



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Escuela Politécnica Superior de Linares

Trabajo Fin de Grado

**ESTUDIO TECNO-ECONÓMICO DE
SUSTITUCIÓN DE CALDERA DE
GASÓLEO A CALDERA DE BIOMASA
PARA LA CALEFACCIÓN DEL INSTITUTO
DE EDUCACIÓN SECUNDARIA ``REYES
DE ESPAÑA´´ SITUADO EN LINARES
(JAÉN)**

Alumno: Pablo Raya Izquierdo

Tutor: David Vera Candeas
Depto.: Ingeniería Eléctrica

Junio, 2017

TABLA DE CONTENIDO

1	Resumen.....	4
2	Objetivo y Alcance	6
3	Introducción	7
3.1	Beneficios socio-económicos y medioambientales de la biomasa.....	7
3.2	Biomasa y fuentes de biomasa en Jaén.....	9
3.3	Hueso de aceituna, poda de olivo y pellet	11
3.3.1	Hueso de aceituna	11
3.3.2	Poda de olivo	12
3.3.3	Pellets	13
3.3.4	Ventajas e inconvenientes de los distintos tipos de biomasa	14
3.3.5	Diferencias entre los tipos de biomasa escogidos y el gasóleo para calefacción	15
3.4	Calderas de biomasa	16
3.4.1	Tipos de calderas de biomasa	17
3.4.2	Transporte y distribución de combustible	18
3.4.3	Almacenamiento de la biomasa	19
3.4.4	Sistemas de transporte interno	20
3.4.5	Características de la seguridad de los silos de biomasa	21
3.4.6	Intercambiador de calor	21
3.4.7	Sistema de combustión.....	22
3.4.8	Sistemas de seguridad.....	22
3.4.9	Retirada de cenizas	22
3.4.10	Evacuación de humos.....	22
3.4.11	Operación y mantenimiento	23
4	Antecedentes	24
4.1	Normativa aplicable.....	24
4.2	Ubicación de la instalación.....	24

4.3	Descripción de la instalación actual de gasóleo	25
4.4	Consumos de gasóleo anuales de la instalación.....	27
4.5	Demanda térmica del centro	28
5	Materiales y métodos	29
5.1	Estudio Técnico	29
5.1.1	Caldera de biomasa a instalar.....	29
5.1.2	Chimeneas de evacuación de gases.....	31
5.1.3	Equipos auxiliares de la instalación.....	35
5.1.4	Sala de calderas	37
5.1.5	Silo de almacenamiento de combustible	40
5.1.6	Sistema de alimentación de combustible del silo a las calderas.....	49
5.1.7	Suministro de combustible	50
5.1.8	Exigencias de seguridad de la instalación.....	53
5.1.9	Pruebas de la instalación	60
5.1.10	Mantenimiento y uso	61
5.1.11	Emisiones de CO ₂	62
5.2	Estudio Económico	63
5.2.1	Inversión	64
5.2.2	Evolución del precio de los combustibles a estudiar	65
5.2.3	Incentivos de la Junta de Andalucía.....	66
5.2.4	Amortización	67
6	Discusión	70
7	Conclusión	71
8	ANEXOS.....	72
8.1	ANEXO A: Datos técnicos caldera KWB Powerfire 300 kW	72
8.2	ANEXO B: Mantenimiento y uso de la instalación	76
8.3	ANEXO C: Presupuesto detallado.....	79
9	Índice Tablas.....	84
10	Índice de Figuras	85

11	Índice de gráficas	86
12	Referencias bibliográficas.....	87
13	Planos	89

1 RESUMEN

El Instituto de Educación Secundaria ``Reyes de España`` situado en Linares (Jaén), en su afán de mejorar el compromiso con el medio ambiente y conseguir un ahorro económico considerable, pretende buscar alternativas a los excesivos consumos y costes de gasoil y electricidad para fines térmicos que, además de ser excesivos, contribuyen a elevar las emisiones de efecto invernadero.

El presente TFG consistirá en un Estudio Tecno-Económico necesario para el cambio de la actual caldera de gasóleo C a caldera de biomasa (con la posibilidad de utilizar tres tipos de combustibles: pellets, astillas y/o orujillo), siendo necesaria la instalación de un silo para el almacenamiento del combustible, un tornillo sinfín como medio de transporte para llevar el producto al quemador y adaptación de la sala de calderas actual a la nueva instalación propuesta, según la normativa vigente de aplicación.

Se realizará también el estudio económico aproximado de amortización de dicha instalación teniendo en cuenta las primas actuales que proporciona la Junta de Andalucía para este fin.

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

ABSTRACT

The "Reyes de España" high school located in Linares (Jaén), in its desire to improve the commitment to the environment and achieve considerable economic saving, it tries to look for alternatives to the excessive consumption and the diesel and electricity costs for thermal purposes, in addition to being excessive, contributing to rise greenhouse emissions.

This final degree project will consist of a Techno-Economic Study, necessary for the change from the current diesel oil C boiler to biomass boiler (with the possibility of using three types of fuels: pellets, wood chips and 'orujillo'), being necessary the installation of a fuel silo, an endless screw as transport means to take the product to the burner and adaptation of the current boiler room to the proposed new installation, according to the current regulations of use.

The approximate economic amortization study of this installation will also be carried out considering the current premiums provided by the "Junta de Andalucía" for this purpose.

Finally, the high school will be able to have clear and detailed information that will enable it to choose whether or not to replace the boiler.

2 OBJETIVO Y ALCANCE

El objetivo del presente proyecto consiste en la sustitución del gasóleo para calefacción por la biomasa como combustible para la calefacción del Instituto de Educación Secundaria ``Reyes de España``.

En este proyecto, se han llevado a cabo las siguientes actuaciones:

- Introducción sobre los beneficios de la biomasa, analizando sus ventajas e inconvenientes.
- Situación actual de la biomasa en la región de Jaén.
- Estudio de los distintos tipos de suministro y almacenamiento de biomasa.
- Estudio de los distintos tipos de calderas.
- Elección de la nueva caldera de biomasa, conductos de evacuación de gases y equipos auxiliares de la instalación.
- Cálculo de la demanda de biomasa para selección del silo de almacenamiento.
- Dimensionado de la sala de calderas
- Selección del tipo de sistema de alimentación de las calderas.
- 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 anualmente al implantar la nueva instalación.
- Estudio económico del proyecto, incluyendo presupuesto de la instalación y rentabilidad de las inversiones.
- Discusión y conclusión final del presente estudio tecno-económico.

3 INTRODUCCIÓN

Actualmente podemos afirmar la existencia de tecnología fiable y a costes competitivos que convierten a la biomasa en un claro competidor del gas natural y de los otros derivados del petróleo.

Los sistemas de climatización (calor y frío) pueden ser alimentados por biomasa de la misma forma que mediante gasoil o gas natural.

Hoy en día, el abanico de biocombustibles sólidos disponibles para sistemas de climatización de edificios, ha crecido considerablemente. Podemos destacar: pellets, astillas, huesos de aceitunas, cáscaras de frutos secos (almendras, piñones), etc.

Utilizando la biomasa como combustible, estaríamos hablando de una solución medioambientalmente respetuosa, cuya operación y mantenimiento son bastante sencillos, una larga vida útil y la cual presenta un alto rendimiento térmico, entre el 85-92%.

Como inconvenientes cabría destacar la necesidad de espacio suficiente para almacenar el combustible y una red de abastecimiento de combustible equivalente al gas embotellado o al gasóleo, puesto que la actual red de distribuidores no es lo suficientemente extensa.

He de añadir, que AENOR lidera actualmente el desarrollo de una norma de calidad de biocombustibles sólidos, en la línea con el resto de la UE.

3.1 Beneficios socio-económicos y medioambientales de la biomasa

La biomasa contribuye a la conservación del medio ambiente, debido a que sus emisiones a la atmósfera son inferiores que la de los combustibles sólidos por bajo contenido en azufre, nitrógeno y cloro. La mayor ventaja es el balance neutro de CO₂, al cerrar el ciclo de carbono que comenzaron las plantas en su crecimiento. Por lo tanto, podemos decir que la biomasa no produce emisiones contaminantes, puesto que su composición es básicamente parte del CO₂ captado por la planta origen de la biomasa, y vapor de agua.

Además, un porcentaje de la biomasa empleada para generar energía procede de residuos agrícolas que son necesarios eliminar. Aprovechamiento energético supone ``convertir un residuo en un recurso'', de esta forma conseguimos gestionar residuos procedentes de podas agrícolas, limpiezas de bosques, rastrojos etc., evitando riesgos de incendios, enfermedades y plagas, a la vez que añadimos un valor económico a un residuo.

La biomasa es un recurso disperso en el territorio el cual puede suponer un gran beneficio social y económico en el ámbito rural. Genera puestos de trabajo y se convierte en una fuente de ingresos para las industrias locales, evitando la inmigración hacia las grandes ciudades.

En la tabla 3.1, se puede observar cuantitativamente, tanto los beneficios sobre el medioambiente gracias a la reducción de emisiones de CO₂, como los beneficios sociales derivados de la generación de empleo.

Emisiones de CO ₂ evitadas	T CO ₂ /año
Biomasa eléctrica	2.129.350
Biomasa térmica	2.374.123
Generación de empleo	Personas/año
Biomasa eléctrica	49.435
Biomasa térmica	42.017

Tabla 3.1 Emisiones de CO₂ evitadas y generación de empleo.[1]

Las instalaciones de calefacción con biomasa generan un ahorro, derivado del consumo de energía, superior al 10% respecto al uso de combustibles fósiles, pudiendo alcanzar niveles mayores en función del tipo de biomasa, la localidad y del combustible fósil sustituido.

Mediante la tabla 3.2, podemos deducir que, además, teniendo en cuenta las emisiones de contaminantes, la situación se muestra favorable para la biomasa.

Contaminante	Gasóleo de calefacción	Biomasa
CO (kg)	35	20
SO₂ (kg)	205	48
CO₂ (t)	195	15
Partículas (kg)	20	30

Tabla 3.2 Emisiones-año del ciclo de vida según el tipo de combustible atizado. [2]

Considerando todo el ciclo de vida, las biomasa, cumplen mejor los límites de CO y CO₂. Las emisiones de SO₂ son significativamente más bajas que para las calderas de gasóleo, pero levemente más altas que en las calderas de gas.

Por otro lado, las emisiones de partículas son levemente más altas, pero su cantidad continúa estando en los límites aceptables.

Además se ha de tener en cuenta la cantidad de energía consumida en la extracción de combustibles fósiles de lugares muy lejanos, su transporte, transformación, bombeo..., antes de llegar al punto de consumo.

Desde un punto de vista estratégico y de seguridad en cuanto al abastecimiento, el uso de biomasa nos permite disminuir la dependencia externa de abastecimiento de energía.

3.2 Biomasa y fuentes de biomasa en Jaén

Andalucía cuenta con una importante riqueza biomásica, en gran parte procedente del cultivo del olivar y de sus industrias derivadas como se puede observar en la figura 3.1.

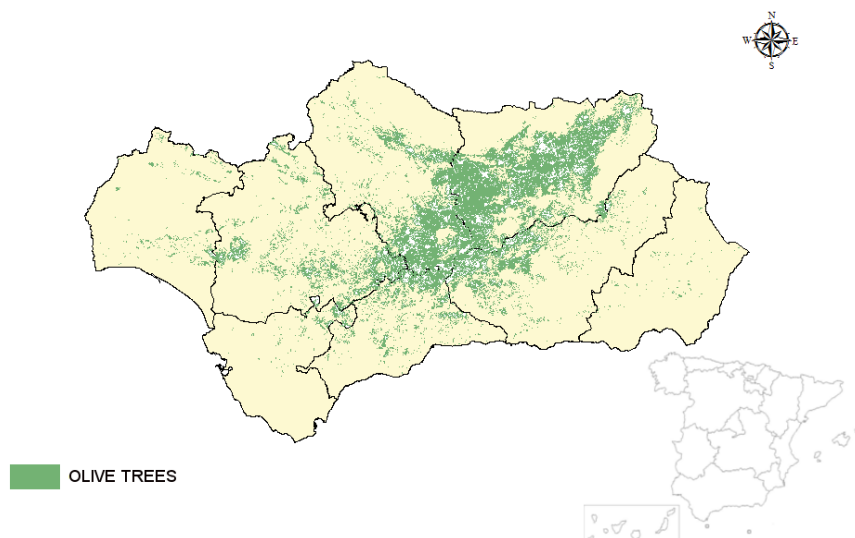


Figura 3.1 Mapa Potencial de Olivos en Andalucía.[3]

Puesto que el estudio se realizará en la provincia de Jaén, en la tabla 3.3, podemos observar las toneladas de biomasa generadas en dicha provincia.

JAEN			
BIOMASA	TONELADAS	KTEP	%
Agrícola	1.260.517	400	45%
Ganadera	323.290	5	1%
Forestal	160.273	45	5%
Industrial	2.019.325	376	43%
Cultivos energéticos	57.269	19	2%
Urbana	205.382	38	4%
Total	4.026.057	884	

Tabla 3.3 Potencial Biomasa Jaén.[4]

En la provincia de Jaén, destaca la biomasa del olivar como punto preferente ya que la producción de aceite de oliva, uno de sus productos más preciados.

Además, este cultivo y sus industrias derivadas generan una serie de subproductos con un contenido energético importante. Mediante una tecnología adecuada, puede obtenerse a partir de ellos tanto energía térmica como eléctrica e incluso biocarburantes para el transporte. Los subproductos susceptibles de valorización energética son el orujo, orujillo, el hueso de aceituna y la poda de olivar.

El balance de masas del proceso de la industria del aceite se muestra en la figura 3.2.

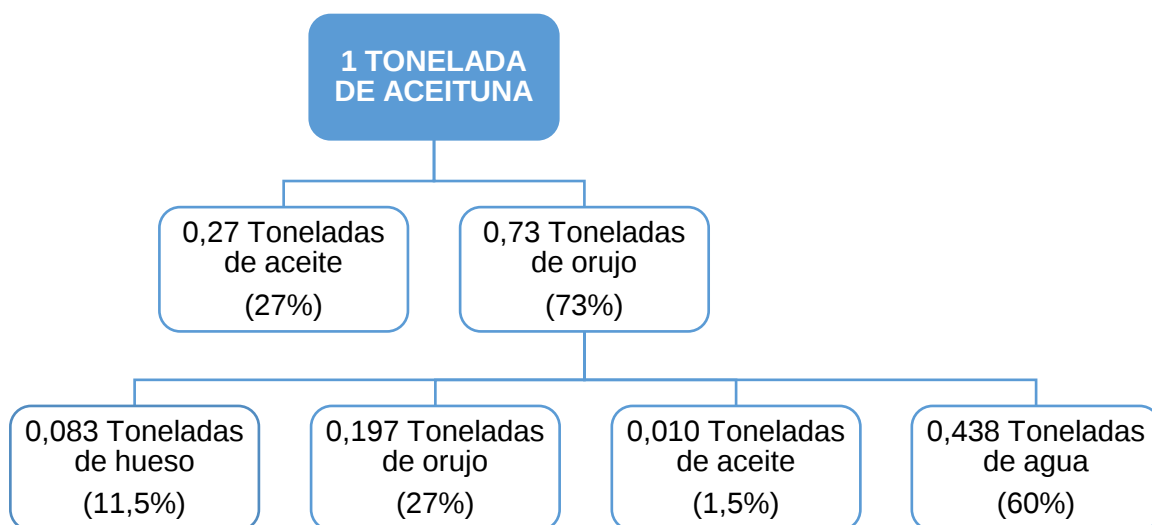


Figura 3.2 Balance de masas del proceso de la industria del aceite.[5]

3.3 Hueso de aceituna, poda de olivo y pellet

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, 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. A continuación, serán descritos cada uno.

3.3.1 Hueso de aceituna

La aceituna está compuesta por un 85% de pulpa y un 15% de hueso (Figura 3.4). Debe diferenciarse entre el hueso generado en las industrias de aderezo de aceituna de mesa y el obtenido en el proceso de obtención de aceite de oliva y de orujo.

Las industrias de aderezo deshuesan aproximadamente el 80% de la aceituna que procesan, para comercializar la aceituna sin hueso, este hueso con el “tapín” se vende a extractoras para extraer el aceite que contiene el “tapín” y entra en la cadena del orujo.

Respecto a la aceituna destinada a obtención de aceite de oliva, el 70% del orujo se deshuesa tras la molturación, mediante un proceso de separación pulpa-hueso, bien en la almazara (Figura 3.3) o bien en la extractora.



Figura 3.4 Detalle hueso de aceituna.[5]



Figura 3.3 Detalle separación pulpa-hueso de aceituna. [5]

3.3.2 Poda de olivo

El olivar destinado a aceituna de mesa debe ser podado cada año, mientras que el destinado a la obtención de aceite de oliva se poda cada dos años. Como media, puede considerarse que 1 ha de olivar genera 3 toneladas de poda.

El uso energético de la poda ha estado ligado tradicionalmente al empleo de la leña como combustible doméstico. Sin embargo, durante la última década, el uso de la poda de olivo como combustible en forma de astilla ha experimentado un notable incremento debido a:

- ✓ La mejora de la retribución económica de los residuos agrícolas para generación de electricidad a partir de 2007.
- ✓ La necesidad de introducir nuevas fuentes de biomasa en plantas de generación eléctrica existentes y de nueva construcción.

