.2.1 Caudales de aire exterior, en dm³/s por persona	
Categoría	dm ³ /s por persona
IDA 1	20
IDA 2	12,5
IDA 3	8
IDA 4	5

Tabla 266. Caudal mínimo de aire exterior de ventilación. Fuente: RITE

Al estar trabajando con un polideportivo, se toma el valor perteneciente a la categoría IDA 3: 8 dm³/s por persona. Por tanto, el caudal mínimo de ventilación será:

$$\frac{8 \text{ dm}^3}{\text{s} \cdot \text{persona}} \cdot 317 \text{ personas} \cdot \frac{\text{m}^3}{1000 \text{ dm}^3} \cdot \frac{3600 \text{ s}}{\text{h}} = 9129,6 \text{ m}^3/\text{h}$$

Otra zona a estudiar son los vestuarios masculino y femenino. Estos cuentan con una rejilla de ventilación y 8 ventanas en una pared del vestuario.

Para vestuarios se tomará un valor de 3 m²/persona, además de un caudal mínimo de 8 dm³ por persona. Teniendo cada vestuario un área de 24 m²:

$$\frac{24 \text{ m}^2}{3 \text{ m}^2/\text{persona}} = 8 \text{ personas}$$

$$\frac{8 \text{ dm}^3}{\text{s} \cdot \text{persona}} \cdot 8 \text{ personas} \cdot \frac{\text{m}^3}{1000 \text{ dm}^3} \cdot \frac{3600 \text{ s}}{\text{h}} = 230,4 \text{ m}^3/\text{h}$$

A continuación, se analizarán los dos vestuarios de minusválidos y el vestuario de árbitros, contando únicamente con una rejilla de ventilación de 35x15 cm. Para este caso se han utilizado los mismos parámetros que en el análisis en los vestuarios masculino y femenino.

- Vestuario de minusválidos. Área = 6 m².

$$\frac{6 \text{ m}^2}{3 \text{ m}^2/\text{persona}} = 2 \text{ personas}$$

$$\frac{8 \text{ dm}^3}{\text{s} \cdot \text{persona}} \cdot 2 \text{ personas} \cdot \frac{\text{m}^3}{1000 \text{ dm}^3} \cdot \frac{3600 \text{ s}}{\text{h}} = 57,6 \text{ m}^3/\text{h}$$

- Vestuario del equipo de árbitros. Área = 12 m².

$$\frac{12 \text{ m}^2}{3 \text{ m}^2/\text{persona}} = 4 \text{ personas}$$

$$\frac{8 \text{ dm}^3}{\text{s} \cdot \text{persona}} \cdot 4 \text{ personas} \cdot \frac{\text{m}^3}{1000 \text{ dm}^3} \cdot \frac{3600 \text{ s}}{\text{h}} = 115,2 \text{ m}^3/\text{h}$$

Por último, se obtendrá el caudal mínimo para el almacén y el cuarto de limpieza, ambos con una rendija de ventilación de 35x15 cm.

- Cuarto de limpieza. Esta habitación tiene un área de 6 m² y una densidad de ocupación de 2 m²/persona.

$$\frac{6 \text{ m}^2}{2 \text{ m}^2/\text{persona}} = 3 \text{ personas}$$

$$\frac{8 \text{ dm}^3}{\text{s} \cdot \text{persona}} \cdot 3 \text{ personas} \cdot \frac{\text{m}^3}{1000 \text{ dm}^3} \cdot \frac{3600 \text{ s}}{\text{h}} = 86,4 \text{ m}^3/\text{h}$$

- Almacén. Cuenta con un área de 16 m² y la misma densidad de ocupación que presenta el cuarto de limpieza

$$\frac{16 \text{ m}^2}{2 \text{ m}^2/\text{persona}} = 8 \text{ personas}$$

$$\frac{8 \text{ dm}^3}{\text{s} \cdot \text{persona}} \cdot 8 \text{ personas} \cdot \frac{\text{m}^3}{1000 \text{ dm}^3} \cdot \frac{3600 \text{ s}}{\text{h}} = 230,4 \text{ m}^3/\text{h}$$

La ventilación de la sala de calderas no se puede estudiar a partir de la Tabla 260, ya que el tipo de actividad “Zonas de ocupación ocasional accesibles únicamente a efectos de mantenimiento” presenta una ocupación nula. Por tanto, el RITE (apartado IT 1.1.4.2.3, método D) ofrece la siguiente tabla:

Categoría	dm ³ /(s·m ²)
IDA 1	no aplicable
IDA 2	0,83
IDA 3	0,55
IDA 4	0,28

Tabla 267. Caudales mínimos de aire para zonas no dedicadas a ocupación permanente.

Fuente: RITE

La sala de calderas tiene un área de 24 m², por lo que tomando un flujo de 0,55 dm³/(s·m²) (IDA 3),

$$\frac{0,55 \text{ dm}^3}{\text{s} \cdot \text{m}^2} \cdot 24 \text{ m}^2 \cdot \frac{\text{m}^3}{1000 \text{ dm}^3} \cdot \frac{3600 \text{ s}}{\text{h}} = 47,52 \text{ m}^3/\text{h}$$

Se ofrece a continuación, a modo de resumen, una tabla con todas las estancias y sus caudales de aire de ventilación mínimos.

Zona	Caudal mínimo de ventilación (m ³ /h)
Vestuarios masculino y femenino	230,4
Vestuario minusválidos	57,6
Vestuario árbitros	115,2
Cuarto de limpieza	86,4
Pista	9.129,6
Almacén	230,4
Sala de máquinas	47,52

Tabla 268. Caudales mínimos de aire de ventilación

Al no disponer de los medidores necesarios en la toma de datos in situ, no se pueden comparar estos valores teóricos con los valores reales de la instalación.

6. Iluminación

En este apartado se tratarán las diferentes luminarias que componen el edificio, indicando el número de ellas en cada lugar del establecimiento, así como su potencia y sus horas de funcionamiento. Además, se comprobará si cumplen o no con la norma establecida.

Al no disponer de un luxómetro, aparato necesario para medir la iluminancia real (lux) de la instalación, se ha optado por recurrir a los siguientes datos de iluminancia media aportados por la Universidad Politécnica de Cartagena

Lugar	Iluminancia (lux)
Pista deportiva	463,16
Vestuarios masculino y femenino	537,55
Vestuario minusválidos	105
Vestuario árbitros	224
Entrada al edificio	381,43
Sala de máquinas	181,2
Almacén	138,25

Tabla 269. Valores de iluminancia horizontal media en cada zona. Fuente: UPCT

Estos resultados se pueden comparar con los valores de iluminancia horizontal media recomendados, proporcionados por la norma UNE-EN 12464-1.

Lugar	Iluminancia (lux)	Iluminancia recomendada (lux)	CUMPLE E_m
Pista deportiva	463,16	300	SÍ
Vestuarios masculino y femenino	537,55	200	SÍ
Vestuario minusválidos	105	200	FALTA ILUMINACIÓN
Vestuario árbitros	224	200	SÍ
Entrada al edificio	381,43	100	SÍ
Sala de máquinas	181,2	200	FALTA ILUMINACIÓN
Almacén	138,25	100	SÍ

Tabla 270. Verificación iluminancia

A partir de los datos de iluminancia media proporcionados por la Universidad Politécnica de Cartagena, se obtendrá el Valor de la Eficiencia Energética de la Instalación (VEEI) por cada 100 lux, que se obtendrá mediante la siguiente expresión:

$$VEEI = \frac{P \cdot 100}{S \cdot E}$$

Los valores a introducir en la anterior igualdad son los siguientes:

- P es la potencia de las lámparas (W).
- S es la superficie iluminada (m²).
- E es la iluminancia media horizontal obtenida (lux).

Los valores del VEEI límite están reflejados en la siguiente tabla, obtenida del CTE, sección HE 3 (iluminación):

Tabla 2.1 Valores límite de eficiencia energética de la instalación

Zonas de actividad diferenciada	VEEI límite
administrativo en general	3,0
andenes de estaciones de transporte	3,0
pabellones de exposición o ferias	3,0
salas de diagnóstico ⁽¹⁾	3,5
aulas y laboratorios ⁽²⁾	3,5
habitaciones de hospital ⁽³⁾	4,0
recintos interiores no descritos en este listado	4,0
zonas comunes ⁽⁴⁾	4,0
almacenes, archivos, salas técnicas y cocinas	4,0
aparcamientos	4,0
espacios deportivos ⁽⁵⁾	4,0
estaciones de transporte ⁽⁶⁾	5,0
supermercados, hipermercados y grandes almacenes	5,0
bibliotecas, museos y galerías de arte	5,0
zonas comunes en edificios no residenciales	6,0
centros comerciales (excluidas tiendas) ⁽⁷⁾	6,0
hostelería y restauración ⁽⁸⁾	8,0
religioso en general	8,0
salones de actos, auditorios y salas de usos múltiples y convenciones, salas de ocio o espectáculo, salas de reuniones y salas de conferencias ⁽⁹⁾	8,0
tiendas y pequeño comercio	8,0
habitaciones de hoteles, hostales, etc.	10,0

Tabla 271. Valores límite de eficiencia energética de la instalación. Fuente: CTE

A continuación, se muestra el inventario de equipos de iluminación de toda la instalación:

Lugar: Pista	
Tipo: Halogenuros metálicos	
Número de luminarias	36
Potencia lámpara	400 W
Potencia total instalada	14,4 KW
Altura	6 m
Número de horas al día	8 h/día

Tabla 272. Iluminación en pista



Figura 112. Halogenuros metálicos en pista

Lugar: Aseos y vestuarios	
Tipo: Fluorescente tubular	
Número de luminarias	36
Luminarias fundidas actualmente	0
Potencia lámpara	18 W
Potencia total instalada	648 W
Altura	3 m
Número de horas al día	3 h/día

Tabla 273. Iluminación en aseos y vestuarios



Figura 113. Tubo fluorescente en vestuario femenino

Lugar: Otras estancias	
Tipo: Fluorescente tubular	
Número de luminarias	18

Potencia lámpara	18 W
Potencia total instalada	324 W
Altura	3 m

Tabla 274. Iluminación en otras estancias del edificio

El número de horas de uso de cada tubo depende de la estancia. Por ejemplo, en la entrada se mantiene encendido las doce horas que está abierta la instalación. Sin embargo, la sala de calderas no suele estar ocupada, por lo que los tubos fluorescentes se encuentran encendidos durante muy poco tiempo. Lo mismo ocurre con el cuarto de limpieza o el almacén, que al estar poco transitados las luminarias funcionan pocas horas al día. Se va a estimar una media de una hora para las tres estancias.

En los datos proporcionados por la Universidad Politécnica de Cartagena, no se encuentran mediciones en el cuarto de limpieza, por lo que no se podrá analizar dicha estancia.

A modo de resumen, se muestra la siguiente tabla, que contiene la información necesaria para calcular el Valor de la Eficiencia Energética de la iluminación para cada zona del edificio.

Zona	Área (m²)	Número luminarias	Potencia (W)	Iluminancia (lux)
Vestuario masculino	24	16	288	537,55
Vestuario femenino	24	16	288	537,55
Vestuario minusválidos	6	2	36	105
Vestuario equipo arbitraje	12	2	36	224
Pista	1.584	36	14.400	463,16
Sala de máquinas	20	4	72	181,2
Entrada al inmueble	30	10	180	381,43
Almacén	16	2	36	138,25

Tabla 275. Principales características de cada parte del edificio

Por tanto, se ha realizado la siguiente tabla, donde se recoge cada zona analizada.

Zona	VEEI límite	VEEI calculado	Cumple VEEI
Vestuario masculino	4	2,23	SÍ
Vestuario femenino	4	2,23	SÍ
Vestuario minusválidos	4	5,71	NO

Vestuario equipo arbitraje	4	1,34	SÍ
Pista	4	1,96	SÍ
Sala de máquinas	4	1,99	SÍ
Almacén	4	1,63	SÍ
Entrada al inmueble	6	1,57	SÍ

Tabla 276. Resumen luminarias de la instalación

En la tabla realizada se observan resultados muy diversos. Por un lado, tan solo el vestuario de minusválidos presenta un valor de eficiencia energética de iluminación superior al límite. El resto de estancias sí superan el VEEL límite, aunque casi todos se encuentran muy por debajo de dicho valor límite.

Para reducir el valor del VEEL de un sistema de iluminación y que se encuentre por debajo del límite se debe reducir el número de luminarias en cada zona o la potencia de las mismas.

