



Estudio sobre

ABASTECIMIENTO CENTRALIZADO DE CALOR Y ELECTRICIDAD

en el Polígono Industrial
de Villadangos del Páramo (León)



*Estudio sobre
abastecimiento centralizado
de calor y electricidad
en el Polígono Industrial
de Villadangos del Páramo (León)*

Financia:

CONSEJERÍA DE ECONOMÍA Y EMPLEO. JUNTA DE
CASTILLA Y LEÓN

Promueve:

COMISIONES OBRERAS DE INDUSTRIA DE CASTILLA Y
LEÓN

Redacción, diseño y maquetación del Estudio:

Grupo CARAC

Depósito Legal: **AS 01177-2015**

Agradecimientos

Los autores de este Estudio desean agradecer a todos y cada uno de los implicados en el mismo su contribución para que su desarrollo hubiera sido posible.

Al EREN (Ente Regional de la Energía de Castilla y León), por su ayuda en las labores de información previa y contacto con las empresas del Polígono Industrial de Villadangos del Páramo, así como por supuesto por el apoyo económico sin el cual este trabajo no hubiera sido posible.

A Comisiones Obreras de Industria de Castilla y León, como organización promotora e impulsora de esta acción, sin cuyo interés tampoco hubiera sido posible.

Al Ilustre Ayuntamiento de Villadangos del Páramo por la información facilitada al inicio de los trabajos.

Y muy especialmente a todas aquellas empresas y sus responsables que brindaron las necesarias facilidades para acceder a sus instalaciones, concedieron altruistamente parte de su tiempo y proporcionaron aquellos datos que los técnicos responsables del Estudio les demandaron para poder desarrollar su trabajo.



PRÓLOGO



Prólogo

Un año más damos por cerradas las actividades que desde CC.OO. de Industria de Castilla y León hemos realizado para el Observatorio Industrial del Sector de la Energía, dentro del II Acuerdo Marco para la Competitividad e Innovación Industrial de Castilla y León, y que lleva por título “Cogeneración para el Abastecimiento de Calor y Electricidad en un Polígono Industrial”.

El trabajo realizado recoge la apuesta decidida que desde CC.OO. de Industria de Castilla y León se venía reclamando, para así poder institucionalizar el encuentro regular entre la Administración y los distintos agentes sociales con la finalidad de analizar la realidad actual ante la que se encuentra el sector de la Energía en nuestra Comunidad y así plantear medidas y propuestas que contribuyan a su progreso y mejora.

El estudio realizado tiene por objeto analizar la demanda energética de las empresas ubicadas en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León).

Conscientes de la situación actual de dependencia energética, se valoran las diferentes alternativas factibles para la generación de calor con carácter centralizado y distribuido a las parcelas del polígono a través de una red propia, abordando de todas las alternativas posibles la más adecuada.



Para poder llevar a cabo estas actividades, CC.OO. de Industria de Castilla y León ha contactado con responsables de empresas del sector de la comunidad de Castilla y León con objeto de conseguir datos para el posterior análisis.

Del mismo modo se ha contactado con otras entidades -Administración, universidades...- y otros expertos -revistas especializadas y publicaciones, anuarios, estudios, etc.-.

CC.OO. de Industria de Castilla y León, entiende y apuesta por que el Observatorio debe consolidarse en un foro permanente de encuentro entre los diversos agentes que en él participamos para el análisis del sector, sirviendo de recogida y procesamiento de información acerca de las necesidades, demandas, resultados y perspectivas del mismo, y con todo ello poder elaborar un diagnóstico exhaustivo para así poder plantear propuestas de mejora.

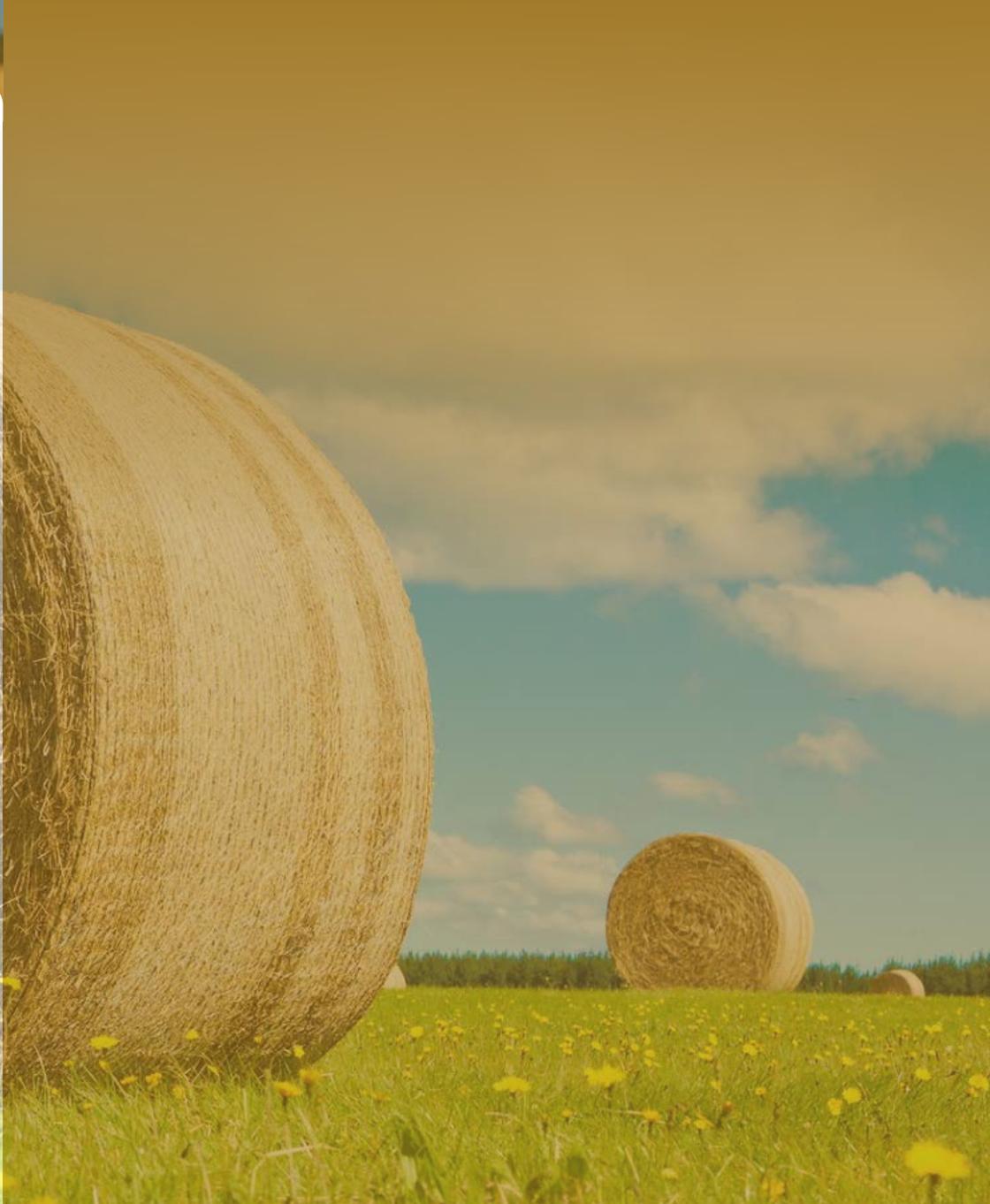
Desde el Observatorio se debe de fomentar el desarrollo del sector, con nuevos elementos de innovación y sistemas que mejoren la productividad de las empresas, implantando métodos más sostenibles y con menor impacto para el Medio Ambiente, asegurando así el futuro del sector como garantía de empleo en nuestra Comunidad.

Gonzalo A. Díez Piñeles

Secretario General

CC.OO. de Industria de Castilla y León







*Estudio sobre abastecimiento
centralizado de calor y electricidad en
el Polígono Industrial de Villadangos del
Páramo (León)*

Índice



Índice

1.INTRODUCCIÓN Y OBJETO DE ESTE ESTUDIO	13
1.1. CO ₂ EN ESPAÑA	14
2. USO DE LA INSTALACIÓN Y METODOLOGÍA DEL ESTUDIO	21
3.ALCANCE DEL ESTUDIO.....	27
3.1. LA CENTRAL TÉRMICA.....	27
3.2. RED DE DISTRIBUCIÓN.....	28
3.3. SUBESTACIONES DE TRANSMISIÓN DE CALOR.....	30
4.RAZONES PARA OPTAR POR LA IMPLANTACIÓN DE UN DISTRICT HEATING	35
4.1. VENTAJAS PARA EL MEDIO AMBIENTE.....	36
4.2. VENTAJAS PARA EL CLIENTE.....	37
5.EJEMPLOS DE INSTALACIONES TIPO DISTRICT HEATING ...	41
6.CONSIDERACIONES PREVIAS AL DISEÑO	49
7.ALGUNOS APUNTES SOBRE LA AGRICULTURA Y GANADERÍA EN LA COMUNIDAD AUTÓNOMA DE CASTILLA Y LEÓN.....	53



8.PROPUUESTAS	61
8.1. PROPUESTAS ENERGÉTICAS Y COMPARACIÓN DE COMBUSTIBLES....	61
8.1.1 BIOGÁS	66
8.1.2 BIOMASA	68
8.1.3 GAS NATURAL	74
9.SISTEMAS PROPUESTOS	81
9.1. GENERADORES DE CALOR POR BIOMASA.....	82
9.2. SISTEMA HÍBRIDO GAS NATURAL-BIOMASA.....	88
9.3. ORC PARA COGENERACIÓN DE CALOR Y ELECTRICIDAD	90
10.REDES DE DISTRIBUCIÓN. INTEGRACIÓN DE SISTEMAS DE REGULACIÓN Y CONTROL	97
11.DESCRIPCIÓN DEL POLÍGONO	109
11.1. UBICACIÓN Y COMUNICACIONES.....	109
11.2. CARACTERÍSTICAS DE INTERÉS DE LAS EMPRESAS UBICADAS EN EL POLÍGONO	110
11.3. DEMANDAS ENERGÉTICAS	114
12.ESTUDIO DE EFICIENCIA Y RENTABILIDAD	125
12.1. ELEMENTOS COMUNES DE LA INSTALACIÓN.....	125
12.1.1 CÁLCULO DE ELEMENTOS COMUNES DE LA INSTALACIÓN	126
12.1.2 PRESUPUESTO DE ELEMENTOS COMUNES DE LA INSTALACIÓN.....	145



12.2. PLANTA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA.....	148
12.2.1 GENERACIÓN DE CALOR POR BIOMASA	148
12.2.2 SISTEMA HÍBRIDO GAS NATURAL-BIOMASA.....	163
12.2.3 ORC PARA COGENERACIÓN DE CALOR Y ELECTRICIDAD	180
13.PRINCIPALES CONCLUSIONES.....	199
14.BIBLIOGRAFÍA.....	209

Capítulo I



Introducción y objeto de este Estudio



1. INTRODUCCIÓN Y OBJETO DE ESTE ESTUDIO

El presente Estudio tiene por objeto primordial fijar la demanda energética de las empresas ubicadas en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León), y sopesar las diferentes alternativas para un potencial proyecto donde la generación de calor tendría carácter centralizado y sería distribuida a las parcelas ocupadas del polígono a través de una red propia. Esta clase de tecnología energética recibe la denominación universal de *District Heating* (a las que nos referiremos a partir de aquí como DH).

Dentro de este trabajo se abordan todas las alternativas factibles para la generación de calor, escogiendo finalmente aquella más adecuada en función de su viabilidad, tanto técnica como económica, así como en base a su plazo de amortización.

La metodología para el análisis de la implantación de esta clase de infraestructuras de generación y distribución, arranca de un exhaustivo conocimiento de las instalaciones localizadas en el polígono para proceder a delimitar la demanda energética del mismo. Como parte de esta sistemática de trabajo se incluye la elección de una parcela disponible en la que se implementaría la construcción del DH, y desde la cual se procedería a la distribución mediante una red de canalización subterránea del calor a cada subestación ubicada en cada parcela demandante. En estas subestaciones se llevará a cabo el intercambio de calor entre el fluido caloportador del DH y el del propietario de la parcela.



Otro de los grandes objetivos de esta clase de instalaciones energéticas, sin desdeñar las indudables oportunidades socioeconómicas que pueden reportar, así como las más evidentes de ahorro energético, corresponde también a la posibilidad de implantar sistemas de producción de calor más sostenibles y con menores impactos para el Medio Ambiente, en particular los que se encuentran asociados a las emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes atmosféricos.

I.1. CO₂ EN ESPAÑA

Resulta bien conocido, y es objeto de consenso actualmente, que la atmósfera del planeta ha alcanzado valores de emisiones de CO₂ preocupantes a escala mundial, convirtiéndose con ello en el principal de los llamados *gases de efecto invernadero*, al menos desde el punto de vista de los volúmenes generados.

El cambio climático y la crisis económica son las dos caras de un modelo de desarrollo insostenible.

Las emisiones de CO₂ siguen profundamente imbricadas con el nivel de desarrollo económico, por lo que en estos últimos años de crisis y recesión, de forma asociada han experimentado un apreciable descenso. Así, en 2014, las emisiones de gases de efecto invernadero disminuyeron un 1,9% respecto al año anterior. A pesar de ello, tras el descenso

en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)

experimentado en 2014, las emisiones suponen ya un incremento del 18,7% respecto a 1990, año de referencia empleado por el Protocolo de Kioto.

En el periodo 2008-2014 España emitió una media del 24,5% de incremento frente al año base, superando así el 15% asignado por el Protocolo de Kioto.

En cualquier caso, este descenso de las emisiones de gases de efecto invernadero en el año 2014 puede imputarse en buena parte a la crisis económica, responsable durante ese año de una moderación importante en el consumo de electricidad, el uso del vehículo privado y el transporte de mercancías.



Foto 1. Central térmica de Andorra (Teruel)

Los altos precios del petróleo hasta finales de 2014, la paralización de la actividad del Sector de la Construcción, la caída en las ventas de automóviles con relación a la etapa anterior al inicio de la crisis, la disminución de la demanda eléctrica y de gas natural, así como el aumento del paro, son en gran medida los responsables del descenso de las emisiones totales y de las emisiones por habitante, que consiguientemente también se han visto reducidas de forma considerable, pasando de un máximo de 9,8 toneladas de CO₂-eq en 2005 a 7,3 toneladas de CO₂-eq en 2014.



El sector energético es el principal responsable del conjunto de las emisiones atmosféricas de gases de efecto invernadero, representando el 78% del total en el año 2014.

Considerando su origen más específico, el mayor volumen de emisiones corresponde a las actividades de generación de electricidad y al transporte por carretera. El resto procede de las diez refinerías de petróleo, de los consumos energéticos de la industria, el transporte aéreo, los usos residenciales y el Sector Servicios (sobre todo calefacción y agua caliente sanitaria).

Las emisiones asociadas a la generación de electricidad crecieron un 25,4% entre 1990 y 2014, representando el 23,5% del total en este último año, siendo el Sector Eléctrico donde se presentarían las mayores posibilidades de reducción de emisiones y a un menor coste.



Foto 2. Aerogeneradores en Tarifa

Las energías renovables en España han evitado en 2014 la emisión de 38 millones de toneladas de CO₂, y en torno a 200 millones de toneladas de CO₂ durante el periodo 2008-2014. La aportación de las energías renovables, especialmente la eólica, a este resultado de reducción de emisiones resulta muy importante, por cuanto cubrieron el 31,2% de la generación de electricidad en 2014, muy por encima de lo que aportó por ejemplo la de origen nuclear. Por su parte, la generación termoeléctrica mediante carbón creció un 35,2% en

en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)

2014, achacándosele el aumento habido en las emisiones asociadas al sector de generación eléctrica, por valor de 8 millones de toneladas de CO₂ en 2014 respecto a 2013. Entre las razones que apuntan a la explicación de este último incremento habría que situar tanto al Real Decreto que promueve el consumo de carbón autóctono para generación termoeléctrica, como probablemente a los bajos precios de los derechos de emisión de CO₂ en 2014.

Las emisiones asociadas al transporte crecieron un 43,7% entre 1990 y 2014, suponiendo en la actualidad el 21,7% del total. En el transporte por carretera las emisiones experimentaron un crecimiento continuado hasta 2007, pero la crisis económica las frenó en seco a partir de 2008.



Foto 3. Tráfico en gran ciudad

Se estima que en el Sector del Transporte la reducción de emisiones se ha debido fundamentalmente a la disminución de desplazamientos laborales y de mercancías producida durante los últimos años a consecuencia de la crisis. A pesar del descenso de las emisiones de GEI en 2014, España sigue siendo uno de los países industrializados donde más han aumentado las emisiones respecto a 1990. Además, nuestro país debe definir un plan de reducción de emisiones acorde con las recomendaciones científicas, con objetivos ambiciosos para 2020, 2030 y 2050. En este sentido, España tiene la oportunidad de mejorar esas expectativas, ya que el objetivo para los sectores difusos



de disminución de emisiones en un 10% para 2020 respecto a 2005, supone aumentar las emisiones actuales, y no lanza el mensaje adecuado para establecer medidas permanentes de eficiencia energética. Las emisiones de CO₂ en España siguen ligadas al desarrollo económico, y faltan medidas estructurales que encaminen a nuestro país hacia un modelo de desarrollo bajo en carbono. Para consolidar la tendencia de descenso de emisiones cuando se inicie la recuperación económica, es imprescindible dar un giro a la política energética para fomentar un modelo sostenible, eficiente y renovable, implicando a todas las administraciones, agentes económicos y sociales.

A modo de conclusión puede afirmarse que si España pretende disminuir la huella de carbono que afecta al planeta, y que está contribuyendo a un ya innegable cambio climático en la actualidad, debería promover todo tipo de proyectos basados en el impulso de las energías renovables.

Entre las grandes potencias industriales mundiales, salvo limitadas excepciones, se está apostando y poniendo en marcha la implantación de nuevas tecnologías para mejorar la sostenibilidad energética de las edificaciones, tanto de tipo residencial como terciario. Los resultados logrados en estos países se muestran muy alentadores, lo cual los convierte en buenos modelos para ser imitados por aquellos otros que aún no se encuentran tan desarrollados en tales tecnologías.



Capítulo 2



Uso de la instalación y metodología del Estudio



2. USO DE LA INSTALACIÓN Y METODOLOGÍA DEL ESTUDIO

De acuerdo con lo ya adelantado en páginas anteriores, la finalidad prevista para la instalación cuya construcción se pretende analizar en este Estudio, es la de generar calor de forma colectiva para ser proporcionado a las diferentes empresas que cuentan con instalaciones en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo, conduciéndolo desde el centro de producción hasta cada subestación de intercambio ubicada en cada parcela. Desde estas subestaciones de intercambio se proporcionarán servicios de calefacción y ACS, además de precalentamiento para agua caliente de procesos.

Aunque no se encontraba contemplado como uno de los objetivos iniciales del Estudio, se han aprovechado ciertas sinergias surgidas en las fases de recopilación de la información y del tratamiento de los datos y cálculos técnicos, para valorar complementariamente las posibilidades existentes acerca de una potencial cogeneración destinada a apoyar la demanda eléctrica de las empresas del polígono.

La metodología para llevar a cabo el prediseño de una instalación de estas características conlleva un proceso que se describe a continuación, siendo todos los pasos que incluye imprescindibles para lograr el objetivo principal propuesto, que corresponde a la caracterización de una instalación que reúna los requisitos adecuados para satisfacer tanto a sus futuros usuarios como a sus promotores.



Estudio sobre *abastecimiento centralizado de calor y electricidad*

La primera fase ha supuesto la elección entre las diferentes posibilidades existentes de un polígono industrial que por su infraestructura actual, comunicaciones y posibilidades de futura ampliación, resultase suficientemente representativo en cuanto a los resultados que se desea obtener.

Una vez que esta elección recayó en el Polígono de Villadangos del Páramo, por su representatividad al reunir todos los requisitos de partida ya mencionados, los trabajos prosiguieron por medio de una fase de información entre las empresas ubicadas en el propio polígono industrial, a fin de poner en su



Foto 4. Vista Pol. Ind. de Villadangos

conocimiento el inicio de una labor de prospectiva y recopilación de datos técnicos entre todas ellas, para lo cual resultaba necesario solicitar su colaboración, siempre como es evidente de forma voluntaria.

Esta fase de contacto previo se realizó a varios niveles, tanto telefónicamente como a través de correo electrónico, en ocasiones mediante ambos, y varias veces en cada caso. Por medio de esta aproximación preliminar se aprovechó para aportar a las empresas una primera información básica sobre los objetivos del proyecto y sus resultados esperables, incidiendo en las motivaciones de llevar a cabo un trabajo de estas características, e intentando suscitar su interés en todos los casos.



en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)

En estas labores de preparación del terreno para la fase prospectiva, los técnicos que debieron asumir los trabajos de campo contaron en todo momento con el apoyo del Ente Regional de la Energía de Castilla y León, que materializó su promoción del proyecto no sólo de manera formal sino también contribuyendo mediante su respaldo a que las empresas despejasen cualquier reticencia en cuanto a su colaboración en el Estudio, así como facilitando a los consultores diversa información de contacto cuando éstos hubieron de recurrir al EREN.

Paralelamente a estos trabajos se inició otra labor de recogida de información, en este caso a nivel bibliográfico, para poder atender otros aspectos que también debían ser tenidos en cuenta en el Estudio, como aquellos que afectan a la situación de la agricultura, la ganadería y el sector forestal de la Comunidad Autónoma de Castilla y León, y de la provincia de León en particular, muy importantes en relación a aspectos tales como la elección del tipo de biocombustible.

En una segunda ronda de contactos se concertaron visitas individualizadas a las instalaciones de cada empresa, para entrevistarse con algún responsable designado en cada una de ellas, y recabar de manera directa por parte de los técnicos responsables del Estudio los datos considerados necesarios para la posterior fase de análisis de todos los parámetros involucrados en esta clase de proyectos energéticos.



Estudio sobre *abastecimiento centralizado de calor y electricidad*

Como instrumento básico para la recogida de datos in situ por parte de los técnicos, se hizo uso de un exhaustivo formulario desarrollado por el EREN, que favoreció con ello una labor prospectiva homogénea, sistemática y estandarizada, evitando la improvisación y permitiendo una recopilación de datos comparables y estratificables, además de contar con el aval que representa haber sido desarrollado por una entidad con el necesario reconocimiento en este ámbito de actuación.

Los trabajos de recogida de la información por medio de las visitas a las instalaciones y entrevistas a sus responsables se extendieron a lo largo de la mayor parte de los meses de enero y febrero de 2015. En el curso de las mismas se recogieron sus datos de consumo energético actual,



Foto 5. Vista Pol. Ind. de Villadangos

desgranando sus procesos productivos y los diferentes consumos en que incurren para mantener la temperatura de confort deseada, así como los relativos a la producción de ACS (agua caliente sanitaria).

Una vez recopilados los datos en el curso de las visitas sobre formularios en papel, se procedió a su posterior tratamiento informático individualizado para permitir su compilación a nivel global, su estratificación y su manipulación de forma conjunta para efectuar los cálculos y posibilitar el análisis sobre el tipo de instalación energética colectiva más idónea para el polígono.



en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)

Complementariamente se dieron pasos sobre la elección de la ubicación más adecuada para albergar la potencial instalación de generación, habiéndose esbozado ya ésta en función de las que ocupan los principales demandantes actuales de energía en el polígono. Integrado en el análisis sobre ese potencial emplazamiento se han planteado igualmente los trazados de la red de distribución entre la futura planta energética y los centros consumidores.

A partir de los datos recopilados se han analizado tres opciones para la generación de calor, con el fin de escoger aquella más adecuada, atendiendo a criterios técnicos, de viabilidad económica y también de sus posibles impactos ambientales, incluyéndose en este Estudio el prediseño individualizado de las tres alternativas que se plantean.

A modo de conclusión final, el Estudio propone decantarse por aquella propuesta que, basándose en el análisis de los datos disponibles y los cálculos pertinentes, permite proceder a una elección fundamentada en criterios objetivos.



Capítulo 3



Alcance de este Estudio



3. ALCANCE DEL ESTUDIO

La premisa principal manejada a la hora de llevar a cabo el presente Estudio ha sido, según lo ya expuesto en páginas anteriores, determinar el sistema de mayor interés para la producción de calor central en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo, implementándose dicha solución por medio de un *District Heating* de carácter industrial.

Un sistema tipo *District Heating* está constituido por los siguientes elementos de forma genérica:

- ▶ Central térmica
- ▶ Red de distribución
- ▶ Subestaciones de transmisión térmica

A continuación se describen brevemente cada uno de estos elementos constituyentes para facilitar una mejor comprensión del sistema conjunto que componen y la finalidad que poseen dentro del mismo.

3.1. LA CENTRAL TÉRMICA

Las tipologías de central térmica varían en función de la tecnología de generación, así como de las fuentes energéticas utilizadas. La central térmica puede funcionar a partir de gas, biomasa u otros combustibles.



Estudio sobre *abastecimiento centralizado de calor y electricidad*

La planta térmica se suele situar en una construcción exclusiva para su uso. En este lugar se ubican todos los elementos y maquinaria necesarios para la generación de calor, así como los grupos de bombeo utilizados para la impulsión del fluido caloportante hasta los distintos puntos de consumo.



Foto 6. Planta térmica

La central térmica funciona de modo automatizado, en función de la demanda. Las variaciones en la demanda son detectadas por el sistema de control, basado en controladores digitales situados en la central y en cada una de las subestaciones térmicas de los distintos centros consumidores.

3.2. RED DE DISTRIBUCIÓN

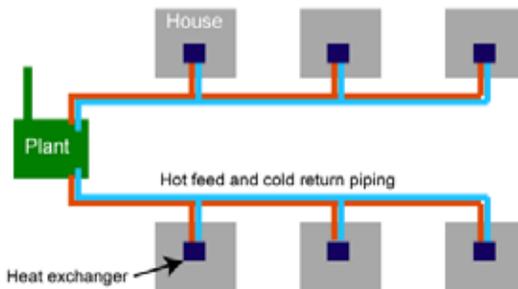


Fig. 1 Esquema de la red de distribución de calor en un DH

en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)

Como se puede observar en el diagrama de flujo que figura en la página anterior, la distribución de calor hasta las subestaciones (cuadros azules) se lleva a cabo mediante dos canalizaciones, una para el agua caliente (línea de color rojo), y otra de retorno a la central (color azul) del agua utilizada para el intercambio, y que se utilizará para recalentar el agua del generador de la planta.

La tubería preaislada está constituida por un tubo portador fabricado en acero al carbono, un aislamiento térmico de poliuretano y una envolvente exterior de polietileno que la protege de la corrosión electrolytica. Este sistema de conducción presenta una serie de ventajas frente a las tuberías aisladas en obra por el método tradicional:

- ▶ Mínimas pérdidas térmicas.
- ▶ Rapidez de montaje y menor mano de obra.
- ▶ Larga vida útil y mínimo mantenimiento.
- ▶ Amplia gama de dimensiones y accesorios.
- ▶ Tubería rígida o flexible.
- ▶ Detector de fugas en la red con precisión de ± 1 m.



Foto 7. Tubos de distribución de la red de agua (Thermaflex)



3.3. SUBESTACIONES DE TRANSMISIÓN DE CALOR

Desde un punto próximo a las edificaciones ubicadas en cada parcela se tiende una acometida a la red general. Todas las empresas que así lo deseen se conectan a la red en paralelo, disponiendo de las mismas condiciones de suministro. En cada edificio se ubica una subestación de transmisión térmica, formada por un sistema de intercambio de calor, sin intercambio de fluido ni de presión, mediante el cual se cede calor a los elementos terminales para el servicio de calefacción y agua caliente sanitaria. Las subestaciones permiten el acoplamiento del calor de la red con otras fuentes de calor, como puede ser la procedente de una instalación de energía solar térmica preexistente en el edificio.



Foto 8. Subestación de intercambio



en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)

Esta clase de instalación se encuentra provista de sistemas individuales de control y medida del consumo, lo cual ofrece muchas ventajas.

En este documento se estudian las opciones propuestas con el fin de alcanzar una conclusión que permita determinar cuál de ellas es la más rentable y amortizable, siempre bajo la premisa de que cualquiera de tales opciones posea la capacidad de dotar a las empresas del polígono del calor necesario tanto para la calefacción de sus zonas calefactables, como para ACS y para el agua de precalentamiento que pudiera ser necesaria en sus procesos.

Así mismo, como ya se había adelantado en páginas anteriores, también se aborda el análisis sobre las posibilidades de generación eléctrica, debido a que la mayor demanda energética que presentan las instalaciones empresariales ubicadas en este polígono posee carácter eléctrico.

Para el caso de este otro tipo de generación se ha pensado en la elección de un sistema de módulos independientes de cogeneración mediante motor de gas natural, descartándose en cambio la alternativa de cogeneración en un ciclo de vapor, debido a la escasa demanda térmica para clima, ACS y producción que presentan las empresas, constatada a partir de la información recopilada en el trabajo de campo. No obstante, resulta factible que la energía térmica producida en los módulos de cogeneración pudiera ser aprovechada para precalentar el sistema de generación de calor central.





Estudio sobre *abastecimiento centralizado de calor y electricidad*

Con respecto al fluido caloportador para la generación de calor, se estima una producción de agua caliente a 85°C , contemplándose también la producción de *agua sobrecalentada*.

El agua sobrecalentada es agua cuya temperatura está comprendida entre el punto de ebullición (100°C) y la temperatura crítica (374°C), y que se mantiene líquida por efecto de la presión. También se conoce como *agua subcrítica* y *agua caliente a presión*.

El agua sobrecalentada se mantiene líquida debido a que se la somete a presión cuando sobrepasa el punto de ebullición, o porque se calienta en un depósito cerrado, con un espacio superior, donde el agua líquida está en equilibrio con el vapor a la presión de saturación.

En el Estudio también se contempla qué combustible o combustibles pudieran ser empleados para la generación de la energía necesaria para el calentamiento. En las páginas siguientes se abordan las ventajas e inconvenientes que presentan cada uno de ellos.



Capítulo 4



*Razones para optar por la implantación
de un District Heating*

4. RAZONES PARA OPTAR POR LA IMPLANTACIÓN DE UN DISTRICT HEATING

Un sistema *District Heating* presenta numerosas ventajas con respecto a los sistemas convencionales de calefacción individual y central.

Si atendemos al sector terciario, no resulta factible entrar en comparaciones con sistemas centrales de calefacción, pues lo habitual en España es que cada empresa situada en un polígono disponga de sus propias instalaciones individuales para la producción de calor.

Los DH tienen un rendimiento del orden de un 30-40% por encima del logrado con sistemas individuales. Por este motivo, e incluso aunque la producción de calor fuera obtenida mediante el empleo de combustibles fósiles, las emisiones de CO₂ serían considerablemente inferiores.

Suplementariamente a las evidentes ventajas de carácter medioambiental, en el caso de los sistemas DH cuyo combustible fuera la biomasa, se alcanzarían las ventajas adicionales derivadas del empleo de un recurso endógeno, es decir, procedente del entorno en el cual se consume. Como se ha demostrado en países centroeuropeos como Alemania o Austria, el uso de la biomasa permite sinergias sociales relacionadas con la creación de nuevas actividades económicas en el entorno, y la consiguiente repercusión en la mejora de la renta de sus habitantes.



4.1. VENTAJAS PARA EL MEDIO AMBIENTE

Desde el punto de vista medioambiental, el empleo de esta clase de sistemas induce una importante mejora en la eficiencia energética de las instalaciones, dado que la combustión en la mayor parte de los equipos individuales resulta más ineficiente y cara que la producción centralizada.

Adicionalmente, cuando se recurre al empleo de biocombustibles se logra que no haya cómputo de emisiones de CO_2 , lo cual redundaría en el hecho de que la huella de carbono de estas instalaciones sea nula.



Foto 9. Planta de calor centralizado por biomasa en Mödling (Austria)

Cuando se opta por centralizar la producción de calor se favorece además la opción de generación a través de biomasa, contrariamente al caso de sistemas individuales que obligarían a cada usuario a disponer de silos de almacenamiento, cuyas dimensiones habría que pasar a tener en cuenta.

