



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALENCIA

**Curso Académico:**



# ÍNDICE

1. Introducción .....	3
1.1. Situación energética en España .....	3
1.2. La biomasa como fuente de energía renovable .....	5
1.3. La biomasa como combustible para la industria .....	9
1.4. Las empresas de servicios energéticos (ESEs) .....	11
1.5. Servicios energéticos en proyectos de biomasa .....	16
2. Objetivo del trabajo.....	19
2.1. Descripción.....	19
2.2. Actores que intervienen .....	20
2.3. Contratos entre las partes .....	20
3. Estudio de viabilidad tecnológica y ambiental .....	23
3.1. Situación actual de la Industria.....	23
3.2. Dimensionado de la caldera de Biomasa.....	27
3.3. Tecnologías existentes en la combustión de Biomasa .....	30
3.4. Modelos de calderas. Comparativa y selección.....	34
3.5. Características de la caldera seleccionada .....	36
3.6. Reducción de emisiones de CO <sub>2</sub> .....	42
4. Diseño del proyecto.....	45
4.1. Dimensionado del silo y suministro de Biomasa .....	45
4.2. Descripción del silo de Biomasa .....	47
5. Presupuestos y estudio de viabilidad económica .....	51
5.1. Presupuesto de la caldera de Biomasa .....	51
5.2. Presupuesto del EPC .....	53
5.3. Viabilidad económica.....	55
6. Conclusiones.....	65
7. Bibliografía.....	67



# 1. Introducción

## 1.1. Situación energética en España

Los procesos de captación, transformación y uso de la energía provocan importantes impactos sobre el medio ambiente, además del propio efecto de agotamiento progresivo de los recursos no renovables. Así, los daños más significativos suelen estar asociados a las emisiones atmosféricas contaminantes, a la contaminación de los medios terrestre y acuático y a la generación de residuos.

Entre los impactos más importantes derivados del uso de la energía y principalmente de la combustión de energías fósiles, se cuentan la lluvia ácida, el cambio climático, la destrucción de la capa de ozono estratosférico y la contribución al aumento del ozono troposférico.

Los procesos de transformación de la energía y en concreto, la generación de energía eléctrica a partir de fuentes fósiles emiten a la atmósfera diferentes compuestos contaminantes, SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> (principal gas de efecto invernadero), metales pesados e hidrocarburos, responsables de la acidificación del suelo y aguas naturales y del smog fotoquímico. El 90% de las emisiones de CO<sub>2</sub> que producimos mundialmente tienen un origen energético.

En particular, España se caracteriza por tener una estructura de consumo dominada por productos petrolíferos, es decir, no renovables. A este impacto ambiental le acompaña un aspecto económico y político, y es que estos productos petrolíferos son prácticamente en su totalidad importados, lo que causa junto a una reducida aportación de recursos autóctonos, una elevada dependencia energética exterior, próxima al 80% y superior a la media europea (54%).

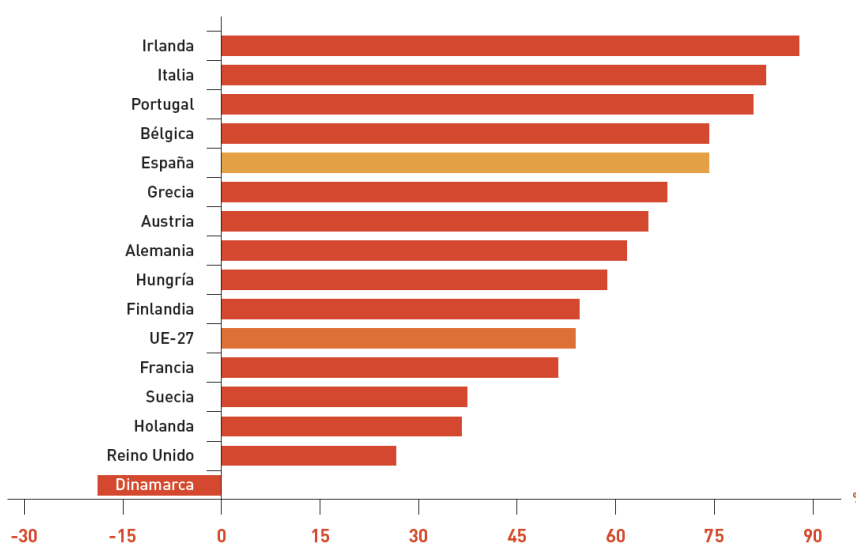


FIGURA 1. Dependencia energética en España y UE27

Fuente: EUROSTAT (2009)/MITYC (2010)

Esta situación experimentó un cierto cambio de tendencia a partir del año 2005 en el marco de las políticas en materia de energías renovables y de eficiencia energética, registrándose una mejora progresiva de nuestro grado de autoabastecimiento hasta alcanzar el 26% en 2010.

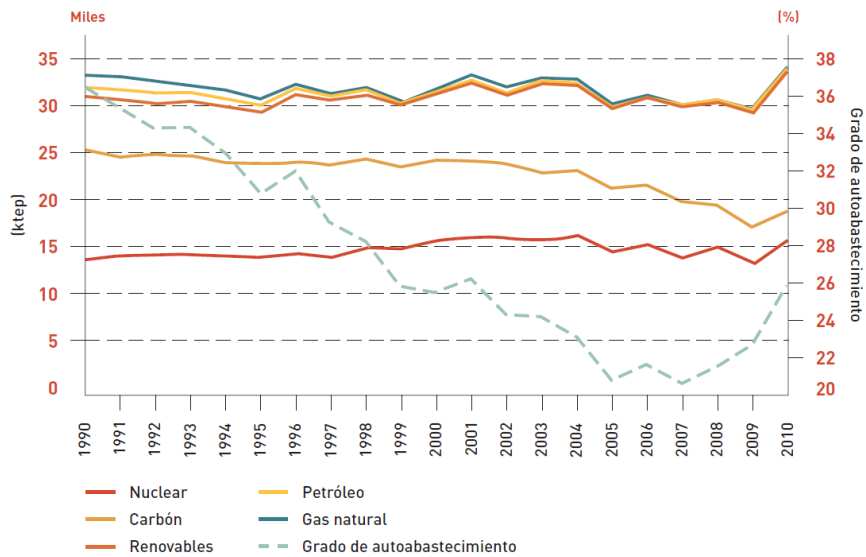


FIGURA 2. Evolución de la producción interior de energía y del grado de autoabastecimiento  
Fuente: MITYC/IDAE

Pese a ello, actualmente más del 80% de nuestro abastecimiento energético proviene de energía fósil y nuclear. En términos de consumo de energía primaria, las energías renovables cubrieron el 13,2% del mismo en 2010. El gráfico siguiente muestra la estructura de este consumo.

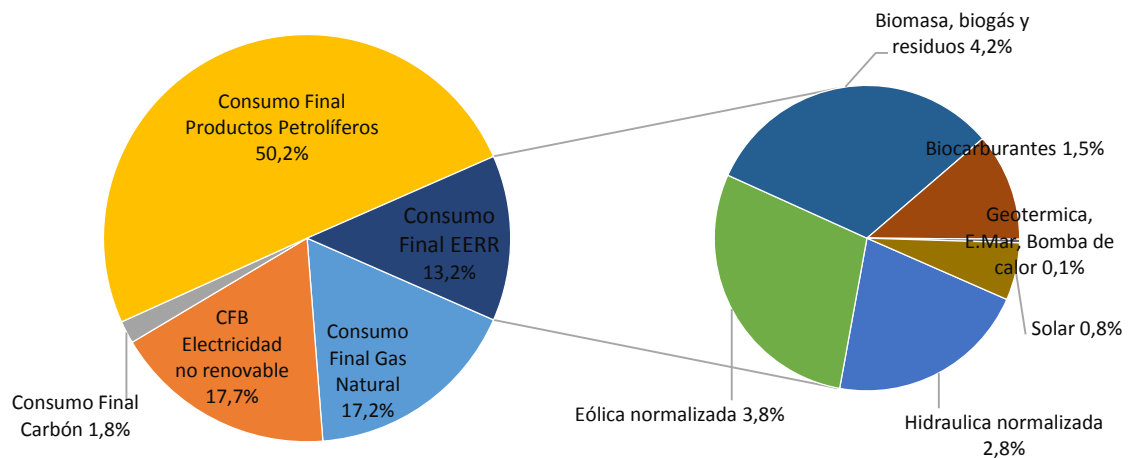


FIGURA 3. Consumo final bruto de energía en España en el año 2010  
Fuente: IDAE, PER 2011-2020.

Por otro lado, la contribución de la electricidad producida por fuentes renovables a la producción bruta de electricidad en España en 2010 fue de un 32,3% y su distribución por fuentes se puede observar en el siguiente gráfico.

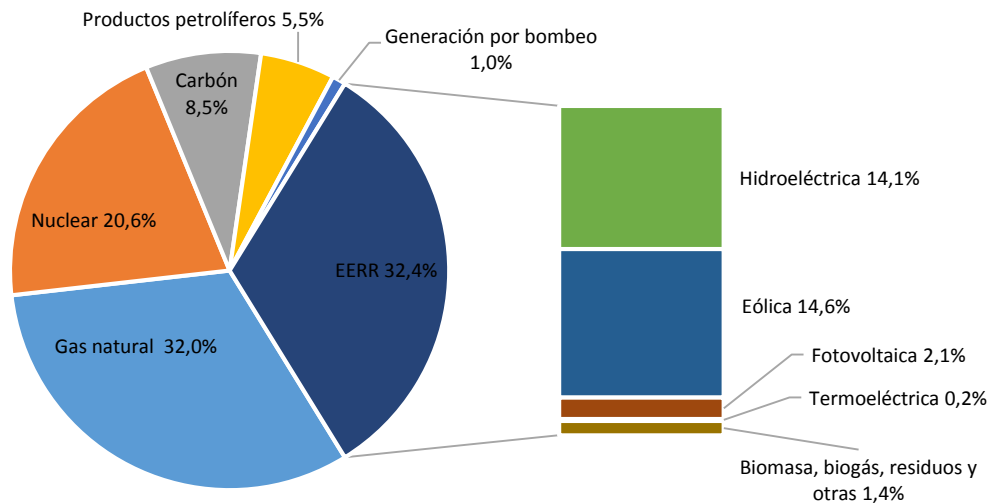


FIGURA 4. Estructura producción eléctrica en España en el año 2010  
Fuente: IDAE, PER 2011-2020.

Actualmente se han producido variaciones con respecto a 2010, cabe indicar, no obstante, que éstas son pequeñas y no modifican prácticamente el reparto de consumo de energía, es decir, tanto el uso de energías de origen no renovable como la dependencia energética nacional a la que va ligado aún siguen siendo considerables.

Las tecnologías a partir de recursos renovables, por tanto, juegan un papel destacado en la consecución de las políticas de freno del cambio climático, puesto que suponen una alternativa ventajosa desde el punto de vista ambiental frente a las opciones convencionales y, del mismo modo aporta un mayor grado de autoabastecimiento energético, lo que se traduce en una mayor estabilidad al no depender de fuentes externas. Por todo ello se hace patente la necesidad de seguir aumentando la contribución de energías renovables al mix energético español. Y es en este punto donde, entre otras, la biomasa cobra protagonismo.

## 1.2. La biomasa como fuente de energía renovable

Entre las energías renovables destaca el uso de productos obtenidos a partir de materia orgánica para producir energía. Estos productos componen lo que se denomina comúnmente "biomasa", una definición que abarca un gran grupo de materiales de diversos orígenes y con características muy diferentes. Los residuos de aprovechamientos forestales y cultivos agrícolas, residuos de podas de jardines, residuos de industrias agroforestales, cultivos con fines energéticos, combustibles

líquidos derivados de productos agrícolas , residuos de origen animal o humano, etc., todos pueden considerarse dentro de la citada definición.

Conviene tener muy presente esta diversidad cuando se quiere realizar una aproximación a una energía que comienza su amplio perfil desde la definición, ya que biomasa, sin la acepción energética, es la cantidad de materia viva presente en un medio o en un organismo.

La Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR), utiliza la definición de la Especificación Técnica Europea CEN/TS 14588 para catalogar la “biomasa” como “todo material de origen biológico excluyendo aquellos que han sido englobados en formaciones geológicas sufriendo un proceso de mineralización”. Entre estos últimos estarían el carbón, el petróleo y el gas, cuya formación y composición hace miles de años no es comparable con lo que llamamos “el balance neutro de la biomasa” en las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). La combustión de biomasa no contribuye al aumento del efecto invernadero porque el carbono que se libera forma parte de la atmósfera actual (es el que absorben y liberan continuamente las plantas durante su crecimiento) y no del subsuelo, capturado en épocas remotas, precisamente como el gas o el petróleo.

La energía que contiene la biomasa es energía solar almacenada a través de la fotosíntesis, proceso por el cual algunos organismos vivos, como las plantas, utilizan la energía solar para convertir los compuestos inorgánicos que asimilan (como el CO<sub>2</sub>) en compuestos orgánicos.

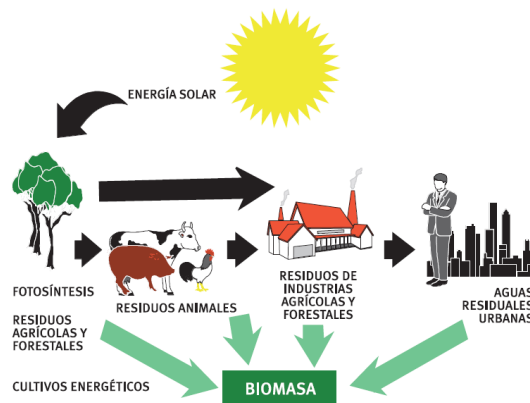


FIGURA 5. Origen de la energía de la biomasa.  
Fuente: IDAE, Energía de la biomasa.

Las instalaciones de producción energética con biomasa se abastecen de una amplia gama de biocombustibles, desde astillas hasta cardos y paja, pasando por huesos de aceituna y cáscaras de almendra. Esta heterogeneidad continúa en los usos de la energía producida con biomasa, pudiendo utilizarse para calefacción y producción de agua caliente en el sector doméstico (viviendas unifamiliares, comunidades de vecinos, barrios o municipios enteros), calor para procesos industriales y generación de electricidad.



El uso de la biomasa como recurso energético, en lugar de los combustibles fósiles comúnmente utilizados, supone unas ventajas medioambientales y socioeconómicas de primer orden:

### 1.2.1. Ventajas medioambientales

Si normalmente a los sistemas de producción de energías renovables se les otorga un beneficio claro, la disminución de la carga contaminante provocada por los combustibles fósiles, en el caso de la biomasa existen otros beneficios como propiciar el desarrollo rural y proporcionar el tratamiento adecuado de residuos, en algunos casos contaminantes, o gestionar los residuos procedentes de podas y limpiezas de bosques limitando la propagación de incendios. El aprovechamiento de la masa forestal residual como combustible para calderas de biomasa es una de las soluciones para facilitar el saneamiento de los bosques. En este último caso podrían incluirse los rastrojos y podas agrícolas, cuya quema tradicional en el campo conlleva un riesgo añadido de incendios, y que pueden encontrar un nuevo mercado en la producción de energía.

Otro aspecto a tener en cuenta es la posible reforestación de tierras agrícolas o deforestadas con cultivos energéticos, herbáceos o leñosos, con destino a la producción de biomasa, que aumentarían la retención de agua y la disminución de la degradación y erosión del suelo.

Respecto a las aplicaciones energéticas, las calderas modernas de biomasa no producen humos como las antiguas chimeneas de leña, y sus emisiones son comparables a los sistemas modernos de gasóleo C y gas. La composición de estas emisiones es básicamente parte del  $\text{CO}_2$  captado por la planta origen de la biomasa y agua, con una baja presencia de compuestos de nitrógeno y con bajas o nulas cantidades de azufre, uno de los grandes problemas de otros combustibles. La mayor ventaja es el balance neutro de las emisiones de  $\text{CO}_2$ , al cerrar el ciclo del carbono que comenzaron las plantas al absorberlo durante su crecimiento, ya que este  $\text{CO}_2$  sólo proviene de la atmósfera en la que vivimos y necesita ser absorbido continuamente por las plantas si se desea mantener en funcionamiento la producción energética con biomasa.

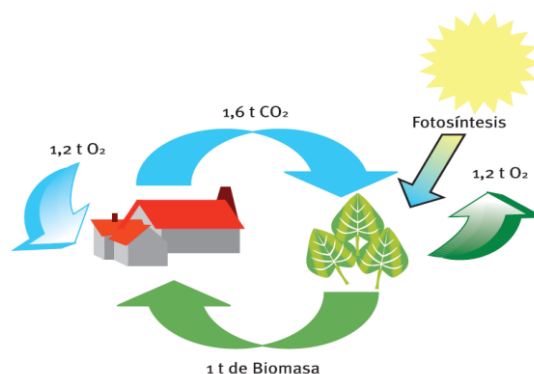


FIGURA 6. Ciclo neutro del  $\text{CO}_2$  de la biomasa.  
Fuente: IDAE, Energía de la biomasa.

### *1.2.2. Ventajas socioeconómicas*

A lo largo de la Historia de la Humanidad, la aparición de los núcleos rurales, en primer lugar, y posteriormente de las grandes urbes ha estado asociada a las actividades productivas y mercantiles de las distintas regiones. Cuanto mayor fuera esta actividad, mayor sería el núcleo de población. De forma inversa, durante estos últimos años la mejora de las técnicas de producción en el sector agroforestal ha disminuido las necesidades de una población estable, cercana a las áreas de producción. La disminución de los precios de muchos productos rurales ha provocado un descenso en los ingresos de este sector, quedando en muchos casos como empleo marginal.

El fomento de la producción de biomasa para uso energético permite el desarrollo de una nueva actividad en las áreas rurales, sobre la base de un mercado con una demanda continua y sin fluctuaciones, que genera puestos de trabajo estables, bien remunerados y supone una nueva fuente de ingresos para las industrias locales. De acuerdo con lo expuesto por el Comité de las Regiones en su dictamen sobre el Libro Blanco de las Energías Renovables, a igual potencia instalada se crean hasta cinco veces más puestos de trabajo con energías renovables que con combustibles convencionales.

Esta oferta de empleo permite fijar la población en los núcleos rurales evitando algunos de los problemas sociales derivados de la migración hacia las grandes ciudades, como son el abandono de las actividades del mundo rural, el abandono de nuestros pueblos y la aparición de zonas marginales y desempleo en las grandes ciudades.

El aumento de ingresos de las industrias locales y el aumento de la población dan lugar a la aparición de nuevas infraestructuras y servicios en áreas rurales, como son las carreteras, los centros hospitalarios y educativos, y los servicios a la población en general. Esta sinergia aumenta aún más el empleo y la calidad de vida en los núcleos rurales.

Por otro lado, la aparición de una segunda fuente de ingresos en las industrias agrícolas y forestales, a través de la venta de sus residuos para la generación de energía, equilibra las fluctuaciones de los mercados de los productos principales de las citadas industrias, dando una mayor seguridad a empresarios y empleados.

Desde el punto de vista de los agricultores, la posibilidad de dedicar parte de sus terrenos a prácticas distintas de las tradicionales (alimentación humana o animal, sector del papel, del mueble, etc.) supone un equilibrio en sus ingresos anuales a través de un mercado más amplio para sus productos. En definitiva, se incentiva el desarrollo rural al poner en valor tierras yermas o nuevas áreas agrícolas en las que se pueden implantar cultivos energéticos. A su vez, se le da un valor a los residuos para que sean aprovechados y reutilizados, como los rastrojos y los restos de trabajos silvícolas.

Por otro lado, la contribución a una menor dependencia externa en el suministro de combustibles, además de facilitar el desarrollo rural, es una de las bazas macroeconómicas más sobresalientes de la energía procedente de la biomasa. Tanto el

uso de biomasa en calefacciones de viviendas unifamiliares, como en calefacciones centralizadas de edificios o en redes de calefacción centralizadas son alternativas viables al consumo de gas natural y otros combustibles fósiles, como el gasóleo de calefacción, que pueden verse favorecidas y ampliadas si se desarrollan normas que promuevan e incentiven su implantación a nivel local, regional y nacional.

En la misma situación se encuentran las centrales de producción eléctrica específicas de biomasa, las de co-combustión y las instalaciones industriales alimentadas con biomasa. Cualquier medida que incentive y ayude estos procesos conllevará una mayor producción y un incremento de la contribución de las energías renovables.

Actualmente la mayoría de las aplicaciones térmicas en edificios o redes centralizadas con biomasa generan un ahorro, derivado del consumo de energía, superior al 10% respecto a uso de combustibles fósiles, pudiendo alcanzar niveles aún mayores según el tipo de biomasa, la localidad y el combustible fósil sustituido.

### 1.3. La biomasa como combustible para la industria

La biomasa residual sólida se presenta como combustible alternativo para numerosas industrias que necesitan calor en sus procesos y servicios. Su interés para el sector industrial reside en su aceptable poder calorífico, buen comportamiento como combustible y su bajo coste. Algunos ejemplos de este tipo de biomasa son: la cáscara de almendra, el orujillo, las podas de frutales, el serrín, el hueso de aceituna, etc.

Estos combustibles pueden sustituir a los combustibles fósiles en procesos industriales que necesitan aporte térmico, como son el secado, la producción de agua caliente, vapor, aceite térmico, etc.

El contenido energético de la biomasa se mide a través de su poder calorífico. La tabla de la página siguiente recoge el poder calorífico inferior (PCI) para distintos contenidos de humedad de los recursos de biomasa más habituales.

Productos		Humedad (%)	PCI (kcal/kg)	Humedad (%)	PCI (kcal/kg)
Leñas y ramas	Coníferas	20	3.590	40	2.550
	Fronosas		3.310		2.340
Serrines y virutas	Coníferas	15	3.790	35	2.760
	Fronosas autóctonas		3.580		2.600
	Fronosas tropicales		3.780		2.760
Cortezas	Coníferas	20	3.650	40	2.650
	Fronosas		3.370		2.380
Vid	Sarmientos	20	3.280	40	2.310
	Ramilla de uva	25	2.950	50	1.770
	Orujo de uva	25	3.240	50	1.960
Aceite	Hueso	15	3.860	35	2.810
	Orujillo		3.780		2.760
Cáscara frutos secos	Almendra	10	3.940	15	3.690
	Avellana		3.710		3.470
	Piñón		4.090		3.830
Cacahuete		10	3.480	15	3.260
Paja de cereales		10	3.630	20	3.160
Cascarilla de arroz		10	3.370		
Girasol	Residuo del campo	10	3.310	15	3.090
Papel	Cartón, papel vario	5	3.780	10	3.630
	RSU frac. Plást.-pap.		4.480		4.210

FIGURA 7. Poderes caloríficos de distintos tipos de biomasa.  
Fuente: CIEMAT.

Para otros porcentajes de humedad, que afectan directamente a dicho PCI, se puede aplicar un factor de corrección aproximado como se indica en la gráfica.

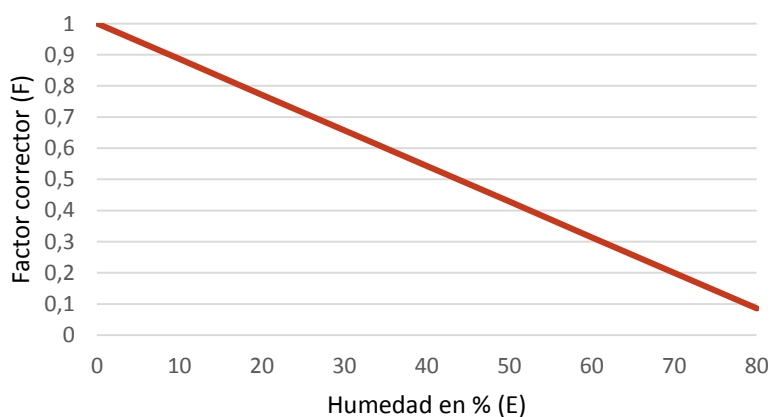


FIGURA 8. Factor de corrección del PCI de la biomasa.  
Fuente: IDAE. Biomasa: Industria.

Esta variedad de combustibles, unida a la capacidad de adaptación de las tecnologías de aprovechamiento energético a los diferentes recursos existentes, provocan que en la actualidad muchas de las actividades industriales puedan llegar a satisfacer toda o parte de su demanda energética con biomasa. Con los equipos que en la actualidad existen en el mercado se pueden conseguir rendimientos de combustión muy elevados; los rendimientos en los procesos industriales de elevada potencia pueden llegar a alcanzar hasta el 95% si se acoplan equipos de recuperación de calor. Los avances tecnológicos conseguidos, tanto en los sistemas de alimentación de la biomasa como en los equipos de combustión, hacen que en muchas ocasiones sean tan eficientes, cómodos y competitivos como los basados en combustibles fósiles. En general, una planta de combustión de biomasa consta de los siguientes sistemas:

- Almacenamiento de combustible.
- Transporte del combustible al equipo de combustión.
- Equipos y cámara de combustión.
- Caldera (vapor, agua caliente, aceite térmico).
- Recuperadores auxiliares de calor.
- Depuración de gases.
- Extracción de cenizas.

Existen diferentes tecnologías para llevar a cabo la combustión de la biomasa: cámaras de parrilla, combustión en lecho fluido, etc. También puede utilizarse biomasa en hornos industriales. Otro método empleado en las industrias que utilizan biomasa como combustible es la gasificación. Este método consiste en la producción de un gas, a partir de la biomasa, y emplearlo para la producción de energía térmica y eléctrica. De este modo se obtiene un proceso con un rendimiento más elevado aunque también supone un incremento en la inversión. En función de las características del recurso y de la demanda (energía a baja o a alta temperatura y cantidad de la misma a suministrar) puede ser más idóneo uno que otro, pero en todos los casos, los avances tecnológicos antes mencionados proporcionan tanta seguridad como los sistemas basados en combustibles fósiles, con la ventaja de que el coste y las emisiones disminuyen. El primer paso que toda industria debe dar para valorar la posibilidad del aprovechamiento energético de la biomasa es evaluar la cantidad y calidad de los recursos de biomasa propios o de los productores/distribuidores a los que tenga acceso, de manera que se obtenga el combustible a bajo coste.

#### 1.4. Las empresas de servicios energéticos (ESEs)

En su origen, la actividad prioritaria era promover nuevos mecanismos de financiación basados en los instrumentos de “Financiación por Terceros” y “Contratos de Rendimiento Energético” (Energy Performance Contracting, EPC). En ellos, los diversos flujos entre los actores del proyecto pueden ser descritos según el diagrama de la siguiente figura.

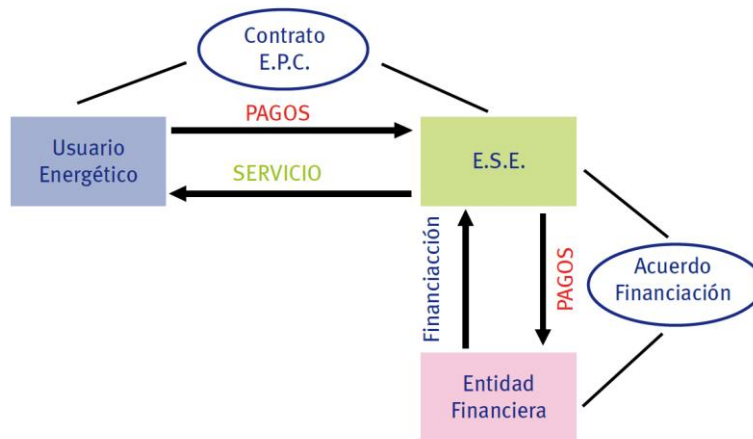


FIGURA 9. Flujos en la modalidad de financiación por terceros.  
Fuente: IDAE. Biomasa: Empresas de servicios energéticos.

En los últimos tiempos se ha observado una marcada tendencia a emplear el nombre de ESE para compañías que, sin duda, también prestan determinados “servicios energéticos”, pero sin involucrar la financiación de los mismos. Esta nueva tendencia engloba a las clásicas actividades de externalización de servicios: mantenimiento y conservación, suministro de combustible, gestiones administrativas y comerciales, etc.

En este nuevo contexto, los flujos generados pueden ser representados con más exactitud por la siguiente figura:

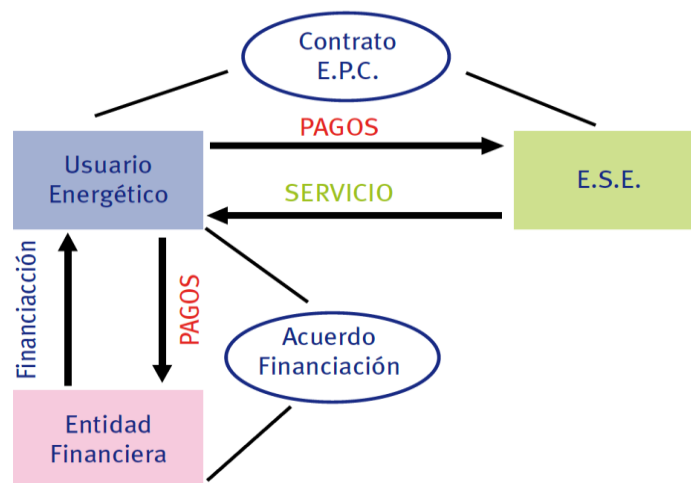


FIGURA 10. Servicios energéticos con financiación propia.  
Fuente: IDAE. Biomasa: Empresas de servicios energéticos.

Los dos diagramas muestran las manifestaciones extremas de cada variante. Por supuesto, es posible encontrar situaciones mixtas. La forma más habitual consiste en una empresa responsable de la externalización de tareas: aprovisionamiento, mantenimiento, etc. y con participación parcial o indirecta en la financiación del proyecto de mejora y sustitución.

### 1.4.1. Financiación por terceros

Para facilitar la realización de proyectos con biomasa y otros proyectos que implican ahorro de energía con inversiones significativas surgió el concepto de financiación por terceros. La idea básica de este modo de financiación consiste en que las inversiones no las realiza el propio usuario, sino un agente externo que tiene como negocio la energía y no tiene problemas de inversiones a largo plazo. En este tipo de financiación es donde aparecen las empresas de servicios energéticos. Se pueden definir como aquellas empresas de carácter público o privado, que son capaces de ofrecer al cliente servicios globales de estudio energético, ejecución de proyecto, mantenimiento y operación y financiación en una oferta llave en mano. Por consiguiente, aglutinan en una sola firma tres tipos de recursos: capital, conocimientos técnicos y gestión.

La Empresa de Servicios Energéticos recupera el coste total de las inversiones, incluyendo su beneficio, mediante los ahorros generados, de forma condicionada y proporcional a los mismos. Esta Sociedad es quien realmente hace la inversión, por lo que no se puede hablar de tipo de interés, sino de rentabilidad de la inversión realizada.

Por lo tanto, en una operación de financiación por terceros los agentes que intervienen son los siguientes:

- Empresa de Servicios Energéticos.
- Usuario en cuyas instalaciones se realiza el Proyecto.
- Agente financiero, que en muchos casos puede ser la propia Empresa de Servicios Energéticos.

Este esquema permite que los usuarios de energía continúen enfocados sus recursos a su actividad productiva principal, mientras que la ESE se encarga de la modernización, mediante la integración de proyectos con ahorros energéticos y económicos garantizados. La relación entre el consumidor de energía y la ESE tendrá que ir regulada por un “Contrato de Rendimiento Energético”. Esta forma contractual representa un área legal de relativa novedad y resulta más compleja que los clásicos contratos de suministro energético.

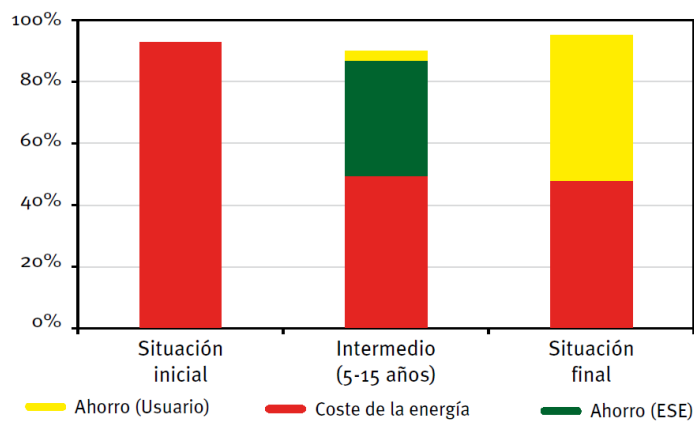


FIGURA 11. Reparto de costes energéticos.

Fuente: IDAE. Biomasa: Empresas de servicios energéticos.

De manera muy general, y para efectos de comprender los flujos monetarios que tienen lugar en un proyecto de estas características, se puede dividir en tres etapas:

- Antes de realizar el proyecto. Aún no se han realizado inversiones y, por lo tanto, no se ha aprovechado el potencial de ahorros o de generación.
- Duración del contrato (típico 5 a 15 años). Una vez realizado el proyecto, y durante un lapso menor a su vida útil, los ahorros se comparten entre usuario y ESE, para la recuperación de su inversión. Los equipos son propiedad de la ESE y, por lo común, operación y mantenimiento corren por su cuenta.
- Vida útil después del período de contrato. Los equipos son ya propiedad del usuario de energía (contrato de compra-venta con un precio nulo) y todos los ahorros generados son en beneficio del usuario, quien se responsabiliza de la operación y mantenimiento; ya no existe relación contractual.

No está de más recalcar que, el principal beneficio económico de los proyectos realizados a través de la “Financiación por Terceros”, es que permiten a los usuarios de energía realizar nuevas instalaciones o mejoras sin necesidad de realizar inversiones, ya que la ESE pone los recursos necesarios y recupera su inversión con los flujos generados por los proyectos.

En la industria, los consumos energéticos están más ligados al proceso industrial mientras que en los sectores domésticos y de servicios (sector terciario), los consumos energéticos están más ligados al clima y a la ocupación.

Las principales ventajas de un proyecto tipo con este sistema son:

- Nula o muy baja inversión por el cliente.
- Garantía de resultados frente a pagos condicionados por unidad energética.
- Ahorros energéticos y económicos a largo plazo.
- El cliente se enfoca a su área de negocio y se despreocupa de la instalación.
- Se transfieren los riesgos técnicos y financieros a la ESE.
- En algunos casos se incluye formación, operación y mantenimiento.
- No supone ningún adeudo o carga financiera para el usuario.
- Modernización de equipos y sistemas, generalmente ofreciendo mayor confort.
- Rapidez en el desarrollo del proyecto, al gestionarlo una empresa especializada.

Optimización del proyecto, al tener la ESE una visión orientada a ahorros, en lugar de la minimización de inversiones.

#### *1.4.2. Externalización de servicios*

En todas las instalaciones consumidoras de energía existen tres actividades con clara diferenciación:

- Suministro del vector energético (combustible, energía eléctrica, etc.).



- Operación de la unidad.
- Conservación y mantenimiento.

Los usuarios (propietarios) de esta clase de plantas, en su gran mayoría, no se dedica al propio negocio energético y las tres actividades anteriores suelen contratarlas de diferentes maneras según la amplia casuística derivada de la actividad o propiedad (particular, colectiva, industrial, servicios, etc.), combustible utilizado (biomasa, gasóleo, GLP, gas natural, etc.).

En los últimos años, las compañías de gas o gasóleo han incorporado entre sus servicios gran parte de las tareas propias de la instalación. Por otra parte, los usuarios están encontrando más cómodo y, en muchos casos rentable, externalizar las diferentes funciones hacia empresas especializadas. La suma de ambas tendencias origina dos tipos de empresa.

- *Empresas tradicionales*

Se denominan así por responder al concepto clásico del negocio energético: el propietario de la instalación es el gestor en último término y contrata de forma independiente los distintos servicios necesarios para el correcto funcionamiento de la planta.

Por ejemplo, como se indica en el nuevo Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), la legislación establece que los propietarios asumen la responsabilidad de utilizar y conservar de forma apropiada las instalaciones, obligando a contratar con una empresa autorizada de mantenimiento y reparación de instalaciones térmicas. Sin embargo, la compra de la energía necesaria no es responsabilidad de esta empresa, sino directamente de los propietarios de la instalación.

Las ESEs que operan según esta modalidad ofertan sus diferentes prestaciones: combustible, operación, mantenimiento, etc. por un precio ligado directamente al suministro o ejecución de cada especialidad.

- *Empresas de nueva orientación*

En este caso, la ESE suministra el producto energético final. Por ejemplo, si se trata de calefacción o refrigeración, la ESE se responsabiliza de la temperatura del fluido climatizador (calefacción o refrigeración), horario de suministro, intervalo anual de cada servicio en que el usuario recibe la climatización, siendo de su competencia el suministro de combustible, conservación, operación del sistema, mantenimiento, trámites administrativos, etc.

Las ESEs de este grupo actúan desarrollando proyectos relacionados con un gran espectro de medidas y asumen riesgos técnicos y económicos asociados con el suministro. Típicamente los servicios ofrecidos por este tipo de empresas son:

- Desarrollo, diseño y tramitación de proyectos de ahorro o sustitución de energía, por ejemplo, biomasa.
- Instalación y mantenimiento del equipo o sistema eficiente.
- Suministro del combustible más apropiado según instalación y condiciones de mercado.
- Garantía de reducción del precio de la energía consumida.

La principal diferencia reside en que la inversión la realiza el usuario de la instalación y, por lo tanto, es suya la propiedad desde que comienza a funcionar. En el caso particular de la biomasa, actualmente la gestión de la ESE permite al usuario reducir su cuota mensual desde el primer mes, a través de la asistencia en la gestión de ayudas públicas y subvenciones que reduzcan el gasto inicial, y una financiación muy favorable.

Los Contratos de Servicios Energéticos especifican los objetivos y alcances de los servicios ofrecidos, así como los compromisos y estimaciones energéticas que se van a asumir. Para una misma instalación pueden existir uno o varios contratos. Por ejemplo, en el caso de la biomasa, puede realizarse un contrato para la sustitución de una sala de calderas poco eficiente de gasóleo o carbón por un sistema moderno con biomasa, y, adicionalmente, realizar otro contrato para el suministro del combustible, la supervisión y el mantenimiento de la instalación.

### 1.5. Servicios energéticos en proyectos de biomasa

La creciente escalada del precio del petróleo y del gas natural indexado al anterior, está suponiendo un escenario muy favorable para la implantación de las energías renovables.

