



Universidad de Valladolid

ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

Departamento de Ingeniería Energética y Fluidomecánica

MÁSTER EN ENERGÍA: GENERACIÓN, GESTIÓN y USO EFICIENTE

TRABAJO FIN DE MÁSTER:

ESTUDIO DE UNA AMPLIACIÓN DEL DISTRICT HEATING POR BIOMASA EN LA ZONA NORTE DE CUÉLLAR

Presentado por: D. Diego J. Gozalo Ferreiro para optar al
Máster en Energía: Generación, Gestión y Uso Eficiente por la
Universidad de Valladolid

Tutelado por: D. Eloy Velasco Gómez

Agradecimientos

En primer lugar, me gustaría agradecer a mi tutor por la supervisión, paciencia y esfuerzo dedicado, así como a toda la comunidad educativa que a lo largo de estos dos años han inculcado en mí la pasión por la energía.

Y, en segundo lugar, dar las gracias al Ayuntamiento de Cuéllar, a la empresa Verduras Tabuena, a la Fundación Personas y a los vecinos de la comunidad de Valdihuertos, que sin su colaboración y ayuda no hubiera sido posible la realización de este Trabajo Fin de Máster.

No olvidarme de las personas que han estado día a día mostrándome su apoyo y motivación, familia, amigos y pareja, una parte de este proyecto también es suyo.

En definitiva, agradezco toda la ayuda ofrecida de manera desinteresada de las personas que me han acompañado en este camino, gracias a todos.



RESUMEN

Este Trabajo Fin de Máster pretende gestionar las soluciones energéticas correctas en tres instalaciones diferentes de la localidad segoviana de Cuéllar. Partiendo de la realización de un estudio previo de viabilidad económica y del conocimiento de la tecnología apropiada para la sustitución de los equipos actuales.

Una vez obtenido los resultados del estudio de viabilidad económica se ha procedido al desarrollo de la solución adoptada, un District Heating alimentado por biomasa, que suministrará la energía necesaria para abastecer de calefacción y ACS a dos de las instalaciones, la Fundación Personas y una comunidad de vecinos. La tercera, Verduras Tabuenca, no dispone de potencial de ahorro, quedando descartada cualquier tipo de actuación.

PALABRAS CLAVES

District Heating, red de calor, ingeniería energética, máquinas de absorción, biomasa.

ABSTRACT

This Master's Thesis aims to manage the right energy solutions in three different facilities of Cuéllar. Starting of the realization of a study prior of economic viability and knowledge of appropriate technology for the replacement of existing equipment.

A time retrieved them results of the study of viability economic is has proceeded to the development of the solution adopted, a District Heating powered by biomass, that will supply the energy required for supply of heating and ACS to two of them building, the Fundacion Personas and community of neighbours. The third, Verduras Tabuenca, has no savings potential, being ruled out any action.

KEY WORDS

District Heating, heating network, energy engineer, absorption machines, biomass.



ÍNDICE

| | |
|--|-----------|
| 1. Introducción | 1 |
| 2. Objetivos | 2 |
| 3. Marco Teórico | 2 |
| 3.1. <i>Biomasa</i> | 2 |
| 3.1.1. Introducción | 2 |
| 3.1.2. Legislación | 9 |
| 3.1.3. Conversión de la biomasa. Procesos termoquímicos | 11 |
| 3.1.4. Combustión para la generación térmica..... | 12 |
| 3.2. <i>Generación de frío</i> | 12 |
| 3.2.1. Compresión mecánica | 13 |
| 3.2.2. Máquina de absorción | 15 |
| 3.3. <i>District Heating</i> | 16 |
| 3.3.1. Concepto de District Heating..... | 16 |
| 3.3.2. Ventajas de los sistemas de calefacción centralizada | 17 |
| 3.3.3. Elementos y funcionamiento de una red de calefacción centralizada | 17 |
| 3.4. <i>Cámaras frigoríficas</i> | 18 |
| 3.4.1. Definición y tipos de cámaras | 18 |
| 3.4.2. Características de una cámara frigorífica..... | 18 |
| 3.4.3. Carga frigorífica | 20 |
| 4. Contextualización: Cuéllar..... | 26 |
| 5. Instalaciones y actuaciones | 27 |
| 5.1. <i>Instalación 1: Valdihuertos</i> | 27 |
| 5.2. <i>Instalación 2: Verduras Tabuenca</i> | 28 |
| 6. Estudio previo de viabilidad económica..... | 28 |
| 6.1. <i>Valdihuertos</i> | 28 |
| 6.2. <i>Verduras Tabuenca</i> | 31 |
| 7. Descripción de la Instalación | 32 |
| 7.1. <i>Instalación</i> | 32 |
| 7.1.1. Edificios demandantes | 32 |
| 7.1.2. Solución adoptada | 34 |
| 7.1.3. Biocombustible..... | 34 |
| 7.1.4. Edificio de generación y almacenamiento..... | 35 |
| 7.2. <i>Equipos</i> | 37 |
| 7.2.1. Sistema de llenado y descarga de silo | 37 |
| 7.2.2. Calderas y sistema de alimentación | 38 |



| | | |
|-------------------|--|-----------|
| 7.2.3. | Sistema de tratamiento de humos y cenizas | 39 |
| 7.3. | <i>Circuito hidráulico: Central y red de calor</i> | 40 |
| 7.3.1. | Cálculos de la red..... | 40 |
| 7.3.2. | Esquema de principio | 43 |
| 7.3.3. | Elementos de la red | 44 |
| 8. | Amortización económica | 51 |
| 8.1. | <i>Presupuesto</i> | 51 |
| 8.1.1. | Presupuesto para la unidad gestora..... | 51 |
| 8.1.2. | Presupuesto para los usuarios..... | 52 |
| 8.2. | <i>Precio de la energía</i> | 52 |
| 8.3. | <i>Retorno de la inversión</i> | 53 |
| 8.3.1. | Retorno de la inversión empresa gestora..... | 53 |
| 8.3.2. | Retorno de la inversión usuarios | 53 |
| 9. | Conclusiones..... | 54 |
| 10. | Bibliografía..... | 56 |
| ANEXO I. | Cálculos del estudio previo de viabilidad económica | 58 |
| 1. | <i>Valdihuertos</i> | 59 |
| a. | Comunidad de vecinos..... | 59 |
| b. | Centro Fundación Personas | 60 |
| c. | Reorganización de los ahorros | 62 |
| d. | Emisiones de CO ₂ | 63 |
| 2. | <i>Verduras Tabuenca</i> | 63 |
| ANEXO II. | Planos | 67 |
| ANEXO III. | Informe tipo del estudio de viabilidad económica..... | 78 |