- ✓ Expectativas surgidas en torno a la producción de pellets para uso doméstico, que no se han llegado a materializar por el elevado contenido en cenizas que le conferían al pellet obtenido.

Todo ello ha contribuido a desarrollar un incipiente sector, que incluye a empresas de fabricación y distribución de maquinaria agrícola, adaptada y/o específica al procesado y acopio de biomasa en campo, a las empresas de servicio agrícola, a empresas comercializadoras de biomasa, y por supuesto a promotores y consultores energéticos.

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 de 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.

Maquinaria disponible:

- ✓ Máquinas de acondicionamiento
- ✓ Máquinas trituradoras móviles
- ✓ Máquinas astilladoras fijas
- ✓ Máquinas empacadoras

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. En este orden, el uso de pellet para generación térmica está bastante extendido en toda Europa y en la actualidad se está ampliando en España y en Andalucía.

Andalucía cuenta con un número importante de proyectos de fabricación de este biocombustible, empleando como materia prima residuos de industrias forestales, poda de olivo y residuos forestales. La situación general de las plantas existentes en Jaén y su capacidad de producción se indica en la tabla 3.4.

Nombre	Provincia	Municipio	Capacidad de producción (ktep)/año	Año de puesta en marcha
MAGINA ENERGÍA	Jaén	Mancha Real	8,80	2008
RENOVABLES BIOCAZORLA	Jaén	Cazorla	12,00	2008
SCANTRO PADRE JESUS	Jaén	Jabalquinto	2,40	2009
APROVECHAMIENTOS ENERGÉTICOS DEL CAMPO	Jaén	Aldequemada	6,00	2011
MADERAS CAMPOS	Jaén	Alcalá la real	2,00	2015

Tabla 3.4 Plantas existentes en Jaén y su capacidad de producción. [5]

3.3.4 Ventajas e inconvenientes de los distintos tipos de biomasa

En la tabla 3.5, se realiza un estudio comparativo entre los tipos de biomasa mencionados anteriormente, indicando sus ventajas e inconvenientes.

Tipo de biomasa	Ventajas	Inconvenientes
Pellet	Su composición está estandarizada a nivel europeo, además de comercializarse internacionalmente	Precio superior a los demás tipos
	Alto poder calorífico	
	Contenido muy bajo en cenizas, por lo que facilitan las tareas de operación y mantenimiento	
	Permite su descarga mediante camión cisterna	
Astillas	Coste de producción inferior al de los pellets, debido al menor proceso de elaboración requerido	Necesitan silos de mayores dimensiones, al ser menos densa que los pellets y el hueso de aceituna

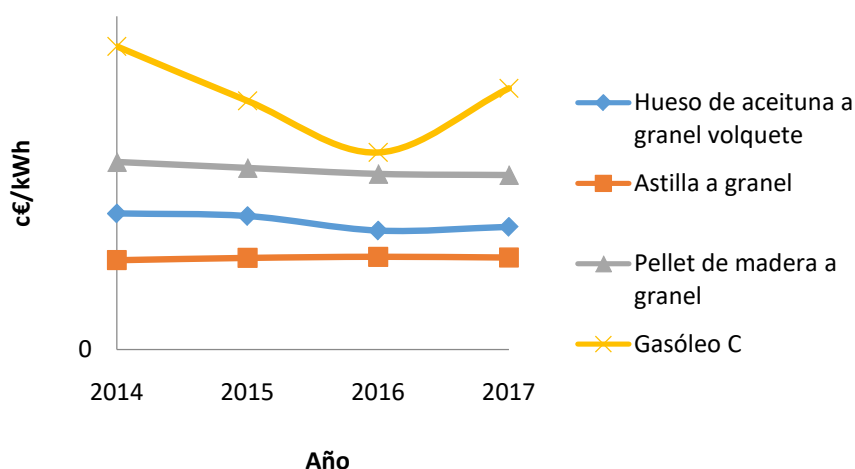
	Las astillas de primera clase son normalmente de alta calidad	Debe descargarse con camión volquete directamente al silo, por los que no puede ser utilizado en la mayoría de las instalaciones urbanas
Hueso de aceituna	Gran disponibilidad en España, gracias a las gran producción de aceite de oliva	Contenido en cenizas superior al pellet, por lo que necesita mayor frecuencia en las tareas de mantenimiento
	Bajo coste de producción, al ser residuos de la producción de aceite de oliva	

Tabla 3.5 Ventajas e inconvenientes de cada tipo de biomasa. [6]

3.3.5 Diferencias entre los tipos de biomasa escogidos y el gasóleo para calefacción

Puesto que se trata de un estudio tecno-económico, se deben comparar los precios de los distintos tipos de biomasa.

Los precios se expresan en c€/kWh para facilitar las comparaciones de los distintos tipos de biomasa con los costes de combustibles fósiles como el gasoil o el gas natural. La gráfica 3.1 muestra la evolución de los precios de cada tipo de combustible durante los últimos años.



Gráfica 3.1 Comparación de precios diferentes tipos de biomasa y gasóleo C durante el periodo 2014-2017. [7],[8]

No menos importante es el poder calorífico del combustible, pues de ello depende la cantidad de energía generada por cada unidad de masa mediante el proceso de combustión que tendrá lugar en la caldera.

A continuación en la tabla 3.6, se muestran los distintos PCI para cada uno de los combustibles elegidos, además de para el gasoil C.

Combustible	PCI (kWh/Kg)	PCI (kJ/kg)
Gasoil C	11,80	42.511
Pellet	5,01	18.053
Hueso de aceituna	4,48	16.135
Astilla de madera (humedad<20%)	4,19	15.081

Tabla 3.6 PCI de cada combustible. [9]

3.4 Calderas de biomasa

Son equipos compactos diseñados específicamente para su uso, ya sea doméstico en viviendas unifamiliares, edificios de viviendas o comerciales, existiendo también modelos para instalaciones industriales. Presentan sistemas automáticos de encendido y regulación e, incluso algunas, de retirada de cenizas, que facilitan el manejo al usuario. Para aplicaciones de calefacción doméstica o comercial, estos equipos son de potencia baja media, hasta 150-300 kW. Alcanzan rendimientos entre 85 y 95%, valores similares a los de las calderas de gasóleo o de gas.

A la hora de escoger una caldera debemos de tener en cuentas las siguientes características según el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), [10] :

- Fiabilidad del sistema.
- Rendimiento de la combustión de la caldera. Cuanto más alto sea éste, el consumo será menor y mejorará la eficiencia.
- Bajas emisiones de CO (por debajo de 200 mg/m^3) y bajas emisiones de polvo (por debajo de 150 mg/m^3).
- Cumplimiento de la normativa de emisiones de gases y partículas.

- Sistemas de regulación y control sencillo para el usuario.
- Automatización del sistema de limpieza o mínima necesidad de limpieza.
- Posibilidad de telecontrol de la operación de la caldera por el suministrador de la misma o por el usuario.
- Fácil mantenimiento y operatividad de la caldera.
- Buenos servicios técnicos.
- Garantía de suministro de combustible.

En la figura 3.5, se pueden observar las distintas partes de las cuales consta una caldera de biomasa.

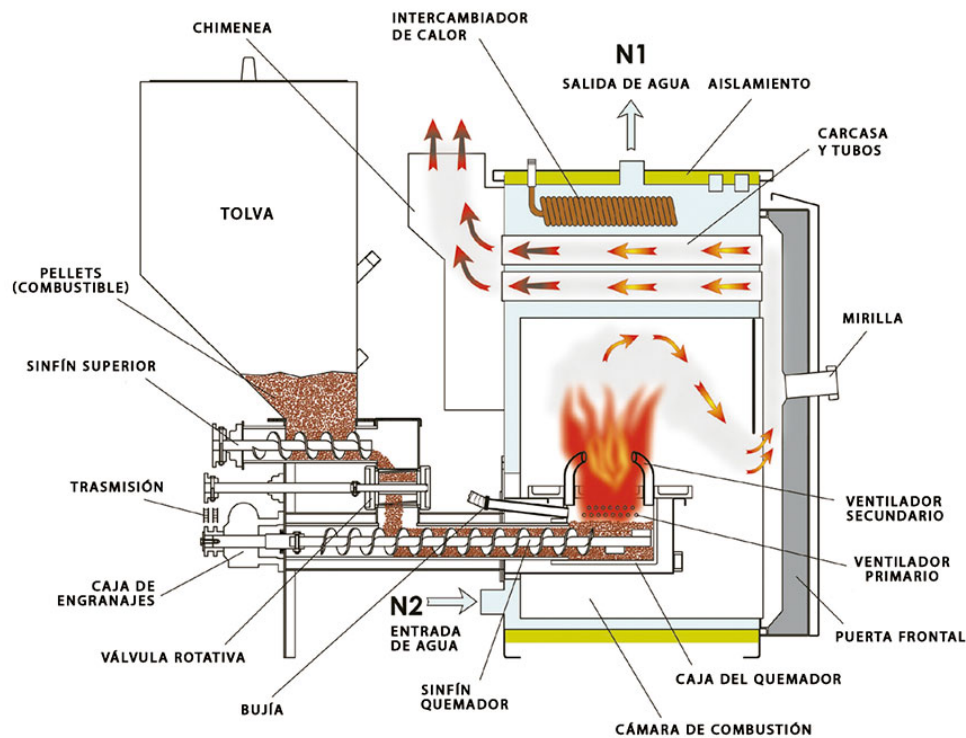


Figura 3.5 Partes de una caldera de biomasa. [11]

3.4.1 Tipos de calderas de biomasa

En el presente estudio tecno-económico, el principal factor que se tendrá en cuenta será el tipo de biomasa escogida para la futura caldera combustión. Por lo tanto, la clasificación de los tipos de calderas de biomasa, se realizará atendiendo al tipo de biomasa empleada.

Existen los siguientes tipos:

- **Calderas de pellets:** Únicamente se alimentan de combustibles uniformes tipo fluido, como pellets o huesos de aceituna, que se absorben a la caldera por medio de succión o tornillo sin fin. Son las más comunes para potencias medias (uso doméstico).
- **Calderas de policombustible:** Pueden alimentarse con todo tipo de biocombustible triturado (hueso de aceituna, de melocotón, pellets, cáscara de almendra, de piñón, de pistacho, pepita de uva, astillas, etc.). Son de mayor tamaño y potencia.
- **Estufas de leña:** Utilizan troncos de leña para su combustión. Por su alto valor estético a modo de chimenea francesa, se fabrican de diseño para uso doméstico

3.4.2 Transporte y distribución de combustible

La distribución de la biomasa, hoy en día, ya no supone un problema para el consumidor gracias a la implantación de los nuevos sistemas.

La forma de distribución de combustibles de pequeña granulometría, como pellets, astillas y huesos de aceituna, se lleva a cabo bien en sacos normalizados de 15 kg, o bien mediante un camión cisterna. En la figura 3.6 se muestran los dos tipos



Figura 3.6 Distribución de biomasa mediante sacos de 15 Kg y mediante camión cisterna.

3.4.3 Almacenamiento de la biomasa

La biomasa puede almacenarse de diferentes maneras, dependiendo de las instalaciones existentes o la disponibilidad de espacio.

En la figura 3.7, se pueden ver las posibilidades atendiendo al lugar de almacenamiento de la biomasa.



Figura 3.7 Distintos tipos de emplazamiento para el almacenaje de la biomasa. [Elaboración propia]

En la figura 3.8. se muestran las posibilidades atendiendo al sistema de almacenamiento.



Figura 3.8 Sistemas de almacenamiento de biomasa. [Elaboración propia]

El sistema de almacenamiento tiene una influencia directa en el tipo de transporte y en los sistemas de suministro.

Es muy importante la impermeabilización del almacén para evitar la entrada de agua del subsuelo o de las paredes en los sótanos. El almacenamiento de las astillas debe estar bien ventilado para permitir su secado y evitar la aparición de mohos.

3.4.4 *Sistemas de transporte interno*

El combustible puede ser transportado desde el lugar de su almacenaje hasta la caldera de distintas formas como se puede ver en la figura 3.9.

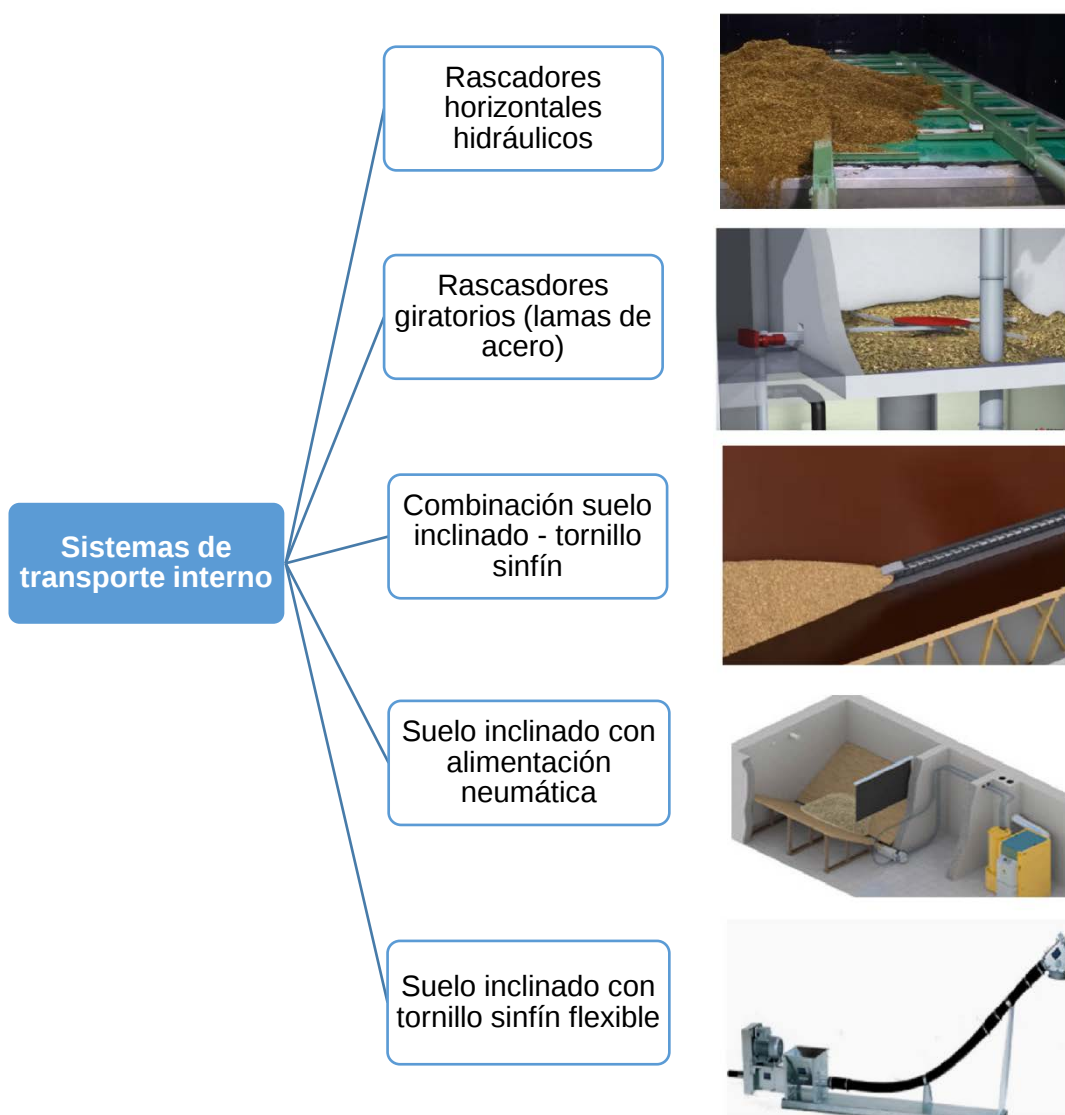


Figura 3.9 *Sistemas de transporte interno. [Elaboración propia]*

3.4.5 Características de la seguridad de los silos de biomasa

El diseño de los silos de almacenamiento , según especifica la publicación ``Biomasa: Edificios'' el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) [10], debe de cumplir una serie de premisas de seguridad para prevenir el daño del combustible o una autocombustión. Se pueden mencionar las siguientes:

- Debe estar completamente seco.
- Disponer de una capa de goma que proteja la pared en los puntos de contacto por golpeteo de los combustibles durante su manipulación.
- Hay que montar unas puertas para el almacén compactas e ignífugas, colocando unos tablones de madera que las protejan de la presión de la biomasa almacenada.
- Evitar instalaciones eléctricas en el lugar de almacenamiento.
- Dotar al sistema de transferencia de biomasa de una toma de tierra, para evitar la aparición de chispas por cargas electrostáticas durante su transporte.
- Cerciorarse de que las paredes del silo soportan la presión del combustible almacenado y resisten al fuego durante 90 minutos.

3.4.6 Intercambiador de calor

El intercambiador de calor es un sistema que está compuesto por un conjunto de tubos verticales cuya función es la transferencia de calor entre los humos y el agua. Se pueden distinguir dos tipos de caldera según su intercambiador de calor (Figura 3.10).