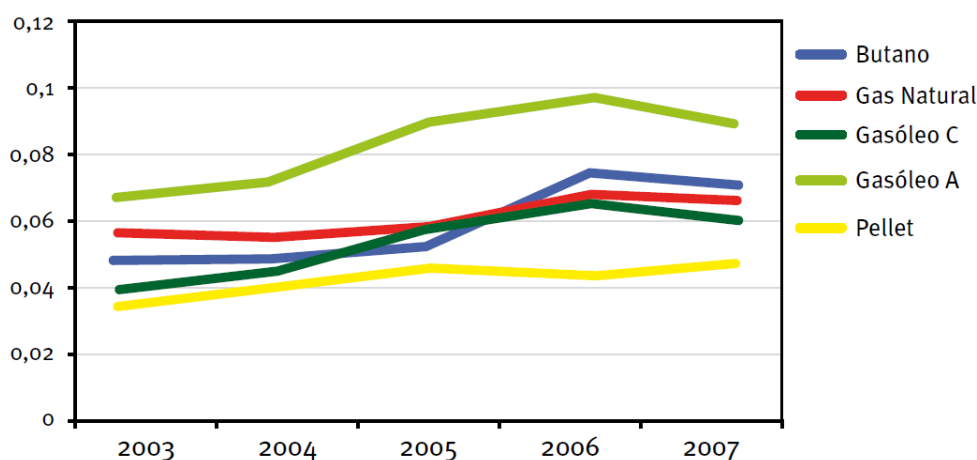


FIGURA 12. Evolución precios combustibles entre 2003 y 2007 (€/kWh)

Fuente: IDAE. Biomasa: Empresas de servicios energéticos.

La figura anterior es una representación gráfica de la evolución de los precios de los principales combustibles. En apoyo de la biomasa cabe decir, que no solo el precio actual es favorable, también todas las previsiones sobre evolución futura de estas variables apuntan hacia la ampliación de las diferencias.

El comportamiento favorable de los precios ha permitido que, en los últimos años, la reducción en los costes variables de las instalaciones de calefacción con biomasa hayan compensado sobradamente los mayores costes de la inversión en equipos, presentando, a medio y largo plazo, un balance acumulado muy favorable, según se muestra en la siguiente figura:

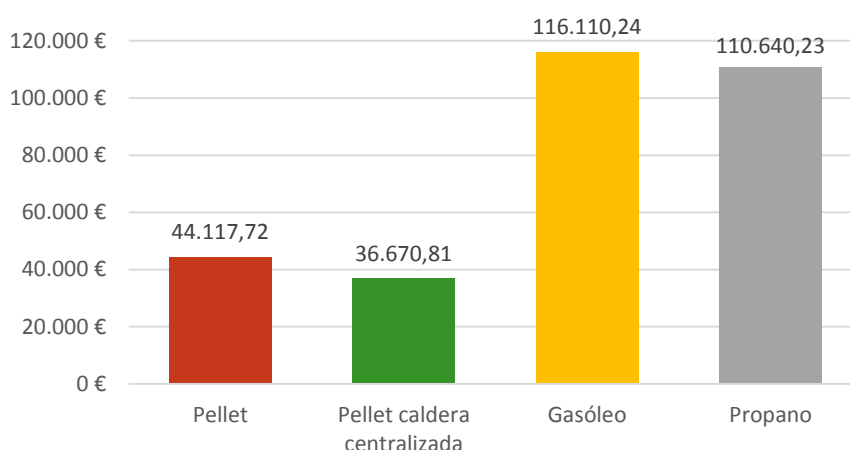


FIGURA 13. Comparación coste acumulado de varios sistemas de calefacción en 20 años (Instalación, financiación, mantenimiento, alquiler depósito, combustible)  
Fuente: IDAE. Biomasa: Empresas de servicios energéticos.

Las empresas de servicios energéticos proporcionan la asistencia técnica necesaria para planificar, diseñar, instalar, operar y mantener instalaciones más eficientes, aportando o financiando total o parcialmente el capital necesario para realizar las inversiones, y asesorando en los asuntos legales relacionados. Este esquema permite trasladar la mayor parte de los riesgos asociados del usuario de energía a la ESE, que puede asumirlos gracias a su mayor experiencia energética haciendo de puente entre consumidores y suministradores de energía y tecnología.

La recuperación de la inversión y el pago de los servicios se realizan en base a la energía generada. Las ESEs asumen el riesgo técnico y financiero asociado al proyecto, reduciendo así los costes derivados de la financiación y haciendo más atractivos los proyectos de generación energética. La recuperación de la inversión se produce con una parte de las ventas de energía, garantizando al usuario desde el principio un beneficio. Dicho de otra manera, los usuarios tienen asignado un precio por unidad energética vendida y las ganancias de la empresa de Servicios Energéticos dependen de la diferencia entre los precios externos y las eficiencias que se consiguen.



## 2. Objetivo del trabajo

### 2.1. Descripción

Se va a estudiar la posibilidad de sustitución de una caldera de producción de vapor que funciona con gas natural (GN) por una que funcione con biomasa, se buscará de este modo la consecución de dos objetivos:

- Reducir el impacto ambiental que generan las emisiones de GN a la atmósfera, al sustituir este combustible fósil por uno renovable como es la biomasa.
- Generar un ahorro económico debido a la diferencia de precios que se da entre el GN y la biomasa.

Este trabajo es la adaptación académica de una parte de un proyecto que se está llevando a cabo en la empresa en la cual estoy realizando prácticas profesionales. En concreto es el estudio de viabilidad económica de la sustitución de caldera, este estudio se desarrollará con dos variantes de contrato posibles, que más adelante se describirán. Es, por tanto, un estudio de un caso real, con datos auténticos y soluciones que tendrán aplicación futura.

La caldera actual forma parte de la planta de producción de una industria que se dedica a la producción textil, en concreto, se dedica a la fabricación de artículos confeccionados con textiles (actualmente todo lo relacionado con la cama, mantas y colchas) excepto prendas de vestir. La planta tiene unos 20.000 metros cuadrados de superficie, consume aproximadamente 4.000.000 kWh/año de energía eléctrica y unos 9.000.000 kWh/año de gas natural. Este gran consumo energético y, en concreto, de gas natural conlleva a su vez un gran potencial de ahorro, lo que hace realmente interesante este proyecto.

A la industria le llega GN de la red de distribución, éste se distribuye por toda la planta y con él se alimenta a los siguientes equipos consumidores:

- Caldera de aceite térmico.
- Secadores.
- Caldera de vapor.

Cada uno de estos equipos cuenta con un contador específico, por lo que se pueden estudiar los consumos por separado en función de la aplicación a la que vayan destinados, esto permite estudiar el consumo de GN de la caldera que se pretende sustituir de forma exacta.

La caldera de gas natural generadora de vapor es de 3.718 kW, ésta abastece a toda la planta productiva del vapor necesario para los distintos procesos de confección textil que requieren de un aporte del mismo.

Se pretende, en estas condiciones, sustituir la caldera de vapor de GN por una equivalente que funcione con biomasa y que sea capaz de suministrar el mismo caudal

de vapor y en las mismas condiciones de presión y temperatura que la caldera original proporcionaba. De este modo la planta funcionará en las mismas condiciones pero haciendo uso de un combustible renovable, con las ventajas que ello conlleva.

## 2.2. Actores que intervienen

Dada la complejidad que se da en los contratos de servicios energéticos que se van a describir y la confidencialidad que debe mantenerse en cuanto a las empresas que en éstos intervienen, ya que, como se ha dicho, éste es un proyecto real en el que intervienen empresas auténticas, se hace necesario definir anónimamente las partes que en él interaccionan.

- En primer lugar se encuentra una empresa del sector textil, dedicada a la fabricación, comercialización, distribución y venta al por mayor y detalle de hilados tejidos y acabados en toda clase de materias textiles, a la cual se le llamará la “Industria”.
- En segundo lugar, una empresa de ingeniería en la cual estoy desarrollando las prácticas y que de aquí en adelante recibirá el nombre de la “Ingeniería”.
- Por último, una empresa suministradora de biomasa y empresa de servicios energéticos, a la que se le llamará el “Suministrador”. Esta empresa puede actuar como simple suministrador de biomasa o como suministrador y ESE en función del contrato que se lleve a cabo.

Estos tres actores se relacionan contractualmente para el desarrollo del proyecto de sustitución de la caldera. Se proponen dos modelos de contrato distintos que a continuación se describirán, correrá a cargo de la Industria (que es el cliente final) decidir con cuál quiere proceder.

## 2.3. Contratos entre las partes

En este contexto se valorarán y se le ofertarán a la Industria dos modelos de contrato para que escoja el que más se adapte a sus necesidades y preferencias.

### 2.3.1. EPC y suministro

Es la primera de las dos opciones, la Industria firma con el Suministrador un contrato que incluye:

- El suministro de biomasa.

- Opcionalmente, la operación y el mantenimiento de la instalación completa de vapor (O&M).

En este caso, por tanto, el Suministrador no ejerce como empresa de servicios energéticos. Por otra parte, la industria contrata la instalación y puesta en servicio de la caldera a la Ingeniería con un modelo de contrato EPC<sup>1</sup>. La Industria, por tanto, firma dos contratos (uno con cada parte).

La inversión inicial, es decir, la compra de la caldera, corre por cuenta de la Industria (que deberá buscar financiación externa) y, por tanto, el equipo generador de vapor es de su propiedad desde el primer instante. El contrato de suministro y la O&M (opcional) se fija para un determinado número de años. Con un precio por tonelada de biomasa constante a lo largo de ese período, sólo revisable por el IPC, la Industria se asegura un buen precio del combustible que le permite ahorrar y recuperar la inversión realizada. Un esquema de las relaciones contractuales entre las partes en esta opción podría ser el siguiente.

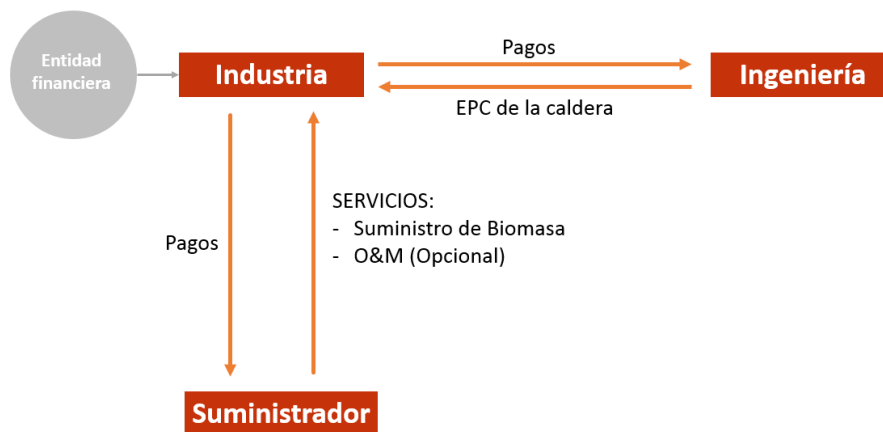


FIGURA 14. Relaciones entre las partes en el contrato de EPC y suministro.  
Fuente: Elaboración propia.

### 2.3.2. Servicios energéticos

Esta segunda opción es más compleja, consiste en un contrato entre la Industria y el Suministrador en el que este último le ofrece servicios energéticos al primero. En concreto garantiza un precio por tonelada de biomasa a la Industria, lo que se traduce en un menor coste por kWh térmico para la Industria que el que tenía usando GN como combustible. El Suministrador (como ESE) se hace cargo de la inversión inicial, la instalación del equipo, la O&M y el suministro de biomasa durante 12 años. En este período los ahorros producidos se reparten entre las dos partes, de este modo la

<sup>1</sup> El modelo EPC (Engineering, Procurement and Construction), conocido en español como contrato llave en mano, es un tipo de contrato en el que el promotor recibe la infraestructura ya en funcionamiento sin tener que realizar ni burocracia ni otras formalidades, muchas veces tiene el mantenimiento asignado. No debe confundirse con EPC (Energy Performance Contract).

inversión realizada por el Suministrador se recupera y se generan beneficios. La instalación es propiedad del Suministrador durante este período y, posteriormente (cuando pasen los 12 años), pasa a ser de la industria. La instalación y puesta en servicio de la nueva caldera sigue estando a cargo de la Ingeniería, pero en este caso estará subcontratada por la ESE mediante un EPC. De nuevo un esquema de las relaciones facilita la comprensión.

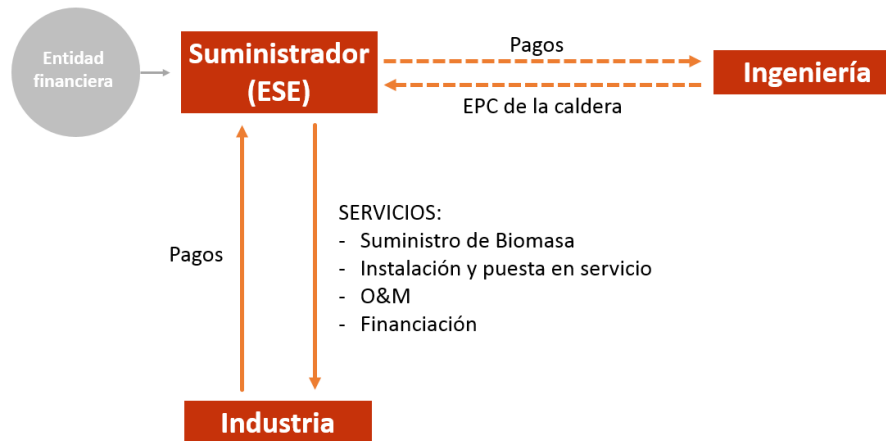


FIGURA 15. Relaciones entre las partes en el contrato de servicios energéticos.  
Fuente: Elaboración propia.

Esta última opción es muy interesante para la Industria ya que no ha de realizar ninguna inversión inicial por lo que puede seguir centrando sus esfuerzos en su actividad económica, que es la producción textil. La Industria pasará a tener un equipo generador de vapor completamente nuevo y una instalación operada y mantenida por profesionales de ese campo, es decir, no sólo ahorrará por el cambio de combustible, sino que probablemente la eficiencia de todo el proceso de vapor aumente al estar, como se ha comentado, mantenida y operada por expertos.

Es el Suministrador (como ESE) en este caso el que asume más riesgo, ya que es él quien financia el nuevo equipo, razón por la cual se firma un contrato de larga duración, para asegurar el retorno de la inversión. Como se ha comentado, la caldera es propiedad del suministrador durante los 12 primeros años, asimismo la O&M corren a su cargo. La Industria le pagará una cuota mensual que cubrirá la O&M así como la amortización de la inversión y el beneficio. Esta cuota será en cualquier caso menor que lo que actualmente paga la industria por el funcionamiento con GN. Aquí reside el aspecto positivo que hace tan interesante este contrato respecto a otros. La Industria adquiere un equipo nuevo sin tener que preocuparse por nada y sin realizar ninguna inversión, es más, lo único que hace es gastar menos.



### 3. Estudio de viabilidad tecnológica y ambiental

#### 3.1. Situación actual de la Industria

##### 3.1.1. Consumos energéticos

La Industria facilitó las facturas eléctricas y de gas del año 2013 y parte del 2014, así como las curvas de carga de consumo. Por tanto, gracias a éstas se caracteriza el gasto energético de la planta. A continuación se representa el consumo eléctrico mensual del año 2013, si bien es cierto que es el consumo de gas el que cobra importancia en este caso, visualizar esta distribución permite definir los meses de mayor y menor productividad.

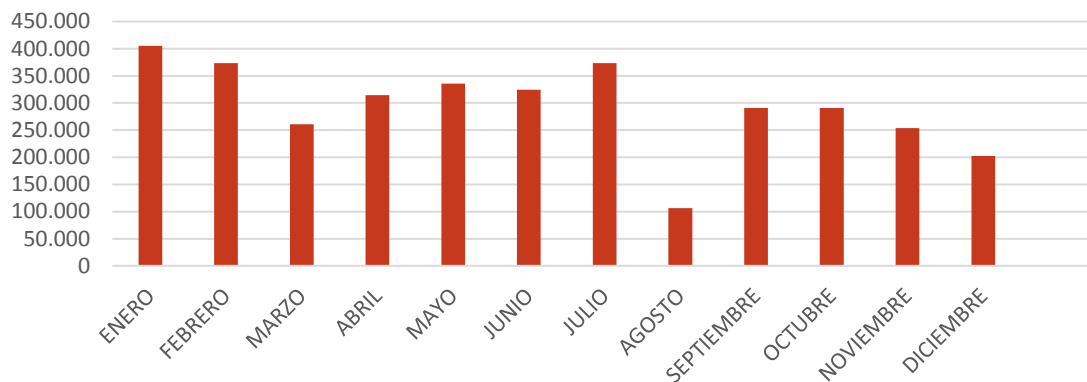


FIGURA 16. Consumos de energía activa del año 2013. Unidades kWh.  
Fuente: Datos facilitados por la Industria.

Del mismo modo también se representa el consumo de gas de la planta. Como puede observarse el nivel de consumo energético de gas está estrechamente relacionado con el eléctrico. Es importante también recordar que hay varios equipos consumidores de gas, no sólo la caldera generadora de vapor, caso de estudio de este proyecto.

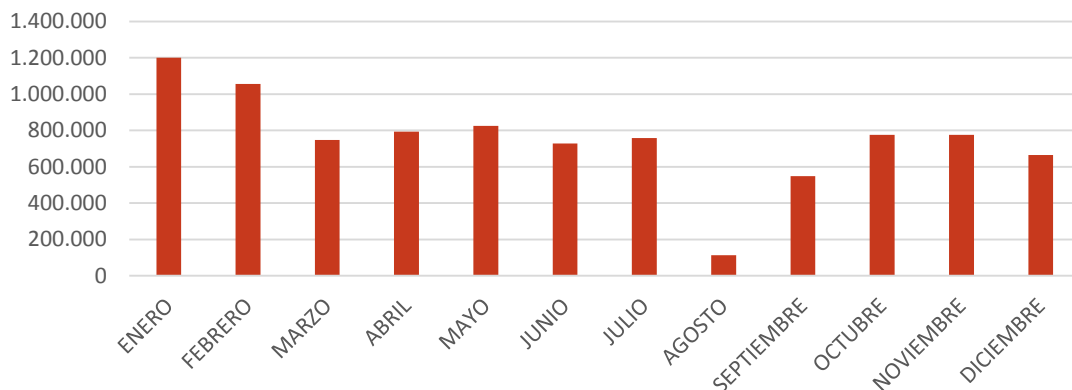


FIGURA 17. Consumos de gas del año 2013. Unidades kWh.  
Fuente: Datos facilitados por la Industria.

A la vista de los gráficos anteriores puede observarse que la planta produce todo el año (con mayor o menor intensidad) excepto en agosto, mes en el que hay un período que cierran por vacaciones, y en el que queda un pequeño consumo.

Es el consumo de gas el que cobra gran importancia en este estudio ya que es éste el que alimenta a la caldera que se pretende reemplazar. También hay que señalar que al no ser el único consumo de gas, la Industria no podrá desprenderse al 100% del suministro del mismo, lo que le obligará a tener que seguir pagando una cuota. Se reducirá el término fijo y bajará el consumo en gran medida pero, como es lógico, mantener un contrato de suministro penalizará el retorno de la inversión.

Estos consumos energéticos se traducen en gastos económicos, que a continuación se representan.