Otras ventajas adicionales se localizan en hechos como que la gran cantidad de calor que se genera hace posible la cogeneración de electricidad en la planta, y con ello permite mejorar si cabe aún más la eficiencia de la central.

4.2. VENTAJAS PARA EL CLIENTE

Para el cliente final, cuya necesidad es de calor para desarrollar su actividad empresarial, los beneficios de la instalación de un sistema DH en el polígono resultan evidentes:

- ▶ Verá reducidos sus costes de explotación y mantenimiento de la instalación, ya que se simplificarán en gran medida los sistemas de generación y conducción de calor que emplee.
- ▶ Reducirá, o incluso suprimirá, el consumo del combustible utilizado para su actividad habitual.
- ▶ Obtendrá una tarifa sensiblemente reducida del valor del kWh con respecto a la actual.
- ▶ Eliminará fallos en calderas antiguas y de bajo rendimiento, ya que en muchos de los casos podrá llegar a prescindir de ellas.
- ▶ No precisará almacenar combustible, con lo que reducirá el espacio necesario para las instalaciones en su empresa.

Como el rendimiento de la instalación central es mucho más elevado que el de las instalaciones individuales, estará contribuyendo a la mejora del Medio Ambiente, y por tanto podrá mostrarlo como un valor añadido a su actividad empresarial, permitiéndole con ello formar parte de la lista de proveedores de sus clientes que cuentan con la referencia de actividad medioambientalmente sostenible.



Podría abundarse en este conjunto de oportunidades empresariales, afirmando que en ciertos casos sus instalaciones pueden llegar a generar subproductos susceptibles de ser empleados como combustible, e incluso contemplar la posibilidad de utilizar el exceso de calor que actualmente expulsa a la atmósfera como fuente de un subsistema de recalentamiento del sistema principal central.

En el ejemplo mostrado por la figura siguiente se puede observar un recuperador de calor instalado en una chimenea de un horno industrial:

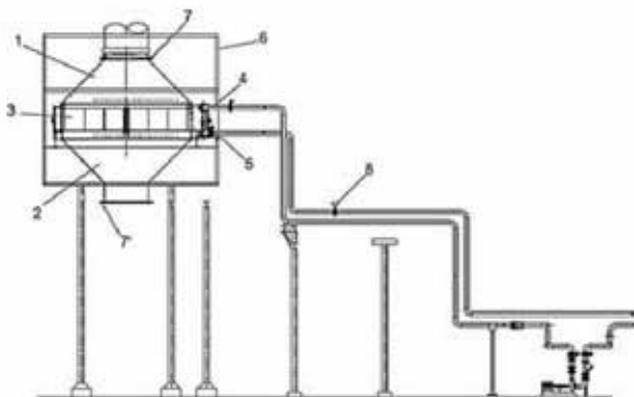


Fig. 2. *Recuperación de calor en emisiones atmosféricas industriales*

Este dispositivo recuperador de calor para una chimenea de horno está caracterizado por los siguientes elementos constitutivos:

- Un cuerpo central (3) que incluye una tubería de entrada de agua (4) y una tubería de salida (5) de agua.



en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)

- ▶ Una embocadura inferior **(2)** de conexión a la chimenea dispuesta en la parte inferior del cuerpo **(3)**.
- ▶ Una embocadura superior **(1)** de salida de aire recuperado, dispuesta en la parte superior del cuerpo **(3)**.
- ▶ Juntas de dilatación **(7, 7')** dispuestas en las embocaduras superior **(1)** e inferior **(2)**.
- ▶ Una estructura auxiliar **(6)** de soporte.
- ▶ Una válvula **(8)** de regulación del flujo de entrada de agua, y un sensor de temperatura del agua en el interior de la tubería de conducción.

Con un dispositivo similar aplicado en los hornos donde la temperatura de expulsión de humos es muy elevada, se puede llevar a la subestación de intercambio parte de dicho calor expulsado a la atmósfera.

El cliente que disponga de estos dispositivos puede verse compensado si a la salida del tubo de agua **(5)** se coloca un contador de energía.

Una de las principales medidas de eficiencia energética que se puede aplicar en la industria es la recuperación de calor, debido principalmente a que algunos procesos emiten un calor que por lo general no es aprovechado, pero que bajo esta propuesta sí podría ser contabilizado y devuelto a la empresa que lo genera en forma de descuento en la energía consumida o mediante una compensación económica.



Capítulo 5



Ejemplos de instalaciones District Heating



5. EJEMPLOS DE INSTALACIONES TIPO DISTRICT HEATING

Aunque pueda parecer un sistema novedoso, el primer DH en España data de 1932, y a día de hoy continúa operativo. Se trata de la central térmica de la Ciudad Universitaria de Madrid. Esta instalación aún proporciona servicio a muchas facultades de la actual Universidad Complutense de Madrid.

Un ejemplo de rendimiento lo proporciona la red de distribución térmica de Molins de Rei (Barcelona). El proyecto fue promovido por el Ayuntamiento de Molins de Rei, la *Entidad Municipal de Servicios Hidráulicos y Tratamiento de Residuos*, el *Instituto Catalán de la Energía*, la empresa *Efiensa* y la empresa *Biomasa Energía (Grupo Cassa)*. Este grupo creó la empresa *Molins Energía, S.L.*, con objeto de construir y mantener un sistema de generación de calor con biomasa para distribuir agua caliente a 695 nuevas viviendas de un complejo residencial a través de una red de calefacción de barrio (*District Heating*). Estos pisos son bloques de entre 4 y 7 alturas con una ocupación en su conjunto de 2.000 usuarios, aproximadamente.

Esta ha sido la primera experiencia que se ha llevado a cabo en Cataluña relacionada con un sistema de calefacción central de barrio alimentado con energías renovables. En este sentido, cabe destacar que tuvo un efecto promocional muy importante a nivel local y superior, debido a la complejidad de los elementos innovadores y sostenibles incluidos en el proyecto.



Dicho proyecto se articuló en torno a tres elementos básicos:

- Diseño, trabajos de construcción e instalación de la central de generación de calor equipada con calderas de biomasa y gas propano, equipo de bombeo, depósito de acumulación y un sistema de gestión y seguimiento.
- Una red de distribución térmica (tuberías).
- Diseño y gestión de los sistemas de calefacción internos para cada una de las viviendas del barrio.

De esta manera, los usuarios se benefician de una instalación colectiva con servicio individualizado, que es el elemento clave de éxito de esta iniciativa. Este concepto positivo y medioambientalmente beneficioso fue el punto central de todas las actividades promocionales relacionadas con el diseño y creación del proyecto, considerando a usuarios futuros y a todos los implicados identificados. El sistema consta principalmente de tres partes:

- Central de generación de calor.
- Red de distribución.
- Módulos de intercambio de calor individuales.

En la central de generación de calor se ubican el almacén de biomasa (con capacidad para 150 m³), las calderas de biomasa (donde se realiza la combustión y por tanto la generación de calor), los depósitos de acumulación de calor, el equipo de bombeo y las calderas de

en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)

emergencia de gas natural, así como el sistema automatizado de gestión y seguimiento.

Para transportar hasta el quemador el combustible acumulado en el almacén, constituido por piña, conglomerado y astillas, se utiliza un mecanismo automatizado formado por un sistema de arrastradores y tornillos sinfín. La biomasa alimenta dos equipos, cada uno de ellos formado por un quemador más una caldera.

En el quemador se produce la combustión de la biomasa, generándose el calor que se conduce hacia una caldera pirotubular de 2 MW de potencia. Se produce la cesión de calor hacia el agua de la red que da servicio a los usuarios. Dentro de este conjunto hay un sistema multiciclón para la separación de partículas y un contenedor para las cenizas resultantes de la combustión, que se extraen del quemador mediante un sistema de parrillas móviles.

Otro ejemplo, esta vez fuera de España, es la planta de biomasa de Tamsweg (Salzburgo, Austria), cuya imagen puede contemplarse en la fotografía siguiente. Dispone de dos calderas de biomasa de 5 MW y 3 MW, respectivamente, una unidad condensadora de los gases de la combustión y un sistema de recogida de cenizas.



*Foto 10. Planta de biomasa de Tamsweg
(Salzburgo, Austria)*



El combustible de la planta es corteza leñosa (80%), mezclado con virutas y astillas (20%). El 70% de la biomasa consumida en la planta proviene de los alrededores de la planta, mientras que el resto es importado de las regiones próximas. Durante el primer año esta central abastecía a 700 hogares mediante unas conducciones de agua caliente de más de 22 km. Cuando llevaba dos años en funcionamiento demostró que el diseño y la ejecución se habían realizado con éxito, y se añadieron más hogares al *district heating*, de manera que el periodo de retorno de la inversión se disminuyó en un 20%. Además de ello se demostró que con un diseño y ejecución apropiados de la red de abastecimiento se consiguen reducir las pérdidas en la red hasta un 70%, y con ello disminuir los costes y el periodo de amortización. Los aparatos eléctricos, como bombas o ventiladores, también fueron optimizados para un consumo mínimo, de manera que el gasto eléctrico resulta igualmente muy bajo.

Con proyectos de esta naturaleza no sólo se cierra el ciclo del dióxido de carbono (CO_2), sino que también se logra cerrar el ciclo de los elementos naturales (tierra/nutriente-raíz/árbol-ceniza/abono-tierra) mediante la reutilización de las cenizas. Este proceso es posible por una nueva tecnología de combustión que facilita la separación de los metales pesados de las cenizas. Con esta tecnología se reutilizan entre el 90% y el 95% del total de las cenizas producidas y se aprovechan como abono en los campos.

Otro de los puntos fuertes de esta instalación es que gracias a una innovadora tecnología se disminuyen las emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx). Esta reducción es posible gracias al diseño de la

en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)

planta y a un riguroso proceso de control de la combustión, siendo la primera vez que esta tecnología se ha aplicado en una caldera de combustión de biomasa.

También se ha diseñado un sistema de almacenamiento diario del combustible, de manera que éste es secado con aire precalentado. De esta forma se mejora posteriormente el proceso de generación de calor, ya que se realiza una combustión completa y mejorada. Con todo ello se consigue una eficiencia de un 35% superior al resto de plantas de la zona.

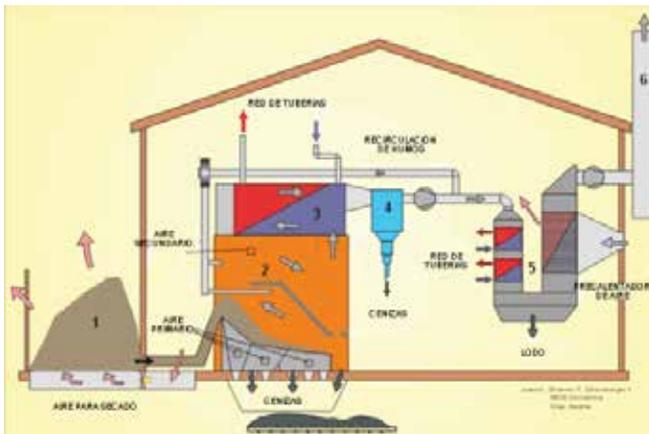


Fig. 3. Esquema de funcionamiento de la central de biomasa de Tamsweg (Austria)

El almacén de biomasa **(1)** de la planta tiene un área de ventilación con capacidad de 11.000 m³, combustible para 3 o 4 meses. Al recibir el combustible, éste llega con una humedad aproximada del 50%. Antes de



introducirse el combustible en la caldera **(2)** éste es precalentado por ventiladores que emplean el aire procedente de la combustión, logrando así una disminución de su humedad por medio del aprovechamiento de los gases de combustión, energía en gran medida gratuita (a excepción del consumo de los propios ventiladores), y que en el resto de plantas no se utiliza.

En la combustión se diferencian dos cámaras, la primera en atmósfera reducida, donde se alcanzan temperaturas elevadas y se gasifica la biomasa, además de reducirse la concentración de óxidos de nitrógeno (NOx) y de metales pesados, y una segunda de combustión oxigenada.

La precipitación de los metales pesados se consigue a través de un diseño optimizado de las cámaras de combustión. En la segunda cámara de combustión **(3)** se ha calculado la entrada de gases procedentes de la primera cámara para que el tiempo de residencia en la segunda cámara sea superior a 0,5 segundos a 1.100°C . De este modo, la baja cantidad de metales pesados contenidos en las cenizas precipitan, separándose así de éstas.

Los usuarios del *district heating* de Tamsweg disponen de unas instalaciones que operan a temperaturas relativamente bajas ($45\text{-}55^{\circ}\text{C}$). Debido a ello, gran parte del calor obtenido de la condensación de los gases puede ser recuperada.

La unidad condensadora de gas está formada por un economizador, un condensador y un precalentador de aire. En el economizador el gas es enfriado desde 180°C a 70°C . A continuación, el condensador hace disminuir la temperatura hasta unos 50°C . La temperatura de

en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)

rocío del gas está entre 52°C y 58°C , por lo que condensa y se inicia la recuperación del calor latente.

Con la energía obtenida en el economizador y en el condensador se precalienta el retorno de la red de tuberías antes de entrar en la caldera de biomasa. En el tercer paso de la unidad condensadora se vuelve a enfriar el gas hasta unos 40°C mediante calentamiento del aire exterior, para aprovecharlo como aire precalentado en la combustión y para la ventilación del combustible almacenado.

La optimización de la red de distribución es un aspecto especialmente a cuidar, ya que se producen pérdidas importantes que es posible reducir. El primer paso es calcular la energía térmica demandada por los usuarios del *district heating* para el consumo de calefacción y agua caliente sanitaria, a partir de los datos de los últimos tres años y de las condiciones térmicas que se dieron en cada uno de esos años. Basándose en estos valores de referencia se puede calcular el consumo de energía anual, y a partir de ello proceder al diseño y al dimensionamiento de la red. En función de las presiones y de las pérdidas de calor en la red, y de la minimización de los costes totales (incluyendo los costes de operación de bombas y la propia inversión de la red), se calcula dicho dimensionamiento.

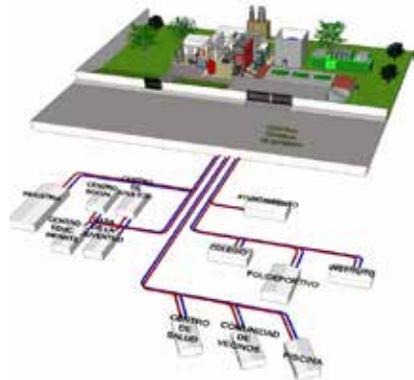


Fig. 4. Red de calor centralizado en Ólvega (Soria)



Capítulo 6



Consideraciones previas al diseño

6. CONSIDERACIONES PREVIAS AL DISEÑO

Antes de estudiar las distintas posibilidades de generación de calor debe asegurarse que el combustible a utilizar dispondrá de las garantías de suministro y calidades exigidas para su aprovechamiento.

Una previsión de consumo detallado en las empresas involucradas en el proyecto permitirá determinar la potencia a instalar en la central a proyectar, aunque sería más correcto prever futuras ampliaciones en el polígono que conllevarán una mayor demanda energética, y por tanto mayor potencia y extensión de la red de tuberías de distribución.



*Foto 11. Calderas de biomasa
(Viessmann GmbH)*

Así mismo es necesario asegurar la disponibilidad de calor para los picos de demanda que pudieran producirse, a fin de que los clientes no se resintiesen llegado ese caso.

Por otra parte, para una mayor optimización del sistema, sería conveniente poder instalar la planta en una zona lo más próxima posible a la ocupada por los principales demandantes de energía.





Estudio sobre abastecimiento centralizado de calor y electricidad

Una recomendación adicional sería la de considerar la opción de la instalación de equipos de generación tipo policombustible, previendo con ello un mejor ajuste de los costes de generación ante las previsible evoluciones de los precios de unos y otros.

Suplementariamente parece de interés considerar el calor residual que pudiera generarse en algunas de las empresas, para ser aprovechado como sistema de precalentamiento del sistema principal.



Capítulo 7



Algunos apuntes sobre la agricultura y la ganadería en Castilla y León

7. ALGUNOS APUNTES SOBRE LA AGRICULTURA Y GANADERÍA EN LA COMUNIDAD AUTÓNOMA DE CASTILLA Y LEÓN

A la hora de tomar decisiones sobre la elección de los posibles biocombustibles a emplear en el proceso de generación de calor, resulta imprescindible disponer de los adecuados y suficientes datos de partida que permitan valorar de forma rigurosa el aseguramiento de su abastecimiento en las cantidades y calidades necesarias.

Según datos recogidos en 2012 por la Junta de Castilla y León en «*La agricultura y la ganadería de Castilla y León en cifras*», el territorio leonés, con una extensión de 1.557.012 hectáreas, se reparte de la siguiente forma en cuanto a su aprovechamiento agroganadero:



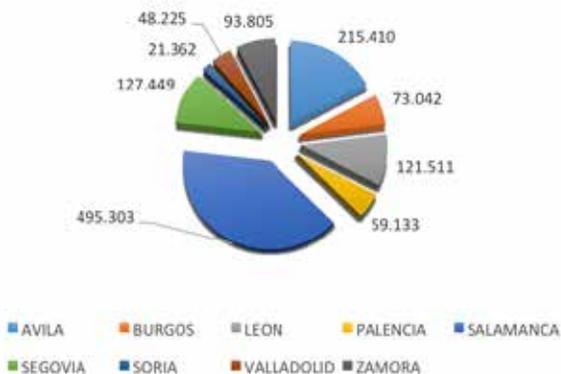
Según se desprende de la información contenida en el gráfico anterior, casi la mitad del territorio leonés es terreno de uso forestal. Este tipo de terreno necesita ser periódicamente sometido a limpiezas en forma de desbroces y entresacas, así como talado de forma controlada para prevenir incendios forestales. Los residuos procedentes de estos procesos constituyen una excelente fuente para la obtención de astillas de madera, que una vez almacenadas y mantenidas en las condiciones de humedad satisfactorias para la combustión, tendrían la capacidad de constituir la biomasa necesaria como combustible en una planta del tipo de la que se valora instalar en el marco de este proyecto.

Por otra parte, Castilla y León es la Comunidad Autónoma con mayor número de cabezas de ganado bovino y ovino en España, y la tercera en el caso de cabezas porcinas, si bien no corresponden a la provincia de León dentro de la Comunidad Autónoma los mayores porcentajes en este ranking, tal como puede apreciarse en los gráficos siguientes.

En 2012 en Castilla y León se disponía de 1.255.240 cabezas de ganado bovino, según lo recogido en el documento anteriormente citado, repartidas por provincia de la siguiente forma:

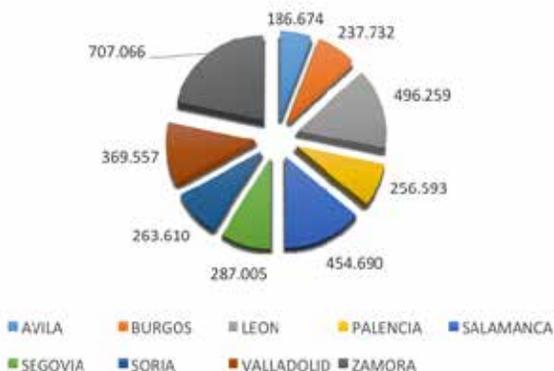
en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)

CABEZAS BOVINAS



Tomando como referencia el mismo documento, un análisis análogo en el caso de los ganados ovino y caprino ofrece un balance global de 3.259.186 cabezas, cuyo reparto provincial se corresponde con el del siguiente gráfico:

CABEZAS OVINAS Y CAPRINAS



Estudio sobre *abastecimiento centralizado de calor y electricidad*

Por lo que respecta al caso del ganado porcino, su censo alcanzaba en 2012, según lo recogido en el documento ya citado, una cifra de 3.295.398 cabezas, con la distribución provincial que sigue:



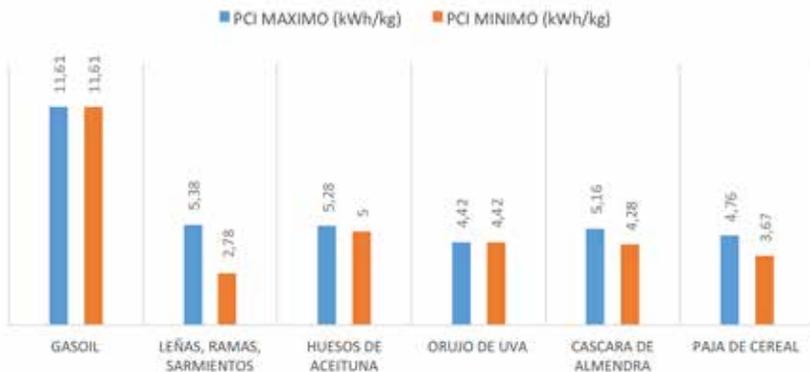
La finalidad de la anterior exposición sobre las cifras de la cabaña ganadera castellano-leonesa no es otra que valorar las posibilidades existentes acerca de la producción de biogás como fuente de suministro para una planta como la potencialmente proyectada. De la observación de los datos ofrecidos, y teniendo en cuenta que las deyecciones de mayor interés como fuente de biogás animal proceden del ganado bovino y porcino, resulta evidente que la apuesta por un biocombustible en la provincia de León en la actualidad habría de corresponder al de tipo biomasa, resultante como ya se ha tenido ocasión de exponer, de una gestión forestal sostenible, así como también pudiera serlo de industrias madereras de futura implantación en el polígono.

en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)

Se precisa una gran cantidad de residuos orgánicos procedentes de las explotaciones ganaderas para obtener biogás en suficiente cantidad y con garantía de abastecimiento. Sin embargo, por otra parte se están obteniendo suficientes subproductos de la gestión forestal, así como residuos de la industria viticultora como para poder asegurar un abundante suministro de combustible tipo biomasa para una central como la que se estudia proyectar.

En todo caso resulta de interés realizar una comparativa acerca de una producción de energía mediante gasoil y la que podría obtenerse a partir de biomasa. En el gráfico siguiente puede apreciarse la diferencia entre el poder calorífico resultante del empleo de ambos tipos de combustible. La diferencia entre el máximo y el mínimo en el caso de la biomasa radica en el porcentaje de humedad que ésta contenga:

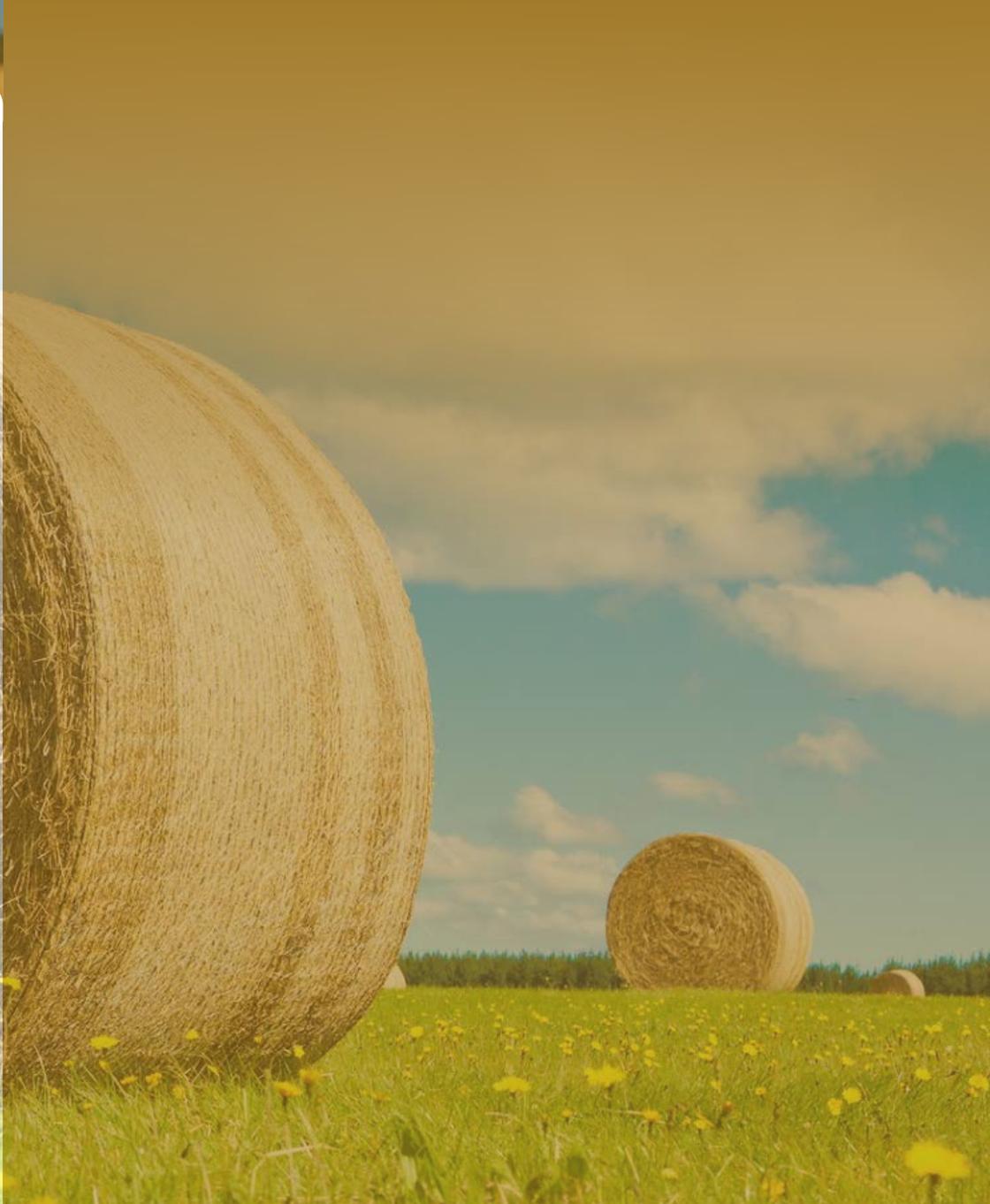
COMPARATIVA DE PODER CALORIFICO INFERIOR



Los datos recogidos en el gráfico anterior permiten concluir que el PCI del gasoil es del orden del doble que el correspondiente al de cualquiera de los tipos de biomasa en buenas condiciones de humedad (<50%). Esto trae como consecuencia la necesidad de contar con un almacenamiento de grandes dimensiones para esta clase de combustibles, frente al requerido en el caso de instalaciones alimentadas por gasoil.



Foto 12. Silo de biomasa forestal. Planta de calor centralizado. Fischamend Dorf. Baja Austria.



Capítulo 8

Propuestas





8. PROPUESTAS

En este apartado se recoge un breve resumen relativo a las diferentes opciones contempladas al abordar el análisis de unas instalaciones como las propuestas.

8.1. PROPUESTAS ENERGÉTICAS Y COMPARACIÓN DE COMBUSTIBLES

A partir de lo ya esbozado en el apartado anterior, se entra aquí a profundizar en un poco de mayor grado, en las diferentes alternativas existentes para la elección de combustible, indicando cuáles son las ventajas y desventajas en cada caso, así como las características principales que sirven para compararlos de forma rigurosa, como puede ser el caso de su poder calorífico (cantidad de energía generada en la combustión en presencia de oxígeno de una unidad de masa de combustible).

Para poder comparar adecuadamente todos los tipos de combustibles que hoy en día se utilizan comúnmente para la producción de calor destinado a calefacción, procesos y ACS (agua caliente sanitaria), debe hacerse desde todos los puntos de vista posibles.



Dado que en una central de distrito (DH) como la que se pretende estudiar, el calor se obtiene de la combustión de algún tipo de combustible, se hace necesario en primer lugar recordar las características fundamentales de cualquiera de ellos.

Una combustión es un conjunto de reacciones de oxidación con desprendimiento de calor que se producen entre dos elementos: el combustible, que puede ser sólido (pellets, carbón, madera, etc.), líquido (gasóleo, etc.) o gas (natural, propano, etc.), y el comburente (habitualmente oxígeno). Se distingue de otros procesos de oxidación por lograrse el mantenimiento de una llama estable.

Para que una combustión tenga lugar han de coexistir cuatro factores, no sólo combustible y comburente, de modo que si no se encuentra presente alguno de ellos, la combustión no puede llevarse a cabo, o al menos no será completa o no se propagará. Estos factores son:

- ▶ Combustible
- ▶ Comburente
- ▶ Energía de activación
- ▶ Reacción en cadena



Fig. 5. Tetraedro del fuego

El comburente universal es el oxígeno, por lo que en la práctica se utiliza aire para proporcionarlo en las combustiones, dado que la composición básica de éste corresponde a alrededor de un 21% de oxígeno (O_2) y a algo menos de un 79% de nitrógeno (N_2).

en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)

La energía de activación es el desencadenante de la reacción de combustión, con cuya aportación se inicia ésta, pudiendo ser diverso su origen (llama, química, eléctrica, etc.).

Sin embargo, para que la reacción perdure tras su inicio, es necesario que se genere la suficiente cantidad de energía para que ésta se transmita al resto de la mezcla y sea capaz de seguir aportando nueva energía de activación para aquella. Es lo que se conoce como reacción en cadena.

Los combustibles, al margen de que sean sólidos, líquidos o gaseosos, están compuestos básicamente por carbono (C) e hidrógeno (H₂). Además de estos dos componentes principales poseen otros como azufre (S), agua (H₂O), cenizas, etc.

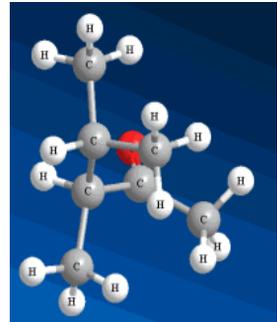


Fig. 6. Molécula de un hidrocarburo

Se define como *poder calorífico de un combustible* a la cantidad de calor que se obtiene de la oxidación completa, a presión atmosférica, de los componentes de la unidad de masa (o volumen) de dicho combustible. Habitualmente se expresa en las siguientes unidades:

- ▶ Combustibles sólidos: kWh/kg
- ▶ Combustibles líquidos: kWh/kg o kWh/l
- ▶ Combustibles gaseosos: kWh/kg o kWh/Nm³



En una combustión, por la oxidación del hidrógeno, se forma agua. Además, los combustibles pueden tener un cierto grado de humedad en su composición. Dependiendo del estado en que aparezca el agua en los humos se hace necesario tener en cuenta dos tipos de poder calorífico, el inferior y el superior.

El *poder calorífico inferior* (PCI) es el calor que puede obtenerse en la combustión completa de la unidad de combustible si en los productos de la combustión el agua está en forma de vapor. Una parte del calor generado en las oxidaciones se utiliza para evaporar el agua y por ello ese calor no se aprovecha.

El *poder calorífico superior* (PCS) es el calor generado cuando en los productos de la combustión el agua aparece en forma líquida, es decir, que se aprovecha todo el calor de oxidación de los componentes del combustible.

Con las temperaturas de humos habituales el agua se evacúa por los mismos en fase vapor, por lo que el poder calorífico más comúnmente utilizado es el inferior.

En la siguiente tabla se puede comparar el poder calorífico de los principales combustibles empleados en la actualidad en el sector industrial:

en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)

COMBUSTIBLE	PODER CALORÍFICO		PCI/PCS (%)
	PCI	PCS	
GASÓLEO	10,28 kWh/l	10,89 kWh/l	94,4
GAS PROPANO	12,86 kWh/kg	13,97 kWh/kg	92,1
GAS NATURAL	10,83 kWh/Nm ³	11,98 kWh/Nm ³	90,4

Tabla 1: Poderes caloríficos inferior y superior de diferentes combustibles

Las cantidades emitidas de los diferentes contaminantes resultantes como producto de la combustión es otro aspecto muy importante a considerar al comparar los diferentes combustibles. La tabla siguiente muestra los datos relativos al CO₂ y H₂O producidos en la combustión completa por unidad de energía (kWh) generada para diferentes combustibles, así como su contenido en azufre (uno de los elementos responsables de la conocida como *lluvia ácida*):

COMBUSTIBLE	g de CO ₂ /kWh (PCI)	g de H ₂ O/kWh (PCI)	Azufre (%)
GASÓLEO	273	87	0,2
GAS PROPANO	233	126	0,05
GAS NATURAL	204	155	0

Tabla 2: Contenidos de CO₂ y H₂O (en peso) y porcentaje de azufre de diferentes combustibles.