Índice Tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Influencia de los componentes de la biomasa sobre alguna de las principales características | 4 |
| Tabla 2. Métodos utilizados para la caracterización de la biomasa | 5 |
| Tabla 3. Clasificación de la biomasa según su origen | 7 |
| Tabla 4. Clasificación de la biomasa según su naturaleza | 7 |
| Tabla 5. Clasificación de la biomasa según fines energéticos | 8 |
| Tabla 6. Legislación europea | 9 |
| Tabla 7. Legislación española | 10 |
| Tabla 8. Clasificación de las diferentes tecnologías de transformación termoquímicas para la biomasa | 11 |
| Tabla 9. Clasificación de los distintos niveles de aplicación de biomasa en generación térmica | 12 |
| Tabla 10. Descripción de un ciclo de refrigeración simple - Compresión mecánica | 14 |
| Tabla 11. Clasificación máquinas de absorción | 15 |
| Tabla 12. Funcionamiento de las máquinas de absorción. | 16 |
| Tabla 13. Tipos de cámaras frigoríficas | 18 |
| Tabla 14. Valores de T'(°C) en paredes expuestas al sol | 23 |
| Tabla 15. Renovaciones de aire diarias en una cámara | 24 |
| Tabla 16. Calor emitido por persona | 25 |
| Tabla 17. Consumo familias tipo 2015 – Comunidad de vecinos | 28 |
| Tabla 18. Consumo biomasa 2015 – Comunidad de vecinos | 29 |
| Tabla 19. Ahorro - Comunidad de vecinos | 29 |
| Tabla 20. Consumo gas natural 2015 – Centro Fundación Personas | 29 |
| Tabla 21. Consumo biomasa para calor 2015 – Fundación Personas | 30 |
| Tabla 22. Ahorro generación calor - Centro Fundación Personas | 30 |
| Tabla 23. Consumo electricidad 2015 – Fundación Personas | 30 |
| Tabla 24. Consumo biomasa para frío 2015 – Fundación Personas | 30 |
| Tabla 25. Ahorro generación frío – Fundación Personas | 30 |
| Tabla 26. Ahorros por concepto de la instalación de Valdihuertos | 30 |
| Tabla 27. Consumo electricidad 2015 – Tabuenca | 31 |
| Tabla 28. Consumo biomasa para frío 2015 – Tabuenca | 31 |
| Tabla 29. Ahorro generación frío – Tabuenca | 32 |
| Tabla 30. Descripción y distribución de la Comunidad de Vecinos “Valdihuertos” | 33 |
| Tabla 31. Descripción del Centro Fundación Personas | 33 |
| Tabla 32. Características biocombustible | 35 |
| Tabla 33. Características técnicas de las calderas | 39 |
| Tabla 34. Datos de la red de distribución | 42 |
| Tabla 35. Punto de funcionamiento grupo de bombeo | 43 |
| Tabla 36. Descripción salidas/entradas del colector | 43 |
| Tabla 37. Presupuesto unidad gestora | 51 |
| Tabla 38. Presupuesto usuarios | 52 |
| Tabla 39. Precios combustibles iniciales utilizados por los futuros usuarios | 52 |
| Tabla 40. Precio combustible central térmica | 52 |



Índice Ilustraciones

| | |
|---|-----------|
| <i>Ilustración 1. Esquema de un calorímetro utilizado para la obtención del PCS.....</i> | <i>6</i> |
| <i>Ilustración 2. Procesos termoquímicos de transformación energética de la biomasa</i> | <i>11</i> |
| <i>Ilustración 3. Ciclo frigorífico simple - Compresión mecánica</i> | <i>13</i> |
| <i>Ilustración 4. Elementos de un ciclo simple - Compresión mecánica</i> | <i>13</i> |
| <i>Ilustración 5. Esquema de una máquina de absorción tipo.....</i> | <i>16</i> |
| <i>Ilustración 6. Distribución de los edificios</i> | <i>36</i> |
| <i>Ilustración 7. Perfil de la instalación del silo</i> | <i>37</i> |
| <i>Ilustración 8. Detalle de la red de calor.....</i> | <i>41</i> |
| <i>Ilustración 9. Conexiones del colector</i> | <i>44</i> |
| <i>Ilustración 10. Curvas características de las bombas EBARA ELINE</i> | <i>45</i> |
| <i>Ilustración 11. Detalle de las tuberías de la red de calor.....</i> | <i>45</i> |
| <i>Ilustración 12. Detalles de los elementos de la red de calor</i> | <i>46</i> |
| <i>Ilustración 13. Esquema subestación de intercambio de energía</i> | <i>46</i> |
| <i>Ilustración 14. Subestación de intercambio</i> | <i>47</i> |
| <i>Ilustración 15. Válvula de equilibrado hidráulico STAF-SG.....</i> | <i>49</i> |
| <i>Ilustración 16. Vaso de expansión Ibaiondo</i> | <i>50</i> |



1. Introducción

El Trabajo Fin de Máster que presentamos a continuación aborda un proyecto de carácter energético aplicado al sector industrial, servicios y residencial, tomando como referencia instalaciones de la localidad segoviana de Cuéllar.

El punto de partida del presente proyecto es el dotar a las diferentes infraestructuras de soluciones energéticas actuales y novedosas, pudiéndose adaptar a la nueva mentalidad del siglo XXI, una sociedad que busca una generación de energía que sea limpia y respetuosa con el medioambiente.

A pesar de la variedad de las instalaciones que se muestran en el desarrollo del Trabajo Fin de Máster, todas ellas poseen algo que las liga, que las une, y son las necesidades energéticas, que dependiendo de cada núcleo provendrá de una fuente diferente.

Toda camino tiene un comienzo, y actualmente ese comienzo para los proyectos energéticos se basa en la realización de un estudio previo donde se recogerán los datos necesarios para la obtención del potencial económico disponible, siendo una de las principales cartas para la toma de decisiones.

Sustituir el gas propano y gas natural que utilizan los vecinos de la Comunidad de Valduhertos y la Fundación Personas, respectivamente, para obtener calefacción y agua caliente sanitaria (ACS), ha derivado en el dimensionamiento de una red de District Heating, que en los últimos años ha desarrollado una gran expansión en el territorio nacional.

Por otra parte, las necesidades de frío en la empresa Verduras Tabuena, junto con la climatización del edificio de la Fundación Personas, ha generado la búsqueda de alternativas a la energía eléctrica como principal fuente de energía en el campo de generación de refrigeración y climatización. La solución técnica pasa por la implantación de máquinas de absorción, que disponen de un importante desarrollo en Asia.

De esta forma, teniendo presente el comienzo y los pasos a seguir, se ha comenzado la elaboración del presente proyecto, teniendo en cuenta lo sinuoso que pudiera ser el camino, y adoptando las decisiones correctas que se pudieran presentar frente a situaciones imprevistas a lo largo del recorrido.

Finalmente, expondremos las conclusiones y consideraciones extraídas y una reflexión personal del trabajo.

2. Objetivos

Con la elaboración del presente Trabajo Fin de Máster nos hemos fijado una serie de objetivos, divididos en generales y específicos:

+ Generales:

- ✓ Aplicar los conocimientos adquiridos durante la formación del Máster en Energía: generación, gestión y uso eficiente, desarrollando como proyecto final del Máster una instalación energética de carácter centralizado, como es el dimensionamiento de un District Heating.
- ✓ Abordar la elaboración de un proyecto en donde intervengan todas las etapas del mismo.

+ Específicos:

- ✓ Dimensionar las instalaciones de District Heating para calefactar las diferentes edificaciones de la zona noreste de la Villa de Cuéllar.
- ✓ Gestionar de manera correcta los datos iniciales para realizar un estudio previo y obtener si la solución propuesta es económicamente viable.
- ✓ Afrontar y seleccionar las decisiones técnicas que pueden surgir a lo largo de la realización del presente proyecto.
- ✓ Analizar la viabilidad de producción de frío mediante máquinas de absorción, utilizando para el aporte de calor la red de distrito, para dotar de climatización o para abastecer la demanda de procesos industriales.