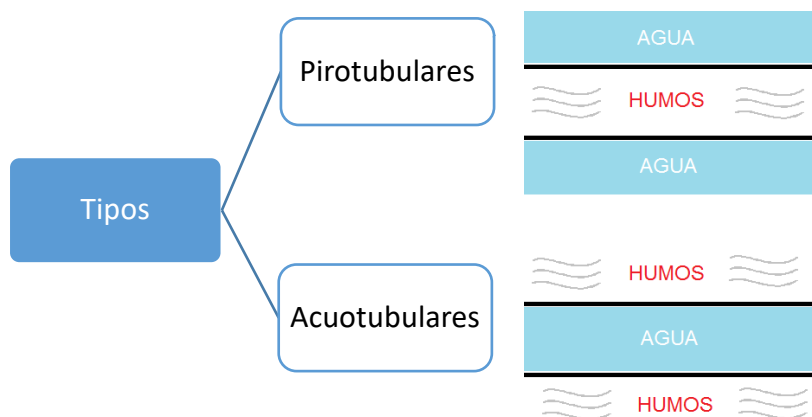


Figura 3.10 Tipos de intercambiador de calor.[Elaboración propia]

3.4.7 Sistema de combustión

La cámara de combustión normalmente está formada por un sistema de combustión y una cúpula de distribución de gases de combustión. Además, casi todas las calderas tienen un sistema de regulación del caudal de aire de combustión para conseguir una combustión óptima.

3.4.8 Sistemas de seguridad

Los principales factores a tener en cuenta respecto a la seguridad son:

- **Inercia térmica:** Ante un caso de corte eléctrico, la biomasa continuaría quemándose y por lo tanto, la temperatura aumentaría provocando una situación de peligro. Para remediarlo, se implementan sistemas de disipación del calor generado como puede ser una válvula de expansión que libere el vapor de agua generado al superar una temperatura determinada.
- **Retroceso de llama:** Es muy importante disponer de ciertos sistemas que eviten el retroceso de la llama de la caldera hacia el lugar de almacenamiento del combustible como puede ser un sistema de cierre de la compuerta de suministro de biomasa o un sistema de extinción de los conductos de suministro.

3.4.9 Retirada de cenizas

El sistema de retirada de cenizas puede ser automático o manual. En zonas urbanas pueden tirarse a la basura, pero siempre teniendo en cuenta y respetando la normativa de cada municipio.

3.4.10 Evacuación de humos

El sistema de evacuación de humos no es más que una chimenea. Las emisiones a la atmósfera no varían mucho respecto a las de combustibles fósiles como gasóleo o gas natural, y son mucho menores que las de carbón.

La única diferencia es el diámetro necesario para la chimenea. En el caso de biomasa hay que prever un volumen de gases ligeramente superior, debido a que la humedad que contiene la biomasa se evapora en la caldera y da lugar a vapor de agua que sale mezclado con los productos de la combustión, aumentando así el volumen de los gases.

3.4.11 Operación y mantenimiento

Las actuales calderas disponibles en el mercado disponen de un panel de control eléctrico mediante el cual regular el funcionamiento de estas.

Las mismas empresas distribuidoras de las calderas ofrecen el sistema de mantenimiento periódico.

Además, se podrán evitar muchos problemas si el usuario de este sistema de calefacción recibe las instrucciones necesarias del distribuidor de esta tecnología, del instalador o del consultor, en el momento de la puesta en marcha.

4 ANTECEDENTES

En este apartado, se recoge la normativa aplicable, los datos de la instalación actual y los relacionados con la ubicación de los edificios.

4.1 Normativa aplicable

La normativa aplicada para el diseño y cálculo de las instalaciones descritas en este estudio son:

- Real decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación (CTE) [12].
- Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) [13], 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.

4.2 Ubicación de la instalación

El I.E.S. Reyes de España está situado en el municipio de Linares, Jaén, Avenida San Cristóbal, 0 (figuras 4.1 y 4.2). Consta de dos edificios destinados a aulas, una nave destinada a taller mecánico y otra nave destinada a taller de chapa y pintura. La caldera actual de gasóleo C se encuentra ubicada en la planta baja del edificio A.



Figura 4.1 Vista aérea I.E.S. Reyes de España.



Figura 4.2 Vista aérea I.E.S. Reyes de España.

4.3 Descripción de la instalación actual de gasóleo

El centro dispone de una sala de calderas, ubicada en el edificio A, con una caldera cuyas especificaciones técnicas vienen reflejadas en la tabla 4.1.

Caldera de gasóleo C marca YGNIS (Año 1997)
Potencia útil: 596 kW
Potencia nominal: 655 kW
Rendimiento de la caldera: 91%

Tabla 4.1 Especificaciones técnicas de a caldera actual de gasóleo C.[14]

Se encuentra en mal estado, según se ha indicado por la dirección del centro, tiene problemas de funcionamiento el quemador y el cuerpo de la caldera tiene corrosiones con fugas donde ha sido reparado en varias ocasiones.

La instalación de calefacción saliendo desde la sala de calderas del edificio A, discurre para todos los radiadores del centro, en la sala de calderas hay una sola bomba

para todo el centro. Dispone de un depósito de gasóleo situado en el exterior del edificio A, junto a la sala de calderas.

En las figuras 4.3, 4.4 y 4.5, se puede observar el estado actual de la instalación.



Figura 4.3 Fotografía de la ubicación de depósito de gasóleo a desmontar. [14]



Figura 4.4 Fotografías de detalle de sala de calderas y estado de caldera existente. [14]



Figura 4.5 Cuadro eléctrico de sala de calderas. [14]

4.4 Consumos de gasóleo anuales de la instalación

Se detallan en la tabla 4.2, los litros de combustible consumidos por el centro en los últimos años.

Años	Litros de gasóleo
2013	12.000
2014	11.000
2015	12.000
2016	12.000

Tabla 4.2 Consumo anual de gasóleo C para calefacción. [14]

En la tabla 4.3, se recogen los datos detallados de los consumos mensuales durante el año 2016 que más adelante permiten determinar la energía térmica útil demandada por el centro.

Fecha factura	Coste unitario(€/l)	Litros	Total €
09/01/2016	0,800826	2.600	2.082
04/02/2016	0,80909	3.200	2.589
06/03/2016	0,801652	2.200	1.764
30/10/2016	0,756198	2.000	1.512
02/12/2016	0,784297	2.000	1.569
Total		12.000	9.516

Tabla 4.3 Consumos mensuales de la caldera durante el año 2016. [14]

4.5 Demanda térmica del centro

Puesto que no se trata de un edificio de nueva construcción, no es necesario calcular la demanda térmica de los edificios y potencia de las calderas, nos basaremos en la potencia nominal de la caldera actual y mediante los litros consumidos al año, determinaremos cual es la energía térmica útil demandada por el centro.

La actual caldera tiene una potencia nominal de 655 kW, pero posee un rendimiento del 91%. Teniendo en cuenta que las calderas de biomasa actuales ofrecen un rendimiento mayor que esta y tras ser informados por el centro que la caldera actual nunca funciona a plena carga, se optará por tomar como referencia para buscar posteriormente la nueva caldera, una potencia nominal de 600 kW.

5 MATERIALES Y MÉTODOS

Este apartado se dividirá en :

- Estudio Técnico: donde se tratarán todos los aspectos técnicos de la instalación.
- Estudio Económico: el cual nos permitirá conocer la rentabilidad y amortización de la inversión a realizar.

5.1 Estudio Técnico

5.1.1 *Caldera de biomasa a instalar*

Partiendo de una potencia nominal de 600 kW, se consideraron dos opciones:

- Instalar una caldera de alta potencia de 600 kW.
- Instalar dos calderas de baja-media potencia de 300 kW cada una.

Finalmente se ha escogido la segunda opción, instalar dos calderas de 300 kW. El tipo de caldera elegido es policombustible y nos permitirá, variando el programa de la caldera, modificar el tipo de biomasa.

La principal ventaja frente a los equipos de alta potencia reside principalmente en lo compactos que son y su simplicidad frente a la complejidad y robustez de las instalaciones de alta potencia.

5.1.1.1 *Selección del modelo de caldera*

En el ámbito de los fabricantes de calderas de biomasa, destacan las marcas KWB, Herz y Hargassner.

Especialmente KWB destaca por su gran fiabilidad y buen funcionamiento, siendo un referente en el mercado y por tanto, se ha elegido uno de sus modelos, concretamente el modelo KWB Powerfire 300 kW cuyas dimensiones y características técnicas se adjuntan el Anexo A. La figura 5.1 corresponde al modelo seleccionado.



Figura 5.1 Caldera de biomasa modelo KWB Powerfire 300 kW. [15]

5.1.1.2 Características generales de la caldera

El modelo KWB Powerfire 300 kW cuenta con los siguientes sistemas, mostrados en la figura 5.2:

1. Sistema de combustión de parrilla giratoria.
2. Cámara de combustión ciclónica.
3. Regulación de λ .
4. Intercambiador de calor.
5. Evacuación de cenizas automática, compactación de cenizas, supervisión del nivel de llenado.
6. Sistema de seguridad con compuerta antiincendios hermética a los gases, a prueba del retroceso del fuego y multietapa.
7. Manejo y regulación KWB Comfort 3.
8. Recirculación de los gases de escape.

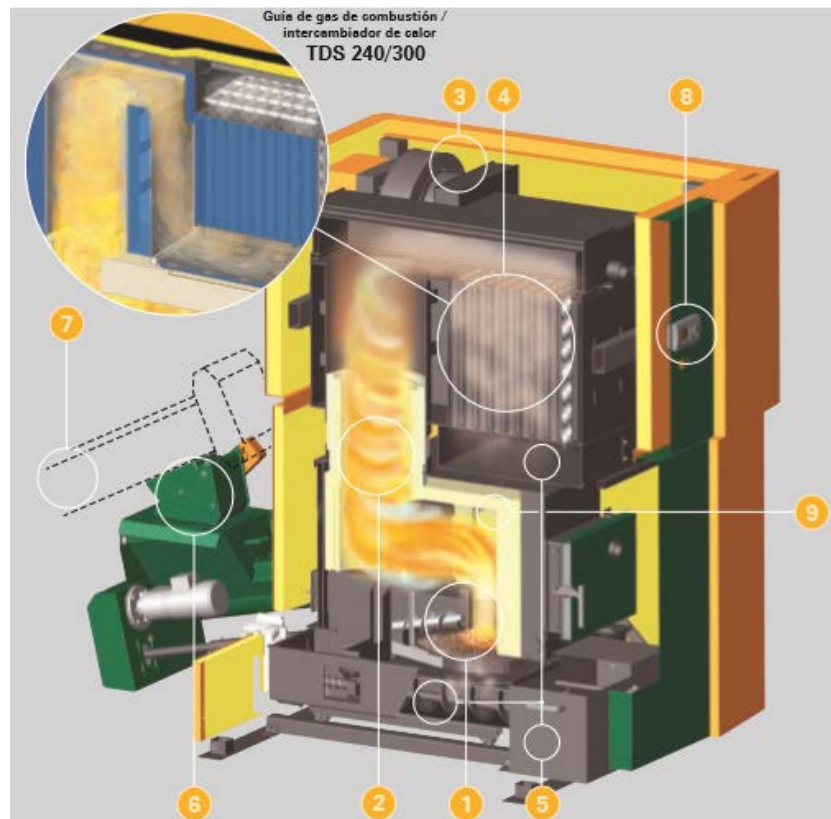


Figura 5.2 Esquema de las partes de la caldera modelo KWB Powerfire 300 kW. [15]

5.1.2 Chimeneas de evacuación de gases

5.1.2.1 Condiciones de diseño de la chimenea

A continuación, se indican según el apartado IT 1.3.5.4.1.3.2. Diseño y dimensionado de chimeneas Parte II del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) [13], 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 o enlace debe ser lo más corto posible y fácilmente accesible en todas sus partes para facilitar las operaciones de limpieza. La sección transversal del enlace será circular.

Es necesaria una pendiente de al menos tres por ciento 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.

Cuando tengan que utilizarse elementos de cambio de sección, se deben utilizar piezas excéntricas con su generatriz superior enrasada con la superficie del tramo, con el fin de evitar la formación de bolsas de gases. El ángulo de divergencia será inferior a 15°.

Tramo vertical o principal

La unión entre el tramo de enlace 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 principal 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 20 mm de diámetro como mínimo. El manguito se conecta al saneamiento mediante una tubería.

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. El material aislante lleva un acabado exterior para su protección contra acciones mecánicas y de los agentes presentes en el aire del ambiente.

5.1.2.2 Dimensionamiento de las chimeneas

Para realizar el cálculo del diámetro de las chimeneas de evacuación de gases, se ha utilizado DINAKALC 4.2, un programa de cálculo de chimeneas desarrollado por DINAK, empresa especializada en la fabricación de productos conductos para la evacuación de gases de combustión.

Para obtener el diámetro interior y exterior de las chimeneas de la caldera, se introdujeron los datos de partida, recogidos en la tabla 5.1.

Datos de partida de la instalación	
Potencia de la caldera	300 kW
Rendimiento de la caldera	93,5 %
Provincia	Jaén
Combustible	Pellets/Hueso de aceituna
Longitud tramo horizontal chimenea	4 m
Pieza de unión tramo horizontal	T a 90° respecto la horizontal
Longitud tramo vertical chimenea	11 m
Pieza de unión tramo vertical chimenea	Codo a 45° respecto la horizontal
Tipo de salida	Sombrerete antilluvia

Tabla 5.1 Datos de partida de la instalación.[16]

En la Figura 5.3 se muestran los resultados obtenidos de ejecutar el programa DINAKALC 4.2.

Dinakalc 4.2

DINAKALC 4.2

Resultados Caldera Centralizada

Dimensionado

Gama

Diámetro interior mm

Diámetro exterior mm

Longitud m

Caudal m³/h

Veloc. media de humos m/s

Tª media de humos °C

Tª media de pared exterior °C

Pérdidas de carga Pa

Tramo horizontal

Dinak DP

250

310

2

Pot. nominal	Pot. mínima
1072,8	223,05
6,1	1,3
159	79
33	21
2,7	0,2

Tramo vertical

Dinak DP

250

310

11

Pot. nominal	Pot. mínima
1045,11	215,25
5,9	1,2
148	66
32	20
29,8	2

Salida

Pot. nominal	Pot. mínima
1021,37	209,17
5,8	1,2
138	57
31	20
9,5	0,5

Comprobaciones

Primer requisito de presión

Segundo requisito de presión

Primer requisito de temperatura

Requisitos

$P_z \geq P_{ze}$

$P_z \geq P_b$

$T_{iob} \geq T_g$

Valores

Pot. nominal	Pa	24,43	>	16,02
Pot. mínima	Pa	25,46	>	6,79
Pot. nominal	Pa	24,43	>	0
Pot. mínima	Pa	25,46	>	0
Pot. nominal	°C	136,6	>	0
Pot. mínima	°C	54,2	>	0

Validación

✓

✓

✓

✓

✓

✓

Resultado final

Tiro de la instalación (PZ-PZe) ≥ 0

Pot. nominal

8,41 Pa

Pot. mínima

18,67 Pa

Directorio: C:\Users\IUSUARIO\Documents\Dinakalc Projects
 Proyecto: datos dimensionado de la chimenea
 Archivo: datos dimensionado de la chimenea

Figura 5.3 Resultados DINAKALC 4.2. [16]

Se obtienen los siguientes diámetros:

- Diámetro interior: 250 mm
- Diámetro exterior: 310 mm

Se contrastan los resultados obtenidos con los valores orientativos ofrecidos por el catálogo del modelo de caldera escogido.

Según se especifica en el apartado IT 1.3.5.4.1.3.2. Diseño y dimensionado de chimeneas Parte II del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) [13], cada generador de calor de potencia térmica nominal mayor que 400 kW tendrá su propio conducto de evacuación de los productos de la combustión, sin embargo, los generadores de calor de potencia térmica nominal igual o menor que 400 kW, que tengan la misma configuración para la evacuación de los productos de la combustión, podrán tener el conducto de evacuación común a varios generadores, siempre y cuando la suma

de la potencia sea igual o menor a 400 kW. Por tanto las dos calderas que se pretenden instalar suman 600 kW y serán necesario la instalación de dos chimeneas individuales.

5.1.3 Equipos auxiliares de la instalación

A continuación, se detallan los elementos auxiliares de la instalación, como los depósitos acumuladores de inercia, los componentes hidráulicos y los depósitos de expansión.

5.1.3.1 Depósito de inercia

La función del depósito de inercia es la siguiente:

- Recuperar el calor de las brasas en el momento de apagado de calderas.
- Optimizar los arranques y paradas de las calderas y su funcionamiento, mejorando de esa forma el rendimiento de la instalación

Para esta instalación, puesto que tenemos dos calderas, es necesario instalar dos depósitos de inercia. El fabricante de la caldera KWB recomienda dos depósitos de almacenamiento mínimo de 4.000 L cada uno.

La casa KWB no fabrica depósitos de inercia mayores de 3.000 L por lo que se ha escogido un modelo de la casa Herz, concretamente el modelo PUB 4.000. En la figura 5.4, se puede ver el depósito de inercia escogido.



Figura 5.4 Depósito de inercia modelo PUB 4000. [17]

Los depósitos de inercia están conectados mediante tuberías a un colector, donde confluye el agua caliente de las calderas.

5.1.3.2 Vaso de expansión

El volumen útil del vaso de expansión mediante se determina mediante la ecuación la ecuación 5.1. para vasos de expansión cerrados según la norma UNE 100155 capítulo 9, [18]. Sin embargo, no se disponen de datos suficientes para determinar dicha ecuación y, por tanto, se han tomado como referencia los vasos de expansión de la instalación a sustituir (instalación de gasóleo C).

$$V_u = V \cdot C_e \cdot C_p$$

(Ec. 5.1)

Donde,

V_u : Volumen útil del vaso de expansión, expresado en l.