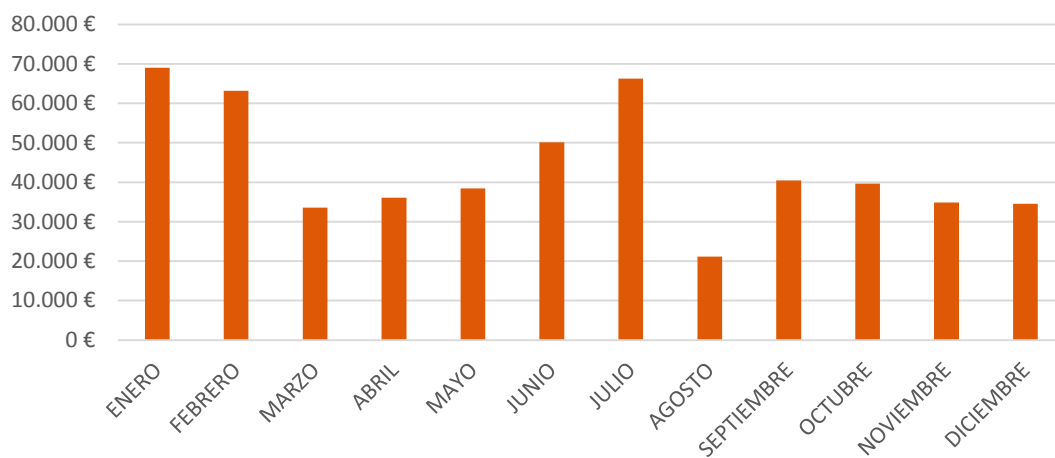


FIGURA 18. Gastos de la Industria en electricidad del año 2013.  
Fuente: Datos facilitados por la Industria.

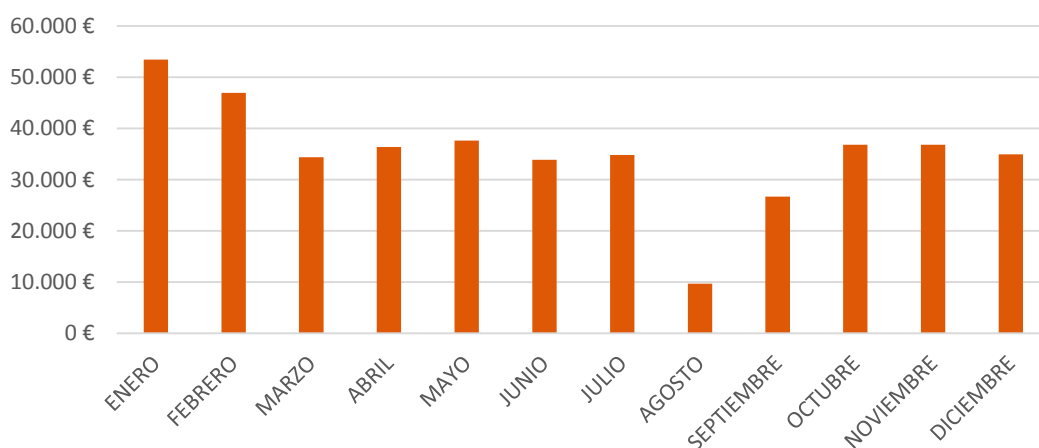


FIGURA 19. Gastos de la Industria en gas del año 2013.  
Fuente: Datos facilitados por la Industria.

Como se observa, el gasto anual que la Industria dedica a pagar la energía que consume es grande, en 2013 se gastó un total de 527.094,11€ en facturas eléctricas, a lo que se le debe sumar los 422.246,84€ en gas.

### 3.1.2. Consumos de gas de la caldera generadora de vapor

La Industria cuenta con una caldera de GN con quemadores Tekener TK10/350 y una capacidad de producción de 5000kg/h de vapor. Desde ella se suministra a toda la planta del vapor necesario para los distintos procesos productivos.

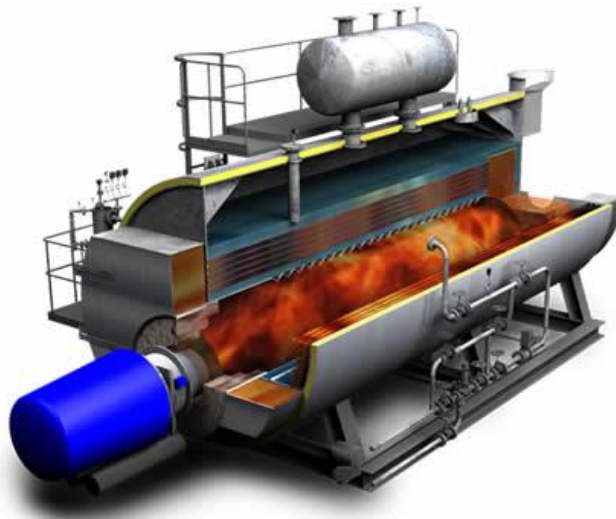


FIGURA 20. Dibujo 3D del modelo de caldera actual de GN con la que cuenta la Industria.  
Fuente: Web del fabricante.

Como ya se ha comentado anteriormente, no todo el GN que la Industria recibe es utilizado exclusivamente para generar vapor, también cuentan con otros equipos que se alimentan de éste, cabe indicar, no obstante, que la mayor parte del consumo se invierte en dicha caldera, en 2014 aproximadamente un 75% del GN fue para estos usos.

La Industria cuenta con contadores volumétricos a la entrada de cada equipo consumidor y ha facilitado las lecturas diarias de los mismos a lo largo de todo el 2014.

Es importante hacer mención a que la medición del caudal de un gas no es una tarea sencilla ya que la presión y la temperatura influyen de manera muy notable en el volumen que ocupa el mismo, es decir, 1kg de gas no ocupa lo mismo en condiciones distintas de presión y temperatura, por tanto, si se midiese exclusivamente el volumen se estaría cometiendo un error dado que las condiciones de suministro pueden variar. Por ello, y para poder traducir ese consumo volumétrico a energético (por medio del PCI), se ha de normalizar el volumen registrado diariamente, esto es, traducirlo a unas condiciones de presión y temperaturas determinadas (1 atm y 273,15 K) iguales para todos los días.

Existen equipos en el mercado que miden simultáneamente caudal, temperatura y presión y mediante un algoritmo corrigen a Nm<sup>3</sup> (normal metros cúbicos), dando como lectura un caudal normalizado. En este caso en concreto los equipos con los que cuenta la Industria tienen el inconveniente de ser equipos que miden exclusivamente volúmenes por lo que no realizan la conversión a Nm<sup>3</sup>.

No se dispone por tanto de medidas de temperatura y presión para realizar la corrección. Se aproximará usando la presión media de suministro (2bar relativos) y suponiendo una temperatura ambiente media (es decir de suministro) de 20°C. Tal y como indica el BOE para la corrección del volumen del gas se utiliza la siguiente fórmula:

$$Fc = \frac{P_c + P_{atm}}{1,01325} \cdot \frac{273,15}{273,15 + T_{gas}}$$

Fórmula 1. Factor de corrección volúmenes de gas.

Con ella se consigue corregir a Nm<sup>3</sup> de una forma bastante precisa las medidas de caudal de gas. Es la presión de suministro ( $P_c$ ) la que cobra el mayor peso en esta ecuación ya que la presión atmosférica ( $P_{atm}$ ), según la norma, sólo depende de la altitud de la localidad y por tanto es constante, además la temperatura del gas, aunque varía a lo largo del año, afecta muy poco al resultado final.

Por tanto, con los datos de partida y su posterior normalización, se tiene la siguiente distribución diaria de consumos (volumétricos) de la caldera de GN:

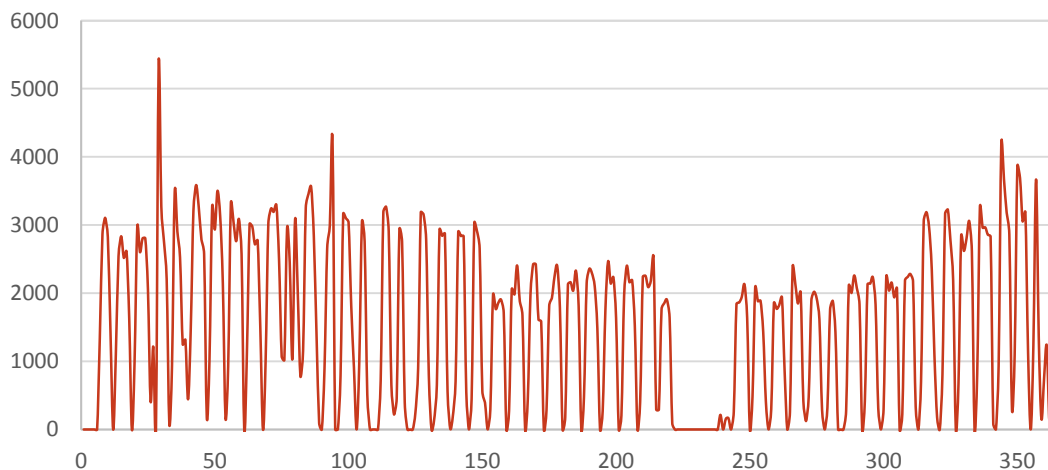


FIGURA 21. Consumos diarios de GN (Nm<sup>3</sup>) de la caldera de vapor a lo largo del 2014  
Fuente: Elaboración propia en base a datos facilitados por la Industria.

La caldera tiene un consumo medio de aproximadamente 1400 Nm<sup>3</sup>, se cree que la medida máxima de 5500 Nm<sup>3</sup> es debida a un error ya que los datos eran recogidos manualmente por un operario y no de forma automática.

## 3.2. Dimensionado de la caldera de Biomasa

### 3.2.1. Condiciones de la sustitución

Sustituir la caldera de GN por una de Biomasa conllevará importantes ahorros tanto económicos como de emisiones de GEI (gases de efecto invernadero), por lo que es una opción muy interesante para la Industria.

Sin embargo, la Industria, dado que sigue teniendo equipos consumidores de gas y no puede rescindir el contrato de suministro del mismo (aspecto que ayudaría en gran medida a agilizar el retorno de la inversión) ha decidido disminuir el volumen de la inversión inicial. Para ello pretende que la nueva caldera de Biomasa cubra alrededor del 85% de la demanda de vapor que cubría la caldera de GN, es decir, pretende instalar una caldera de menor tamaño que la actual. De este modo se trabajaría casi siempre con la de Biomasa y sólo en momentos puntuales se utilizaría la de GN para cubrir los picos de consumo de vapor.

El consumo de gas se reducirá en gran medida ya que la caldera era la gran consumidora, esto permitirá reducir el término fijo contratado con la distribuidora de GN (del orden del 30%), lo que, sumado a un menor consumo del mismo, hará descender el valor de las facturas de forma considerable.

### 3.2.2. Cálculos

El proceso de cálculo consiste en, partiendo de la energía que aporta el gas (valor cuantificable) y las condiciones de funcionamiento de la caldera, obtener la energía térmica que se le aporta al agua para después obtener un caudal de vapor generado, con este dato ya se puede escoger una caldera de biomasa que sea capaz de aportar el 85% de ese gasto de vapor.

La caldera trabaja en las condiciones que en la siguiente tabla se reflejan (medidas en la Industria):

Condiciones de trabajo de la caldera	
Presión servicio (bar)	8
T salida vapor (°C)	175,4
T entrada condensados (°C)	90
Rendimiento térmico	0,9

Por tanto, con los valores anteriormente grafiados de Nm<sup>3</sup> de consumo diario de gas de la caldera, se puede, en base a las horas medias de funcionamiento (aproximadamente 10 horas cada día) y el dato de PCI (kWh/Nm<sup>3</sup>) que facilita el distribuidor de gas en las

facturas, obtener un valor de potencia media que el GN aporta. A este valor se le llamará  $P_{comb}$  (kW), la fórmula que se aplica es la siguiente:

$$P_{comb}(kW) = \frac{Q_{diario}(Nm^3) \cdot PCI \left(\frac{kWh}{Nm^3}\right)}{10 (h)}$$

Fórmula 2. Relación entre volumen y potencia del GN.

Ahora, con dicho valor de potencia del combustible para cada día del año y la fórmula que a continuación se detalla se halla el valor de producción de vapor (en kg/h) que la caldera ha ido generando a lo largo de 2014. Es importante indicar que este valor no es más que la media de producción diaria, es decir, es toda la masa de vapor dividida entre las horas de funcionamiento de la caldera. La fórmula utilizada es la siguiente:

$$P_{comb} \cdot \eta_{caldera} = \dot{m}_{vap} \cdot \left( C_{p_{agua_{liq}}} \cdot (T_{sat} - T_{cond}) + h_{vap} + C_{p_{agua_{vap}}} \cdot (T_{vap} - T_{sat}) \right)$$

Fórmula 3. Relación entre caudal de vapor y potencia del combustible.

Donde:

- $P_{comb}$  es la potencia que aporta el GN (kW).
- $\eta_{caldera}$  es el rendimiento de la caldera.
- $\dot{m}_{vap}$  es el caudal másico de vapor generado (kg/s).
- $C_{p_{agua_{liq}}}$  y  $C_{p_{agua_{vap}}}$  son los calores específicos del agua en estado líquido y vapor respectivamente (kJ/kg·K).
- $h_{vap}$  es la entalpía de vaporización del agua a 8 bar (kJ/kg).
- $T_{sat}$ ,  $T_{cond}$  y  $T_{vap}$  son las temperaturas de saturación, condensados y vapores del agua (K).

Las constantes que se detallan se han obtenido de las tablas del agua para la presión de trabajo (8 bar):

Propiedades del agua a 8bar	
Entalpía de vaporización (kJ/kg)	2048,0
Entalpía de líquido saturado (kJ/kg)	721,11
Entalpía de vapor saturado (kJ/kg)	2769,1
T saturación (°C)	170,4
Cp Agua líquida (kJ/kgK)	4,18
Cp Agua vapor (kJ/kgK)	2,080

Así se obtienen los valores de caudal de vapor diario generado por la caldera actual, valores que a continuación pueden verse en el gráfico.

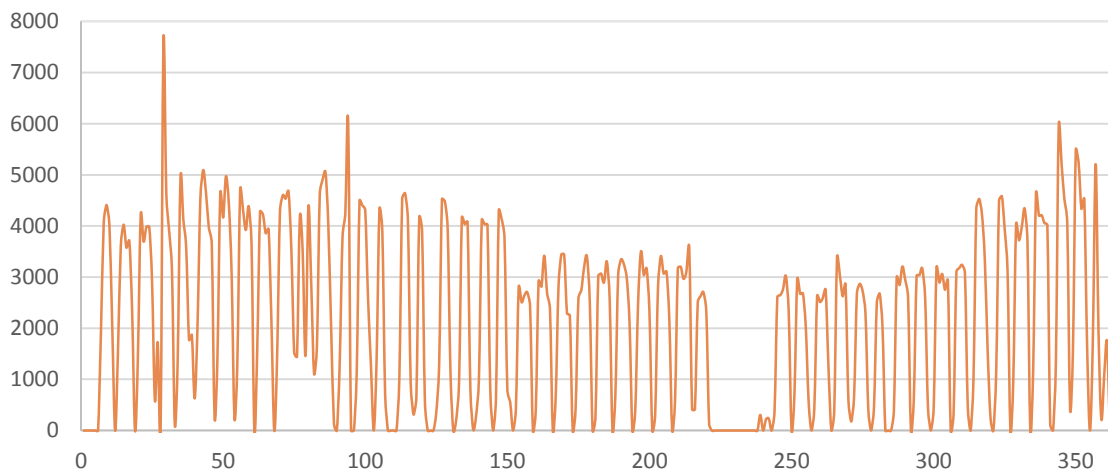


FIGURA 22. Producción diaria de vapor (kg/h) de la caldera a lo largo del 2014  
Fuente: Elaboración propia en base a datos de la Industria.

Por tanto, dadas las necesidades de vapor que la gráfica describe y sabiendo que se pretende cubrir aproximadamente un 85% de esta producción de vapor se cree que una caldera de Biomasa con capacidad para producir 3000kg/h de vapor cumpliría con estos criterios. Los días en que la producción de vapor sea menor o igual que 3000kg/h únicamente trabajará la caldera de Biomasa a carga parcial o total, cuando, en días puntuales las necesidades sean mayores la caldera de Biomasa trabajará a carga total y la caldera de GN cubrirá la diferencia necesaria para generar todo el vapor demandado.

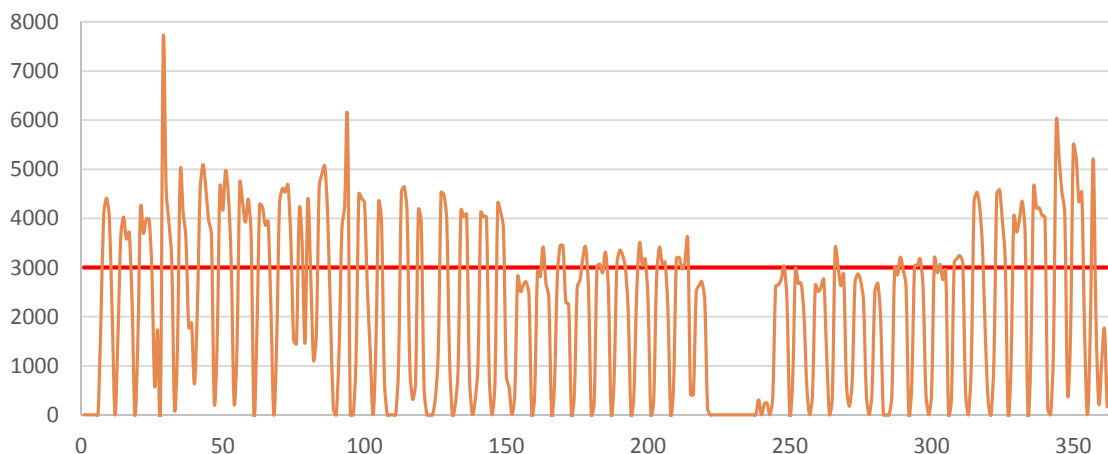


FIGURA 23. Necesidades de vapor vs producción de la nueva caldera de biomasa. Unidades kg/h.  
Fuente: Elaboración propia.

Para cuantificar el porcentaje de cobertura de la nueva caldera de Biomasa se procede del siguiente modo:

1. Se compara, día a día, la necesidad de caudal de vapor con la capacidad de 3000kg/h que se pretende que tenga la nueva caldera.
2. Si las necesidades son mayores que 3000kg/h se cuantifica la diferencia o déficit (que debe cubrir la caldera de GN), es decir:

$$\text{Déficit} \left( \frac{kg}{h} \right) = \text{Necesidades} \left( \frac{kg}{h} \right) - 3000 \left( \frac{kg}{h} \right)$$

Fórmula 4. Producción de vapor NO cubierta por la caldera de Biomasa.

3. Si las necesidades son menores o iguales que 3000kg/h no se cuantifica ningún déficit.
4. Se suman todos los déficits a lo largo de todo el año.
5. Se suman todas las necesidades de vapor a lo largo de todo el año.
6. Se calcula el porcentaje anual de cobertura de la demanda mediante:

$$\% \text{ de cobertura} = \left( 1 - \frac{\sum \text{Déficits} \left( \frac{kg}{h} \right)}{\sum \text{Necesidades} \left( \frac{kg}{h} \right)} \right) \cdot 100$$

Fórmula 5. Porcentaje de vapor generado por la caldera de Biomasa.