3. Marco Teórico

Para poder realizar el estudio de nuestro Trabajo Fin de Máster, es necesario conocer primeramente una base teórica de la que podamos partir. Esta fundamentación teórica está dividida en cuatro subapartados:

3.1. Biomasa

3.1.1. Introducción

Según la RAE (2014) la **biomasa** es la materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizado como fuente de energía.

En el entono de las energías renovables nos encontramos que el término biomasa toma dos denotaciones, una referida al recurso en sí, es decir a la materia prima, y la otra hace referencia a la energía que se genera con su utilización. Este punto en común es el que en ocasiones provoca confusión en la utilización del término.



La definición expuesta al comienzo del apartado hace referencia a la acepción de biomasa como materia prima. Dentro de este término se extiende la versatilidad de ser un conjunto muy heterogéneo, ya sea por su origen (vegetal, animal o microbiano) o naturaleza, ya que en este grupo se incluyen la materia orgánica de las aguas residuales, lodos de depuradora y la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos. Del concepto biomasa hay que excluir los combustibles fósiles y derivados, si bien tienen un origen biológico, estos fueron formados hace millones de años, es por ello que en algunos textos aparece el término “biomasa fósil” (Gutiérrez & San Miguel, 2015), de esta forma se hace referencia al origen de estos combustibles, diferenciándoles claramente de la parte característica que tiene el concepto de biomasa en la actualidad, el de ser renovable.

En referencia a la acepción energética, el concepto de “biomasa” se ha quedado para hacer referencia a una fuente de energía de carácter renovable que utiliza biocombustibles generados a partir de materias primas orgánicas de origen biológico reciente.

En el párrafo anterior se menciona que la biomasa es una energía renovable, esto se debe a que su contenido energético proviene de la energía solar fijada por los vegetales en el proceso de fotosíntesis, acumulándose en las moléculas orgánicas que la forman.

Otro concepto que aparece es el de **biocombustible**, los cuales se producen a partir de la biomasa para fines energéticos pudiéndose distinguir, por su estado físico, en biocombustibles sólidos, líquidos y gaseosos. Estos biocombustibles se combinan con el oxígeno formando procesos de combustión y liberando la energía que contienen en los enlaces químicos, obteniendo como productos finales dióxido de carbono y agua.

El uso energético de la biomasa se fundamenta en la estructura de los sistemas bioenergéticos, que se componen de cinco elementos: fuente, proceso, biocombustible, aplicaciones y sector de uso.

La energía que obtenemos de la biomasa viene de los elementos que la componen, y de todos estos se consideran que sólo unos 20 son bioelementos, encontrándose en mayor o menor proporción:

- Los seis elementos denominados macroelementos (C, H, O, N, P y S), constituyen el 96% de la biomasa en base seca. Dentro de estos seis elementos los más abundantes son el carbono y el oxígeno (del 43 al 48%), seguidos por el hidrógeno (del 5,5 al 6,5%) y por el nitrógeno (entre el 1,5 y 5%)
- Ca, Na, K, Cl, I, Mg y Fe son los otros siete elementos que también son esenciales pero de presencia muy inferior a los anteriores, constituyendo entre todos el 3,9% de la biomasa. Se encuentran

formando parte de sales o de moléculas específicas: Mg en la clorofila o Fe en la hemoglobina.

- Los ocho elementos esenciales restantes (Cu, Zn, Co, Mo, Ni, Se, Mn y Si) son considerados como oligoelementos o elementos traza, constituyendo el 0,1% de la biomasa.
- Otros elementos como Al, As, Ba, Cd, Cr, Hg, Pb, Sb, Ti, Tl, V y W se encuentran en la biomasa y aparecen en las cenizas en mayor o menor proporción, pero se desconoce su efecto en las actividades vitales.

Según sea el porcentaje de cada uno de los elementos constituyentes de la biomasa así serán sus características, la más importante, la energía que posee pero también determinará la influencia en la combustión, corrosión, afectación al medio ambiente y la formación de las cenizas, tal y como se indica en la siguiente tabla.

Tabla 1. Influencia de los componentes de la biomasa sobre alguna de las principales características

| Efecto | Elemento | Causa |
|------------------------------|----------|---|
| Combustión | C y H | Al oxidarse desprenden energía, produciendo CO ₂ y H ₂ O. |
| | O | Al actuar como comburente nos indica la cantidad de aire que es necesario y si la combustión es completa. |
| Corrosión y/o medio ambiente | Cl | Formación de dioxinas y cloro libre, ambos perjudiciales para el medio ambiente. Además, la formación de HCl en contacto con el vapor de agua causa corrosión en materiales férricos. |
| | N | Si se presentan las condiciones durante la combustión, se puede originar óxidos de nitrógeno (NO _x), gases que resultan ser muy nocivos para la salud. |
| | S | Durante la combustión, la oxidación de azufre generará óxidos de azufre (SO ₂) que en contacto con vapor de agua se transformara en ácido sulfúrico. Causando la corrosión de materiales férricos y al propagarse junto con las emisiones en el aire, será el causante de las lluvias ácidas. |
| Cenizas | Na y K | Influyen en la vitrificación de las cenizas, dependiendo de su proporción y temperatura de combustión. |
| | Ca y Mg | Neutralizan el efecto de Na y Ka a efectos de vitrificación. |

Una vez que conocemos los elementos que forman parte de la biomasa como materia prima, pero es necesario saber más sobre las características que presenta,

es por lo tanto que la caracterización tiene un papel fundamental a la hora de determinar las propiedades de los diferentes tipos de biomasa.

Los cuatro métodos o análisis utilizados a la hora de caracterizar la biomasa son:

Tabla 2. Métodos utilizados para la caracterización de la biomasa

| Análisis | Desarrollo |
|-----------------------------------|---|
| Análisis elemental | <p>Evaluamos la proporción de los principales elementos del tipo de biomasa a caracterizar, normalmente en base seca.</p> <p>El análisis nos proporcionará por lo tanto el contenido en carbono, oxígeno, nitrógeno, azufre e hidrógeno.</p> <p>Sabiendo la proporción de cada uno de los elementos anteriores, se estima, mediante fórmulas empíricas el poder calorífico de la biomasa.</p> |
| Análisis de componentes orgánicos | <p>Consiste en la obtención del contenido en principios inmediatos de la biomasa, es decir, en hidratos de carbono, proteínas, lípidos y elementos minerales de las cenizas. También referido en base seca.</p> |
| Análisis inmediato | <p>Una vez realizados los pertinentes ensayos este análisis nos permite determinar características fisiológicas de la biomasa tales como porcentaje de humedad, materia volátil, carbono fijo y cenizas. Solamente la primera de las propiedades se dará en base húmeda.</p> <p>Existe normativa europea (EN) y la correspondiente adaptación por la española (UNE) para cada tipo de determinación. Estas normas nos indican el proceso a seguir para obtener el parámetro que se requiera</p> |

Poder calorífico de la biomasa en el ámbito energético

Aparecen dos conceptos: poder calorífico superior (PCS) y poder calorífico inferior (PCI). Pueden estar referidos a biomasa seca o húmeda, en este último caso se suele reflejar la humedad de la biomasa. Ejp: PCS_h o PCI_h

- ❖ PCS representa la energía total que se desprende en la combustión completa y a volumen constante de 1 kg de biomasa. Se expresa en kJ/kg o kcal/kg.