V : Volumen total de la instalación hidráulica, expresado en l.

C_e : Coeficiente de expansión del agua.

C_p : Coeficiente de presión.

Actualmente, la instalación cuenta con dos depósitos antiguos de expansión de 300 l cada uno.

Se instalarán dos nuevos depósitos de 300 l cada uno adaptados a la nueva instalación.

En la figura 5.5, se puede observar el modelo escogido para los dos depósitos de expansión.



Figura 5.5 Depósito de expansión modelo 300 CMF.[19]

5.1.3.3 Componentes hidráulicos

Los circuitos de calefacción del centro se mantendrán, sin embargo, será necesario el desmantelamiento de la actual instalación hidráulica de la sala de calderas con el fin de poder adecuar la nueva instalación de calderas de biomasa a los circuitos ya existentes.

Serán necesarios, como podemos ver en el plano de instalación hidráulica en el apartado de planos, los siguientes dispositivos:

- 4 Válvulas de seguridad
- 2 Indicadores de presión
- 6 Indicadores de temperatura
- 4 Válvulas antirretorno
- 4 Bombas de circulación
- 4 Válvulas de 3 vías con servo
- 12 Válvulas de descarga térmica
- 2 Depósitos de inercia de 4000L
- 2 Vasos de expansión
- Distribuidores de calor de polietileno reticulado

5.1.4 Sala de calderas

Es el local técnico donde se ubican los equipos de producción de calor, así como otros equipos auxiliares y accesorios de la instalación térmica.

5.1.4.1 Dimensionado de la 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), [20] :

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.

La sala de máquinas dispone de un camino desde su interior hacia el exterior, por el que se puede pasar con el equipo más pesado y voluminoso contenido en la misma sin dificultad alguna, y sin necesidad de tener que eliminar del camino elementos constructivos o puertas.

Los espacios libres alrededor de un generador (lateralmente, frontalmente, en la parte trasera y en altura), se determinan teniendo en cuenta la necesidad de efectuar con comodidad las operaciones de manejo y mantenimiento. El fabricante de los equipos proporciona unos valores mínimos.

La altura mínima de la sala debe ser de 2,5 m y es necesaria una altura libre de tuberías y obstáculos sobre la caldera de 0,5 m. En este caso, la altura de la sala es de 3 m.

Es necesario un espacio libre en el frente de las calderas de 1 m como mínimo en el frente de las calderas atmosféricas, además de una altura libre de 2 m como mínimo libre de obstáculos.

Además, es necesario disponer de espacio suficiente para la retirada de cenizas, y disponer de acceso a la cámara de combustión de la caldera.

Entre las calderas y los muros laterales y de fondo es necesario un espacio libre de al menos 50 cm, aunque es recomendable que no sea menor de 80 cm, para facilitar las tareas de mantenimiento.

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

Todos los requisitos de la sala de calderas mencionados anteriormente quedan reflejados en el plano correspondiente a la misma.

5.1.4.2 Ventilación de la sala de calderas

Según el apartado IT.1.3.4.1.2.7. Dimensiones de las salas de máquinas Parte II del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), [20]:

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

El sistema de ventilación podrá ser del tipo: natural directa por orificios o conductos, o forzada.

Se recomienda adoptar, para mayor garantía de funcionamiento, el sistema de ventilación directa por orificios.

En cualquier caso, se intentará lograr, siempre que sea posible, una ventilación cruzada, colocando las aberturas sobre paredes opuestas de la sala y en las cercanías del techo y del suelo.

Los orificios de ventilación, tanto directa como forzada, distarán al menos 50 cm de cualquier hueco practicable o rejillas de ventilación de otros locales distintos de la sala de máquinas. Las aberturas estarán protegidas para evitar la entrada de cuerpos extraños y que no puedan ser obstruidos o inundados.

La ventilación natural directa al exterior puede realizarse, para las salas contiguas a zonas al aire libre, mediante aberturas de área libre mínima de $5 \text{ cm}^2/\text{kW}$ de potencia térmica nominal.

Se recomienda practicar más de una abertura y colocarlas en diferentes fachadas y a distintas alturas, de manera que se creen corrientes de aire que favorezcan el barrido de la sala.

Se realizará una instalación con ventilación natural directa por orificios, descartando la ventilación forzada, puesto que la sala de calderas se encuentra en contacto con el exterior.

Dimensionamiento de la aperturas para la ventilación

El área libre mínima necesaria para realizar la ventilación natural directa por orificios viene dada por la ecuación 5.2 según el apartado IT.1.3.4.1.2.7. Dimensiones de las salas de máquinas Parte II del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) [13]:

$$A = n \cdot P$$

(Ec. 5.2)

Donde,

A: área mínima de ventilación, expresada en centímetros cuadrados.

n: coeficiente con valor de 5 cm²/kW para ventilación natural directa por orificios.

P: potencia instalada, expresada en kilovatios.

Por tanto, aplicado a una potencia instalada de 600 kW,

$$A = 5 \frac{\text{cm}^2}{\text{kW}} \cdot 600\text{kW} = 3000\text{cm}^2$$

Ec. 5.2)

Se colocarán cinco aberturas de 600 cm² cada una, repartidas en la fachada .

5.1.4.3 Bancadas de hormigón

Se colocará una bancada de hormigón para las dos calderas y otra para el silo de biomasa.

5.1.5 Silo de almacenamiento de combustible

Demanda de combustible

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

En primer lugar se calcula la energía térmica bruta consumida anualmente para el caso de la caldera de gasóleo C (según las facturas facilitadas por el centro, referida al año 2015) mediante la ecuación 5.3 [21].

$$E_b = V \cdot \rho \cdot \text{PCI}$$

(Ec. 5.3)

Donde,

E_b : Energía térmica bruta consumida.

V : volumen de combustible consumido, expresado en l.

ρ : densidad del combustible, expresada en kg/l.

PCI: poder calorífico inferior del combustible, expresado en kJ/kg.

Para un consumo de 12000 l anuales, siendo la densidad del gasóleo C de 0,9 kg/l con un PCI de 42.511 kJ/kg y aplicando el factor de conversión para obtener kWh,

$$E_b = 12.000\text{L} \cdot 0,9 \frac{\text{kg}}{\text{l}} \cdot 42.511 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot \frac{1 \text{ kWh}}{3.600 \text{ kJ}} = 127.533 \text{ kWh}$$

(Ec. 5.3)

A partir de la energía térmica bruta anual consumida, conociendo el rendimiento de la actual caldera de gasóleo C, podemos determinar la energía térmica útil anual demandada por el centro.

Como sabemos que la caldera nunca ha trabajado a pleno rendimiento, se ha de determinar el rendimiento estacional al cual funciona.

Se podrá obtener de dos maneras:

- Cálculo del rendimiento estacional por el método directo, aunque en este caso no será posible puesto que serán necesarios datos experimentales de la caldera actual. Se emplearía la ecuación 5.4 según el capítulo 5 de la Guía técnica: Procedimiento de inspección periódica de eficiencia energética para calderas facilitada por IDAE, [20]:

$$R_g = \frac{R_c - 2}{1 + \left(\left(\frac{P_n}{P_p} \right) - 1 \right) \times C_o} \quad (\text{Ec. 5.4})$$

Donde,

R_g : Rendimiento de la caldera, expresado en %.

R_c : Rendimiento instantáneo de combustión, expresado en %..

P_n : Potencia nominal de la caldera, expresado en kW.

P_p : Potencia media real de producción, expresado en kW.

C_o : Coeficiente de operación (según P_n de la caldera).

- Determinación mediante datos aportados por el proveedor de la caldera. En los datos técnicos de la caldera, existirá una tabla que relacione una serie de rendimientos para unas determinadas potencias nominales de la actual caldera que se quiere sustituir.

Se ha procedido a buscar rendimientos térmicos estacionales para potencias más bajas de calderas de características similares, puesto que no se dispone de esta información para la actual caldera, y se ha tomado un rendimiento del 92%.

Aplicando la ecuación 5.5 del rendimiento térmico [21], se ha calculado la energía útil demandada anualmente.

$$\eta = \frac{E_u}{E_b} \quad (\text{Ec. 5.5})$$

Donde,

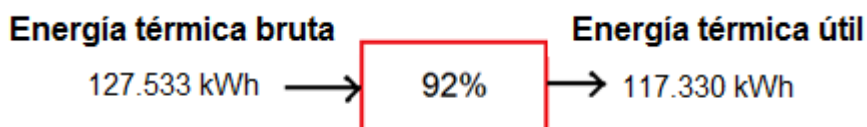
E_u : Energía térmica útil, expresada en kWh/año.

E_b : Energía térmica bruta, expresada en kWh/año.

η : rendimiento térmico de la caldera.

Con una energía térmica bruta anual de 127.533 kWh/año y un rendimiento estacional del 92%, la energía térmica útil anual será la siguiente:

$$E_u = 127.533 \text{ kWh/año} \cdot 0.92 = 117.330 \text{ kWh/año} \quad (\text{Ec. 5.5})$$



Las horas anuales de funcionamiento de la caldera de gasóleo C han sido estimadas suponiendo que la caldera funciona a plena carga (ó potencia nominal).

100 días/año 6 h/día 600 h/año

Ya que se conoce la energía térmica útil demandada por el centro anualmente, las nuevas calderas de biomasa que aquí se proponen deberán de satisfacer la misma demanda.

A continuación se procede a determinar el consumo de biomasa anual y las dimensiones del silo.

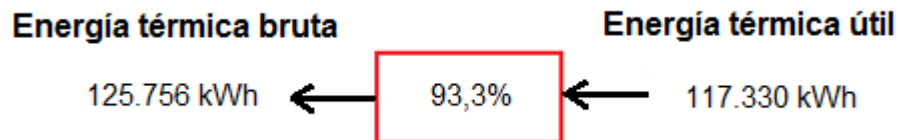
Según el apartado IT.1.3.4.1.1.4. Almacenamiento de biocombustibles sólidos Parte II del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) [13], se establece que se ha de dimensionar el silo como mínimo para suministrar combustible durante 15 días.

– Poda de Olivo

Se calcula la energía térmica bruta a partir de la energía térmica útil pero utilizando el rendimiento térmico de la nueva caldera de biomasa mediante la ecuación 5.5, despejando la energía térmica bruta.

La caldera de biomasa para el uso de poda de olivo, posee un rendimiento del 93,3%, por tanto, la energía térmica bruta anual será la siguiente:

$$E_b = \frac{117.330 \text{ kWh/año}}{0,933} = 125.756 \text{ kWh/año} \quad (\text{Ec. 5.5})$$



Se obtienen la masa de combustible necesaria para cubrir la energía térmica bruta demandada anualmente mediante la ecuación 5.6 [21].

$$E_b = m \cdot PCI \quad (\text{Ec. 5.6})$$

Donde,

m: Masa de combustible anual, expresada en kg.

E_b: Energía térmica bruta demandada por el centro anualmente, expresada en kWh/año.

PCI: Poder calorífico inferior del combustible, kJ/kg.

Por lo tanto, para una energía térmica útil de 125.756 kWh/año, conociendo el PCI de la poda de olivo que es 15.081 kJ/Kg, la cantidad de biomasa anual necesaria será la siguiente:

$$m = 125.756 \text{ kWh/año} \cdot \frac{3.600 \text{ kJ}}{1 \text{ kWh}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{15.081 \text{ kJ}} = 30.019 \text{ kg/año} \quad (\text{Ec. 5.6})$$

Conociendo el número de horas anuales de funcionamiento de la caldera, se determina la masa de combustible a suministrar a la caldera por hora.

Dividiendo la biomasa anual entre el número de horas anuales de funcionamiento de la caldera a plena carga, se calcula que se ha de suministrar un flujo másico de combustible igual a 50 kg/h.

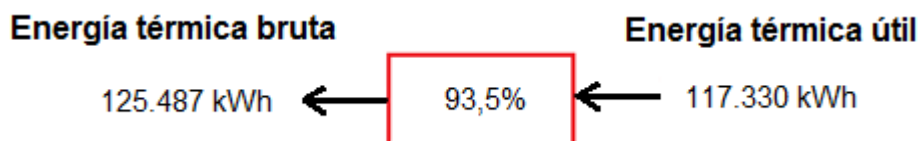
Como anteriormente se ha mencionado, según el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) [13], se ha de dimensionar el silo como mínimo para suministrar combustible durante 15 días. Por tanto, se obtienen 4.500 kg por cada 3 semanas, o lo que es lo mismo, 18 m³.

– Hueso de aceituna

De igual modo, se calcula la energía térmica bruta a partir de la energía térmica útil pero utilizando el rendimiento de la nueva caldera de biomasa mediante la ecuación 5.5.

La caldera de biomasa para el uso de hueso de aceituna, posee un rendimiento del 93,5%, por tanto, la energía térmica bruta anual será la siguiente:

$$E_b = \frac{117.330 \text{ kWh/año}}{0,935} = 125.487 \text{ kWh/año} \quad (\text{Ec. 5.5})$$



Se obtienen la masa de combustible necesaria para cubrir la energía térmica bruta demandada anualmente mediante la ecuación 5.6.

Por lo tanto, para una energía térmica útil de 125.487 kWh/año, conociendo el PCI del hueso de aceituna que es 16.135 kJ/kg, la cantidad de biomasa anual necesaria será la siguiente:

$$m = 125.487 \text{ kWh/año} \cdot \frac{3.600 \text{ kJ}}{1 \text{ kWh}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{16.135 \text{ kJ}} = 27.998 \text{ kg/año} \quad (\text{Ec. 5.6})$$

Conociendo el número de horas anuales de funcionamiento de la caldera, se determina la masa de combustible a suministrar a la caldera por hora.

Dividiendo la biomasa anual entre el número de horas anuales de funcionamiento de la caldera a plena carga, se determina que se han de suministrar 46 kg/h.

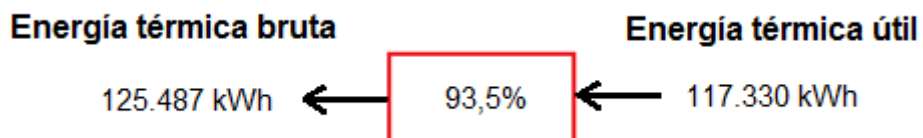
Como anteriormente se ha mencionado, según el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) [13], se ha de dimensionar el silo como mínimo para suministrar combustible durante 15 días. Por tanto, se obtienen 4.140 kg por cada 3 semanas, o lo que es lo mismo, 6 m³.

– Pellet

De igual modo, se calcula la energía térmica bruta a partir de la energía térmica útil pero utilizando el rendimiento de la nueva caldera de biomasa mediante la fórmula 5.5.

La caldera de biomasa para el uso de pellet, posee un rendimiento del 93,5%, por tanto, la energía térmica bruta anual será la siguiente:

$$E_b = \frac{117.330 \text{ kWh/año}}{0,935} = 125.487 \text{ kWh/año} \quad (\text{Ec. 5.5})$$



Se obtienen la masa de combustible necesaria para cubrir la energía nominal demandada anualmente mediante la ecuación 5.6.

Por lo tanto, para una energía útil de 125.487 kWh/año, conociendo el PCI del hueso de aceituna que es 18.053 kJ/kg, la cantidad de biomasa anual necesaria será la siguiente:

$$m = 125.487 \text{ kWh/año} \cdot \frac{3.600 \text{ kJ}}{1 \text{ kWh}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{18.053 \text{ kJ}} = 25.024 \text{ kg/año} \quad (\text{Ec. 5.6})$$

Conociendo el número de horas anuales de funcionamiento de la caldera, se determina la masa de combustible a suministrar a la caldera por hora.

Dividiendo la biomasa anual entre el número de horas anuales de funcionamiento de la caldera a plena carga, se determina que se han de suministrar 42 kg/h.

Como anteriormente se ha mencionado, según el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) [13], se ha de dimensionar el silo como mínimo para suministrar combustible durante 15 días. Por tanto, se obtienen 3.780 kg por cada 3 semanas, o lo que es lo mismo, 6 m³.

En la tabla 5.2, se puede observar los volúmenes obtenidos de cada tipo de biomasa.

Tipo de biomasa	Volumen (m ³)
Poda de olivo	18
Hueso de aceituna	6
Pellet	6

Tabla 5.2 Resumen volumen de biomasa demandado en 15 días..

Llegado a este punto, se ha considerado descartar la poda de olivo como opción de combustible para la caldera de biomasa debido a las dimensiones requeridas para el silo.

Tanto el hueso de aceituna como el pellet, requieren un volumen similar, por lo tanto se tomará como referencia para los cálculos del silo la masa de hueso de aceituna que es ligeramente superior. De esta manera se facilitará al usuario el cambio de combustible si este lo desea (con la correspondiente modificación del programa de la caldera realizada por un técnico).

Descripción del silo de combustible escogido

Se instalará un silo textil de la casa Supersilo por ser un referente en el mercado.

Concretamente el modelo SILOSP250. En la figura 5.6, se puede ver el modelo escogido.



Figura 5.6 Silo textil modelo SILOSP250. [22]

Se muestran a continuación las especificaciones generales del silo escogido:

- Estructura de acero galvanizado.
- Certificación de permeabilidad al polvo.
- Protección de lona para impacto de pellets incluida.
- No necesita tornillos ni herramientas específicas.
- Montaje en 30 minutos.
- Boca de llenado para camión neumático tipo Storz.
- Transporte gratuito en península.
- Incluye sistema de llenado.
- Dimensiones: 250x250x250 cm.
- Volumen de almacenamiento: 6,1-8,5 m³.
- Toneladas silo: 4,0-5,5 tn.