8.1.1 BIOGÁS

El biogás es un gas compuesto básicamente por metano (CH_4), con un contenido del 55%-70%; dióxido de carbono (CO_2), y pequeñas proporciones de otros gases. Se produce por la fermentación de la materia orgánica en condiciones anaeróbicas (ausencia de oxígeno). Posee unas características energéticas similares a las del gas natural.

Una planta de biogás es una instalación donde se produce de forma acelerada este gas de origen biológico a partir del ciclo natural de descomposición de la materia orgánica. En tales plantas la materia prima de partida está constituida por deyecciones orgánicas en un 70% y por subproductos agrícolas y/o residuos industriales en el 30% restante, procediéndose a su mezcla y traslado a unos digestores donde tendrá lugar el proceso de descomposición.



Foto 13. Digestores en una planta de producción de biogás

Los digestores son grandes recipientes cerrados, sin aire del exterior y con condiciones óptimas de temperatura, en cuyo interior se produce la acción de las bacterias, consistente en una digestión anaeróbica controlada o descomposición de la materia orgánica. El producto final resultante es, como ya se ha dicho, biogás, así como un subproducto



en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)

semisólido con excelente propiedades como biofertilizante para su empleo en agricultura. Esta es precisamente una de las principales ventajas añadidas de esta clase de instalaciones.

Los componentes principales de una planta de biogás son el alimentador y el biodigestor.

El poder calorífico del biogás ronda los 5,75 kWh/m³, casi la mitad del que posee el gasóleo C.

La principal desventaja de una planta de biogás hay que cifrarla en la gran superficie que ocupa el digestor para poder alimentar una caldera que emplease este tipo de combustible en una instalación con gran demanda, como pudiera ser la que corresponde a un *district heating*.

Como muestra de lo anterior puede servir la imagen que figura más arriba, en la que se muestra un digestor para un equipo de cogeneración con una potencia térmica de 250 kW.

Otra desventaja asociada a las instalaciones generadoras de biogás es la necesidad de asegurar un abastecimiento suficiente de residuos orgánicos procedentes de la industria ganadera de su entorno, tal como ya se mencionó en páginas anteriores.

Debido a los inconvenientes anteriores, en caso de tener que decantarse por un biocombustible, la biomasa parece ser la opción más recomendable.



8.1.2 BIOMASA

8.1.2.1 QUÉ ES LA BIOMASA

Las plantas transforman la energía radiante del Sol en energía química a través de la fotosíntesis, y parte de esa energía química queda almacenada en forma de materia orgánica. La energía química de la biomasa puede recuperarse quemándola directamente o transformándola previamente en combustible.

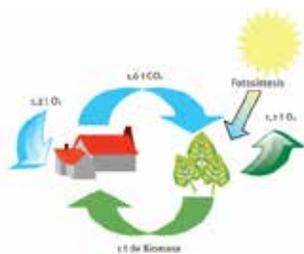


Fig 7. Ciclo del CO₂

Un equívoco muy común es confundir «materia orgánica» con «materia viva», pero basta considerar un árbol, en el que la mayor parte de la masa está muerta, para deshacer tal confusión. De hecho, es precisamente la biomasa «muerta» la que en el árbol resulta más útil en términos energéticos. Se trata de un debate importante en Ecología, como muestra esta apreciación del prestigioso ecólogo español Ramón Margalef: «*Todo ecólogo empeñado en estimar la biomasa de un bosque se enfrenta, tarde o temprano, con un problema. ¿Deberá incluir también la madera, y quizás incluso la hojarasca y el mantillo? Una gran proporción de la madera no se puede calificar de materia viva, pero es importante como elemento de estructura y de transporte, y la materia orgánica del suelo es también un factor de estructura.*»



en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)

Otro malentendido muy común es utilizar «biomasa» como sinónimo de la energía útil que puede extraerse de ella, lo que genera bastante confusión debido a que la relación entre la energía útil y la biomasa resulta muy variable, y depende de innumerables factores. Además, la biomasa puede ser aprovechable directamente como materia orgánica en forma de abono y tratamiento de suelos (por ejemplo, el uso de estiércol o de coberturas vegetales).

8.1.2.2 CLASES DE BIOMASA

La biomasa, como recurso energético, puede clasificarse en biomasa natural, residual y los cultivos energéticos.

La *biomasa natural* es la que se produce en la naturaleza sin intervención humana. Por ejemplo, la caída natural de ramas de los árboles (poda natural) en los bosques.

La *biomasa residual* es el subproducto o residuo generado en diversas actividades agrícolas (poda, rastrojos, etc.), silvícolas y ganaderas, así como ciertos residuos de la industria agroalimentaria (alpechines, bagazos, cáscaras, vinazas, etc.), y en las industrias de transformación de la madera (aserraderos, fábricas de papel, muebles, etc.), incluyéndose también entre todos ellos los residuos de depuradoras y del reciclado de aceites vegetales.



Los *cultivos energéticos* son aquellos que a menudo están destinados específicamente a la producción de biocombustibles, y para lo que son cultivados, o bien que han mutado su aprovechamiento hacia estos usos, pudiendo corresponder a muy diversas especies. En la actualidad existen algunos cultivos agrícolas, caso principalmente de determinadas oleaginosas (girasol, soja, colza, palma, etc.), los cereales, la caña de azúcar y la remolacha que se están dedicando indistintamente a la producción de alimento o de energía. También algunas especies forestales empleadas tradicionalmente para la obtención de madera pueden ser empleadas actualmente como cultivos energéticos (casos del chopo, del sauce o del eucalipto, entre otras).

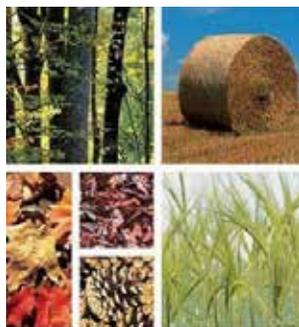


Foto 14. Cultivos energéticos

8.1.2.3 APLICACIÓN EN ESTE PROYECTO

Una de las opciones barajadas en este proyecto dirigido a la puesta en marcha de un sistema *District Heating*, en lo que concierne al combustible empleado, pasaría por la utilización de biomasa en forma de astillas finas de madera.

en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)

En caso de que la producción de la astilla empleada como combustible tuviera lugar en la propia central, ello implicaría la necesidad de dotar a la instalación de la maquinaria específica para su tratamiento:

- ▶ Alimentador de restos de madera
- ▶ Cinta de alimentación a trituradora
- ▶ Trituradora-tamiz de astillas
- ▶ Cinta o tornillo de alimentación a silo



Foto 15. Alimentador, cinta y trituradora de una central de biomasa

La principal ventaja de este combustible reside en que se trata de un subproducto de actividades como las de gestión forestal para la prevención de incendios (entresacas, talas controladas), o procedente de procesos de industrias madereras que pudieran instalarse en el propio polígono o en un entorno más o menos próximo.

En lo que respecta a las desventajas que presentan frente a los otros combustibles, la más acusada es que los sistemas de generación de calor que emplean biomasa precisan un mantenimiento más minucioso, y por tanto ello redundaría en unos costes más elevados.



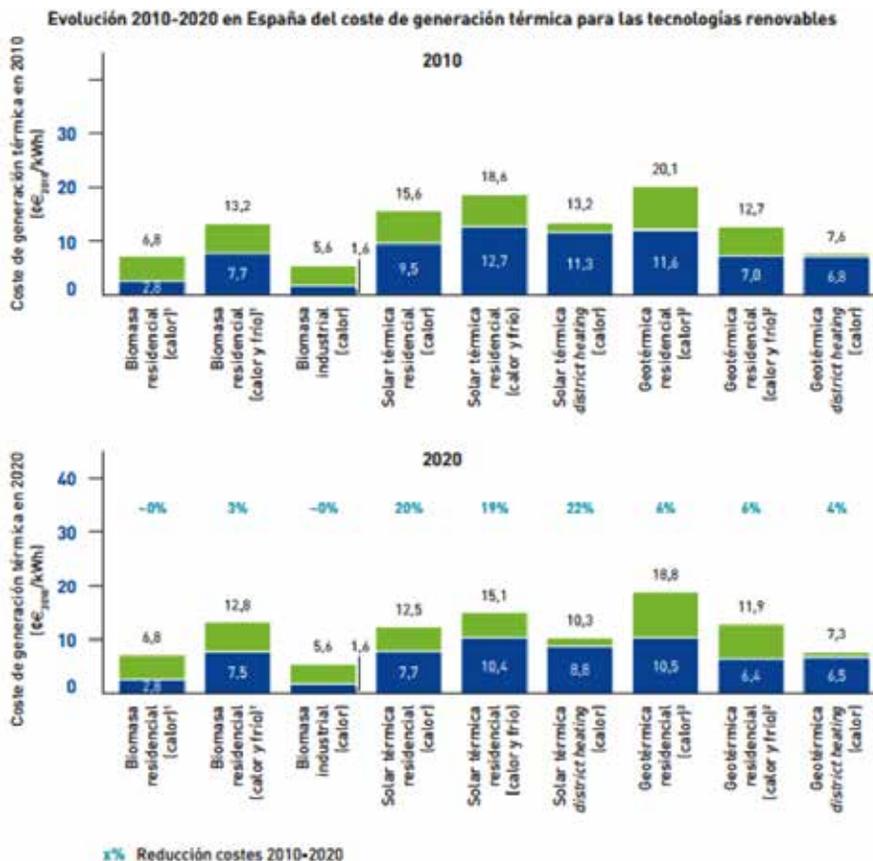
El combustible deberá pasar por un proceso de secado hasta obtener la humedad necesaria para una correcta combustión. A continuación precisa de una zona de almacenaje y combustión cuyas dimensiones dependerán del consumo de biomasa que tenga la central, el cual a su vez estará condicionado por la demanda de calor de los centros consumidores (en este caso las empresas ubicadas en el polígono).

Si se optase por comprar el combustible (su precio actual ronda 60€/t), sólo se necesitaría un silo para su correcto almacenamiento, con capacidad para conservar su humedad en torno al 20%, así como un sinfín (o sistema neumático equivalente) para la alimentación del quemador de la caldera.

Es importante destacar la reducción significativa de costes de generación térmica que se puede lograr con el uso de instalaciones de mayor escala (uso industrial y tipo *district heating*).

El siguiente cuadro muestra los costes actuales y la evolución esperada a fecha del año 2020 de las tecnologías de generación de calor de origen renovable:

en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)



¹ La amplitud del rango muestra el efecto de la diferencia de costes en el aprovisionamiento del combustible

² La amplitud del rango muestra el efecto de escala del coste de inversión en función de la potencia instalada

Nota: tasa de descuento de 7,8% (nominal y después de impuestos) salvo en biomasa que se estima en 9,4%

Fig. 9. Evolución tecnológica y prospectiva de costes de las energías renovables (IDAE, 2011)



Como se puede observar de los datos reflejados en el gráfico anterior, la biomasa es la fuente de energía que menores costes implica para la generación de calor en la industria.

Resulta de gran interés destacar que en la actualidad se generan bastantes más residuos de la gestión forestal (talas controladas, entresacas, podas) que los que se llegan a utilizar en forma de algún uso. Por tanto dichos residuos se encuentran en gran medida completamente desaprovechados.

Además de esta clase de restos de silvicultura, también serían susceptibles de emplear como biomasa en una instalación como la proyectada, los rastrojos de los cultivos agrícolas, para los que recientemente ha entrado en vigor la prohibición de su eliminación mediante quema, lo que ha implicado que hayan pasado a encontrarse desaprovechados en gran medida.

8.1.3 GAS NATURAL

El gas natural es un combustible fósil, y por tanto una fuente de energía no renovable, formado por una mezcla de gases ligeros que se encuentra en yacimientos específicos de gas, o asociado a yacimientos de petróleo en forma disuelta o formando bolsas, e incluso relacionado con depósitos de carbón.

en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)

Aunque su composición suele variar en función del yacimiento del que se extrae, su principal componente es el metano, en cantidades que habitualmente pueden superar el 90% o 95%, aunque también es frecuente que contenga otros gases asociados como nitrógeno, ácido sulfhídrico, helio y mercaptanos.



Fig 10. Proceso de manipulación del gas natural

El gas natural genera durante su combustión cantidades de CO_2 considerablemente inferiores a las que producen otros combustibles como los derivados del petróleo, y en mayor medida aún el carbón. Su combustión resulta igualmente más limpia, en el sentido de que genera menor número y volumen de productos (consecuencia de su propia composición), así como también presenta una mayor eficacia.

La razón por la cual produce menor cantidad de CO_2 es de índole química: el principal componente (metano) contiene cuatro átomos de hidrógeno y uno de carbono, produciendo dos moléculas de agua



por cada una de CO_2 , mientras que los hidrocarburos de cadena larga (líquidos) dan lugar sólo a una molécula de agua por cada molécula de CO_2 (recuérdese que el calor de formación del agua es muy elevado).

En el caso de no disponer de suministro de gas natural en la zona en la que se plantea llevar a cabo la implantación de la instalación generadora, conllevaría una inversión inicial que pondría en riesgo la rentabilidad del proyecto, pero en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo sí se dispone de acometida de gas natural, y por ser un combustible de abastecimiento inmediato, sería muy interesante contar de partida con su empleo para el diseño de una central híbrida, asegurándose con ello que su producción no cesaría en caso de falta de suministro de biocombustible.

La principal desventaja del gas natural como fuente de energía es su condición de no renovable, así como también el hecho de que utilizándolo como combustible principal en la instalación a proyectar, se perdería el carácter autoabastecible que se podría lograr en caso de empleo exclusivo de biomasa.

8.1.3.1 IMPACTO AMBIENTAL

El CO_2 emitido a la atmósfera en la combustión del gas natural contribuye decisivamente al denominado calentamiento global del planeta, puesto que el dióxido de carbono es uno de los principales agentes causantes del conocido *efecto invernadero*. El CO_2 permite el

en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)

paso de la radiación visible y ultravioleta que calienta la Tierra durante el día, pero absorbe la radiación infrarroja que ésta emite al espacio exterior durante la noche, ralentizando el enfriamiento nocturno del planeta.

No obstante, el impacto medioambiental de la combustión de gas natural es inferior a la producida por la de otros combustibles fósiles como los carbones o los derivados del petróleo, puesto que apenas emite otros gases contaminantes, como los óxidos de azufre (que sí son emitidos en mayores cantidades en la combustión de los demás combustibles fósiles). Estos SO_x, como ya se ha comentado anteriormente, son gases que contribuyen, entre otros efectos, a la producción de la denominada *lluvia ácida*. Por otra parte, la combustión del gas natural tampoco genera partículas sólidas (cenizas), suponiendo con ello otra importante ventaja medioambiental.

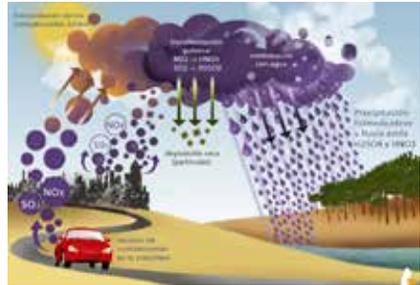


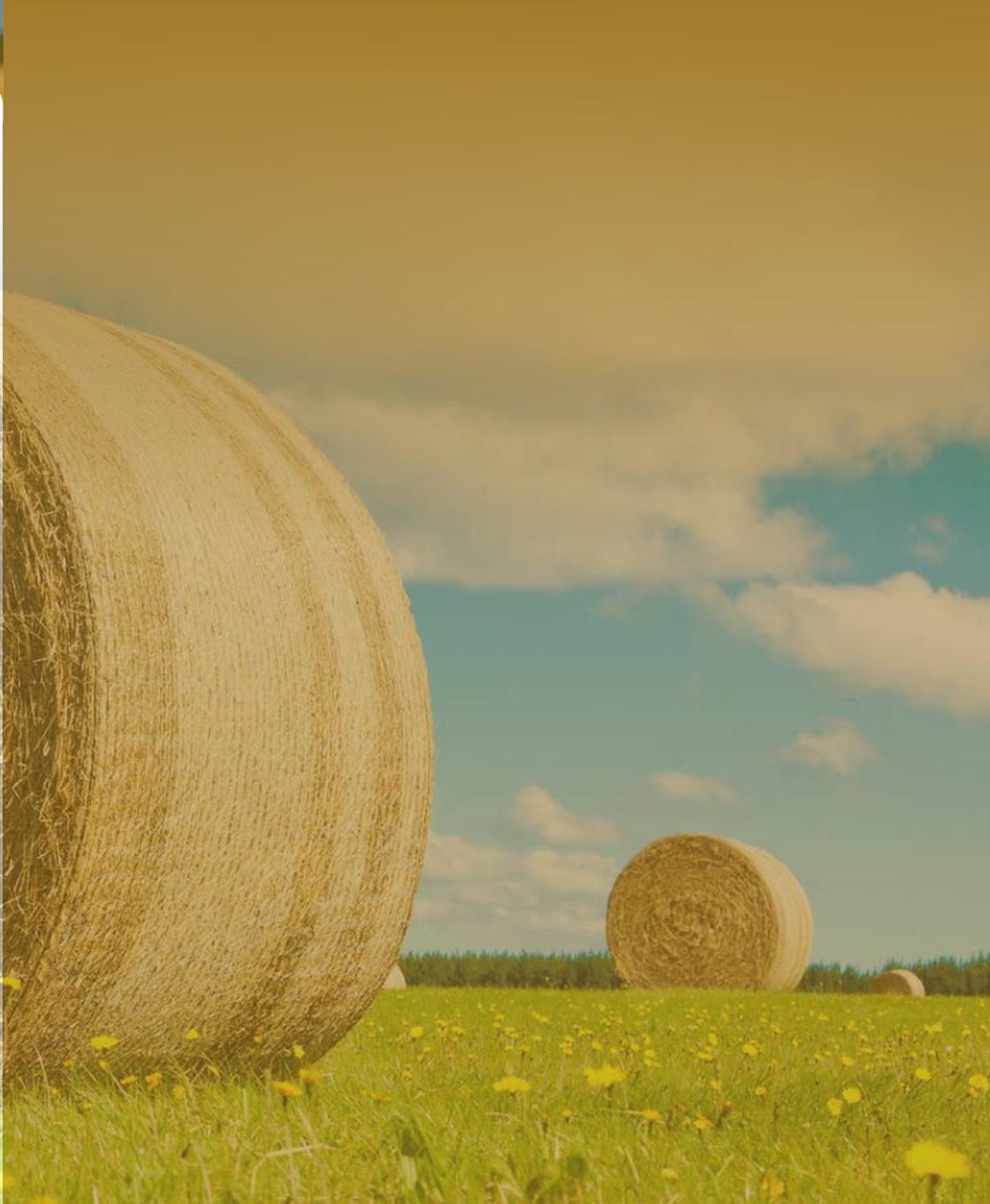
Fig 11. Formación de la lluvia ácida

Sin embargo, los escapes de gas natural que se producen en los pozos de perforación suponen un aporte muy importante a los gases de efecto invernadero, ya que el metano posee una capacidad de efecto invernadero del orden de 23 veces superior a la del dióxido de carbono, según los datos del IPCC.



Así por ejemplo, el accidente de marzo de 2012 en la plataforma petrolífera *Elgin*, operada por la petrolera *Total* en el Mar del Norte, supuso un escape de unos 5,5 millones de metros cúbicos de metano diarios. Dado que la densidad del metano en condiciones estándar es $0,668 \text{ kg/m}^3$, el escape supuso unas 3.674 toneladas diarias de metano, de manera que aplicando el ratio anteriormente mencionado de 23:1 en relación a su capacidad de efecto invernadero comparada con la del CO_2 , la cantidad de toneladas diarias de dióxido de carbono equivalentes habría correspondido a 84.502 t. Tan sólo ese escape, que iba a tardar en detenerse unos 6 meses, de acuerdo con las previsiones de la petrolera francesa, supuso entonces más de 15 millones de toneladas de carbono equivalentes, cifra prácticamente equivalente al total de emisiones industriales de CO_2 de un país como Estonia durante el año 2009.





Capítulo 9

Sistemas propuestos





9. SISTEMAS PROPUESTOS

A la hora de plantear alternativas válidas para el proyecto sometido a Estudio se deben distinguir entre dos sistemas bien diferenciados.

Por una parte, se proponen dos sistemas para la generación de calor centralizado, y por otra parte se valorará el diseño de un sistema de cogeneración para generar calor centralizado y electricidad, a modo de subsistema de uno de ellos.

Como premisa de partida, todos los sistemas estarán diseñados para cubrir la demanda térmica de las empresas del polígono, sin desviar calor para la producción de electricidad.

En el caso de ambos sistemas, la generación exclusiva de calor se producirá desde una central, distribuyéndose a continuación el calor hacia todas las parcelas mediante una red general de distribución que discurrirá paralelamente a las calles del polígono, y a su vez a través de derivaciones individuales hasta las subestaciones ubicadas en cada parcela. Esta descripción se expondrá de forma más extensa en el apartado dedicado a la distribución de calor dentro del Estudio.



9.1. GENERADORES DE CALOR POR BIOMASA

A la hora de proyectar una central térmica para la generación de calor para calefacción, ACS y frío, ésta debería estar basada en el escalonamiento de calderas para la producción de agua caliente (entre 80°C y 90°C).

Se ha descartado la producción de agua sobrecalentada (más de 110°C) debido a que la necesidad actual de temperatura de las empresas situadas en el polígono no supera los 90°C en su gran mayoría. Esto es debido a que las actividades empresariales de éstas, de acuerdo con lo descrito en páginas anteriores, no son mayoritariamente industriales, sino que poseen un carácter más relacionado con la logística.

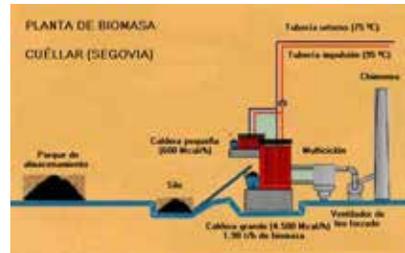


Fig. 12. Esquema de la central de biomasa de Cuéllar (Segovia)

La caldera elegida corresponderá al tipo policombustible, siendo el quemador de este tipo de calderas similar a los que tienen aquellas que consumen exclusivamente pellets.



en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)

El sistema de alimentación en este tipo de centrales es inferior. Gracias a ello, junto con el sensor de combustible y el sistema de conducción del aire, se garantiza una adecuada combustión, lo cual asegura una producción mínima de sustancias tóxicas.

La biomasa se introduce por el centro del quemador. El aire entra en la cámara de combustión atravesando los orificios situados en el disco, y el aire secundario sale por los tubos de alrededor. El encendido de la caldera se produce de forma automática, inyectando aire caliente. Este tipo de calderas se denominan *pirotubulares*, porque los gases de escape fluyen por el interior de tubos durante el proceso de intercambio de calor con el agua del circuito primario que circula por el exterior de los tubos. Estos tubos tienen disposición vertical para evitar la acumulación de cenizas.

La combustión se encuentra permanentemente controlada por una sonda que se encarga de:

- ▶ Analizar permanentemente los gases de combustión.
- ▶ Controlar la combustión.
- ▶ Minimizar las emisiones.

Disponen de un sistema de seguridad constituido por los siguientes elementos:



Estudio sobre *abastecimiento centralizado de calor y electricidad*

- ▶ Sensor de reconocimiento que detecta los aumentos de temperatura en el canal de alimentación que pudieran producirse debido a un posible incendio del combustible.
- ▶ Compuerta estanca que evita la propagación de incendios a la zona de almacenamiento.
- ▶ Rociador de agua en el canal de alimentación.

Las calderas de policonsumible requieren normalmente ser instaladas en suelos inclinados, aunque existan algunas soluciones de implantación como los sistemas de alimentación desde silo con tornillo sinfín de llenado, o los sistemas de alimentación desde un silo de combustible situado por encima del nivel de la caldera.

A continuación se puede apreciar un ejemplo de caldera de biomasa policonsumible, así como el flujo térmico de funcionamiento de ésta:

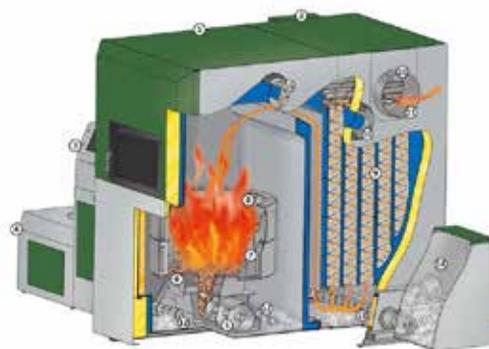


Fig. 13. Caldera de biomasa policonsumible (Herz, modelo BioMatic)



en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)

Descripción de los componentes de la caldera:

1. Módulo de la cámara de combustión.
2. Módulo del intercambiador de calor.
3. Mando integrado.
4. Depósito intermedio.
5. Sinfín introductor.
6. Encendido automático con soplador de aire caliente.
7. Cámara de combustión con sistema automático de limpieza del quemador (plato vibratorio).
8. Anillo de aire secundario dividido en 2 zonas.
9. Intercambiador de calor de tubos verticales con mecanismo de limpieza automática.
10. Vigilancia automática de la combustión y de los gases de salida mediante el control con sonda lambda.
11. Ventilador de aspiración con variador de frecuencia y regulación de depresión.
12. Sinfines para la extracción de cenizas de la combustión.
13. Sinfín para la extracción de cenizas volátiles.



14. Depósito para cenizas volátiles.

15. Conexión de impulsión.

16. Conexión de retorno.

Siempre resulta recomendable utilizar un depósito de inercia, en particular cuando se trate de instalaciones grandes. El depósito reduce el número de arranques de la caldera, asegura una cesión de calor uniforme, y garantiza con ello mejores condiciones de trabajo. Si se utiliza un depósito se puede mantener la generación de energía durante un período más prolongado, evitando de esa forma una mayor frecuencia de maniobras de la caldera, y aumentando el rendimiento de la instalación.

Este tipo de calderas ha de disponer de un silo de almacenaje de biomasa para dotar de cierta autonomía a la instalación (3 o 4 meses). La capacidad de este silo será calculada en función del consumo de biomasa que tenga la instalación, aspecto que se analizará en apartados posteriores.

Se ha de prever también un sistema para comunicar el silo de almacenaje con el depósito intermedio de la caldera. El sistema dependerá de la distancia entre ambos y de la situación de altura de uno respecto al otro.

en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)

La principal ventaja de este sistema frente a los que se expondrán posteriormente radica en que posee carácter de autoabastecimiento puro. Esto es, que con una industria maderera ubicada en el polígono, y con los restos de actividades silvícolas y recogida de rastrojos agrícolas de la zona, se puede obtener el combustible necesario para que la caldera, y por tanto el sistema, puedan funcionar.

Los residuos forestales constituyen actualmente un problema en gran medida, dado que en su mayor parte no son utilizados, y aquellos que no son retirados contribuyen a facilitar la propagación de incendios forestales, con los consiguientes efectos devastadores asociados a la deforestación de territorio, y los corolarios impactos ambientales en forma de aumentos del nivel de CO₂ en la atmósfera y sus repercusiones altamente negativas para el conjunto de la sociedad.

Sin embargo, resulta perfectamente posible convertir ese problema actual que pueden llegar a constituir los residuos forestales en una oportunidad, a través de la involucración de las administraciones públicas en primer término, seguida de la iniciativa privada, contribuyendo así a convertirlos en fuente para un sistema sostenible destinado a la generación de calor. A través de propuestas de esta clase no sólo se conseguiría el autoabastecimiento mencionado, sino que se contribuiría a la creación de



Foto 16. Residuos forestales



nuevos yacimientos de empleo vinculados directa o indirectamente con la planta *district heating*, convirtiendo de este modo a esta clase de instalación en un instrumento dinamizador socioeconómico, con un claro valor añadido en este sentido, más allá de la mera finalidad energética inicial y de sus evidentes beneficios medioambientales ya destacados.

9.2. SISTEMA HÍBRIDO GAS NATURAL-BIOMASA

Esta segunda propuesta constituye una modificación de la anterior con la que se suprimirían ciertas desventajas que se analizarán al abordar las conclusiones, a excepción de lo relativo a las mencionadas necesidades de vapor para procesos industriales que pudieran tener las empresas.

Un sistema de este tipo está basado en el empleo de los mismos generadores de vapor utilizados en el modelo de central anterior, si bien la gran diferencia en este caso corresponde a que el agua de alimentación a aquéllos ha de ser precalentada por una batería de calderas calculada en función de la demanda de energía total.

Los quemadores de esta batería de calderas de precalentamiento serán alimentados por biomasa (biocombustible sólido), llevando el agua hasta la temperatura crítica de cambio de estado (agua sobrecalentada).

en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)

Esta agua sobrecalentada será conducida a los generadores de vapor donde cambiará su estado, mediante aporte de calor, a vapor de agua.

Los quemadores de estos generadores de vapor estarán alimentados con gas natural. Con ello se logra que la producción de vapor no dependa del suministro de biomasa a la central *district heating*.

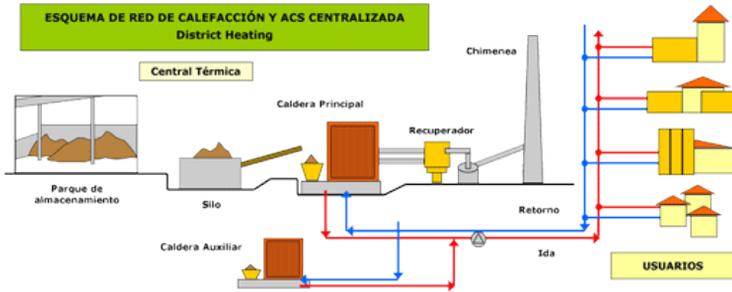


Fig. 14. District heating híbrido

No obstante lo anterior, pese a que en este sistema la producción de vapor no depende en exclusiva de la biomasa, no es menos cierto que su utilización es vital para lograr un ahorro en gas natural, puesto que el consumo en combustible no es el mismo para elevar la temperatura del agua desde una temperatura fría de diseño, que para hacerlo desde una temperatura de agua precalentada. En este hecho radica su principal ventaja respecto al primero de los sistemas descritos.



9.3. ORC PARA COGENERACIÓN DE CALOR Y ELECTRICIDAD

La tercera propuesta contemplada se basa en un sistema de cogeneración de calor y electricidad. Esta clase de instalaciones contemplan, como consecuencia de contar con una turbina de vapor, la producción de calor con un fluido en este estado. Debido a ello, en esta propuesta se prescinde de la producción de agua sobrecalentada, independientemente de la naturaleza del agua necesaria para cubrir las demandas de energía térmica.

A continuación se muestra de forma sintetizada un *Ciclo Simple de Rankine*:

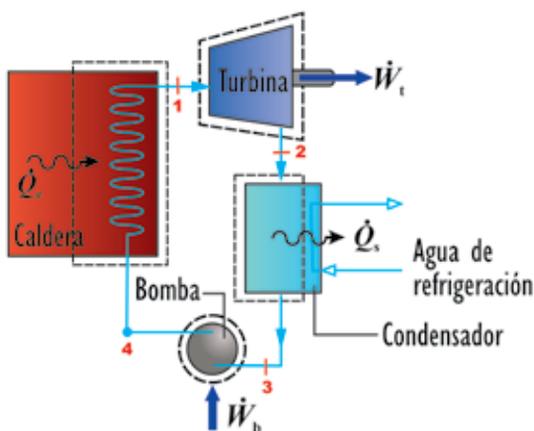


Fig. 15. *Ciclo Simple de Rankine*



en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)

Como se puede observar, el Ciclo Rankine de Vapor (el de la imagen, ciclo simple) consta, principalmente, de los siguientes componentes:

Turbina

El vapor generado en la caldera, con presión y temperatura elevadas, se expande a través de la turbina para producir trabajo, descargándose en el condensador a baja presión.

Condensador

En el condensador se transfiere calor del vapor al agua de refrigeración que circula en flujo separado. El vapor condensa y la temperatura del agua de refrigeración aumenta.