7. Otros equipos

Este apartado recoge cada uno de los equipos consumidores no incluidos anteriormente, como ascensores y montacargas, equipos ofimáticos o electrodomésticos. Al ser un establecimiento pequeño y de una sola planta, el edificio no cuenta con ascensores de ningún tipo. Simplemente se hará especial hincapié en la máquina expendedora situada en la entrada y en el ordenador e impresora de los que dispone el encargado.

Equipos ofimáticos	
Equipo	Ordenador
Nº unidades iguales	1
Localización	Puesto del encargado
Horas de uso	Lunes-sábado: 10 h/día Domingo: 5 h/día
Consumo normal	30 W
Consumo <i>stand by</i>	2 W

Tabla 277. Características de los equipos ofimáticos

Al no conocerse con exactitud la potencia del ordenador que se utiliza en el polideportivo, se ha realizado una media en su estado normal y en *stand by*.



Imagen 114. Ordenador

Se debe incluir también la impresora situada junto al ordenador en el puesto del encargado.

Equipos ofimáticos	
Equipo	Impresora
Nº unidades iguales	1
Localización	Puesto del encargado
Consumo normal	100 W

Tabla 278. Características de la impresora



Figura 115. Impresora

También se debe incluir una máquina expendedora situada en la entrada del pabellón, que permanece activa todas las horas en las que el polideportivo está abierto.

Electrodomésticos	
Equipo	Máquina expendedora de alimentos
Nº unidades iguales	1
Localización	Entrada del edificio
Horas de uso	Todas las horas que permanece abierto el pabellón
Consumo normal	650 W

Tabla 279. Características de la máquina expendedora

Para el consumo de esta máquina también se ha realizado una estimación, por lo que es importante resaltar que dicho dato no es una medida real, tan solo una aproximación



Imagen 116. Máquina expendedora

8. Demanda y consumo energético

La demanda de ACS se calcula empleando el Código Técnico de Edificación, sección HE-4, tomando los valores unitarios proporcionados por la siguiente tabla (demanda de referencia a 60°C):

Criterio de demanda	Litros/día·unidad	unidad
Vivienda	28	Por persona
Hospitales y clínicas	55	Por persona
Ambulatorio y centro de salud	41	Por persona
Hotel *****	69	Por persona
Hotel ****	55	Por persona
Hotel ***	41	Por persona
Hotel/hostal **	34	Por persona
Camping	21	Por persona
Hostal/pensión *	28	Por persona
Residencia	41	Por persona
Centro penitenciario	28	Por persona
Albergue	24	Por persona
Vestuarios/Duchas colectivas	21	Por persona
Escuela sin ducha	4	Por persona
Escuela con ducha	21	Por persona
Cuarteles	28	Por persona
Fábricas y talleres	21	Por persona
Oficinas	2	Por persona
Gimnasios	21	Por persona
Restaurantes	8	Por persona
Cafeterías	1	Por persona

Tabla 280. Demanda de referencia a 60°C. Fuente: CTE

Se tomará la cantidad de 21 litros/día·unidad, pertenecientes a “Vestuarios/Duchas colectivas” y a “Gimnasios”. A partir de este valor, se calculará la demanda para cada mes mediante la expresión

$$\text{Demanda} = c_p \cdot m \cdot \Delta T,$$

donde:

- c_p es el calor específico del agua e igual a 4,1754288 J/gK.
- El caudal másico m , obtenido a partir de la densidad del agua (1000 g/L).
- Se obtendrá la demanda de cada mes para el número máximo de usuarios (30 personas) y para el mínimo de usuarios (15 personas).

- ΔT es la variación de la temperatura, entre la temperatura de referencia (60°C) y la temperatura del agua fría. Dicha temperatura es diferente para cada mes y están recogidas igualmente en la sección HE-4 del CTE.

Mes	Temperatura (°C)
Enero	11
Febrero	11
Marzo	12
Abril	13
Mayo	15
Junio	17
Julio	19
Agosto	20
Septiembre	18
Octubre	16
Noviembre	13
Diciembre	11

Tabla 281. Temperatura diaria media mensual del agua fría en la Región de Murcia. Fuente:CTE

Por tanto, la demanda energética de agua caliente sanitaria para cada mes, para el máximo y mínimo de usuarios, se recoge en la siguiente tabla.

Mes	Días	Temperatura (°C)	Demanda ACS máximo usuarios (kWh)	Demanda ACS mínimo usuarios (kWh)
Enero	31	11	1.479,91	739,95
Febrero	28	11	1.336,69	668,35
Marzo	31	12	1.449,71	724,85
Abril	30	13	1.373,71	686,86
Mayo	31	15	1.359,10	679,55
Junio	30	17	1.068,28	534,14
Julio	31	19	928,72	464,36
Agosto	31	20	604,04	302,02
Septiembre	30	18	1.043,44	521,72
Octubre	31	16	1.328,90	664,45
Noviembre	30	13	1.373,71	686,86
Diciembre	31	11	1.479,91	739,95
Total (kWh)			14.826,13	7.413,06

Tabla 282. Demanda mensual de ACS para el máximo y mínimo de usuarios

En cuanto a la demanda de calefacción, esta se ha obtenido a partir del software “VPCLIMA”, en el que se han introducido datos del edificio tales como fachadas, suelos, cubiertas y huecos. Los resultados obtenidos con el programa son los siguientes:

Mes	Días	Temperatura (°C)	Demanda calefacción (kWh)
Enero	31	11	503
Febrero	28	11	263
Marzo	31	12	167
Abril	30	13	67
Mayo	31	15	0
Junio	30	17	0
Julio	31	19	0
Agosto	31	20	0
Septiembre	30	18	0
Octubre	31	16	0
Noviembre	30	13	199
Diciembre	31	11	421
Total (kWh)			1.620

Tabla 283. Demanda de calefacción. Fuente: VPCLIMA

Además, el “VPCLIMA” proporciona el siguiente gráfico, referente a la demanda mensual de refrigeración y calefacción:

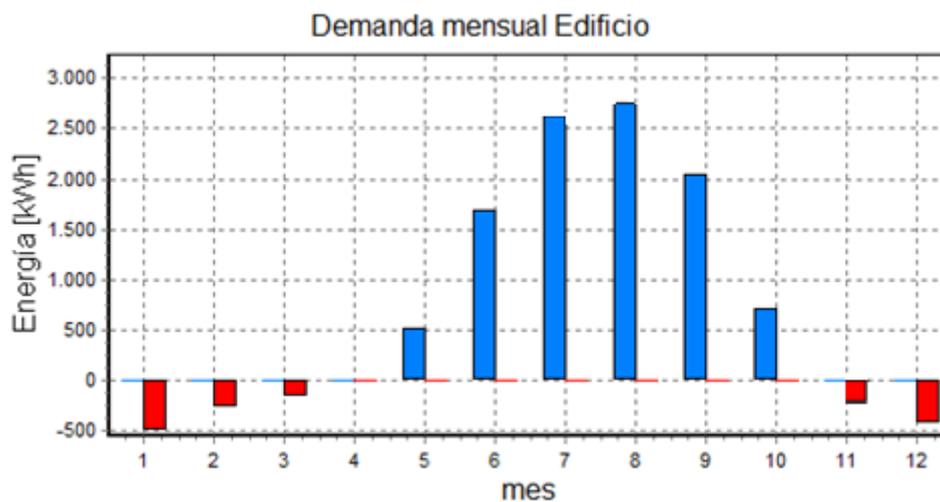


Gráfico 51. Demanda mensual de refrigeración (azul) y calefacción (rojo). Fuente: VPCLIMA

Al no disponer el edificio de un sistema de refrigeración, no se tendrá en cuenta dicha demanda.

Por tanto, se puede obtener la demanda energética total, que va a depender del número de usuarios.

- Para el máximo de usuarios.

Mes	Demanda ACS (kWh)	Demanda calefacción (kWh)	Demanda total (kWh)
Enero	1.479,91	503	1.982,91
Febrero	1.336,69	263	1.599,69
Marzo	1.449,71	167	1.616,71
Abril	1.373,71	67	1.440,71
Mayo	1.359,10	0	1.359,10
Junio	1.068,28	0	1.068,28
Julio	928,72	0	928,72
Agosto	604,04	0	604,04
Septiembre	1.043,44	0	1.043,44
Octubre	1.328,90	0	1.328,90
Noviembre	1.373,71	199	1.572,71
Diciembre	1.479,91	421	1.900,91
Total (kWh)	14.826,13	1.620,00	16.446,13

Tabla 284. Demanda energética total para el máximo de usuarios

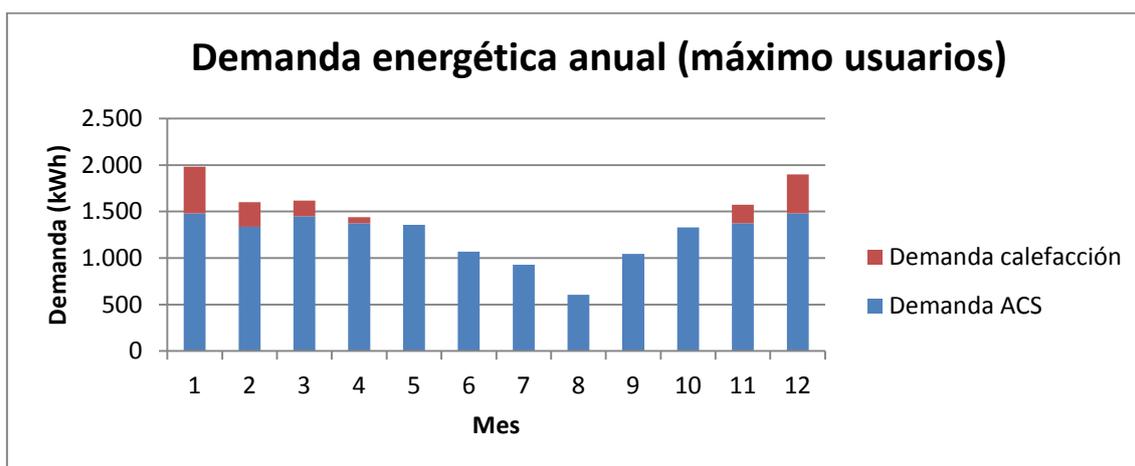


Gráfico 52. Demanda energética anual para el máximo de usuarios

- Para el mínimo de usuarios.

Mes	Demanda ACS(kWh)	Demanda calefacción (kWh)	Demanda total (kWh)
Enero	739,95	503	1.242,95
Febrero	668,35	263	931,35
Marzo	724,85	167	891,85
Abril	686,86	67	753,86
Mayo	679,55	0	679,55
Junio	534,14	0	534,14
Julio	464,36	0	464,36
Agosto	302,02	0	302,02
Septiembre	521,72	0	521,72
Octubre	664,45	0	664,45
Noviembre	686,86	199	885,86
Diciembre	739,95	421	1.160,95
Total (kWh)	7.413,06	1.620,00	9.033,06

Tabla 285. Demanda energética total para el mínimo de usuarios

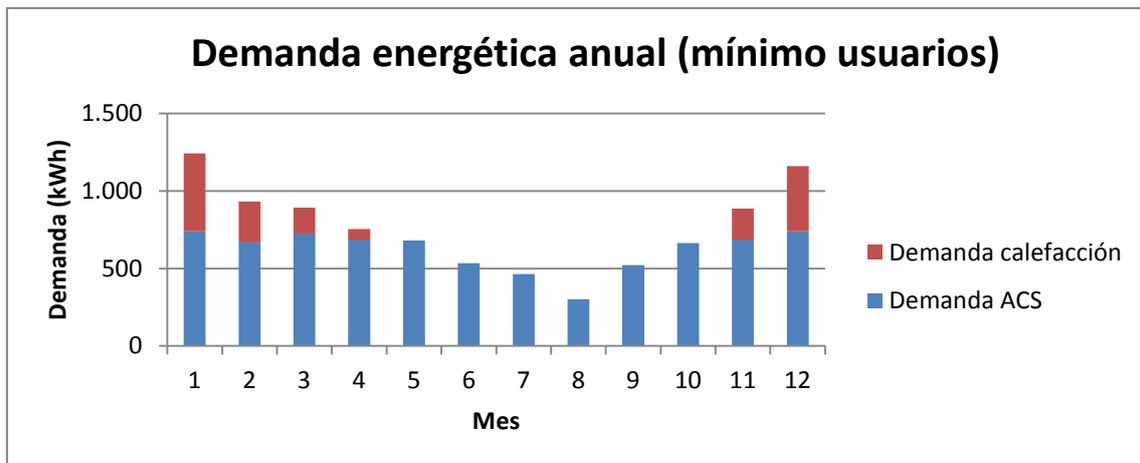


Gráfico 53. Demanda energética anual para el máximo de usuarios

En ambos casos se observa claramente un descenso de la demanda en los meses de verano (en el caso de la calefacción la demanda es nula), mientras que en los meses de invierno la demanda energética es mayor, tanto de ACS como de calefacción.