5.1.6 Sistema de alimentación de combustible del silo a las calderas

Para permitir el suministro a dos calderas simultáneamente, se le colocará un sistema doble de conexión doble para sinfín flexible. En la figura 5.7, se puede ver el sistema de conexión.



Figura 5.7 Sistema doble de conexión doble para sinfín rígido. [22]

Se colocará dos tornillos sinfín rígido, mostrados en la figura 5.8, de PVC de 75 mm de diámetro con motor. Se ha escogido el modelo SRM11-25W con un índice de carga de motor de 44 Kg/h.



Figura 5.8 Tornillo sinfín rígido modelo SRM11-25W.[22]

Además se instalará un kit de automatización del tornillo sinfín (figura 5.9), que permitirá un control automático del llenado de la tolva, automatización del proceso de llenado sin necesidad de supervisión, posibilidad de programar el horario y los días de funcionamiento del sistema y medir el nivel del depósito mediante una sonda.



Figura 5.9 Kit de automatización del tornillo sinfín. [22]

Dimensionamiento del tornillo sinfín

Se requerirá dos tornillos sinfín rígidos SRM11-25W cuya longitud será de un metro y medio cada uno aproximadamente.

Esquema del sistema de carga de combustible de las calderas.

La biomasa se extrae de la parte inferior del silo textil y mediante los dos tornillos sinfín acoplados a este, se transporta hasta las calderas situadas en la sala de calderas.

En la figura 5.10, se recoge un esquema donde se muestra el sistema de alimentación de las calderas.

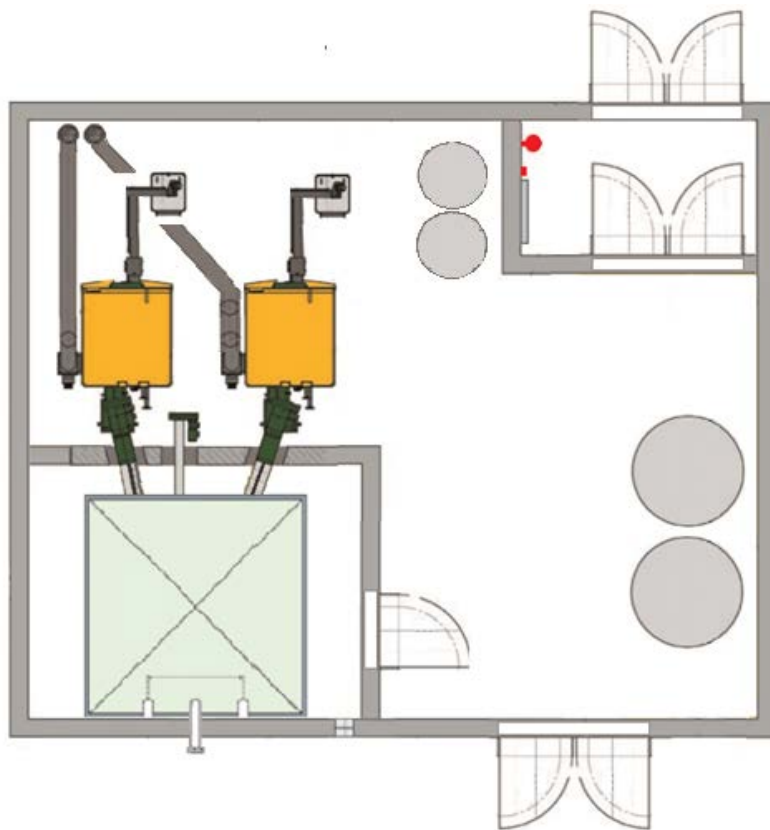


Figura 5.10 Esquema del sistema de alimentación de las calderas.[Elaboración propia]

5.1.7 Suministro de combustible

Sistema de suministro

El suministro de biomasa se realizará a granel mediante un camión cisterna con bomba neumática.

Las mangueras con las cuales se cargan los silos de biomasa, están divididas en unos 6 tramos o mangueras independientes acoplables entre sí. Aunque el suministrador debe ser capaz de suministrar la biomasa a más de 30 m de distancia, se recomienda evitar el uso de mangueras de más de 20-30 m ya que a medida que se utilizan mangueras más largas (hasta un máximo de 40m), el llenado se va complicando cada vez más.

En este caso, existe un problema con la distancia entre el sitio más cercano en el cual puede estacionar el camión cisterna y la ubicación del silo. En la 5.11, se observa la distancia entre el camión cisterna y el silo.

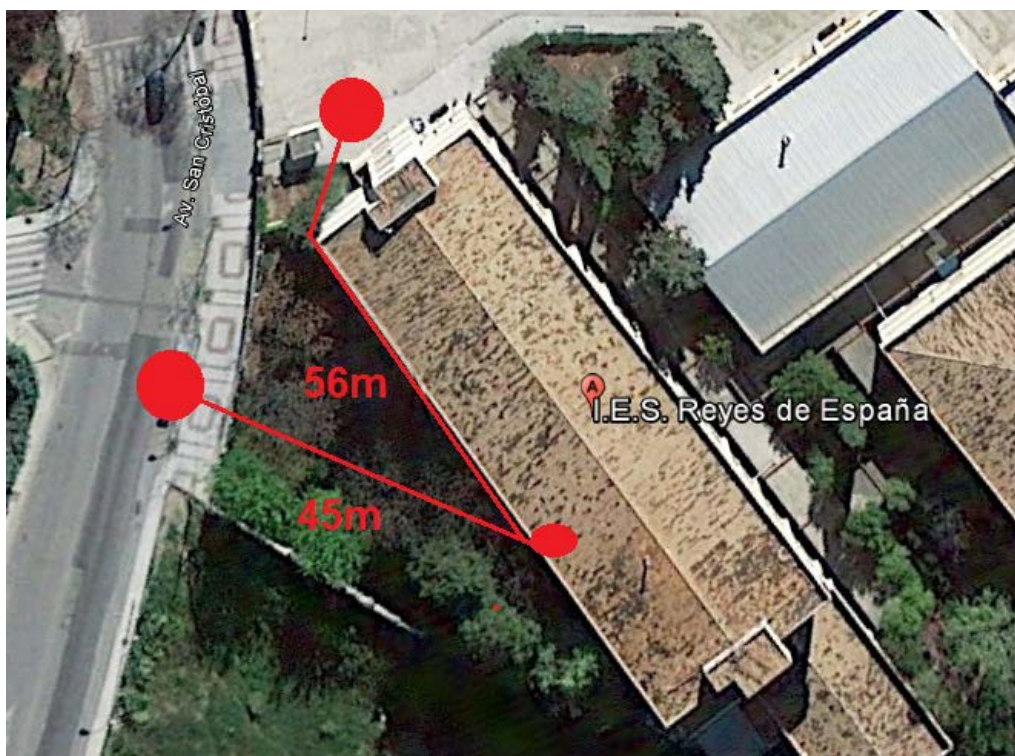


Figura 5.11 Posibilidades de situar el camión cisterna respecto al silo. [Elaboración propia]

La solución más sencilla sería reubicar las sala de calderas y la ubicación del silo, pero puesto que mantendremos gran parte de la instalación anterior, se ha descartado.

La solución escogida consiste en la realización de una nueva entrada como se puede ver en la figura 5.12, de manera que el camión cisterna pudiera acercarse lo máximo posible a la ubicación del silo de biomasa. La creación de esta nueva entrada, conllevaría la elaboración de un proyecto adicional y ,por tanto, no se entra en detalles en el presente estudio técnico.



Figura 5.12 Ubicación de la entrada para el camión cisterna al centro. [Elaboración propia]

Requisitos de seguridad durante el suministro de combustible

Según el capítulo 3, Logística del suministro de biomasa, de la Guía Técnica de Instalaciones de Biomasa Térmica en Edificios facilitada por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) [23], se ha de realizar una serie de comprobaciones generales antes de la carga del silo mostradas en la tabla 5.3.

Comprobación	Descripción
Preparación del silo	Vaciado y limpieza en caso de cambio del tipo o tamaño del combustible
Estado de la caldera	Apagada Sistema de antirretorno cerrado
Estado del silo	Cerrado en todos los casos
Combustible existente en el silo	Comprobación del tipo y estimación de la cantidad de combustible presente en el silo antes de la recarga

Tabla 5.3 Comprobaciones generales antes de la carga del silo. [23]

En este caso, como se trata de un suministro neumático de biomasa, además de los pasos aconsejables en la tabla 5.3, conviene cumplir asimismo con las recomendaciones específicas para estos sistemas recogidas en la tabla 5.4.

Tarea	Observaciones
Abrir toberas de llenado y succión	Limpieza de las conexiones antes del acoplamiento de las mangueras con las toberas
Acoplamiento de las mangueras con las toberas	Anotación de la longitud de la manguera utilizada
Encendido del sistema de succión	Uso de filtros limpios y secos
Carga del silo	
Apagado del sistema de succión	
Desacoplamiento de las mangueras y las toberas	
Cierre de las toberas de llenado y succión	Limpieza de las conexiones antes del cierre

Tabla 5.4 Recomendaciones para la carga del silo mediante sistema neumático. [23]

5.1.8 Exigencias de seguridad de la instalación

Caldera de biomasa

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

Según el capítulo 4.5, Requisitos de seguridad, de la Guía Técnica de Instalaciones de Biomasa Térmica en Edificios facilitada por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) [23], las calderas de biomasa, por su naturaleza, deben disponer de algún sistema de seguridad específico para ellas, recogido en la tabla 5.5.

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

Tabla 5.5 Dispositivos de seguridad de la caldera. [23]

Requisitos comunes para todas las salas de calderas

Según la sección IT 1.3.4.1.2.2. Características comunes de los locales destinados a sala de máquinas del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) [13], las salas de máquinas deben cumplir los siguientes requisitos:

- 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 pascales, 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.

Además según la sección IT 1.3.4.4.4 Señalización del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) [13], se colocarán tanto en la parte exterior de la puerta de acceso como en el interior de la sala de calderas, las indicaciones que se recogen en la tabla 5.6.

Indicaciones a colocar en el interior de la sala de calderas	
En el exterior de la puerta de acceso	Cartel con la inscripción: «Sala de Máquinas. Prohibida la entrada a toda persona ajena al servicio»
En el interior de la sala de calderas	Instrucciones para efectuar la parada de la instalación en caso necesario, con señal de alarma de urgencia y dispositivo de corte rápido
	Indicación de los puestos de extinción y extintores cercanos
	Nombre, dirección y número de teléfono de la persona o entidad encargada del mantenimiento de la instalación
	Dirección y número de teléfono del servicio de bomberos más próximo, y del responsable del edificio
	Plano con esquema de principio de la instalación

Tabla 5.6 Indicaciones a colocar en el interior y exterior de la sala de calderas. [13]

La suma de la potencia nominal de las calderas a instalar es de 600 kW, se trata de un local de riesgo medio, por lo que tanto la sala de calderas como el silo de almacenamiento deben cumplir lo indicado en la tabla 5.7 según el apartado 2 de la Sección SI 1 del Documento Básico de Seguridad en caso de incendio (DBSI) [24].

Característica	Riesgo medio
Resistencia al fuego de la estructura portante	R 120
Resistencia al fuego de las paredes y techos que separan la zona del resto del edificio	EI 120
Vestíbulo de independencia en cada comunicación de la zona con el resto del edificio	Sí
Puertas de comunicación con el resto del edificio	2 x EI 30 -C5
Máximo recorrido hasta alguna salida del local	≤ 25 m

Tabla 5.7 Condiciones de las zonas de riesgo medio integradas en edificios. [24]

Silo de almacenamiento

El diseño de los silos de almacenamiento, según la sección IT 1.3.4.1.4 Almacenamiento de biocombustibles sólidos del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) [13], debe cumplir una serie de premisas para prevenir el daño del combustible o una autocombustión. Serán las siguientes:

- Ausencia de humedad: Las paredes, suelo y techo del almacenamiento no permitirán filtraciones de humedad, impermeabilizándolas en caso necesario.
- 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 el caso de que sea necesario, para la realización de trabajos de mantenimiento, de reparación o en situaciones de riesgo de incendio.
- Protección contra incendios: 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. La resistencia al fuego de los elementos delimitadores y estructurales del almacenamiento de biocombustible será la que determine la reglamentación de protección contra incendios vigente (Código Técnico de la Edificación - Documento Básico SI Seguridad en caso de incendio) [24].
- 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.

Además, de acuerdo con 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) [24], los almacenes de combustible sólido para calefacción se clasifican bajo el nivel de riesgo medio y deberán cumplir sus correspondientes exigencias de seguridad de acuerdo con la tabla 5.7, mencionada en el anterior apartado.

Dotación de instalaciones de protección contra incendios

La sala de máquinas en la actualidad no dispone de esta dotación. Por lo tanto deberán instalarse los siguientes elementos según la exigencia básica SI 4 - Instalaciones de protección contra incendios del Documento Básico de Seguridad en caso incendio (DBSI) [24]:

- Se instalarán extintores portátiles de 21A-11B, a 15 m de recorrido, como máximo, desde todo origen de evacuación.
- Se instalará un extintor de CO₂ al lado del cuadro eléctrico de la sala de calderas.
- Dispondrá de una centralita de detección de fuego de gas con detectores de gas y electroválvula de corte de gas.
- Los medios de protección contra incendios de utilización manual (extintores, bocas de incendio, pulsadores manuales de alarma y dispositivos de disparo de sistemas de extinción) se deben señalizar mediante señales definidas en la norma UNE 23033-1 cuyo tamaño sea:
 - a. 210x210 mm cuando la distancia de observación de la señal no exceda de 10 m;
 - b. 420x420 mm cuando la distancia de observación esté comprendida entre 10 y 20 m;
 - c. 594x594 mm cuando la distancia de observación esté comprendida entre 20 y 30 m

Seguridad de utilización

Según la sección IT 1.3.4.4. Seguridad de utilización del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) [13], se deberán cumplir los siguientes requisitos:

- Ninguna superficie con la que exista posibilidad de contacto accidental, salvo las superficies de los emisores de calor, podrá tener una temperatura superior a 60 °C.
- Las superficies calientes de las unidades terminales que sean accesibles al usuario tendrán una temperatura menor de 80 °C, o estarán debidamente protegidas contra contactos accidentales.
- Los equipos y aparatos deberán estar situados de forma que se facilite su limpieza, mantenimiento y reparación.
- Los elementos de medida, control, protección y maniobra se deben instalar en lugares visibles y fácilmente accesibles.
- Las tuberías se instalarán en lugares que permitan la accesibilidad de las mismas y de sus accesorios, además de facilitar el montaje del aislamiento térmico en su recorrido, salvo cuando vayan empotradas.

Equipamiento mínimo de aparatos de medición

Para una potencia instalada de 600 kW, según la sección IT 1.3.4.4.5. Medición del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) [13], se deberán tener como mínimo los siguientes equipos de medición:

- Termómetro en los colectores de impulsión y retorno del fluido portador.
- Manómetro en vasos de expansión.
- Manómetro para lectura de la diferencia entre aspiración y descarga, uno por cada bomba.
- Pirómetro o pirostato con escala indicadora en chimeneas.
- Termómetros y manómetros a la entrada y salida de intercambiadores de calor.

5.1.9 *Pruebas de la instalación*

A continuación se detallan las pruebas, según la sección IT 2.2 Pruebas de Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) [13], que se deben realizar una vez instalados los nuevos equipos, para confirmar su correcta instalación.

Prueba preliminar de estanqueidad

Esta prueba se efectuará a baja presión, para detectar fallos de continuidad en la red, y evitar los daños que podría provocar la prueba de resistencia mecánica. Se empleará el mismo fluido transportado o, generalmente, agua a la presión de llenado.

Prueba de resistencia mecánica

Esta prueba se efectuará a continuación de la prueba preliminar. Una vez llenada la red con el fluido de prueba, se someterá a las uniones a un esfuerzo por la aplicación de la presión de prueba. En el caso de circuitos cerrados de agua caliente hasta una temperatura máxima de servicio de 100 °C, la presión de prueba será equivalente a 1,5 veces la presión máxima efectiva de trabajo a la temperatura de servicio, con un mínimo de 6 bar.

La prueba hidráulica de resistencia mecánica tendrá una duración suficiente para verificar visualmente la resistencia estructural de los equipos y tubería sometidos a la misma.

Reparación de fugas

La reparación de las fugas detectadas se realizará desmontando la junta, accesorio o sección donde se haya originado la fuga, y sustituyendo la parte defectuosa o averiada con material nuevo.

Una vez reparadas las anomalías, se volverá a comenzar desde la prueba preliminar. El proceso se repetirá tantas veces como sea necesario hasta que la red sea estanca.

Pruebas de libre dilatación

Una vez que las pruebas anteriores de las redes de tuberías hayan resultado satisfactorias, y se haya comprobado hidrostáticamente el ajuste de elementos de seguridad, las instalaciones equipadas con generadores de calor se llevarán hasta la temperatura de tarado de los elementos de seguridad, habiendo anulado previamente la actuación de aparatos de regulación automática.

Durante el enfriamiento de la instalación y al finalizar el mismo, se comprobará visualmente que no haya tenido deformaciones apreciables en ningún elemento o tramo de tubería, y que el sistema de expansión haya funcionado correctamente.