Bomba

El agua líquida procedente del condensador es bombeada desde la presión del condensador hasta la presión más alta de la caldera.

Caldera

El fluido de trabajo completa un ciclo cuando el líquido procedente de la bomba, llamado *agua de alimentación de la caldera*, se calienta hasta la saturación y se evapora en la caldera. Este vapor con temperatura y presión elevadas es conducido de nuevo a la turbina.



Un ORC (*Organic Rankine Cycle*) difiere en gran medida del *Ciclo Rankine Simple*. La diferencia principal estriba en que se utiliza un medio orgánico de trabajo con propiedades termodinámicas favorables a temperaturas y presiones más bajas en lugar de agua, de ahí el nombre de *Ciclo de Rankine Orgánico*.

La elección correcta del medio de trabajo orgánico utilizado resulta muy importante para un funcionamiento optimizado del proceso ORC. Teniendo en cuenta el marco de necesidades combinadas de producción de calor y energía (cogeneración), el aceite de silicio parece corresponderse con el fluido de trabajo más adecuado.

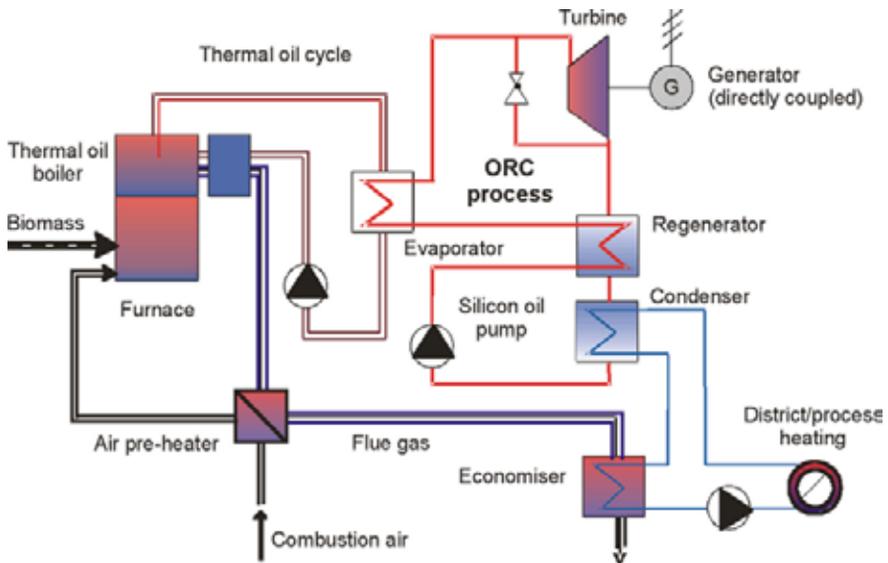


Fig. 16. ORC de district heating en Lienz (Austria).



en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)

La energía producida por la combustión de biomasa se transfiere de una caldera de aceite térmico (economizador aceite térmico incluido) a través de un ciclo cerrado para el proceso ORC.

El aceite térmico se utiliza como un medio de transferencia de calor debido a que la temperatura requerida para el funcionamiento del proceso de ORC (300°C) se puede lograr durante el funcionamiento de la caldera de aceite térmico prácticamente a presión atmosférica (no haciendo necesaria una supervisión constante de la caldera).

El fluido de trabajo orgánico a presión se vaporiza y es sobrecalentado en el evaporador por la energía suministrada desde el ciclo de aceite térmico. El vapor se expande en una turbina axial que está directamente conectada a un generador.

Posteriormente, el aceite de silicio expandido pasa a través de un regenerador, donde se lleva a cabo el ciclo de recuperación de calor, y hace que aumente la eficiencia eléctrica antes de que entre en el condensador.

La condensación del medio de trabajo se lleva a cabo a un nivel de temperatura que permite que el calor recuperado pueda ser utilizado como calefacción de distrito o proceso a una temperatura mínima de 80°C y máxima de 100°C. El aceite de silicio líquido se conduce entonces a las bombas de alimentación con el fin de recuperar el nivel de presión apropiado del extremo caliente del ciclo, pasa al regenerador y vuelve al evaporador.



El gas de combustión, desde la salida de la caldera de aceite térmico (respectivamente desde el economizador de aceite térmico), se enfría desde aproximadamente 280°C hasta unos 160°C mediante un sistema de recuperación de calor eficiente.

Posteriormente, el gas de combustión se limpia en un multiciclón donde se produce la precipitación de las partículas de polvo más grandes, seguido por una unidad de limpieza de gases de combustión respectiva (en muchos casos se instala un precipitador electrostático o una unidad de condensación de los gases de combustión).

El proceso ORC puede ser diseñado de tal manera que las temperaturas de alimentación de agua caliente rondan los 90°C, implicando que las temperaturas de retorno alcancen los 70°C. Sobre esta base, el nivel exacto de la temperatura de alimentación de agua caliente requerida se ajusta perfectamente a los requisitos de diseño de la calefacción o de los consumidores de energía de refrigeración.

Como se puede observar en el diagrama de flujo energético del sistema que se muestra a continuación, se obtienen unos rendimientos globales muy altos, ya que de toda la energía suministrada al sistema por la combustión de la biomasa, el 90% se convierte en energía susceptible de poder ser aprovechada.

en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)

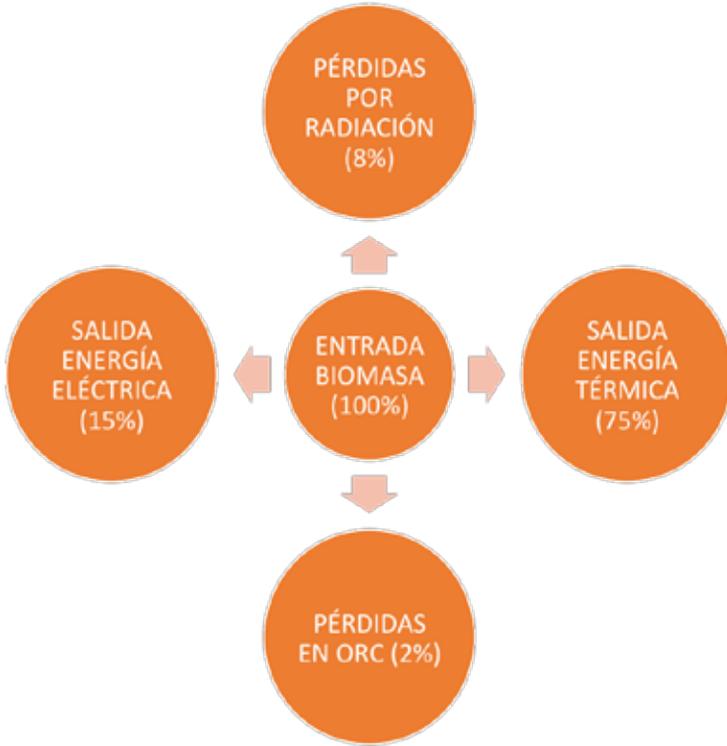


Fig. 17. Diagrama de flujo energético para sistema ORC



Capítulo 10



Redes de distribución. Integración de sistemas de regulación y control



10. REDES DE DISTRIBUCIÓN. INTEGRACIÓN DE SISTEMAS DE REGULACIÓN Y CONTROL

Como se mencionó en páginas anteriores, de la red de distribución principal partirán las derivaciones secundarias a cada parcela, en las que se dispondrá de una llave de paso con acceso a la propiedad de la central y una llave de paso con acceso a la propiedad de la parcela, condicionada a la anterior.

Un medidor de energía cuantificará en cada momento el uso que cada propietario hace de la derivación individual, y en consecuencia de consumo de la central.

Como ya se ha tenido ocasión de explicar en apartados previos de este Estudio, se entiende por *district heating* (DH) una tecnología orientada a la producción y suministro de calefacción y ACS desde una planta central a diversos usuarios y edificios. Esta distribución emplea un fluido caloportante (agua caliente) que fluye por tuberías aisladas térmicamente. De esta forma, cada usuario dispone de manera independiente en sus instalaciones del servicio, a pesar de que éste haya sido generado de forma centralizada.

Los primeros sistemas con redes de distribución térmica son de finales del siglo XIX para incipientes sistemas de calefacción de distrito. Un ejemplo lo constituyó la distribución de vapor desde la central de la



Consolidated Edison Co. hasta el sur de la isla de Manhattan, en la ciudad de Nueva York, siguiendo las avenidas hasta el distrito financiero, donde se comenzaban a construir los rascacielos.

A partir del final de la Segunda Guerra Mundial se ponen en operación numerosas redes de distribución térmica en las zonas reconstruidas que incluyen distritos enteros en ciudades del Reino Unido, Alemania, Países Bajos y Norte de Europa. Tan sólo en Dinamarca se construyeron más de 400 redes de distribución térmica en los años 60 del siglo XX. La estructura de estas instalaciones se ha ido adaptando a nuevos combustibles con un precio menor, como es el caso de la biomasa, donde el calor generado se distribuye a un entorno cercano, disminuyendo las pérdidas. La biomasa utilizada para estos sistemas proviene principalmente de aprovechamientos forestales y cultivos leñosos agrícolas, aunque también existen proyectos piloto con residuos agrícolas.

Las tuberías, preaisladas en fábrica, están compuestas por una tubería de acero, un aislamiento de espuma de poliuretano inyectado en continuo, con cableado de cobre integrado, y la cubierta exterior de polietileno de alta densidad. Todos los componentes del sistema de tuberías deben cumplir los requisitos técnicos conforme a las siguientes normas:

- ▶ EN 253. *Sistemas de tuberías preaisladas para redes de agua caliente enterradas.*
- ▶ EN 448. *Accesorios preaislados para redes de agua caliente enterradas.*

en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)

- ▶ EN 488. *Válvulas de acero preaisladas para redes de agua caliente enterradas.*
- ▶ EN 489. *Ensamblaje de juntas para tuberías de calefacción urbana preaisladas.*

Las tuberías deberán ser de acero calidad St 37.0 BW, según DIN 1626 o equivalente, y sus dimensiones serán conformes a ISO-DIN 2458.

El aislamiento de espuma deberá cumplir con los requisitos de la EN 253 (última versión), y deberán fabricarse con ciclopentano como agente esponjante.



Foto 17. Red de tuberías DH (IDAE)

La cubierta exterior debe cumplir los requisitos técnicos de la EN 253 más reciente y estar fabricada en polietileno de alta densidad.

A la entrada de cada centro consumidor se instalará una arqueta de acometida. Cada una de ellas estará dotada de los elementos necesarios para aislamiento de circuitos, control de temperatura y presión y regulación automática del caudal de agua aportado.

Estos conjuntos de regulación dinámica serán esenciales para que cada unidad de la instalación trabaje de acuerdo con los parámetros para los que ha sido diseñada, garantizando el confort térmico, a la vez que se limita el consumo de energía.



En definitiva, con el equilibrado automático se trata de conseguir un caudal constante de los circuitos hidráulicos, que compense en todo momento las distintas presiones diferenciales y las variaciones de esas presiones durante el funcionamiento de la instalación, evitándose así los circuitos con exceso o deficiencia de caudal que repercutirían negativamente en el confort de los edificios y en la presión de bombeo en el centro de producción.

Haciendo un balance, el equipamiento mínimo de cada arqueta habrá de ser el siguiente:

- ▶ Válvulas de seccionamiento y vaciado de la red de frío y calor.
- ▶ Válvula de equilibrado dinámico o KFLOW de frío y calor.
- ▶ Medidor de presión y temperatura en impulsión y retorno.
- ▶ Desaireadores y purgadores con válvula de servicio.
- ▶ Tubería desde desagüe en arqueta hasta la red de alcantarillado más próxima.

A partir de estas arquetas de servicio, el agua entra a los puntos de consumo, bien por la acción de la bomba principal, situada en la planta de generación, o bien impulsada por las bombas auxiliares propias de la unidad de intercambio de cada nave industrial.

en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)

Básicamente, las instalaciones centrales cuentan con dos elementos principales: sala de máquinas y sistema de distribución de calor (red de tuberías). Además, si el combustible usado es biomasa, se deberá disponer de un parque de almacenamiento del mismo.

En los sistemas centralizados la producción de calor se realiza en la unidad central, existiendo un fluido portador de calor (agua) que llega a cada una de las unidades terminales situadas en cada nave industrial.

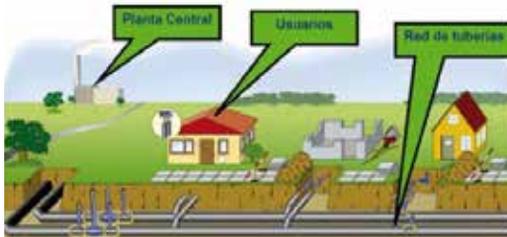


Fig. 18. Esquema red de distribución de un DH (IDAE)

Recordemos aquí una serie de ventajas de estos sistemas centralizados con respecto a los individualizados, comentadas ya en apartados anteriores del Estudio:

- Los sistemas centralizados tienen mejor eficiencia energética que los sistemas aislados. Al ser de mayor potencia tienen una tecnología más compleja y más eficiente.
- La contaminación atmosférica se controla de forma centralizada, con un impacto mucho más controlado y focalizado.





Estudio sobre *abastecimiento centralizado de calor y electricidad*

- ▶ Balance neutro de las emisiones de CO₂. Esto sucede si se emplea como fuente de energía una caldera de biomasa para cubrir la demanda de agua caliente sanitaria y calefacción.
- ▶ Disminución del consumo de combustibles derivados del petróleo y gas natural, con la independencia del suministro de otros países y de la variación de precios que ello conlleva. Aprovechamiento integral de recursos endógenos cuando la fuente de calor es biomasa generada en la zona o territorios limítrofes.
- ▶ Mantenimiento centralizado de las instalaciones del que no tienen que ocuparse propietarios y usuarios de las naves industriales.
- ▶ Proporcionar un medio de calefacción fiable y constante, reduciendo el riesgo de accidentes al disminuir el manejo individual de las instalaciones.

La importancia del sistema de control es crucial, pues permite extraer el máximo rendimiento a la instalación. Actualmente existen controles que permiten gestionar y comandar todos los elementos de la instalación desde un puesto central, bien en cada una de las naves industriales o bien en un puesto remoto. Estos sistemas permiten realizar informes periódicos que registran cualquier incidencia, haciendo posible un seguimiento exhaustivo de la instalación y un mantenimiento preventivo, que minimizará los costes y las paradas por avería.



en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)

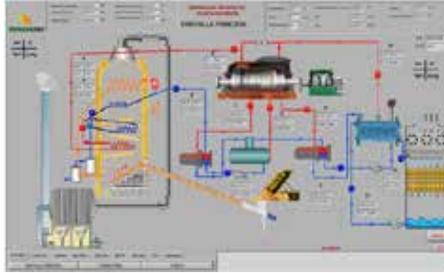


Fig. 19. Simulador planta biomasa. Pantalla principal (RENOVETEC)

En las instalaciones centralizadas se debe adoptar el concepto de simultaneidad como criterio de diseño. En cada nave industrial existen zonas con usos y necesidades energéticas distintas, por lo que la demanda máxima energética de cada uno de esas zonas no coincidirá en el tiempo, y por ello la carga máxima simultánea de toda la nave industrial será inferior a la suma de las cargas máximas de cada zona. Por ello, se procederá a diseñar la instalación para la carga máxima simultánea, lo que permite reducir el tamaño de los equipos de la planta centralizada, con una menor inversión inicial y gastos de explotación también menores.

Aun teniendo en cuenta que un cierto grado de parcialización es deseable, para poder responder eficientemente a las necesidades de mínima carga que puede presentar el sistema, el diseño se realizará pensando en un número limitado de unidades, tanto por servidumbres de espacio como por necesidades de control. Sobre el primero hay que



hacer notar que el volumen ocupado (incluyendo las obligatorias áreas de servicio) por dos unidades de mitad de capacidad dada, es siempre mayor que el de ésta. Con los costes de material e instalación sucede lo mismo, por lo que se intentará reducir el número de máquinas aumentando su capacidad.

La alta inversión necesaria para la centralización reclama un periodo de amortización corto y costes de explotación mínimos. Para ello, el diseño de la central se realizará con la premisa de tener un alto rendimiento energético de los equipos implicados que ayude en la reducción de los costes de explotación. El sistema de control optimizará el rendimiento de las unidades. En el mismo sentido, las unidades, como se ha visto en apartados anteriores, serán fiables y de bajo mantenimiento. La responsabilidad del servicio que se proporciona a los negocios que desarrollan su actividad en las naves industriales hace que el diseño elegido busque por un lado la redundancia, o al menos la presencia de una capacidad mínima de reserva en caso de avería de una o varias máquinas. El mantenimiento de estas instalaciones se llevará a cabo sólo por personal cualificado, que se apoyará en los sistemas de diagnosis que incorporarán los controles electrónicos de las instalaciones, evaluando su desgaste y detectando y señalizando el fallo de algún componente.

Las principales desventajas radican en la escala económica de las obras, porque al coste de la central de producción hay que añadir las obras de la red de distribución del agua caliente.



en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)

Las grandes dimensiones de los sistemas centralizados, con redes de distribución de calor, hacen necesario el uso de más de una máquina de producción. La disposición en paralelo de varias unidades es, por tanto, lógica y necesaria. El sistema se comportará como una sola máquina (una máquina virtual).



Foto 18. Central con dos calderas (Fischamend Dorf - Baja Austria)

Para evitar la mezcla de agua entre unidades que funcionan y unidades en espera, es necesario proveer de mecanismos que eviten el paso de agua por las unidades no activas. Las estrategias de control para ello pueden ser:

- ▶ **Controladores programables externos:** es la utilizada cuando no se tiene posibilidad de acceder a los parámetros de las unidades, por tener un control no comunicable. Se realiza un control electromecánico sobre los distintos componentes de las mismas, dando órdenes marcha/paro. El criterio para este control sería un control en cascada, en el que las unidades van entrando en funcionamiento de forma progresiva, de manera que una no lo hace hasta que la anterior está funcionando al 100% de su capacidad.
- ▶ **Control maestro/esclavo:** es similar al anterior control en cascada, pero en este caso las unidades están conectadas entre sí a través de un bus de comunicaciones, teniendo acceso cada una

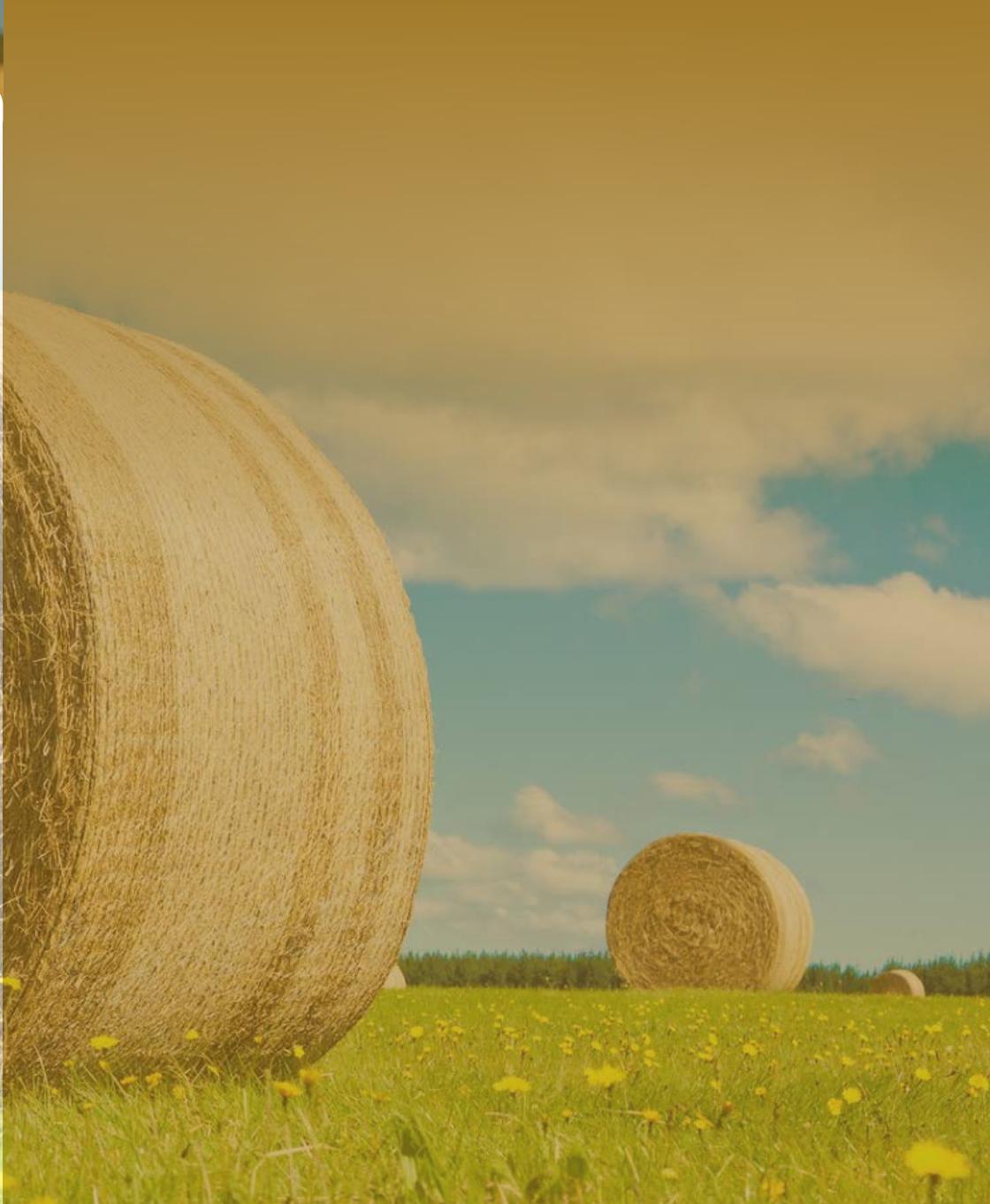


de ellas a todos los parámetros de funcionamiento de la otra. El control electrónico de una unidad asume el control del grupo, determinando cuál de los generadores de calor ha de arrancar en función de las horas de operación y número de arranques. Se arranca la bomba o se abre la válvula correspondiente a una primera máquina, no procediendo al arranque de una segunda unidad (y tercera, cuarta, etc.), hasta que no se ha completado el arranque de cada una de las etapas de la anterior. Así mismo, se asegura que la descarga de las máquinas se hace en orden inverso al de arranque.

Se ha demostrado en este tipo de sistemas que cuanto mayor sea el grado de regulación y control, mayor es el grado de optimización. Debido a ello se ha decidido implantar un sistema maestro/esclavo debido a las múltiples posibilidades de comunicación.

Estas opciones de comunicación harán posible sistemas de modelización energética mediante modelos informáticos que permiten simular las condiciones de trabajo de las instalaciones y estimar el comportamiento energético (y económico) de las mismas.





Capítulo 12



Descripción del polígono



11. DESCRIPCIÓN DEL POLÍGONO

11.1. UBICACIÓN Y COMUNICACIONES

Como ya se ha descrito al comienzo de este Estudio, la instalación a proyectar se ubicaría en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo, municipio de la provincia de León, en la Comunidad Autónoma de Castilla y León (España).

La localización del Polígono Industrial de Villadangos corresponde a la de una amplia zona limitada por la carretera nacional N-120, en su tramo entre León-Astorga, y la carretera provincial LE-413 que une Villadangos del Páramo con la localidad de Villanueva de Carrizo.

Así mismo, la autopista AP-71 León-Astorga discurre en gran medida paralelamente a la N-120, y por tanto a escasa distancia del polígono, contándose con fácil e inmediato acceso a la misma. Esta autopista se encuentra conectada con la autopista A-66 a la altura de León y con la A-6 en las proximidades de Astorga, y por tanto con el conjunto de la red nacional de autopistas.

En lo que respecta a conexiones ferroviarias, la línea de ferrocarril Palencia-La Coruña, con muelle de carga y descarga, se encuentra a unos 500 metros del polígono.



También se cuenta con acceso a conexión aérea por medio del Aeropuerto de León, ubicado apenas a 10 kilómetros de distancia del polígono, en el término municipal de La Virgen del Camino.



Foto 19. Vista aérea del Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)

11.2. CARACTERÍSTICAS DE INTERÉS DE LAS EMPRESAS UBICADAS EN EL POLÍGONO

En este apartado se pretende exponer de manera sucinta, entre otras características básicas, las que corresponden a la situación de demanda energética actual identificada para las empresas del polígono, y particularmente de la relacionada con consumo de calor.



en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)

Para la caracterización de dicha situación energética se ha empleado como principal instrumento un formulario de recogida de datos, elaborado por el Ente Regional de la Energía de Castilla y León (EREN), por medio del cual los técnicos encargados de la ejecución del proyecto recabaron la información necesaria.

A través de las visitas individualizadas a las empresas, como parte de la metodología expuesta al comienzo de este Estudio, fue posible la recogida y recopilación de los datos oportunos, que en primer término han permitido reflejar la situación relativa a los consumos actuales, y por tanto las necesidades energéticas, recogiendo de forma sintetizada a través de los gráficos de las páginas siguientes.

Para el diseño de los equipos generadores, analizado en la última parte del Estudio, se han tenido en cuenta los datos de demanda recogidos, pero también una previsión adicional correspondiente al supuesto de una potencial ampliación de la actividad industrial en el polígono a través de la ocupación de las parcelas aún disponibles.

A través de las visitas giradas a las empresas y las entrevistas personalizadas mantenidas con sus respectivos responsables, se ha podido identificar que la demanda energética principal se encuentra focalizada en cuatro grandes consumidores dentro del total de ocupantes del polígono. El resto de las empresas presentan bastantes similitudes en cuanto a su demanda, pero en todo caso representan poco más del 5% de la demanda energética total del polígono. El motivo principal de esta disparidad se localiza principalmente en la diferencia



de horarios de producción, y por supuesto en el tipo de actividad desarrollada por cada empresa. Ello ha permitido identificar que los pequeños demandantes de energía responden básicamente al perfil de empresas cuya actividad se centra en tareas logísticas y de distribución.

En el polígono actualmente están desarrollando su actividad 26 empresas. De éstas, se ha podido recoger información individualizada en 20 de ellas, debiéndose la carencia en las restantes normalmente a que su actividad está en la actualidad detenida o incluso en extinción.

Procediendo a una primera clasificación en base a su actividad económica, caracterizada por medio de su código CNAE, el balance que presentan es el que se muestra en el siguiente gráfico:



Fig. 20. Distribución de las empresas de la muestra por su CNAE

en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)

Los CNAE que empiezan por 1, 2 y 3 corresponden a la industria manufacturera. Los que comienzan por 4 pertenecen al comercio al por mayor y al por menor, y a la reparación de vehículos de motor y motocicletas. De los que empiezan por 5 el 5210 corresponde a transporte y almacenamiento, mientras que el 5610 corresponde a hostelería. Los que comienzan por 8 se dedican a actividades administrativas y servicios auxiliares, y los que lo hacen por 9 a actividades artísticas, recreativas y de entretenimiento.

Efectuando agrupaciones atendiendo a los grupos de actividad o servicios más o menos homogéneos que se comentan más arriba, se podría también obtener la siguiente distribución:



Fig. 21. Distribución de las empresas de la muestra por grupos de actividad



11.3. DEMANDAS ENERGÉTICAS

La primera dificultad identificada a la hora de realizar los cálculos necesarios para el diseño de la planta, es que la mayoría de las empresas participantes en el Estudio no disponen de contadores de energía que separen el consumo energético derivado de la calefacción y clima del consumo energético correspondiente al ACS.

Para poder proceder al cálculo de los requerimientos térmicos de la instalación que se quiere proyectar ha habido que apoyarse en el CTE (*Código Técnico de Edificación*), para así proceder al cálculo de estas demandas energéticas.

Como punto de partida se han empleado los datos proporcionados por el IDAE para las condiciones climáticas aplicables a la zona en la que se localiza el polígono objeto de este Estudio:

- ▮ Ubicación de los datos: Aeropuerto de La Virgen del Camino (a 10 km del polígono y a la misma altitud con relación al nivel del mar).
- ▮ Para el cálculo de las cargas térmicas máximas de invierno, la temperatura seca empleada es $-3,8^{\circ}\text{C}$.
- ▮ Para el cálculo de la demanda energética de ACS, la temperatura media del agua fría es de $10,92^{\circ}\text{C}$. Para tener un margen de seguridad se ha establecido en 10°C .

en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)

Para el cálculo de demandas de ACS se ha empleado como referencia el CTE-HE4.

Para valorar las demandas se han utilizado los valores unitarios que aparecen en la siguiente tabla (demanda de referencia a 60°C):

CRITERIO DE DEMANDA	LITROS/DÍA-UNIDAD	UNIDAD
FÁBRICAS Y TALLERES	21	POR PERSONA
OFICINAS	2	POR PERSONA
RESTAURANTES	8	POR PERSONA

Con esta tabla se obtienen los caudales de ACS consumidos en cada parcela. Sabiendo esto, y que el calor específico del agua es $C_e = 0,00116$ kWh/kg°C, se puede estimar también la temperatura de acumulación del agua en 60°C.

La energía diaria consumida para elevar la temperatura hasta la de preparación sería:

$$E = V \times C_e \times \Delta T$$

Donde V son los litros consumidos a una temperatura de referencia de 60°C, $C_e = 0,00116$ kWh/kg°C, y ΔT es (60°C – 10°C) = 50°C.



Después de calcular la energía diaria, se han extrapolado los datos para hallar la demanda mensual y la anual en función de los horarios de oficina y taller, y de los meses donde cada empresa paraliza su actividad a lo largo del año. Los datos de demanda energética de ACS para las empresas agrupadas según actividad económica se pueden consultar en la siguiente tabla:



Fig. 22. Demanda anual de ACS de las empresas de la muestra por grupos de actividad

La diferencia entre los consumos energéticos para ACS radica en la disparidad del número de empleados con que cuenta cada respectiva empresa.

Una vez obtenida esta demanda se la ha restado, si procedía del mismo equipo generador, al consumo total de este equipo.

en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)

Si la demanda de ACS se cubre con una caldera, y la demanda de climatización se logra con bombas de calor cuyo consumo es eléctrico, se ha acotado la demanda de calefacción sirviéndose del CTE-HEI, y estimado un consumo de 140 W/m². Una vez que se la ha calculado, se ha comparado con los consumos que se producen, obteniéndose los resultados esperados. Tales resultados son los que se reflejan en el siguiente gráfico:



Fig. 23. Demanda anual de calefacción de las empresas de la muestra por grupos de actividad

Aun así, cabe prever que la situación actual del polígono varíe en un futuro a medio plazo. Actualmente se encuentra en una etapa de cierto estancamiento en cuanto a su nivel de ocupación, enmarcada en un contexto económico general que ha sido de recesión en los últimos 6 años, en el que a pesar de los actuales signos de recuperación no



puede esperarse que se opere una tendencia radicalmente opuesta a corto plazo. Sin embargo, pese a ello, cabe recordar que se trata de un polígono industrial con una importante potencialidad de expansión, por lo que la instalación energética a proyectar no debe nacer limitada a la hora de proporcionar la energía necesaria para satisfacer a nuevos clientes en ese futuro.

Por este motivo, la instalación se proyectará con un cierto sobredimensionamiento respecto a las necesidades actuales, pudiendo así cubrir con ello una demanda del 35% superior al consumo actual de las empresas.

A continuación se hace necesario matizar dos condicionantes importantes previos al diseño de la planta energética:

- ▶ La única empresa de transporte y almacenaje que existe en el polígono concentra la mayor demanda energética de todo el conjunto, debido a las dimensiones de su superficie a calefactar y refrigerar, y al número de usuarios de sus instalaciones.
- ▶ Esta empresa utiliza en la parte de intercambio de calor que se realiza con el climatizador, calderas de calefacción para aporte de calor, y enfriadoras de agua para el frío, en función de las necesidades. El consumo de esta máquina térmica es puramente eléctrico, y la generación de calor que hoy en día aportan sus calderas debería sustituirse por el aporte de calor que se llevaría a cabo desde la subestación de intercambio



en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)

perteneciente a las instalaciones del DH. Su consumo de agua caliente sólo corresponde a calefacción.