Otra variable importante a tratar en un informe de auditoría son los consumos energéticos, que muestran una medida real de cómo funciona toda la instalación.

Para los consumos de agua caliente sanitaria y calefacción, basta con dividir la demanda de cada mes por el rendimiento de la caldera en cuestión.

- Agua caliente sanitaria. Rendimiento igual a 0,882.

Máximo número de usuarios	
Mes	Consumo ACS (kWh)
Enero	1.677,90
Febrero	1.515,52
Marzo	1.643,66
Abril	1.557,50
Mayo	1.540,93
Junio	1.211,20
Julio	1.052,97
Agosto	684,86
Septiembre	1.183,04
Octubre	1.506,69
Noviembre	1.557,50
Diciembre	1.677,90
Total (kWh)	16.809,67

Tabla 286. Consumo energético de ACS para el máximo de usuarios

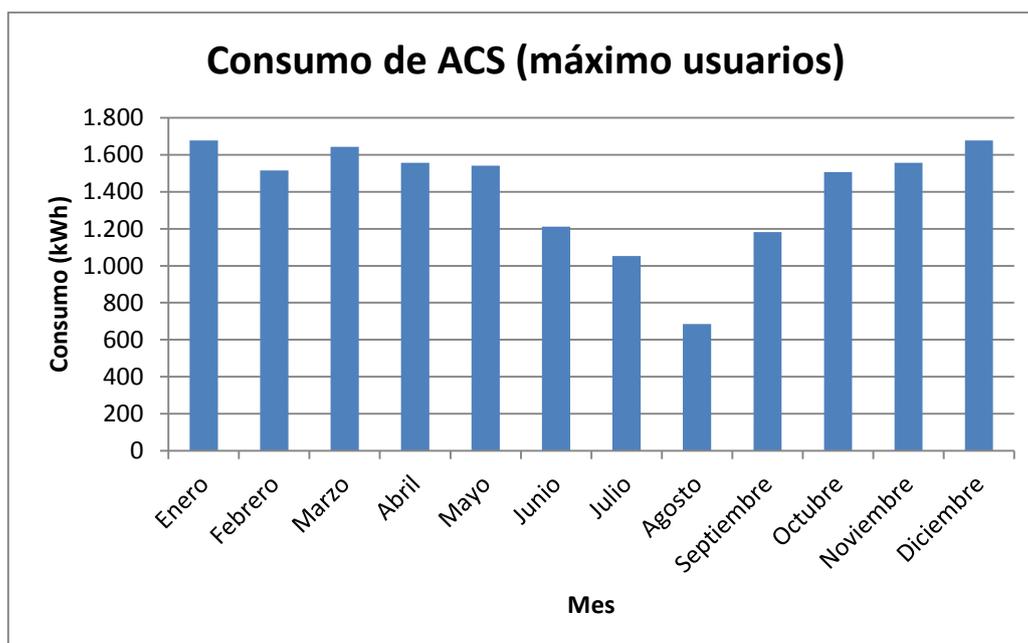


Gráfico 54. Consumo mensual de ACS para el máximo de usuarios

El consumo en los meses de invierno, otoño y primavera es muy elevado, mientras que se puede apreciar un claro descenso a partir del mes de junio hasta agosto, para luego ir creciendo hasta los 1500-1600 kWh cada mes.

De igual forma, se ha calculado el consumo energético mensual de ACS para el mínimo de usuarios.

Mes	Consumo ACS (kWh)
Enero	838,95
Febrero	757,76
Marzo	821,83
Abril	778,75
Mayo	770,46
Junio	605,60
Julio	526,48
Agosto	342,43
Septiembre	591,52
Octubre	753,34
Noviembre	778,75
Diciembre	838,95
Total (kWh)	8.404,83

Tabla 287. Consumo energético de ACS para el mínimo de usuarios

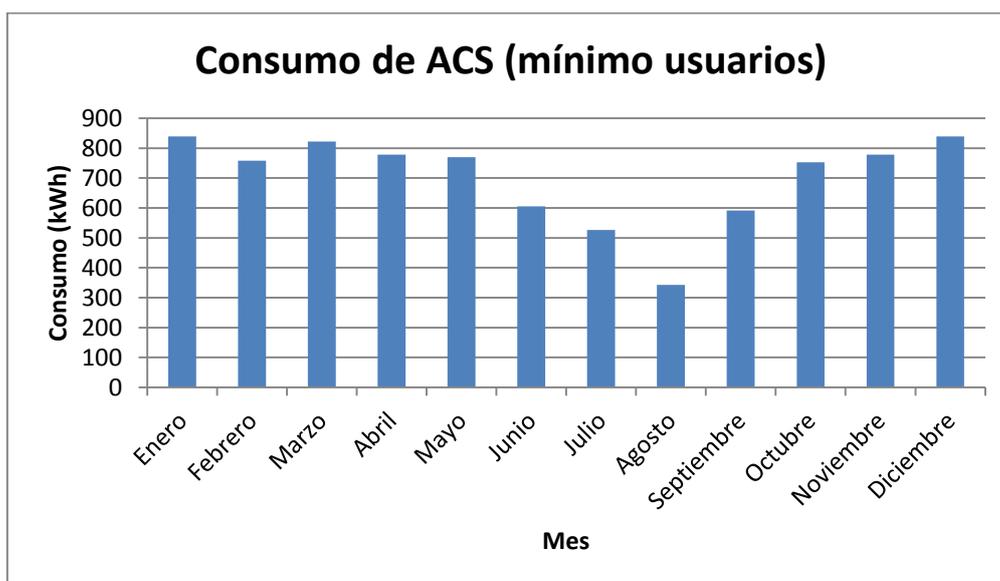


Gráfico 55. Consumo mensual de ACS para el mínimo de usuarios

- Calefacción. Rendimiento igual 0,85.

Mes	Consumo calefacción (kWh)
Enero	591,76
Febrero	309,41
Marzo	196,47
Abril	78,82
Mayo	0,00
Junio	0,00
Julio	0,00
Agosto	0,00
Septiembre	0,00
Octubre	0,00
Noviembre	234,12
Diciembre	495,29
Total (kWh)	1.905,88

Tabla 288. Consumo mensual de calefacción

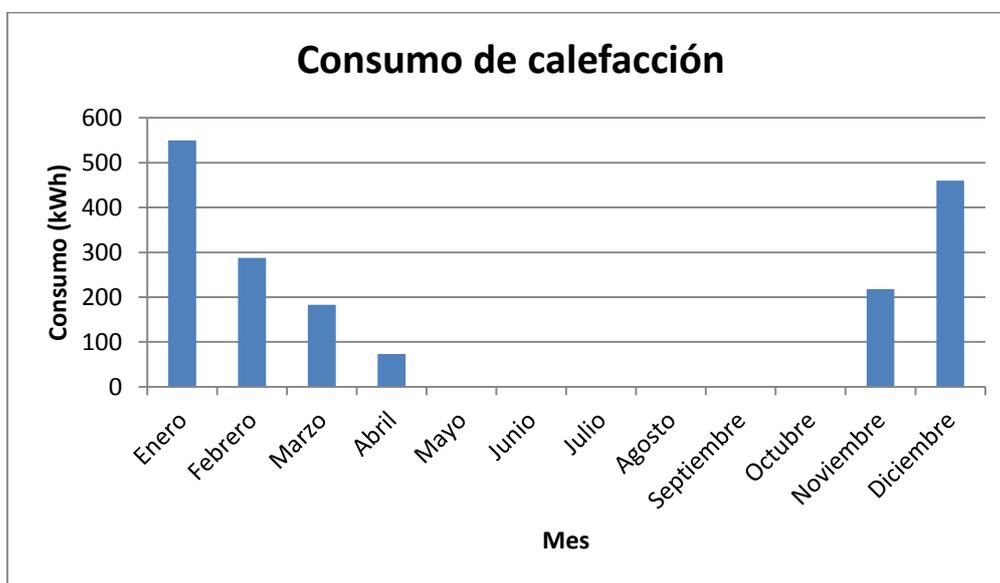


Gráfico 56. Consumo mensual de calefacción

Al igual que para el agua caliente sanitaria, el consumo de calefacción es mayor en los meses de invierno, solo que en este caso en el resto del año el consumo es nulo, ya que el sistema de calefacción no está en funcionamiento.

Además de los sistemas de ACS y calefacción, también se debe analizar el sistema de iluminación del establecimiento. Conociendo la potencia de las luminarias y el número de horas aproximadas de funcionamiento, se han calculado los consumos para cada zona del pabellón deportivo, expresados en la siguiente tabla:

Mes	Consumo iluminación (kWh)								
	Pista	Vestuarios MF	Vestuarios Minus	Vestuario Árbitros	Cuarto de limpieza	Entrada	Sala de máquinas	Almacén	Total
Enero	1.517,76	7,59	0,14	0,22	0,56	50,22	0,45	0,50	1.585,03
Febrero	1.612,80	8,06	0,15	0,25	0,50	50,40	0,50	0,50	1.681,24
Marzo	1.785,60	8,93	0,17	0,28	0,56	55,80	0,56	0,56	1.861,38
Abril	1.728,00	8,64	0,16	0,27	0,54	54,00	0,54	0,54	1.801,33
Mayo	1.785,60	8,93	0,17	0,28	0,56	55,80	0,56	0,56	1.861,38
Junio	1.339,20	6,48	0,12	0,20	0,54	54,00	0,41	0,49	1.407,92
Julio	1.071,36	4,46	0,08	0,06	0,45	55,80	0,22	0,28	1.137,18
Agosto	714,24	1,79	0,03	0,01	0,22	27,90	0,08	0,17	746,23
Septiembre	1.382,40	6,48	0,12	0,20	0,54	54,00	0,41	0,49	1.451,12
Octubre	1.785,60	8,93	0,17	0,28	0,56	55,80	0,56	0,56	1.861,38
Noviembre	1.728,00	8,64	0,16	0,27	0,54	54,00	0,54	0,54	1.801,33
Diciembre	1.897,20	7,59	0,14	0,22	0,56	50,22	0,45	0,50	1.964,47

Tabla 289. Consumo de Iluminación en todo el establecimiento

En la siguiente tabla se muestra el consumo total anual para cada zona del inmueble, con el objetivo de ver qué porcentaje del consumo representa cada estancia.

Zona	Consumo (kWh)	Porcentaje (%)
Pista	18.347,76	95,761
Vestuarios	177,20	0,925
Entrada	617,94	3,225
Otros	17,07	0,089
Total (kWh)	19.159,97	100

Tabla 290. Consumo de iluminación anual



Gráfico 57. Porcentaje del consumo de iluminación de cada zona del edificio

En el gráfico anterior se observa que alrededor del 95% del consumo de iluminación se debe a las luminarias de la pista deportiva.

Por último, se reflejará también el consumo de otros equipos del edificio, que no pertenecen a los sistemas de ACS, calefacción, ventilación o iluminación.

Mes	Días	Consumo (kWh)			
		Ordenador	Máquina Expendedora	Impresora	Total
Enero	31	2,009	191,425	0,419	193,852
Febrero	28	2,016	182,000	0,420	184,436
Marzo	31	2,232	201,500	0,465	204,197
Abril	30	2,160	195,000	0,450	197,610
Mayo	31	2,232	201,500	0,465	204,197
Junio	30	2,160	195,000	0,383	197,543
Julio	31	2,232	201,500	0,326	204,058
Agosto	31	0,893	100,750	0,233	101,875
Septiembre	30	2,160	195,000	0,383	197,543
Octubre	31	2,232	201,500	0,465	204,197
Noviembre	30	2,160	195,000	0,450	197,610
Diciembre	31	2,009	191,425	0,419	193,852
Total (kWh)		24,494	2.251,60	4,88	2.280,969

Tabla 291. Consumo del resto de equipos de la instalación

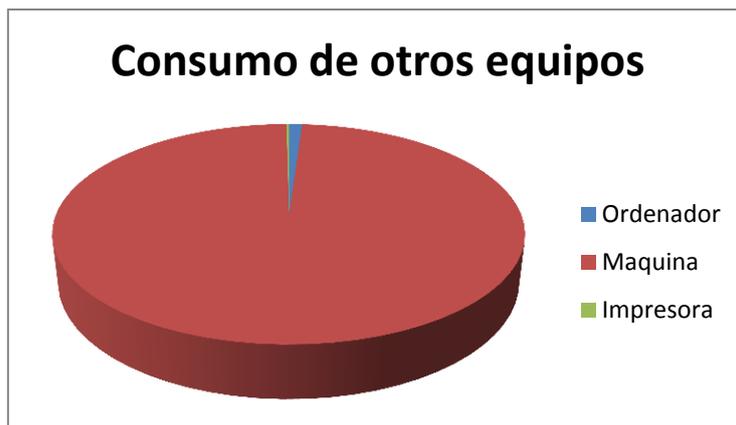


Gráfico 58. Consumo de otros equipos de la instalación

A partir del gráfico anterior se puede ver que todo el consumo relativo a los demás equipos del edificio corresponde mayoritariamente a la máquina expendedora de alimentos.