Pruebas de estanqueidad de chimeneas

La estanqueidad de los conductos de evacuación de humos se ensayará según las instrucciones de su fabricante.

5.1.10 Mantenimiento y uso

Una condición previa para optimizar la operación y el mantenimiento de la instalación es la elección correcta de la potencia de la caldera. Un correcto dimensionamiento da las condiciones óptimas de operación reduce la exigencia de gestión de las cenizas, limpieza de la caldera y el número de averías debidas a demandas de potencia demasiado bajas.

Según la sección IT 3.2. Mantenimiento y uso de las instalaciones térmicas del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) [13], las instalaciones térmicas se utilizarán y mantendrán de conformidad con los procedimientos que se establecen a continuación y de acuerdo con su potencia térmica nominal y sus características técnicas:

- a) La instalación térmica se mantendrá de acuerdo con un programa de mantenimiento preventivo que cumpla con lo establecido en el apartado IT.3.3.
- b) La instalación térmica dispondrá de un programa de gestión energética, que cumplirá con el apartado IT.3.4.

c) La instalación térmica dispondrá de instrucciones de seguridad actualizadas de acuerdo con el apartado IT.3.5.

d) La instalación térmica se utilizará de acuerdo con las instrucciones de manejo y maniobra, según el apartado IT.3.6.

e) La instalación térmica se utilizará de acuerdo con un programa de funcionamiento, según el apartado IT.3.7.

Las operaciones de mantenimiento las realizará una empresa mantenedora autorizada. En el Anexo B, se indican las operaciones de mantenimiento preventivo recogidas en la sección IT 3.3. Programa de mantenimiento preventivo del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) [13].

5.1.11 Emisiones de CO₂

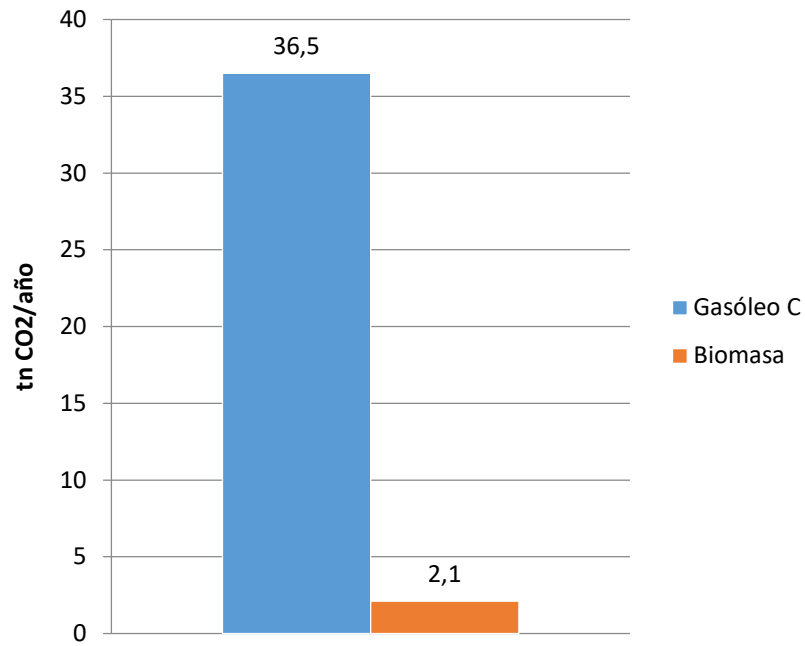
El cálculo de las emisiones de CO₂ ha sido realizado partiendo de la energía útil consumida anualmente por la instalación actual (117.330 KWh/año) y utilizando los factores de emisión de CO₂ ofrecidos por IDAE.

En la tabla 5.8, se contemplan los resultados obtenidos.

Combustible	KgCO ₂ /KWh	KgCO ₂ /año	tnCO ₂ /año
Gasóleo	0,311	36.489,6	36,5
Biomasa	0,018	2.111,9	2,1

Tabla 5.8 Emisiones de CO₂ anuales a partir del factor de emisión de CO₂. [25]

En la gráfica 5.1 se observa a simple vista la gran diferencia entre las emisiones obtenidas en la tabla 5.8 de gasóleo C respecto a la biomasa.



Gráfica 5.1 Emisiones de CO₂ anuales.

Ha de resaltarse que la pequeña cantidad de emisiones de CO₂ generadas por la biomasa se podrían considerar nulas partiendo de la base de que estas se encuentran en un ciclo, en el cual las plantas absorben el mismo CO₂ para realizar la fotosíntesis que el emitido posteriormente por la combustión de la biomasa.

Se puede concluir este apartado afirmando rotundamente que, las emisiones de CO₂ generadas por la biomasa son prácticamente nulas y determinan un importante beneficio ambiental frente a las emisiones generadas por el gasóleo de calefacción.

5.2 Estudio Económico

A continuación, pasamos al segundo apartado del presente estudio técnico-económico, el cual nos permitirá determinar si la instalación de la nueva caldera será o no viable y el tipo de biomasa más rentable. Para facilitar la elaboración del estudio económico, se ha elaborado un documento Excel el cual permite modificar los datos de consumo así como otras variables a tener en cuenta.

Como anteriormente se ha mencionado, se ha descartado la poda de olivo por dificultades técnicas referentes al almacenamiento debido a la demanda requerida de

dicho combustible y teniendo en cuenta la no disponibilidad de un suministro a granel mediante camión cisterna.

5.2.1 Inversión

El Presupuesto de Ejecución por Contrata del Proyecto de Sustitución de una caldera de gasóleo C en el Instituto de Educación Secundaria ``Reyes de España'', asciende a la cantidad de CIENTO CINCUENTA Y SEIS MIL QUINIENTOS TRECE EUROS CON CUARENTA Y NUEVE CENTIMOS DE EURO (156.513,49€), que corresponde a los capítulos recogidos en la tabla 5.9.

CONCEPTO	IMPORTE (€)
CAPÍTULO 1: SALA DE CALDERAS Y SISTEMA HIDRÁULICO	87.786,85
TOTAL CAPÍTULO 2: REGULACIÓN Y CONTROL	2.708,50
TOTAL CAPÍTULO 3: SILO DE PELETS	4.230,00
TOTAL CAPÍTULO 4: INSTALACIÓN ELÉCTRICA	6.060,00
TOTAL CAPÍTULO 5: OBRA CIVIL	11.010,00
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN DE MATERIAL	111.795,35
GASTOS GENERALES	13%
BENEFICIO INDUSTRIAL	6%
IVA	21%
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA	156.513,49

Tabla 5.9 Resumen presupuesto.

En el anexo C se recoge el presupuesto detallado, incluyendo todas las partidas.

5.2.2 Evolución del precio de los combustibles a estudiar

Para poder realizar la amortización de la nueva instalación, se estudiará la evolución de los precios durante el periodo de años 2012-2017 obtenidos de la Asociación Española de Valorización Energética de la Biomasa (Avebiom) [7] y Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia (CNMC) [26].

Dicha evolución se puede observar en la tabla 5.10.

Combustible	Precio Combustible Periodo 2012-2017					
	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Gasóleo (€/l)	0,785	0,680	0,788	0,969	1,037	1,053
Pellet (€/tn)	230,79	244,59	253,5	245,04	234,59	233,54
Hueso (€/tn)			182,61	183,76	158,43	159,71

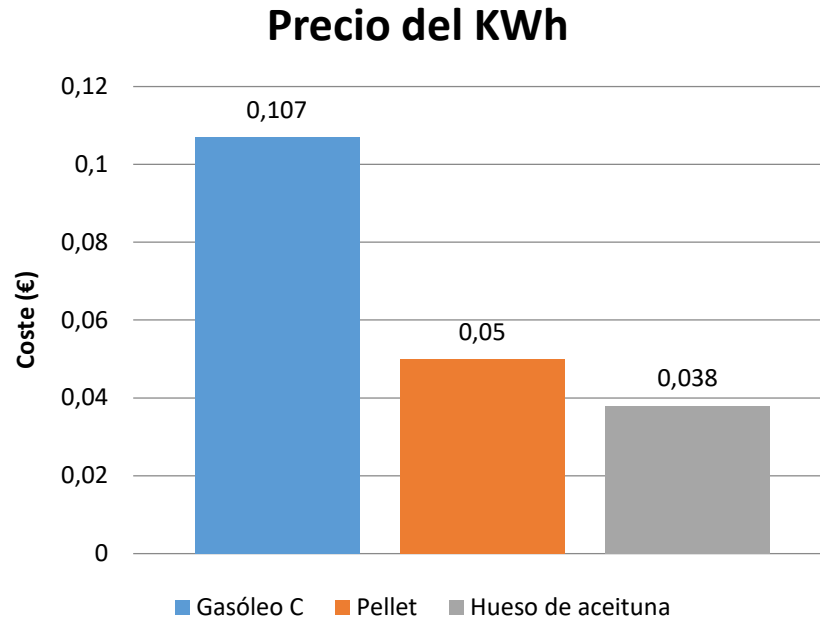
Tabla 5.10 Evolución del precio del combustible durante el periodo 2012-2017.[7][26]

Mediante la tabla 5.10, se ha obtenido una media del porcentaje del incremento del precio durante el periodo de años 2012-2017.

Los resultados obtenidos son: un incremento del 7% para el gasóleo C, un incremento de 0% para el pellet y un incremento de -4% para el hueso de aceituna.

Sin embargo, se ha considerado un incremento del 0% para el hueso de aceituna debido a la periodicidad de las buenas y malas cosechas de la recogida de aceituna.

Se puede tener en cuenta, además, el coste del KWh, como se puede observar en la gráfica 15.1.



Gráfica 5.2 Precio del KWh.

Se puede observar en la gráfica 5.2, como el empleo de la biomasa como combustible permite un notable ahorro económico.

5.2.3 Incentivos de la Junta de Andalucía

La junta de Andalucía ha publicado un Programa de Incentivos para el Desarrollo Energético Sostenible de Andalucía 2020 "Andalucía es más" que ofrece la línea de incentivos Construcción Sostenible, dotada con un presupuesto de 164,7M€. Dirigida principalmente a inversiones de ahorro, eficiencia energética, aprovechamiento de energías renovables e infraestructuras en edificios, de uso privado o público, ubicados en la Comunidad Autónoma de Andalucía, que ayuden a la sociedad a mejorar las condiciones en las que usan la energía.

El actual estudio se acogerá a la Actuación 17CS: A.4.1.b_Sistemas de generación de agua o aire caliente mediante equipos de biomasa de alto rendimiento [27], cuya dotación va dirigida a instalaciones que utilicen la energía de la biomasa, con alta eficiencia energética, para la generación de agua o aire caliente, para satisfacer total o parcialmente la demanda térmica del edificio.

Existen diversas intensidades de incentivo: general y específicas. Según las características de la entidad para la cual se realiza dicho estudio, se aplicará la intensidad general, la cual supone un incentivo del 40%.

El coste de la instalación como queda reflejado en la tabla 5.9, es de 156.513,49€. Al aplicarle el 40% de incentivo (62.605€), la inversión pasa a ser de 93.908€.

Será la Agencia Pública de Educación Andaluza perteneciente a la Consejería de Educación de la Junta de Andalucía, quien se encargue de tramitar los pagos de la inversión económica mediante la plataforma de facturación electrónica de la página web de dicha entidad.

5.2.4 Amortización

Se ha realizado un estudio de amortización a 15 años. Para ello se ha tenido en cuenta el coste inicial de la instalación (descontada la subvención), el coste anual de combustible y el coste anual de mantenimiento de la instalación.

Se aplicarán unos incrementos al coste del combustible, como anteriormente ha sido mencionado en el apartado 5.2.2, así como un incremento del 1% para el mantenimiento de la nueva instalación de biomasa y un incremento del 5% al mantenimiento de la actual instalación de gasóleo C. Se ha considerado mayor el incremento para la actual instalación debido a que se trata de una instalación antigua.

En la tabla 5.11, se puede observar la evolución de los costes anuales durante el periodo estudiado, así como el ahorro acumulado.

Año	Gasóleo €	Pellet €	Hueso €	Ahorro Pellet €	Ahorro Hueso €
1	12.800	99.948	98.514	0	0
2	26.491	105.990	103.121	0	0
3	41.135	112.034	107.731	0	0
4	56.800	118.080	112.341	0	0
5	73.555	124.127	116.954	0	0
6	91.477	130.176	121.569	0	0
7	110.648	136.226	126.185	0	0
8	131.154	142.279	130.803	0	351
9	153.089	148.333	135.523	4.756	17.667
10	176.554	154.390	140.044	22.164	36.509
11	201.653	160.448	144.668	41.206	56.985
12	228.503	166.508	149.293	61.995	79.209
13	257.224	172.570	153.921	84.654	103.303
14	287.948	178.633	158.550	109.315	129.398
15	320.814	184.699	163.181	136.115	157.633

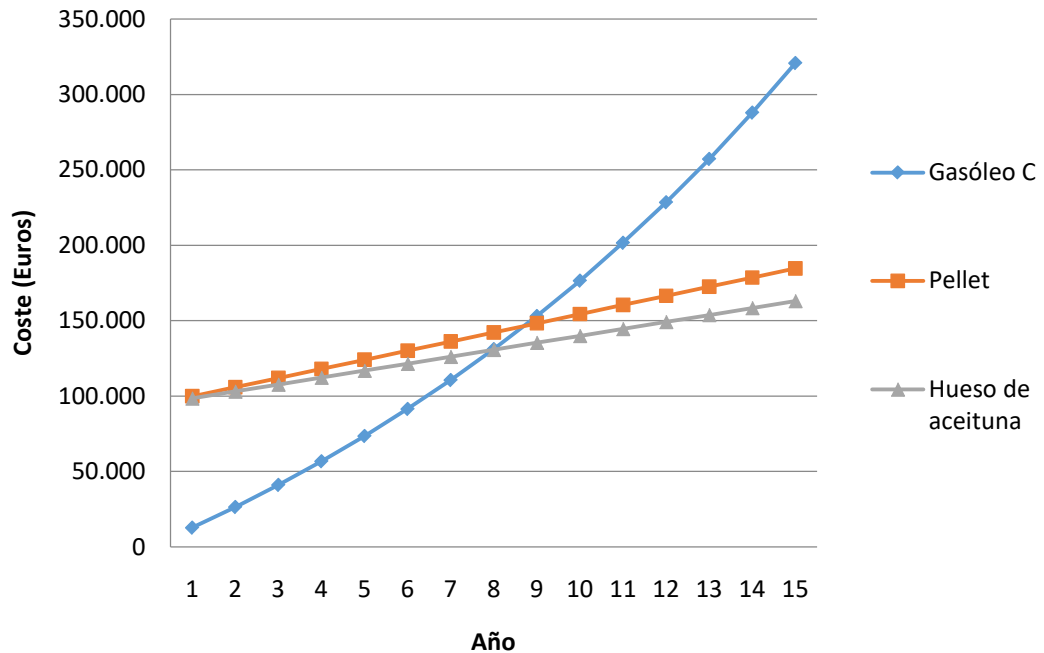
Tabla 5.11 Amortización de la instalación según el tipo de biomasa.

Como podemos observar en la tabla 5.11, la nueva instalación de pellet generaría beneficios a partir de octavo año, mientras que la instalación de hueso de aceituna generaría beneficio a partir de noveno año (Tabla 5.12). Visualmente, se puede observar más fácilmente la evolución en la gráfica 5.3.

Combustible	Período de retorno (años)
Pellet	8
Hueso de Aceituna	9

Tabla 5.12 Periodo de retorno.

Coste acumulado para 15 años de la instalación para diferentes tipos de combustibles.



Gráfica 5.3 Amortización de la instalación según el tipo de biomasa.

6 DISCUSIÓN

El presente TFG consiste en un Estudio Tecno-Económico necesario para el cambio de la actual caldera de gasóleo C a caldera de biomasa en el Instituto de Educación Secundaria ``Reyes de España`` situado en Linares (Jaén).

El principal objetivo es conseguir un ahorro económico al mismo tiempo que se cuida el medio ambiente.

Tras la realización del estudio técnico se considera viable la instalación de la nueva caldera de biomasa, considerándose oportuno el descarte de la astilla de poda de olivo como combustible como ya se ha mencionado en apartados anteriores debido al volumen de combustible demandado. Se selecciona una nueva instalación con elementos de alta calidad renovando así la instalaciones del centro, la cual consta de dos calderas policomcombustible de 300 KW cada una, un silo flexible de 4-5,5 toneladas, así como la renovación de la instalación eléctrica e hidráulica de la sala de calderas, incluyendo dos depósitos de inercia de 4.000 litros cada uno.

El suministro de la biomasa desde el camión cisterna hasta el silo flexible estudiado, quizás puede ser el principal inconveniente. Sin embargo, se propone como solución la construcción de una rampa de acceso para la entrada del camión cisterna al centro.

La elaboración del estudio de las emisiones de CO₂, resalta el importante beneficio medioambiental que supone la sustitución de la actual caldera de gasóleo para calefacción por una de biomasa.

Finalmente, tras la realización del estudio económico, se obtiene como resultado que el uso de hueso de aceituna, comenzará a generar beneficio a partir de los 8 años, mientras que utilizando pellet como combustible, se obtendrán beneficios económicos a partir de los 9 años.