Su determinación viene marcada según la norma UNE-EN 14918 de 2010, utilizando equipos llamados calorímetros (Ilustración 1).

Otra forma de obtener el PCS es a través de fórmulas empíricas utilizando las proporciones constituyentes de los elementos principales: carbono [C], hidrógeno [H] y oxígeno [O]

$$PCS (MJ/kg) = 0,3491 [C] + 1,1783 [H] - 0,1034 [O] \quad (1)$$

- ❖ PCI representa la energía que desprende en la combustión completa y a volumen constante 1 kg de biomasa, excluyendo la energía del agua contenida en la biomasa y que se evapora. De esta forma, para obtener el valor del PCI hay que restar al PCS el calor latente de evaporización del agua. Las siguientes expresiones constituyen dos formas de calcular el PCI.

- Para biocombustibles secos, [H] en g/kg:

$$PCI_0 = PCS_0 - 540 ([H] \cdot 9)/1000 \quad (\text{valores en kcal/kg}) \quad (2)$$

- Fórmula de Dulong utilizando el análisis elemental:

$$PCI_0 = 8,066 [C] + 33,91 ([H] - 1/8 [O]) + 2,222[S] + 556[N] \quad (3)$$

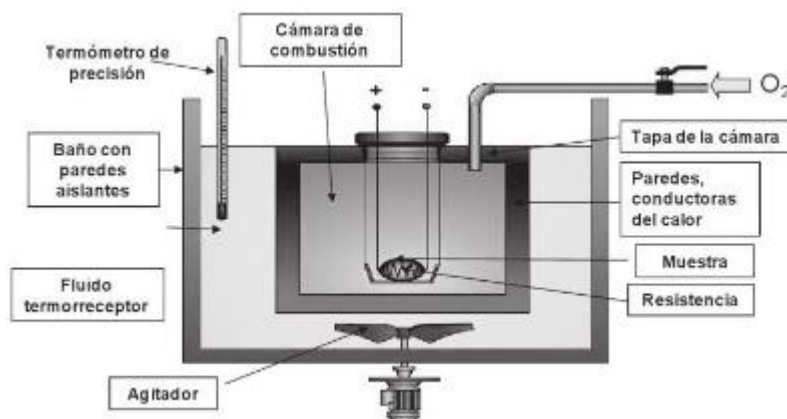


Ilustración 1. Esquema de un calorímetro utilizado para la obtención del PCS

Dado que ya conocemos de qué se compone y como se caracteriza, debemos conocer los distintos tipos de biomasa. A continuación se observan dos posibles clasificaciones, según el origen y la naturaleza de la biomasa.

Tabla 3. Clasificación de la biomasa según su origen

| | | |
|--------|--------------------|--|
| Origen | Biomasa primaria | Abarca toda la materia orgánica formada directamente por los seres fotosintéticos. Se incluye la toda la biomasa vegetal comprendiendo los residuos agrícolas y forestales |
| | Biomasa secundaria | Generada por los seres heterótrofos que utilizan en su nutrición la biomasa primaria, este tipo de biomasa implica una transformación biológica de la biomasa primaria para formar una nuevo tipo de biomasa de naturaleza distinta a la inicial |
| | Biomasa terciaria | Producida por los seres humanos que se alimentan de biomasa secundaria |

Tabla 4. Clasificación de la biomasa según su naturaleza

| | | | | |
|------------|---|--|---------------------------|---|
| Naturaleza | Vegetal: Se caracteriza por la composición, ya que está formada en su mayoría por hidratos de carbono y en menor proporción por lípidos y compuestos nitrogenados. | Según se encuentren los compuestos fundamentales | Biomasa lignocelulosa | Predominan las holocelulosas y la lignina. Ejp: Paja o madera. |
| | | | Biomasa amilácea | Predominan los hidratos de carbono encontrándose en forma de polisacáridos de reserva. Ejp: cereales o patatas. |
| | | | Biomasa azucarada | El principal componente hidrocarbonado está constituido por azúcares. Ejp: remolacha. |
| | | Según el contenido en agua | Biomasa seca | Menor o igual a 13% de humedad. |
| | | | Biomasa semiseca o fresca | Mayor a 13% de humedad. |
| | | Otras clasificaciones | Biomasa oleaginosas | Contienen abundante cantidad de aceite. |
| | Animal | La composición de los elementos es totalmente diferente a la de la biomasa vegetal, habiendo una disminución de contenido de hidratos de carbono y un aumento en el contenido proteico y lipídico. | | |

Con un carácter más específico y centrándonos más en el ámbito que estamos tratando, se puede realizar otra organización de la biomasa atendiendo a sus fines energéticos.

Tabla 5. Clasificación de la biomasa según fines energéticos

| Tipo | Descripción | | | | |
|---|--|----------|----------------|---|--|
| Biomasa natural | <p>Se trata de la biomasa que se genera de forma espontánea en tierras no cultivadas, es la biomasa que tradicionalmente el ser humano ha utilizado, comúnmente denominada “leña”.</p> <p>A primera vista, no se trataría de la biomasa más idónea para su utilización como recurso energético, ya que puede tender a la aparición de desertización por causa de su utilización masiva.</p> <p>Mayoritariamente su uso se restringe para que dicho problema no aparezca, de esta forma se toman medidas como la formación de reservas biológicas naturales o aprovechamiento de restos de podas, aclareos y partes muertas, que además ayudarían a mantener el ecosistema en equilibrio.</p> <p>Los principales consumidores de este tipo de biomasa son los pueblos en vías de desarrollo, que tendrá en su desarrollo demográfico un hándicap a la hora de regular la utilización del recurso.</p> | | | | |
| Biomasa residual | <p>Se trata de la biomasa que se genera de los procesos que consumen biomasa. Este tipo se da en explotaciones agrícolas, forestales o ganaderas, o los residuos de origen orgánico generados en las industrias y en los núcleos urbanos.</p> <p>A la hora de utilizar este tipo de biomasa existe cierta controversia porque ofrece perspectivas atrayentes aunque limitadas. Es a nivel local cuando su uso puede hacer autosuficiente a las instalaciones ya aprovechan sus propios residuos.</p> <table border="1" data-bbox="347 1122 1375 1514"> <thead> <tr> <th data-bbox="347 1122 884 1173">Ventajas</th> <th data-bbox="884 1122 1375 1173">Inconvenientes</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="347 1173 884 1514"> <ul style="list-style-type: none"> ❖ Reducción de contaminación y deterioro del medio ambiente. ❖ Costes de producción reducidos. ❖ Reducción del espacio de almacenaje de los residuos. ❖ Gastos de transportes reducidos, si la zona de almacenamiento es encuentra </td> <td data-bbox="884 1173 1375 1514"> <ul style="list-style-type: none"> ❖ Pasan de ser residuos a materia prima, entrando en un mercado competitivo. ❖ La aparición de otros usos generan inseguridad en el abastecimiento. ❖ Precio inseguro. </td> </tr> </tbody> </table> | Ventajas | Inconvenientes | <ul style="list-style-type: none"> ❖ Reducción de contaminación y deterioro del medio ambiente. ❖ Costes de producción reducidos. ❖ Reducción del espacio de almacenaje de los residuos. ❖ Gastos de transportes reducidos, si la zona de almacenamiento es encuentra | <ul style="list-style-type: none"> ❖ Pasan de ser residuos a materia prima, entrando en un mercado competitivo. ❖ La aparición de otros usos generan inseguridad en el abastecimiento. ❖ Precio inseguro. |
| Ventajas | Inconvenientes | | | | |
| <ul style="list-style-type: none"> ❖ Reducción de contaminación y deterioro del medio ambiente. ❖ Costes de producción reducidos. ❖ Reducción del espacio de almacenaje de los residuos. ❖ Gastos de transportes reducidos, si la zona de almacenamiento es encuentra | <ul style="list-style-type: none"> ❖ Pasan de ser residuos a materia prima, entrando en un mercado competitivo. ❖ La aparición de otros usos generan inseguridad en el abastecimiento. ❖ Precio inseguro. | | | | |
| Excedente de cosechas agrícolas | <p>Se trata del aprovechamiento de los excedentes de las cosechas agrícolas como combustibles o carburantes, tras su debida transformación.</p> <p>Al tratarse de un excedente de producción, el aprovechamiento energético de estos no presentan un precio competitivo respecto a los combustibles que quieren sustituir, es por ello, que si no es por la presión que ejerce el colectivo y las correspondientes subvenciones públicas el sector no sería económicamente viable.</p> | | | | |