A modo de resumen, la siguiente tabla contendrá los consumos para cada sistema del edificio, así como el porcentaje que representa. Además, gracias a los datos proporcionados por el Ayuntamiento de Murcia, se sabe que en 2017 el coste de la energía fue 17,325 c€/kWh, por lo que se puede estimar el coste anual del consumo de los equipos.

- Para el máximo número de usuarios.

Sistema	Consumo (kWh)	Porcentaje (%)	Coste (€)
ACS	16.809,67	41,86	2.912,27
Calefacción	1.905,88	4,75	330,19
Iluminación	19.159,97	47,71	3.319,47
Otros equipos	2.280,97	5,68	395,18
Total	40.156,49	100,00	6.957,11

Tabla 292. Distribución del consumo energético anual para el máximo de usuarios

Se puede comprobar que para el máximo número de usuarios el consumo de agua caliente e iluminación son muy parecidos, representando ambos casi el 90% del consumo total en un año.

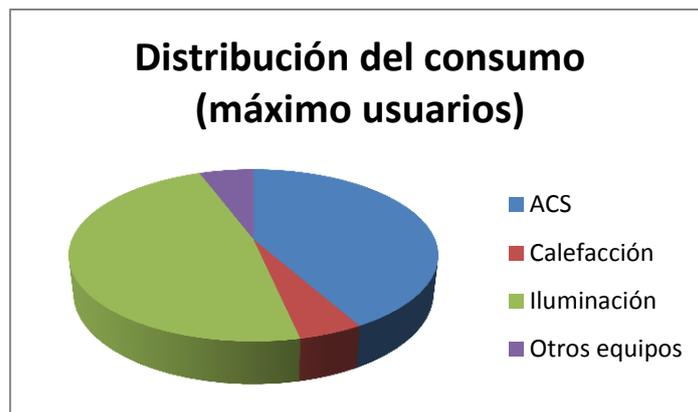


Gráfico 59. Distribución del consumo energético anual para el máximo de usuarios

A partir del Gráfico 59, se puede comprobar también que los sistemas de iluminación y ACS producen el mayor consumo. El consumo de calefacción y equipos como ordenadores o máquinas expendedoras de alimentos es muy reducido en comparación con los demás sistemas de la instalación.

- Para el mínimo número de usuarios.

Sistema	Consumo (kWh)	Porcentaje (%)	Coste (€)
ACS	8.404,83	26,47	1.456,14
Calefacción	1.905,88	6,00	330,19
Iluminación	19.159,97	60,34	3.319,47
Otros equipos	2.280,97	7,18	395,18
Total	31.751,66	100,00	5.500,98

Tabla 293. Distribución del consumo energético anual para el mínimo de usuarios

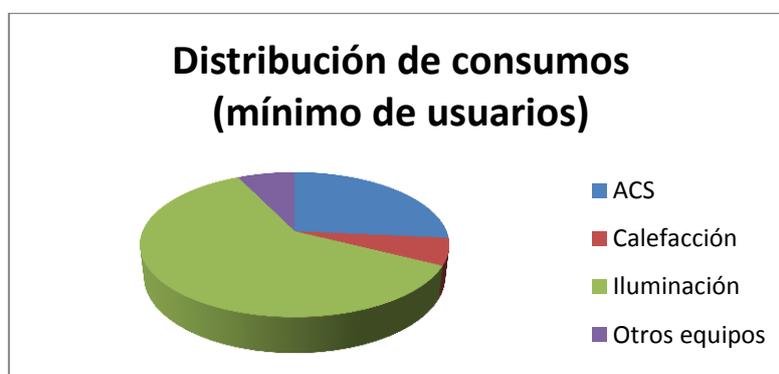


Gráfico 60. Distribución del consumo energético anual para el mínimo de usuarios

En este caso, el consumo de iluminación representa un 60% del total, seguido del sistema de ACS (27%), otros equipos (7%) y el sistema de calefacción (6%).

Por último, se elaborará un gráfico para observar el consumo de todos los equipos cada mes durante un año, para el máximo y mínimo de usuarios. Para ello, se ha elaborado la siguiente tabla.

Mes	Consumo (kWh)		Coste (€)	
	Máximo usuarios	Mínimo usuarios	Máximo usuarios	Mínimo usuarios
Enero	4.048,55	3.209,597	701,41	556,06
Febrero	3.690,61	2.932,853	639,40	508,12
Marzo	3.905,70	3.083,873	676,66	534,28
Abril	3.635,26	2.856,515	629,81	494,89
Mayo	3.606,50	2.836,038	624,83	491,34
Junio	2.816,66	2.211,059	487,99	383,07
Julio	2.394,20	1.867,718	414,80	323,58
Agosto	1.532,97	1.190,537	265,59	206,26
Septiembre	2.831,69	2.240,176	490,59	388,11
Octubre	3.572,26	2.818,917	618,89	488,38
Noviembre	3.790,56	3.011,809	656,71	521,80
Diciembre	4.331,52	3.492,567	750,44	605,09
Total	40.156,49	31.751,660	6.957,11	5.500,98

Tabla 294. Consumo mensual y su coste correspondiente

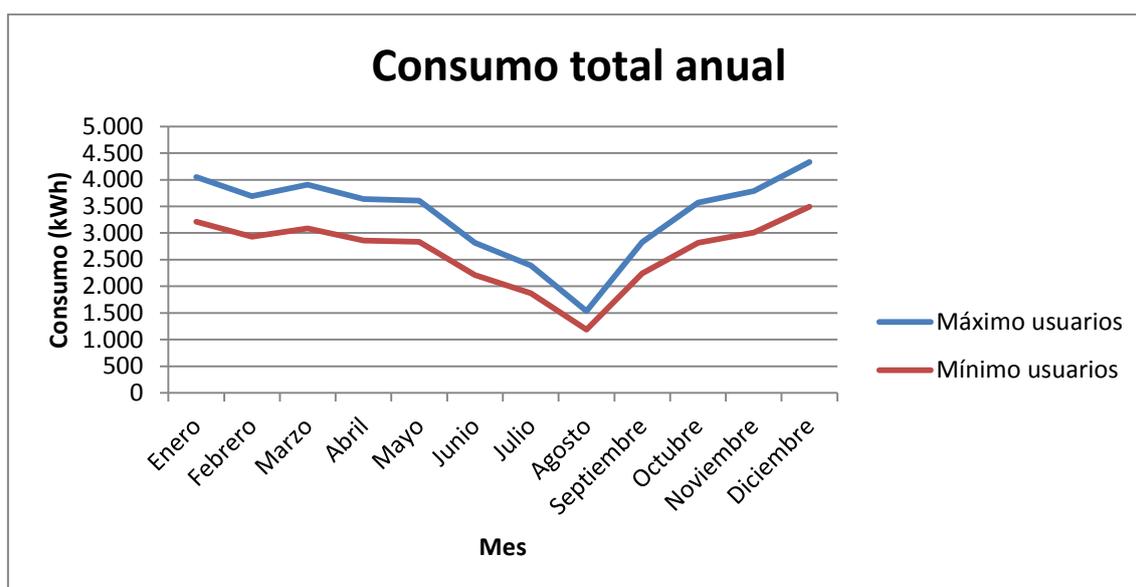


Gráfico 61. Consumo total en un año para el máximo y mínimo de usuarios.

Al igual que se ha visto en todos los gráficos, se aprecia claramente para ambos casos que el consumo se reduce en los meses de verano, ya sea por un menor uso de los equipos o por el cierre de las instalaciones durante algún período de tiempo en esos meses.

Según datos proporcionados por la Universidad Politécnica de Cartagena, los consumos de energía de los últimos tres años en el Pabellón Sangonera la Seca son los siguientes:

Año	Consumo energético (kWh)
2015	28.233,00
2016	31.334,42
2017	25.332,00

Tabla 295. Consumo energético de años anteriores

Los resultados obtenidos durante este estudio son:

- Máximo número de usuarios: 40.156,49 kWh/año.
- Mínimo número de usuarios: 31.751,66 kWh/año.

Los consumos reales de años anteriores se sitúan fuera de los límites calculados para el máximo y mínimo número de usuarios, pero se encuentran próximos al límite inferior.

Para acabar, se obtendrá el consumo de combustible anual. Este se calcula a partir de la expresión

$$\text{Cantidad_combustible} = \frac{\text{Consumo_energético_anual}}{\text{PCI_combustible}}$$

El consumo energético anual hace referencia a los consumos de agua caliente sanitaria y calefacción, mientras que el poder calorífico del combustible es una constante e igual a 11,67 kWh/kg en el caso del gasóleo. El coste del combustible es de 67,40 c€/L, por lo que para poder trabajar en litros es necesario convertir la cantidad de combustible en kilogramos a partir de la densidad del gasóleo, igual a 0,85 kg/L. En este caso también se diferenciará entre máximo y mínimo de usuarios.

- Máximo número de usuarios.

Mes	Consumo calefacción+ACS (kWh)	Cantidad combustible (kg)	Cantidad Combustible (L)	Coste (€)
Enero	2.269,67	194,49	228,81	154,22
Febrero	1.824,94	156,38	183,97	124,00
Marzo	1.840,13	157,68	185,51	125,03
Abril	1.636,32	140,22	164,96	111,18
Mayo	1.540,93	132,04	155,34	104,70
Junio	1.211,20	103,79	122,10	82,30
Julio	1.052,97	90,23	106,15	71,55
Agosto	684,86	58,69	69,04	46,53
Septiembre	1.183,04	101,37	119,26	80,38
Octubre	1.506,69	129,11	151,89	102,37
Noviembre	1.791,62	153,52	180,62	121,73
Diciembre	2.173,20	186,22	219,08	147,66
Total	18.715,55	1.603,73	1.886,74	1.271,66

Tabla 296. Consumo de combustible mensual y su coste correspondiente para el máximo de usuarios

- Mínimo número de usuarios.

Mes	Consumo calefacción+ACS (kWh)	Cantidad combustible (kg)	Cantidad Combustible (L)	Coste (€)
Enero	1.430,72	122,60	144,23	97,21
Febrero	1.067,17	91,45	107,58	72,51
Marzo	1.018,30	87,26	102,66	69,19
Abril	857,57	73,49	86,45	58,27
Mayo	770,46	66,02	77,67	52,35
Junio	605,60	51,89	61,05	41,15
Julio	526,48	45,11	53,08	35,77
Agosto	342,43	29,34	34,52	23,27
Septiembre	591,52	50,69	59,63	40,19
Octubre	753,34	64,55	75,95	51,19
Noviembre	1.012,87	86,79	102,11	68,82
Diciembre	1.334,24	114,33	134,51	90,66
Total	10.310,72	883,52	1.039,44	700,58

Tabla 297. Consumo de combustible mensual y su coste correspondiente para el mínimo de usuarios

A continuación, se presenta un gráfico del consumo mensual de combustible, para el máximo y mínimo de usuarios.