7 CONCLUSIÓN

Se concluye el presente TFG, considerándose viable tanto técnica como económicamente, la sustitución de la actual instalación de gasóleo para calefacción por la nueva instalación de caldera policomcombustible considerándose el hueso de aceituna como combustible más favorable, puesto que pese a la gran inversión inicial a llevar a cabo, será rentable en un periodo relativamente corto y cumplirá beneficiosamente con el medioambiente.

8 ANEXOS

8.1 ANEXO A: Datos técnicos caldera KWB Powerfire 300 kW

Denominación	Unidad	TDS 300		
Combustible		Pellet	Hueso	Astillas
Potencia nominal	KW	300	300	300
Carga parcial	KW	73,5	73,5	73,5
Rendimiento de la caldera a potencia nominal	%	93,5	93,3	93,3
Rendimiento de la caldera a carga parcial	%	93,3	93,3	92,8
Rendimiento térmico del combustible a potencia nominal	KW	320,9	320,9	321,5
Rendimiento térmico del combustible a carga parcial	KW	78,8	78,8	79,2
Circuito hidráulico				
Contenido de agua	L	610	610	610
Diámetro de conexión para agua		DN 80 (brida), PN6		
Protección térmica de salida	Pulgada	3/4 (mín. 2 bar; máx. 3,5 bar)		
Resistencia del circuito de agua a 20 K	Pa	3.500	3.500	3.500
Resistencia del circuito de agua a 15K	Pa	6.600	6.600	6.600
Resistencia del circuito a 10 K	Pa	16.100	16.100	16.100
Temperatura de la caldera	°C	65-90	65-90	65-90
Temperatura mínima de entrada a la caldera hasta W30	°C	50	50	65

Denominación	Unidad	TDS 300		
Combustible		Pellet	Hueso	Astillas
Circuito de gas de humos				
Temperatura mínima de entrada a la caldera >W30	°C	-	-	65
Presión máx. de servicio	Bar	3,5	3,5	3,5
Temperatura de la cámara de combustión	°C	900-1200	900-1200	900-1000
Depresión de la cámara de combustión	Mbar	0,2-0,3	0,2-0,3	0,2-0,3
Tiro necesario a potencia nominal	Mbar	0,16	0,16	0,16
Tiro necesario a carga parcial	Mbar	0,08	0,08	0,08
Tiro de succión requerido		sí	sí	Sí
Temperatura de los gases de escape a potencia nominal (para calcular las dimensiones de la chimenea)	°C	160	160	160
Temperatura de los gases de escape a carga parcial (para calcular las dimensiones de la chimenea)	°C	80	80	80
Flujo másico de los fases de escape a potencia nominal (RGf)	kg _f /h	696	696	773-843
Flujo másico de los gases de escape a carga parcial (RGf)	kg _f /h	172	172	198/216
Volumen de gases de escape a potencia nominal (RGf)	Nm ³ _f /h	538	538	607/674

Denominación	Unidad	TDS 300		
Combustible		Pellet	Hueso	Astillas
Volumen de gases de escape a carga parcial (RGf)	Nm³ _f /h	133	133	155/173
Diámetro del tubo de salida de humos	mm	300	300	300
Diámetro de la chimenea (valores orientativos)	mm	350	350	350
Altura de la conexión del tubo de salida de humos (lado de la caldera)	mm	Variantes de conexión: arriba 1970 mm/derecha: 1380 mm centro tubo de salida de humos (0º-90º orientable)		
Ejecución de la chimenea	Resistente a la humedad			
Combustible				
Contenido de agua máximo	Kg/Kg s.f.	0,45	0,45	0,45
Humedad máxima del combustible	Kg/Kg s.s.	0,82	0,82	0,82
Tamaño máximo del combustible según la ONORM		G50	G50	G50
Ceniza				
Volumen del contenedor de ceniza volátil	l	2 contenedores de 20 l	2 contenedores de 20 l	2 contenedores de 20 l
Volumen del contenedor de ceniza de la parrilla	l	66	66	66
Evacuación de cenizas		Sí	Sí	Sí
Volumen del contenedor de ceniza. Contenedor (opcional)	l	240	240	240
Instalación eléctrica				
Toma de corriente	400 V de 5 polos 50 Hz			
Potencia de conexión caldera	W	3.600	3.600	3.600

Denominación	Unidad	TDS 300		
Combustible		Pellet	Hueso	Astillas
Potencia de conexión total incluyendo sistema de alimentación má.	W	5.100	5.100	5.100
Pesos				
Peso total en vacío	Kg	2.830	2.830	2.830
Carcasa de quemador incl. material refractario	Kg	670	670	670
Tubo de humos TDS 240/230 incl. material refractario	Kg	970	970	970
Intercambiador de calor incl. rejilla de limpieza	Kg	860	860	860
Emisiones de ruidos				
Ruido de funcionamiento normal (100% NL); LA eq. a una distancia de 1 m	dB (A)	63 según ONorm EN ISO 11202:1995		
A potencia pico (100% NL); LA, eq. a una distancia de 1 m	dB (A)	65 según ONorm EN ISO 11202:1995		

8.2 ANEXO B: Mantenimiento y uso de la instalación

En la siguiente tabla se indican las tareas de mantenimiento preventivo para biomasa recogidas en el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), [20]:

Operación	Periodicidad	
	≤ 70 KW	≥ 70KW
Revisión de los datos de timbrado de la caldera	t	t
Medición del pH del agua de la caldera	t	t
Verificación de la válvula de seguridad	t	t
Revisión del vaso de expansión	t	t
Revisión de los sistemas de tratamiento de agua (si procede)	t	t
Comprobación del material refractario (si procede)		2t
Comprobación de presión de agua en circuitos y en la caldera	t	m
Comprobación de estanqueidad de circuitos de tuberías y en el hogar	--	t
Revisión y limpieza de aparatos de recuperación de calor	t	t
Revisión y limpieza de unidades de impulsión y retorno de aire	t	t
Verificación de estado, disponibilidad y timbrado de elementos de prevención de incendios	t	t
Revisión del estado del aislamiento térmico	t	t
Revisión del sistema de control automático de encendido y apagado	t	2t
Comprobación del estado de almacenamiento del biocombustible sólido (por el usuario)	s	m
Apertura y cierre del contenedor plegable en instalaciones de biocombustible sólido (por el usuario)	t	t
Limpieza y retirada de cenizas en instalaciones de biocombustible sólido (por el usuario)	m	m
Control visual de la caldera de biomasa (por el usuario)	s	m

Operación	Periodicidad	
	≤ 70 KW	≥ 70KW
Comprobación y limpieza, si procede, de la cámara de combustión, conductos de humos y chimeneas en calderas de biomasa	t	2t
Comprobación de reglaje y actuación del termostato de trabajo	t	t
Comprobación de reglaje y actuación de la seguridad por temperatura	t	m
Verificación del sistema de ignición del biocombustible	t	t
Verificación del extractor de gases de la combustión	t	t
Verificación de actuación de los circuitos de seguridad y enclavamiento	t	t
Limpieza de la cúpula de postcombustión	t	m
Control de piezas de desgaste (cuando proceda) o por indicaciones del fabricante	t	m
Control de las placas de empuje (cuando proceda)	t	m
Controlar las instalaciones de seguridad contra el retroceso de la combustión (cuando proceda)	t	m
Controlar la limpieza de los remanentes de la combustión	t	m
Limpieza y control de la tapa de seguridad contra el retroceso de la combustión	t	m
Lubricar todos los rodamientos y cadenas	t	m
Medición de los gases de combustión y creación de un acta de medición (a partir del 01.10.2006)	t	m
Limpieza y comprobación de la junta de estanqueidad de la puerta	t	m
Limpieza y comprobación del sinfín de alimentación del biocombustible y de extracción de ceniza	t	m
Limpieza y comprobación del estado del cableado y de los sensores	t	m
Verificación y apriete de las conexiones eléctricas	t	t
Verificación y ajuste de la protección térmica del motor del ventilador	t	t

Operación	Periodicidad	
	$\leq 70 \text{ KW}$	$\geq 70 \text{ KW}$
Verificación de interruptores, contadores, relés y protecciones eléctricas	t	t
Verificación del estado y funcionamiento de la ventilación de la sala de calderas	t	t
Verificación de los pilotos de señalización y sustitución si procede	t	t
Verificación de las conexiones de la puesta a tierra de la caldera y de los sistemas eléctricos para el transporte del biocombustible	t	t

Donde,

s: una vez cada semana

m: una vez al mes, la primera al inicio de la temporada

t: una vez por temporada (año)

2t: dos veces por temporada (año), una al inicio de la misma y otra a la mitad del período de uso, siempre que haya una diferencia mínima de dos meses entre ambas

8.3 ANEXO C: Presupuesto detallado

Concepto	Cantidad	Precio Unitario (€)	Precio Total (€)
CAPÍTULO 1: SALA DE CALDERAS Y SISTEMA HIDRÁULICO			
Caldera biomasa KWB Powerfire 300 KW, incluso cuadro eléctrico de control de caldera, piezas especiales, conexiones eléctricas, conexiones de desagüe condensados, puesta en marcha, tolva de conexión de combustible, accesorios de montaje, mano de obra de la instalación	2	33.750,00	67.500,00
Módulo recto de chimenea de doble pared, inoxidable, de varios diámetros, incluyendo abrazaderas de unión de tramos, embocaduras, piezas especiales, elementos de fijación, accesorios de montaje, mano de obra de la instalación.	20	150,00	3.000,00
Otros elementos de las chimeneas: conos de salida libre, codos de desvío, soportes de carga, abrazaderas, acoplamientos de caldera, soportes intermedios.	2	600,00	1.200,00
Depósito de inercia Herz modelo PUB 4000, de 4000 l de capacidad, pintura exterior antioxidante, incluso piezas especiales, accesorios de montaje y mano de obra de instalación.	2	3.500,00	7.000,00
Tuberías de acero negro electrosoldado UNE 19040 de varios diámetros para vasos de expansión, circuitos de calderas, colectores, depósitos de inercia, etc., soportes, materiales soldadura, accesorios de montaje y mano de obra de instalación.	30	35,14	1.054,20

Concepto	Cantidad	Precio Unitario (€)	Precio Total (€)
Válvula de seguridad.	4	57,65	230,60
Indicadores de temperatura.	6	5,36	32,16
Válvulas antirretorno.	4	53,81	215,24
Bomba simple de recirculación in-line para circuitos de calderas, tipo centrífuga.	2	1.100,00	2.200,00
Bomba simple de recirculación para sistema de calefacción.	2	1.500,00	3.000,00
Válvulas de 3 vías con servo, mezcladoras, para circuito de calderas.	4	125,42	501,68
Válvulas de descarga térmica.	12	70,50	846,00
Vasos de expansión, de 300 l de capacidad.	2	350,00	700,00
Purga manual de punto alto de la instalación.	1	71,17	71,17
Manómetro de 0-6 bar.	4	31,79	127,16
Señalización de la sala de calderas, según las indicaciones del CTE y SI.	1	65,40	65,40
Extintor portátil de polvo químico ABC polivalente antibrasa, con presión.	1	43,24	43,24
TOTAL CAPÍTULO 1: SALA DE CALDERAS Y SISTEMA HIDRÁULICO			87.786,85
CAPÍTULO 2: REGULACIÓN Y CONTROL			
Sistema de regulación y control de instalaciones térmicas para la sala de calderas , compuesto por módulo de sonda exterior, módulos de control de caldera, módulo de control de bomba sencilla, módulo de control del circuitos hidráulico, módulo de control de avería térmica, averías y detección de gas, puesta en marcha ingeniería de programación, conexionado eléctrico, mano de obra de la instalación.	2	1.200,00	2.400,00

Concepto	Cantidad	Precio Unitario (€)	Precio Total (€)
Sonda de temperatura exterior , con rango de medida de -30°C a +50°C, con conexión eléctrica, mano de obra de instalación, accesorios de montaje, comprobación de puesta en marcha y costes indirectos.	1	20,50	20,50
Sonda de temperatura de inmersión , con vaina de latón niquelado, con conexión eléctrica, mano de obra de instalación, accesorios de montaje, comprobación de puesta en marcha.	8	36	288
TOTAL CAPÍTULO 2: REGULACIÓN Y CONTROL			2.708,50
CAPÍTULO 3: SILO DE PELETS			
Silo textil modelo SILOSP250	1	2.016,00	2.016,00
Sistema doble de conexión doble para sinfín rígido y flexible	1	415,00	415,00
Tornillo sinfín rígido modelo SRM-11-25W, 2m de PVC con motor	2	752,00	1.504,00
Kit de automatización del tornillo sinfín	1	295,00	295,00
TOTAL CAPÍTULO 3: SILO DE PELETS			4.230,00
CAPÍTULO 4: INSTALACIÓN ELÉCTRICA			
Cuadro eléctrico en sala de calderas , con interruptores diferenciales, interruptores magnetotérmicos, contadores, bases de enchufe, selectores de mando, soportes, pulsador de seta con enclavamiento IP55 completo, transformador, relé, juego de conexión de puesta a tierra	1	2.100,00	2.100,00

Concepto	Cantidad	Precio Unitario (€)	Precio Total (€)
Pulsador de parada de emergencia	1	110,00	110,00
Contador de energía térmica consumida	2	1.850,00	3.700,00
Contador de consumo eléctrico	1	150,00	150,00
TOTAL CAPÍTULO 4: INSTALACIÓN ELÉCTRICA			6.060,00
CAPÍTULO 5: OBRA CIVIL			
Desguace de la instalación existente en la sala de calderas	1	1.200,00	1.200,00
Construcción habitación de silo textil , incluso puerta de acceso homologada y aperturas para tornillos sinfín y boca de llenado	1	1.700,00	1.700,00
Bancada hormigón anclaje caldera , m ³ , losa de hormigón para anclaje de caldera elaborada a base de hormigón armado HA-25/P/40/IIa, con tamaño máximo del árido de 40mm, elaborado en central, en relleno de losas de cimentación, i/armadura B-500 S (50Kg/m ³), vertido por medios manuales, vibrado y colocado. Según CTE/DB-SE-C y EHE-08.	2	140,00	280,00
Bancada hormigón anclaje silo , m ³ , losa de hormigón para anclaje de silo elaborada a base de hormigón armado HA-25/P/40/IIa, con tamaño máximo del árido de 40mm, elaborado en central, en relleno de losas de cimentación, i/armadura B-500 S (50Kg/m ³), vertido por medios manuales, vibrado y colocado. Según CTE/DB-SE-C y EHE-08.	1	140,00	140,00

Concepto	Cantidad	Precio Unitario (€)	Precio Total (€)
Construcción de rampa	1	4.000,00	4.000,00
Rejilla de ventilación de hierro , incluyendo mano de obra de la instalación	2	30,00	60,00
Ampliación de sala de calderas	1	1.300,00	1.300,00
Enlucido y pintura	1	980,00	980,00
Carga y transporte de escombros a vertedero	1	450,00	450,00
Desgasificación y limpieza de tanque de gasóleo	1	900,00	900,00
TOTAL CAPÍTULO 5: OBRA CIVIL			11.010,00
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN DE MATERIAL			111.795,35
GASTOS GENERALES			13%
BENEFICIO INDUSTRIAL			6%
IVA			21%
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA			156.513,49

Asciende el Presupuesto de Ejecución por Contrata del Proyecto de Sustitución de una caldera de gasóleo C en el Instituto de Educación Secundaria ``Reyes de España`` a la cantidad de CIENTO CINCUENTA Y SEIS MIL QUINIENTOS TRECE EUROS CON CUARENTA Y NUEVE CENTIMOS DE EURO (156.513,49€).