Estos dos detalles conllevan que se haya optado por definir la demanda de energía sólo para calefacción, obviando la correspondiente a refrigeración.

Llegado este punto, se hace necesario relatar a grandes rasgos en qué consiste el funcionamiento de un sistema de climatización industrial, también conocido con el nombre de *Unidad de Tratamiento de Aire (UTA)*.



Foto 20. Unidad de Tratamiento de Aire (UTA)

Un climatizador industrial consiste en un dispositivo de acondicionamiento del aire que se encarga de mantener el caudal de éste a unas condiciones de temperatura y humedad predeterminadas.



También se encarga de realizar tareas de filtrado del mismo, con el objetivo de alcanzar una zona de confort térmico.

Los climatizadores industriales por sí mismos no producen ni calor ni frío. Son fuentes externas (una caldera o una máquina frigorífica) las que aportan dicha energía a través de tuberías de agua o gases refrigerantes.

Estos dispositivos con capaces de velar por los tres parámetros de la calidad del aire: humedad relativa, temperatura y partículas en suspensión.

El objetivo de estos sistemas es suministrar unidades de caudal de aire según las necesidades y que éste sea distribuido por conductos a lo largo de toda la instalación.

Además de la unidad de tratamiento de aire ya descrita, el climatizador dispone de otros elementos para su correcto funcionamiento:

- ▶ **Batería de filtros:** son los encargados de eliminar las partículas en suspensión que se encuentren en el aire, para que de esta forma posea mayor calidad cuando sea inyectado.
- ▶ **Batería de frío y calor:** conjunto de serpentines a través de los cuales circula un fluido o gas a la temperatura apropiada. Están conectados a máquinas generadoras de calor o enfriadoras de agua, las cuales calientan o enfrían el elemento que circula por el serpentín.

en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)

- **Ventilador:** es el elemento mecánico que genera el caudal necesario para que el aire acondicionado circule por toda la instalación.

Dependiendo de las dimensiones de la instalación se emplean dos tipos de ventiladores: *axiales* (generan un mayor caudal de aire) y *centrífugos* (poseen una mayor presión estática).

Para aportar frío a un sistema se puede hacer de dos formas diferentes, mediante *máquinas de compresión* (máquinas frigoríficas) o con *máquinas de absorción*.

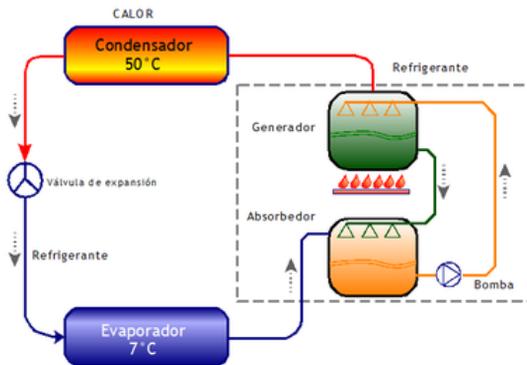


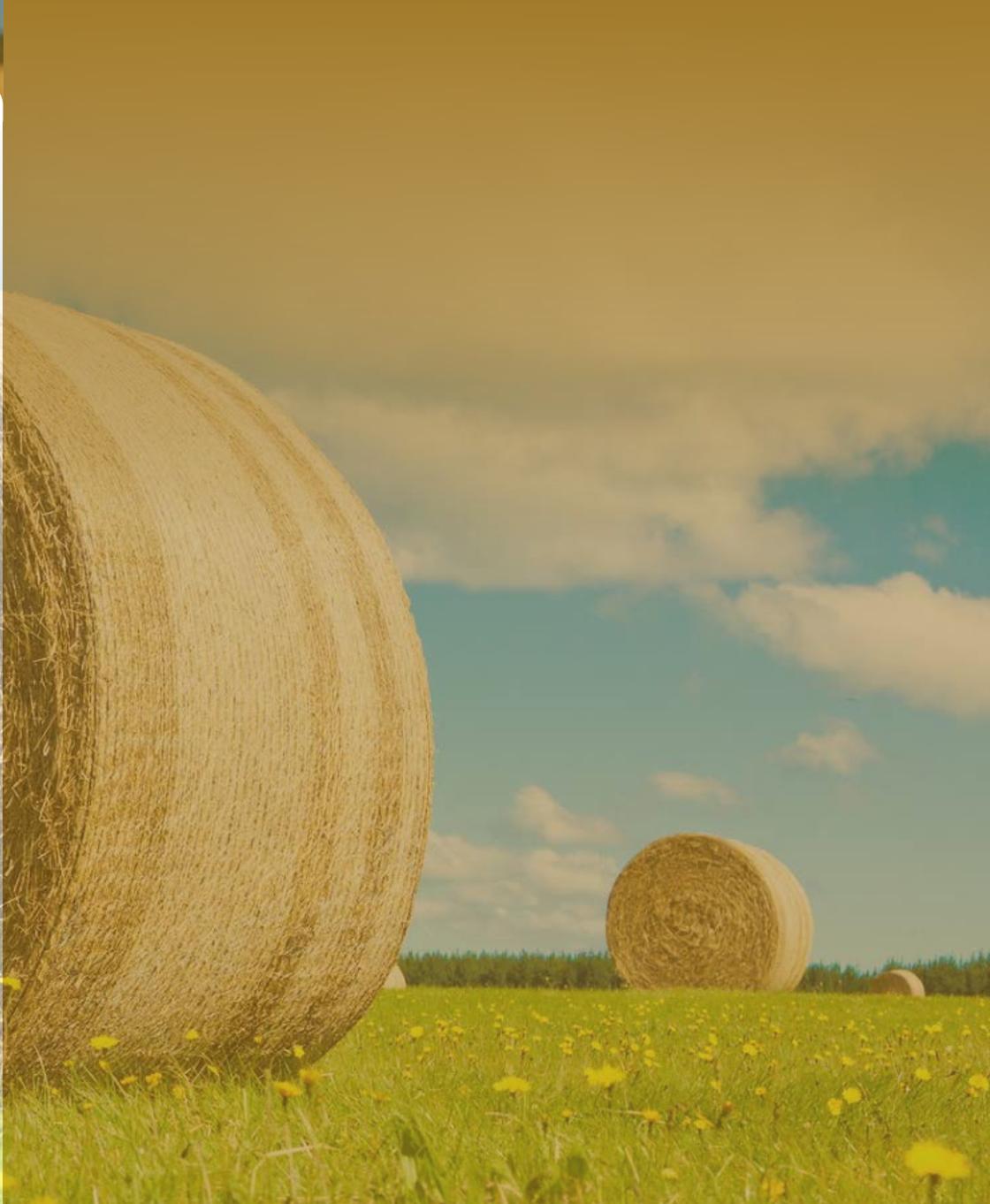
Fig 24. Esquema de funcionamiento de una máquina de absorción



Puesto que el objeto de este Estudio es el diseño de una planta de generación de calor central para mejorar el rendimiento de las instalaciones individuales, se han de obviar todas aquellas medidas que supongan cambios significativos en las instalaciones individuales de los consumidores.

Dado que la refrigeración de que disponen actualmente estos consumidores se lleva a cabo mediante ciclos de compresión donde el consumo es eléctrico, se ha determinado que el aporte de calor que producirá el sistema a proyectar deberá cubrir en exclusiva la demanda de calefacción y ACS de éstos, pero no así la demanda de refrigeración, que aunque es puntual, se cubre con el consumo eléctrico. No se tendrán en cuenta por tanto las necesidades de calor para generar frío, debido a que a nivel individual se carece de instalaciones para aprovecharlo, y que por tanto en tal caso habrían de ser financiadas por los propietarios de las naves.





Capítulo 12



Estudio de eficiencia y rentabilidad



12. ESTUDIO DE EFICIENCIA Y RENTABILIDAD

En esta parte del Estudio se abordarán aquellos aspectos que permitirán decidirse por una de las opciones propuestas, basadas en las descripciones recogidas en la primera parte del documento. Se definirán las opciones en base a los datos recogidos y con el apoyo de documentos reconocidos.

En primer lugar se procederá al cálculo de las partes de la instalación que serían comunes a las tres alternativas, es decir, la red de distribución y sistema de impulsión y retorno a los tanques de inercia.

12.1. ELEMENTOS COMUNES DE LA INSTALACIÓN

Estos elementos conforman el circuito secundario de la planta, y según lo ya mencionado más arriba, se trata de partes integrantes comunes a las tres opciones que se barajan.



12.1.1 CÁLCULO DE ELEMENTOS COMUNES DE LA INSTALACIÓN

12.1.1.1 RED DE TUBERÍAS

La instalación dispondrá de un colector de ida y otro de retorno de tres circuitos de calefacción que denominaremos C_1 , C_2 y C_3 , y de otro colector de ida y otro de retorno de tres circuitos para el agua caliente sanitaria que denominaremos A_1 , A_2 y A_3 .

En la siguiente tabla se puede observar a qué parcelas afecta cada circuito. En cada una de éstas la subestación de intercambio irá alojada debidamente en una sala de calderas.



en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)

CI y AI	1
C2Y A2	2
C2Y A2	3
C2Y A2	4
C2Y A2	5
C2Y A2	6
C2Y A2	7
C2Y A2	8
C2Y A2	9
C2Y A2	10
C2Y A2	11
C2Y A2	12
C2Y A2	13
C2Y A2	14
C2Y A2	15
C2Y A2	16
C2Y A2	17
C2Y A2	18
C2Y A2	19
C2Y A2	20
C2Y A2	21

C2Y A2	22
C2Y A2	23
C2Y A2	24
C2Y A2	25
C2Y A2	26
C2Y A2	27
C2Y A2	28
C2Y A2	29
C2Y A2	30
C2Y A2	31
C2Y A2	32
C2Y A2	33
C2Y A2	34
C2Y A2	35
C2Y A2	36
C2Y A2	37
C2Y A2	38
C2Y A2	39
C2Y A2	54
C2Y A2	55
C2Y A2	56



Estudio sobre *abastecimiento centralizado de calor y electricidad*

C2Y A2	57
C2Y A2	58
C2Y A2	59
C2Y A2	60
C2Y A2	61
C2Y A2	62
C2Y A2	63
C2Y A2	64
C2Y A2	65
C2Y A2	66
C2Y A2	67
C3Y A3	106.A
C3Y A3	106.B
C3Y A3	106.C
C3Y A3	106.2
C3Y A3	40
C3Y A3	41
C3Y A3	42
C3Y A3	43
C3Y A3	44
C3Y A3	45

C3Y A3	46
C3Y A3	47
C3Y A3	48
C3Y A3	49
C3Y A3	50
C3Y A3	51
C3Y A3	52
C3Y A3	53
C3Y A3	68
C3Y A3	69
C3Y A3	70
C3Y A3	71
C3Y A3	72
C3Y A3	73
C3Y A3	74
C3Y A3	75
C3Y A3	76
C3Y A3	77
C3Y A3	78
C3Y A3	79
C3Y A3	80



en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)

C3YA3	81
C3YA3	82
C3YA3	83
C3YA3	84
C3YA3	85
C3YA3	86
C3YA3	87
C3YA3	88
C3YA3	89
C3YA3	90
C3YA3	91
C3YA3	93
C3YA3	94
C3YA3	95
C3YA3	96
C3YA3	97
C3YA3	98
C3YA3	99
C3YA3	100
C3YA3	101
C3YA3	102

C3YA3	103
C3YA3	104
C3YA3	116
C3YA3	117
C3YA3	118
C3YA3	119
C3YA3	120
C3YA3	121
C3YA3	122
C3YA3	123
C3YA3	124
C3YA3	125
C3YA3	126
C3YA3	127
C3YA3	128
C3YA3	129
C3YA3	130
C3YA3	131
C3YA3	132
C3YA3	133
C3YA3	134



Estudio sobre *abastecimiento centralizado de calor y electricidad*

C3YA3	135
C3YA3	136
C3YA3	154
C3YA3	155
C3YA3	156
C3YA3	157
C3YA3	158
C3YA3	159
C3YA3	160
C3YA3	161
C3YA3	162
C3YA3	187
C3YA3	188
C3YA3	189
C3YA3	190
C3YA3	191
C3YA3	192
C3YA3	193
C3YA3	194
C3YA3	195
C3YA3	196
C3YA3	197

C3YA3	198
C3YA3	199
C3YA3	200
C3YA3	201



en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)

Conductividad térmica del suelo	1,00 W/m.K
Factor de resistencia térmica de la superficie de la tierra a temp. ambiente	0,0685 m ² .K/W
La temperatura del suelo	10° C
Recubrimiento del suelo	0,8 m

Las potencias de diseño de cada circuito son las siguientes:

- C1: 3000 kW
- C2: 1297 kW
- C3: 2327 kW
- A1: 316 kW
- A2: 443 kW
- A3: 1012 kW

El material escogido para la red de tuberías corresponde a la marca THERMAFLEX, concretamente el sistema de tuberías sencillas sin barrera de oxígeno, FLEXALEN 600, que posee las siguientes características:



Estudio sobre *abastecimiento centralizado de calor y electricidad*

■ **Flexible, sistema de tubería pre-aislada con una tubería caloportadora para aplicaciones sanitarias**



- Conexión homogénea entre el aislamiento y la carcasa de la tubería
- Alta flexibilidad
- Tuberías sencillas D.Ext.16 – D.Ext.125
- Tuberías para aplicaciones sanitarias y calefacción
- Rango de temperaturas desde -15° C hasta +95° C
- Sistema totalmente soldable
- Satisface los requisitos para la construcción sostenible

Código del producto	DN	Pulgadas	Carcasa protección D.Ext. [mm]	Tubería caloportadora**		Espesor de pared [mm]	Nº. de tuberías caloportadoras	Radio mínimo de curvatura [m]	Máx. longitud* [m]	Peso [kg/m]
				D.Ext. [mm]	D.Int. [mm]					
VS-RS40A16	12	1/2	40	16	11,6	2,2	1	0,16	500	0,25
VS-RS40A20	15	1/2	40	20	14,4	2,8	1	0,20	500	0,28
VS-RS50A25	20	3/4	50	25	20,4	2,3	1	0,30	500	0,37
VS-RS90A25	20	3/4	90	25	20,4	2,3	1	0,40	500	0,75
VS-RS63A32	25	1	63	32	26,2	2,9	1	0,40	500	0,58
VS-RS125A32	25	1	125	32	26,2	2,9	1	0,40	300	1,85
VS-RS75A40	32	1 1/4	75	40	32,6	3,7	1	0,50	500	0,86
VS-RS125A40	32	1 1/4	125	40	32,6	3,7	1	0,50	300	1,98
VS-RS90A50	40	1 1/2	90	50	40,8	4,6	1	0,60	500	1,21
VS-RS160A50	40	1 1/2	160	50	40,8	4,6	1	0,70	150	2,40
VS-RS125A63	50	2	125	63	51,4	5,8	1	0,80	300	2,43
VS-RS160A63	50	2	160	63	51,4	5,8	1	0,80	150	2,75
VS-RS125A75	65	2 1/2	125	75	61,4	6,8	1	0,80	300	2,89
VS-RS160A75	65	2 1/2	160	75	61,4	6,8	1	0,80	150	2,97
VS-RS160A90	80	3	160	90	73,6	8,2	1	1,00	150	3,64
VS-R200A110	100	4	200	110	90,0	10,0	1	1,25	110	5,40
VS-R200A125	100	4	200	125	102,2	11,4	1	1,50	80	6,38

*) Cualquier longitud solicitada (dentro de la longitud máxima de entrega) puede ser entregada, redondeada al metro más próximo.

**) Las dimensiones de las tuberías de PB se refieren a una presión de 8 bar y +95° C.

Temperatura / Resistencia a la presión

Dimensión D.Ext. 16 – 110 mm

temperatura	-15° C	0° C	20° C	40° C	60° C	70° C	80° C	90° C	95° C
presión (bar)	16 bar	16 bar	16 bar	15 bar	12 bar	10 bar	9 bar	8 bar	8 bar



en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)

Pérdidas de calor de tubería sencilla

Código del producto	Temperatura de servicio [°C]						
	20	30	40	50	60	70	80
VS-RS40A16	1,794	3,644	5,548	7,507	9,519	11,585	13,704
VS-RS40A20	2,354	4,776	7,264	9,819	12,439	15,123	17,870
VS-RS50A25	2,344	4,758	7,241	9,793	12,413	15,100	17,853
VS-RS90A25	1,390	2,824	4,302	5,822	7,385	8,990	10,638
VS-RS63A32	2,426	4,923	7,492	10,131	12,841	15,619	18,466
VS-RS125A32	1,411	2,863	4,357	5,892	7,469	9,086	10,743
VS-RS75A40	2,614	5,304	8,070	10,910	13,824	16,811	19,870
VS-RS125A40	1,678	3,405	5,181	7,005	8,877	10,796	12,763
VS-RS90A50	2,965	6,014	9,145	12,358	15,651	19,024	22,476
VS-RS160A50	1,730	3,506	5,327	7,193	9,105	11,060	13,060
VS-RS125A63	2,754	5,583	8,488	11,468	14,521	17,647	20,846
VS-RS160A63	2,109	4,273	6,491	8,764	11,090	13,470	15,904
VS-RS125A75	3,673	7,443	11,307	15,265	19,315	23,458	27,690
VS-RS160A75	2,521	5,106	7,756	10,470	13,248	16,089	18,992
VS-RS160A90	3,204	6,489	9,855	13,299	16,823	20,425	24,104
VS-R200A110	3,386	6,850	10,393	14,012	17,708	21,479	25,326
VS-R200A125	4,114	8,323	12,624	17,018	21,503	26,078	30,743
Pérdidas de calor [W/m]							

Conductividad térmica del suelo	1,00 W/m.K
Factor de resistencia térmica de la superficie de la tierra a temp. ambiente	0,0685 m ² .K/W
La temperatura del suelo	10° C
Recubrimiento del suelo	0,8 m

Los valores de pérdida de calor mencionados han sido medidos, calculados y probados por reconocidos institutos de pruebas según EN 15632. Durante el tiempo de vida esperado estos valores se incrementarán en un 7 - 10%.



Estudio sobre *abastecimiento centralizado de calor y electricidad*

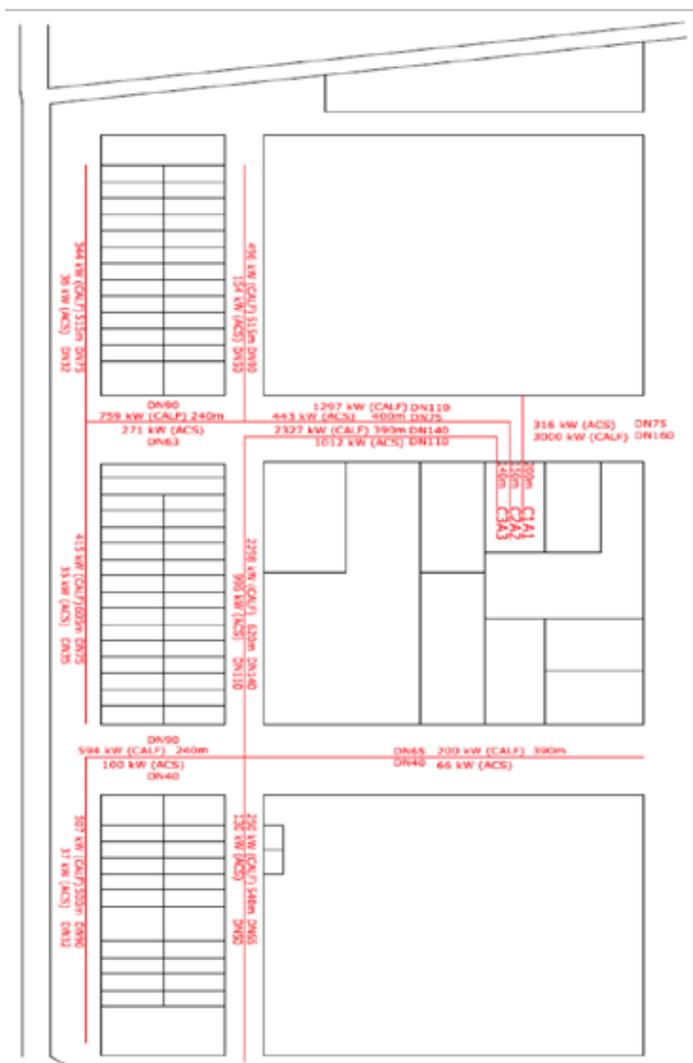
En la siguiente tabla se recogen las características de la instalación:

CIRCUITO	LONG. (m)	POT. (kW)	CAUDAL (m ³ /h)	Ø INT (mm)	VEL. (m/s)	ΔP (mbar/m)	P(mca)
C1	400	3000	128,98	90	3,50	22,41	73,13
A1	400	336	14,45	40,8	3,06	20,3	66,24
C2	1305	1297	55,76	73,6	3,53	12,81	136,38
A2	1305	443	19,05	61,4	1,69	4,3	45,78
C3	1890	2327	100,04	102,2	3,66	9,23	142,31
A3	1890	1012	43,51	73,6	2,82	8,57	132,14

Con los datos de la tabla superior resulta posible trazar el siguiente plano con los diámetros normalizados según la ISO/TR 10501:



en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)

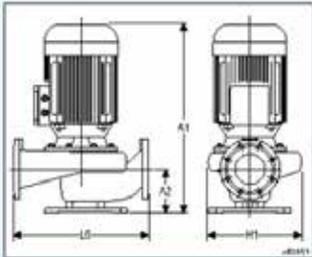


12.1.1.2 BOMBAS DE IMPULSIÓN

Para el cálculo de las bombas de impulsión de la planta térmica resulta necesario apoyarse en los programas de cálculo de SEDICAL, y en los datos del caudal y pérdida de carga de los circuitos calculados en el subapartado anterior.

Bomba de impulsión de CI

Dibujo



Características de la bomba

En todos los sistemas de calefacción, climatización, agua caliente sanitaria, agua, agua de condensados, agua glicolada hasta el 50%, otros medios sin aceites minerales o abrasivos.

Presión de trabajo : 10 bar.
Temperaturas : Máx +120°C / Min -15°C
: Máx ACS + 30°C
Motor : Protección IP 55
: Clase de aislamiento F
Consumo : 3x400 V : 195.0 A
: 3x690 V : 112.0 A

Datos instalación

Módulo : SIM 300/480-110.0/K
Revoluciones : 1450
Rodete : 480
Alimentación : Trifásica
Variador incorporable al cuadro : VSE550-01-195A-4

Caudal deseado : 129.0 m³/h
P. carga deseada : 76.0 mca

Caudal obtenido : 126.4 m³/h
P. carga Obtenido: 72.3 mca

Materiales y dimensiones

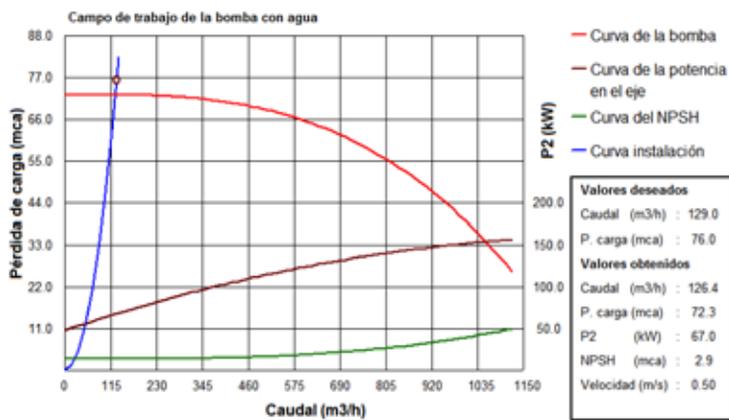
Cuerpo de la bomba : GG 20
Eje : AISI 329
Cierre mecánico : Carbón / Carb. silicio
Juntas : EPDM
Impulsor : GG 20
Conexiones : Bridas: ISO 7005
: DN 1: 300 mm DN 2: 300 mm

L0 mm H1 mm A1 mm A2 mm PESO kg
1100.0 715.0 1685.0 300.0 1250.0



en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)

Las curvas características de trabajo de esta bomba son las siguientes:



Bomba de impulsión A I

Dibujo

Características de la bomba

En todos los sistemas de calefacción, climatización, agua caliente sanitaria, agua, agua de condensado, agua glicolada hasta el 50%, otros medios sin aceites minerales o abrasivos.

Presión de trabajo : 10 bar.
 Temperaturas : Máx : +120°C / Min -15°C
 Motor : Protección IP 55
 Clase de aislamiento F
 Consumo : 2x100 V : 22.0 A
 : 2x220 V : 33.0 A

Datos instalación

Modelo : SIF 30/285.1-11.0/R
 Revoluciones : 2900
 Rodete : 228
 Alimentación : Trifásica
 Variador incorporable al cuadro : VSE650-01-023A-4

Caudal deseado : 14.4 m3/h
 P. carga deseada : 66.2 mca

Caudal obtenido : 14.4 m3/h
 P. carga obtenida : 66.2 mca

Materiales y dimensiones

Cuerpo de la bomba : GG 10
 Eje : AISI 328
 Cierre mecánico : Carbón / Corp. silicio
 Ombas : EPDM
 Regulador : GG 20

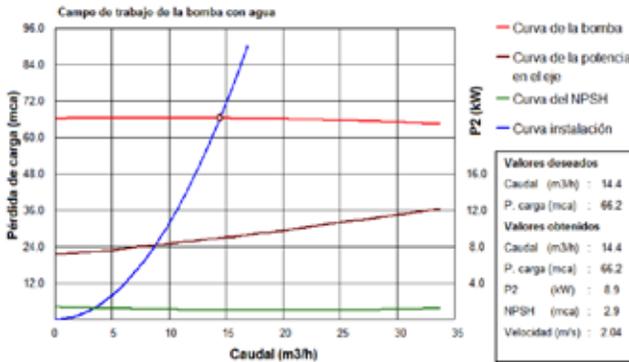
Conexiones : Bridas: ISO 7003
 : DN 1: 50 mm DN 2: 50 mm

Lo mm TI mm Al mm AZ mm PESO kg
 450.0 370.0 745.3 125.0 194.5



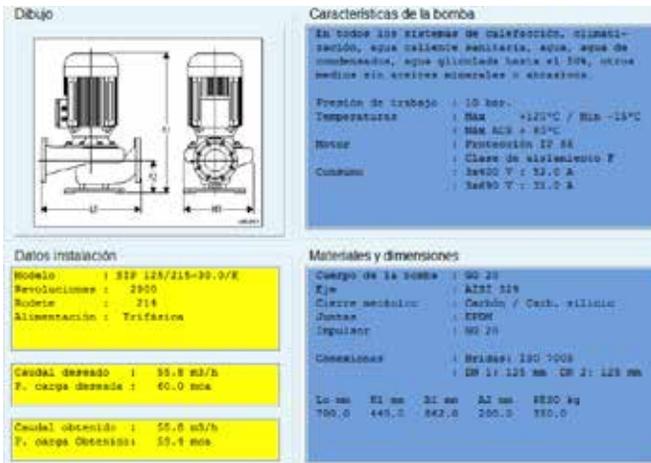
Estudio sobre *abastecimiento centralizado de calor y electricidad*

Las curvas características de trabajo de esta bomba son las siguientes:



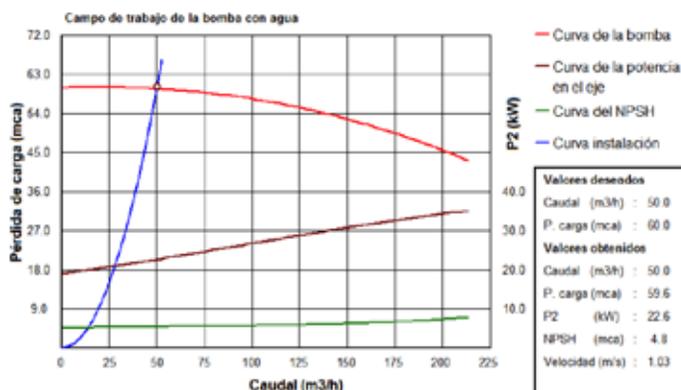
Bomba de impulsión C2

El grupo de impulsión del circuito de calefacción 2 estará formado por dos bombas iguales en serie, debido que la pérdida de carga es muy alta.

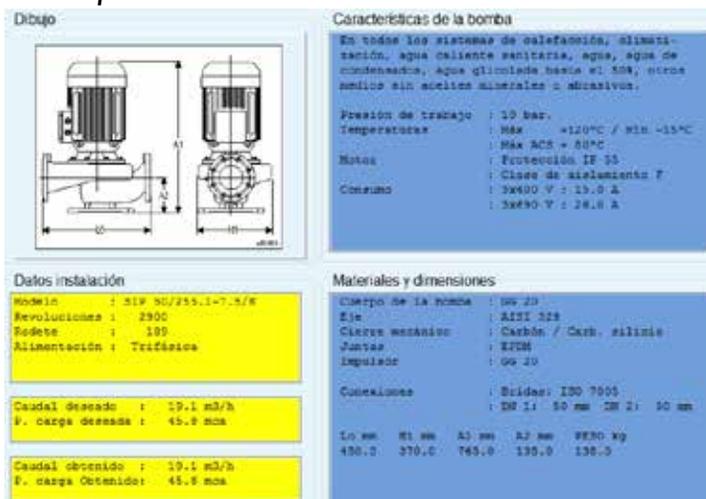


en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)

Las curvas características de estas bombas son:

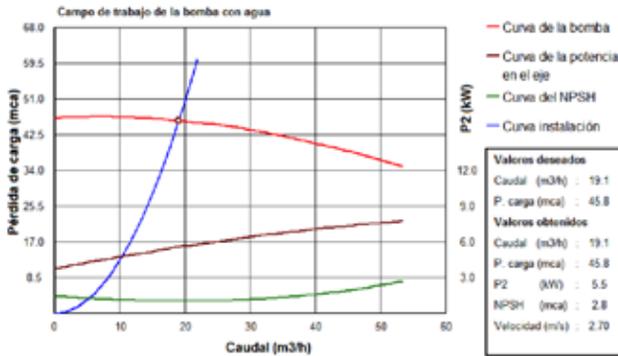


Bomba de impulsión A2



Estudio sobre *abastecimiento centralizado de calor y electricidad*

La curva característica de esta bomba es:



Bomba de impulsión C3

El grupo de impulsión del circuito de calefacción 3 estará formado por dos bombas iguales en serie debido que la pérdida de carga es muy alta.

Dibujos

Características de la bomba

En todos los sistemas de calefacción, climatización, agua caliente sanitaria, agua, agua de condensados, agua geotérmica hasta el 50%, otros medios sin ácidos minerales o abrasivos.

Presión de trabajo : 12 bar.

Temperaturas :
 : Máx +110°C / Mín -15°C
 : Mín ACE + 40°C

Motor :
 : Protección IP 55
 : Clase de aislamiento F

Consumo :
 : 3x200 V : 67.0 A
 : 3x390 V : 39.0 A

Datos instalación

Modelo : SIP 128/218-37.0/P
 Revoluciones : 2900
 Rodete : 218
 Alimentación : Trifásica

Caudal deseado : 100.0 m³/h
 P. carga deseada : 40.0 mca

Caudal obtenido : 99.0 m³/h
 P. carga obtenida : 51.4 mca

Materiales y dimensiones

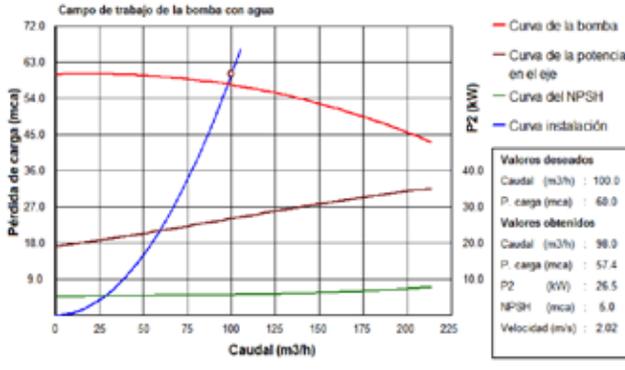
Cuerpo de la bomba : 90 30
 Eje : AISI 316
 Cierre mecánico : Carbón / Carb. silíceo
 Junta : EPDM
 Impulsor : SU 20

Conexiones :
 : Bridas: ISO 7003
 : DN 1: 125 mm - DN 2: 125 mm

Lo mm H1 mm A1 mm A2 mm P820 mm
 700.0 447.0 362.0 200.0 270.2

en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)

La curva característica de estas bombas es la siguiente:



Bomba de impulsión A3

El grupo de impulsión del circuito de ACS 3 estará formado por dos bombas iguales en serie debido que la pérdida de carga es muy alta.