Se trata de cultivos cuyo rendimiento económico viene dado por su exclusivo aprovechamiento energético en combustibles, y no de su uso tradicional. Este tipo de biomasa ya es realidad en algunos países:

- ❖ Brasil – Caña de azúcar
- ❖ Estados Unidos – Maíz
- ❖ Europa con la PAC (Política Agrícola Común) – Colza

Siendo creciente esta nueva forma de aprovechamiento de cultivos, cabe esperar una reorganización que tenderá hacia la producción de energía, siendo a corto plazo la producción de biomasa lignocelulosa la más prometedora.

Este tipo de cultivos deben de presentar las siguientes características:

- ❖ Alta productividad en biomasa con bajos costes de producción
- ❖ Posibilidad de desarrollo en tierras marginales o agrícolas no utilizadas por cultivos alimentarios
- ❖ Requerimiento de maquinaria convencional, no suponiendo una inversión extra
- ❖ No contribuir con la degradación del medio ambiente
- ❖ Disponer de un balance energético positivo
- ❖ Recuperación de las tierras de cultivo tras la finalización de la explotación energética

Según su utilización final, alguna de las especies más comunes son:

- ❖ Combustible: eucaliptos, acacias, chopos, cardo y tabaco arbóreo.
- ❖ Biocarburantes: girasol, colza, cereales, remolacha, caña de azúcar, pataca y sorgo azucarero.

3.1.2. Legislación

La actual evolución de los mercados y usos de la biomasa, sumado a asuntos medioambientales han generado que las instituciones elaboren una legislación para controlar esta creciente industria. Distinguiremos entre normativa a nivel europeo para centrarnos posteriormente en las medidas tomadas a nivel nacional.

Europa:

Tabla 6. Legislación europea

| Legislación | Año | Objetivo |
|---|------|---|
| Paquete de Energía y Cambio Climático y Directiva Europea de Renovables | 2008 | Generar en el año 2020 que el 20% del consumo final de la energía sea de origen renovable y que el 10% de los combustibles utilizados para transporte sean de fuentes renovables. |
| Directiva de Comercio de Emisiones | 2003 | Reducción de emisiones. |
| Política Agraria Común (PAC) | | Determinar la disponibilidad, tipos y costes de la materia prima destinada a biomasa para la generación de energía. |

| | | |
|--|------|--|
| Plan de Acción de la Biomasa (PAB) | 2005 | Triple objetivo: ❖ Mejorar la competitividad ❖ Promover el desarrollo sostenible ❖ Incrementar la seguridad de suministro 32 actividades para promover el mercado y creación de PABs nacionales. |
| Política Agraria Común (PAC) | | Determinar la disponibilidad, tipos y costes de la materia prima destinada a biomasa para la generación de energía. |
| Directiva sobre la promoción de biocarburantes | 2003 | Biocarburantes vendido con respecto a los combustibles tradicionales (gasolina y gasóleo). |
| Directiva sobre la imposición de productos energéticos | 2003 | Permite a los estados miembros aplicar una tasa reducida en la imposición a los biocarburantes. Está en modificación. |
| Directiva de Calidad de los Combustibles | 2009 | Permitir mayores mezclas de biocarburantes en gasolinas y gasóleos. |
| SET Plan | | Fomento y desarrollo de tecnologías energéticas bajas en carbono. |

España:

Tabla 7. Legislación española

| Legislación | Año | Objetivo |
|--|------|---|
| Plan Nacional de Acción en Energías Renovables (PANER) | 2010 | Fija objetivos específicos para cada sector renovable, estableciendo las bases para la coordinación con otras planificaciones estatales que afectan al desarrollo de las energías renovables. |

Siendo más específicos al ámbito que nos atrae, para la biomasa de uso térmico existen dos vías de promoción fundamentadas en ayudas financieras:

- *Ayudas a la inversión*: las cuantías son establecidas por la Administración General del Estado y aplicados mediante convenios con las Comunidades Autónomas que son las que finalmente gestionan dichos fondos.
- *Programas de financiación*: existen distintos programas de financiación de proyectos de energías renovables térmicas, dependiendo del concepto que se siga: financiación incluyendo subvención, financiación a través de ICO o financiaciones específicas por instalación a través del IDEA bajo conceptos como la financiación por terceros o con asesoramiento técnico. Otra forma de financiación, esta vez como

experiencia piloto, consiste en financiar las instalaciones a través de Empresas de Servicios Energéticos (ESEs), iniciándose en el 2009.

- *Sistema de Incentivos al Calor Renovable (ICAREN)*. Consiste en un sistema de apoyo directo a la producción siendo específico para proyectos desarrollados a través de ESEs encargadas de producir energía para un consumidor final.

3.1.3. Conversión de la biomasa. Procesos termoquímicos

Dependiendo del tipo de biomasa, se utilizarán distintas técnicas para su transformación en energía. Nosotros nos vamos a centrar en los procesos termoquímicos que son procesos de conversión a elevadas temperaturas que se aplican fundamentalmente a la biomasa lignocelulósica seca primaria o residual.

Tabla 8. Clasificación de las diferentes tecnologías de transformación termoquímicas para la biomasa

| Tipo | Definición |
|--------------|---|
| Combustión | Reacción de oxidación de los componentes de la biomasa a alta temperatura y en presencia de una cantidad de oxígeno suficiente para producir la oxidación total de los componentes de la biomasa, de la que se obtiene energía en forma de calor y dióxido de carbono, agua y cenizas como productos de reacción. |
| Pirolisis | Se realiza en ausencia de oxígeno y dependiendo de la temperatura y tiempo de proceso rinde como productos principales carbón vegetal o líquidos de pirolisis en los procesos rápidos. |
| Gasificación | Se lleva a cabo como la combustión, a altas temperaturas, en presencia de pequeñas cantidades de oxígeno, generalmente utilizando aire como agente gasificante y el producto principal es el gas de gasificación, compuesto fundamentalmente por monóxido de carbono e hidrógeno. |