9 ÍNDICE TABLAS

Tabla 3.1 Emisiones de CO2 evitadas y generación de empleo.[1]	8
Tabla 3.2 Emisiones-año del ciclo de vida según el tipo de combustible atizado. [2]	9
Tabla 3.3 Potencial Biomasa Jaén.[4]	10
Tabla 3.4 Plantas existentes en Jaén y su capacidad de producción. [5]	14
Tabla 3.5 Ventajas e inconvenientes de cada tipo de biomasa. [6]	15
Tabla 3.6 PCI de cada combustible. [9]	16
Tabla 4.1 Especificaciones técnicas de a caldera actual de gasóleo C.[14]	25
Tabla 4.2 Consumo anual de gasóleo C para calefacción. [14]	27
Tabla 4.3 Consumos mensuales de la caldera durante el año 2016. [14]	28
Tabla 5.1 Datos de partida de la instalación.[16]	33
Tabla 5.2 Resumen volumen de biomasa demandado en 15 días..	47
Tabla 5.3 Comprobaciones generales antes de la carga del silo. [24]	52
Tabla 5.4 Recomendaciones para la carga del silo mediante sistema neumático. [24]	53
Tabla 5.5 Dispositivos de seguridad de la caldera. [24]	54
Tabla 5.6 Indicaciones a colocar en el interior y exterior de la sala de calderas. [13]	56
Tabla 5.7 Condiciones de las zonas de riesgo medio integradas en edificios. [25]	56
Tabla 5.8 Emisiones de CO2 anuales a partir del factor de emisión de CO2. [26]	62
Tabla 5.9 Resumen presupuesto.	64
Tabla 5.10 Evolución del precio del combustible durante el periodo 2012-2017.[7][27]	65
Tabla 5.11 Amortización de la instalación según el tipo de biomasa.	68
Tabla 5.12 Payback	68

10 ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 Mapa Potencial de Olivos en Andalucía.[3]	10
Figura 3.2 Balance de masas del proceso de la industria del aceite.[5]	11
Figura 3.3 Detalle separación pulpa-hueso de aceituna. [5]	12
Figura 3.4 Detalle hueso de aceituna.[5]	12
Figura 3.5 Partes de una caldera de biomasa. [11]	17
Figura 3.6 Distribución de biomasa mediante sacos de 15 Kg y mediante camión cisterna.	18
Figura 3.7 Distintos tipos de emplazamiento para el almacenaje de la biomasa. [Elaboración propia]	19
Figura 3.8 Sistemas de almacenamiento de biomasa. [Elaboración propia]	19
Figura 3.9 Sistemas de transporte interno. [Elaboración propia]	20
Figura 3.10 Tipos de intercambiador de calor.[Elaboración propia]	21
Figura 4.1 Vista aérea I.E.S. Reyes de España.	24
Figura 4.2 Vista aérea I.E.S. Reyes de España.	25
Figura 4.3 Fotografía de la ubicación de depósito de gasóleo a desmontar. [14]	26
Figura 4.4 Fotografías de detalle de sala de calderas y estado de caldera existente. [14]	26
Figura 4.5 Cuadro eléctrico de sala de calderas. [14]	27
Figura 5.1 Caldera de biomasa modelo KWB Powerfire 300 kW. [15]	30
Figura 5.2 Esquema de las partes de la caldera modelo KWB Powerfire 300 kW. [15]	31
Figura 5.3 Resultados DINAKALC 4.2. [16]	34
Figura 5.4 Depósito de inercia modelo PUB 4000. [17]	35
Figura 5.5 Depósito de expansión modelo 300 CMF.[19]	36
Figura 5.6 Silo textil modelo SILOSP250. [22]	48
Figura 5.7 Sistema doble de conexión doble para sinfín rígido. [22]	49
Figura 5.8 Tornillo sinfín rígido modelo SRM11-25W.[22]	49
Figura 5.9 Kit de automatización del tornillo sinfín. [22]	49
Figura 5.10 Esquema del sistema de alimentación de las calderas.[Elaboración propia]	50
Figura 5.11 Posibilidades de situar el camión cisterna respecto al silo. [Elaboración propia]	51
Figura 5.12 Ubicación de la entrada para el camión cisterna al centro. [Elaboración propia]	52

11 ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 3.1 Comparación de precios diferentes tipos de biomasa y gasóleo C durante el periodo 2014-2017. [7],[8]	15
Gráfica 5.1 Emisiones de CO2 anuales.	63
Gráfica 5.2 Precio del KWh.	66
Gráfica 5.3 Amortización de la instalación según el tipo de biomasa.	69

12 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

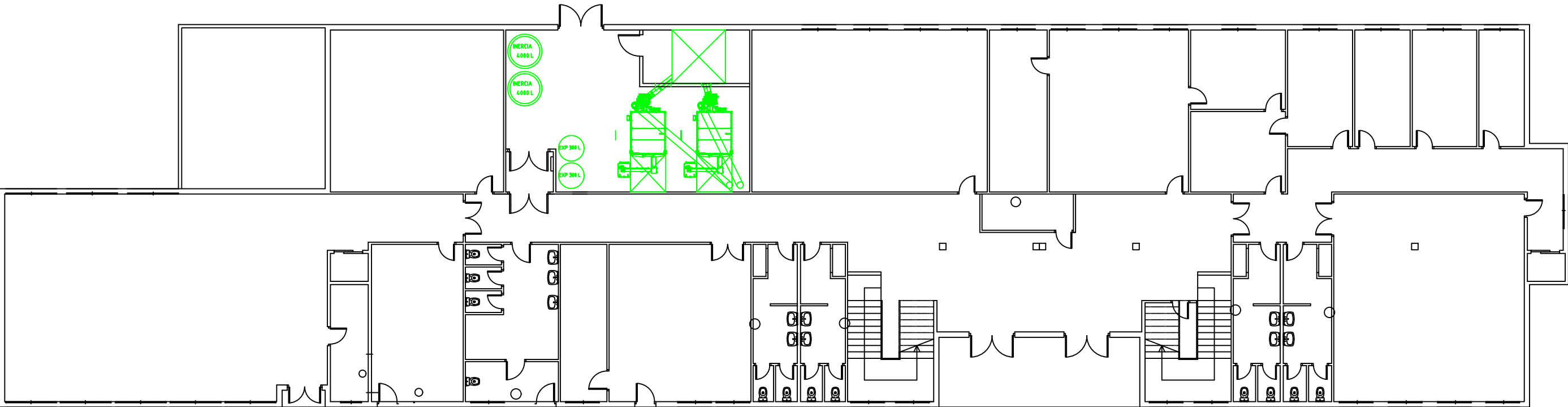
- [1] IDAE, «Plan de Energías Renovables 2011 2020», 2011. Disponible en: <http://www.idae.es/Index.Php/Id.670/Mod.Pags/Mem.Detalle>.
- [2] S. . Escan, «Sistemas Automáticos de Calefacción con Biomasa en Edificios y Viviendas», *Dir. Gen. Ind. Energía y Minas la Comunidad Madrid*, p. 56, 2006.
- [3] Cons Agric y Pesca Junta Andalucía., «Geografía de los paisajes del olivar andaluz», *Cons. Agric. y Pesca la Junta Andalucía*, p. 596, 2010.
- [4] A. A. de la E. Junta de Andalucía Consejería de Economía, Innovación, Ciencia y Empleo, «potencial», *Junta Andalucía Cons. Econ. Innovación, Cienc. y Empleo, Agencia Andaluza la Energía*, 2012.
- [5] Agencia Andaluza de la Energía, «La biomasa en Andalucía», p. 41, 2015.
- [6] energiasrenovablesinfo, «Ventajas e inconvenientes de cada tipo de biomasa», 2014.
- [7] Avebiom, «Índice de Precios de Biomasa, segundo trimestre de 2017», *Índice de Precios de Biomasa, segundo trimestre de 2017*, 2017. Disponible en: <http://www.avebiom.org/es/ind-precios-biomasa>.
- [8] Departamento de Planificación y Estudios, «Informe de Precios Energéticos: Combustibles y Carburantes», p. 2, 2017.
- [9] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), «documentos_PCI_Combustibles_Carburantes_final_valores_Update_2014_08303 76a». .
- [10] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), *Biomasa: Edificios*. 2007.
- [11] iEDES, «Partes de una caldera».
- [12] Norma Española, «CTE. Parte I Modificada», *Código técnico la Edif.*, vol. 2013, 2007.
- [13] E. y T. Ministerio de Industria, «Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios Versión Consolidada (RITE)», 2013.
- [14] «Información aportada por el Instituto de Educación Secundaria ``Reyes de España´´».
- [15] K. W. B. P. Calefacci y K. W. B. P. Calefacci, *Calefacción con astillas de madera Huesos de aceituna y con pelets KWB Powerfire 130-300 kW.* .
- [16] «DINAKALC 4.2». .
- [17] O. S. De, «Catálogo de Tarifas HERZ 2014», p. 85, 2014.
- [18] AENOR, «UNE 100155 capítulo 9», 2004, p. 27.

- [19] S. A. Industrias IBAIONDO, *Catálogo de producto*. .
- [20] IDAE, *Guía Técnica: Procedimiento de inspección periódica de eficiencia energética para calderas*, vol. 5. 2007.
- [21] T. Al-Shemmeri, *Engineering Thermodynamics*, vol. 181, n.º 4615. 2010.
- [22] S. Catálogo de silos, *Tarifa de precios 2013*. 2013.
- [23] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, *Guía técnica Instalaciones de biomasa térmica en edificios*. 2009.
- [24] D. S. Básico, *Seguridad en caso de incendio*. 2016.
- [25] MINETUR, «Factores de emisión de CO2 y coeficientes de paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector de edificios en España», p. 31, 2016.
- [26] CNMC, «Evolución del precio Gasoil Calefacción Andalucía», 2017. Disponible en: <https://www.clickgasoil.com/c/evolucion-del-precio-gasoil-calefaccion-andalucia>.
- [27] E. D. E. L. A. Actuación, *Actuación 17CS: A.4.1.b_ Sistemas de generación de agua o aire caliente mediante equipos de biomasa de alto rendimiento*. 2017.

13 PLANOS

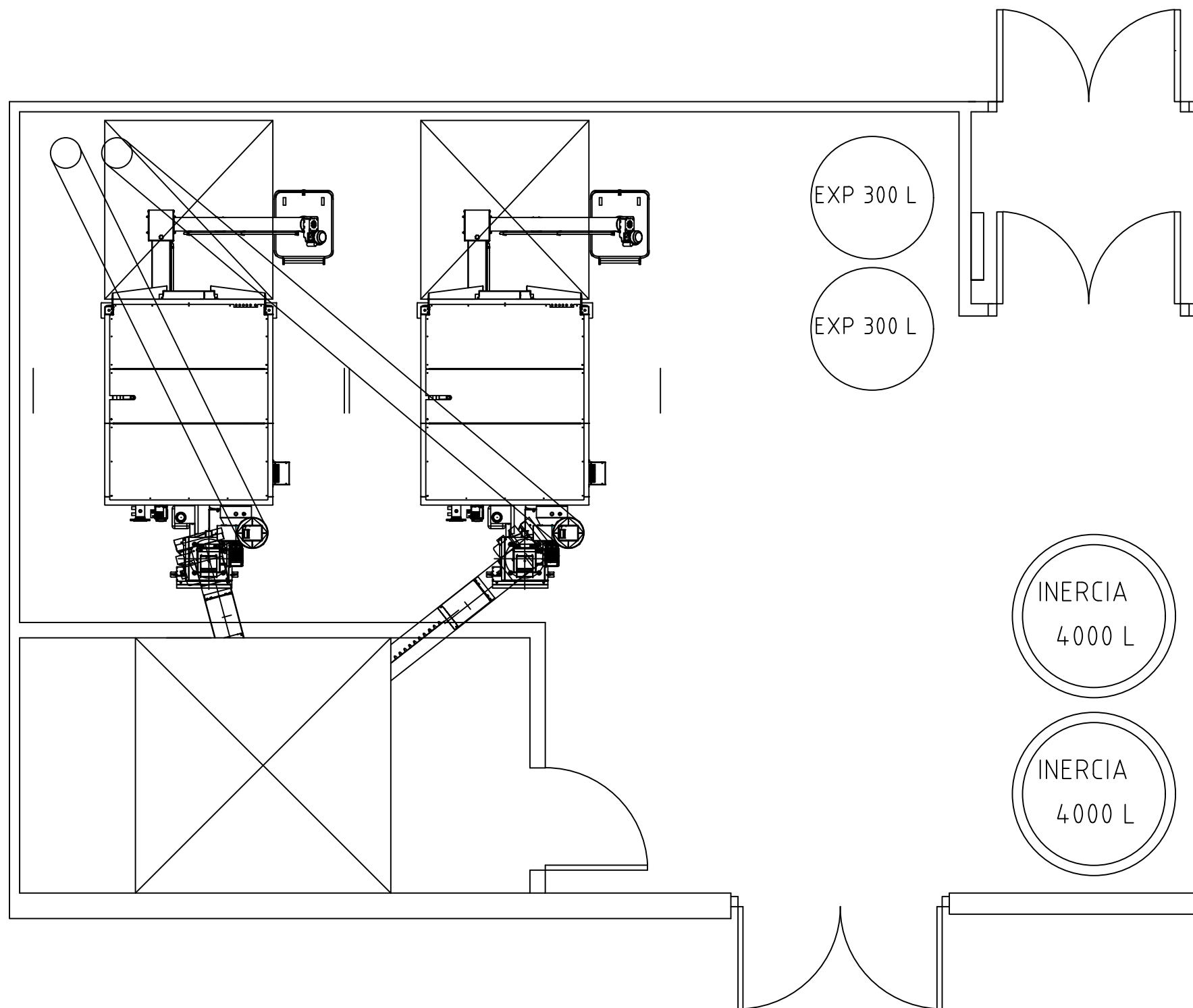
A continuación se incluyen los siguientes planos:

1. Ubicación de la sala de calderas.
2. Sala de calderas.
3. Circuito hidráulico.



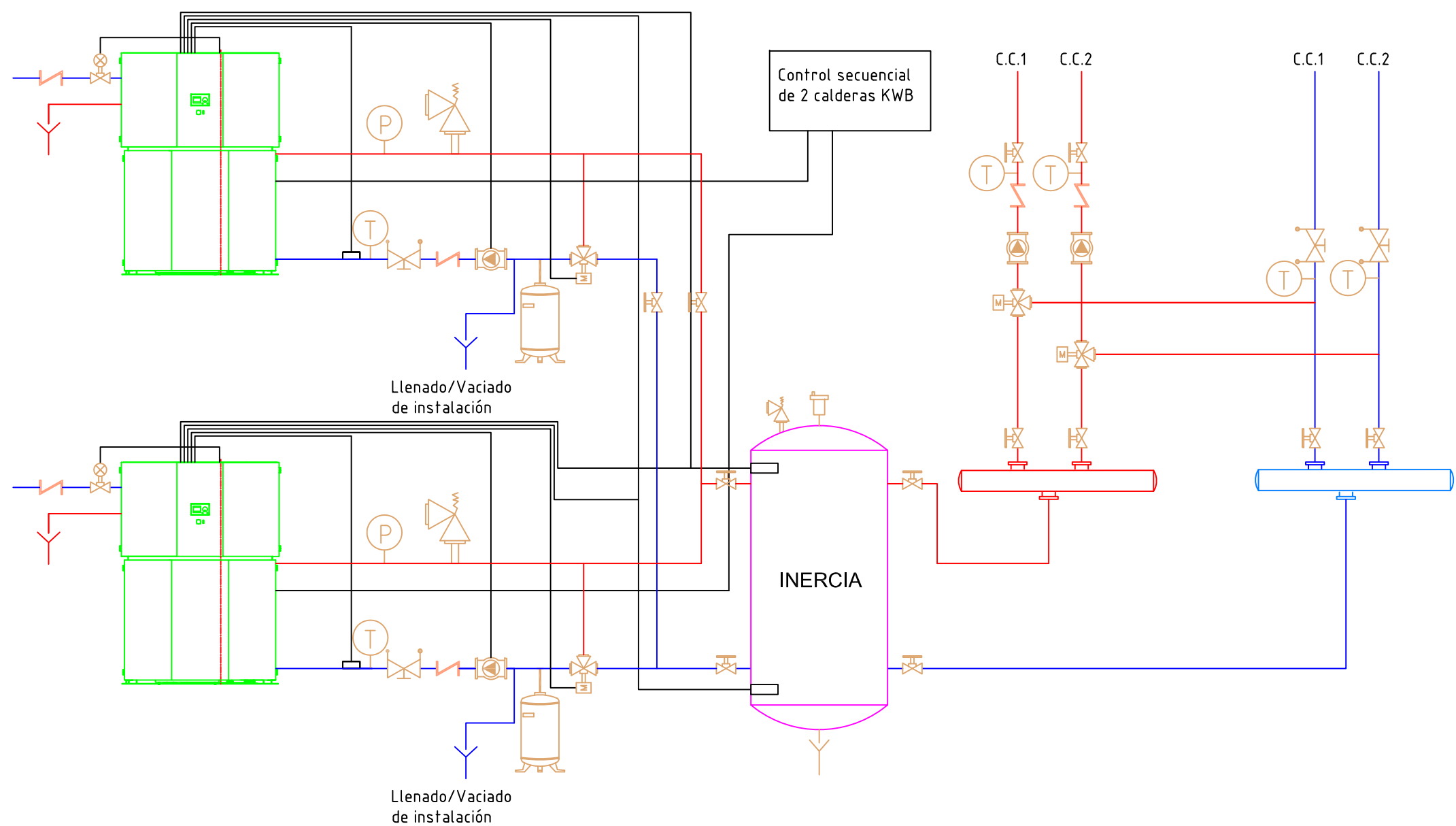
Planta Baja Edificio A

	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO	2/5/2017	PABLO R.I.			
COMPROBADO	19/6/2017	DAVID V.C.			
ESCALA:	Estudio tecno-económico de sustitución de caldera de gasóleo a caldera de biomasa para la calefacción del Instituto de Educación Secundaria "Reyes de España" situado en Linares (Jaén) Ubicación Sala de Calderas				Nº PLANO 1/3
1:200					SUSTITUYE A:
					SUSTITUIDO POR:



	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO	2/5/2017	PABLO R.I.		
COMPROBADO	19/6/2017	DAVID V.C.		
ESCALA:	Estudio tecno-económico de sustitución de caldera de gasóleo a caldera de biomasa para la calefacción del Instituto de Educación Secundaria "Reyes de España" situado en Linares (Jaén) Sala de Calderas			Nº PLANO 2/3
1:50				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:

Circuitos de calefacción (C.C.)



	Válvula de seguridad		Válvula de 3 vías con servo
	Vaso de expansión		Sonda de temperatura ambiente
	Indicadores de presión y temperatura		Sonda de temperatura exterior
	Valvula de descarga térmica		Bomba de circulación
	Valvula de corte		Valvula reguladora de ramal
			Valvula antirretorno

	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO	2/5/2017	PABLO R.I.			
COMPROBADO	19/6/2017	DAVID V.C.			
ESCALA:	Estudio tecno-económico de sustitución de caldera de gasóleo a caldera de biomasa para la calefacción del Instituto de Educación Secundaria "Reyes de España" situado en Linares (Jaén) Circuito Hidráulico				Nº PLANO 3/3
N/A					SUSTITUYE A:
					SUSTITUIDO POR: