



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Centro de Estudios de Postgrado

Trabajo Fin de Máster

**ESTUDIO TÉCNICO-ECONÓMICO
DE SUSTITUCIÓN DE UN
SISTEMA DE CALEFACCIÓN CON
GASÓLEO C POR BIOMASA EN
UN RESIDENCIAL DE VIVIENDAS
SITUADO EN JAÉN**

Alumna: Marta León Gutiérrez

Tutor: Prof. D. José Antonio La Cal Herrera
Dpto.: Organización de Empresas

Diciembre, 2020



Universidad de Jaén
Centro de Estudios de Postgrado

Trabajo Fin de Máster

Estudio técnico-económico de sustitución
de un sistema de calefacción con gasóleo
C por biomasa en un residencial de
viviendas situado en Jaén

La Alumna: Marta León Gutiérrez	El Director: José Antonio La Cal Herrera
	

En Jaén, a 1 de Diciembre de 2020

ÍNDICE

A. MEMORIA TÉCNICA.....	5
1. RESUMEN	6
2. OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS	6
3. INTRODUCCIÓN A LA BIOMASA.....	7
3.1 Definición y aplicaciones.....	7
3.2 Biomasa para usos térmicos.....	9
3.3 Biomasa en Jaén	10
3.3.1 Hueso de aceituna	11
3.3.2 Poda de olivo	12
3.3.3 Pellets	13
4. ANTECEDENTES	14
4.1 Normativa aplicable	14
4.2 Situación actual	14
5. METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE LA DEMANDA TÉRMICA	17
6. ESTUDIO TÉCNICO DE LA NUEVA INSTALACIÓN	18
6.1 Caldera.....	18
6.2 Chimenea	21
6.2.1 Condiciones de diseño de la chimenea	21
6.2.2 Dimensionado de la chimenea	22
6.3 Depósito de inercia	22
6.4 Vaso de expansión	24
6.4 Sala de máquinas	25
6.4.1 Sala de calderas.....	26
6.4.2 Silo de almacenamiento	27
6.5 Instalación eléctrica	27
6.6 Sistemas de protección y seguridad	27
6.6.1 Almacenamiento.....	27

6.6.2 Sala de calderas.....	28
6.6.3 Protección contra incendios.....	29
7. ESTUDIO ECONÓMICO	30
7.1 Coste combustible	30
7.2 Coste equipos.....	32
7.3 Amortización	33
8. EMISIONES DE CO2 EVITADAS	34
9. CONCLUSIONES.....	35
B. CÁLCULOS.....	36
1. Demanda térmica.....	37
1.1 Cálculo a partir del consumo de gasóleo c.....	37
1.2 Cálculo a partir de las necesidades teóricas de acs y calefacción	37
1.2.1 Demanda ACS	37
1.2.2 Demanda de calefacción	39
1.2.3 Demanda total de calefacción	43
1.3 Resumen resultados de las necesidades de calefacción y ACS	43
2. Chimenea.....	43
3. Vaso de expansión.....	44
4. Silo de almacenamiento	46
4.1 Astillas	47
4.2 Pellet.....	48
C. PRESUESTO.....	49
D. BIBLIOGRAFÍA	52

A. MEMORIA TÉCNICA

1. RESUMEN

El residencial de viviendas “Sierra Mágina” situado en la ciudad de Jaén, en su afán de mejorar el compromiso con el medio ambiente y conseguir un ahorro económico, pretende buscar alternativas a los consumos y costes de gasoil para fines térmicos que, además de ser excesivos, contribuyen a elevar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

El presente TFM consistirá en realizar un estudio técnico para conocer la viabilidad del cambio de la actual caldera de gasóleo C a otra de biomasa (considerando diversas tipologías de biocombustibles), según la normativa vigente de aplicación (RITE).

Se realizará también el estudio económico aproximado para determinar la rentabilidad de la inversión de dicha instalación.

Finalmente, la comunidad de propietarios podrá disponer de una información clara y detallada que le permitirá decantarse, o no, por la sustitución de dicha caldera.

2. OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS

El principal objetivo del presente proyecto, que consiste en la sustitución del gasóleo para calefacción por biomasa como combustible para la calefacción de 186 viviendas, distribuidas en 12 edificios, es determinar su viabilidad técnica y económica, de manera que la edificación mejore su calificación energética como consecuencia de la reducción de emisiones de CO_2 debido a la sustitución de fuentes fósiles (gasóleo C) por renovables (biomasa).

Otros objetivos más específicos son los siguientes:

- Adaptar la sala de calderas actual a la normativa vigente.
- Reducir el gasto energético para los usuarios.
- Fomentar el uso de energías renovables para cumplir con los planes y directrices en materia de sostenibilidad.
- Analizar diferentes tipologías de biocombustibles sólidos tales como hueso de aceituna, pellets o astilla de pino.
- Estudiar diferentes modelos de calderas, así como configuraciones para el conjunto de la instalación (silo, calderas, depósitos de inercia, chimeneas, etc.)
- Realizar un análisis de rentabilidad de la inversión teniendo en cuenta tanto CAPEX como OPEX.
- Estimar las emisiones de CO_2 evitadas con el proyecto, así como su impacto económico en la economía de la comunidad de propietarios.

Para ello, se abordarán las siguientes cuestiones:

- Introducción sobre la biomasa para fines térmicos.
- Estudio energético previo de la instalación, para conocer la demanda energética de los edificios.
- Cálculo de potencias de los equipos necesarios para la nueva instalación.
- Dimensionamiento de la sala de calderas y del silo de almacenamiento de combustible, así como los elementos auxiliares de la instalación.
- Estudio de los tipos de biomasa, analizando sus ventajas e inconvenientes.
- Análisis de los sistemas de carga del combustible al silo.
- Descripción de las exigencias de seguridad de la instalación.
- Elaboración de un plan de mantenimiento orientativo.
- Descripción de las pruebas a realizar en la instalación.
- Cálculo de emisiones de CO₂ evitadas.
- Estudio económico del proyecto, incluyendo presupuesto de la instalación y rentabilidad de las inversiones.
- Conclusión final del presente estudio tecno-económico.

3. INTRODUCCIÓN A LA BIOMASA

3.1 DEFINICIÓN Y APLICACIONES

La biomasa es “la fracción biodegradable de productos, desechos y residuos de origen biológico procedentes de actividades agrarias (incluidas las sustancias de origen vegetal y animal), de la silvicultura y de las industrias conexas, incluidas la pesca y la acuicultura, así como la fracción orgánica de los residuos industriales y municipales”.

Puede tener múltiples usos dependiendo del tratamiento que se le aplique:

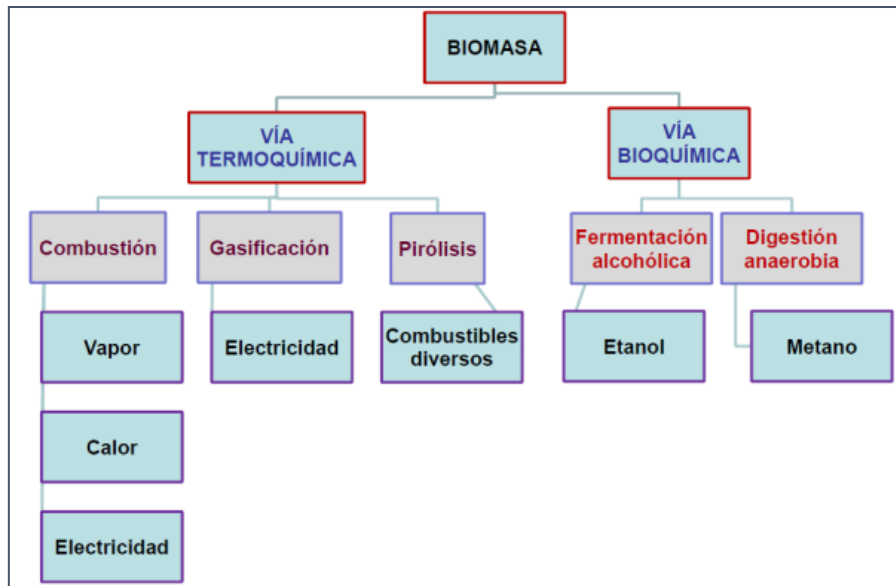


Figura 3.1 Aplicaciones de la biomasa

El uso energético de la biomasa presenta las siguientes debilidades:

- ✗ Fuerte dispersión de los recursos.
- ✗ Necesidad de adaptación de la maquinaria para la recogida en algunos casos.
- ✗ Coste del transporte elevado, en función de la distancia.
- ✗ Necesidad de desarrollo de alguna de las tecnologías de conversión.
- ✗ Falta de organización para la explotación de la biomasa.
- ✗ Competencia con otros sectores industriales: madera y alimentación.
- ✗ Falta de concienciación social de la importancia de la biomasa.

Sin embargo, también tiene múltiples oportunidades:

- ✓ Energía gestionable.
- ✓ Es versátil, ya que puede ser sometida a una gran variedad de procesos de conversión que permiten obtener biocombustibles sólidos, líquidos y gaseosos.
- ✓ Neutra en términos de emisiones de CO_2 .
- ✓ Genera empleo a lo largo de su cadena de valor, más que cualquier otra renovable.
- ✓ Disponibilidad de terrenos sin cultivar.
- ✓ Necesidades energéticas en poblaciones agrícolas.
- ✓ Desarrollo de otros sectores industriales necesarios para la explotación de la biomasa.
- ✓ Utilización con diferentes fines energéticos: biomasa sólida, biogás, biocombustibles líquidos, co-combustión, etc.
- ✓ Posibilidad de utilización en cogeneración, para usos térmicos y producción de electricidad.
- ✓ Complemento energético con otras energías renovables (hibridación).

3.2 BIOMASA PARA USOS TÉRMICOS

Las aplicaciones térmicas con producción de calor y ACS son las más comunes dentro del sector de la biomasa. En un segundo plano se sitúa la producción de electricidad.

La producción térmica sigue una escala de usos que empieza en las estufas individuales utilizadas tradicionalmente. Hoy en día existen aparatos tanto de aire, que calientan una única estancia; como de agua, que permiten su adaptación a un sistema de radiadores, suelo radiante y otros sistemas con producción de agua caliente sanitaria.



Figura 3.2 Estufa de biomasa

En un segundo nivel se sitúan las calderas, equiparables en su funcionamiento a las habituales de gasóleo C o gas natural, que proveen a los edificios de calefacción y agua caliente. Debido a la necesidad de disponer de un lugar amplio y seco para el almacenamiento del biocombustible, este tipo de instalaciones pueden tener problemas en edificios con salas de calderas pequeñas y poco espacio. Sin embargo, son una buena solución, tanto económica como medioambiental, para edificios de nueva construcción.

Una red de calefacción centralizada, supone el siguiente escalón dentro de las aplicaciones térmicas de la biomasa. La red de calor y agua caliente llega no sólo a urbanizaciones y otras viviendas residenciales sino también a edificios públicos, centros deportivos, complejos comerciales y un amplio elenco de edificios e industrias. El mayor tamaño, tanto de las calderas como de los silos de almacenamiento del combustible, requiere de instalaciones exclusivas para estas centrales térmicas.