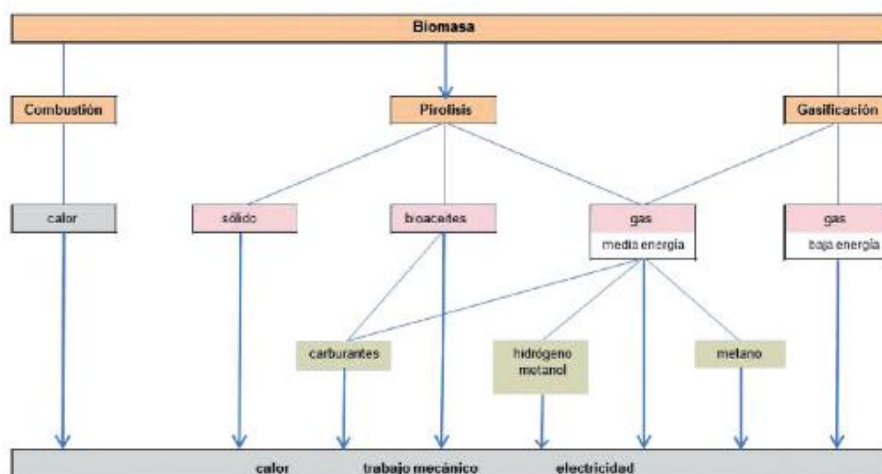


Ilustración 2. Procesos termoquímicos de transformación energética de la biomasa

3.1.4. Combustión para la generación térmica

Una de las partes más importantes dentro del sector de la biomasa, es su aplicación térmica para la producción de calefacción y Agua Caliente Sanitaria (posteriormente lo denominaremos ACS). A continuación, veremos los tres niveles de aplicación y sus características más importantes:

Tabla 9. Clasificación de los distintos niveles de aplicación de biomasa en generación térmica

| Nivel de aplicación | Tamaño | Características |
|---------------------------|---|--|
| Aplicaciones domésticas | Pequeña escala (vivienda unifamiliar) | <ul style="list-style-type: none">❖ Combustible tipo pellets: alta densidad energética, fácil de transportar, de manejar, humedad controlada.❖ Tecnología busca la máxima eficiencia y minimizar las emisiones. |
| Calefacción centralizada | Mediana escala (bloque de viviendas, district heating pequeños,...) | <ul style="list-style-type: none">❖ Eficiente por la tipología de la instalación.❖ Utiliza combustible con precios competitivos. |
| Aplicaciones industriales | Gran escala (district heating varios km, suministro industrial,...) | <ul style="list-style-type: none">❖ Para potencias de más de 100 kW.❖ Hornos de distintas tecnologías: lecho fijo, lecho fluidizado y biomasa pulverizada. |

3.2. Generación de frío

Los sistemas de generación de frío se basan en ciclos termodinámicos o procesos físicos, en los que de modo continuo tiene lugar un transporte de energía térmica entre dos focos, uno de baja temperatura y otro de alta temperatura.

En todo proceso práctico de producción de frío hay que tener presente dos aspectos como son: el fluido térmico y la tecnología.

- El **fluido**, denominado refrigerante, el cual sufre transformaciones termodinámicas controladas a lo largo de un determinado ciclo de funcionamiento. Cada refrigerante tiene un comportamiento definido y diferente del resto. Así pues, cada refrigerante posee su diagrama termodinámico que nos relaciona las variables físicas que intervienen en un ciclo frigorífico, como son la presión, temperatura y entalpía.
- La **tecnología** corresponde con los métodos a través de los cuales aplicamos los fundamentos para poder obtener frío. Actualmente la tecnología con más uso es la basada en la compresión mecánica utilizando energía eléctrica como fuente principal, aunque debido al

aprovechamiento de energías residuales, aparece otra tecnología, la máquina de absorción.

A continuación se explicaran con más detalle ambas tecnologías.

3.2.1. Compresión mecánica

Esta tecnología presenta el siguiente diagrama característico, donde se pueden diferenciar cuatro procesos:

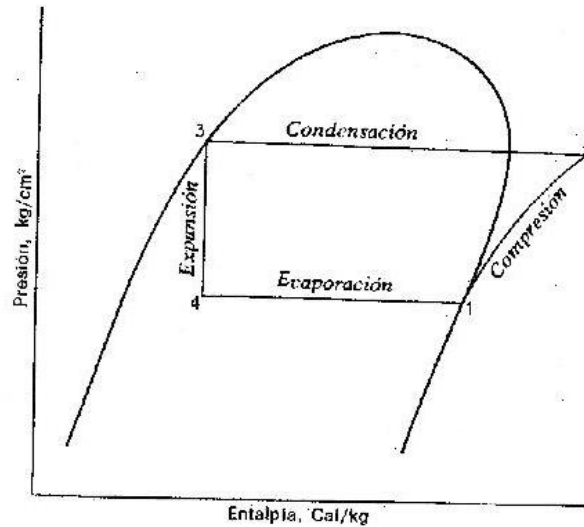


Ilustración 3. Ciclo frigorífico simple - Compresión mecánica

Para llevar a cabo este ciclo de compresión del vapor, son necesarios cuatro elementos:

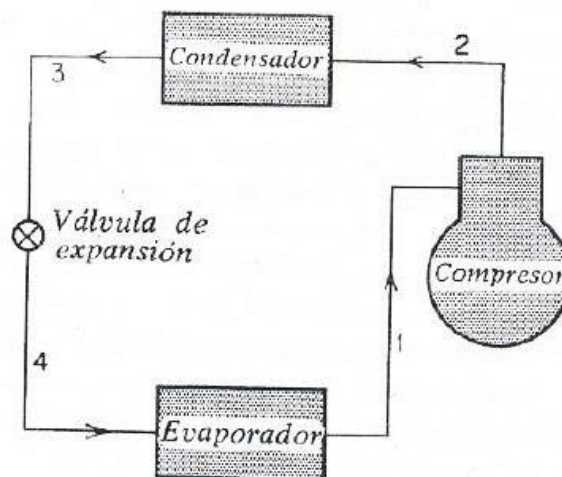


Ilustración 4. Elementos de un ciclo simple - Compresión mecánica

Tabla 10. Descripción de un ciclo de refrigeración simple - Compresión mecánica

| Proceso | Cond. ideal | Elementos | Función | Parámetro |
|-------------------------|--------------------|----------------------|--|-----------------------|
| 1-2 Compresión | Adiabática | Compresor | Comprimir el fluido refrigerante desde vapor saturado a baja temperatura y presión, adquiriendo un estado de mayor presión y entalpía. Esto se lleva a cabo a través del trabajo que aporta un elemento motriz al compresor. | Trabajo de compresión |
| 2-3 Cesión de calor | Presión constante | Condensador | Enfriar el refrigerante llevándolo desde vapor sobrecalentado hasta líquido saturado. Durante este proceso, se extrae una cantidad de calor. | Calor cedido |
| 3-4 Expansión | Entalpía constante | Válvula de expansión | Expansionar y enfriar el líquido hasta baja presión, conservando su contenido total de calor, para llegar al estado de vapor húmedo a baja presión. | |
| 4-1 Adición de calor | Presión constante | Evaporador | Calentar el refrigerante llevándolo desde mezcla vapor-líquido saturado hasta vapor saturado. La energía necesaria para calentar el refrigerante es obtenida del medio a refrigerar. | Calor absorbido |

A la eficiencia de los sistemas de compresión, tanto si se utilizan como máquinas frigoríficas como bombas de calor, se denomina COP. Se llama COP o Coeficiente de Prestaciones (Coefficient of Performance) del ciclo de una máquina frigorífica a la relación entre la potencia frigorífica desarrollada por la máquina y la potencia que consume. Y viene dada por la siguiente expresión:

$$COP_{REF} = \frac{\text{Efecto útil}}{\text{Trabajo aportado}} = \frac{\dot{Q}_F}{\dot{W}} = \frac{\dot{Q}_F}{\dot{Q}_C - \dot{Q}_F} \quad (4)$$

Si nos fijamos en el ciclo frigorífico simple de la ilustración 3, la expresión quedaría:

$$COP_{REF} = \frac{\dot{Q}_F}{\dot{W}} = \frac{\dot{m}_{ref}(h_4 - h_1)}{\dot{m}_{ref}(h_2 - h_1)} = \frac{h_4 - h_1}{h_2 - h_1} \quad (5)$$

3.2.2. Máquina de absorción

Otra de las tecnologías que actualmente se encuentra cada día con más adeptos, es la **absorción**. Esto es debido a que su utilización esté ligada con el aporte de energía calorífica a través de fuentes de energía renovable o el aprovechamiento de energías residuales.

En este tipo de máquinas, se suprime el proceso de compresión, sustituyéndolo por una disolución de refrigerante y absorbente, que dependiendo del nivel térmico que se requiera en el evaporador, la mezcla anterior será H₂O-BrLi para climatización y, NH₃-H₂O para refrigeración.

Como hemos mencionado antes, existen dos tipos de máquinas de absorción según la aplicación:

Tabla 11. Clasificación máquinas de absorción

| Tipo | Refrigerante | Absorbente | Aplicación | Parámetros a conocer |
|-----------------------------------|------------------|------------------|--|---|
| NH ₃ -H ₂ O | NH ₃ | H ₂ O | Se utiliza para la refrigeración (temperaturas < 0 °C) | <ul style="list-style-type: none"> ❖ Potencia de instalación ❖ Temperatura del generador ❖ Presión del generador |
| H ₂ O-LiBr | H ₂ O | NH ₃ | Se utiliza para la climatización (temperaturas > 0 °C) | <ul style="list-style-type: none"> ❖ Temperatura del absorbedor ❖ Presión del absorbedor |

En la **máquina de absorción** tipo consta de los siguientes **elementos**: absorbedor, generador, condensador y evaporador; estos dos últimos cumplen la misma función que se ha descrito para un ciclo de compresión mecánica. Mientras que los dos elementos nuevos son los sustituyentes del compresor. En el absorbedor, el refrigerante es absorbido por la disolución, siendo bombeada hasta el generador, donde se le aportará calor para que el refrigerante se convierta en vapor y complete el ciclo frigorífico recorriendo el condensador, válvula de expansión y el evaporador. Por otra parte, una vez que el refrigerante pase al condensador, el absorbente volverá al absorbedor donde comenzará otra vez el ciclo.

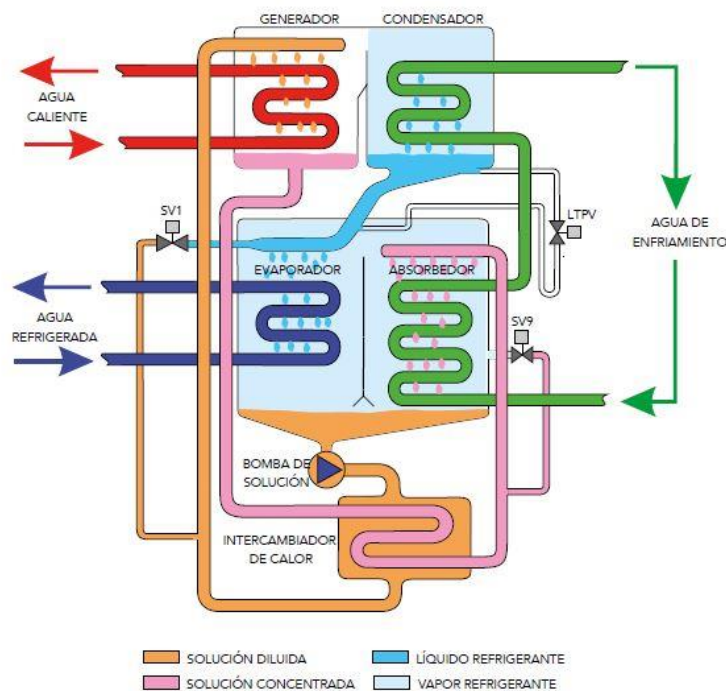


Ilustración 5. Esquema de una máquina de absorción tipo

Encontramos dos **tipos de funcionamiento** de las máquinas de absorción: simple efecto y doble efecto.

Tabla 12. Funcionamiento de las máquinas de absorción.

| | |
|---------------|---|
| Simple efecto | Consta de los elementos básicos: absorbedor, generador, condensador y evaporador. |
| Doble efecto | Consta de un generador y un condensador más que la configuración simple. El calor extraído del condensador de alta presión se utiliza en el generador de menor presión, y por lo tanto, menor temperatura. Tiene un mayor coste pero, a la vez, un mayor rendimiento. |

3.3. District Heating

3.3.1. Concepto de District Heating

District Heating, o lo que es lo mismo, una red de calefacción centralizada, es un sistema dedicado al suministro de calefacción y agua caliente a distintos edificios a partir de una planta central. El calor producido en dicha planta se entrega a los usuarios para el consumo mediante un sistema de doble tubería.

Es decir, es una tecnología que permite mejorar la eficiencia de los sistemas de calefacción y ACS, lo que se traduce en menores emisiones y menor coste por unidad de energía.



3.3.2. Ventajas de los sistemas de calefacción centralizada

Las ventajas más importantes de un District Heating son:

- Los sistemas de calefacción centralizada reducen el coste económico a los usuarios.
- El suministro de energía a los usuarios es directo, es decir, no tiene que manipular ni almacenar combustibles, mejorando la seguridad de los propios usuarios.
- No es necesaria la supervisión ni la recarga periódica de las calderas.
- Se evitan los problemas asociados a la falta de rendimiento en calderas antiguas o la necesidad de controlar la calidad y cantidad de los suministros.
- Los usuarios pueden seguir manteniendo sus instalaciones convencionales anteriores, pudiendo utilizarlas en cualquier momento.

3.3.3. Elementos y funcionamiento de una red de calefacción centralizada

Los principales equipos o elementos de los que consta un District Heating son:

- La **central térmica**: es el centro de generación de energía de la red de calor. Se ubican las calderas, sistemas de bombeo, de control, de tratamientos de humos, etc. También puede localizarse en el propio edificio, o anexo a él, el centro de almacenamiento de combustible.
- Las **redes de distribución**: formada por tuberías y diferentes elementos que forman la columna vertebral del District Heating, haciendo posible el transporte de la energía generada en la central térmica hasta los usuarios. La red de distribución consta de dos tuberías, una de impulsión y otra de retorno, debidamente aisladas para evitar pérdidas en el transporte.
- Las **centrales de intercambio**: es el último eslabón de la cadena de transporte de energía, uniendo dicha energía, la red con los consumidores finales. Serán las encargadas de dar la orden de generación a las calderas en función de la demanda que requieran. Están formadas por un intercambiador, que entregará la energía de la red al usuario final, un sistema de control, un contador de energía y una bomba en el secundario del intercambiador.