De este modo se obtiene un porcentaje de cobertura del 83%, valor que se aproxima mucho al objetivo buscado. Cabe indicar también, que según los fabricantes las calderas pueden trabajar en puntos de funcionamiento superiores a los nominales, por tanto, la caldera es capaz de dar más de 3000 kg/h de vapor y aumentar así el porcentaje de cobertura en un 5%, aproximándose a un 88%, es decir, una caldera con capacidad para producir 3000kg/h de vapor cumple con los requisitos sobradamente.

En conclusión, se ha decidido instalar una caldera de producción de vapor con capacidad para generar 3000kg/h de vapor, de este modo los consumos de GN descenderán del orden del 70% en toda la planta, reduciendo drásticamente el coste así como las emisiones de GEI.

### 3.3. Tecnologías existentes en la combustión de Biomasa

Actualmente existen técnicas diversas para la combustión de la biomasa. Los parámetros fundamentales que condicionan la elección de un tipo u otro de combustión son la humedad y la granulometría del residuo. Las soluciones técnicas para la combustión de la biomasa pueden agruparse en tres tipos:

- Combustión en masa: En este tipo de combustión, la biomasa se deposita en una parrilla o lecho donde se produce su secado y la posterior combustión. Esto permite que el combustible tenga un amplio rango de tamaños y porcentajes de



humedad y, en añadido, evita el excesivo tratamiento previo del mismo. Por contrapartida, el sistema es más caro. Este es el tipo de combustión que se da en hogares rotativos y en parrilla tipo vibrante.

- Combustión en suspensión: En este caso el combustible, que debe tener un contenido en humedad reducido, es lanzado a través de un quemador (necesita por tanto tamaños reducidos de grano) y se quema en el hogar sin que la materia llegue a tener contacto con las paredes o el fondo del mismo.
- Combustión en semi-suspensión: El combustible se deposita en una parrilla y mediante aire ascendente se quema con una ligera suspensión en el hogar, típicamente se utilizan tamaños de entre 3 y 50mm.

Existe una amplia variedad de sistemas para la combustión de biomasa en calderas que pueden suministrar el calor requerido en las industrias. Se pueden mencionar entre otros los siguientes:

### *3.3.1. Sistemas de parrilla*

La parrilla es una estructura metálica destinada a mantener el combustible en el hogar y facilitar el paso del aire primario de combustión. Se construyen mediante piezas de fundición de formas diversas, a través de las cuales circula el aire de combustión. El área total de las aberturas del emparrillado varía entre el 20 y el 40% de la superficie total de la parrilla y depende del tipo de biomasa empleada. Las parrillas han de tener la posibilidad de evacuar las escorias, para lo que se disponen con un cierto grado de inclinación y algún sistema que facilite el movimiento hasta el punto más bajo, desde donde son extraídas. Este es el método de combustión más comúnmente empleado. Así pues, la parrilla constituye la solera del hogar y proporciona la superficie sobre la cual se queman las partículas de combustible más grandes. Puede estar refrigerada por aire o por agua, en cuyo caso llevan soldados en su parte inferior una serie de tubos por los cuales circula el agua de refrigeración. Además, debe estar preparada para la extracción automática y continua de cenizas. Existen diversos modelos de parrillas, en función del tipo de biomasa sólida que se trate y sobre todo dependiendo de su humedad. Así, se pueden distinguir los cuatro grupos siguientes:

- Hogares de parrilla fija, que son indicados para combustibles biomásicos en los que predominen las partículas pequeñas y de baja humedad. La combustión se realiza de forma heterogénea, ya que el combustible apilado sobre la parrilla se encontrará en diferentes estados de combustión.
- Hogar es de parrilla inclinada, adecuados para biomasa de granulometrías y humedades muy variables que tienden a formar gran cantidad de cenizas. En este tipo de hogares los residuos se desplazan por resbalamiento a lo largo de la parrilla, por lo que la combustión resulta más homogénea que en el caso anterior. Además, la retirada de las cenizas se suele realizar de forma

relativamente fácil por medios mecánicos, ya que a medida que se producen van cayendo de la parrilla al cenicero.

- Hogares de parrilla móvil, apropiados para biomásas con una elevada fracción de inertes, de forma que en su combustión se crea una gran cantidad de cenizas. Están provistos de un sistema tractor que permite el movimiento de la parrilla y la descarga continua de las cenizas.
- Hogares de parrilla vibratoria, que permiten una descarga automática e intermitente de las cenizas. El tiempo de vibración y el de reposo se pueden ajustar en función de las características del combustible. La duración de la vibración suele variar entre 4 y 10 segundos según la carga de la misma y el tipo de combustible. Este tipo de parrilla suele tener refrigeración por agua.

### *3.3.2. Hogares rotativos*

Se trata de hogares de forma cilíndrica que mediante un mecanismo y el accionamiento de un motor se mantienen en rotación. Variando la velocidad de rotación del horno se modifica el tiempo de permanencia del combustible, lo que resulta un método muy eficiente para el control de la combustión.

Este tipo de hogares se utiliza para distintos tipos de biomasa y particularmente para residuos muy heterogéneos y con amplios márgenes operativos.

### *3.3.3. Quemadores de tornillo*

Es uno de los sistemas de combustión más empleados en instalaciones pequeñas y de potencia hasta 6 millones de kcal/h. Se utilizan para quemar residuos sólidos con humedades de hasta el 35% y granulometrías máximas de 30mm. La combustión ha de realizarse en un volumen restringido, lo que provoca elevadas temperaturas de llama y la consiguiente formación de escorias.

### *3.3.4. Cámaras torsionales*

Están provistas de un tipo de quemador diseñado para quemar combustibles sólidos pulverizados, con tamaños comprendidos entre 0,1mm y 30mm como máximo (cáscaras de semilla de girasol, de algodón, serrines, orujillos, etc.), ya que el combustible debe poder ser transportado neumáticamente. Además, no son recomendables humedades superiores al 30%.

El combustible se introduce a presión en la cámara de combustión mediante un sistema neumático y de forma que adopta un movimiento helicoidal dentro de la cámara, al

mezclarse con el aire de combustión. Las partículas de combustible se mantienen en suspensión aerodinámica, produciéndose en primer lugar un proceso de volatilización. El residuo carbonoso que queda se concentra en la periferia de la cámara, donde existe una mayor presión parcial de oxígeno, lo que permite la rápida conversión de estas partículas carbonosas a la fase gaseosa.

### *3.3.5. Combustión en lecho fluido*

En una caldera de lecho fluido típica, la biomasa, junto con el material inerte del lecho, por ejemplo arena, sílice, alúmina o cenizas, y un sorbente (caliza) se mantienen en suspensión por medio de una corriente de aire que entra desde el interior de la cámara y asciende arrastrando el inerte y el combustible. Es posible controlar los parámetros que influyen en la combustión: turbulencia, tiempo y temperatura (normalmente 800 °C - 900 °C). Mediante estos controles se aprovechará el calor generado a una temperatura más baja que en una caldera convencional, pero sin pérdida de eficiencia. Con estas temperaturas se está por debajo de la formación de emisiones contaminantes de los óxidos de nitrógeno y también se evitan los problemas de sinterización y formación de escorias asociados con las calderas convencionales.

La combustión en lecho fluido con recuperación de energía está considerada hoy en día como una de las alternativas más convenientes para la valorización energética de la biomasa. La turbulencia en el volumen del combustor, juntamente con el efecto de torbellino y la inercia térmica del material del lecho dan lugar a una combustión completa, controlada y uniforme.

Estos factores son claves para maximizar el rendimiento y controlar las emisiones. El alto rendimiento de los combustores de lecho fluido los hace particularmente adecuados para manejar combustibles problemáticos, con bajos contenidos energéticos y altos contenidos de humedad.

Las calderas de lecho fluido se pueden clasificar en base a la presión en que la misma trabaja, según esta clasificación se distinguen dos niveles de presión, es decir, dos tipos de lechos fluidos:

- Lechos fluidos atmosféricos (CLFA), que operan a la presión atmosférica.
- Lechos fluidos a presión (CLFP), que operan a presiones comprendidas entre 5 y 20 bar. Estos sistemas no son todavía muy frecuentes en las instalaciones de generación de energía térmica y son más apropiados en instalaciones de generación de electricidad.

### 3.4. Modelos de calderas. Comparativa y selección

Por su sencillez constructiva, la economía de los sistemas y la mayor variedad de ofertas se va a optar por un sistema de combustión de parrilla.

Con el tamaño ya definido de la caldera, es decir, sabiendo que debe proporcionar un caudal de 3000 kg/h de vapor y con las condiciones de funcionamiento de la caldera de GN (que se pretende se mantengan con la nueva caldera de Biomasa), se ha pedido a distintos fabricantes de calderas de Biomasa presupuesto de un equipo que cumpla con las especificaciones que se requieren. En total se cuenta con tres ofertas distintas que se van a detallar a continuación. Por motivos de confidencialidad no se va a hablar de fabricantes ni modelos concretos, se hablará de los modelos A, B y C así como de sus precios y especificaciones. Se detalla a continuación una tabla resumen de las características principales de los modelos disponibles.

<b>Comparativa de modelos</b>			
Modelo	A	B	C
Producción (kg/h)	3.000	3.000	3.000
Clase	Segunda	Segunda	Segunda
Tipo	Piro-acuotubular	Pirotubular	Piro-acuotubular
Pasos de humos	5	3	3
<b>Condiciones de diseño</b>			
Presión servicio	8	8	8
Presión diseño	10	10	8,5
Presión prueba	16,5	16,5	9
<b>Datos de servicio</b>			
Producción máxima de vapor (kg/h)	3.000	3.000	3.001
Potencia térmica útil (kW)	2.100	2.100	2.400
Rendimiento térmico	87±2 %	83±2 %	88%
Temperatura agua alimentación (°C)	60,46	60,00	80,00
<b>Vapor generado</b>			
Clase de vapor	Saturado	Saturado	Saturado
Entalpía (kcal/kg)	662,46	662,46	662,46
Temperatura (°C)	175,45	175,45	175,45
Volumen específico (m <sup>3</sup> /kg)	0,21	0,21	0,21
<b>Quemador de biomasa</b>			
Tolva de alimentación	Sí	Sí	Sí
Sinfín alimentación	Sí	Sí	Sí
Motor-reductor sinfín	Sí	Sí	Sí
Sistema PCI	Válvula termostática autocontrolada	Válvula termostática autocontrolada	-
Nº etapas	2 de potencia y 1 de stand-by	2 de potencia y 1 de stand-by	Modulante (30% - 100%)
Ventiladores	1 primario y 1 secundario	1 primario y 1 secundario	1 primario y 1 secundario

<b>Aislamiento térmico</b>			
Material	Lana mineral de roca	Lana mineral de roca	Lana de AD (120 kg/m3)
Espesor (mm)	100	100	100
<b>Depuración de gases</b>			
Tipo	Micro-multiciclón	Micro-multiciclón	Multiciclón
<b>Presupuesto</b>			
Caldera	147.750 €	116.650 €	138.041 €
Sistema de extracción gases	27.037 €	27.034 €	21.600 €
Chimenea	6.094 €	6.094 €	incluido
Montaje mecánico y eléctrico	5.050 €	5.050 €	incluido
PEM, regulación y formación	2.725 €	2.725 €	incluido
	<b>188.656 €</b>	<b>157.553 €</b>	<b>159.641 €</b>
<b>Opciones</b>			
Variadores primario y secundario	3.870 €	3.870 €	-
Variador quemador	1.485 €	1.485 €	-
Variador ventilador gases	3.022 €	3.022 €	-
Sistema extracción cenizas	6.219 €	6.219 €	5.800 €
Sistema automático de soplado	13.540 €	13.540 €	5.095 €
Purga automática de lodos	2.147 €	2.147 €	-
Purga automática de sales	4.150 €	4.150 €	5.663 €
	<b>34.433 €</b>	<b>34.433 €</b>	<b>16.558 €</b>
<b>Total</b>	<b>223.089 €</b>	<b>191.986 €</b>	<b>176.199 €</b>

Nota: Los datos marcados con el símbolo “-” indican que no están incluidos en el modelo.

Con la comparativa de los tres modelos a la vista hay que hacer una valoración de cuál es el más adecuado para las condiciones que se requieren.

Los tres modelos son de dos fabricantes distintos. Un fabricante ha ofertado los modelos A y B, mientras que el otro ha ofertado el C. El modelo C cuenta con menos equipamiento, es por esta razón por la que el presupuesto es más ajustado. En añadido, el fabricante del modelo C cuenta con menos experiencia y reconocimiento en la construcción de calderas de Biomasa que el otro fabricante. Por estas razones se descarta el modelo C y pasan a compararse los modelos A y B exclusivamente.

La diferencia más notable entre los dos modelos restantes viene dada por el rendimiento térmico. El modelo A tiene un rendimiento máximo un 4% mayor que el rendimiento máximo del modelo B, causado en gran medida por los pasos de humos y el mejor aislamiento térmico del primero respecto al segundo. Este aumento de rendimiento generaría un ahorro máximo en el consumo de Biomasa del orden de los 5700€ anuales, sin embargo la diferencia en el presupuesto es de 31.103€, por lo que para cubrir este sobrecoste con los ahorros se necesitarían como mínimo 5 años y medio de funcionamiento de la caldera.

Dado que se necesita bastante tiempo para compensar ese sobrecoste y que se pretende reducir el presupuesto inicial para que la inversión no sea tan voluminosa, la opción finalmente escogida es el modelo B de caldera. Que a continuación se detalla en profundidad.

### 3.5. Características de la caldera seleccionada

#### 3.5.1. Identificación y construcción

Un conjunto formado por generador de vapor pirotubular horizontal y cámara de combustión para combustibles sólidos, dotados ambos con un equipamiento básico de primera de calidad, aseguran la total funcionalidad del presente equipo.

El generador de vapor construido con chapas de acero al carbono calidad P265GH, S/EN10028-2 y tubos de humos de acero estirado sin soldadura, calidad P235-GH, S/EN10216-2, mandrinados y soldados a las placas tubulares, conforman el cuerpo de presión, disponiéndose en su distribución una amplia cámara de vapor, y plano de vaporización para asegurar el grado de saturación del vapor producido.

En la parte inferior del cuerpo de presión se dispone integrada, una cámara de combustión metálica con material refractario en su parte interna, y aislante en el exterior de la misma.

Ambas componentes se suministran como una sola unidad, convenientemente aislada, y equipada con puertas de registro, y todas las conexiones requeridas para el servicio.

La cámara de combustión, elemento priorizado para la optimización de la combustión de biomasa, dispondrá del material refractario requerido con el 42 – 44% de alúmina.

Internamente se dispondrán los quemadores de combustión, con las correspondientes aperturas de inspección, limpieza y conexiones diversas, para los ventiladores de aire primario y secundario, así como conexiones para la entrada de biomasa y extracción de cenizas.

#### 3.5.2. Quemador de Biomasa

La caldera se suministra con un quemador de biomasa de tipo parrilla fija, formado por los siguientes componentes:

### Componentes

Tolva nodriza de dimensiones adecuadas al consumo de la caldera

Tornillo sinfín desde tolva de alimentación de caldera hasta parrilla fija

Motorreductor para accionamiento del sinfín

Sistema contra incendio de la biomasa de la tolva, mediante válvula termostática autocontrolada

Parrilla fija ventilada, formada por placas de acero fundido intercambiables

El funcionamiento de los componentes que conforman el quemador de combustión es completamente automático, dependiente de la señal recibida de la sonda de regulación de presión de caldera.

En el modelo estándar de caldera, el quemador de biomasa, tiene un funcionamiento de dos etapas de potencia en combustión más una posición de Stand-By. Cuando existe demanda de vapor, el sinfín se pone en marcha alimentando al quemador de biomasa desde la tolva, si la demanda persiste, se inicia la segunda velocidad, que alimenta más rápido el quemador. Una vez superada la demanda el sinfín deja de suministrar biomasa desde la tolva. Todo este proceso se realiza de forma completamente automática.

#### *3.5.3. Ventiladores de aire*

Conjunto de dos ventiladores centrífugos y demás componentes destinados al funcionamiento de la combustión en la cámara inferior.

- Ventilador de aire primario: insufla aire a través de la parrilla fija.
- Ventilador de aire secundario: insufla aire en la cámara de combustión.

Durante el funcionamiento de la caldera los ventiladores de aire primario, de aire secundario y de extracción de gases permanecerán en marcha, de acuerdo con el reglaje establecido durante la puesta en marcha de la caldera.

La actuación de cualquier seguridad de la caldera motivará el paro de los dos ventiladores.

#### *3.5.4. Aislamiento térmico*

El aislamiento térmico con manta de lana mineral de roca de 100mm de espesor y acabado en plancha de acero pintado minimiza las pérdidas térmicas tanto por conducción-convección como por radiación del conjunto.

### 3.5.5. Cuadro de control

La caldera va equipada con un cuadro de control que aloja en su interior el aparillaje eléctrico que controla todo el sistema eléctrico de la caldera. El cuadro eléctrico se suministra con marcado CE de acuerdo con la directiva 97/23/CE. Sus características principales son:

#### En el exterior

Pantalla táctil de 5" con indicadores visuales de maniobras activadas así como indicación de averías  
Interruptor general

#### En el interior

Autómata para el control del proceso  
Arrancadores Y- $\Delta$  Ventiladores  
Arrancadores Y- $\Delta$  Bombas de agua  
Arrancadores Y- $\Delta$  Quemador  
Relés térmicos, magnetotérmicos, cableado y conexiones de fácil acceso

El cuadro eléctrico es sometido a los siguientes ensayos:

#### Ensayos:

Compatibilidad Electromagnética. Según normas EN EN 50081-2:1993, EN 61000-6-2:2000, EN 61000-3-2: 1995/A14:2000 y EN 61000-3-3:95  
Seguridad de máquinas. Según normas UNE EN 60204-1:99, en cumplimiento de R.D.7/88 – D 73/23/CEE. D 93/68/CEE

### 3.5.6. Cableado eléctrico

Se ha previsto el tendido de cables de potencia, de mando y de medida desde el cuadro de control a todos los elementos de la caldera que lo requieran.

### 3.5.7. Alimentación de agua

Para asegurar la alimentación de agua a la caldera se dispone de dos grupos motobomba accionados por motores eléctricos unidos a las bombas por medio de acoplamientos elásticos, de las siguientes características:



Características	
Presión (Kgs/cm <sup>2</sup> )	10
Temperatura máxima de agua (°C)	120
Potencia del motor (kW)	3
Cierre	Mecánico
Protección del motor	IP-54

En el tubo de alimentación a caldera se instala una válvula de retención que cierra por presión del agua interior de la caldera cuando deja de actuar la bomba. También se instala una válvula de cierre entre la anterior de retención y la caldera, que incomunica a esta última y los tubos de alimentación.

#### *3.5.8. Seguridad del nivel del agua*

La regulación automática del agua de alimentación es controlada mediante un regulador de nivel transistorizado por sondas de líquidos.

Una sonda pone en funcionamiento el grupo electrobomba de alimentación de agua cuando el nivel en el interior de la caldera desciende a un punto mínimo, y la segunda sonda actúa para la otra electrobomba cuando el nivel del agua alcanza su nivel normal de trabajo.

#### *3.5.9. Seguridad por falta de agua*

De acuerdo con la directiva 97/23/CE y en cumplimiento de la norma específica relativa a seguridades de caldera por EN 12953-9, la caldera dispone en su equipamiento para las seguridades de nivel de dos limitadores de nivel independientes con los siguientes componentes (cada uno de ellos):

- Un primer limitador de nivel con electrodo de nivel y conmutador de nivel, ambos autocontrolados y con autocomprobación periódica.
- Un segundo limitador de control por falta de agua de alta seguridad autocontrolado y con auto-chequeo, independiente totalmente de otras seguridades.