Figura 3.3 Climatización con biomasa en centro deportivo

Por último, los consumos térmicos de determinadas industrias también son abastecidos por calderas de biomasa. Se trata principalmente del aprovechamiento de residuos de las industrias agroforestales para producción de energía térmica en forma de agua caliente, vapor o electricidad que, en ocasiones, es acompañado de producción eléctrica (cogeneración).

Las materias más utilizadas para las aplicaciones térmicas de la biomasa son los residuos de las industrias agrícolas (cáscaras de almendras, huesos de aceitunas...) y forestales (astillas, serrines...) y los residuos de actividades silvícolas (podas, limpieza de bosques...) y de cultivos leñosos (podas, arranques...). En muchas ocasiones algunos de estos residuos se transforman en pellets y briquetas, astillas molturadas y compactadas que facilitan su transporte, almacenamiento y manipulación pero que requieren de un tratamiento previo encareciendo el producto final.

3.3 BIOMASA EN JAÉN

Andalucía cuenta con un gran potencial de recursos de origen biomásico según la Agencia Andaluza de la Energía (3.955 ktep), en gran parte procedente del cultivo del olivar y sus industrias de transformación (38,58%). Se aprovecha principalmente para generar electricidad y también en procesos industriales para producción de calor (fundamentalmente en las propias industrias del aceite de oliva, almazaras y extractoras de aceite de orujo), así como para calefacción en edificios y climatización de piscinas, entre otros.

En la provincia de Jaén, destaca el elevado potencial de la biomasa del olivar asociada al cultivo y a las industrias, las cuales generan restos de podas, orujo graso y húmedo,

hueso de aceituna y orujillo, los cuales pueden ser valorizados para la generación de energía o para la obtención de bioproductos.

El balance de masas del proceso de la industria del aceite se muestra en la siguiente figura:

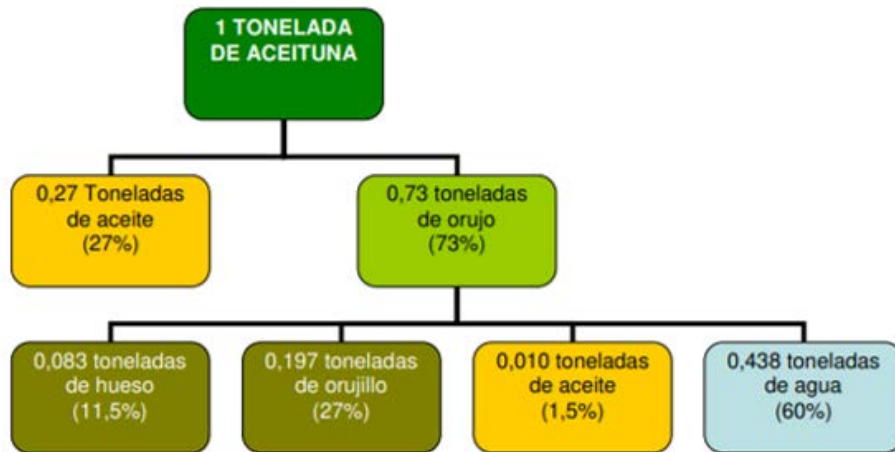


Figura 3.4 Subproductos de la aceituna

Los sistemas de calefacción con biomasa pueden alimentarse con distintos tipos de combustibles. Los más utilizados son los residuos de maderas naturales pretriturados (astillas, cortezas, etc.), y los residuos agroindustriales como el hueso de aceituna, la pepita de uva o la cáscara de almendra.

Estos combustibles normalmente tienen la ventaja común de su bajo coste en relación con los combustibles fósiles, pero sus características son variables, fundamentalmente en lo que se refiere al poder calorífico y la humedad.

El estudio se realizará para hueso de aceituna, astillas de madera y pellet, por ser los más desarrollados a nivel comercial. A continuación, serán descritos cada uno de ellos.

3.3.1 Hueso de aceituna

El hueso de aceituna es un subproducto del proceso de elaboración del aceite de oliva virgen extra en almazaras, el cual, una vez reducidas su humedad y su contenido en finos, es un excelente biocombustible para usos térmicos. La aceituna está formada por un 85% de pulpa y un 15% de hueso. Este último posee elevada densidad, humedad del 15% y un poder calorífico de 4.500 kcal/kg.



Figura 3.5 Hueso de aceituna (Fuente: La Cal Herrera, J.A.)

Es adecuado para usos térmicos, tanto en la industria como en los sectores domésticos y residenciales. Destacan su buen manejo, bajas emisiones de partículas en la combustión y condiciones inodoras.

El estándar actual de calidad del hueso de aceituna para calefacción es UNE 164003 *“Biocombustibles sólidos. Especificaciones y clases de combustibles: hueso se aceituna”*.

3.3.2 Poda de olivo

Una hectárea de olivar genera aproximadamente 3 toneladas de poda, en total, pueden generarse más de dos millones de toneladas de poda al año.

Tradicionalmente se ha empleado la leña como combustible doméstico; sin embargo, últimamente ha aumentado el uso de la astilla de poda de olivo para generar electricidad por la mejora de la rentabilidad de las empresas y por la introducción de nuevas fuentes de biomasa en plantas de generación eléctrica.

Este sector alcanza el 30% de su potencial, en algunas regiones su aprovechamiento es inexistente, ya que hay grandes diferencias en cuanto a zonas geográficas. Esto se debe a que su desarrollo depende de la demanda y el consumo que de ella se realice, y en la actualidad este consumo está ligado casi exclusivamente a las plantas de generación eléctrica con biomasa, por lo que en aquellas zonas donde no hay posibilidad de venta, la quema y el aporte al suelo siguen siendo las únicas opciones del agricultor.



Figura 3.6 Poda de olivar (Fuente: La Cal Herrera, J.A.)

El estándar de calidad para las astillas es el siguiente: UNE-EN ISO 17225-4:2014 “*Biocombustibles sólidos. Especificaciones y clases de combustibles. Parte 4: Clases de astillas de madera*”.

3.3.3 Pellets

El uso intensivo y más eficiente de la biomasa requiere contar, en lo posible, con combustibles estandarizados y normalizados. En este sentido, los denominados pellet (biomasa densificada de pequeño tamaño) ofrecen la posibilidad de mejorar los sistemas de combustión y la logística.



Figura 3.7 Pellets de madera de pino (Fuente: La Cal Herrera, J.A.)

Andalucía cuenta con un número importante de plantas de fabricación de este biocombustible, empleando como materia prima madera de pino, dado que el biocombustible suele estar normalizado según la norma UNE-EN ISO 17225-2:2014 *“Biocombustibles sólidos. Especificaciones y clases de combustibles. Parte 2: Clases de pellets de madera”*.

A continuación, se muestra una tabla con las principales características de las biomasa analizadas:

Biomasa	Densidad (kg/m ³)	PCI (kcal/kg)	Humedad
Hueso de aceituna	650	3.860	<15%
Astillas	250	3.600	<20%
Pellet	700	4.310	<15%

Tabla 3.1 Principales características de la biomasa

4. ANTECEDENTES

4.1 NORMATIVA APLICABLE

El presente trabajo se diseña, calcula y redacta cumpliendo todas las prescripciones reglamentarias exigibles, de manera que se puedan obtener las autorizaciones administrativas para su ejecución y puesta en servicio.

- ❖ Real decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación (CTE).
- ❖ Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), teniendo en cuenta las correcciones de errores y modificaciones realizadas sobre el mismo a partir de su publicación en el B.O.E. del 29 de agosto de 2007.
- ❖ Directiva 2009/125/CE del Parlamento Europeo y del Consejo en relación con los requisitos de diseño ecológico aplicables a las calderas de combustible sólido.

4.2 SITUACIÓN ACTUAL

La comunidad de propietarios “Sierra Mágina” está situada en el centro de la ciudad de Jaén y se compone de 186 viviendas repartidas en 12 edificios de diferentes alturas.

Existen tres tipos de viviendas según el tamaño de las mismas (3, 4 y 5 habitaciones). Como se desconoce el número de viviendas de cada tipo, se simplificarán los cálculos utilizando una “vivienda tipo” de unos 100 m^2 compuesta por:

- o Salón-comedor
- o Cocina
- o 4 dormitorios
- o 2 baños



Figura 4.1 Perspectiva Residencial (Fuente: Google Earth Pro)

En la actualidad, la comunidad está cubriendo sus necesidades térmicas de calefacción con dos calderas de gasoil de la marca ROCA.



Figura 4.2 Calderas y Placa de características (Fuente: Elaboración propia)



Figura 4.3 Vaso expansión Ibaiondo 500-AMR-B160I (Fuente: Elaboración propia)



Figura 4.4 Circuito hidráulico de impulsión y retorno (Fuente: Elaboración propia)



Figura 4.5 Silo de almacenamiento (Fuente: Elaboración propia)



Figura 4.7 Chimenea (Fuente: Elaboración propia)

5. METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE LA DEMANDA TÉRMICA

El cálculo de demanda de energía puede determinarse a partir de los datos de consumo de gasóleo de años anteriores, facilitados por la comunidad de propietarios.

Sin embargo, para una mejor justificación del estudio, se procederá también a realizar los cálculos de la demanda energética del residencial (ACS y calefacción) y obtener así la potencia térmica necesaria en la caldera.

Para determinar la demanda energética de los edificios durante los meses de invierno, se han considerado las pérdidas de calor por transmisión y por ventilación.

La cantidad de calor que tiene que proporcionar un sistema de calefacción viene dada por las condiciones climáticas óptimas que se quieren alcanzar. Evaluando las pérdidas de calor y aportando una cantidad igual a la que se pierde, en teoría se mantienen constantes las condiciones prefijadas.

En este caso, la potencia de la caldera necesaria será de 1.000 kW. Dichos cálculos se encuentran detallados en el *Documento B. Cálculos*.

6. ESTUDIO TÉCNICO DE LA NUEVA INSTALACIÓN

Una vez obtenida la demanda de ACS y calefacción, es decir, la potencia necesaria de la caldera, se realiza el estudio de los principales elementos que formarán parte de la instalación:

- ◆ Caldera
- ◆ Chimenea
- ◆ Depósito de inercia
- ◆ Vaso de expansión
- ◆ Silo de almacenamiento

También se hará una breve descripción de otros aspectos importantes como son: la instalación eléctrica y los sistemas de protección y seguridad.

6.1 CALDERA

La caldera elegida será de la marca Herz, distribuida por la empresa Termosun. Herz es una empresa austriaca que se ha posicionado como especialista en energías renovables en todo el mundo y tiene un papel muy importante en el desarrollo de sistemas con el máximo nivel de calidad y facilidad de uso.