Dibujos

Características de la bomba

En todos los sistemas de calefacción, climatización, agua caliente sanitaria, agua, agua de condensados, agua diluente hasta el 50%, otros medios sin aceites minerales o abrasivos.

Presión de trabajo : 10 bar.

Temperatura :
 + Máx +120°C / MÍN -15°C
 + Máx ACS + 50°C

Motor :
 + Protección IP 55

Construcción :
 + Clase de aislamiento F
 + 3x400 V + 30.0 A
 + 3x400 V + 53.0 A

Datos instalación

Modelo : SIP 50/265.1-16.0/R
 Revoluciones : 2900
 Rodete : 224
 Alimentación : Trifásica

Caudal deseado : 45.5 m³/h
 P. carga deseada : 60.0 mca

Caudal obtenido : 45.5 m³/h
 P. carga Obtenida: 60.0 mca

Materiales y dimensiones

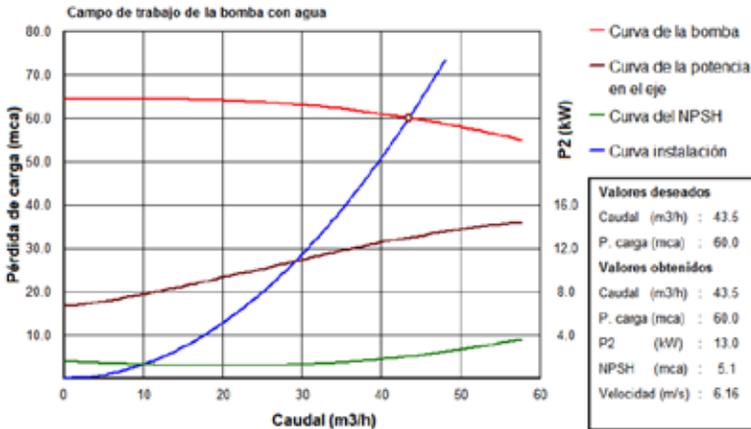
Cuerpo de la bomba : GG 2H
 Eje : AISI 316
 Cierre mecánico : Carbón / Oetb, silicona
 Juntas : EPDM
 Impulsor : GG 2H

Conexiones :
 + Bridas: ISO 7062
 + DN 1 : 50 mm DN 2 : 30 mm

Lo mm H1 mm A1 mm A2 mm PESO kg
 450.0 370.0 760.0 135.0 139.0



La curva característica de estas bombas es la siguiente:



12.1.1.3 COLECTORES

Los colectores se fabricarán en acero e irán correctamente calorifugados para minimizar las pérdidas de energía. Sus dimensiones dependen de las de las tuberías de impulsión y de las de retorno.

Su diseño es por tanto función del espacio que ocupan los componentes de la instalación que van asociados a ellos, conservando un margen de separación de 20 cm a modo de tolerancia.

El colector de ida y de retorno tendrá el mismo diámetro y será diseñado en función del mayor diámetro de tubo que incide en ellos.

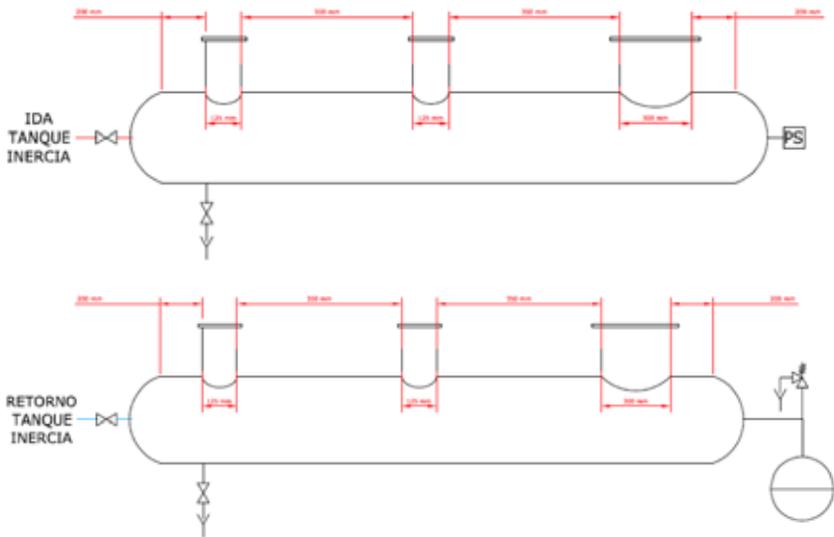
en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)

Los colectores de ida llevarán un presostato asociado y una válvula para el vaciado. Los colectores de retorno llevarán una válvula de seguridad de 8 bares y un depósito de expansión para poder absorber las dilataciones térmicas del circuito, así como una válvula para mejorar el vaciado de la instalación y una válvula para el llenado de la instalación.

Con esos requisitos de diseño las medidas de los colectores de calefacción serían las siguientes:

Colectores de calefacción

Los denominaremos IC y RC (ida de calefacción y retorno de calefacción).

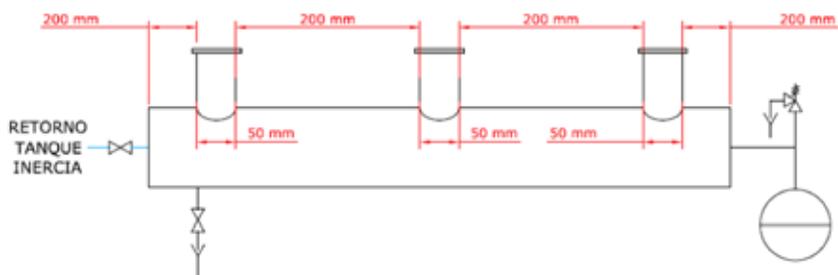
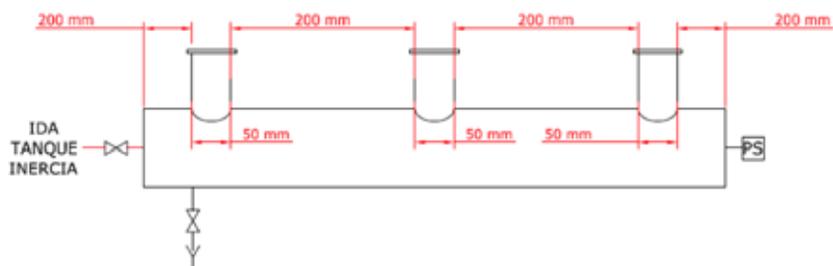


Estudio sobre *abastecimiento centralizado de calor y electricidad*

El cuerpo principal será un cilindro de 500 mm de diámetro exterior y 3,5 mm de espesor, en el cual se realizarán picajes a las distancias anotadas para embeber los tubos de conexión de los circuitos C1, C2 y C3.

Colectores de ACS

Fabricados con las mismas premisas que los de calefacción. Los denominaremos IA y RA.



en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)

12.1.2 PRESUPUESTO DE ELEMENTOS COMUNES DE LA INSTALACIÓN

12.1.2.1 RED DE TUBERÍAS

De acuerdo con la descripción detallada llevada a cabo en las páginas anteriores, la instalación se compondría de las siguientes tiradas de material:

ACS

REFERENCIA	DESCRIPCIÓN	UND (m)
VS-RS125A2/32	Tubería preaislada DN 2x25	1620
VS-RS160A2/40	Tubería preaislada DN 2x32	630
VS-RS160A2/50	Tubería preaislada DN 2x40	1055
VS-RS200A2/63	Tubería preaislada DN 2x50	240
VS-RS160A75	Tubería preaislada DN 65	1500
VS-R200A110	Tubería preaislada DN 100	2300



CALEFACCIÓN

REFERENCIA	DESCRIPCIÓN	UND (m)
VS-RS200A2/63	Tubería preaislada DN 2x50	930
VS-RS160A75	Tubería preaislada DN 65	2240
VS-RH160A90	Tubería preaislada DN 80	2990
VS-R200A110	Tubería preaislada DN 100	1100
FV-R225A140/12	Tubería de PB en barra DN 130/12	192
FV-R250A160/12	Tubería de PB en barra DN 150/12	34

De acuerdo con el detalle anterior, el presupuesto para el montaje y material de la red de tuberías ascendería a:

1.180.032 € (IVA INCLUIDO)

en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)

12.1.2.2 BOMBAS DE IMPULSIÓN Y COLECTORES

En el siguiente cuadro se muestran los precios de las unidades de bombeo necesarias para repartir calor por los distintos circuitos:

UNIDADES	CIRCUITO	P. UNITARIO (€)	P.TOTAL (€)
2	C1	13.100	26.200
2	A1	7.500	15.000
4	C2	8.000	32.000
2	A2	12.000	24.000
4	C3	12.900	51.600
4	A3	6.000	24.000

El precio total de los equipos de bombeo asciende a 172.800 €, y a 209.088 € con el incremento del IVA, incluyendo la instalación, sondas, termómetros y manómetros.

Los costes de fabricación y montaje de los colectores suman 7.400 € + IVA (8.954 €).

En total, el presupuesto para el sistema de impulsión y retorno a los tanques de inercia ascendería a:

218.042 € (IVA INCLUIDO)



12.2. PLANTA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA

En las diferentes propuestas analizadas en la primera parte del Estudio se recogían ya las distintas formas de explotar un *district heating*.

La variación de potencias y rendimientos que se pueden lograr dependiendo de la propuesta tratada supondrá distintos presupuestos y diversos rendimientos globales, a partir de los cuales se podrá efectuar una comparativa y concluir cuál es la más rentable de las propuestas.

12.2.1 GENERACIÓN DE CALOR POR BIOMASA

Para definir la planta de generación de calor con calderas de biomasa han de plantearse una serie de aspectos que no son comunes en la planta.

Si la planta de generación depende en exclusiva de la biomasa es necesario que el silo de almacenamiento de biocombustible tenga la capacidad necesaria para asegurar su abastecimiento en la cantidad demandada. Debido a ello resulta necesario tener en cuenta el diseño del silo de almacenamiento para la biomasa.



en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)

Para diseñar el silo debe considerarse la energía diaria que consumiría el sistema, el rendimiento de los generadores instalados, la densidad de la biomasa y el poder calorífico de ésta.

12.2.1.1 CÁLCULOS DE LA PLANTA DE BIOMASA

En las instalaciones alimentadas con biomasa es especialmente importante que la instalación disponga de un depósito de inercia. Un depósito de inercia evita frecuentes ciclos de arranque-paro, que provocan una disminución del rendimiento estacional de los generadores.

Los generadores aumentarán su rendimiento estacional si en los momentos en que no hay demanda se dedican a calentar el depósito de inercia, que proveerá a la instalación de una energía suplementaria, suficiente para atender pequeñas demandas puntuales.

El depósito de inercia servirá para equilibrar las bombas de primario y las bombas de los circuitos de consumo o circuitos secundarios, así como de separador hidráulico.

Para dimensionar el depósito de inercia se debe estimar un valor entre 15 y 30 litros por kW de potencia térmica nominal del generador. Ello garantizará un ciclo de funcionamiento de una duración mínima. En la *Guía Técnica de la Biomasa*, documento reconocido para la aplicación del RITE, se recomienda un volumen de entre 20 y 30 litros por kW.



Llegado este punto se hace necesario definir una serie de parámetros para la instalación.

La temperatura de utilización del agua caliente de calefacción no supera actualmente los 85°C en ninguna de las parcelas del polígono. Por ese motivo se ha decidido que en el sistema de calefacción a proyectar el agua impulsada se encuentre a 85°C.

La temperatura de retorno del agua enfriada en la instalación para su aprovechamiento será de 65°C. Esta agua recirculará hasta los subsistemas de acumulación de inercia térmica.

La potencia útil necesaria para alimentar el **sistema de calefacción** será de 6 MW, por lo que el volumen de inercia debería ser:

$$V = P_u \times 15 \frac{l}{kW} = 6000 kW \times 15 l = 90.000 \text{ litros}$$

Resulta necesario calcular también la energía acumulada gracias a este depósito de inercia. Esta energía depende del volumen del acumulador y de la temperatura que alcance. Teniendo en cuenta que la temperatura mínima de funcionamiento de un sistema de calefacción es de 20 o 30°C, y que en el caso de este sistema la temperatura del circuito primario es de 85°C, se tendría un salto térmico de 55-65°C. La energía acumulada en el caso del agua (peso específico = 1 kg/l) sería:

$$E = V \times \Delta T \times C_e$$



en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)

Donde la energía se mide en las unidades del calor específico, el volumen en litros, el salto térmico en °C, y el calor específico del agua son 0,00116 kWh/°C kg. Por tanto, la energía acumulada en los depósitos de inercia sería:

$$E = 90.000 \times 65 \times 0,00116 = 6.786 \text{ kWh}$$

La instalación tendría por tanto 6.786 kWh de energía de inercia térmica para calefacción, con lo que la caldera tardaría en obtener dicha energía el siguiente tiempo:

$$Q = \frac{P_u}{(\Delta T \times C_e)} = \frac{6000}{65 \times 0,00116} = 79575,6 \frac{l}{h}$$

$$t = \frac{90000}{79575,6} = 1,13 \text{ h}$$

En este sistema de calefacción se precisan 51.572,97 kWh/día de energía en forma de agua caliente a 85°C, lo que implicaría que su tiempo de funcionamiento diario habría de ser de:

$$51572,97 \text{ kWh} \times \frac{1,36 \text{ h}}{6786 \text{ kWh}} = 10,33 \text{ h}$$



La potencia útil entregada por la caldera es de 6 MW. Si el rendimiento de la caldera es del 85% significa que consume 7,06 MW cada hora de funcionamiento. El consumo de energía química de combustión será de:

$$E_Q = 7058,8 \text{ kW} \times 10,33 \text{ h} = 72917,4 \text{ kWhPCI/día}$$

El poder calorífico de la biomasa con la que se alimentarán los silos, si no supera el 50% de humedad, será de 5 kWhPCI/kg, por lo que el consumo de la caldera alcanzaría:

$$\frac{72917,4 \text{ kWhPCI/día}}{5 \text{ kWhPCI/kg}} = 14583,5 \text{ kg/día}$$

Si la densidad de esta biomasa ronda los 500 kg/m³ se necesitaría un silo de 900 m³ para tener una autonomía de 31 días a máxima potencia cuando las temperaturas exteriores rondan la temperatura de cálculo de -3,5°C.

Como ya se explicó en páginas anteriores, en el caso del **agua caliente para ACS** la temperatura de utilización no supera los 65°C en ninguna de las parcelas del polígono, motivo por el que se la impulsará a 65°C en este sistema.

La temperatura de retorno del agua enfriada a la instalación para su aprovechamiento será de 45°C. Esta agua recirculará a los subsistemas de acumulación de inercia térmica.





en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)

La potencia útil necesaria para alimentar el sistema sería de 1 MW, lo que implicaría que el correspondiente volumen de inercia debería ser:

$$V = P_u \times 15 \frac{l}{kW} = 1000 kW \times 15 l = 15000 \text{ litros}$$

Es necesario calcular también la energía acumulada gracias a este depósito de inercia. Esta energía depende del volumen del acumulador y de la temperatura que alcance. Dado que según lo ya comentado en el caso anterior, la temperatura mínima de funcionamiento de un sistema de calefacción es de 20 o 30°C, y que en el caso de este sistema la temperatura del circuito primario es de 65°C, el salto térmico necesario correspondería a 35-45°C.

La energía acumulada en el caso del agua (peso específico = 1 kg/l) se calcula a partir de la expresión:

$$E = V \times \Delta T \times C_e$$

Donde la energía se mide en las unidades del calor específico, el volumen en litros, el salto térmico en °C, y el calor específico del agua es 0,00116 kWh/°C kg.

Según todo lo anterior, la energía acumulada en los depósitos de inercia sería:

$$E = 15000 \times 45 \times 0,00116 = 783 \text{ kWh}$$



La instalación proyectada tendría, por tanto, 783 kWh de energía de inercia térmica para ACS, por lo que la caldera tardaría el siguiente tiempo en obtener dicha energía:

$$Q = \frac{P_u}{(\Delta T \times C_e)} = \frac{1000}{45 \times 0,00116} = 19157,1 \frac{l}{h}$$
$$t = \frac{15000}{19157,1} = 0,78 h$$

El sistema de ACS precisa 11.819,36 kWh/día de energía en forma de agua caliente a 65°C, lo que implicaría por tanto que debería funcionar durante:

$$11819,36 kWh \times \frac{0,78 h}{783 kWh} = 11,77 h$$

La potencia útil entregada por la caldera es de 1 MW. Si el rendimiento de la caldera es del 85%, significa que consume 1,18 MW cada hora de funcionamiento. El consumo de energía química de combustión será de:

$$E_Q = 1176,5 kW \times 11,77 h = 13847,4 kWh_{PCI}/día$$





en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)

El poder calorífico de la biomasa almacenable en los silos, si no supera el 50% de humedad, será de 5 kWh/kg, con lo que la caldera de calefacción consumiría diariamente la siguiente cantidad de biomasa:

$$\frac{13847,4 \text{ kWhPCI/día}}{5 \text{ kWhPCI/kg}} = 2769,5 \text{ kg/día}$$

Si la densidad de esta biomasa ronda los 500 kg/m³ se necesitaría un silo de 150 m³ para disponer de una autonomía de 27 días, correspondiente a una demanda alta de ACS.

El circuito primario consta de la tuberías de ida y retorno desde las calderas y los tanques de inercia, así como de las bombas de retorno a calderas y de las válvulas de tres vías termostatzables para impedir que la temperatura de retorno a las calderas sea demasiado baja.

Una vez que se han calculado los tanques de inercia, han quedado definidos los siguientes parámetros de la instalación:

- ▶ Temperatura de impulsión tanque de inercia de calefacción: 85°C
- ▶ Temperatura de retorno tanque de inercia de calefacción: 65°C
- ▶ Temperatura de impulsión tanque de inercia de ACS: 65°C
- ▶ Temperatura de retorno tanque de inercia de ACS: 45°C
- ▶ Potencia útil de caldera de calefacción: 6 MW



- ▶ Potencia útil de caldera de ACS: 1 MW
- ▶ Volumen del tanque de inercia de calefacción: 90 m³
- ▶ Volumen del tanque de inercia de ACS: 15 m³
- ▶ Temperatura de arranque de las calderas: 20°C
- ▶ Temperatura de parada de caldera de calefacción: 85°C
- ▶ Temperatura de parada de caldera de ACS: 65°C
- ▶ Válvulas mezcladoras de retorno a calderas: 50°C
- ▶ Consumo de biomasa debido a calefacción: 14,6 t/día
- ▶ Consumo de biomasa debido a ACS: 2,77 t/día
- ▶ Autonomía del silo de caldera de calefacción: 31 días
- ▶ Autonomía del silo de caldera de ACS: 27 días
- ▶ Volumen del silo de caldera de calefacción: 900 m³
- ▶ Volumen del silo de caldera de ACS: 150 m³

12.2.1.2 VIABILIDAD ECONÓMICA

En esta sección se valorarán los costes directos e indirectos de la planta, su inversión inicial y el flujo económico hasta llegar al retorno de la inversión.

en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)

Dentro de los costes directos se incluyen los costes de explotación (mantenimiento, repuestos, gasto energético). Como costes indirectos se consideran los derivados del transporte y tratamiento de la biomasa antes de almacenarla en el silo.

En un principio los costes de mantenimiento y repuestos de una caldera de biomasa son bastantes altos en comparación con una caldera normal. Pero la solución que ofrecen las calderas de BIOCHAMM hace que estos costes puedan ser notablemente reducidos.

El gasto energético deriva de la energía eléctrica que consumen los propios equipos de la planta.

Con todo ello, a continuación se estima el coste de explotación:

COSTES DIRECTOS (COSTES DE EXPLOTACIÓN)	
TIPO DE COSTE	€/AÑO (IVA incluido)
Mantenimiento y repuestos	78.000
Gasto energético	50.450
TOTAL	128.450

Del consumo anual de biomasa y de la siguiente tabla se pueden extraer los costes indirectos:



Estudio sobre *abastecimiento centralizado de calor y electricidad*

Recursos en t m.s./año Costes en €/t m.s. t m.s. (toneladas de materia seca)

Datos de partida: Villadangos Del Páramo (León) Coordenadas del punto inicial de recogida: Lat.: 42.535433 Long.: -5.752973

	Recursos potenciales (t m.s./año)	Recursos disponibles (t m.s./año)	Coste medio recolección (€/t m.s.)	Superficie de recursos disponibles (ha)
Secano	6.314,00	1.870,00	24,49	2.200,00
Regadío	9.481,25	7.585,00	9,20	1.025,00
Dehesas	162,75	42,65	23,87	406,25
Matorral	15,00	6,56	18,03	43,75

Costes de transporte

	Coste medio transporte (€/t m.s.)
Secano	4,23
Regadío	4,75
Dehesas	3,63
Matorral	4,66

El consumo anual de biomasa de la planta sería de 3.285 t/año para calefacción y de 1.011 t/año para ACS. El consumo total de materia seca alcanzaría las 4.296 t/año. Esta masa, como se puede comprobar, sería más que suficiente para suministrar la biomasa necesaria.

Apoyándose principalmente en la biomasa forestal, se puede examinar su situación global en Castilla y León, así como la provincial de León, extrayéndola del informe de la Junta de Castilla y León sobre crecimiento de madera y biomasa en Castilla y León:

en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)

Anexos

Tabla 26. Superficie disponible de cada clase de bosque (CB) y tipo de gestión (TG)

CB	TG	CyL	Av	Bu	Le	Pa	Sa	Sg	So	Va	Za
Pinus_PpPh	GA	289.527	12.836	65.731	69.940	31.996	4.297	8.627	74.233	4	21.864
	GP	58.020	3.585	21.145	8.380	4.852	454	2.054	12.306	2	5.243
Pinus_PpPr	GA	197.288	22.525	15.652	17.309	2.965	14.171	54.090	40.001	12.177	18.398
	GP	119.206	22.347	10.638	12.001	526	7.563	40.146	12.343	8.167	5.475
Pinus_PpPh	GA	49.158	6.244	368	12	5.049	26	4.418	332	32.095	679
	GP	61.767	5.926	3.781	101	6.707	838	3.426	1.866	32.830	6.291
Querc_MesoA	GA	66.113	1.412	7.779	28.370	10.377	4.913	3.932	3.276	0	6.053
	GP	206.778	9.324	6.739	32.044	3.206	120.233	5.711	4.175	0	25.346
Querc_MesoC	GA	200.829	3.654	35.228	74.139	34.263	16.486	9.271	16.292	0	11.297
	GP	153.828	14.784	17.017	43.408	6.430	32.854	5.042	11.545	0	22.750
Querc_EsdA	GA	35.451	382	10.880	2.884	5.194	2.282	1.384	4.301	1.662	6.485
	GP	448.129	54.030	31.347	13.501	8.873	222.610	15.032	37.617	8.421	56.697
Querc_EsdC	GA	66.783	462	25.926	5.816	10.602	1.443	3.198	12.511	2.216	4.608
	GP	294.351	30.464	61.072	19.112	6.662	66.182	12.992	56.323	14.579	26.965
Junip_Jllo	GA	13.842	1.420	6.068	389	489	0	1.222	4.175	1	178
	GP	63.374	5.159	9.039	169	354	0	7.489	40.840	72	252
Fagus_FS	GA	31.238	0	14.655	11.771	2.613	0	47	2.151	0	0
	GP	2.973	0	1.794	698	223	0	61	197	0	0
Populus_Lx	GA	7.371	62	344	1.163	1.914	11	821	656	496	1.904
	GP	54.315	471	7.643	20.916	6.459	2.286	5.731	3.893	2.306	4.609
CastaneaCi	GA	2.104	140	2	1.230	0	531	0	0	0	202
	GP	20.781	768	10	13.202	0	3.904	0	0	0	2.897
Querc_Pinus	GA	75.650	2.960	21.121	10.943	6.363	1.751	7.519	19.956	3.004	2.034
	GP	55.006	6.919	14.641	9.223	882	2.790	4.436	7.880	3.843	4.391
Junip_Frondosas	GA	7.928	350	3.657	220	332	0	1.040	2.228	15	86
	GP	40.384	4.464	10.440	61	1.882	593	4.152	18.276	224	292
Otras_MArb	GA	18.289	1.979	2.983	5.882	1.101	2.076	1.002	1.824	323	1.119
	GP	72.313	5.508	13.843	15.981	3.109	9.923	5.809	9.255	2.978	5.907
Subtotal GA		1.061.371	54.425	210.393	229.966	113.258	47.987	96.571	181.936	51.993	74.902
Subtotal GP		1.651.226	163.750	209.149	188.798	50.165	470.231	112.081	216.516	73.422	167.115
Total		2.712.597	218.175	419.542	418.764	163.423	518.218	208.653	398.451	125.355	242.017



Los tipos de gestión se dividen en GA (gestión autonómica) y GP (gestión privada). La Junta de Castilla y León gestiona 229.966 hectáreas de masa forestal donde abunda el *Pinus Sylvestris*, el cual, según la Cátedra de Tecnología de la Madera y Aprovechamientos Forestales, tenía en 2012 la posibilidad de suministrar 3,11 t/ha al año de masa seca.

Los costes indirectos derivados del tratamiento y transporte de la biomasa dependen de los métodos utilizados para llevarlos a cabo.

En el caso de empleo de un sistema de clareo de la superficie forestal, éste consta de las siguientes fases:

- ▶ Apeo
- ▶ Reunión
- ▶ Astillado
- ▶ Transporte

Según el Estudio técnico del IDAE para la evaluación del potencial de la biomasa, el sistema anterior supone los siguientes costes:

DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO	COSTE (€/t)
Apeo	1,23
Reunión	14,29
Astillado	11,7
Transporte	8,8

en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)

En base a lo anterior, los costes indirectos unitarios ascenderían a 45,02 €/t. Considerando un consumo de 4.296 t/año, los costes indirectos totales alcanzarían 193.406 €/año.

La **inversión** a realizar incluye los elementos de los que se compone la planta (exceptuando la envolvente), los elementos integrantes de la red de suministro de agua caliente, así como su instalación.

INVERSIÓN	
DESCRIPCIÓN	PRESUPUESTO (€, IVA incluido) (Material+ Ingeniería + M.O.)
Sala de calderas con depósitos de inercia y silo	1.140.000
Red de suministro canalizado de agua caliente	1.398.074
TOTAL	2.538.074

Para conocer la tasa de retorno de la inversión es necesario trazar un gráfico donde se vea reflejado el flujo económico de la instalación, precisándose determinar a su vez el precio de venta de la energía. Este precio debe ser más competitivo que el precio actual cuando la fuente de energía es individual, y al mismo tiempo debe satisfacer un tiempo de retorno de la inversión a realizar por parte del propietario de las instalaciones.





Estudio sobre *abastecimiento centralizado de calor y electricidad*

Aunque en otras instalaciones de carácter similar el precio de la energía ronda los 0,05 €/kWh, no parece adecuado utilizar este dato, dado que algunos de los potenciales usuarios de mayor envergadura de esta instalación disfrutan actualmente de un precio más favorable.

Debido a ello, se tomará como referencia un precio de 0,025 €/kWh. Este precio, en conjunción con la demanda anual de energía para calefacción y ACS, que es de 15.888.526,34 kWh/año, hace que la venta de energía en forma de agua caliente reportaría un valor de **428.990,21 €/año**.

Haciendo balance de todo lo anterior, se parte de los siguientes datos:

DESCRIPCIÓN	€/AÑO
COSTES DIRECTOS	128.450
COSTES INDIRECTOS	193.406
INVERSIÓN	2.538.074

A través del siguiente gráfico se puede comprobar el flujo económico de la instalación a lo largo de una estimación de 25 años de vida útil:

en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)



De la información contenida en el gráfico se puede concluir que el retorno de la inversión efectuada para este tipo de instalación se produciría a los **24 años de su entrada en funcionamiento**.

12.2.2 SISTEMA HÍBRIDO GAS NATURAL-BIOMASA

En el supuesto correspondiente a la alternativa que constituye una planta de generación de calor híbrida, con calderas de biomasa y de gas natural, han de plantearse una serie de aspectos que no son comunes en la planta.



Como el consumo de biomasa de esta planta sería sensiblemente inferior al del caso anterior, será preciso volver a calcular las necesidades de biomasa diarias, la autonomía y el volumen del silo. En caso de mantener las dos primeras el silo será de menor tamaño y por tanto su coste será menor.

Por otra parte, se incluirá la tirada de gas natural desde la canalización de MP hasta la caldera, lo cual repercutirá en un incremento de los costes.

Para diseñar el silo hay que tener en cuenta la energía diaria que consumirá este sistema, el rendimiento de los generadores instalados, la densidad de la biomasa y el poder calorífico de ésta.

12.2.2.1 CÁLCULOS DEL SISTEMA HÍBRIDO

El depósito de inercia servirá para equilibrar las bombas de primario y las bombas de los circuitos de consumo o circuitos secundarios, así como de separador hidráulico.

La temperatura de utilización del agua caliente para calefacción es de 85°C.

La temperatura de retorno del agua enfriada a la instalación para su aprovechamiento será de 65°C. Esta agua recirculará a los subsistemas de acumulación de inercia térmica.



en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)

La potencia útil necesaria para alimentar el sistema de calefacción será de 5 MW, por lo que el volumen de inercia podría ser:

$$V = P_u \times 15 \text{ l/kW} = 5000 \times 18 = 90000 \text{ litros}$$

La energía necesaria para calentar este depósito depende del volumen del acumulador y de la temperatura que alcance. Teniendo en cuenta que la temperatura mínima de funcionamiento de un sistema de calefacción es de 20 o 30°C, y que en el caso de este sistema la temperatura del circuito primario es de 85°C, el salto térmico sería de 55-65°C.

La energía acumulada en el caso del agua (peso específico = 1 kg/l) se calcula por medio de la expresión:

$$E = V \times \Delta T \times C_e$$

Donde la energía se mide en las unidades del calor específico, el volumen en litros, el salto térmico en °C, y el calor específico del agua es 0,00116 kWh/°C kg.

Por tanto la energía acumulada en los depósitos de inercia será:

$$E = 90000 \times 65 \times 0,00116 = 6786 \text{ kWh}$$



La instalación tendrá por tanto 6786 kWh de energía de inercia térmica para calefacción, lo que supone que la caldera tardaría el siguiente tiempo en preparar dicha energía:

$$Q = \frac{P_u}{(\Delta T \times C_e)} = \frac{5000}{65 \times 0,00116} = 66313 \frac{l}{h}$$
$$t = \frac{90000}{66313} = 1,36 h$$

Para este sistema de calefacción se necesitan 51.572,97 kWh/día de energía en forma de agua caliente a 85°C. Por tanto, el sistema de generación debería funcionar durante:

$$51.572,97 \text{ kWh} \times \frac{1,36 h}{6786 \text{ kWh}} = 10,33 h$$

La potencia útil entregada por la caldera es de 5 MW. Si el rendimiento de la caldera es del 85% significa que consume 5,88 MW cada hora de funcionamiento. El consumo de energía química de combustión será entonces de:

$$E_Q = 5880 \text{ kW} \times 10,33 h = 60740,4 \text{ kWhPCI/día}$$



en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)

El poder calorífico de la biomasa con la que alimentaremos los silos, si no supera el 50% de humedad, será de 5 kWh/kg, con lo que el consumo de la caldera de calefacción ascendería a:

$$\frac{60740,4 \text{ kWhPCI/día}}{5 \text{ kWhPCI/kg}} = 12148,1 \text{ kg/día}$$

Si la densidad de esta biomasa ronda los 500 kg/m³ se necesitará un silo de 675 m³ para tener una autonomía de 28 días a máxima potencia cuando la temperatura exterior ronde la temperatura de cálculo de -3,5°C.

La temperatura de utilización del agua caliente no supera los 65°C en ninguna de las parcelas del polígono, motivo por lo que se la impulsará a tal temperatura en este sistema.

La temperatura de retorno del agua enfriada a la instalación para su aprovechamiento será de 45°C. Este agua recirculará a los subsistemas de acumulación de inercia térmica.

La caldera de baja temperatura a gas natural de 2 MW de potencia útil tiene un alto rendimiento a carga parcial, y por ello no sería necesario utilizar un depósito de inercia. Sin embargo, debido a la disparidad de horarios y de necesidades de los potenciales consumidores, se ha creído necesario el empleo de éste, fijándose su capacidad en 15 m³.



El siguiente paso en los cálculos es determinar la energía acumulada gracias a este depósito de inercia. Esta energía depende de su volumen y de la temperatura que se alcance en el depósito. Teniendo en cuenta que la temperatura mínima de funcionamiento de un sistema de ACS es de 20 o 30°C, y que en el caso de este sistema la temperatura del circuito primario es de 65°C, el salto térmico a alcanzar sería de 35-45°C.

La energía acumulada en el caso del agua (peso específico = 1 kg/l) se obtiene de la aplicación de la relación:

$$E = V \times \Delta T \times C_e$$

Donde la energía se mide en las unidades del calor específico, el volumen en litros, el salto térmico en °C, y el calor específico del agua es 0,00116 kWh/°C kg.

Por tanto la energía acumulada en los depósitos de inercia será:

$$E = 15000 \times 45 \times 0,00116 = 783 \text{ kWh}$$

Esta instalación tendría de este modo 783 kWh de energía de inercia térmica para calefacción, con lo cual la caldera tardaría el siguiente tiempo en preparar dicha energía:



en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)

$$Q = \frac{P_u}{(\Delta T \times C_e)} = \frac{2000}{45 \times 0,00116} = 38314,2 \frac{l}{h}$$

$$t = \frac{15000}{38314,2} = 0,39 h$$

La demanda de energía térmica en forma de agua caliente a 65°C de las empresas del polígono es de 11819,36 kWh/día, implicando con ello la necesidad de que el sistema de generación funcionase durante:

$$11819,36 kWh \times \frac{0,39 h}{783 kWh} = 5,89 h$$

La potencia útil de la caldera del modelo STARTRE-BALTUR 2000 es de 2 MW. Su rendimiento, según el fabricante, alcanza el 95,8%, lo que significa que consume 2,08 MW por cada hora de funcionamiento, gracias a que aprovecha el calor latente en los productos de la combustión. El consumo de energía química de combustión será de:

$$E_Q = 2080 kW \times 5,89 h = 12251,2 kWhPCS/día$$



Estudio sobre *abastecimiento centralizado de calor y electricidad*

El poder calorífico superior del gas natural suministrado en la zona en la que se encuentra el polígono industrial es de 11,817 kWhPCS/m³, tal y como se muestra en la siguiente tabla de GAS NATURAL DISTRIBUCIÓN:



Poder calorífico superior aplicado en municipios abastecidos desde plantas satélites de GNL

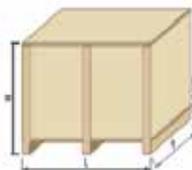
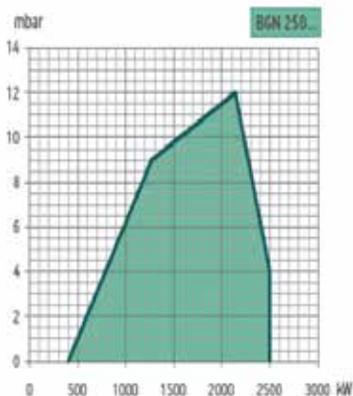
Período	Marzo 12								
Código Municipio	Municipio	Altitud metros	Temp. ° C	PCS medio mensual kWh/m ³ (N)	PCI medio mensual kW/hm ³ (N)	Densidad media mensual	N ₂ medio mensual % molar	CO ₂ medio mensual % molar	Fact. Correc. 20 mbar 3(N)/m ³
03133	TORREVIEJA	7	10	12,127	10,938	0,6178	0,2457	0,000	0,9829
04902	EL EJIDO	80	10	11,817	10,650	0,6030	0,5579	0,000	0,9744
11012	CADIZ	7	10	11,817	10,650	0,6030	0,5579	0,000	0,9829
17141	PUIGCERDA	1202	10	11,889	10,717	0,6048	0,3166	0,000	0,8438
29094	VELEZ MALAGA	60	10	11,817	10,650	0,6030	0,5579	0,000	0,9767
36008	CANGAS	9	10	12,170	10,977	0,6189	0,0954	0,000	0,9827
36051	SANXENYO	52	10	11,817	10,650	0,6030	0,5579	0,000	0,9777
25025	BAQUEIRA	1268	10	11,889	10,717	0,6048	0,3166	0,000	0,8361
24205	LADANGOS DEL PARAM	890	10	11,817	10,650	0,6030	0,5579	0,000	0,8801
15023	GNL DE CEE	12	10	11,817	10,650	0,6030	0,5579	0,000	0,9823
25034	ARTESA DE SEGRE	138	10	11,889	10,717	0,6048	0,3166	0,000	0,9677
04079	ROQUETAS	7	10	11,817	10,650	0,6030	0,5579	0,000	0,9829
27013	CERVO (LUGO)	225	10	11,817	10,650	0,6030	0,5579	0,000	0,9575
15073	RIBEIRA (CORUÑA)	1	10	11,817	10,650	0,6030	0,5579	0,000	0,9836
15021	CARRAL (CORUÑA)	540	10	11,817	10,650	0,6030	0,5579	0,000	0,9208
27005	BARREIROS (LUGO)	5	10	11,817	10,650	0,6030	0,5579	0,000	0,9831

Según esto, la caldera de ACS consumirá:

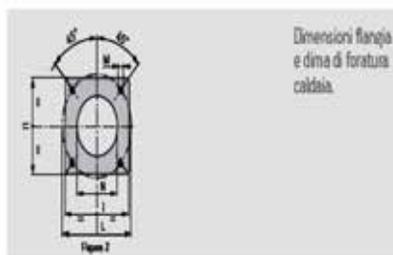
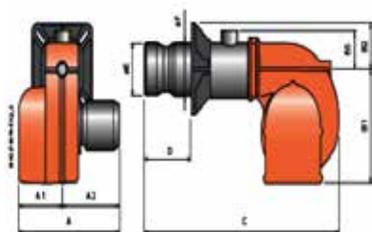
$$\frac{12251,2 \text{ kWhPCS/día}}{11,817 \text{ kWhPCS/m}^3} = 1036,74 \text{ m}^3/\text{día}$$

Las características del quemador de la caldera serían las siguientes:

en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)



Modello	Dimensioni imballo			Peso con imballo (kg)
	L	P	H	
BGN 250 MC	1250	1150	960	249
BGN 250 DSPGN ME	1250	1150	960	249



Modello	A	A1	A2	B1	B2	B5	C	D	E	F	I	I1	L	M	N	Figura
BGN 250 MC	880	400	480	580	160	310	1685	300 + 600	320	220	320	320	280 + 370	M12	230	2
BGN 250 DSPGN ME	880	400	480	580	160	310	1685	300 + 600	320	220	320	320	280 + 370	M12	230	2

Según el fabricante, se debe suministrar el gas a 50 mbar, lo que equivale a 509,87 mmca. Si el tramo desde la arqueta hasta el regulador de gas es de 150 m, y se une con un tubo de cobre DN 54x1,5, se obtiene



que la presión de suministro por parte de la distribuidora deberá ser de 2400 mmca. Esta presión de gas equivale a 0,235 bar, y por tanto corresponde a una arqueta de suministro que pertenece a una distribución del tipo baja presión (<500 mcda), como las existentes en el polígono.

Tras el cálculo de los tanques de inercia han quedado definidos los siguientes parámetros de la instalación:

- ▶ Temperatura de impulsión tanque de inercia de calefacción: 85°C
- ▶ Temperatura de retorno tanque de inercia de calefacción: 65°C
- ▶ Temperatura de impulsión tanque de inercia de ACS: 65°C
- ▶ Temperatura de retorno tanque de inercia de ACS: 45°C
- ▶ Potencia útil de la planta: 7 MW
- ▶ Potencia útil de calefacción: 5 MW
- ▶ Potencia útil de ACS: 2 MW
- ▶ Volumen del tanque de inercia de calefacción: 90 m³
- ▶ Volumen del tanque de inercia de ACS: 15 m³
- ▶ Temperatura de arranque de las calderas: 20°C
- ▶ Temperatura de parada de caldera de calefacción: 85°C
- ▶ Temperatura de parada de caldera de ACS: 65°C



en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)

- ▶ Válvulas mezcladoras de retorno a calderas: 50°C
- ▶ Consumo de biomasa debido a calefacción: 12,15 t/día
- ▶ Consumo de gas natural debido a ACS: 1036,74 m³/día
- ▶ Autonomía del silo de caldera de calefacción: 28 días
- ▶ Volumen del silo de caldera de calefacción: 675 m³

12.2.2.2 VIABILIDAD ECONÓMICA

En este apartado se llevará a cabo la valoración de los costes directos e indirectos de la planta, su inversión inicial y el flujo económico hasta alcanzar el retorno de la inversión.

Dentro de los costes directos se incluyen los costes de explotación (mantenimiento, repuestos, gasto energético). Como costes indirectos se contabilizan los derivados del transporte y tratamiento de la biomasa antes de almacenarla en el silo.

Inicialmente los costes de mantenimiento y repuestos de una caldera de biomasa son considerablemente más elevados que los de una caldera normal, si bien puede paliarse con las soluciones que ofrecen las calderas de la marca BIOCHAMM.



El gasto energético procede de la energía eléctrica que consumen los equipos de la planta y de la energía química que consume la combustión de gas natural en el equipo de ACS.

El precio del gas natural suministrado estará formado por un término fijo y un término variable.

El precio del término fijo será debido al peaje de conducción y es de 80,97 €/mes. El término variable se calculará mensualmente aplicando la siguiente expresión:

$$T_{variable} = (0,026810 \times Brent + 1,083390) \times TC + 1,445677 = 0,00389 \text{ €/kWh}$$

Siendo:

- ▶ Brent: media semestral de la cotización del barril de crudo Brent (63 \$/barril en el momento de la redacción de este Estudio).
- ▶ TC: tipo de cambio euro/dólar (0,881 €/\\$ en ídem).

El consumo anual de gas natural sería de 378.410 m³/año, mientras que el poder calorífico del gas natural, como ya se había indicado anteriormente, es de 11,817 kWh/m³. Según todo ello, el consumo de energía química se cifraría en 4.471.672,15 kWh/año, por lo que los costes derivados de la energía química alcanzarían los 18.366,44 €/año.

De este modo, los costes de explotación se resumirían como:

en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)

COSTES DE EXPLOTACIÓN (COSTES DIRECTOS)	
TIPO DE COSTE	€/AÑO (IVA INCLUIDO)
Mantenimiento y repuestos	64.000
Gasto energético	43.360
TOTAL	107.360

A partir del consumo anual de biomasa y de los datos recogidos en la siguiente tabla se pueden calcular los costes indirectos:

Recursos en t m.s./año Costes en €/t m.s. t m.s. (toneladas de materia seca)

Datos de partida: Villadangos Del Páramo (León) Coordenadas del punto inicial de recogida: Lat.: 42.535423 Long.: -5.752972

	Recursos potenciales (t m.s./año)	Recursos disponibles (t m.s./año)	Coste medio recolección (€/t m.s.)	Superficie de recursos disponibles (ha)
Secano	6.314,00	1.870,00	24,49	2.200,00
Regadío	9.481,25	7.585,00	9,20	1.025,00
Dehesas	162,75	42,65	23,87	406,25
Matorral	15,00	6,56	18,03	43,75

Costes de transporte

	Coste medio transporte (€/t m.s.)
Secano	4,23
Regadío	4,75
Dehesas	3,63
Matorral	4,66

El consumo total de toneladas de materia seca sería de 2.733,75 t/año. Esta cantidad, como se puede comprobar, resultaría más que suficiente para suministrar la biomasa necesaria.



Estudio sobre *abastecimiento centralizado de calor y electricidad*

Pensando en suministrarse principalmente de biomasa forestal, se puede conocer su situación global en Castilla y León, así como la provincial de León, a partir del informe de la Junta de Castilla y León sobre crecimiento de madera y biomasa en la Comunidad Autónoma, algunos de cuyos datos se reflejan en la tabla siguiente:

Anexos

Tabla 26. Superficie disponible de cada clase de bosque (CB) y tipo de gestión (TG)

CB	TG	CyL	Av	Bu	Le	Pa	Sa	Sg	So	Va	Za
Pinus_PsPn	GA	289.527	12.836	65.731	69.940	31.996	4.297	8.627	74.233	4	21.864
	GP	58.020	3.585	21.145	8.380	4.852	454	2.054	12.306	2	5.243
Pinus_PsPr	GA	197.288	22.525	15.652	17.309	2.965	14.171	54.090	40.001	12.177	18.398
	GP	119.206	22.347	10.638	12.001	526	7.563	40.146	12.343	8.167	5.475
Pinus_PsPh	GA	49.158	6.244	368	12	5.049	26	4.418	332	32.035	673
	GP	61.767	5.926	3.781	101	6.707	838	3.426	1.866	32.830	6.291
Querc_MiscoA	GA	66.113	1.412	7.779	28.370	10.377	4.913	3.932	3.276	0	6.053
	GP	206.778	9.324	6.739	32.044	3.206	120.233	5.711	4.175	0	25.346
Querc_MiscoC	GA	200.629	3.654	35.228	74.139	34.263	16.486	9.271	16.292	0	11.297
	GP	153.828	14.784	17.017	43.408	6.430	32.854	5.042	11.545	0	22.750
Querc_EsdA	GA	35.451	382	10.880	2.884	5.194	2.282	1.384	4.301	1.662	6.485
	GP	448.129	54.030	31.347	13.501	8.873	222.610	15.032	37.617	8.421	56.697
Querc_EsdC	GA	66.783	462	25.926	5.816	10.602	1.443	3.198	12.511	2.216	4.608
	GP	294.351	30.464	61.072	19.112	6.662	66.182	12.992	56.323	14.579	26.945
Junip_Itio	GA	13.842	1.420	6.068	289	489	0	1.222	4.175	1	178
	GP	63.374	5.159	9.039	169	354	0	7.489	40.840	72	252
Fagus_FS	GA	31.238	0	14.655	11.771	2.613	0	47	2.151	0	0
	GP	2.973	0	1.794	698	223	0	61	197	0	0
Populus_Lx	GA	7.371	62	344	1.163	1.914	11	821	656	496	1.904
	GP	54.315	471	7.643	20.916	6.459	2.286	5.731	3.893	2.306	4.609
CastaneaCs	GA	2.104	140	2	1.230	0	531	0	0	0	202
	GP	20.781	768	10	13.202	0	3.904	0	0	0	2.897
Querc_Pinus	GA	75.650	2.960	21.121	10.943	6.363	1.751	7.519	19.956	3.004	2.034
	GP	55.006	6.919	14.641	9.223	882	2.790	4.436	7.880	3.843	4.391

en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)

Junip_Frondosas	GA	7.928	350	3.657	220	332	0	1.040	2.228	15	86
	GP	40.384	4.464	10.440	61	1.882	593	4.152	18.276	224	292
Otras_MArb	GA	18.289	1.979	2.983	5.882	1.101	2.076	1.002	1.824	323	1.119
	GP	72.313	5.508	13.843	15.981	3.109	9.923	5.809	9.255	2.978	5.907
Subtotal GA		1.061.371	54.425	210.393	229.966	113.258	47.987	96.571	181.936	51.933	74.902
Subtotal GP		1.651.226	163.750	209.149	188.798	50.165	470.231	112.081	216.516	79.422	167.115
Total		2.712.597	218.175	419.542	418.764	163.423	518.218	208.653	398.451	125.355	242.017

Los tipos de gestión se dividen en GA (gestión autonómica) y GP (gestión privada). La junta de Castilla y León gestiona 229.966 hectáreas de masa forestal, donde abunda el *Pinus Sylvestris*, el cual, según la Cátedra de Tecnología de la Madera y Aprovechamientos Forestales, tenía en 2012 la posibilidad de suministrar 3,11 t/ha al año de masa seca.

Los costes indirectos derivados del tratamiento y transporte de la biomasa dependen de los métodos utilizados para llevarlos a cabo.

En caso de decantarse para ello por el sistema de clareo de la superficie forestal, éste consta de diversas fases:

- ▶ Apeo
- ▶ Reunión
- ▶ Astillado
- ▶ Transporte

Según el *Estudio técnico del IDAE para la evaluación del potencial de la biomasa*, el anterior sistema tendrá los siguientes costes:



Estudio sobre *abastecimiento centralizado de calor y electricidad*

DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO	€/t
Apeo	1,23
Reunión	14,29
Astillado	11,7
Transporte	8,8

Los costes indirectos unitarios ascenderían a 45,02 €/t, por lo que en caso de un consumo anual de biomasa de 2.733,75 t/año, los **costes indirectos alcanzarían los 123.073,40 €/año.**

La inversión a realizar incluye los elementos de los que se compone la planta (exceptuando la envolvente), los elementos que integran la red de suministro de agua caliente, así como su instalación.

INVERSIÓN TOTAL	
DESCRIPCIÓN	PRESUPUESTO (IVA incluido) (Material+ Ingeniería + M.O.)
Sala de calderas con depósitos de inercia y silo	903.558 €
Red de suministro canalizado de agua caliente	1.398.074
TOTAL	2.301.632

en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)

Para conocer la tasa de retorno de la inversión es necesario recurrir al gráfico en el que se refleja el flujo económico de la instalación, y a su vez para ello se precisa fijar el precio de la energía a vender. Este precio debe ser más competitivo que el precio actual cuando la fuente de energía es individual, y al mismo tiempo debe satisfacer un tiempo de retorno de la inversión a realizar por parte del propietario de las instalaciones.

Aunque en otras instalaciones de carácter similar el precio de la energía ronda los 0,05 €/kWh, no resulta posible utilizar este dato debido a que algunos de los potenciales principales usuarios de esta instalación disfrutan actualmente de unas condiciones mejores.

Debido a lo anterior, se ha tomado como referencia un precio de 0,025 €/kWh. Este precio, en conjunción con la demanda anual de energía para calefacción y ACS, que es de 15.888.526,34 kWh/año, supondría que la venta de energía en forma de agua caliente reportase anualmente **428.990,21 €/año**.

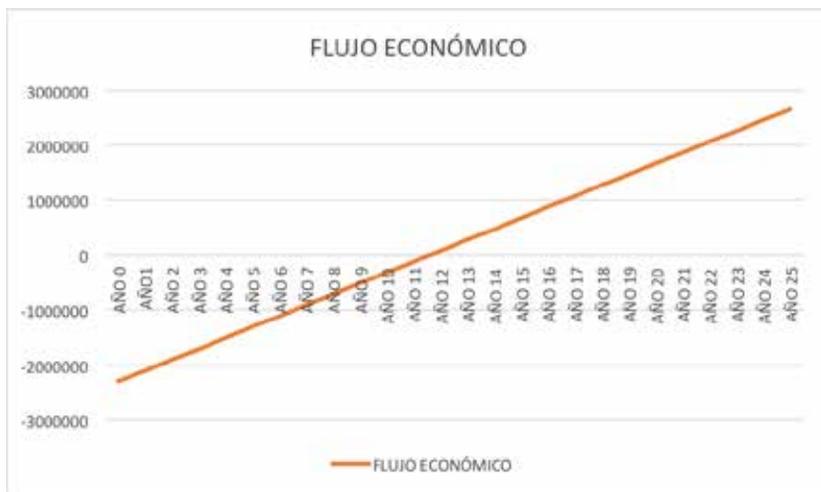
El resumen final de todo lo anterior proporciona el siguiente balance:

DESCRIPCIÓN	€/AÑO
COSTES DIRECTOS	107.360
COSTES INDIRECTOS	123.073,4
INVERSIÓN	2.301.632



Estudio sobre *abastecimiento centralizado de calor y electricidad*

Mediante el siguiente gráfico se refleja el flujo económico de la instalación a lo largo de su vida útil, cifrada en 25 años:



A partir de la información que proporciona el gráfico es posible concluir que el retorno de la inversión se produciría a los **12 años de su entrada en funcionamiento**.

12.2.3 ORC PARA COGENERACIÓN DE CALOR Y ELECTRICIDAD

Esta propuesta, tal como ya fue descrita en la primera parte de este Estudio, y cuya denominación abreviada es la de Sistema ORC, consiste en alimentar térmicamente la instalación *district heating*, al mismo tiempo que se genera electricidad para su venta a la red general.



en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)

12.2.3.1 CÁLCULOS DEL ORC

Como punto de partida debe tenerse presente que la generación de calor en los módulos de ORC sería superior, debido a que parte del calor generado se utilizará para producción de electricidad.

Las características del módulo ORC a proyectar serían las que se describen en las líneas siguientes.

Por un lado, se dispondría de una caldera de biomasa policomcombustible de aceite térmico, de 12 MW de potencia nominal, fabricada por la compañía LACEA. Esta caldera eleva la temperatura del aceite térmico hasta 310°C.

Este aceite térmico entrega 10,7 MW de potencia térmica al módulo de ORC, de los cuales 1900 kW son de potencia eléctrica y 8800 kW lo son de potencia térmica obtenidos en el condensador y que alimentarán al *district heating* de calefacción a través de tanque de inercia.

A continuación se procede al cálculo del depósito de inercia de la instalación de forma análoga a como se llevó a cabo en los casos de las otras dos alternativas analizadas en los apartados previos.

Al igual que allí, se diferencia el depósito de inercia para calefacción y el depósito de inercia para ACS.





*Estudio sobre **abastecimiento centralizado de calor y electricidad***

La temperatura de utilización del agua caliente para calefacción será la misma que en las otras dos alternativas barajadas, por lo que la temperatura de salida del agua del condensador será de 85°C.

La temperatura de retorno del agua enfriada a esta instalación para su aprovechamiento será de 65°C. Este agua recirculará al subsistema de acumulación de inercia térmica de calefacción, y desde éste, al circuito de refrigeración del módulo ORC.

La potencia útil necesaria para alimentar este sistema en el caso de calefacción será de 6 MW, por lo que el volumen de inercia debería ser:

$$V = P_u \times 15 \text{ l/kW} = 6000 \times 15 = 90000 \text{ litros}$$

Es necesario calcular también la energía acumulada gracias a este depósito de inercia. Esta energía depende del volumen del acumulador y de la temperatura que alcance. Teniendo en cuenta que la temperatura mínima de funcionamiento de un sistema de calefacción es de 20 o 30°C, y que en el caso de este sistema la temperatura del circuito primario es de 85°C, el salto térmico existente sería de 55-65°C.

La energía acumulada en el caso del agua (peso específico=1 kg/l) se obtiene como siempre a partir de la expresión:

$$E = V \times \Delta T \times C_e$$

en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)

Donde la energía se mide en las unidades del calor específico, el volumen en litros, el salto térmico en °C, y el calor específico del agua es 0,00116 kWh/°C kg. Según ello, la energía acumulada en los depósitos de inercia sería:

$$E = 90000 \times 65 \times 0,00116 = 6786 \text{ kWh}$$

De acuerdo con lo anterior, la instalación tendría por tanto 6786 kWh de energía de inercia térmica para calefacción, y el dúo condensador-economizador necesitaría el siguiente tiempo para lograr dicha energía:

$$Q = \frac{P_u}{(\Delta T \times C_e)} = \frac{8800}{65 \times 0,00116} = 116710,9 \frac{l}{h}$$

$$t = \frac{90000}{116710,9} = 0,77 \text{ h}$$

Dado que en este sistema de calefacción se necesitarían 51.572,97 kWh/día de energía en forma de agua caliente a 85°C, el sistema de generación debería funcionar durante el siguiente tiempo:

$$51572,97 \text{ kWh} \times \frac{0,77 \text{ h}}{6786 \text{ kWh}} = 5,85 \text{ h}$$

Durante esas 5,85 horas el módulo ORC será capaz de transformar la energía térmica en energía eléctrica. Parte de esa energía eléctrica generada la consumen los propios equipos eléctricos de la planta, de



manera que de esos 1900 kW de potencia eléctrica generada, 180 kW se destinan al propio equipo de generación. Según esto, el generador asíncrono del módulo ORC entregaría 1720 kW, y la energía diaria inyectada a la red sería de:

$$1720 \text{ kW} \times 5,85 \text{ h} = 10065,3 \text{ kWh}$$

La potencia útil del sistema formado por la caldera, el economizador y el evaporador es de 10,2 MW. Si el rendimiento de la caldera es del 85% significa que consume 12 MW cada hora de funcionamiento. El consumo de energía química de combustión sería de:

$$E_Q = 12000 \text{ kW} \times 5,85 \text{ h} = 70200 \text{ kWhPCI/día}$$

El poder calorífico de la biomasa almacenada en los silos, si no supera el 50% de humedad, sería de 5 kWh/kg, con lo que el consumo de aquella para la caldera de calefacción y electricidad correspondería a:

$$\frac{70200 \text{ kWhPCI/día}}{5 \text{ kWhPCI/kg}} = 14040 \text{ kg/día}$$

Si la densidad de esta biomasa ronda los 500 kg/m³ se necesitaría un silo de 900 m³ para tener una autonomía de 32 días a máxima potencia cuando la temperatura exterior ronde la temperatura de cálculo de -3,5°C.





en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)

Como se recordará de las alternativas anteriormente analizadas, la temperatura de utilización del agua caliente para ACS no supera los 65°C en ninguna de las parcelas del polígono, razón por la que se puede impulsar el sistema a 65°C.

La temperatura de retorno del agua enfriada a la instalación para su aprovechamiento sería de 45°C. Este agua recirculará hasta los subsistemas de acumulación de inercia térmica.

La potencia útil necesaria para alimentar el sistema es de 1 MW, con lo cual el volumen de inercia necesario debería ser:

$$V = P_u \times 15 \text{ l/kW} = 1000 \times 15 = 15000 \text{ litros}$$

Es necesario calcular también la energía acumulada por medio de este depósito de inercia. Dicha energía depende del volumen del acumulador y de la temperatura que alcance. Dado que la temperatura mínima de funcionamiento de un sistema de calefacción es de 20 o 30°C, y que en el caso de este sistema la temperatura del circuito primario es de 65°C, el salto térmico a alcanzar sería de 35-45°C.

La energía acumulada en el caso del agua (peso específico=1 kg/l) se obtiene como siempre a partir de la expresión:

$$E = V \times \Delta T \times C_e$$



Donde la energía se mide en las unidades del calor específico, el volumen en litros, el salto térmico en °C, y el calor específico del agua es 0,00116 kWh/°C kg.

Según ello la energía acumulada en los depósitos de inercia sería de:

$$E = 15000 \times 45 \times 0,00116 = 783 \text{ kWh}$$

Esto supone que la instalación tendría por tanto 783 kWh de energía de inercia térmica para ACS, implicando con ello que la caldera tardaría en proporcionar dicha energía el siguiente tiempo:

$$Q = \frac{P_u}{(\Delta T \times C_e)} = \frac{1000}{45 \times 0,00116} = 19157,1 \frac{l}{h}$$

$$t = \frac{15000}{19157,1} = 0,78 \text{ h}$$

En este sistema de ACS se necesitarían 11819,36 kWh/día de energía en forma de agua caliente a 65°C, dando como resultado que el sistema de generación habría de funcionar durante:

$$11819,36 \text{ kWh} \times \frac{0,78 \text{ h}}{783 \text{ kWh}} = 11,77 \text{ h}$$





en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)

La potencia útil entregada por la caldera es de 1 MW. Teniendo en cuenta que el rendimiento de la caldera es del 85%, significaría que consume 1,18 MW por cada hora de funcionamiento. El consumo de energía química de combustión sería de:

$$E_Q = 1176,5 \text{ kW} \times 11,77 \text{ h} = 13847,4 \text{ kWhPCI/día}$$

El poder calorífico de la biomasa empleada, si no supera el 50% de humedad, correspondería a 5 kWh/kg, por lo que la caldera de calefacción tendría el siguiente consumo de aquella:

$$\frac{13847,4 \text{ kWhPCI/día}}{5 \text{ kWhPCI/kg}} = 2769,5 \text{ kg/día}$$

Considerando que la densidad de esta biomasa ronda los 500 kg/m³, se precisaría un silo de 150 m³ para tener una autonomía de 27 días, suponiendo una demanda alta de ACS.

El circuito primario consta de la tuberías de ida y retorno desde las calderas y los tanques de inercia, así como de las bombas de retorno a calderas y de las válvulas de tres vías termostatizables para impedir que la temperatura de retorno a las calderas sea demasiado baja.

De todo ello, y tras el cálculo de los tanques de inercia, el resumen de los parámetros de la instalación sería el siguiente:



Estudio sobre abastecimiento centralizado de calor y electricidad

- ▶ Temperatura de impulsión tanque de inercia de calefacción: 85°C
- ▶ Temperatura de retorno tanque de inercia de calefacción: 65°C
- ▶ Temperatura de impulsión tanque de inercia de ACS: 65°C
- ▶ Temperatura de retorno tanque de inercia de ACS: 45°C
- ▶ Potencia útil de caldera de calefacción: 8,8 MW
- ▶ Potencia útil de caldera de ACS: 1 MW
- ▶ Potencia útil de ORC: 1,27 MW
- ▶ Volumen del tanque de inercia de calefacción: 90 m³
- ▶ Volumen del tanque de inercia de ACS: 15 m³
- ▶ Temperatura de arranque de las calderas: 20°C
- ▶ Temperatura de parada de caldera de calefacción: 85°C
- ▶ Temperatura de parada de caldera de ACS: 65°C
- ▶ Válvulas mezcladoras de retorno a calderas: 50°C
- ▶ Consumo de biomasa debido a calefacción y electricidad: 14,04 t/día
- ▶ Consumo de biomasa debido a ACS: 2,77 t/día
- ▶ Autonomía del silo de caldera de calefacción: 32 días
- ▶ Autonomía del silo de caldera de ACS: 27 días





en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)

- ▶ Volumen del silo de caldera de calefacción: 900 m³
- ▶ Volumen del silo de caldera de ACS: 150 m³

12.2.3.2 VIABILIDAD ECONÓMICA

De forma análoga al proceso seguido en los casos de las dos alternativas previamente estudiadas, a continuación se procederá a valorar los costes directos e indirectos de la planta, su inversión inicial y el flujo económico resultante para el retorno de la inversión.

Al igual que entonces, dentro de los costes directos se incluyen los costes de explotación (mantenimiento, repuestos, gasto energético). Como costes indirectos se consideran los derivados del transporte y del tratamiento de la biomasa antes de almacenarla en el silo.

Como ya se ha comentado en los otros casos, a priori los costes de mantenimiento y repuestos de una caldera de biomasa son comparativamente bastante elevados en relación a los de otros tipos de calderas convencionales, si bien el empleo de calderas de BIOCHAMM hace que estos costes se vean notablemente reducidos.





Estudio sobre *abastecimiento centralizado de calor y electricidad*

En lo que respecta al gasto energético, éste derivará de la energía eléctrica que consumirán los propios equipos de la planta.