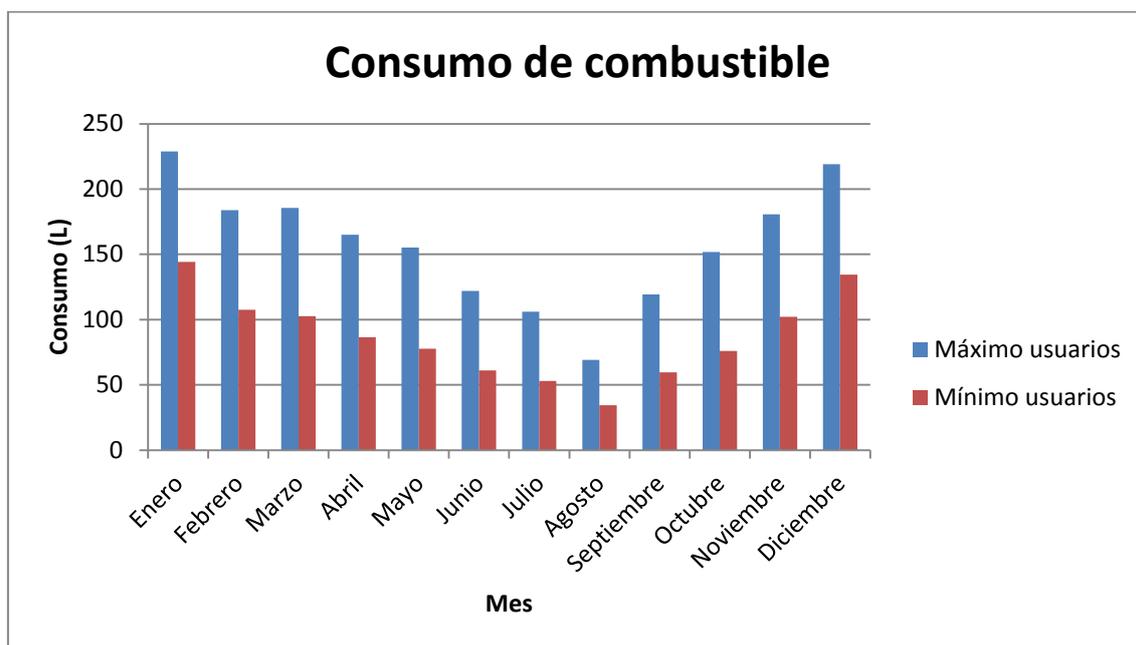


Gráfico 62. Consumo mensual de gasóleo para el máximo y mínimo de usuarios

Al igual que en el consumo energético, el gasto de combustible en los meses de verano es mucho menor que en el resto de meses del año, debido a un menor uso de los equipos de calefacción y ACS. Se puede observar cómo en los meses de invierno el consumo llega a los 230 litros, mientras que en los meses de menor actividad el consumo oscila entre los 40 y 50 litros.

Al estudiar el consumo de combustible de una caldera es inevitable analizar las emisiones de dióxido de carbono producidas. Se considerarán unas emisiones de 289 gCO₂/kWh.

Mes	Máximo usuarios		Mínimo usuarios	
	Consumo calefacción+ACS (kWh)	Emisiones CO ₂ (Tn)	Consumo calefacción+ACS (kWh)	Emisiones CO ₂ (Tn)
Enero	2.269,67	0,656	1.430,72	0,413
Febrero	1.824,94	0,527	1.067,17	0,308
Marzo	1.840,13	0,532	1.018,30	0,294
Abril	1.636,32	0,473	857,57	0,248
Mayo	1.540,93	0,445	770,46	0,223
Junio	1.211,20	0,350	605,60	0,175
Julio	1.052,97	0,304	526,48	0,152
Agosto	684,86	0,198	342,43	0,099
Septiembre	1.183,04	0,342	591,52	0,171

Octubre	1.506,69	0,435	753,34	0,218
Noviembre	1.791,62	0,518	1.012,87	0,293
Diciembre	2.173,20	0,628	1.334,24	0,386
Total	18.715,55	5,409	10.310,72	2,980

Tabla 298. Emisiones mensuales de CO₂ en toneladas para el máximo y mínimo de usuarios

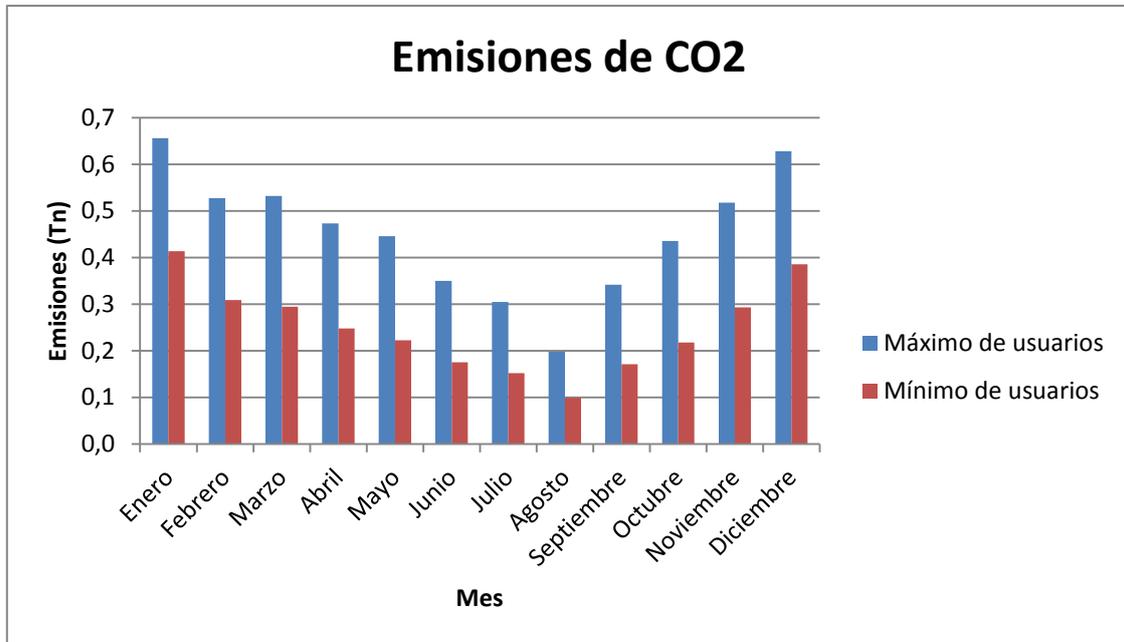


Gráfico 63. Emisiones mensuales de CO₂ para el máximo y mínimo de usuarios

En el gráfico se puede observar un descenso de las emisiones desde abril hasta octubre, por debajo de una tonelada, sobre todos en los meses de verano debido al menor uso de los sistemas de ACS y calefacción. Todo lo contrario ocurre en invierno, donde se alcanzan emisiones de casi 650 kilogramos de CO₂.

9. Propuestas de mejora

En este apartado se presentará una serie de propuestas para mejorar el estado del edificio desde el punto de vista energético y económico. Todas ellas están destinadas a una reducción del consumo energético y, por consiguiente, una reducción en el coste. Aunque se expongan solo tres mejoras, no se cierran las posibilidades a nuevas ideas. Se proponen las siguientes reformas:

- Reemplazar las calderas de gasóleo por calderas de gas natural.
- Sustitución de las calderas actuales de gasóleo por calderas de biomasa.
- Cambiar todos los tubos fluorescentes y halogenuros metálicos por luminarias LED.

9.1 Caldera de gas natural

La sustitución de las calderas de gasóleo por calderas de gas natural se realiza con el objetivo de disminuir tanto las emisiones de CO₂ como el consumo energético, lo que conlleva una reducción del coste anual.

Para determinar la potencia de la caldera a instalar, se debe tener en cuenta la demanda total del edificio (ACS y calefacción), además del número de horas de operación al día. Se supondrá un total de ocho horas al día de funcionamiento.

Mes	Días	Temperatura (°C)	Demanda ACS (kWh)	Demanda Calefacción (kWh)	Demanda Total (kWh)
Enero	31	11	1.479,91	503	1.982,91
Febrero	28	11	1.336,69	263	1.599,69
Marzo	31	12	1.449,71	167	1.616,71
Abril	30	13	1.373,71	67	1.440,71
Mayo	31	15	1.359,10	0	1.359,10
Junio	30	17	1.068,28	0	1.068,28
Julio	31	19	928,72	0	928,72
Agosto	31	20	604,04	0	604,04
Septiembre	30	18	1.043,44	0	1.043,44
Octubre	31	16	1.328,90	0	1.328,90
Noviembre	30	13	1.373,71	199	1.572,71
Diciembre	31	11	1.479,91	421	1.900,91
Total (kWh)			14.826,12	1.620	16.446,12

Tabla 299. Demanda energética total del edificio para el máximo de usuarios

Para considerar toda la demanda mensual posible, se van a realizar los cálculos para el mes en el que la demanda es mayor (enero), contando con el número máximo de usuarios (40 personas por día).

Mes	Días	Demanda Total (kWh)	Demanda diaria (kWh)	Potencia (kW)
Enero	31	1.982,91	63,96	8

Tabla 300. Demanda energética para el mes de enero

Por tanto, se propone la instalación de la siguiente caldera, cuyas especificaciones se encuentran en la Tabla 296.



Figura 117. Caldera de gas natural

Marca	BOSCH
Modelo	KBRC 15-1
Combustible	Gas natural
Potencia	15 KW
Rendimiento	93 %
Capacidad depósito ACS	160 L
Dimensiones (mm)	600x630x965
Temperatura máxima	100 °C

Tabla 301. Especificaciones técnicas de la caldera de gas natural

Por otro lado, la siguiente tabla muestra las características principales del gas natural:

Gas natural	
PCI (kJ/kg)	39.900
PCS (kJ/kg)	44.000
Densidad (kg/m ³)	0,737
Coste (c€/kWh)	5
Emisiones (gCO ₂ /kWh)	202

Tabla 302. Propiedades del gas natural

Así, a partir de la demanda de cada mes de ACS y calefacción utilizando las calderas de gasóleo, se puede obtener el consumo de gas natural y su respectivo coste.

Mes	Días	Temperatura (°C)	Demanda Total (kWh)	Consumo Total (kWh)
Enero	31	11	1.982,91	2.087,27
Febrero	28	11	1.599,69	1.683,88
Marzo	31	12	1.616,71	1.701,80
Abril	30	13	1.440,71	1.516,54
Mayo	31	15	1.359,10	1.430,63
Junio	30	17	1.068,28	1.124,51
Julio	31	19	928,72	977,60
Agosto	31	20	604,04	635,83
Septiembre	30	18	1.043,44	1.098,36
Octubre	31	16	1.328,90	1.398,84
Noviembre	30	13	1.572,71	1.655,48
Diciembre	31	11	1.900,91	2.000,96
Total (kWh)			16.446,12	17.311,71

Tabla 303. Consumo y demanda energética con la caldera de gas natural

A continuación, se expone un gráfico comparativo de los consumos mensuales con la caldera de gasóleo y la caldera de gas natural.

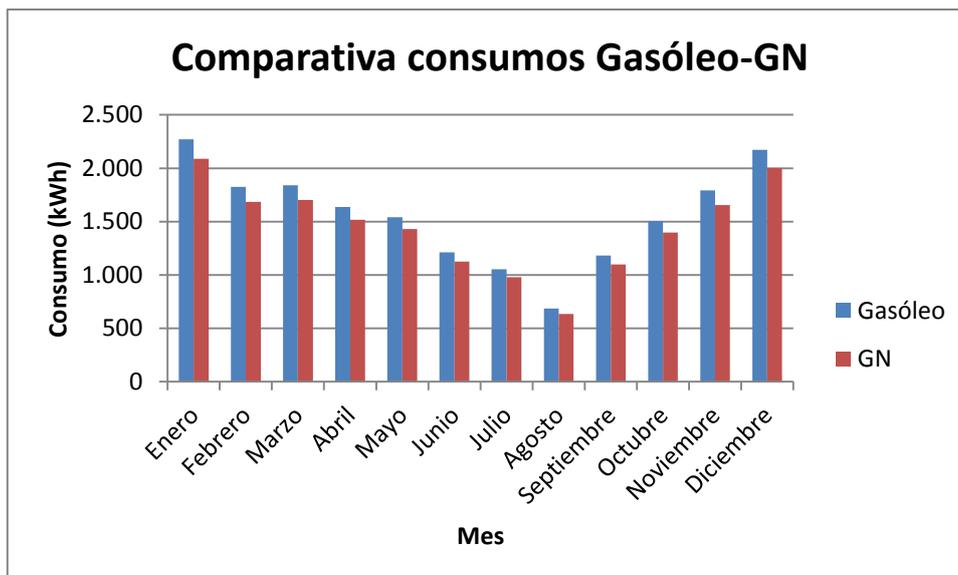


Tabla 64. Consumo energético mensual de gasóleo y gas natural

Se puede observar la diferencia en el consumo energético cuando se utilizan calderas de gas natural, sobre todo en los meses de invierno, donde más se utilizan los sistemas de ACS y calefacción.

Esta diferencia de consumos energéticos conlleva una importante diferencia de consumo de combustible y de coste económico.