#### *3.5.10. Accesorios incluidos en la caldera*

La caldera viene equipada con los siguientes accesorios y elementos de seguridad:

Accesorios	
1	Válvula de interrupción de en la salida de vapor
1	Válvula de seguridad
1	Juego de grifos de nivel
1	Nivel óptico reflectante
3	Válvulas de retención de disco
1	Válvula de aireación
3	Válvula de alimentación
1	Válvula de bola para la purga y vaciado de la caldera
1	Manómetro para control de la presión 1/2"
1	Sonda de presión
1	Presostato de seguridad
1	Manómetro para el control de la bomba

### 3.5.11. Documentación y marcado CE

Junto con la Caldera se entrega un Dossier compuesto del Expediente de Control de Calidad de Fabricación y un Libro de Instrucciones de la Caldera.

Contenido del Expediente:

- Ficha de identificación.
- Declaración de conformidad CE.
- Certificado de verificación del producto.
- Certificado de examen CE de tipo.
- Certificado de calidad de los materiales empleados en las partes a presión.
- Plano de identificación de calidad de materiales.
- Cualificación del procedimiento de soldeo.
- Certificado de cualificación de los soldadores.
- Informe de examen radiográfico.
- Plano de situación de radiografías.

La caldera de suministra con placa de identificación del fabricante con marcado CE.

### 3.5.12. Depurador de gases: Micro-Multiciclón

Micro-Multiciclón depurador de gases construido con chapa de acero al carbono, dotado con varios microciclones de fundición gris, con tolva inferior para boca de descarga de cenizas, y conexiones de entrada/salida de gases.

Diseñado para la separación y recogida de las partículas sólidas provenientes de la combustión, antes de su emisión a la atmósfera.

Este depurador de gases se incluye en la clasificación de depuradores de partículas por vía seca de alta eficiencia, compuesto por microciclones de tipo tangencial.

De aplicación para la eliminación o reducción de partículas sólidas arrastradas en los gases procedentes de la combustión. Su eficacia incluye partículas de granulometría mayor de 5µm alcanzando su mayor rendimiento con partículas superiores a 10µm.

Dado que la eficacia del depurador depende de múltiples factores, pero sobre todo dependiendo del tipo de Biomasa utilizada, se pueden garantizar emisiones de partículas del orden de 150/250 mg/Nm<sup>3</sup>.

### *3.5.13. Ventilador extractor de gases*

Conjunto de componentes destinados al sostenimiento continuo de depresión en la cámara de combustión, formado por un ventilador centrífugo para alta temperatura.

Durante el funcionamiento de la caldera, el ventilador de extracción de gases permanecerá en marcha de acuerdo con el reglaje establecido durante la puesta en marcha de la misma.

### *3.5.14. Conductos de gases*

Suministro de los siguientes conductos de gases para la comunicación de los distintos componentes:

- Conducto de unión de caldera a depurador de gases en chapa de acero al carbono y pintado con imprimación anticorrosiva.
- Conductos de unión de depurador de gases a ventilador extractor en chapa de acero al carbono y pintado con imprimación anticorrosiva.

### *3.5.15. Chimenea*

Chimenea construida en chapa de acero al carbono con base para fijación al suelo. Dispone de registro de limpieza y conexión para entrada de gases. Incluye los conductos de unión necesarios desde el ventilador extractor de gases a la chimenea, en chapa de acero al carbono, y pintados con imprimación anticorrosiva.

### 3.6. Reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>

El uso de Biomasa como combustible implica la reducción a cero de la contabilización de las emisiones de CO<sub>2</sub>. La biomasa, al quemarse, emite CO<sub>2</sub>, pero éste se dice que forma parte de la atmósfera actual. El CO<sub>2</sub> presente en la atmósfera es el absorbido y expulsado por la plantas en su proceso de crecimiento, quedando en gran medida formando parte de la materia orgánica, que al quemarse vuelve a liberarlo para repetir el ciclo.

Si la Biomasa es consumida de una manera sostenible, el ciclo se cierra y el nivel de CO<sub>2</sub> en la atmósfera se mantiene constante, de forma que su utilización no contribuye a generar el cambio climático. Y no sólo eso, su consumo evita el de los combustibles fósiles que sí generan emisiones causantes del calentamiento del planeta. Producen por tanto un ahorro de emisiones, como el que a continuación va a cuantificarse.

El ahorro de emisiones de CO<sub>2</sub> anuales consiste en calcular qué emisiones produciría el GN que va a dejar de consumirse por el hecho de cambiar de combustible, ya que, como se ha comentado anteriormente, la Biomasa no produce este tipo de emisiones.

Proceso de cálculo:

1. Cálculo de la masa de vapor ( $m_{vap}$ ) que va a generar la Biomasa (o dicho de otro modo, la que va a dejar de producir el GN):

Para ello se calculan las necesidades anuales de vapor (kg), por lo que se multiplica el caudal diario (kg/h) por las horas de funcionamiento diarias (10 de media) y se suma día a día a lo largo del año, dando como resultado un valor de masa de vapor generado de:

$$7.917.033\text{kg}$$

A este valor hay que restarle lo que sí seguirá produciendo la caldera de GN (es importante recordar que la caldera de Biomasa no cubre todas las necesidades de la Industria). En concreto, y utilizando la misma metodología de cálculo anterior pero esta vez con el déficit de vapor, es decir, lo que la caldera de Biomasa no puede aportar, se obtiene un valor de:

$$1.367.262\text{kg}$$

Lo que quiere decir que la nueva caldera de Biomasa producirá:

$$6.549.771\text{kg}$$

Esta masa de vapor dejará de ser generada por el GN, por lo que transformando este valor a unidades de energía de combustible se obtiene la cantidad de GN ahorrado.

## 2. Cálculo del GN no consumido:

Haciendo uso de la siguiente ecuación

$$E_{comb} \cdot \eta_{caldera} = m_{vap} \cdot \left( C_{p_{agua_{liq}}} \cdot (T_{sat} - T_{cond}) + h_{vap} + C_{p_{agua_{vap}}} \cdot (T_{vap} - T_{sat}) \right)$$

Fórmula 6. Relación entre caudal de vapor y potencia del combustible.

Donde:

- $E_{comb}$  es la energía que debería aportar el GN (kJ) para generar  $m_{vap}$ .
- $\eta_{caldera}$  es el rendimiento de la caldera de GN.
- $m_{vap}$  es la masa de vapor que generará en un año la caldera de Biomasa (kg) (o que no lo hará la de GN).
- $C_{p_{agua_{liq}}}$  y  $C_{p_{agua_{vap}}}$  son los calores específicos del agua en estado líquido y vapor respectivamente (kJ/kg·K).
- $h_{vap}$  es la entalpía de vaporización del agua a 8 bar (kJ/kg).
- $T_{sat}$ ,  $T_{cond}$  y  $T_{vap}$  son las temperaturas de saturación, condensados y vapores del agua (K).

Y con el valor de 6.549.771kg de  $m_{vap}$  se obtiene un valor de  $E_{comb}$  de 17.425,83GJ.

## 3. Cálculo de las emisiones evitadas:

Según el ministerio de industria, energía y turismo (<http://www.minetur.gob.es/energia/gas/Gas/Paginas/gasnatural.aspx>), para el GN se tienen unas emisiones de CO<sub>2</sub> de 58kg/GJ, lo que significa que, por el cambio de combustible a biomasa se deja de emitir anualmente a la atmósfera un total de:

1100,7 Toneladas de CO<sub>2</sub>

Es importante indicar que estos valores se han calculado en base al consumo que la Industria hizo en 2014, por lo que son estimaciones. Es de esperar que los años venideros sean similares pero, como es lógico, la actividad de la Industria influirá en el nivel de emisiones, si el nivel de consumo de vapor disminuye, las emisiones evitadas pueden ser mayores que las arriba indicadas, por el contrario, si el consumo aumenta, se deberá utilizar más la caldera de GN para poder cubrir la demanda, por lo tanto las emisiones evitadas serán menores.



## 4. Diseño del proyecto

### 4.1. Dimensionado del silo y suministro de Biomasa

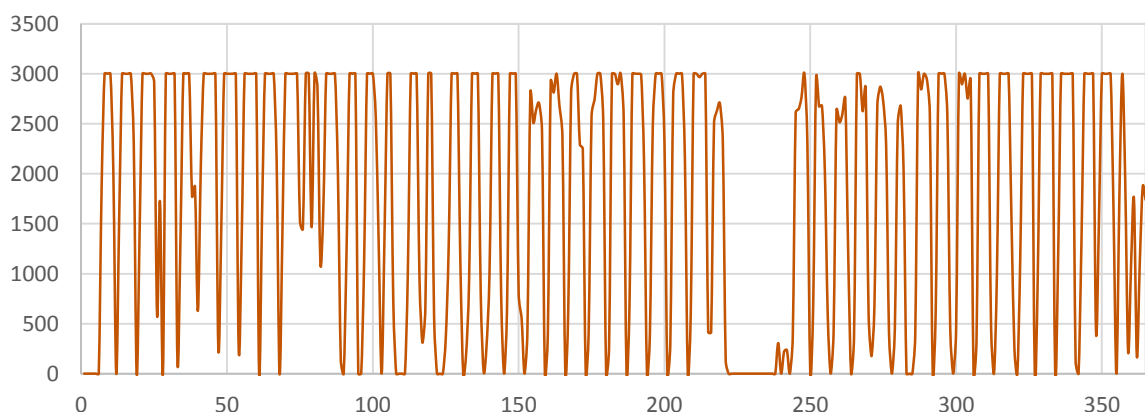
La Biomasa es un combustible sólido que se distribuye con camiones u otros vehículos de gran capacidad, por tanto no se tiene un suministro constante como se da con la electricidad o el GN proveniente de gasoducto. En estas condiciones se hace necesario contar con almacenamiento de combustible. Con dicho almacenamiento el suministro de Biomasa se espacia en el tiempo, haciendo posible que sólo sea necesaria una visita del Suministrador cada determinados días.

El tamaño del silo de almacenamiento condicionará, como es lógico, la frecuencia con la que el suministro se realizará. El dimensionado del silo es, por tanto, una decisión de gran importancia, ya que tiene una consecuencia directa sobre el funcionamiento de la Industria.

Para el cálculo del tamaño del silo de Biomasa se debe tener en cuenta dos factores:

- Conocer los consumos de combustible.
- Escoger cual se quiere que sea la autonomía de la Industria (es decir los días en los que la empresa puede funcionar sin suministro externo de Biomasa).

Con estas dos condiciones puede obtenerse el tamaño del silo deseado. Para ello partiendo de las necesidades de generación de vapor del año 2014 y, teniendo en cuenta que la caldera de Biomasa dará como máximo 3000 kg/h de vapor, se obtiene la siguiente distribución de producción de vapor por la nueva caldera:



**FIGURA 24. Generación de vapor por la caldera de Biomasa. Unidades kg/h.**

Fuente: Elaboración propia.

Ahora, y nuevamente con la fórmula que relaciona la energía aportada por el combustible con la transmitida al vapor de agua, se puede obtener el valor de consumos energéticos de Biomasa:

$$P_{comb} \cdot \eta_{caldera} = \dot{m}_{vap} \cdot \left( C_{p_{agua_{liq}}} \cdot (T_{sat} - T_{cond}) + h_{vap} + C_{p_{agua_{vap}}} \cdot (T_{vap} - T_{sat}) \right)$$

Fórmula 7. Relación entre caudal de vapor y potencia del combustible.

Donde:

- $P_{comb}$  es la potencia que aporta la Biomasa (kW).
- $\eta_{caldera}$  es el rendimiento de la caldera de Biomasa.
- $\dot{m}_{vap}$  es el caudal másico de vapor generado (kg/s).
- $C_{p_{agua_{liq}}}$  y  $C_{p_{agua_{vap}}}$  son los calores específicos del agua en estado líquido y vapor respectivamente (kJ/kg·K).
- $h_{vap}$  es la entalpía de vaporización del agua a 8 bar (kJ/kg).
- $T_{sat}$ ,  $T_{cond}$  y  $T_{vap}$  son las temperaturas de saturación, condensados y vapores del agua (K).

Gracias a esta fórmula, se despeja el valor de  $P_{comb}$  (kW) diaria, por lo que si se multiplica por las horas de funcionamiento de la Industria (10h al día) se obtiene el valor de la energía diaria (kWh) que se consume en forma de Biomasa.

El Suministrador de Biomasa facilita las características de la misma, estas son:

Características de la Biomasa	
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	250
PCI (kWh/kg)	3,50
Cenizas (%)	0,40
Azufre (%)	0,01
Cloro (%)	0,01

Por tanto si se realiza la siguiente operación:

$$\text{Consumo BM (m}^3\text{)} = \frac{\text{Energía BM (kWh)}}{\text{PCI} \left( \frac{\text{kWh}}{\text{kg}} \right) \cdot \text{Densidad} \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)}$$

Fórmula 8. Relación del volumen de Biomasa con la energía obtenida.

Siendo:

- $\text{Consumo BM (m}^3\text{)}$ : el consumo diario de Biomasa.
- $\text{Energía BM (kWh)}$ : el consumo energético diario de Biomasa
- $\text{PCI} \left( \frac{\text{kWh}}{\text{kg}} \right)$ : el poder calorífico inferior de la Biomasa
- $\text{Densidad} \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$ : la densidad de la Biomasa.



De este modo se obtiene la distribución de consumos diarios (en m<sup>3</sup>) de Biomasa que, como es lógico, sigue la misma distribución que la generación de vapor que anteriormente se ha graficado. A mayor caudal de vapor generado, mayor energía consumida y por tanto mayor volumen de Biomasa es necesario.

Una vez conocidos los consumos, queda por definir cuál debe ser la autonomía de la Industria. Se ha buscado que la autonomía mínima sea del orden de los 12 o 13 días (naturales), es decir, la Industria considera que si hay algún problema con el suministro de combustible este margen de 12-13 días aporta seguridad ya que le da tiempo para solucionar el incidente sin necesidad de cesar en su actividad productiva. De este modo el silo que consigue estos objetivos es un silo de:

300m<sup>3</sup>

Con un silo de esta capacidad la Industria contaría con una autonomía mínima (es decir, la que se produciría en la época de mayor consumo energético) de 11 días. Esto se daría en el supuesto de que sólo se recargase el silo de Biomasa cuando éste se vaciase.

Lo que realmente ocurrirá es que la Industria pactará un suministro periódico con el Suministrador en el que se rellenará el depósito, en concreto se pretende que cuando el silo esté a la mitad éste se rellene nuevamente, por lo que el suministro de biomasa se dará cada semana aproximadamente.

#### 4.2. Descripción del silo de Biomasa

El silo de Biomasa, así como todos los complementos necesarios para su carga, descarga y funcionamiento correcto se detallan a continuación en base a informaciones facilitadas por el fabricante del mismo. Los distintos elementos que lo componen son:

Uds.	Descripción
1	<b>Tolva de recepción</b> - Boca de carga: 3m x 3m - Zona troncopiramidal: 2m - Boca de salida libre: 0,4m x 0,4m - Paredes: chapa de 4mm
1	<b>Cinta nervada</b> - Longitud: 26m - Ancho: 500mm - Banda: Nervada - Potencia: 7,5CV - Velocidad: 1,2m/s - Estructura: Celosía tubular de 1" y ¼" - Tambor motriz: 300 recubierto - Rodillos: 60/12 en uve cada metro - Grupo motriz: Reductor tipo pendular de árbol hueco, con transmisión por poleas y correas trapezoidales. - Protecciones C.E. en cabeza y cola
1	<b>Escalera de gato con quitamiedos</b> 8,5m de escalera de gato con quitamiedos.
1	<b>Pasarela piso tramex</b> 20m de pasarela lateral con piso de rejilla tramex
1	<b>Conjunto de cuatro tolvas en batería</b> - Bocas de carga: 5mx3m - Altura total: 7,7m - Altura de descarga: 0,915m - Paredes verticales: 4m - Zona troncopiramidal: 2,5m - Paredes: Chapa de 4mm de acero al carbono. - Marco de apoyo: IPN-280 de acero al carbono. - Tejado a dos aguas fabricado con chapa ondulada. - Bandeja vibradora con motovibrador eléctrico.
1	<b>Sistema de alimentación</b> - 2 Uds. Sinfín, en acero al carbono, $\varnothing$ 250x250x60, con tubo eje SQ40 y canal de $\varnothing$ 270. Con una longitud de 20 metros/unidad, para distribución de combustible a tolva, equipado con moto-reductor de engranajes y patas de 5.5 CV. - 2 Uds. Sinfín, en acero al carbono, $\varnothing$ 250x250x60, con tubo eje SQ40 y canal de $\varnothing$ 270. Con una longitud de 6 metros/unidad, para distribución de combustible a caldera, equipado con moto-reductor de 3 CV.
<b>Total</b>	<b>154.744,00€</b>

A continuación se muestran dos imágenes del conjunto de elementos que forman el silo de almacenamiento de Biomasa.

En la primera de ellas (figura 25) puede verse el conjunto de 4 tolvas para el almacenaje, así como la tolva de recepción y la cinta nervada encargada de llevar la Biomasa desde la recepción hasta las tolvas.

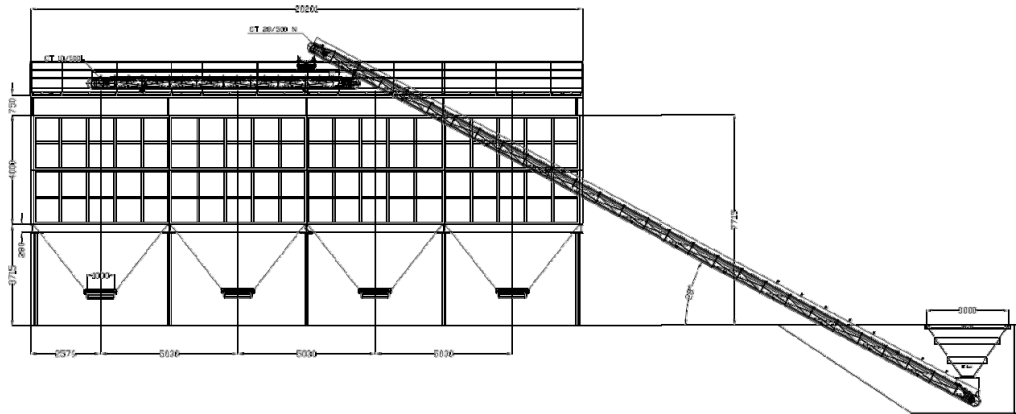


FIGURA 25. Esquema de la instalación de almacenamiento de Biomasa.  
Fuente: Fabricante.

La tolva de recepción se encuentra a nivel del suelo para facilitar la descarga del combustible desde los camiones, desde ella la cinta nervada gracias a su movimiento se hace ascender la biomasa a la parte alta del silo donde los sinfín reparten la Biomasa entre las 4 tolvas.

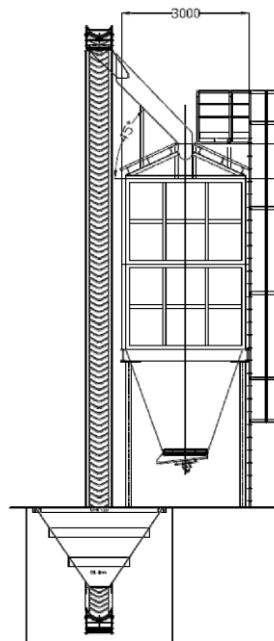


FIGURA 26. Esquema de la instalación de almacenamiento de Biomasa.  
Fuente: Fabricante.