Con todo ello, el coste total de explotación correspondería a:

COSTES DE EXPLOTACIÓN (COSTES DIRECTOS)	
TIPO DE COSTE	€/AÑO (IVA incluido)
Mantenimiento y repuestos	78.000
Gasto energético	83.899
TOTAL	131.899

En caso de utilizar la electricidad generada para acumularla y suministrar energía a los propios equipos de la planta **se podría conseguir un ahorro de 33.400 €/año.**

Del consumo anual de biomasa y de la siguiente tabla se pueden extraer los costes indirectos:

en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)

Recursos en t m.s./año Costes en €/t m.s. t m.s. (toneladas de materia seca)

Datos de partida: Villadangos Del Páramo (León) Coordenadas del punto inicial de recogida: Lat.: 42.535423 Lng.: -5.752973

	Recursos potenciales (t m.s./año)	Recursos disponibles (t m.s./año)	Coste medio recolección (€/t m.s.)	Superficie de recursos disponibles (ha)
Secano	6.314,00	1.870,00	24,49	2.200,00
Regadío	9.481,25	7.585,00	9,20	1.025,00
Dehesas	162,75	42,65	23,87	406,25
Matorral	15,00	6,56	18,03	43,75

Costes de transporte

	Coste medio transporte (€/t m.s.)
Secano	4,23
Regadío	4,75
Dehesas	3,63
Matorral	4,66

El consumo anual de biomasa de la planta sería de 3.159 t/año para calefacción y electricidad, y de 1.011 t/año para ACS, por lo que el consumo total de materia seca alcanzaría las 4.170 t/año, cantidad suficiente para suministrar la biomasa necesaria.

Dicha biomasa podría tener origen forestal, como se desprende de la situación global en Castilla y León, así como la provincial de León, extraída del informe de la Junta de Castilla y León sobre crecimiento de madera y biomasa en Castilla y León:



Estudio sobre *abastecimiento centralizado de calor y electricidad*

Anexos

Tabla 26. Superficie disponible de cada clase de bosque (CB) y tipo de gestión (TG)

CB	TG	CyL	Av	Bu	Le	Pa	Sa	Sg	So	Va	Za
Pinus_PdPn	GA	289.527	12.836	65.731	69.940	31.996	4.297	8.627	74.233	4	21.864
	GP	58.820	3.585	21.145	8.380	4.852	454	2.054	12.306	2	5.243
Pinus_PdPr	GA	197.288	22.525	15.652	17.309	2.965	14.171	54.090	40.001	12.177	18.398
	GP	119.206	22.347	10.638	12.001	526	7.563	40.146	12.343	8.167	5.475
Pinus_PpPh	GA	49.158	6.244	368	12	5.049	26	4.418	332	32.035	673
	GP	61.767	5.926	3.781	101	6.707	838	3.426	1.866	32.830	6.291
Querc_MesoA	GA	66.113	1.412	7.779	28.370	10.377	4.913	3.932	3.276	0	6.053
	GP	206.778	9.324	6.739	32.044	3.206	120.233	5.711	4.175	0	25.346
Querc_MesoC	GA	200.629	3.654	35.228	74.139	34.263	16.486	9.271	16.292	0	11.297
	GP	153.828	14.784	17.017	43.408	6.430	32.854	5.042	11.545	0	22.750
Querc_EsdA	GA	35.451	382	10.880	2.884	5.194	2.282	1.384	4.301	1.662	6.485
	GP	448.129	54.030	31.347	13.501	8.873	222.610	15.032	37.617	8.421	56.697
Querc_EsdC	GA	66.783	462	25.926	5.816	10.602	1.443	3.198	12.511	2.216	4.608
	GP	294.351	30.464	61.072	19.112	6.662	66.182	12.992	56.323	14.579	26.965
Junip_ItJo	GA	13.842	1.420	6.068	289	489	0	1.222	4.175	1	178
	GP	63.374	5.159	9.039	169	354	0	7.489	40.840	72	252
Fagus_FS	GA	31.238	0	14.655	11.771	2.613	0	47	2.151	0	0
	GP	2.893	0	1.794	698	223	0	61	197	0	0
Populus_Lx	GA	7.371	62	344	1.163	1.914	11	821	656	496	1.904
	GP	54.315	471	7.643	20.916	6.459	2.286	5.731	3.893	2.306	4.609
CastaneaCs	GA	2.104	140	2	1.230	0	531	0	0	0	202
	GP	20.781	768	10	13.202	0	3.904	0	0	0	2.897
Querc_Pinus	GA	75.650	2.960	21.121	10.943	6.363	1.751	7.519	19.956	3.004	2.034
	GP	55.006	6.919	14.641	9.223	882	2.790	4.436	7.880	3.843	4.391
Junip_Frondosas	GA	7.828	350	3.657	220	332	0	1.040	2.228	15	86
	GP	40.384	4.464	10.440	61	1.882	593	4.152	18.276	224	292
Otras_MArb	GA	18.289	1.979	2.983	5.882	1.101	2.076	1.002	1.824	323	1.119
	GP	72.313	5.508	13.843	15.981	3.109	9.923	5.809	9.255	2.978	5.907
Subtotal GA		1.061.371	54.425	210.393	229.966	113.258	47.987	96.571	181.936	51.933	74.902
Subtotal GP		1.651.226	163.750	209.149	188.798	50.165	470.231	112.081	216.516	73.422	167.115
Total		2.712.597	218.175	419.542	418.764	163.423	518.218	208.653	398.451	125.355	242.017



en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)

Los tipos de gestión se dividen en GA (gestión autonómica) y GP (gestión privada). La Junta de Castilla y León gestiona 229.966 hectáreas de masa forestal donde abunda el *Pinus Sylvestris*, el cual, según la Cátedra de Tecnología de la Madera y Aprovechamientos Forestales, tenía en 2012 la posibilidad de suministrar 3,11 t/ha al año de masa seca.

Los costes indirectos derivados del tratamiento y transporte de la biomasa dependen, como ya se expuso al abordar las dos alternativas energéticas anteriores, de los métodos utilizados para llevarlos a cabo. El más empleado corresponde a un sistema de clareo de la superficie forestal basado en las siguientes fases:

- ▶ Apeo
- ▶ Reunión
- ▶ Astillado
- ▶ Transporte

Según el ya citado *Estudio técnico del IDAE para la evaluación del potencial de la biomasa*, este tipo de sistema implica los siguientes costes:



Estudio sobre *abastecimiento centralizado de calor y electricidad*

DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO	COSTE (€/t)
Apeo	1,23
Reunión	14,29
Astillado	11,7
Transporte	8,8

Los costes indirectos unitarios ascenderían a 45,02 €/t, con lo cual en caso de un consumo de 4.170 t/año, daría como resultado un total de **187.733,4 €/año**.

De acuerdo a lo ya expuesto en el caso de las otras alternativas analizadas, la inversión a realizar incluiría los elementos de los que se compone la planta (exceptuando la envolvente), los elementos integrantes de la red de suministro de agua caliente, así como su instalación.

INVERSIÓN	
DESCRIPCIÓN	PRESUPUESTO (IVA incluido) (Materiales+ Ingeniería + M.O.)
Sala de calderas con depósitos de inercia y silo	2.790.986 €
Red de suministro canalizado de agua caliente	1.398.074
TOTAL	4.189.060



en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)

Para conocer la tasa de retorno de la inversión resulta necesario acudir al gráfico que refleja el flujo económico de la instalación, y para ello se necesita fijar el precio de venta de la energía. Este precio debe ser más competitivo que el precio actual cuando la fuente de energía es individual, y simultáneamente debe satisfacer un tiempo de retorno de la inversión a realizar por parte del propietario de las instalaciones.

Aunque en otras instalaciones de carácter similar el precio de la energía ronda los 0,05 €/kWh, no conviene utilizar ese dato, dado que algunos de los potenciales usuarios principales de esta instalación disfrutan ya actualmente de mejores tarifas.

Se tomará por tanto como referencia 0,025 €/kWh. Este precio, en conjunción con la demanda anual de energía para calefacción y ACS, que es de 15.888.526,34 kWh/año, supone que la venta de energía en forma de agua caliente reportaría anualmente un importe de **428.990,21 €/año**.

Si en lugar de optar por un sistema de acumulación de energía eléctrica se decidiese vender la electricidad a la red, el precio medio de venta según el Ministerio de Industria sería de 0,045 €/kWh, sin bien este precio varía mensualmente.

Tomado en cualquier caso ese precio medio como referencia, el valor de esa venta sería:

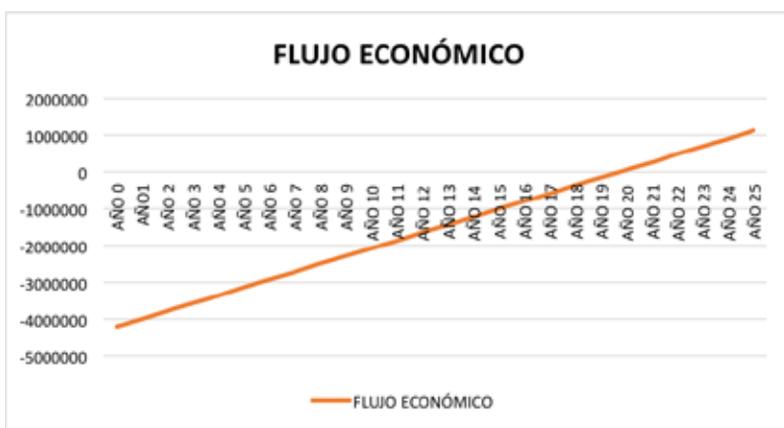
$$2290275 \text{ kWh/año} \times 0,045 \text{ €/kW} = 103062,4 \text{ €/año}$$



Recopilando todos los costes incurridos e ingresos obtenidos se tendría el siguiente balance:

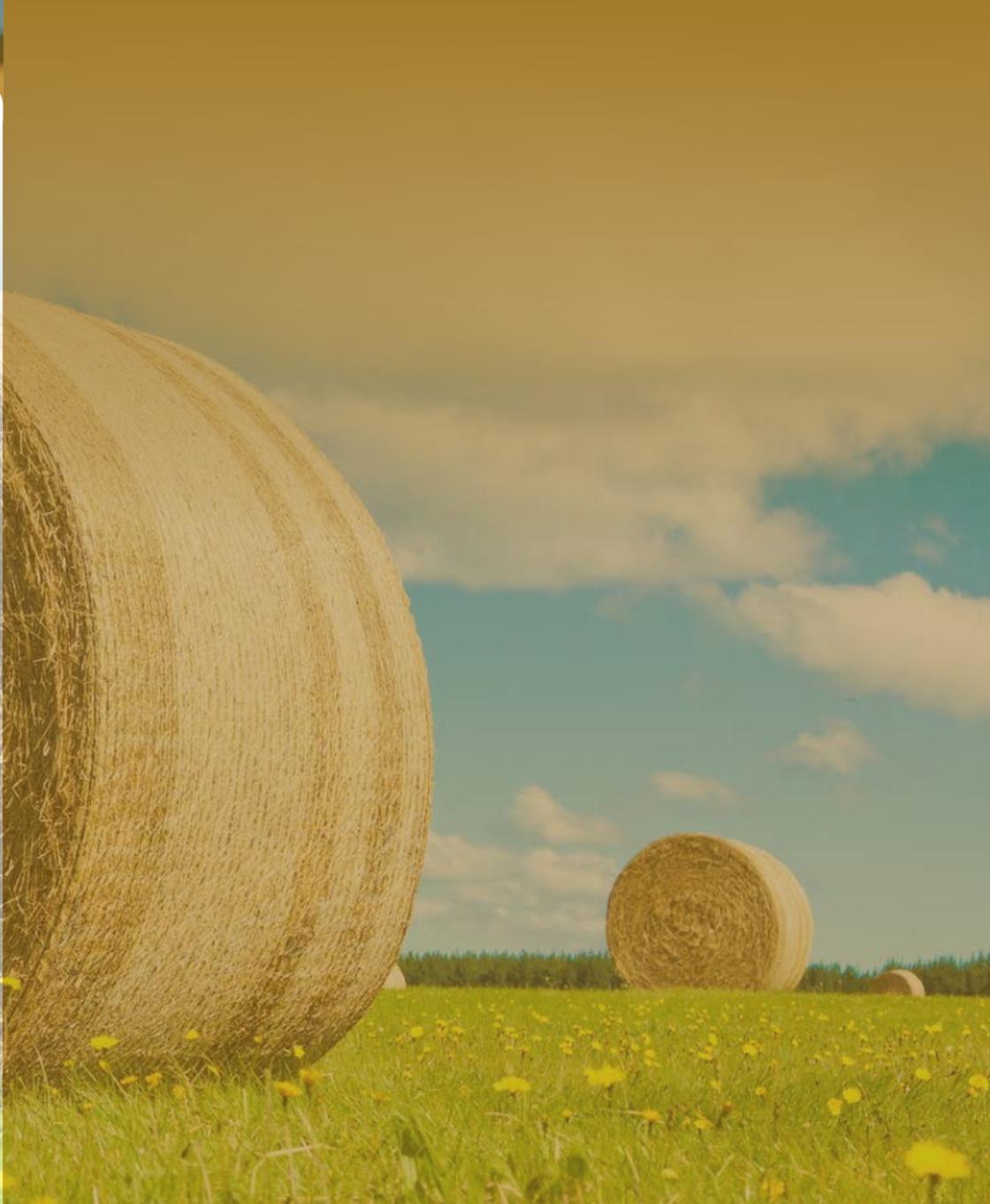
DESCRIPCIÓN	€/AÑO
COSTES DIRECTOS	131.899
COSTES INDIRECTOS	187.733,4
INVERSIÓN	3.378.074
INGRESOS	532.053

En el siguiente gráfico se puede apreciar el flujo económico de la instalación a lo largo de sus 25 años de vida útil estimados:



De la información proporcionada por la representación gráfica anterior, es posible concluir que el retorno de la inversión se produciría a partir de los **19 años** de su entrada en funcionamiento.





Capítulo 13



Principales conclusiones



13. PRINCIPALES CONCLUSIONES

Para abordar la extracción de las conclusiones logradas con la ejecución del Estudio realizado se han tomado en cuenta fundamentalmente la tasa de retorno de la inversión, los ahorros obtenidos durante la vida útil de la instalación, así como el impacto medioambiental producido en el caso de cada una de las alternativas manejadas.

Para facilitar la evaluación de cada opción barajada se exponen a continuación varios gráficos que recogen los principales datos obtenidos a partir del Estudio.

En primer lugar se comienza por analizar la tasa de retorno lograda en cada una de las tres opciones. Esta tasa de retorno muestra los años que debería estar en funcionamiento la instalación para su amortización, considerando que todos los potenciales usuarios decidiesen contratar los servicios de la planta debido a la mejora sustancial del precio del kWh que lograrían con ello.



Estudio sobre *abastecimiento centralizado de calor y electricidad*



Debe recordarse que la vida útil de cualquiera de las plantas se ha estimado en 25 años. Durante ese período las reparaciones forzadas no tendrían la envergadura suficiente como para no poder incluirlas en los presupuestos de reparaciones y mantenimiento que se han ido contemplando incluidos en el capítulo de costes directos, durante el análisis de cada una de las tres alternativas.

Dentro de estos costes también se ha contemplado la mano de obra perteneciente al personal de mantenimiento, que debe ser especializado y cualificado.

En el gráfico que se muestra a continuación figuran los ingresos obtenidos a lo largo de la vida útil de cada planta. Debe recordarse no

en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)

obstante que la vida útil de la red será superior a esos 25 años. Para la temperatura de utilización, se la estima en 30 años para el caso de la red de distribución de calefacción, y en 50 años para la de distribución de ACS.



Destacan los ingresos de la planta de biomasa con ORC (*Ciclo Rankine Orgánico*) respecto a los de la planta que emplea exclusivamente biomasa. Esta diferencia corresponde principalmente a los ingresos adicionales que reporta la venta de la electricidad generada a la compañía suministradora de la zona.

Por otra parte, dado que se destinaría un porcentaje de lo producido en alimentar eléctricamente a los equipos eléctricos de la planta, los gastos directos se reducirían sensiblemente.



Otro aspecto de interés reside en que el sistema planteado tipo ORC, con una caldera de aceite térmico, conlleva mucha menos supervisión que los empleados con el resto de calderas.

Por último, aunque no menos importante por ello, se analiza lo relativo a los posibles impactos medioambientales de unas y otras instalaciones.

Recordando algunas reflexiones incluidas en la primera parte del Estudio, es un hecho que en la actualidad los excesos de emisiones de CO₂ constituyen una lacra muy importante para el Medio Ambiente de nuestro planeta. De acuerdo a las referencias ya aludidas entonces, son numerosas las Directivas Europeas que obligan a las industrias y a los gobiernos a tomar medidas para contribuir a frenar el calentamiento global del planeta, además de prever sanciones. A partir de aquéllas se han plasmado acuerdos globales para la mejora del rendimiento de instalaciones industriales, y para el fomento del empleo de sistemas basados en energías renovables.

Aunque es cierto que en rigor no se puede hablar de la biomasa como emisor nulo de CO₂, sí se puede considerar prácticamente como tal. La recolección, procesado y transporte de ésta hasta los silos se realiza normalmente con maquinaria que consume gasoil, y éste emite CO₂ a la atmósfera como consecuencia de su combustión, pero no es comparable en volumen con el de dióxido de carbono que en su ciclo de vida absorbe la masa forestal (aunque ya está muerta y no absorbe más). No hay que olvidar que tanto el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, como el CIEMAT (*Centro de Investigaciones Energéticas,*



en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)

Medioambientales y Tecnológicas), las consideran casi nulas, y que el IDAE (*Instituto para la Diversificación y el Ahorro de Energía*), que es el encargado de adjudicar las subvenciones europeas en eficiencia energética, las cuantifica como una propuesta.

Por otra parte, el gas natural, ampliamente empleado por las industrias instaladas en el polígono, no sólo libera CO₂ en su combustión, sino que se ha demostrado que su extracción también emite una considerable suma de este gas (con independencia de que se lleve a cabo adecuadamente), y excepcionalmente pueden hacerlo en una gran magnitud dando lugar a accidentes, caso del descrito en la primera parte del Estudio.

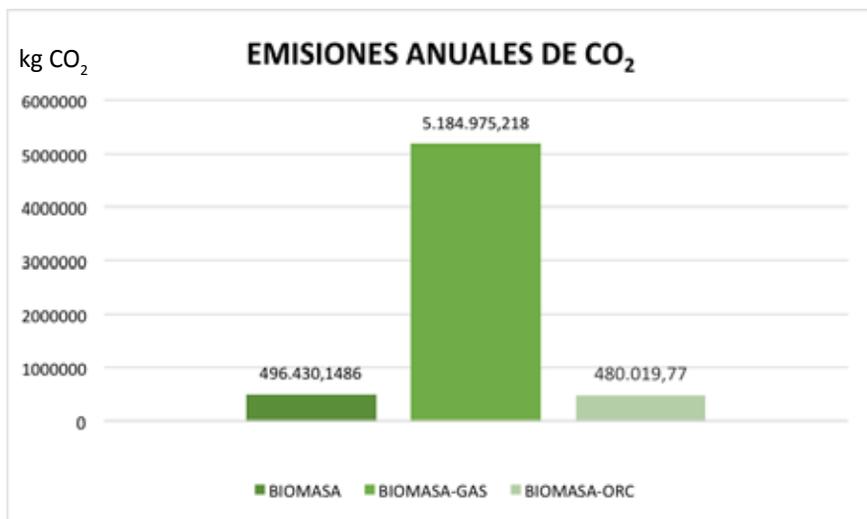
A continuación se recogen diversos niveles de emisión en función del combustible, de acuerdo a datos proporcionados por el IDAE:

COMBUSTIBLE	kg CO ₂ /kWh
Gasóleo C	0,311
Gas natural	0,252
Biomasa no densificada (no pellets)	0,018

Así pues, con los datos obtenidos y basándose en la tabla anterior, se ha configurado el gráfico siguiente, a través del que se puede comparar la huella de carbono que en cada caso estaría asociada a la explotación de uno u otro tipo de planta térmica:



Estudio sobre *abastecimiento centralizado de calor y electricidad*



Como ya se tuvo ocasión de explicar en la primera parte del Estudio, el CO₂ no es el único producto de combustión que forma parte de los GEI (gases de efecto invernadero). El gas natural en su mayor parte (97%) está compuesto de metano, y en su combustión se producen inquemados, que no dejan de ser combustible, y que serán expulsados por las chimeneas a la atmósfera.

No obstante, cabe destacar que las calderas de biomasa que se han tenido en cuenta en este Estudio disponen de ciclones tal como contemplan las Directivas Europeas, que deberán ser transpuestas a la legislación española en un corto espacio de tiempo. Estos ciclones separan las partículas de ceniza antes de que se produzca su emisión a



en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)

la atmósfera, y las recogen en un colector que ha de ser debidamente limpiado de forma periódica por el personal de mantenimiento. La chimenea dispondrá también de una sonda lambda para la medición de la proporción de oxígeno, que permitirá adecuar la combustión para un rendimiento óptimo.

Se han priorizado las emisiones de CO_2 por ser las más fácilmente controlables, además de ser el GEI con mayor presencia en la atmósfera.

Recordemos nuevamente algunos otros aspectos a destacar de la biomasa forestal, ya comentados en la primera parte del Estudio, como que su recolección y procesado implica crear o expandir una infraestructura que beneficia a la sociedad de dos formas:

- Por un lado se realizan limpiezas en las zonas forestales, que cuando no se producen, actúan como focos continuos de propagación de incendios. En épocas de sequía y calor, la masa muerta de los bosques se comporta casi como un acelerante de la quema de muchas hectáreas de terreno, con la consiguiente pérdida de flora y fauna. Los incendios, que en muchos casos son provocados, se generan en la superficie de la foresta. Si la masa inerte de material vegetal es retirada para su trituración y posterior utilización como biomasa, se puede conseguir disminuir los efectos de los incendios forestales que queman tanto las masas vivas como las inertes de los bosques.

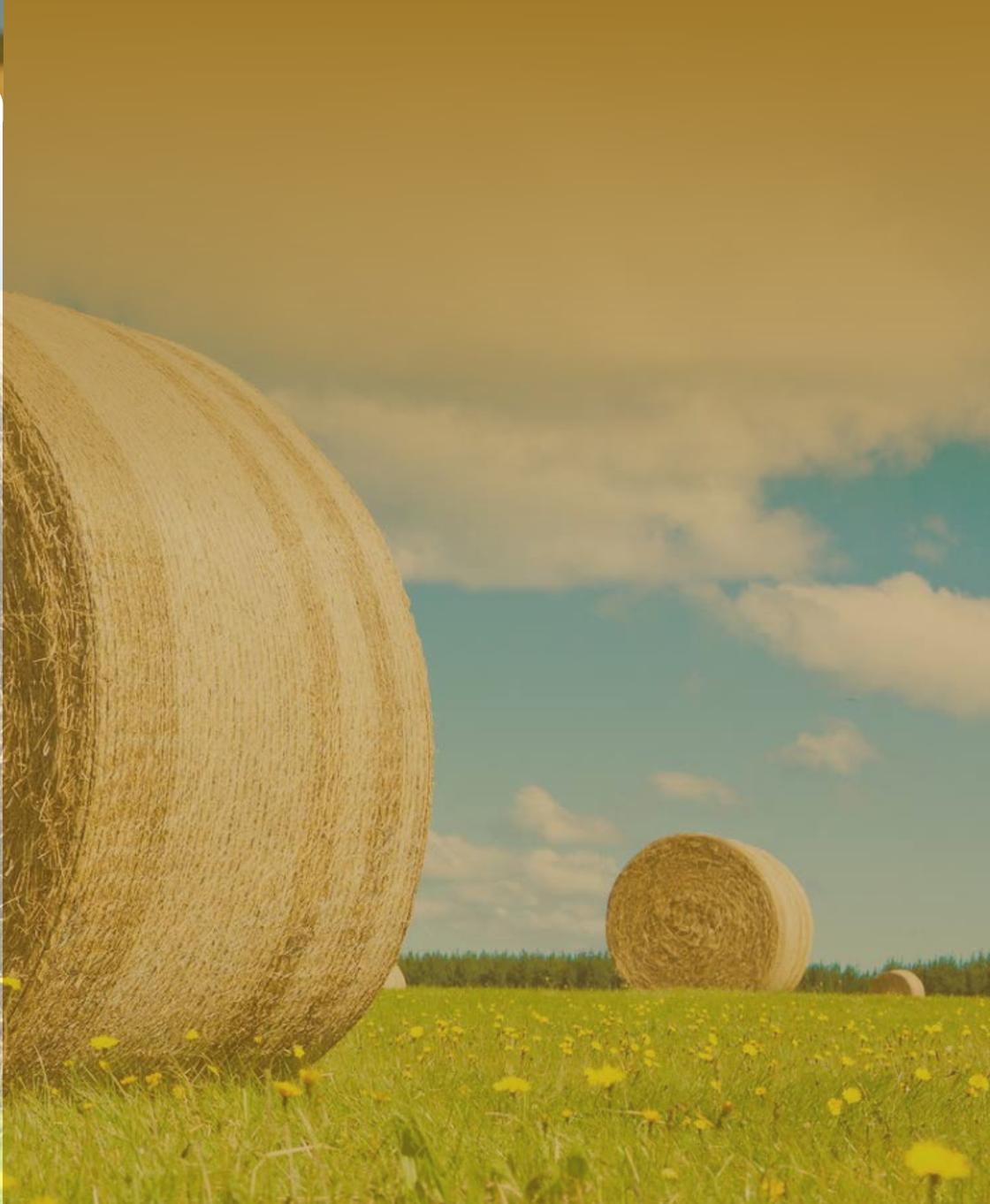


- Por otro lado, la limpieza de la masa forestal inerte puede generar puestos de trabajo a nivel local y regional, necesarios tanto para las labores de apeo, como las del procesado y el transporte de la biomasa. Una planta como la propuesta, no sólo genera puestos de trabajo directos (encargados de producción, personal de mantenimiento, etc.), sino que también crea puestos indirectos (peones de recolección, maquinistas, transportistas, etc.).

Estos aspectos contribuyen a justificar que las emisiones de CO₂ (mínimas en comparación con las de otros combustibles, por otra parte) sean aceptables en un marco socio-económico sostenible.

Como conclusión final, por tasa de retorno, y por el beneficio que se obtiene debido a la venta de energía, los autores de este Estudio recomiendan como opción más adecuada entre las tres analizadas, la correspondiente a una planta térmica alimentada de forma híbrida por biomasa y gas natural.







BIBLIOGRAFÍA

14. BIBLIOGRAFÍA

- ▶ *«Fundamentos de la Termodinámica técnica»*. Michael J. Morgan y Howard N. Shapiro. Ed. Reverté, 2004.
- ▶ *«Crecimientos de la madera y biomasa de Castilla y León»*. Serie divulgativa del Plan Forestal de la Junta de Castilla y León, 2014.
- ▶ *«Reglamento de Instalaciones Térmicas de los edificios»*. RITE. Consejería de Fomento y Medio Ambiente. Valladolid, 2013.
- ▶ *«Polígono Industrial de Villadangos»*. ADE Parques Tecnológicos y Empresariales. Junta de Castilla y León.
- ▶ *«Experiencias con biomasa agrícola y forestal para uso energético»* IDAE, 2008.
- ▶ *«Industria de la biomasa»*. IDAE, 2008.
- ▶ *«Biomasa. Maquinaria agrícola y forestal»* IDAE, 2007.
- ▶ *«Energía de la biomasa»* IDAE, 2007.
- ▶ *«Biomasa. Redes de distribución»* IDAE, 2008.
- ▶ *«Evaluación del potencial energético de la biomasa. Estudio técnico PER 2011-2020»* IDAE, 2011.
- ▶ *«Situación y potencial de generación de biogás. Estudio técnico PER 2011-2020»*. IDAE, 2011.

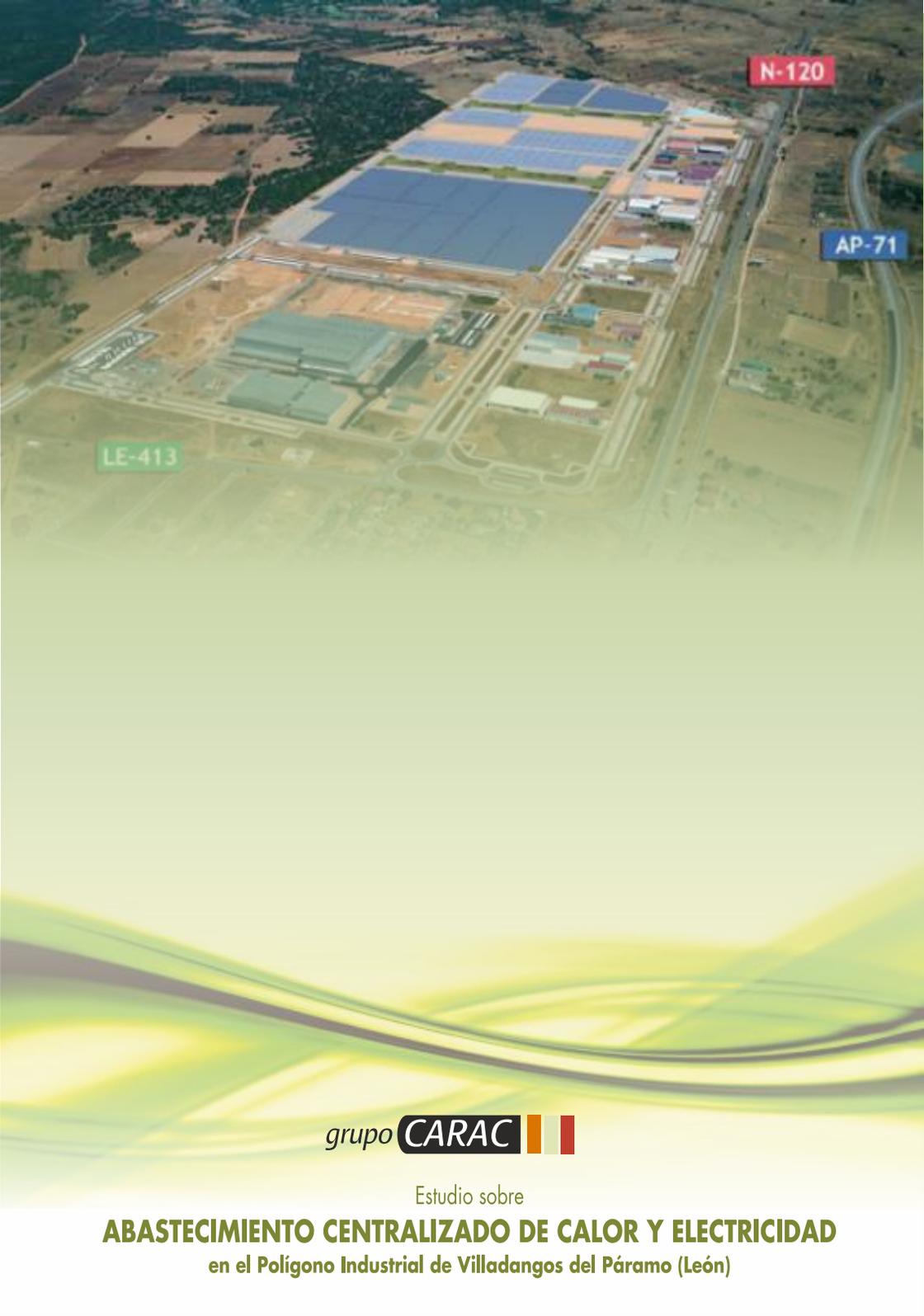




Estudio sobre *abastecimiento centralizado de calor y electricidad*

- *«Guía técnica del RITE para instalaciones de climatización por agua»*. IDAE, 2012.
- *«Guía técnica del RITE. Procedimiento de inspección periódica de eficiencia energética de calderas»*. IDAE, 2007.
- *«Guía técnica del RITE para el cálculo y elección de equipos de transporte de fluidos. Bombas y ventiladores»*. IDAE, 2012.
- <http://www.ciemat.es>
- <http://www.aqotec.com>
- <http://bopiweb.com>
- <http://www.bios-bioenergy.at>
- <http://www.jcyl.es>
- <http://www.ecobiogas.es>
- <https://reciclajeverde.files.wordpress.com>
- <http://tecnoagrin.com>
- <http://www.ecoticias.com>





N-120

AP-71

LE-413

grupo **CARAC** 

Estudio sobre

ABASTECIMIENTO CENTRALIZADO DE CALOR Y ELECTRICIDAD
en el Polígono Industrial de Villadangos del Páramo (León)