Mes	Coste gasóleo (€)	Coste GN (€)	Ahorro (€)	Ahorro (%)
Enero	154,22	104,36	49,86	32,33
Febrero	124	84,19	39,81	32,10
Marzo	125,03	85,09	39,94	31,94
Abril	111,18	75,83	35,35	31,80
Mayo	104,7	71,53	33,17	31,68
Junio	82,3	56,23	26,07	31,68
Julio	71,55	48,88	22,67	31,68
Agosto	46,53	31,79	14,74	31,68
Septiembre	80,38	54,92	25,46	31,68
Octubre	102,37	69,94	32,43	31,68
Noviembre	121,73	82,77	38,96	32,00
Diciembre	147,66	100,05	47,61	32,24
Total	1.271,65	865,59	406,06	31,93

Tabla 304. Coste mensual de gasóleo y gas natural

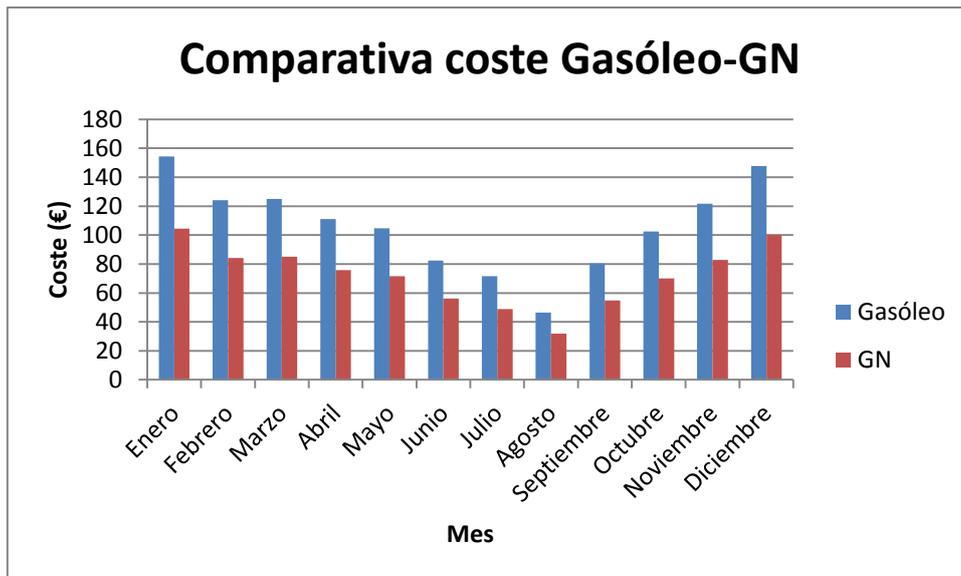


Gráfico 65. Coste mensual de gasóleo y gas natural

Lógicamente, al tener un menor consumo con el gas natural, el coste es menor que en el caso del gasóleo, logrando un ahorro anual del 31,93%.

Por último, se analizará la reducción de emisiones de CO₂, cuya cantidad es bastante menor al utilizar calderas de gas natural.

Mes	Emisiones gasóleo (Tn)	Emisiones GN (Tn)	Reducción (Tn)	Reducción (%)
Enero	0,656	0,42	0,23	35,73
Febrero	0,527	0,34	0,19	35,46
Marzo	0,532	0,34	0,19	35,38
Abril	0,473	0,31	0,17	35,23
Mayo	0,445	0,29	0,16	35,06
Junio	0,35	0,23	0,12	35,10
Julio	0,304	0,20	0,11	35,04
Agosto	0,198	0,13	0,07	35,13
Septiembre	0,342	0,22	0,12	35,13
Octubre	0,435	0,28	0,15	35,04
Noviembre	0,518	0,33	0,18	35,44
Diciembre	0,628	0,40	0,22	35,64
Total (Tn)	5,408	3,50	1,91	35,34

Tabla 305. Reducción de emisiones de CO₂ con gas natural respecto al gasóleo

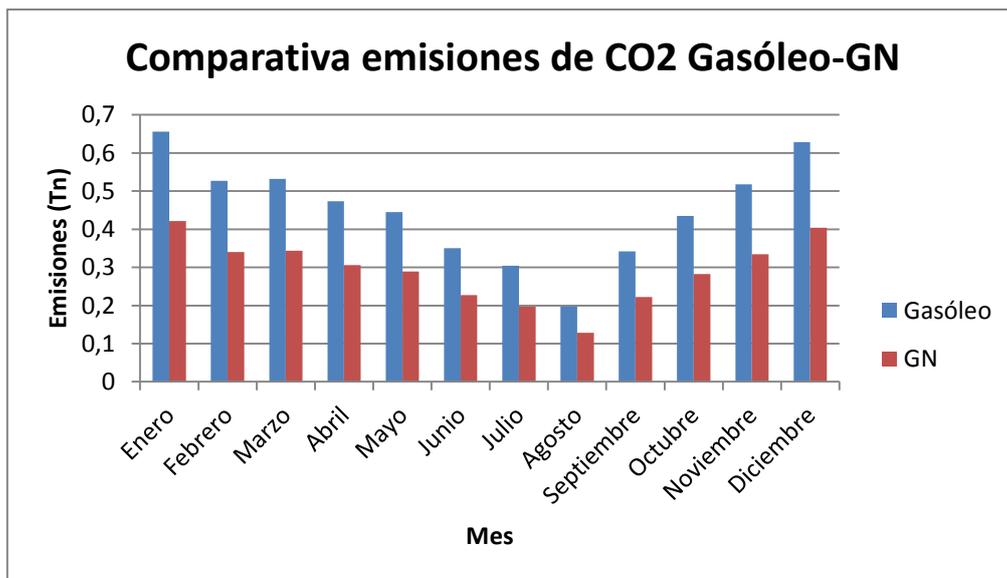


Gráfico 66. Emisiones de CO₂ mensuales para gasóleo y gas natural

Se ve cómo al usar calderas de gas natural se emiten menos contaminantes, llegando a una reducción anual de los mismos de un 35,34%.

A continuación, se presenta el presupuesto detallado de la instalación de gas natural.

Elemento	Importe (€)
Caldera 24 GTAF COMBI y quemador	2.497,36
Kit de seguridad para caldera a gas	170,63
Kit de unión de caldera a vaso de expansión	108,23
Kit de montaje de grupo de bombeo	43,88
Grupo de bombeo	468,00
Colector y compensador hidráulico	302,25
Interacumulador vertical de suelo	682,50
Kit de unión de caldera al acumulador	312,00
Termostato de ambiente	45,59
Material auxiliar para instalaciones de ACS y calefacción	10,74
Depósito de gas natural	1.853,00
Acometida de gas	517,17
Conjunto de regulación con armario	181,40

Contadores de gas	1.349,41
Tubería para instalación de gas	5,13
Sistema de detección de gas	793,04
Instalaciones auxiliares	160,90
Mano de obra	1.195,77
Costes indirectos	213,94
TOTAL	10.910,94

Tabla 306. Presupuesto de la instalación de gas natural

La inversión total requerida es de 10.910,94 €. Para estudiar la viabilidad del proyecto, se deben calcular el valor actualizado neto, la tasa interna de retorno y el período de retorno de la inversión. Para ello, se va a tomar un plazo de 15 años y un interés del 2%.

VAN	-5.693,31 €
TIR	-6,54%
PRI	26,87 años

Tabla 307. Parámetros de rentabilidad del proyecto

Al ser el VAN negativo, se puede afirmar que el proyecto no será rentable. Además el período de retorno de la inversión es de 27 años, lo que hace inviable la inversión.

9.2 Caldera de biomasa

Las calderas de biomasa son cada vez más automáticas y fiables, generando grandes ahorros económicos y numerosos beneficios sobre el medioambiente al no emitir emisiones de CO₂ a la atmósfera.

En una instalación de biomasa, el primer paso es decidir el combustible que se va a utilizar. Los más utilizados son pellets, astilla, por lo que se va a realizar un análisis y comparativa de cada uno de ellos.

Las principales especificaciones para cada uno de estos dos combustibles son las siguientes:

	Pellets	Astilla
PCI (kWh/kg)	5,1	4,07
Densidad (kg/m ³)	650	280
Precio (€/Tn)	252,25	90,00

Tabla 308. Características de los combustibles

Al igual que en el caso de la instalación de la caldera de gas natural, se van a realizar los cálculos para el mes en el que la demanda es mayor (enero), contando con el número máximo de usuarios (40 personas por día).

Mes	Días	Demanda Total (kWh)	Demanda diaria (kWh)	Potencia (kW)
Enero	31	1.982,91	63,96	8

Tabla 309. Demanda energética para el mes de enero

Por tanto, se propone la instalación de una de las siguientes calderas:

Marca y modelo	FROELING T4-24
Combustible	Astilla
Potencia nominal	24 kW
Rendimiento	91 %
Peso	620 kg
Contenido de agua	105 L
Temperatura máxima	90 °C
Presión de trabajo	3 bar

Tabla 310. Características de la caldera T4-24



Figura 118. Caldera T4-24

Marca y modelo	BAXI CBP MATIC
Combustible	Pellets
Potencia nominal	18 kW
Rendimiento	90%
Peso	350 kg

Tabla 311. Características de la caldera CBP MATIC



Figura 119. Caldera CBP MATIC

Una vez elegidas las calderas se compararán los consumos de energía y combustible de cada una, además de su coste.

Mes	Días	Temperatura (°C)	Demanda Total (kWh)	Consumo pellets (kWh)	Consumo astilla (kWh)
Enero	31	11	1.982,91	2.203,23	2.179,02
Febrero	28	11	1.599,69	1.777,43	1.757,90
Marzo	31	12	1.616,71	1.796,34	1.776,60
Abril	30	13	1.440,71	1.600,79	1.583,20
Mayo	31	15	1.359,10	1.510,11	1.493,52
Junio	30	17	1.068,28	1.186,98	1.173,93
Julio	31	19	928,72	1.031,91	1.020,57
Agosto	31	20	604,04	671,16	663,78
Septiembre	30	18	1.043,44	1.159,38	1.146,64
Octubre	31	16	1.328,90	1.476,56	1.460,33
Noviembre	30	13	1.572,71	1.747,46	1.728,25
Diciembre	31	11	1.900,91	2.112,12	2.088,91
Total (kWh)			16.446,12	18.273,47	18.072,66

Tabla 312. Consumo para las calderas de pellets y astilla

A continuación, se presenta un gráfico comparativo entre los consumos energéticos con caldera de gasóleo, caldera de astilla y caldera de pellets.

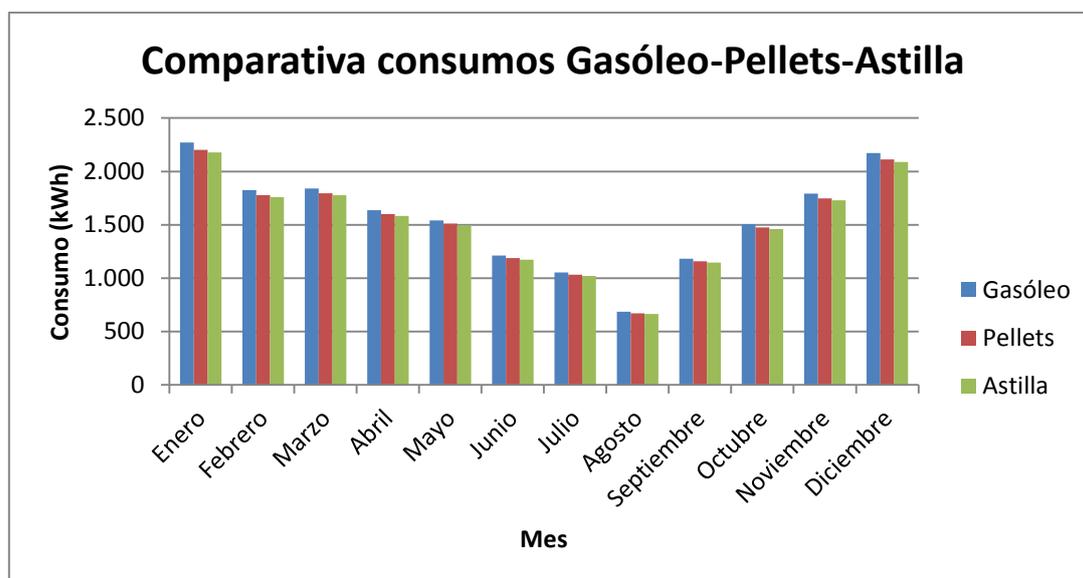


Gráfico 67. Comparación de consumos entre calderas de gasóleo, pellets y astillas

Se aprecia en el gráfico que el consumo con caldera de biomasa es ligeramente inferior al que se tiene actualmente con calderas de gasóleo. También se ve que los consumos con caldera de pellets y caldera de astilla son prácticamente idénticos, siendo ligeramente inferior la caldera de astilla.