## 5. Presupuestos y estudio de viabilidad económica

### 5.1. Presupuesto de la caldera de Biomasa

A continuación se detalla el presupuesto de la caldera de Biomasa seleccionada facilitado por el fabricante de la misma, se ofrece un precio básico al que, para mejorar el proceso de combustión, se le pueden añadir un serie de elementos que se describen seguidamente.

Uds.	Descripción	Precio total
1	Caldera de vapor de Biomasa, para una producción de vapor de 3000kg/h a 8bar. Clase segunda. Conforme a la descripción anterior.	116.650,00 €
1	Sistema de extracción de gases de la caldera formado por micro-multiciclón, ventilador extractor de gases y los conductos para gases entre las partes mencionadas y la caldera. Según especificaciones anteriores	27.034,00 €
1	10 m.l. de chimenea de acero al carbono. Incluye conductos de unión entre ventilador-extractor de gases y chimenea. Según descripción.	6.094,00 €
1	Montaje mecánico y eléctrico en las instalaciones de la Industria, de la caldera de vapor con los elementos reseñados hasta el momento.	5.050,00 €
1	Puesta en marcha y regulación de la caldera en las instalaciones del cliente. Incluye instrucciones para operar al personal responsable de la Industria.	2.725,00 €
<b>TOTAL Caldera + componentes básicos</b>		<b>157.553,00 €</b>

#### Optimización de la combustión:

El sistema de combustión, de dos etapas que se dispone en la propuesta básica de la caldera, como se ha comentado, es susceptible de una optimización y mejora del rendimiento. Para ello, se incrementan el número de etapas de potencia, lo que simula un funcionamiento modulante de la caldera. De acuerdo con lo anterior se pueden incorporar a la caldera durante su fase de construcción las especificaciones que se indican a continuación, que de manera progresiva, suponen un incremento del control sobre el sistema de combustión. Traduciéndose en un mayor rendimiento térmico del equipo.

Uds.	Descripción	Precio total
1	<b>Variadores de frecuencia en ventiladores de aire primario y secundario</b> Incorporación de dos variadores de frecuencia con sus correspondientes cableados y programaciones en el ventilador de aire primario y en el ventilador de aire secundario. De este modo se optimiza el sistema de aire de combustión, permitiendo durante el reglaje de la caldera el ajuste punto a punto para cada etapa de potencia.	3.870,00 €
1	<b>Variador de frecuencia en quemador de combustión</b> Incorporación de un variador de frecuencia con su correspondiente cableado y programación en el moto-reductor que activa el sinfín del quemador, sustituyendo el sistema temporizado por otro modulante para cada etapa de potencia.	1.485,00 €
1	<b>Variador de frecuencia en ventilador de gases</b> Incorporación de un variador de frecuencia, con su correspondiente cableado y programación en el motor del ventilador de gases. De este modo se garantiza el control y mantenimiento de la depresión de la cámara establecida en el sistema de combustión para cada etapa de potencia.	3.022,00 €
1	<b>Sistema automático de extracción de cenizas</b> Incorporación en la cámara de combustión de un sistema automático de extracción de cenizas. Este sistema extrae las cenizas del interior con la caldera en marcha. Compuesto por: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sinfín de extracción.</li> <li>- Motorreductor de accionamiento del sinfín.</li> <li>- Montaje y automatización del sistema.</li> <li>- Recipiente de recogida de cenizas.</li> <li>- Adaptación del conjunto en la cámara de combustión.</li> </ul>	6.219,00 €
1	<b>Sistema automático de soplado de cenizas en los tubos de la caldera</b> Incorporación en el cuerpo de la caldera de un sistema automático de extracción de cenizas. Compuesto por: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Un software instalado en el autómatas del cuadro de control de la caldera activa de manera organizada la descarga de aire comprimido, de un conjunto de válvulas neumáticas electropilotadas, instaladas convenientemente en las puertas de las cajas de humos de la caldera, con una cadencia que permite el desprendimiento del hollín incrustado en el paquete tubular.</li> <li>- Esta operación de desprendimiento del hollín se realiza con la caldera operativa, mejorando de este modo el rendimiento térmico de la misma.</li> <li>- Un conjunto de latiguillos de conexión, tubos colectores y un pequeño calderín de almacenamiento y reposición de las condiciones de servicio conforman el circuito neumático para el funcionamiento de este sistema.</li> </ul>	13.540,00 €
1	<b>Purga de lodos automática</b> Purga de lodos formada por: un grifo de bola con actuador neumático de simple efecto, electroválvula, filtro/manorreductor y temporizador.	2.147,00 €
1	<b>Purga de sales automática</b> Purga de sales automática por conductividad, con válvula de cierre, válvula de retención, electrodo conductivo, brida de montaje y regulador purga.	4.150,00 €
<b>Total</b>		<b>34.433,00 €</b>

Con todo esto y teniendo en cuenta que se instalarán todos los elementos anteriormente descritos, el presupuesto final de la caldera asciende a lo indicado en la comparativa de modelos de calderas, es decir, a un total de:

191.986,00 €

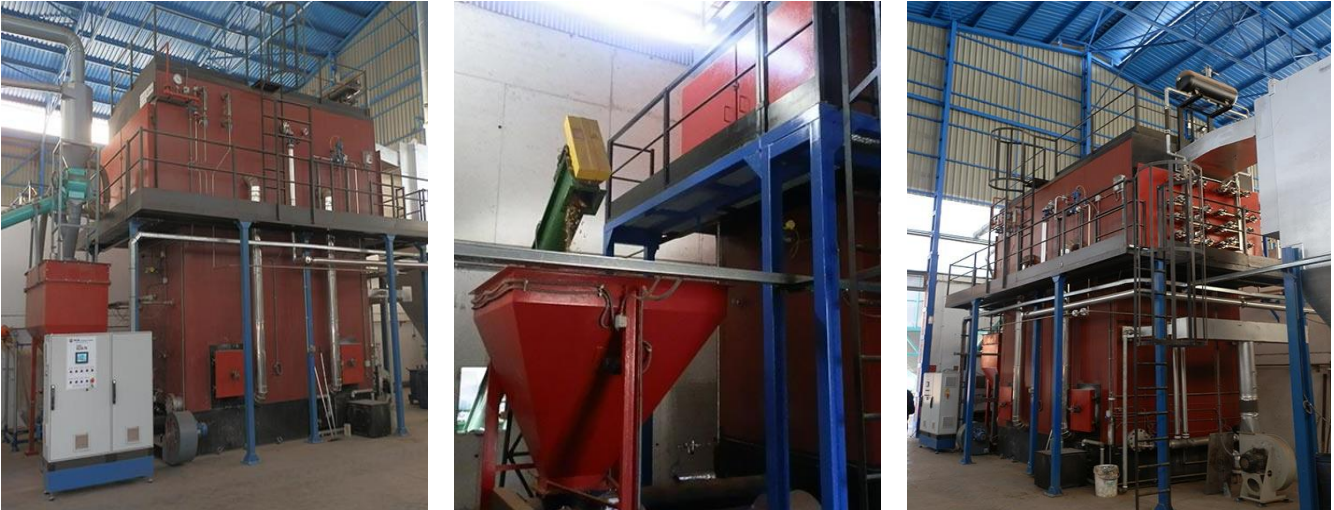


FIGURA 27. Fotografías de la caldera seleccionada ya instalada y funcionando en otra industria.

Fuente: Fabricante.

Desde la Ingeniería se ha conseguido que el fabricante descunte un 5% del precio final de la caldera al comprar todos los opcionales, quedado por tanto el precio de la misma en un total de:

182.400,00 €

## 5.2. Presupuesto del EPC

La Ingeniería es la encargada del EPC, esto es, la instalación de la caldera de Biomasa y todos los elementos necesarios para el funcionamiento de la red de vapor, incluyendo todos los trámites necesarios para la legalización de la misma.

Por tanto, la Ingeniería hace un presupuesto completo por dicho EPC. Este presupuesto es independiente de la modalidad de contrato que la Industria escoja, ya que la única diferencia viene dada por quién paga dicho EPC. Si la Industria escoge el modelo de contrato de EPC y suministro será ella la que haga la inversión inicial, es decir pagará el EPC a la Ingeniería. Si por el contrario elige el contrato de Servicios Energéticos, la inversión la hará el Suministrador (como ESE). En definitiva la Ingeniería cobra lo mismo pase lo que pase.

Este presupuesto se construye en base a las ofertas recibidas de los equipos y a las distintas actividades complementarias necesarias para que la instalación esté en perfecto estado de funcionamiento.

A continuación se describe, en primer lugar, los elementos necesarios para completar la red de vapor.

<b>Instalación de vapor de la caldera de biomasa</b>	
<b>Vapor</b>	
Instalación de vapor 4" (150 metros)	23.000,00 €
Válvula fuelle DN100	1.500,00 €
Válvula de retención DN100	980,00 €
<b>Válvulas de seguridad y aireación caldera</b>	
Tubería de 2 1/2" (10 metros)	1.088,00 €
Tubería de 1" (5 metros)	680,00 €
<b>Aporte de agua</b>	
Tubería 1 1/4" (10 metros)	1.575,00 €
<b>Purgas</b>	
Tubería 1 1/2" (6 metros)	1.400,00 €
Tubería 1/2" (6 metros)	580,00 €
Tubería 3" 12 metros AISI 304 SCH10	1.980,00 €
<b>Total</b>	<b>32.783,00 €</b>

Con todos los elementos definidos se detalla el presupuesto total del EPC llevado a cabo por la Ingeniería.

Al coste de los distintos apartados se les añade, cara a la venta, un 5% de beneficio industrial de la Ingeniería.



Concepto	Coste	Venta
<b>Caldera de Biomasa</b>		
Caldera	182.400,00 €	191.520,00 €
Transporte	2.700,00 €	2.835,00 €
Grúas	4.500,00 €	4.725,00 €
<b>Apertura hueco en fachada</b>		
Desmontaje y montaje de cubiertas y correas	2.050,00 €	2.152,50 €
Línea de vida	1.500,00 €	1.575,00 €
<b>Obra civil</b>		
Adaptación sala caldera	17.000,00 €	17.850,00 €
<b>Silo</b>		
Equipamiento Silo 300 m3	154.744,00 €	162.481,20 €
<b>Conexiones</b>		
Instalación mecánica	32.783,00 €	34.422,15 €
Instalación eléctrica + detección	6.000,00 €	6.300,00 €
Instalación control y caudalímetro telegestión	9.000,00 €	9.450,00 €
<b>Ingeniería y legalizaciones</b>		
Ingeniería y legalizaciones	22.500,00 €	23.625,00 €
<b>TOTAL</b>		<b>456.935,85 €</b>

Por tanto el EPC o, dicho de otra forma, la inversión inicial que debe hacerse para poder llevar a cabo este proyecto es de un total de:

457.000,00 €

Lo que le otorga a la Ingeniería un beneficio de 21.800,00 € aproximadamente.

### 5.3. Viabilidad económica

La instalación de la caldera de Biomasa en la Industria para la generación de vapor conlleva una reducción de consumos de GN ya que, como se ha comentado, la nueva caldera cubrirá del orden del 88% de las necesidades de vapor de la industria.

En estas condiciones y para estudiar la viabilidad económica que supone la instalación del equipo de Biomasa debe cuantificarse el ahorro anual que se generará. Éste ahorro vendrá dado por la comparación entre el gasto inicial en gas natural y el gasto que se dará en Biomasa y gas natural (que será menor) con la nueva caldera instalada.

En primer lugar se debe estudiar el gasto anual en GN antes de la instalación de la nueva caldera.

Según las facturas facilitadas por la Industria, en 2013, tuvo un gasto total en GN de:

Gastos en GN año 2013	
Término Variable	297.729,34 €
Término Fijo	48.178,15 €
<b>TOTAL</b>	<b>345.907,49 €</b>

En segundo lugar se debe hallar el consumo en gas ya con la caldera de Biomasa instalada.

Con la caldera de Biomasa el consumo de GN de la caldera vieja se reduce un 88%, como la caldera representa el 75% de los consumos de gas en toda la Industria, esto implica que la Industria necesitará un 70% menos de aporte del combustible gaseoso para funcionar del mismo modo.

Esta reducción del 70% de consumo de gas se traduce en un nuevo término fijo y un nuevo término variable, en concreto:

Gastos en GN con caldera de Biomasa	
Término Variable	88.127,88 €
Término Fijo	14.260,73 €
<b>TOTAL</b>	<b>102.388,62 €</b>

En tercer lugar toca calcular cuál será el gasto en Biomasa. La reducción en consumo de gas viene dada por el uso de Biomasa, por tanto debe cuantificarse el gasto en este nuevo combustible para poder definir el ahorro neto anual.

Se consumirá un total anual de 1.813.069,85kg de biomasa, que según datos del Suministrador está a 0,085€/kg, lo que se traduce en 154.110,94€ en dicho combustible.

Estos datos son resultados de un análisis técnico de la instalación de la caldera por tanto, son independientes del tipo de contrato que la Industria quiera firmar. No ocurre así con los resultados económicos, que sí dependen del tipo de contrato que se lleve a cabo. A continuación se estudiará la viabilidad económica de ambos tipos de contrato para un período de 12 años.

### 5.3.1. Contrato de EPC y suministro

En esta modalidad la Industria tiene relaciones contractuales con los otros dos agentes. De este modo firmará dos contratos:

- El primero es el EPC (o llave en mano) que firmaría con la Ingeniería por la caldera de Biomasa y toda la instalación complementaria (tolvas, circuito de vapor, etc.), de tal forma que recibe la instalación funcionando y legalizada. El presupuesto del EPC, y por tanto la cantidad que la Industria debería desembolsar, asciende

a un total de 457.000€. Lo más probable es que para afrontar este pago la Industria deba financiarse.

En este caso la caldera así como toda la instalación de vapor es propiedad de la Industria desde el primer instante.

- El segundo contrato que la Industria firma es con el suministrador de Biomasa, en éste se fija un precio por kg y unas características de la misma, en concreto:

Características de la Biomasa	
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	250
PCI (kWh/kg)	3,50
Cenizas (%)	0,40
Azufre (%)	0,01
Cloro (%)	0,01
Precio (€/kg)	0,085

Se considerará que el precio de la misma aumentará un 2% anualmente.

Con esta combinación de contratos tanto la Ingeniería como el Suministrador no realizan ninguna inversión, sólo cobran por servicios, por tanto ellos no han de estudiar la viabilidad económica de ningún tipo de inversión. En cambio la Industria sí realiza una inversión al inicio, ésta inversión debe amortizarse y generar ahorros (beneficio), de lo contrario no se llevará a cabo la instalación de Biomasa.

A continuación se realiza un estudio de la evolución económica esperada en base a la producción actual de la Industria. Se considera un nivel de producción constante e igual al del año 2013 ya que para cuantificar el ahorro se deben comparar consumos iguales.

Es importante recordar el aspecto ambiental de ésta inversión, también debe considerarse como un aspecto positivo que ayude en la toma de la decisión final.

Para este estudio económico se ha considerado:

- Un incremento anual del precio del gas del 3% (tanto en término fijo como en variable).
- Un incremento anual del precio de la Biomasa del 2%.
- Tasa de descuento 4,5%.

Con esto se obtiene una evolución para 12 años como la que sigue:

Año	Consumo con GN		Consumo con Biomasa			Ahorro Neto	Cash-Flow	Cash-Flow Acumulado
	T. Fijo GN	T. Variable GN	T. Fijo GN	T. Variable GN	T. Biomasa			
<b>0</b>							-457.000 €	-457.000 €
<b>1</b>	48.178 €	297.729 €	14.261 €	88.128 €	154.111 €	89.408 €	89.408 €	-367.592 €
<b>2</b>	49.623 €	306.661 €	14.689 €	90.772 €	157.193 €	93.631 €	93.631 €	-273.961 €
<b>3</b>	51.112 €	315.861 €	15.129 €	93.495 €	160.337 €	98.012 €	98.012 €	-175.949 €
<b>4</b>	52.646 €	325.337 €	15.583 €	96.300 €	163.544 €	102.556 €	102.556 €	-73.393 €
<b>5</b>	54.225 €	335.097 €	16.051 €	99.189 €	166.815 €	107.268 €	107.268 €	33.875 €
<b>6</b>	55.852 €	345.150 €	16.532 €	102.164 €	170.151 €	112.154 €	112.154 €	146.029 €
<b>7</b>	57.527 €	355.504 €	17.028 €	105.229 €	173.554 €	117.220 €	117.220 €	263.250 €
<b>8</b>	59.253 €	366.170 €	17.539 €	108.386 €	177.025 €	122.472 €	122.472 €	385.722 €
<b>9</b>	61.031 €	377.155 €	18.065 €	111.638 €	180.566 €	127.917 €	127.917 €	513.639 €
<b>10</b>	62.862 €	388.469 €	18.607 €	114.987 €	184.177 €	133.560 €	133.560 €	647.199 €
<b>11</b>	64.747 €	400.123 €	19.165 €	118.437 €	187.860 €	139.409 €	139.409 €	786.608 €
<b>12</b>	66.690 €	412.127 €	19.740 €	121.990 €	191.618 €	145.469 €	145.469 €	932.077 €

Donde el ahorro neto viene definido por:

$$\text{Ahorro Neto (€)} = \text{Consumo con GN (€)} - \text{Consumo con Biomasa (€)}$$

Fórmula 9. Cálculo del ahorro neto.

Los distintos consumos a su vez se definen como:

- $\text{Consumo con GN (€)} = T. Fijo GN (€) + T. Variable GN (€)$
- $\text{Consumo con Biomasa(€)} = T. Fijo GN (€) + T. Variable GN(€) + T. Biomasa(€)$

Si ahora se representa el cash-flow acumulado en una gráfica, se obtiene una imagen muy clara de la evolución de la inversión a lo largo de los años, donde se ve fácilmente cuando pasa a valor positivo, es decir, cuando la inversión empieza a ser rentable para la Industria.

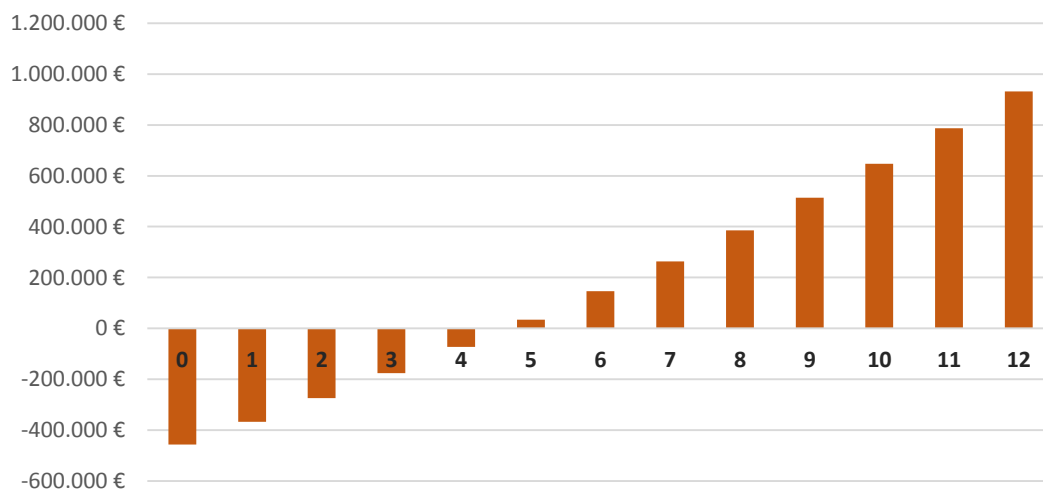


FIGURA 28. Evolución del Flujo de Caja para un período de 12 años  
Fuente: Elaboración propia.