Figura 6.1 Empresa Herz

Para satisfacer la demanda energética del residencial, se necesita una instalación de 1.000 kW. Por motivos de seguridad, en este tipo de situaciones es mejor optar por poner dos calderas de 500 kW. La caldera de biomasa seleccionada es la Firematic 501, cuyas características técnicas y de diseño se detallan a continuación:

Datos técnicos		Firematic 501
Rango de potencia	kW	104-540
Peso módulo cámara combustión	kg	2010
Peso intercambiador de calor		1960
Peso total (con protecciones)		4393
Eficiencia combustión	%	>94
Presión máxima de trabajo	bar	5
Temperatura máxima de trabajo	°C	95
Contenido de agua	l	1130

Tabla 6.1 Características técnicas de la caldera Firematic 501 (Fuente: Herz)



Figura 6.2 Caldera Herz Firematic 501 (Fuente: Herz)

La versión estándar está compuesta de:

- o Cuerpo de caldera con aislamiento
- o Base de apoyo antivibración
- o Doble Sinfín introductor con motorreductor
- o Intercambiador de seguridad
- o Sistema de extracción de humos con regulación de velocidad
- o Combustión mediante parrilla móvil con tramo final basculante
- o Limpieza automática del intercambiador de calor
- o Aprovechamiento de calor residual
- o Cámara de combustión dividida en 2 zonas
- o Dispositivo de seguridad antirretorno RSE (IBS-probado)
- o Control de nivel de almacén intermedio mediante sensores infrarrojos
- o Encendido automático mediante soplador de aire caliente
- o Extracción automática de cenizas del módulo de combustión y del módulo intercambiador (volátiles) hasta cajón de cenizas
- o Instrucciones de instalación y funcionamiento

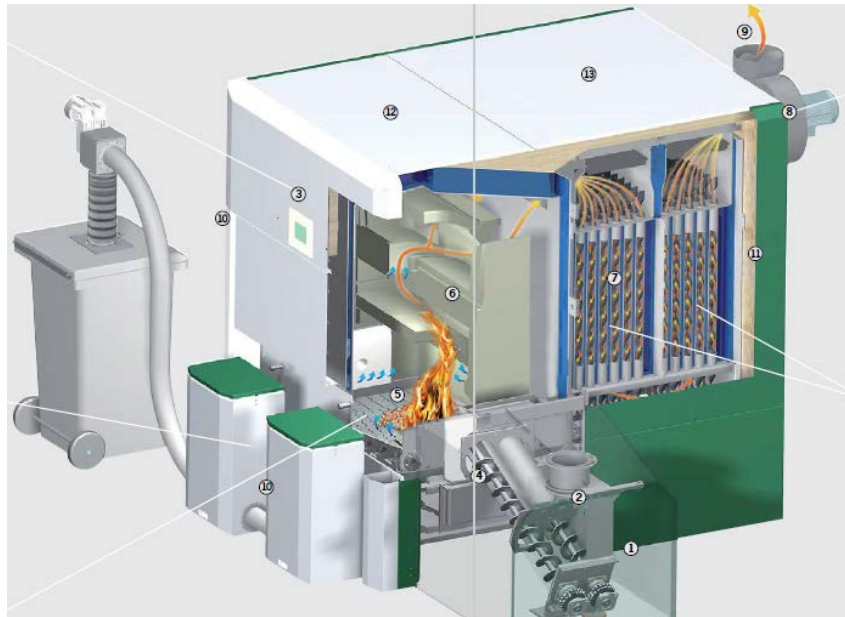


Figura 6.3 Corte caldera Firematic 501 (Fuente: Herz)

También consta de regulación electrónica integrada T-CONTROL con pantalla táctil y control Lambda, que incluye:

- o Regulación de la combustión
- o Regulación de 1 circuito de calefacción (regulación por temperatura exterior)
- o Regulación de depósito de inercia
- o Regulación de depósito de ACS
- o Regulación de sistema de elevación de temperatura de retorno (bomba y válvula mezcladora motorizada)
- o Regulación de la válvula motorizada para un rápido calentamiento de los circuitos de calefacción
- o Regulación mediante sonda Lambda (controla el flujo de aires de combustión y la entrada de combustible)
- o Visualización a distancia integrada de serie



Figura 6.4 Pantalla regulación T-CONTROL (Fuente: Herz)

6.2 CHIMENEA

Se entiende por conductos de humos aquellos por cuyo interior circulan los productos de la combustión, siendo su forma, dimensiones y materiales, los adecuados para el contacto con los gases.

Por chimenea se entiende el conjunto formado por los conductos de humos, envolvente de los mismos, aislantes, estructura y accesorios.

6.2.1 Condiciones de diseño de la chimenea

A continuación, se indican según el apartado *IT 1.3.4.1.3.2. Diseño y dimensionado de chimeneas Parte II* del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), las condiciones de diseño que deberá cumplir la chimenea de evacuación de gases provenientes de la combustión de las calderas.

Tramo horizontal o enlace

El tramo horizontal debe ser lo más corto posible y fácilmente accesible en todas sus partes para facilitar las operaciones de limpieza. La sección transversal será circular.

Es necesaria una pendiente de al menos 3% hacia la conexión del tramo vertical, con el objeto de facilitar la recogida de los condensados que se formen durante los arranques.

Se deben evitar en lo posible los cambios de dirección. Cuando sean necesarios, deben diseñarse con un radio de curvatura igual o superior al diámetro hidráulico de dicho tramo.

Tramo vertical o principal

La unión entre el tramo horizontal y el principal se realiza con piezas en T, cuyo ángulo con la horizontal esté comprendido entre 30° y 60°, para evitar la formación de turbulencias. La sección transversal del tramo vertical será circular.

La base del tramo vertical debe disponer de una zona de recogida de hollín, condensados y aguas de lluvia, provista de un registro de limpieza y un manguito de drenaje de, al menos, 20 mm de diámetro.

Se deben evitar en lo posible los cambios de dirección y de sección. Cuando sean necesarios, deben diseñarse con un radio de curvatura superior o igual a 1,5 veces el diámetro hidráulico de dicho tramo, y los cambios de sección con ángulo de divergencia inferior a 15°.

Boca de salida

La boca de salida de los humos se sitúa de manera que se evite la contaminación producida por gases, vapores y partículas en zonas ocupadas permanentemente por personas.

El remate de la chimenea favorece la ascensión libre de la columna de humos, por lo que se eligen preferiblemente elementos de la misma sección que el cuerpo de la chimenea, conos o pirámides reductoras.

Aislamiento térmico

Las chimeneas se aíslan térmicamente en todo su recorrido, con el fin de evitar el enfriamiento de los humos. El nivel de aislamiento de las chimeneas prefabricadas debe ser el recomendado por el fabricante.

6.2.2 Dimensionado de la chimenea

Este dato suele ser aportado por el fabricante, no obstante, es posible realizar el cálculo de sus principales parámetros. Las chimeneas, en el caso de biomasa, deben cumplir una serie de requisitos en cuanto a materiales y trazado. Deben estar calorifugadas para evitar condensaciones y disponer de una serie de tramos horizontales y verticales de manera que se favorezca la correcta evacuación de los gases. Además, deben sobresalir del punto más alto del edificio.

Las chimeneas se diseñarán y calcularán según los procedimientos descritos en las normas UNE 123001, UNE-EN 13384-1 y UNE-EN 13384-2 cuando sean modulares y UNE 123003 cuando sean autoportantes, no obstante, se considerarán válidas las chimeneas que se diseñen utilizando otros métodos.

Dicho dimensionado se encuentra en el *Documento B. Cálculos*.

6.3 DEPÓSITO DE INERCIA

Los depósitos de inercia son depósitos de almacenamiento que se conectan a la instalación de la calefacción. La finalidad principal de estos elementos es la de acumular la energía o el calor residual procedente de las calderas de biomasa para redistribuirlo por el circuito cuando sea necesario. De esta manera, se consigue que la instalación funcione mejor y de manera más eficiente.

La estratificación del agua en el depósito de inercia es importante para un funcionamiento óptimo con el objetivo de poder reutilizar la mayor cantidad de energía posible, además que se consiguen temperaturas más elevadas con la misma energía y mayor salto térmico entre la zona caliente y fría del depósito.

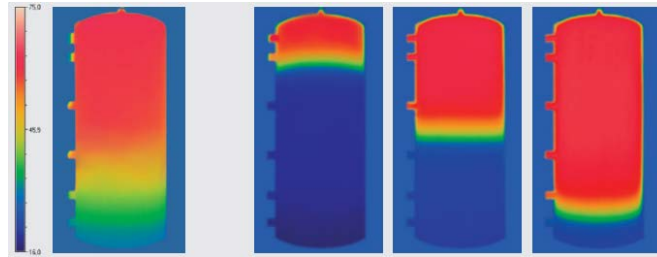


Figura 6.5 Diferencia de temperatura entre un depósito normal y uno estratificado (Fuente: Froeling)

La estratificación se consigue porque en el momento de introducir el agua caliente hay una membrana metálica que regula la cantidad de agua que entra en el depósito.

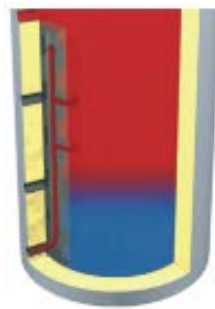


Figura 6.6 Membrana en la entrada del depósito (Fuente: Froeling)

También permite una respuesta más rápida en la demanda de los consumos reduciendo el tiempo de espera. Todo esto, tiene como consecuencia un funcionamiento más estable de la caldera.

En el caso de la instalación proyectada, se instalarán dos depósitos de inercia de 5.000 litros de capacidad, ya que, para las calderas seleccionadas, Herz recomienda una capacidad de 10 l/kW.

Los depósitos de inercia estratificados a instalar serán de la marca LAPESA, modelo MV-5000l.



Figura 6.7 Depósito de inercia LAPESA MV-5000I (Fuente: LAPESA)

6.4 VASO DE EXPANSIÓN

Los vasos de expansión cerrados funcionan por compresión a partir de una cámara de gas contenida en el interior con el agua de la instalación separada por una membrana flexible. Al aumentar la temperatura del agua de la instalación, se produce una sobrepresión en el circuito que es absorbida por el vaso de expansión. Al disminuir la temperatura, el volumen del agua se reduce y el vaso de expansión devuelve el agua a la instalación.

El dimensionado del vaso de expansión se hará atendiendo a la norma UNE 100155. El volumen mínimo del vaso de expansión será de 561 litros, por lo que, se decide instalar un vaso de expansión de la marca Ibaiondo, modelo 600 CMF. Dichos cálculos se pueden consultar en el *Documento B. Cálculos*.



Figura 6.8 Vaso de expansión Ibaiondo 600 CMF (Fuente: Ibaiondo)

6.4 SALA DE MÁQUINAS

Según el Reglamento de Instalaciones Térmicas en edificios (RITE), se consideran salas de máquinas los recintos con calderas o equipos auxiliares, cuando la suma de todas sus potencias sea superior a 70 kW. También se consideran parte de la sala de máquinas los locales a los que se acceda desde la misma sala, como los vestíbulos de acceso o que comuniquen con el resto del edificio o con el exterior.