Además del consumo energético, se deberá obtener la cantidad de cada combustible consumido. Este consumo se calcula dividiendo el consumo energético por el PCI del combustible.

$$\text{Consumo_combustible (kg)} = \frac{\text{Consumo_combustible (kWh)}}{PCI}$$

Mes	Consumo Pellets (kg)	Consumo Astilla (kg)
Enero	432,01	535,39
Febrero	348,52	431,92
Marzo	352,22	436,51
Abril	313,88	388,99
Mayo	296,10	366,96
Junio	232,74	288,44
Julio	202,34	250,75
Agosto	131,60	163,09
Septiembre	227,33	281,73
Octubre	289,52	358,80
Noviembre	342,64	424,63
Diciembre	414,14	513,25
Total (kg)	3.583,03	4.440,46

Tabla 313. Consumo en kilogramos de cada combustible

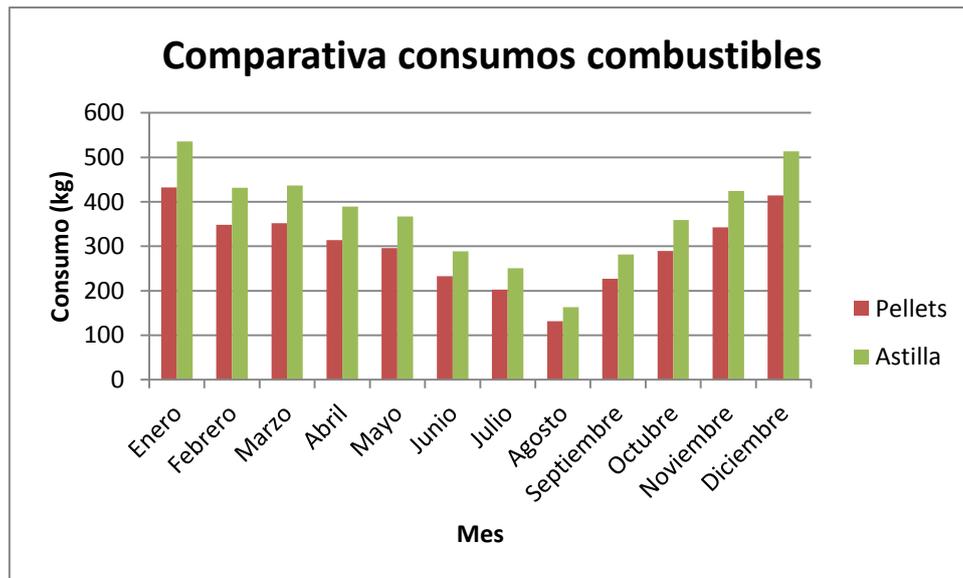


Gráfico 68. Consumo en kilogramos de cada combustible

El consumo de astilla es mayor en todos los meses, sobre todo en los meses de invierno, donde el consumo de combustible es mucho mayor.

Esta diferencia de consumos entre los diferentes combustibles conlleva una importante diferencia en el coste económico.

Mes	Coste gasóleo (€)	Coste pellets (€)	Coste astilla (€)	Ahorro pellets (€)	Ahorro astilla (€)	Ahorro Pellets (%)	Ahorro Astilla (%)
Enero	154,22	108,97	48,18	45,25	106,04	29,34	68,76
Febrero	124	87,91	38,87	36,09	85,13	29,10	68,65
Marzo	125,03	88,85	39,29	36,18	85,74	28,94	68,58
Abril	111,18	79,18	35,01	32,00	76,17	28,79	68,51
Mayo	104,7	74,69	33,03	30,01	71,67	28,66	68,46
Junio	82,3	58,71	25,96	23,59	56,34	28,66	68,46
Julio	71,55	51,04	22,57	20,51	48,98	28,67	68,46
Agosto	46,53	33,20	14,68	13,33	31,85	28,66	68,45
Septiembre	80,38	57,34	25,36	23,04	55,02	28,66	68,46
Octubre	102,37	73,03	32,29	29,34	70,08	28,66	68,46
Noviembre	121,73	86,43	38,22	35,30	83,51	29,00	68,61
Diciembre	147,66	104,47	46,19	43,19	101,47	29,25	68,72
Total	1.271,65	903,82	399,64	367,83	872,01	28,87	68,55

Tabla 314. Coste y ahorro económico mensual para con cada combustible

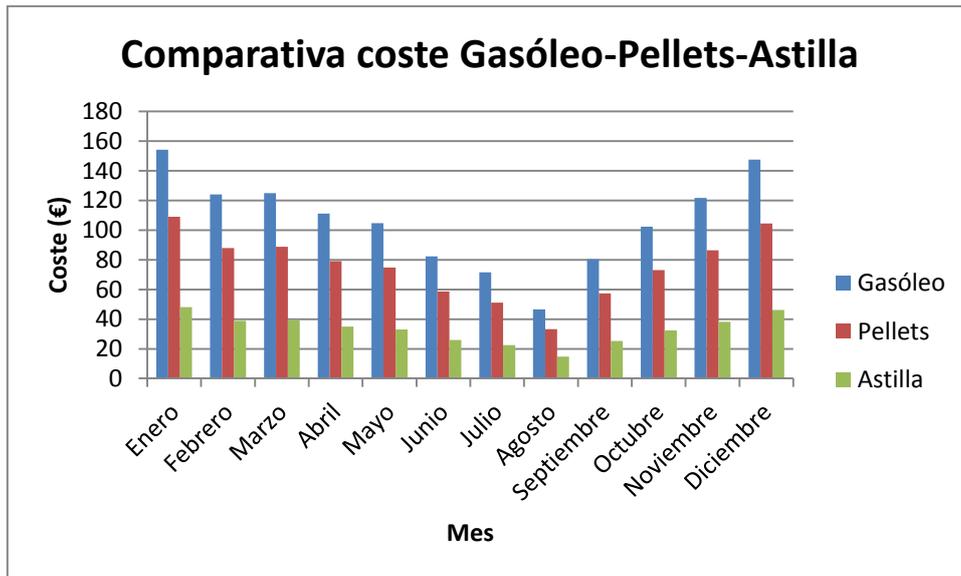


Gráfico 69. Coste mensual del consumo de gasóleo, pellets y astilla

Se observa que las calderas de biomasa son menos costosas que las de gasóleo, especialmente las que utilizan astilla.

Además de la caldera, es necesario instalar un depósito de inercia. Es simplemente un depósito acumulador que almacena calor residual en el momento de la parada de la caldera.

Se supondrá una capacidad para el depósito de 20 L/kW, por lo que se propone un depósito diferente para cada caldera:

- Caldera FROELING T4-24 (astilla).

Marca y modelo	INEROX COOL-500L
Capacidad	500 L
Diámetro	650 mm
Altura	1401 mm
Presión	6 bar
Precio	326,32 €

Tabla 315. Características principales del depósito de inercia (astilla)



Figura 120. Depósito de inercia COOL 500L

- Caldera BAXI CBP MATIC (pellets).

Marca y modelo	INEROX PS-540L
Capacidad	400 L
Diámetro	630 mm
Altura	1750 mm
Presión	6 bar
Precio	417,59 €

Tabla 316. Características principales del depósito de inercia (pellets)



Figura 121. Depósito de inercia PS 400L

Por último, se dimensionará un silo para el almacenamiento de combustible. Según la normativa española, la capacidad del silo será la suficiente para abastecer a la caldera durante dos semanas. Para ello, se va a analizar únicamente el mes de enero, ya que es el mes con más consumo de combustible, por lo que la capacidad mínima del silo calculada en este mes será mayor que la del resto de los meses del año. Los cálculos se harán para los dos combustibles estudiados.

- Pellets.

Mes	Días	Consumo (kWh)	Consumo combustible (kg)	Consumo combustible (m ³)	Consumo diario (m ³)	Consumo quincenal (m ³)
Enero	31	2.203,23	432,0065	0,6646	0,0214	0,3216

Tabla 317. Dimensionamiento del silo para pellets

- Astilla.

Mes	Días	Consumo (kWh)	Consumo combustible (kg)	Consumo combustible (m ³)	Consumo diario (m ³)	Consumo quincenal (m ³)
Enero	31	2.179,02	535,3862	1,9121	0,0617	0,9252

Tabla 318. Dimensionamiento del silo para astilla

Por tanto, la capacidad mínima del silo será de 0,32 m³ en el caso de utilizar una caldera de pellets, y 0,925 m³ al usar astilla.

Por último, se presenta una estimación del presupuesto de toda la instalación de biomasa, tanto para astilla como para pellets.

- Pellets.

Elemento	Importe (€)
Caldera BAXI CBP MATIC	4.191
Kit de montaje de la instalación	1.651,66
Sistema de alimentación	1.806,65
Sistema de llenado del silo	6.232,22
Depósito de inercia	417,59
Mano de obra	410,03

Costes indirectos	294,183
TOTAL	15.003,33

Tabla 319. Presupuesto de la instalación de biomasa (pellets)

- Astilla.

Elemento	Importe (€)
Caldera BAXI CBP MATIC	13.419,90
Kit de montaje de la instalación	2.957,18
Sistema de alimentación	4.399,21
Sistema de llenado del silo	6.232,22
Depósito de inercia	326,32
Mano de obra	622,37
Costes indirectos	559,14
TOTAL	28.516,34

Tabla 320. Presupuesto de la instalación de biomasa (astilla)

Para estudiar la viabilidad del proyecto, se deben calcular el valor actualizado neto, la tasa interna de retorno y el período de retorno de la inversión. Para ello, se va a tomar un plazo de 15 años y un interés del 2%.

	Pellets	Astilla
VAN	-10.276,99	-17.311,67
TIR	-10,51%	-8,46%
PRI	40,78 años	32,7 años

Tabla 321. Parámetros de rentabilidad del proyecto

La sustitución de la caldera de gasóleo actual por una caldera de biomasa (tanto astillas como pellets) no es una inversión rentable (VAN negativo) debido, entre otros, al alto precio unitario del combustible y el precio de la instalación.

9.3 Sustitución de tubos fluorescentes y halogenuros por LED

Esta propuesta pretende implantar iluminación LED en todas las zonas del edificio, ya que presenta numerosos beneficios como un bajo consumo, ahorro energético y económico, poca emisión de calor y larga duración. Para determinar qué tipo de luminaria instalar, será necesario conocer los lúmenes de cada una de las que están instaladas actualmente.

Zona	Área (m ²)	Número luminarias	Potencia (W)	Iluminancia (lux)	Lumen/ud mínimo
Vestuario masculino	24	16	288	537,55	806
Vestuario femenino	24	16	288	537,55	806
Vestuario minusválidos	6	2	36	105,00	315
Vestuario equipo arbitraje	12	2	36	224,00	1.344
Pista	1.584	36	14.400	463,16	20.379
Sala de máquinas	20	4	72	181,20	906
Almacén	16	2	36	138,25	1.106
Entrada al inmueble	30	10	180	381,43	1.144
Cuarto de limpieza	6	2	36	100,00	300

Tabla 322. Especificaciones de iluminación de cada luminaria

Al no disponer de mediciones de iluminancia del cuarto de limpieza, se ha tomado el valor recomendado por la norma UNE-EN 12464-1, correspondiente a 100 lux.

Así, se pretende instalar luminarias LED con una iluminancia similar pero de menor potencia, consiguiéndose un ahorro energético y económico. Por tanto, a partir de varios catálogos de luminarias, se propone la siguiente instalación:

Zona	Número luminarias	Potencia (W/ud)	Lumen/ud	Modelo
Vestuario masculino	16	9	800	Regleta LED OSRAM BATTEN 9W
Vestuario femenino	16	9	800	Regleta LED OSRAM BATTEN 9W
Vestuario minusválidos	2	9	800	Regleta LED OSRAM BATTEN 9W
Vestuario equipo arbitraje	2	13	1400	Regleta LED T8 13W

Pista	36	165	22300	PrevaLight High Bay
Sala de máquinas	4	9	950	Regleta LED T8 9W
Almacén	2	13	1200	Regleta LED T5 S
Entrada al inmueble	10	13	1200	Regleta LED T5 S
Cuarto de limpieza	2	9	800	Regleta LED OSRAM BATTEN 9W

Tabla 323. Propuesta de luminarias LED

Por tanto, las luminarias elegidas son las siguientes:

Marca y modelo	OSRAM BATTEN 9W
Tecnología	LED
Forma	Rectangular
Dimensiones (cm)	57,8x4,12,3
Potencia	9 W
Flujo luminoso	800 lm
Tono de luz	4000 K
Color	Blanco
Material	Plástico
Eficiencia energética	A+
Precio unitario	19,95 €/ud

Tabla 324. Especificaciones de la regleta LED OSRAM BATTEN 9W



Figura 122. Regleta LED OSRAM BATTEN 9W

Este modelo se implantará en los vestuarios masculino y femenino, vestuario de minusválidos y cuarto de limpieza. El siguiente modelo se sugiere para la sala de máquinas.