Atendiendo al gráfico del flujo de caja acumulado se observa como la inversión sí que es rentable, es más, a los 12 años aporta ha aportado un beneficio cercano al millón de euros.

Ahora bien, como es sabido, el dinero pierde valor con el paso del tiempo, por ello se hace necesario estudiar otros parámetros económicos como son el VAN (valor actualizado neto), el TIR (tasa interna de retorno) y el período de retorno (o pay-back), al estudiar estos parámetros se obtiene:

<b>RENTABILIDAD PURA (12 AÑOS)</b>	
TIR	20,64%
VAN	574.404,06 €
Pay-back	4,7 años

Si los ahorros son los previstos, la inversión se recupera en menos de 5 años, éste es un buen período de retorno dado que la vida útil de la instalación es mayor, haciendo que a partir de ese momento la Industria pase a ahorrar una gran cantidad anual (de hecho se ha estudiado hasta el año doce, pero la caldera podrá seguir funcionando más años).

Además, el VAN de más de medio millón de euros confirma que la inversión será rentabilizada, este valor indica que el dinero que se habrá ahorrado a los 12 años de la implantación de la caldera equivale a 547.404€ actualmente.

Por último el TIR es muy positivo confirmando que instalar la caldera de Biomasa será una buena inversión para la Industria.

En este caso es importante notar que, si bien se ha comprobado que la Industria ganará con la instalación de la caldera, la inversión inicial es muy voluminosa. El casi medio millón de euros que deberá desembolsar la Industria hace que, como es lógico, se plantee muy seriamente la implantación o no de la caldera. La Industria debe valorar el riesgo que para ella supone hacer este tipo de inversión, que tiene un gran potencial de ahorro pero a su vez un riesgo elevado, y que además, requiere de un período más o menos largo de tiempo para amortizarla.

Es por esto que se plantea otro tipo de contrato, el contrato de Servicios Energéticos que a continuación se detalla y estudia.

### *5.3.2. Contrato de Servicios Energéticos*

En esta modalidad es el Suministrador el que tiene relaciones contractuales con los otros dos agentes. De este modo firmará dos contratos:

- El primero es el EPC (o llave en mano) que firmaría con la Ingeniería por la caldera de Biomasa y toda la instalación complementaria (tolvas, circuito de vapor, etc.), de tal forma que recibe la instalación funcionando y legalizada. El presupuesto

del EPC, y por tanto la cantidad que el Suministrador debería desembolsar, asciende a un total de 457.000€. Lo más probable es que para afrontar este pago deba financiarse.

En este caso toda la instalación de vapor es propiedad del Suministrador al inicio.

- El segundo contrato que firma es un contrato de Servicios Energéticos con la Industria, en él se pacta un término fijo por la Biomasa de 6.250€/mes (es decir 75.000€/año) para el primer año, e irá aumentando un 2% anualmente. Además se cobra el término variable (que va en base al consumo y es el mismo que en el contrato de EPC y suministro se contabilizaba como “T. Biomasa”). Al finalizar este contrato la propiedad de la caldera y la instalación pasa a ser de la Industria inmediatamente.

Con este sistema la Industria no ha de desembolsar el casi medio millón de euros que supone el EPC de la caldera y sigue teniendo acceso a GN por lo que, si la nueva caldera diera problemas, seguiría teniendo suministro energético. Es decir, con esto se consigue reducir el riesgo de la Industria (y por tanto el miedo al cambio de caldera), trasladándolo al Suministrador, que es el que lo asume al realizar la inversión.

En este caso se va pactar que la Industria “pague” al inicio 140.000€, este capital le será devuelto en los últimos 6 años de contrato (20.000€ anuales los años 7, 8, 9 y 10 y 30.000€ anuales los años 11 y 12). De este modo el Suministrador tiene mayor seguridad de la duración del contrato, asegurándose así el retorno de la inversión y poder dar el suministro de Biomasa durante un largo período de tiempo.

Por tanto, la viabilidad económica en este caso ha de estudiarse desde dos puntos de vista, desde el punto de vista de la Industria (considerando que invierte 140.000€) y desde el del Suministrador.

Desde el punto de vista de la Industria se tiene el siguiente flujo de dinero a lo largo de los 12 primeros años (en los que dura el contrato):

Año	Consumo con GN		Consumo con Biomasa				Devolución del pago
	T. Fijo GN	T. Variable GN	T. Fijo GN	T. Variable GN	T. Biomasa	T. fijo Biomasa	
<b>0</b>							
<b>1</b>	48.178 €	297.729 €	14.261 €	88.128 €	154.111 €	75.000 €	0 €
<b>2</b>	49.623 €	306.661 €	14.689 €	90.772 €	157.193 €	76.500 €	0 €
<b>3</b>	51.112 €	315.861 €	15.129 €	93.495 €	160.337 €	78.030 €	0 €
<b>4</b>	52.646 €	325.337 €	15.583 €	96.300 €	163.544 €	79.591 €	0 €
<b>5</b>	54.225 €	335.097 €	16.051 €	99.189 €	166.815 €	81.182 €	0 €
<b>6</b>	55.852 €	345.150 €	16.532 €	102.164 €	170.151 €	82.806 €	0 €
<b>7</b>	57.527 €	355.504 €	17.028 €	105.229 €	173.554 €	84.462 €	20.000 €
<b>8</b>	59.253 €	366.170 €	17.539 €	108.386 €	177.025 €	86.151 €	20.000 €
<b>9</b>	61.031 €	377.155 €	18.065 €	111.638 €	180.566 €	87.874 €	20.000 €
<b>10</b>	62.862 €	388.469 €	18.607 €	114.987 €	184.177 €	89.632 €	20.000 €
<b>11</b>	64.747 €	400.123 €	19.165 €	118.437 €	187.860 €	91.425 €	30.000 €
<b>12</b>	66.690 €	412.127 €	19.740 €	121.990 €	191.618 €	93.253 €	30.000 €

Donde la columna devolución del pago representa los que la Industria recibiría en los últimos 6 años para recuperar los 140.000€ que ésta debe dar al Suministrador al inicio del contrato.

Estos movimientos se traducen en los siguientes flujos de caja para la industria:

Año	Ahorro Neto	Cash-Flow	Cash-Flow Acumulado
<b>0</b>		-140.000 €	-140.000 €
<b>1</b>	14.408 €	14.408 €	-125.592 €
<b>2</b>	17.131 €	17.131 €	-108.461 €
<b>3</b>	19.982 €	19.982 €	-88.479 €
<b>4</b>	22.965 €	22.965 €	-65.513 €
<b>5</b>	26.086 €	26.086 €	-39.428 €
<b>6</b>	29.348 €	29.348 €	-10.080 €
<b>7</b>	32.758 €	52.758 €	42.679 €
<b>8</b>	36.321 €	56.321 €	99.000 €
<b>9</b>	40.042 €	60.042 €	159.042 €
<b>10</b>	43.928 €	63.928 €	222.970 €
<b>11</b>	47.984 €	77.984 €	300.954 €
<b>12</b>	52.216 €	82.216 €	383.171 €

Si como en el caso anterior se representa el flujo de caja acumulado a lo largo de los doce años se obtiene:

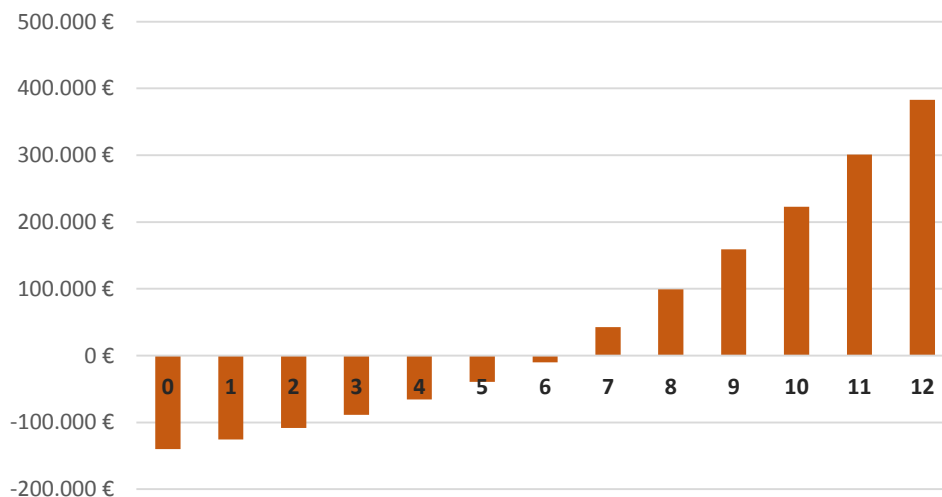


FIGURA 29. Evolución del Flujo de Caja para un período de 12 años  
Fuente: Elaboración propia.

El valor del Cash-Flow acumulado en el año 12 es de 383.171€ (548.906€ menos que en el caso del contrato de EPC y suministro), pero evidentemente el caso que nos ocupa parte de la condición de que la Industria puede considerarse que invierte 140.000€, (un 70% menos que en el caso anterior) por lo que es lógico que si la inversión es menor (y por tanto el riesgo) los beneficios también lo sean.

Si se estudian en este caso el TIR, el VAN y el período de retorno se obtienen los siguientes resultados:

<b>RENTABILIDAD PURA (12 AÑOS)</b>	
TIR	19,51%
VAN	226.185,92 €
Pay-back	6,2 años

El VAN en este caso es un 60% menor que en el caso anterior, por la misma razón que se deduce del flujo de caja. El período de retorno es similar al anterior ya que si bien es cierto que la inversión se ha reducido, también se han visto reducidos los ahorros generados ya que debe pagar un término fijo por la Biomasa.

La Industria al finalizar los 12 años será, además, propietaria de toda la instalación, lo que también es un punto importante a tener en cuenta.

Si ahora se estudia la viabilidad económica desde el punto de vista del Suministrador, que es quien realiza la inversión, obtenemos la siguiente evolución de ingresos y gastos:

<b>Año</b>	<b>Gastos en O&amp;M</b>	<b>Pagos de Industria</b>	<b>Resultado anual</b>	<b>Cash-Flow</b>	<b>Cash-Flow Acumulado</b>
0				-457.000 €	-457.000 €
1	25.000 €	75.000 €	50.000 €	50.000 €	-407.000 €
2	25.500 €	76.500 €	51.000 €	51.000 €	-356.000 €
3	26.010 €	78.030 €	52.020 €	52.020 €	-303.980 €
4	26.530 €	79.591 €	53.060 €	53.060 €	-250.920 €
5	27.061 €	81.182 €	54.122 €	54.122 €	-196.798 €
6	27.602 €	82.806 €	55.204 €	55.204 €	-141.594 €
7	28.154 €	84.462 €	56.308 €	56.308 €	-85.286 €
8	28.717 €	86.151 €	57.434 €	57.434 €	-27.852 €
9	29.291 €	87.874 €	58.583 €	58.583 €	30.731 €
10	29.877 €	89.632 €	59.755 €	59.755 €	90.486 €
11	30.475 €	91.425 €	60.950 €	60.950 €	151.436 €
12	31.084 €	93.253 €	62.169 €	62.169 €	213.604 €

El Suministrador considera que aproximadamente un tercio de los pagos que reciba por parte de la Industria los invertirá en la operación y mantenimiento de la instalación, con



eso podrá cubrir el sueldo de un operario y los materiales y elementos que precisen sustitución.

Es importante notar que el Suministrador no tiene como objetivo principal obtener beneficio por el cobro del término fijo, este término se quiere invertir en recuperar la inversión que ha realizado en la instalación y realizar la operación y mantenimiento.

Si representamos el flujo de caja acumulado a lo largo de los 12 años de duración del contrato, se obtiene la siguiente distribución.

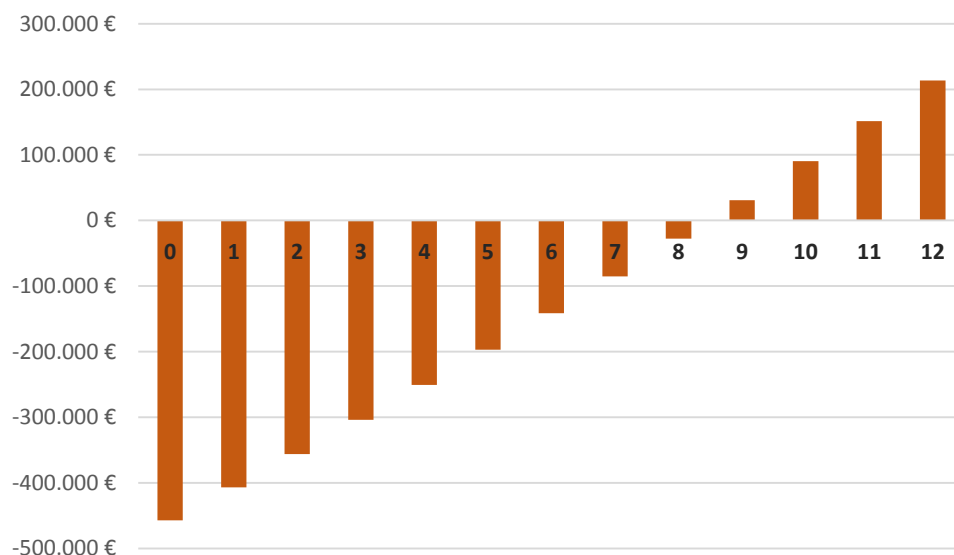


FIGURA 30. Evolución del Flujo de Caja para un período de 12 años  
Fuente: Elaboración propia.

A priori parece que se obtenga un gran beneficio por parte del Suministrador (213.604€), pero si se estudia el valor actualizado neto (o VAN) de la inversión que representa el auténtico valor que aporta la inversión, se obtiene:

RENTABILIDAD PURA (12 AÑOS)	
TIR	6,20%
VAN	47.327,28 €
Pay-back	8,5 años

El VAN que se obtiene es ligeramente positivo por lo que el Suministrador sí que podría obtener un ligero beneficio por el cobro de término fijo, esto también da margen al Suministrador para poder realizar alguna reparación costosa si se diese el caso.

Pese a que el Suministrador prácticamente no obtiene beneficio por el cambio de caldera, es importante recordar que la función principal de esta empresa es la de suministro de Biomasa. En este caso ha aportado la inversión de la caldera para asegurarse un cliente que le compre a lo largo de 12 años (como mínimo) una gran cantidad de combustible.



## 6. Conclusiones

Con este estudio se ha podido comprobar como el cambio de un equipo generador de vapor industrial que funciona con un combustible fósil, como es el gas natural, a un equipo que realiza la misma función pero que funciona con combustible renovable, como la biomasa, es completamente viable. En concreto este estudio se ha desarrollado desde tres puntos de vista diferentes.

El primero de ellos es el punto de vista técnico, es decir, el estudio de si existe una posibilidad real de implantación de un equipo generador de vapor funcionando con Biomasa capaz de cubrir las necesidades de caudal de vapor. En base a las necesidades energéticas que tenía la Industria, se han buscado equipos que fueran capaces de proporcionarlas. Se ha encontrado una amplia variedad de calderas capaces de aportar esa energía quemando exclusivamente biomasa, del mismo modo se ha corroborado como el suministro y almacenamiento del combustible puede llevarse a cabo sin problemas, siempre y cuando se cuente con el espacio suficiente para los silos. El combustible, por su parte, tiene las propiedades energéticas necesarias además de un suministro asegurado. Se ha concluido, después de realizar el estudio, que las calderas actuales de biomasa tienen un alto rendimiento y grado de automatización, lo que hace que en la Industria pueda implantarse sin más necesidades de operación y mantenimiento que las que podría dar una caldera de gas natural. En definitiva no hay ningún tipo de problema técnico que imposibilite el desarrollo del proyecto.

El punto de vista ambiental también es importante en este estudio. Dado el actual cambio climático, se hace necesario un consumo más inteligente de la energía, se debe apostar por la eficiencia energética y por fuentes de energía que no comprometan el futuro del planeta. Es aquí donde este proyecto cobra protagonismo ya que el cambio de gas natural a biomasa se traduce en una tremenda disminución de gases de efecto invernadero causantes, como ya es sabido, del calentamiento global. En concreto se consigue reducir la emisión de un total de 1100,7 toneladas de CO<sub>2</sub> a la atmosfera anualmente. Esto además de ser beneficioso por si solo también puede ser usado por la empresa para mejorar su imagen corporativa cara a sus clientes. Lo que aporta un valor añadido al proyecto.

Quizá el punto de vista que más peso tenga en la Industria es el económico, ya que al fin y al cabo es una empresa, y como tal se busca maximizar el beneficio económico. En este aspecto también se hace patente la viabilidad de este proyecto, y es que la Industria por el cambio de combustible pasará a ahorrar una gran cantidad de dinero. En este caso entra en juego el tipo de contrato que decida escoger. En función de eso los ahorros variarán pero en ambos casos se produce un ahorro con respecto al funcionamiento con gas natural.

Si escoge el modelo de contrato de EPC y suministro tendrá unos resultados económicos como los que siguen:

<b>RENTABILIDAD PURA (12 AÑOS)</b>	
TIR	20,64%
VAN	574.404,06 €
Pay-back	4,7 años

En cambio, si se decanta por el contrato de Servicios Energéticos tendrá los siguientes:

<b>RENTABILIDAD PURA (12 AÑOS)</b>	
TIR	19,51%
VAN	226.185,92 €
Pay-back	6,2 años

Por tanto, si se observa el valor del VAN de ambas opciones se hace evidente el aspecto positivo del cambio sea cual sea el tipo de contrato.

El contrato de Servicios energéticos, pese a arrojar un resultado de VAN menor es el que probablemente se lleve a cabo, ya que en este caso el riesgo que la Industria asume es prácticamente inexistente, además de que le permite seguir centrando su capital en su actividad productiva.

Todo apunta a que el desarrollo del proyecto de sustitución es positivo y por tanto debe llevarse a cabo, ya que todas las partes involucradas obtienen beneficio del mismo. No debe olvidarse aquí el medio ambiente que es otro gran beneficiado del cambio de combustible, aspecto que sigue decantando todavía más la balanza a favor de la instalación de la nueva caldera.

En conclusión, mediante un contrato de Servicios Energéticos podrían llevarse a cabo más proyectos de estas características, sustituyendo el gran número de equipos generadores de calor que hay en todo el país. De este modo se reduciría la dependencia energética exterior, al tiempo que lo haría el nivel de emisiones de gases de efecto invernadero. Todo ello ligado a un ahorro económico por parte de los consumidores de combustibles fósiles.

## 7. Bibliografía

- IDAE (2007). *Energía de la biomasa*. ISBN: 978-84-96680-15-9
- IDAE (2008). *Biomasa: Empresas de Servicios Energéticos*. ISBN: 978-84-96680-33-3
- IDAE (2008). *Biomasa: Industria*. ISBN: 978-84-96680-31-9
- IDAE (2011). *Plan de ahorro y eficiencia energética 2011 – 2020*.
- IDAE (2011). *Resumen del Plan de Energías Renovables 2011 – 2020*.