En este caso, la sala de máquinas se encuentra en el sótano del residencial (cocheras), concretamente en la zona marcada en la siguiente figura:



Figura 6.9 Ubicación sala de máquinas (Fuente: Google Maps)

El silo de almacenamiento de combustible se encuentra en una sala anexa a la sala de calderas, de una forma similar a la que se muestra en la siguiente figura:



Figura 6.10 Sala de máquinas (Fuente: Herz)

6.4.1 Sala de calderas

Según el apartado *IT.1.3.4.1.2.6. Dimensiones de las salas de máquinas Parte II* del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE):

Un sistema de calefacción con biomasa tiene unas exigencias de espacio mayores que un sistema convencional. Como norma básica, las calderas y los equipos auxiliares deberán ser perfectamente accesibles en todas sus partes, de forma que puedan realizarse adecuadamente y sin peligro todas las operaciones de mantenimiento. El fabricante de los equipos proporciona unos valores mínimos.

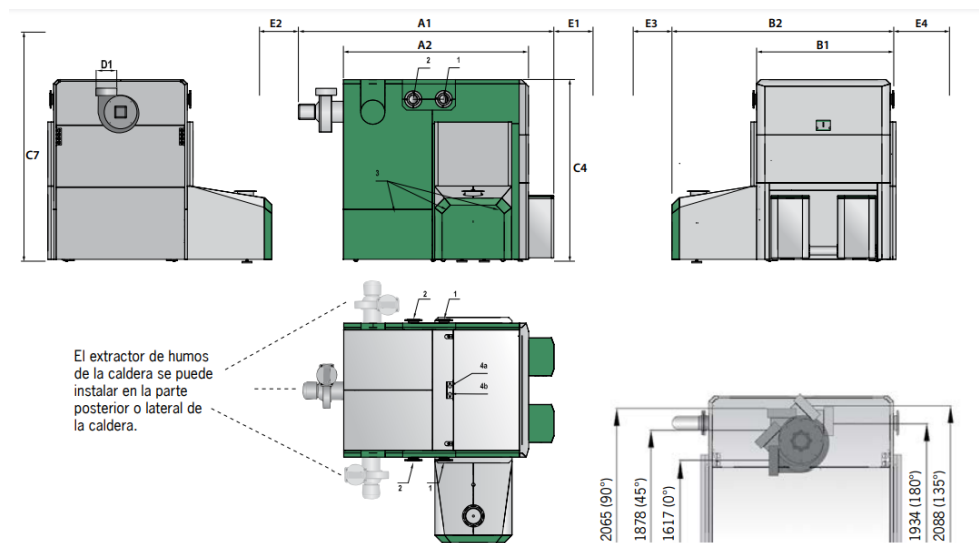


Figura 6.11 Dimensiones caldera (Fuente: Herz)

Datos técnicos (mm)	Firematic 501
A1 Longitud total	3011
A2 Longitud fontal	2260
B1 Ancho	1612
B1* Anchura	1200
B2 Ancho con alimentación	2731
C4 Altura	2185
C5 Altura superior	848
C7 Altura mín. sala calderas	2600
D1 Diámetro salida de humos	250
E1 Espacio mantenimiento frontal	1000
E2 Espacio mantenimiento trasero	750
E3 Espacio mantenimiento izquierdo	500
E4 Espacio manteminiento derecho	900

Tabla 6.2 Dimensiones caldera (Fuente: Herz)

6.4.2 Silo de almacenamiento

La característica más importante que deberá cumplir el silo es la ausencia de humedad, ya que ésta hace que la biomasa aumente de volumen y pierda parte de sus propiedades como combustible.

Según el apartado *IT.1.3.4.1.4. Almacenamiento de biocombustibles sólidos Parte II* del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), se establece que se ha de dimensionar el silo como mínimo para suministrar combustible durante 15 días.

En el caso de utilizar astillas como combustible se necesitaría un silo de 105 m^3 ; y 31 m^3 en el caso de pellet. Dichos cálculos aparecen en el *Documento B. Cálculos*.

6.5 INSTALACIÓN ELÉCTRICA

La instalación eléctrica en la sala de máquinas está compuesta por todos aquellos elementos necesarios para el funcionamiento del sistema. Entre otros, el alumbrado normal y de emergencia de la sala de calderas, enchufes para los servicios de mantenimiento y la alimentación del cuadro eléctrico.

Todos aquellos aspectos relacionados con instalaciones eléctricas deben cumplir con el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT).

6.6 SISTEMAS DE PROTECCIÓN Y SEGURIDAD

6.6.1 Almacenamiento

El diseño de los silos de almacenamiento debe cumplir una serie de premisas para prevenir el daño del combustible o una autocombustión. Cabe destacar las siguientes:

- Ausencia de humedad. Las paredes, suelo y techo del almacenamiento no permitirán filtraciones de humedad, impermeabilizándolas en caso necesario. El almacenamiento de las astillas debe estar bien ventilado para permitir su secado y evitar la aparición de mohos.
- Instalaciones eléctricas. Las instalaciones eléctricas dentro del almacén no están permitidas y cuando se utilice un sistema neumático para el transporte de la biomasa, ya sea del camión al silo o del silo a la caldera, el sistema deberá contar con una toma de tierra para evitar la aparición de chispas por cargas electrostáticas.
- Vaciado del sistema de almacenamiento. Se debe prever un procedimiento de vaciado del almacenamiento de biocombustible para la

realización de trabajos de mantenimiento, de reparación o en situaciones de riesgo de incendio.

- Protección contra incendios. En edificios nuevos el almacenamiento y la sala de máquinas deben encontrarse situados en locales distintos y con las aperturas para el transporte desde el almacenamiento a los generadores de calor dotadas con los elementos adecuados para evitar la propagación de incendios de una a otra. En instalaciones térmicas existentes que se reformen, en donde no pueda realizarse una división en dos locales distintos, el depósito de almacenamiento estará situado a una distancia de la caldera superior a 0,7 m y deberá existir entre el generador de calor y el almacenamiento una pared con resistencia ante el fuego de acuerdo con la reglamentación vigente de protección contra incendios.
- Resistencia a la presión del combustible. Las paredes y puertas del almacén deben ser capaces de soportar la presión del biocombustible almacenado.
- Mantenimiento del tornillo sinfín. Una vez al año se debe limpiar el polvo acumulado y engrasarse los cojinetes del tornillo sinfín.

6.6.2 Sala de calderas

En general, los sistemas de seguridad están preparados para que puedan actuar incluso en situaciones de falta de suministro.

Según el capítulo 4.5 de la Guía Técnica de Instalaciones de Biomasa Térmica en Edificios facilitada por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), las calderas de biomasa deben disponer de algún sistema de seguridad específico para ellas, recogido en la siguiente tabla:

Elemento	Función
Interruptor de flujo	Detener la circulación del fluido en el interior de la caldera
Dispositivo de interrupción de funcionamiento del sistema de combustión	Interrumpir la combustión en el caso de alcanzarse temperaturas superiores a las de diseño o de existir retroceso de los productos de la combustión o de llama
Dispositivo contra el retroceso de llama	Evitar el retroceso de la llama de la caldera hacia el silo de almacenamiento de la biomasa
Sistema de eliminación del calor residual	Eliminar el calor adicional producido por la biomasa ya introducida en la caldera cuando se interrumpe la combustión

Válvula de seguridad	Desviar el agua a sumidero en caso de sobrepasarse en más de 1 bar la presión de trabajo de agua
-----------------------------	--

Tabla 6.3 Dispositivos de seguridad de la caldera (Fuente: IDAE)

Las salas de calderas de biomasa deben cumplir las prescripciones generales de seguridad establecidas en la sección SI-1 del Documento Básico SI Seguridad en caso de incendio del Código Técnico de la Edificación (CTE) y que se comentan a continuación:

- ~ La sala de calderas no podrá ser utilizada para otros fines, ni podrán realizarse en ella trabajos ajenos a los propios de la instalación.
- ~ El acceso normal a la sala de máquinas no debe realizarse a través de una abertura en el suelo o techo, sino a través de una puerta doble.
- ~ Las puertas tendrán una permeabilidad inferior o igual a un litro por segundo por metro cuadrado bajo una presión diferencial de 100 pascuales, salvo cuando estén en contacto directo con el exterior.
- ~ Las dimensiones de la puerta de acceso son las suficientes para permitir el movimiento sin riesgo o daño de aquellos equipos que deban ser reparados fuera de la sala de máquinas.
- ~ Las puertas deben estar provistas de cerradura con fácil apertura desde el interior, aunque hayan sido cerradas con llave desde el exterior.
- ~ Las tomas de ventilación no podrán estar comunicadas con otros locales cerrados.
- ~ La sala dispondrá de un sistema eficaz de desagüe por gravedad.
- ~ La iluminación de la sala de calderas debe ser suficiente para realizar los trabajos de inspección y mantenimiento. El valor mínimo admisible del nivel medio de iluminación son 200 lux, con una uniformidad media de 0,5.
- ~ El cuadro eléctrico de protección y mando de los equipos instalados en la sala o, al menos, el interruptor general, estará situado cerca de la puerta principal de acceso.
- ~ Los motores y sus transmisiones deberán estar suficientemente protegidos contra accidentes fortuitos del personal.
- ~ Entre la maquinaria y los elementos que delimitan la sala de máquinas deben dejarse los pasos y accesos libres para permitir el movimiento de equipos, o partes de ellos, desde la sala hacia el exterior y viceversa.
- ~ La conexión entre generadores de calor y chimeneas debe ser perfectamente accesible.

6.6.3 Protección contra incendios

Se cumplirá la reglamentación vigente sobre condiciones de protección contra incendios que sea de aplicación a la instalación térmica. En todo caso, se garantizarán las exigencias del CTE DB SI.

Por lo que, se debe instalar un extintor en la sala de calderas. Este será de polvo seco polivalente de 6 kg, de eficacia 21 A-113B. Al no haber ninguna zona dentro de la sala de calderas alejada del extintor exterior más de 15 m, no es necesario colocar ninguno dentro de la sala.

7. ESTUDIO ECONÓMICO

A continuación, se procede a realizar el segundo apartado del presente estudio técnico-económico, que nos permitirá determinar si la instalación de la nueva caldera será o no viable teniendo en cuenta dos aspectos: el coste del nuevo combustible y el coste de los nuevos equipos.

7.1 COSTE COMBUSTIBLE

Como puede observarse en la evolución de los últimos años de los precios del gasóleo C y las biomásas para usos térmicos más utilizadas en España, el precio de la biomasa se caracteriza por una gran estabilidad, que contrasta con la volatilidad del precio del gasóleo de calefacción.