Marca y modelo	Regleta LED T8 9W
Tecnología	LED
Forma	Rectangular
Longitud	90 cm
Potencia	9 W
Flujo luminoso	950 lm
Tono de luz	4000 K
Color	Blanco
Material	Plástico
Eficiencia energética	A+
Precio unitario	7,95 €/ud

Tabla 325. Especificaciones de la regleta LED T8 9W



Figura 123. Regleta LED T8 9W

Para el almacén y la entrada al edificio se propone la siguiente luminaria:

Marca y modelo	Regleta LED T5 S
Tecnología	LED
Forma	Rectangular
Longitud	120 cm
Potencia	13 W
Flujo luminoso	1200 lm
Tono de luz	4000 K
Color	Blanco

Eficiencia energética	A+
Precio unitario	9,95 €/ud

Tabla 326. Especificaciones de la regleta LED T5 S



Figura 124. Regleta LED T5 S

La luminaria a instalar en el vestuario de árbitros es la regleta LED T8 13W.

Marca y modelo	Regleta LED T8 13W
Tecnología	LED
Forma	Rectangular
Longitud	100 cm
Potencia	13 W
Flujo luminoso	1400 lm
Tono de luz	6000 K
Color	Blanco
Material	Plástico
Eficiencia energética	A+
Precio unitario	14,95 €/ud

Tabla 327. Especificaciones de la regleta LED Inspire MOSS 15W



Figura 125. Regleta LED T8 13W

Y, por último, las luminarias a instalar en la pista deportiva siguen las siguientes especificaciones:

Marca y modelo	PrevaLight High Bay
Tecnología	LED
Forma	Circular
Diámetro	260 mm
Potencia	165W
Flujo luminoso	22300 lm
Tono de luz	4000 K
Color	Blanco
Eficiencia energética	A+
Precio unitario	279,95 €/ud

Tabla 328. Especificaciones de PrevaLight High Bay



Figura 126. PrevaLight High Bay

Antes de evaluar el consumo de las luminarias seleccionadas, es necesario comprobar que cada una de ellas cumple con los valores recomendados de iluminación.

Zona	Área (m ²)	Número luminarias	Potencia (W)	Iluminancia (lux)	Iluminancia recomendada (lux)	CUMPLE
Vestuario masculino	24	16	144	533,33	200	SÍ
Vestuario femenino	24	16	144	533,33	200	SÍ
Vestuario minusválidos	6	2	18	266,67	200	SÍ
Vestuario equipo arbitraje	12	2	26	233,33	200	NO
Pista	1.584	36	5940	506,82	300	SÍ
Sala de máquinas	20	4	36	190,00	200	NO
Almacén	16	2	26	150,00	200	NO
Entrada al inmueble	30	10	130	400,00	100	SÍ
Cuarto de limpieza	6	2	18	266,67	100	SÍ

Tabla 329. Verificación iluminancia

Se puede observar en la tabla que las únicas estancias que carecen de la suficiente iluminación son la sala de máquinas y el almacén, ya que requiere una iluminancia muy alta. Para solucionar este problema se debería instalar, por ejemplo, una luminaria de mayor potencia o más luminarias.

Por otro lado, se debe calcular para cada luminaria el Valor de Eficiencia Energética de Iluminación, con el objetivo de comprobar si son aptas para su instalación y uso. Este coeficiente se calcula como

$$VEEI = \frac{P \cdot 100}{S \cdot E}$$

Zona	VEEI	VEEI recomendado	CUMPLE
Vestuario masculino	1,125	4	SÍ
Vestuario femenino	1,125	4	SÍ

Vestuario minusválidos	1,125	4	SÍ
Vestuario equipo arbitraje	0,929	4	SÍ
Pista	0,740	4	SÍ
Sala de máquinas	0,947	4	SÍ
Almacén	1,083	4	SÍ
Entrada al inmueble	1,083	6	SÍ
Cuarto de limpieza	1,125	4	SÍ

Tabla 330. Cálculo del VEEI para cada zona del edificio

En la tabla anterior se puede observar que cada VEEI calculado es inferior a su respectivo VEEI límite, por lo que todas las luminarias son eficientes energéticamente, aunque estos valores son muy pequeños.

A continuación se analizará el ahorro en el consumo energético y el coste para cada mes.

Mes	Días	Consumo original (kWh)	Consumo LED (kWh)	Ahorro (kWh)	Ahorro (%)
Enero	31	1.585,03	671,03	914,00	57,66
Febrero	28	1.681,24	710,87	970,37	57,72
Marzo	31	1.861,38	787,03	1.074,34	57,72
Abril	30	1.801,33	761,65	1.039,69	57,72
Mayo	31	1.861,38	787,03	1.074,34	57,72
Junio	30	1.407,92	598,93	808,98	57,46
Julio	31	1.137,18	487,23	649,94	57,15
Agosto	31	746,23	316,86	429,37	57,54
Septiembre	30	1.451,12	616,75	834,36	57,50
Octubre	31	1.861,38	787,03	1.074,34	57,72
Noviembre	30	1.801,33	761,65	1.039,69	57,72
Diciembre	31	1.964,47	827,55	1.136,92	57,87
Total		19.159,97	8.113,62	11.046,35	57,65

Tabla 331. Ahorro energético con luminarias LED

En la tabla anterior se ve cómo el ahorro es prácticamente el mismo en todos los meses, casi un 58%. Este ahorro conseguido se observa mejor en el siguiente gráfico.

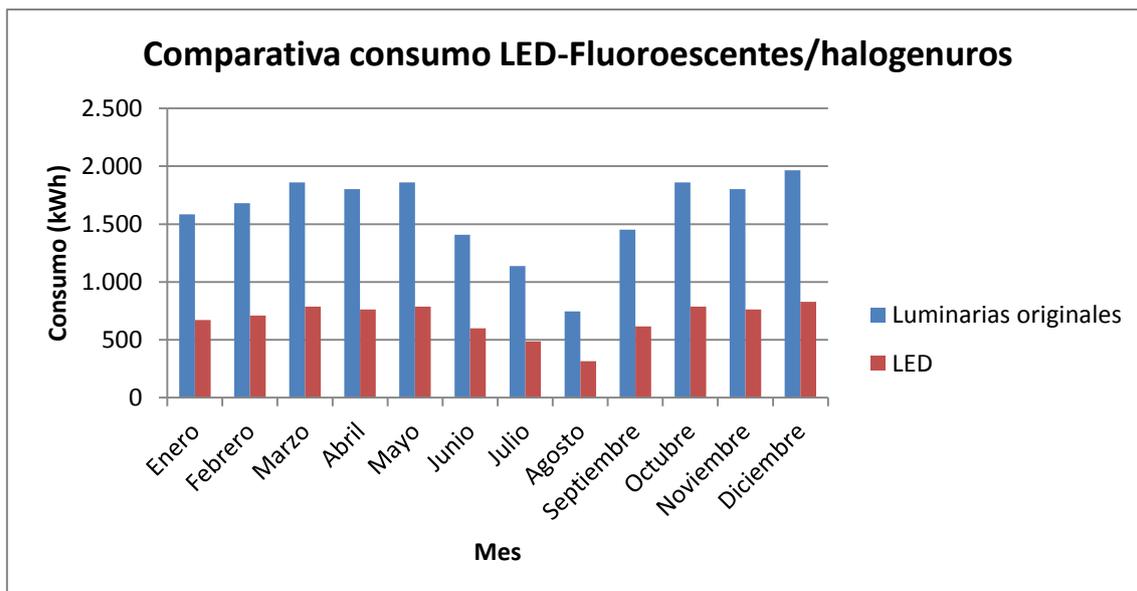


Gráfico 70. Comparativa entre el consumo LED y las luminarias actuales

Se aprecia en todos los meses una reducción del consumo energético de iluminación de aproximadamente el 58%.

En cuanto al coste mensual, a continuación se verá que también queda bastante reducido. Se considerará un coste de la energía de 17,325 c€/kWh.

Mes	Días	Coste actual (€)	Coste LED (€)	Ahorro (€)	Ahorro (%)
Enero	31	274,61	116,26	158,35	57,66
Febrero	28	291,28	123,16	168,12	57,72
Marzo	31	322,48	136,35	186,13	57,72
Abril	30	312,08	131,96	180,13	57,72
Mayo	31	322,48	136,35	186,13	57,72
Junio	30	243,92	103,76	140,16	57,46
Julio	31	197,02	84,41	112,60	57,15
Agosto	31	129,28	54,90	74,39	57,54
Septiembre	30	251,41	106,85	144,55	57,50
Octubre	31	322,48	136,35	186,13	57,72
Noviembre	30	312,08	131,96	180,13	57,72
Diciembre	31	340,34	143,37	196,97	57,87
Total		3.319,47	1.405,69	1.913,78	57,65

Tabla 332. Ahorro en el coste de iluminación

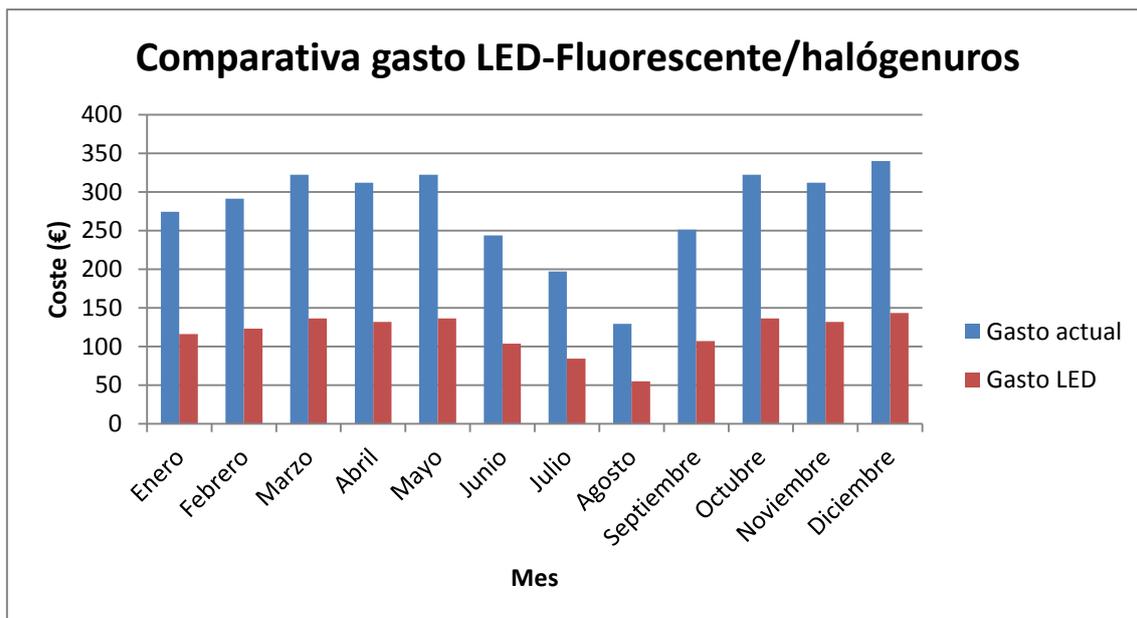


Gráfico 71. Comparativa entre el gasto LED y las luminarias actuales

Se reduce por tanto casi un 60 % el gasto mensual de iluminación debido a la instalación de LED en todas las zonas del inmueble. De este modo, el ahorro tanto energético como económico en un año es el siguiente:

Ahorro energético	11.046,35 kWh
Ahorro económico	1.913,78 €

Tabla 333. Ahorro en consumo y coste en un año debido a la instalación LED

A continuación, se propone una estimación del presupuesto de la instalación de luminarias LED en el edificio:

Elemento	Importe (€)
Regleta LED OSRAM BATTEN 9W (x36)	718,20
Regleta LED T8 9W (x4)	31,80
Regleta LED T5 S (x12)	119,40
Regleta LED T8 13W (x2)	29,90
PrevaLight High Bay (x36)	10.078,20

Equipos auxiliares	3.500
Mano de obra	21,65
Costes indirectos	289,98
TOTAL	14.789,13

Tabla 334. Presupuesto de la instalación de luminarias LED

La inversión total requerida es de 14.789,13 €. Para estudiar la viabilidad del proyecto, se deben calcular el valor actualizado neto, la tasa interna de retorno y el período de retorno de la inversión. Para ello, se va a tomar un plazo de 15 años y un interés del 2%.

VAN	9.801,53 €
TIR	9,72%
PRI	7,73 años

Tabla 335. Parámetros de rentabilidad del proyecto

Al ser el VAN positivo, el proyecto será completamente rentable. Además, la inversión se recuperará en aproximadamente ocho años.