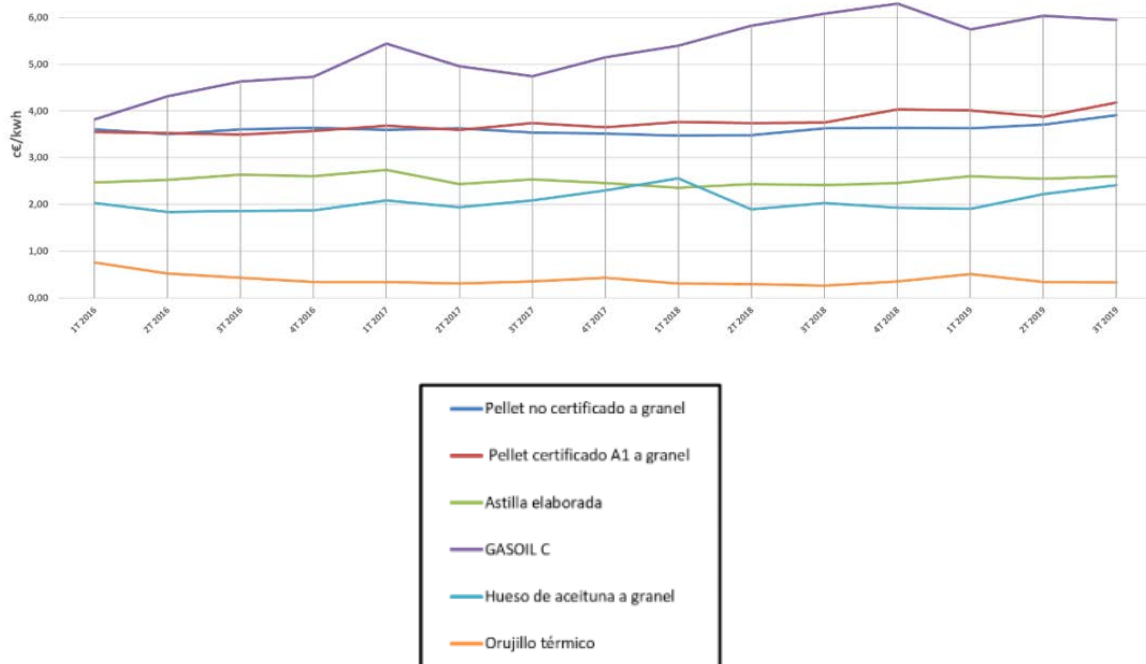


Figura 7.1 Evolución precios combustibles (Fuente: IDAE)

Para poder realizar la amortización de la nueva instalación, se estudiará la evolución del precio del kWh según los distintos combustibles (gasóleo C de la instalación actual; pellet y astilla para la futura caldera) durante el periodo comprendido entre 2017 y 2019.

Combustible	Año		
	2017	2018	2019
Gasóleo C	5,07	5,90	5,91
Pellet	3,67	3,82	4,02
Astilla	2,54	2,41	2,58

Tabla 7.1 Evolución precio (c€/kWh) (Fuente: IDAE)

Los resultados obtenidos son: un incremento aproximado del 8% para el gasóleo C, el 5% para el pellet y el 1% para las astillas.

Se puede observar en la siguiente gráfica cómo el empleo de la biomasa como combustible permite un notable ahorro económico:

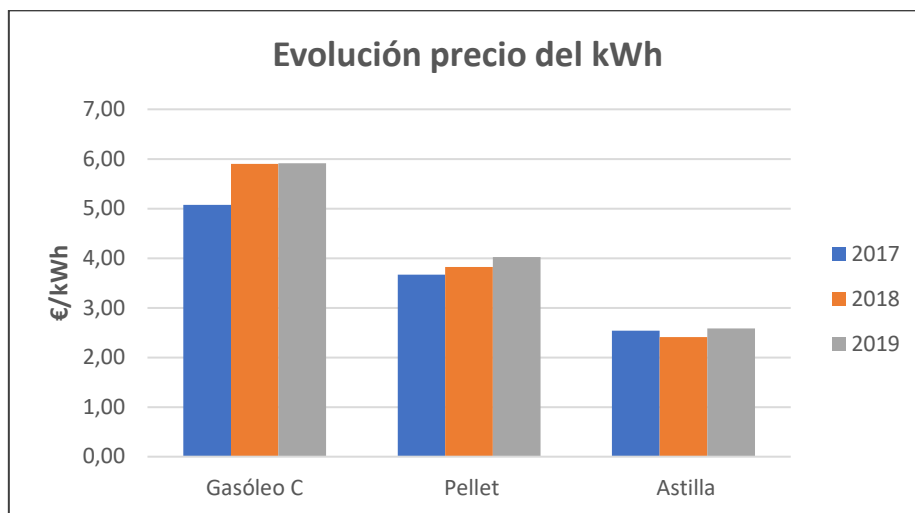


Figura 7.2 Gráfica evolución precio kWh (Fuente: Elaboración propia)

Una vez vista la diferencia de precios que existe entre el gasóleo C y la biomasa, se realiza el cálculo del coste que supondría la utilización de cada tipo de combustible:

-Gasóleo C

La energía anual necesaria, calculada en el *Documento B. Cálculos* del presente proyecto, es de 1.085.745 kWh. Según los datos de la tabla 7.1, el coste anual de gasóleo sería de:

$$Coste\ gas\acute{o}leo = \frac{1.085.745\ kWh}{a\tilde{n}o} \cdot \frac{0,0591\ €}{kWh} = \mathbf{64.167,53\ €/a\tilde{n}o}$$

-Pellet

El consumo anual de pellet, calculado en el *Documento B. Cálculos* del presente proyecto, sería de 216.512 kg. Según el IDAE, el precio medio del pellet certificado a granel en 2019 fue de 191,5 €/t.

Por tanto, en el caso de utilizar este tipo de combustible en las calderas, el coste anual ascendería a:

$$Coste\ pellet = \frac{216,512\ t}{a\tilde{n}o} \cdot \frac{191,5\ €}{t} = \mathbf{41.462\ €/a\tilde{n}o}$$

-Astillas

El consumo anual de astillas sería de 259.179 kg. Según el IDAE, el precio medio de las astillas en 2019 fue de 90,96 €/t.

Por tanto, en el caso de utilizar este tipo de combustible en las calderas, el coste anual ascendería a:

$$Coste\ astillas = \frac{259,179\ t}{a\tilde{n}o} \cdot \frac{90,96\ €}{t} = \mathbf{23.575\ €/a\tilde{n}o}$$

7.2 COSTE EQUIPOS

La inversión necesaria para la ejecución del proyecto asciende a la cantidad de CIENTO OCHENTA Y UN MIL SETECIENTOS NOVENTA Y SEIS euros con SETENTA Y DOS céntimos de euro, (181.796,72€), que corresponde a los capítulos recogidos en la siguiente tabla:

CONCEPTO	IMPORTE (€)
Capítulo 1: Equipos y Elementos Auxiliares	121.372,49
Capítulo 2: Equipos de Medición, Seguimiento y Control	779,00
Capítulo 3: Instalación Eléctrica	4.105,00
Total Ejecución Material	126.256,49
13% Gastos Generales	16.413,34
6% Beneficio Industrial	7.575,39
Total de G.G y B.I	23.988,73
21% I.V.A	31.551,50
Total I.V.A	31.551,50
TOTAL PRESUPUESTO GENERAL	181.796,72

Tabla 7.2 Resumen presupuesto (Fuente: Elaboración propia)

En el *Documento C. Presupuesto* se recoge el presupuesto detallado, incluyendo todas las partidas.

7.3 AMORTIZACIÓN

Se ha realizado un estudio de amortización a 10 años. Para ello se ha tenido en cuenta el coste inicial de la instalación y el coste de combustible (aplicando los correspondientes incrementos anuales).

En la siguiente tabla se puede observar la evolución de los costes anuales durante el periodo estudiado, así como el ahorro acumulado.

Año	Coste combustible (€)			Coste acumulado (€)			Diferencia (€)	
	Gasóleo C	Pellet	Astillas	Gasóleo C	Pellet	Astilla	Pellet	Astilla
0					181.796,72	181.796,72	-181.796,72	-181.796,72
1	64.167,53	41.462,00	23.575,00	64.167,53	223.258,72	205.371,72	-159.091,19	-141.204,19
2	69.300,93	43.535,10	23.810,75	133.468,46	266.793,82	229.182,47	-133.325,36	-95.714,01
3	74.845,01	45.711,86	24.048,86	208.313,47	312.505,68	253.231,33	-104.192,21	-44.917,86
4	80.832,61	47.997,45	24.289,35	289.146,08	360.503,12	277.520,67	-71.357,05	11.625,40
5	87.299,22	50.397,32	24.532,24	376.445,29	410.900,44	302.052,91	-34.455,15	74.392,38
6	94.283,15	52.917,19	24.777,56	470.728,45	463.817,63	326.830,48	6.910,82	143.897,97
7	101.825,81	55.563,05	25.025,34	572.554,25	519.380,67	351.855,81	53.173,58	220.698,44
8	109.971,87	58.341,20	25.275,59	682.526,12	577.721,87	377.131,40	104.804,25	305.394,72
9	118.769,62	61.258,26	25.528,35	801.295,74	638.980,13	402.659,75	162.315,61	398.635,99
10	128.271,19	64.321,17	25.783,63	929.566,93	703.301,30	428.443,38	226.265,63	501.123,55

Tabla 7.3 Amortización de la instalación (Fuente: Elaboración propia)

Como se puede observar, la utilización de pellet en la nueva instalación generaría beneficios entre el quinto y el sexto año; y la utilización de astillas entre el tercero y el cuarto.

Se puede ver más fácilmente en la siguiente gráfica:

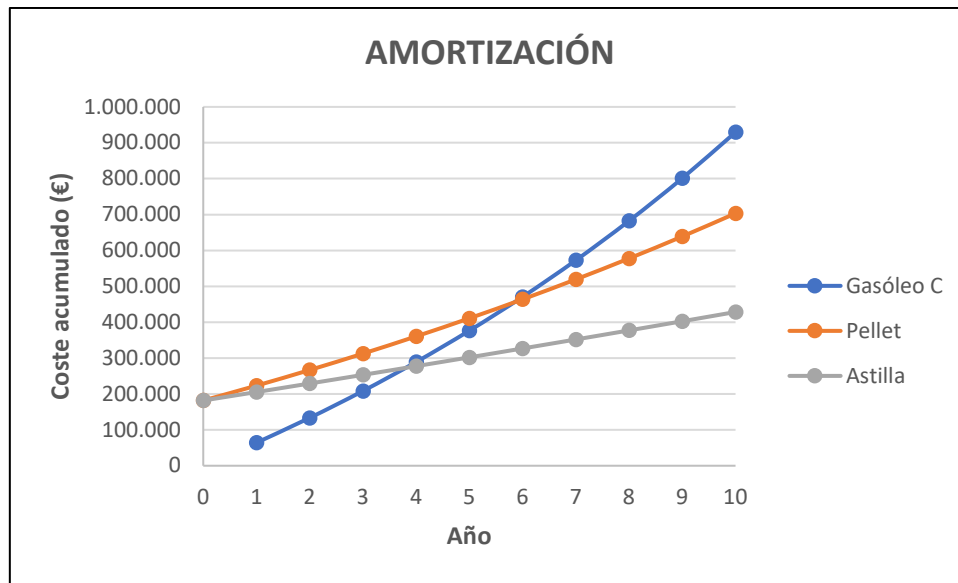


Figura 7.3 Amortización de la instalación (Fuente: Elaboración propia)

8. EMISIONES DE CO_2 EVITADAS

Para la estimación de emisiones de CO_2 se va a tener en cuenta los consumos anuales de gasóleo C, su poder calorífico inferior (PCI) y el consumo equivalente anual. Para ello, se han utilizado los siguientes valores facilitados por el IDAE:

COMBUSTIBLES					
FUENTE ENERGÉTICA	CONSUMO FINAL DIRECTO		ENERGÍA PRIMARIA ⁽¹⁾		FACTOR DE EMISIÓN ⁽²⁾
	tep	Volumen específico	tep	MWh	
Hulla	1	2,01 t	1,14	13,21	4,23
Lignito negro	1	3,14 t	1,14	13,21	4,16
Carbón para coque	1	1,45 t	1,14	13,26	4,40
Biomasa agrícola	1	3,34 t	1,25	14,53	neutro
Biomasa industria forestal	1	2,87 t	1,25	14,53	neutro
Coque de petróleo	1	1,29 t	1,42	16,49	4,12
Gas de coquerías	1	1,08 t	1,14	13,26	1,81
Gasóleo C	1	1,092 l	1,12	13,02	3,06
Fuelóleo	1	1,126 l	1,11	12,91	3,18
Gas Natural	1	910 Nm ³	1,07	12,44	2,34
Gases Licuados de Petróleo (GLP)	1	1,763 l	1,05	12,21	2,72
Butano	1	1,670 l	1,05	12,21	2,72
Propano	1	1,748 l	1,05	12,21	2,67
Gas de refinería	1	0,85 t	1,12	13,07	2,30

Tabla 8.1 Factores de emisión de CO_2 (Fuente: IDAE)

Tal como se puede observar en la tabla anterior, el balance de emisiones de CO_2 en el uso de biomasa como combustible es neutro.

Para calcular las emisiones de CO_2 anuales por el uso de gasóleo C se tiene que convertir la demanda energética total para calefacción y ACS, a partir de las toneladas de emisiones de CO_2 con gasóleo C conforme la energía producida, según la tabla 8.1.

$$\frac{3,6 \text{ tCO}_2/\text{tep} \cdot 1,12 \text{ tep}}{13,02 \text{ MWh}} = 0,263 \text{ tCO}_2/\text{MWh}$$

$$\text{Emisiones de CO}_2 = \frac{0,263 \text{ tCO}_2}{\text{MWh}} \cdot \frac{1.020,6 \text{ MWh}}{\text{año}} = \mathbf{268,42 \text{ tCO}_2/\text{año}}$$

La reducción de emisiones de CO_2 a la atmósfera sería de 268,42 tCO_2 al año en el caso de la sustitución total de la energía producida con la caldera de gasóleo C por la caldera de biomasa.

9. CONCLUSIONES

Se concluye el presente estudio considerándose viable, tanto técnica como económicamente, la sustitución de la actual instalación de gasóleo para calefacción por la nueva instalación de caldera policombustible.

Gracias al cambio de sala de calderas los usuarios del residencial obtienen las siguientes ventajas:

- ✓ Un ahorro económico en su factura de ACS y calefacción.
- ✓ Una reducción de emisiones de CO_2 lo que incrementa la calificación energética del edificio y, por tanto, su valor.

Además, con ello contribuyen a fomentar la economía local mediante el uso de biocombustibles sólidos como el hueso de aceituna producido en la provincia.

B. CÁLCULOS

1. DEMANDA TÉRMICA

1.1 CÁLCULO A PARTIR DEL CONSUMO DE GASÓLEO C

El dato aportado por parte de la comunidad de propietarios es el gasto de gasóleo C correspondiente al año 2019. Conociendo el precio del litro de gasoil dicho año y su PCI, se obtiene la energía necesaria para cubrir la demanda térmica anual de los edificios.

$$Energía = \frac{61.436 \text{ €}}{\text{año}} \cdot \frac{l}{0,68 \text{ €}} \cdot \frac{10,28 \text{ kWh}}{l} = 928.767,76 \text{ kWh/año}$$

Teniendo en cuenta que la caldera funciona de noviembre a marzo, unas 7 horas al día:

$$Potencia = \frac{928.767,76 \text{ kWh}}{\text{año}} \cdot \frac{\text{año}}{1.050 \text{ h}} = 885 \text{ kW}$$

1.2 CÁLCULO A PARTIR DE LAS NECESIDADES TEÓRICAS DE ACS Y CALEFACCIÓN

1.2.1 Demanda ACS

Para determinar los consumos se aplica el documento HE4 del CTE, en el que se dan los consumos diarios de ACS a 60°C, en función del tipo de edificio.

La temperatura de referencia de 60°C corresponde con la de acumulación del ACS para prevención de la legionelosis y será la mínima habitual en sistemas centralizados.

Criterio de consumo de ACS para diseño de instalaciones	
Tipo de edificio	Litros/día a 60 °C
Viviendas unifamiliares	30 por persona
Viviendas multifamiliares	22 por persona
Hospitales y clínicas	55 por cama
Hotel 4*	70 por cama
Hotel 3*	55 por cama
Hotel/Hostal 2*	40 por cama
Hostal/Pensión 1*	35 por cama
Camping	40 por emplazamiento
Residencias (ancianos, estudiantes, etc.)	55 por cama
Vestuarios/Duchas colectivas	15 por servicio
Escuela	3 por alumno
Cuarteles	20 por persona
Fábricas y talleres	15 por persona
Administrativos	3 por persona
Gimnasios	20 a 25 por usuario
Lavanderías	3 a 5 por kg de ropa
Restaurantes	5 a 10 por comida
Cafeterías	1 por almuerzo

Tabla 1.1 Consumos diarios de ACS a 60°C (Fuente: HE4 del CTE)

En el caso de viviendas, para determinar el número de ocupantes, el documento HE4 incluye la ocupación en función del número de dormitorios.

Nº de dormitorios	1	2	3	4	5	6	7	> 7
Nº de personas	1,5	3	4	6	7	8	9	Nº Dormitorios

Tabla 1.2 Estimación del número de personas en función del número de dormitorios (Fuente: HE4 del CTE)

En nuestro caso, una vivienda tipo consta de 4 dormitorios; por tanto, el número de ocupantes por piso será de 6 personas.

El número total de usuarios del residencial será de:

$$186 \text{ viviendas} \times 6 \text{ personas/vivienda} = 1.116 \text{ personas}$$

El consumo diario será:

$$1.116 \text{ personas} \times 22 \text{ l/persona} = 24.552 \text{ l/día}$$

La energía demandada para el calentamiento del ACS resulta:

$$E = l/día \cdot (T_{ACS} - T_{red}) ^\circ C \cdot \frac{1,16 \text{ Wh}}{^\circ C \cdot l} \cdot \frac{1 \text{ kW}}{1.000 \text{ W}}$$

Para ello, necesitamos conocer la temperatura del agua de la red en la provincia de Jaén:

Temperatura del agua de la red (°C)													Media
Mínimas	5	6	7	9	11	13	15	2	14	11	7	6	10
Máximas	15	15	16	16	17	19	21	21	20	18	17	16	17
Ciudad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Albacete	7	8	9	11	14	17	19	19	17	13	9	7	13
Alicante	11	12	13	14	16	18	20	20	19	16	13	12	15
Almería	12	12	13	14	16	18	20	21	19	17	14	12	16
Ávila	6	6	7	9	11	14	17	16	14	11	8	6	10
Badajoz	9	10	11	13	15	18	20	20	18	15	12	9	14
Barcelona	9	10	11	12	14	17	19	19	17	15	12	10	14
Bilbao	9	10	10	11	13	15	17	17	16	14	11	10	13
Burgos	5	6	7	9	11	13	16	16	14	11	7	6	10
Cáceres	9	10	11	12	14	18	21	2	19	15	11	9	13
Cádiz	12	12	13	14	16	18	19	20	19	17	14	12	16
Castellón	10	11	12	13	15	18	19	20	18	16	12	11	15
Ciudad Real	7	8	10	11	14	17	20	20	17	13	10	7	13
Córdoba	10	11	12	14	16	19	21	21	19	16	12	10	15
La Coruña	10	10	11	12	13	14	16	16	15	14	12	11	13
Cuenca	6	7	8	10	13	16	18	18	16	12	9	7	12
Gerona	8	9	10	11	14	16	19	18	17	14	10	9	13
Granada	8	9	10	12	14	17	20	19	17	14	11	8	13
Guadalajara	7	8	9	11	14	17	19	19	16	13	9	7	12
Huelva	12	12	13	14	16	18	20	20	19	17	14	12	16
Huesca	7	8	10	11	14	16	19	18	17	13	9	7	12
Jaén	9	10	11	13	16	19	21	21	19	15	12	9	15
Las Palmas	15	15	16	16	17	18	19	19	19	18	17	16	17
León	6	6	8	9	12	14	16	16	15	11	8	6	11

Tabla 1.3 Temperaturas del agua de la red (Fuente: UNE 94.002/95)

Elegimos la del mes más desfavorable, por tanto:

$$E = \frac{24.552 \text{ l}}{\text{día}} \cdot (60 - 9) ^\circ\text{C} \cdot \frac{1,16 \text{ Wh}}{^\circ\text{C} \cdot \text{l}} \cdot \frac{1 \text{ kW}}{1.000 \text{ W}} = 1.452,5 \text{ kWh/día}$$

Por último, la potencia necesaria será:

$$P = \frac{1.452,5 \text{ kWh}}{\text{día}} \cdot \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} = \mathbf{60,52 \text{ kW}}$$

1.2.2 Demanda de calefacción

Para determinar la potencia de una instalación de calefacción se debe tener en cuenta que debe compensar las pérdidas térmicas del local, que son de dos tipos:

- Pérdidas por transmisión a través de cerramientos.
- Pérdidas por ventilación en infiltración de aire exterior.

$$Q = Q_t + Q_v$$

Estas pérdidas se calculan para un salto térmico, definido como la diferencia entre la temperatura interior del local considerada y la temperatura del ambiente exterior.

Antes de empezar a realizar los cálculos es necesario conocer la temperatura mínima media exterior en Jaén, a partir de la agencia estatal de meteorología (AEMET) en la estación del año de más frío, invierno. Tal como se puede observar en la siguiente tabla la temperatura mínima media exterior es aproximadamente 5°C.

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Tª mínima media (°C)	5,1	6,6	8,9	10	13	18,1	21,4	21	17,8	13,8	8,9	6,3

Tabla 1.4 Temperatura mínima media exterior en Jaén (Fuente: AEMET)

Se estima una temperatura interior o de confort de 21°C que se utilizará para realizar todos los cálculos de calefacción.

Pérdidas de calor por transmisión

A continuación, se determinan las diferentes pérdidas de calor por conducción, que son aquellas que se producen dentro de un mismo cuerpo, o entre cuerpos en contacto sin que se produzca desplazamiento de materia.

Para ello, se han considerado aquellos cerramientos por los que pueda producirse una pérdida de calor como son las ventanas, puertas y suelos.

La posición de los edificios en el residencial varía entre una orientación N-S y otra E-O, tal como se puede observar en la siguiente imagen. Por ello, para simplificar los cálculos, se determina que todos los edificios están orientados al Norte, siendo el caso más desfavorable.



Figura 1.1 Planta Residencial (Fuente: Google Maps)

La forma de cálculo viene dada por:

$$Q_t = K \cdot S \cdot (T_i - T_e) \cdot C_1 \cdot C_2$$

Siendo:

Q_t : necesidades caloríficas del local (W)

K : coeficiente de transmisión térmica ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)

S : superficie del cerramiento considerado (m^2)

T_i : temperatura interior de cálculo ($^\circ C$)

T_e : temperatura exterior de cálculo ($^\circ C$)

C_1 : coeficiente de mayoración por orientación

C_2 : coeficiente de mayoración por intermitencia

Orientación				Valor %
SE	S	SO		-5
E	O			0
NO	N	NE		+5

Tabla 1.5 Coeficiente de mayoración por orientación (Fuente: Norma DIN 4701)

Rég. de utilización de la calefacción	Valor %
Potencia reducida durante la noche	7
Con interrupción de 9 a 12 horas	15
Con interrupción de 12 a 16 horas	25

Tabla 1.6 Coeficiente de mayoración por intermitencia (Fuente: Norma DIN 4701)

Ventanas

El primer componente a tener en cuenta serán las ventanas, que tienen un coeficiente de transmisión térmica igual a $2,2 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$, debido al uso de ventanas con vidrio aislante y vidrio sencillo, según el apartado 4.3.1.2 del catálogo de elementos constructivos del Código Técnico de Edificación (CTE).

Una “vivienda tipo” del residencial de estudio consta de:

- 4 dormitorios con una ventana de $1 \times 1,1 \text{ m}^2$.

$$Q_t = 4 \text{ dormitorios} \cdot 2,2 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot 1,1 \text{ m}^2 \cdot (21 - 5) \text{ } ^\circ\text{C} \cdot 1,05 \cdot 1,25 = 203,82 \text{ W}$$

- 1 salón con una ventana de $2 \times 1 \text{ m}^2$.

$$Q_t = 2,2 \cdot 2 \cdot (21 - 5) \cdot 1,05 \cdot 1,25 = 92,4 \text{ W}$$

- 1 cocina con una puerta de $0,8 \times 2 \text{ m}^2$ que da acceso a una pequeña terraza

$$Q_t = 2,2 \cdot 1,6 \cdot (21 - 5) \cdot 1,05 \cdot 1,25 = 73,92 \text{ W}$$

- 2 baños: uno de ellos con una ventana de $0,53 \times 0,53 \text{ m}^2$.

$$Q_t = 2,2 \cdot 0,2809 \cdot (21 - 5) \cdot 1,05 \cdot 1,25 = 12,98 \text{ W}$$

Las pérdidas de calor debidas a las ventanas serán:

$$Q_{t \text{ ventanas}} = 203,82 + 92,4 + 73,92 + 12,98 = 383,12 \text{ W}$$

Puertas

El segundo componente a tener en cuenta son las puertas, que tienen un coeficiente de transmisión térmica igual a $1,8 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$, debido al uso de puertas de madera frondosa de peso medio, según el apartado 3.3.1 del catálogo de elementos constructivos del Código Técnico de Edificación (CTE).

Todas las estancias de la vivienda tienen una puerta de $0,8 \times 2 \text{ m}^2$.

Como las puertas no son exteriores y no tiene ningún contacto con el sol o el exterior, se desestima el incremento de potencia según la orientación sobre el cálculo, dando como resultado la siguiente fórmula.

$$Q_{t \text{ puertas}} = 8 \text{ puertas} \cdot 1,8 \text{ W/m}^2\text{°C} \cdot 1,6 \text{ m}^2 \cdot (21 - 5) \text{ °C} \cdot 1,25 = 460,8 \text{ W}$$

Suelo

El último componente a tener en cuenta es el suelo. En este caso, tienen un coeficiente de transmisión térmica igual a $1,3 \text{ W/m}^2\text{°C}$, debido al uso de azulejo cerámico, según el apartado 3.14 del catálogo de elementos constructivo del Código Técnico de Edificación (CTE).

Como el suelo no es exterior y no tiene ningún contacto con el sol o el exterior, se desestima el incremento de potencia según la orientación sobre el cálculo, dando como resultado la siguiente fórmula.

$$Q_{t \text{ suelo}} = 1,3 \text{ W/m}^2\text{°C} \cdot 100 \text{ m}^2 \cdot (21 - 5) \text{ °C} \cdot 1,25 = 2.600 \text{ W}$$

Las pérdidas totales serán la suma de los componentes anteriormente calculados:

$$Q_t = 383,12 + 460,8 + 2.600 = \mathbf{3.444 \text{ W}}$$

Pérdidas de calor por ventilación e infiltración

Además de las pérdidas por transmisión térmica hay que añadir las pérdidas por infiltración que dependen de las renovaciones periódicas de aire que se realizan, debido a que las construcciones no son estancas. Asimismo, es necesario suministrar aire puro a las personas, consiguiendo renovar el aire de la vivienda.

Estas pérdidas se obtienen mediante la expresión:

$$Q_v = C \cdot ce \cdot (T_i - T_e)$$

Donde:

C : caudal de aire (m^3/h)

ce : calor específico del aire ($0,35 \text{ Wh/m}^3\text{°C}$)

T_i : temperatura interior de cálculo ($^{\circ}\text{C}$)

T_e : temperatura exterior de cálculo (°C)

En el caso de viviendas, es frecuente calcular el caudal de aire considerando las renovaciones horarias del volumen de las habitaciones. Las pérdidas por renovación serán, por lo tanto:

$$Q_v = renovaciones \cdot V \cdot 0,35 \cdot (T_i - T_e)$$

$$Q_v = 1 \text{ renovación/h} \cdot 100 \text{ m}^2 \cdot 2,6 \text{ m altura} \cdot 0,35 \text{ Wh/m}^3 \text{ °C} \cdot (21 - 5) \text{ °C} = \mathbf{1.456 \text{ W}}$$

1.2.3 Demanda total de calefacción

La demanda de calefacción de la comunidad vendrá definida por la suma de las pérdidas por transmisión térmica y por ventilación de las 186 viviendas.

$$Q = n^{\circ} \text{ viv} \cdot (Q_t + Q_v) = 186 \text{ viv} \cdot (3.444 + 1.456) \frac{\text{W}}{\text{vivienda}} = \mathbf{911,4 \text{ kW}}$$

1.3 RESUMEN RESULTADOS DE LAS NECESIDADES DE CALEFACCIÓN Y ACS

Obtenidas las cargas térmicas para calefacción y agua caliente sanitaria, la potencia nominal que deberá tener la caldera de biomasa que sustituirá las calderas de gasoil debe cubrir toda la demanda anteriormente calculada.

$$P_{caldera} = calefacción + ACS = 911,4 + 60,52 = 972 \text{ kW} \simeq \mathbf{1.000 \text{ kW}}$$

2. CHIMENEA

El cálculo del diámetro de la chimenea se realiza con la aplicación web que ofrece el fabricante Convesa, la cual ofrece un dimensionado aproximado según los datos de partida que se establecen.

La chimenea a instalar será Convesa de doble pared, de acero inoxidable y unidas por aislante de lana de roca de 25 mm de espesor.

A continuación, se muestran los resultados calculados con la aplicación web:

Datos de Partida

Generador

Generador:	Atmosférico
Combustible:	Pellets
Condensación:	No
Potencia Nominal:	1000 kW
Rendimiento:	94 %
Caudal de humos:	654.3 g/s
Tª de Humos:	270 °C
Tiro Mínimo:	3 Pa
Suministro de aire:	Ventilado

Ubicación

Provincia:	Jaén
Tª Máxima Aire Exterior:	15 °C
Tª Mínima Aire Exterior:	10 °C
Altitud:	570 m
Salida en presión opuesta:	No

Chimenea

Gama: AVANT 25 mm de aislante

Diámetro (int./ext.): 450/500 mm

Tramo Horizontal

Altura:	6 m
Longitud total:	8 m
Longitud por el exterior:	0 m
Codos 45°:	1 uds.
Codos 90°:	0 uds.
Tes 45°:	1 uds.
Tes 90°:	0 uds.

Tramo Vertical

Altura:	33 m
Longitud total:	33 m
Longitud por el exterior:	33 m
Codos 45°:	0 uds.
Codos 90°:	0 uds.
Tes 45°:	0 uds.
Tes 90°:	0 uds.
Salida:	Cono

Resultados

	Potencia Nominal		Potencia Mínima	
	Tramo Horizontal	Tramo Vertical	Tramo Horizontal	Tramo Vertical
Tª media de humos	265 °C	237 °C	173 °C	140 °C
Velocidad media de humos	7.1 m/s	6.7 m/s	2.1 m/s	2 m/s
Velocidad de salida de los humos		6.5 m/s		1.9 m/s
Tiro disponible		118.5 Pa		122.5 Pa

Requisitos

PRESIÓN PZ ≥ PZe [Pa]

Potencia Nominal: 117.7 ≥ -0.9 Requisito cumplido
Potencia Mínima: 105.2 ≥ -17.3 Requisito cumplido

PRESIÓN PZ ≥ PB [Pa]

Potencia Nominal: 117.7 ≥ 0 Requisito cumplido
Potencia Mínima: 105.2 ≥ 0 Requisito cumplido

TEMPERATURA Tiob ≥ Tg [°C]

Potencia Nominal: 213 ≥ 0 Requisito cumplido
Potencia Mínima: 109 ≥ 0 Requisito cumplido

Figura 2.1 Resultados dimensionado chimenea (Fuente: Convesa)

3. VASO DE EXPANSIÓN

El cálculo del vaso de expansión se realiza según la norma UNE 1001500:2004, recomendada por el RITE. La fórmula de cálculo del volumen del vaso es:

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

Donde:

V_t es el volumen total del vaso de expansión

V es el volumen total de agua en el circuito

C_e es el coeficiente de dilatación del fluido

C_p es el coeficiente de presión del gas

El volumen de agua en el circuito se obtiene sumando el volumen total de agua en las tuberías, emisores y generador de calor, o se pueden simplificar los cálculos de forma aproximada con la fórmula:

$$V = Q \cdot 15/1,16$$

Donde Q es la potencia del generador en kW.

$$V = Q \cdot 15/1,16 = 1000 \cdot 15/1,16 = 12.931 \text{ litros}$$

El coeficiente de expansión es siempre positivo y menor que la unidad y representa la relación entre el volumen útil del vaso de expansión, que debe ser igual al volumen de fluido expansionado, y el volumen de fluido contenido en la instalación. Según el RITE se calcula con la siguiente fórmula:

$$C_e = (3,24 \cdot t^2 + 102,13 \cdot t - 2.708,3) \cdot 10^{-6}$$

Donde una vez sustituida la t por el valor deseado tenemos los siguientes valores:

Temperatura	Ce	Ce en %
30 ºC	0,00328	0,328
40 ºC	0,00656	0,656
50 ºC	0,0105	1,05
60 ºC	0,0151	1,51
70 ºC	0,0204	2,04
80 ºC	0,0262	2,623
90 ºC	0,0328	3,28
100 ºC	0,0400	4

Tabla 3.1 Coeficientes de expansión

$$T_{media} = \frac{T_{ida} + T_{ret}}{2} = \frac{95 + 50}{2} = 72,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$C_e = (3,24 \cdot 72,5^2 + 102,13 \cdot 72,5 - 2.708,3) \cdot 10^{-6} = 0,0217$$

El coeficiente de presión para el cálculo del volumen total de los vasos de expansión cerrados se halla partiendo de la ecuación de estado para gases perfectos, considerando que la variación de volumen tenga lugar a T=cte. Este coeficiente, positivo

y mayor que la unidad, representa la relación entre el volumen total y el volumen útil del vaso de expansión. Se calcula con la fórmula:

$$C_p = P_M / (P_M - P_m)$$

Donde:

P_M es la presión máxima = presión de tarado (5) + presión atmosférica (1)

P_m es la presión mínima = presión manométrica (2) + presión atmosférica (1)

$$C_p = \frac{6}{6 - 3} = 2$$

Por tanto, una vez calculados todos los parámetros, se obtiene un volumen total del vaso de expansión de:

$$V_t = 12.931 \cdot 0,0217 \cdot 2 = \mathbf{561 \text{ litros}}$$

4. SILO DE ALMACENAMIENTO

Para dimensionar el silo de almacenamiento, se debe realizar el cálculo del consumo de la instalación y su autonomía.

En primer lugar, se calcula la energía térmica útil consumida anualmente mediante la ecuación:

$$E_{tu} = P_{caldera} \cdot t$$

Siendo:

$P_{caldera}$: potencia necesaria (kW)

t : tiempo de funcionamiento (h)

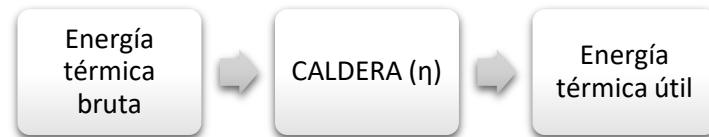
La potencia necesaria es la calculada en el apartado 1 del presente documento; y para el tiempo de funcionamiento, se conoce que la instalación se pone en marcha de noviembre a marzo, unas 7 horas al día.

$$t = 5 \text{ meses} \cdot \frac{30 \text{ días}}{\text{mes}} \cdot \frac{7 \text{ horas}}{\text{día}} = 1.050 \text{ horas}$$

Por tanto, la energía útil consumida anualmente será:

$$E_{tu} = 972 \text{ kW} \cdot 1.050 \text{ h/año} = 1.020.600 \text{ kWh/año}$$

Sin embargo, para calcular la cantidad de combustible necesaria para obtener dicha energía, lo que debemos conocer es la energía bruta consumida. Para ello, utilizaremos el rendimiento de la caldera.



$$E_{tb} = \frac{E_{tu}}{\eta_{caldera}} = \frac{1.020.600}{0,94} = 1.085.745 \text{ kWh}$$

A continuación, se procede a determinar el consumo de biomasa anual y las dimensiones del silo dependiendo del tipo de biomasa. Se realizará sólo con astillas y pellet, ya que son los dos tipos de combustibles que admite la caldera seleccionada.

4.1 ASTILLAS

La masa de astillas anual necesaria se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$m = \frac{E_{tb}}{PCI}$$

Donde:

m : masa de combustible anual (kg/año)

E_{tb} : energía térmica bruta (kWh/año)

PCI : Poder Calorífico Inferior del combustible (kJ/kg)

Por lo tanto, para una energía térmica útil de 1.085.745 kWh/año, conociendo el PCI de la poda de olivo que es 15.081 kJ/kg, la cantidad de biomasa anual necesaria será:

$$m = \frac{1.085.745 \text{ kWh}}{\text{año}} \cdot \frac{3600 \text{ kJ}}{\text{kWh}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{15.081 \text{ kJ}} = \mathbf{259.179 \text{ kg/año}}$$

Dividiendo la biomasa anual entre el número de horas anuales de funcionamiento de la caldera, se calcula que se ha de suministrar un flujo másico de combustible igual a:

$$m = \frac{259.179 \text{ kg/año}}{1.050 \text{ horas/año}} = 246,84 \text{ kg/h}$$

Para una autonomía de 15 días se necesitarán:

$$m = \frac{246,84 \text{ kg}}{h} \cdot \frac{7 \text{ h}}{\text{día}} \cdot 15 \text{ días} = 26.233,2 \text{ kg}$$

Suponiendo una densidad media de 250 kg/m^3 , el volumen del silo de almacenamiento para poda de olivo (astillas) será de:

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{26.233,2 \text{ kg}}{250 \text{ kg/m}^3} = \mathbf{105 \text{ m}^3}$$

4.2 PELLET

De igual modo que en el caso anterior, la masa de pellet anual necesaria se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$m = \frac{E_{tb}}{PCI}$$

Por lo tanto, para una energía térmica útil de $1.085.745 \text{ kWh/año}$, conociendo que el PCI del pellet es 18.053 kJ/Kg , la cantidad de biomasa anual necesaria será:

$$m = \frac{1.085.745 \text{ kWh}}{\text{año}} \cdot \frac{3600 \text{ kJ}}{\text{kWh}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{18.053 \text{ kJ}} = \mathbf{216.512 \text{ kg/año}}$$

Dividiendo la biomasa anual entre el número de horas anuales de funcionamiento de la caldera, se calcula que se ha de suministrar un flujo másico de combustible igual a:

$$m = \frac{216.512 \text{ kg/año}}{1.050 \text{ horas/año}} = 206,2 \text{ kg/h}$$

Para una autonomía de 15 días se necesitarán:

$$m = \frac{206,2 \text{ kg}}{h} \cdot \frac{7 \text{ h}}{\text{día}} \cdot 15 \text{ días} = 21.651 \text{ kg}$$

Suponiendo una densidad media de 700 kg/m^3 , el volumen del silo de almacenamiento para poda de olivo (astillas) será de:

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{21.651 \text{ kg}}{700 \text{ kg/m}^3} = \mathbf{31 \text{ m}^3}$$

C. PRESUESTO

CAPÍTULO 1: EQUIPOS Y ELEMENTOS AUXILIARES			
Concepto	Cantidad	Precio Unitario (€)	Importe Total (€)
Caldera biomasa Herz Firematic 501 , incluyendo cuadro eléctrico de control de la caldera, conexiones, puesta en marcha y mano de obra	2,00	52.000,00	104.000,00
Chimenea , chimenea modular metálica, de doble pared, de 450 mm de diámetro, abrazaderas, elementos de fijación, accesorios montaje y mano de obra	1,00	5.433,45	5.433,45
Depósito de inercia LAPESA MV-5000I , instalación, conexiones y mano de obra	2,00	5.592,00	11.184,00
Vaso de expansión cerrado Ibaiondo 600 CMF , instalación y mano de obra	1,00	755,04	755,04
TOTAL CAPÍTULO 1: EQUIPOS Y ELEMENTOS AUXILIARES			121.372,49

CAPÍTULO 2: EQUIPOS DE MEDICIÓN, SEGUIMIENTO Y CONTROL			
Concepto	Cantidad	Precio Unitario (€)	Importe Total (€)
Sonda de temperatura de inmersión , regulación hasta 100°, con varilla, conductores eléctricos, montaje y conexiones	2,00	120,00	240,00
Sonda de temperatura ambiente , calor o frío, conexiones e instalación	1,00	120,00	120,00
Interrupor automático de caudal , para tuberías, con ajuste regulable, caja metálica estanca, conductores eléctricos, conexiones y montaje	1,00	365,00	365,00
Manómetro , con recorrido de lectura hasta 10 bar, construido en material plástico termoresistente	2,00	27,00	54,00
TOTAL CAPÍTULO 2: EQUIPOS DE MEDICIÓN, SEGUIMIENTO Y CONTROL			779,00

CAPÍTULO 3: INSTALACIÓN ELÉCTRICA			
Concepto	Cantidad	Precio Unitario (€)	Importe Total (€)
Cuadro eléctrico , con interruptores diferenciales, interruptores magnetotérmicos, contadores, instalación y mano de obra	1,00	1.650,00	1.650,00
Circuito alumbrado , instalado con cable de cobre, empotrado y aislado con tubo de PVC, instalación y mano de obra	1,00	950,00	950,00
Punto de luz de emergencia	1,00	110,00	110,00
Contador de consumo	1,00	1.395,00	1.395,00
TOTAL CAPÍTULO 3: INSTALACIÓN ELÉCTRICA			4.105,00

D. BIBLIOGRAFÍA

[1] Aemet, Agencia estatal de Meteorología.

Url: <http://www.aemet.es/es/portada>

[2] Agencia Andaluza de la Energía. *La biomasa en Andalucía*, 2017.

Url: https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/sites/default/files/documentos/la_biomasa_en_andalucia_diciembre_2017.pdf

[3] CTE, Código Técnico de la Edificación. *Catálogo de elementos constructivos*, 2010.

Url: http://www.anape.es/pdf/Catalogo%20de%20Elementos%20Constructivos%20CAT-EC-v06.3_marzo_10.pdf

[4] Herz, Fabricante de calderas.

Url: <https://www.termosun.com/termosun-calderas/gama-herz/>

[5] Ibaiondo, Fabricante de equipos a presión.

Url: <https://ibaiondo.com/empresa/>

[6] IDAE, Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía. *Energía de la biomasa*.

Url: <https://www.idae.es/publicaciones/energia-de-la-biomasa>

[7] IDAE, Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía. *Factores de conversión energía final – energía primaria y factores de emisión de CO₂*, 2010.

Url: [https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Factores_de_Conversion_Energia_y_CO2_\(2010\)_931cce1e.pdf](https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Factores_de_Conversion_Energia_y_CO2_(2010)_931cce1e.pdf)

[8] IDAE, Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía. *Guía técnica de agua caliente sanitaria central*, 2010.

Url: <https://www.idae.es/publicaciones/guia-tecnica-agua-caliente-sanitaria-central>

[9] IDAE, Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía. *Guía técnica Instalaciones de biomasa térmica en edificios*, 2009.

Url: https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10920_Instalaciones_Biomasa_Term_edificios_2009_b6fe691f.pdf

[10] IDAE, Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía. *Informe de precios de la biomasa para usos térmicos*, 2019.

Url: https://www.idae.es/sites/default/files/estudios_informes_y_estadisticas/informe_precios_biomasa_usos_termicos_3t_2019.pdf

[11] LAPESA, Fabricante de depósitos y recipientes a presión.

Url: <http://lapesa.es/es>

[12] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. *Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios Versión Consolidada (RITE)*, 2013.

Url: <https://energia.gob.es/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Reglamento/RDecreto-1027-2007-Consolidado-9092013.pdf>

[13] Salvador Escoda. Libro Blanco de las Energías Renovables, 2018.

Url: http://www.salvadorescoda.com/tecnico/solar/Libro_Blanco_E_Renovables_Salvador_Escoda_18.1.pdf