En cuanto al funcionamiento del District Heating, la central térmica utiliza como combustible biomasa forestal, es decir, cortezas o maderas no utilizables para otras aplicaciones, que se introduce en los hogares mediante sistemas automáticos controlados según los requerimientos de cada momento.

La central térmica está provista de uno o varios equipos generadores, y dispone de elementos de control, sistemas de depuración de humos, etc. Desde la caldera, y mediante un grupo de bombas, se introduce el agua caliente en la red a una temperatura de 85-90 °C.

La red de distribución hará llegar la energía a las centrales de intercambio que la demandan, cediendo energía a la red de la instalación y retornando el agua a menor temperatura, entre 70-65 °C.

Una vez que el agua de retorno llega a la central vuelve a pasar por los equipos generadores alcanzando nuevamente su nivel térmico y siendo impulsada a través de la red de distribución, completando el circuito.

3.4. Cámaras frigoríficas

3.4.1. Definición y tipos de cámaras

Las **cámaras frigoríficas** son espacios, ya sean de obra o prefabricado, que se destinan a la conservación de productos a temperatura inferior a la ambiental.

Se pueden distinguir diferentes tipos de cámaras dependiendo del parámetro en el que nos fijemos, de esta forma, las clasificaciones principales son:

Tabla 13. Tipos de cámaras frigoríficas

| Según | Tipo |
|--------------|----------------------|
| Uso | Conservación |
| | Congelación |
| Aplicación | Domésticas |
| | Comerciales |
| | Industriales |
| Construcción | Muebles frigoríficos |
| | Cámaras de obra |

3.4.2. Características de una cámara frigorífica

Independientemente del tamaño, utilización o temperatura que haya en el espacio interior, la diversidad de productos que pueden albergar es importante, pero siempre, presentarán dos características comunes en todas ellas: el equipo generador de frío y el aislamiento de la cámara.

La primera característica ya se ha explicado en el apartado 3.2, y tiene la misión de evacuar el calor, por lo tanto, generar frío para que los productos alcancen la temperatura deseada.

En cuanto al aislamiento, este posee la misión de reducir al máximo las pérdidas de frío a través de los elementos que constituyen la frontera entre el ambiente interior y exterior, haciendo que la cámara sea lo más adiabática posible y

poder mantener las condiciones interiores más estables. La importancia del aislamiento es mayor a medida que la temperatura interior es inferior, y con ello, las protecciones frente a la entrada de vapor de agua, causante de la aparición de hielo o escarcha. De esta forma, a la hora de aislar una cámara hay que tener en cuenta las siguientes consideraciones:

Barrera antivapor

Debido a la diferencia de condiciones entre el interior y exterior de la cámara, existe la tendencia a que entre vapor de agua, que condensará y formará hielo, poniendo en peligro las características del propio aislamiento. La forma de evitar que entre a la cámara este vapor de agua, es la instalación de barreras por la parte caliente del aislante, es decir la parte exterior.

Las barreras antivapor más comunes son láminas de acero, de aluminio o polietileno.

Materiales aislantes

Que un aislante sea más o menos eficiente que otro dependerá de su naturaleza, densidad, espesor y forma en que se aplique, además de las características básicas de los materiales aislantes: conductividad térmica, capacidad de barrera antivapor, estabilidad dimensional, resistencia mecánica y comportamiento frente al fuego.

El uso más común en la actualidad es de emplear placas integrales, comúnmente denominadas “paneles sándwich”, aunque también se utiliza fibra de vidrio, poliestireno expandido o extruido, lana mineral y poliuretano.

Espesor del aislamiento

A la hora de obtener el espesor necesario del aislamiento hay que tener en cuenta una serie de factores:

- Temperaturas previstas, tanto exteriores como interiores.
- Conductividad del aislante que se va a emplear.
- Máximas pérdidas admisibles.

Para calcular el espesor necesario se parte del flujo de calor a través de una superficie plana:

$$q = K(T_e - T_i) \quad (6)$$

donde: q es el flujo de calor en W

K es el coeficiente global de transmisión en W/(m²K)

T_e, T_i son las temperaturas exterior e interior en K

A su vez, el coeficiente global viene determinado por:

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{h_i} + \sum \frac{e_i}{k_i} + \frac{1}{h_e} \quad (7)$$

donde: h_i es el coeficiente de convección interior en $W/(m^2K)$
 e_i es el espesor de las distintas capas de pared en metros
 k_i son las conductividades de cada capa en W/mK
 h_e es el coeficiente de convección exterior en $W/(m^2K)$

Si se simplifica la expresión anterior, y se desprecian los términos convectivos, se pasa a sólo tener en cuenta la resistencia del aislante:

$$\frac{1}{K} = \frac{e}{k} \quad (8)$$

Que si lo sustituimos en la ecuación del flujo de calor y posteriormente despejamos, se obtiene:

$$q = \frac{k}{e}(T_e - T_i) \quad (9)$$

$$e = \frac{k(T_e - T_i)}{q} \quad (10)$$

Donde ya todos los términos son conocidos, y por lo tanto, se conoce el espesor del aislante.

3.4.3. Carga frigorífica

La carga frigorífica es el calor que se debe de extraer de la cámara para mantener la temperatura interior de diseño. El calor a evacuar de la cámara coincide con el que entra en ella, generalmente proviene de los productos a enfriar, y el que se genera dentro de la cámara.

Con las consideraciones expuestas podremos fragmentar en dos términos la carga frigorífica que se deberá de generar, por un lado la partida destinada al enfriamiento del producto (Q_u) y por otro, la partida destinada a compensación de pérdidas (Q_p).

$$Q_t = Q_u + Q_p \quad (11)$$

A su vez, estas partidas se subdividen en otros términos, facilitando el cálculo de la carga frigorífica requerida.

Partidas destinada a enfriar el producto (Q_u)

- **Almacenamiento de la mercancía (Q_{u1})**

Se contempla el enfriamiento del producto desde la temperatura de entrada en la cámara, hasta la temperatura final. Hay que distinguir entre conservación y congelación, ya que en el segundo caso, hay que tener en cuenta ciertas consideraciones.

- **Conservación:** esta partida contempla el enfriamiento del producto desde la temperatura de entrada hasta una temperatura final, que estará por encima del punto de congelación, aplicándose la siguiente expresión:

$$Q_{u1} = c_p m (T_e - T_f) \quad (12)$$

donde c_p es el calor específico por encima del punto de congelación del producto, expresado en kJ/kgK. Se puede obtener a través de tablas o aplicado la siguiente expresión, siendo a el porcentaje de agua contenido en el producto.

$$c_p = 0,0355 a + 0,837 \quad (13)$$

m es la masa de producto que hay que enfriar en kg

T_e, T_f son las temperaturas de entrada y final del producto en °C

- Congelación: esta partida contempla tres etapas de enfriamiento:
 - Enfriamiento desde la temperatura de entrada hasta la temperatura de congelación. Donde T_c la temperatura de congelación y los demás parámetros son los mismos de la expresión (7).

$$Q_{u11} = c_p m (T_e - T_c) \quad (14)$$

- Congelación. Al tratarse de un cambio de estado, se realiza a una temperatura constante. En la siguiente expresión, λ es el calor latente de congelación del producto en kJ/kg.

$$Q_{u12} = \lambda m \quad (15)$$

Este parámetro λ se puede obtener a través de tablas o aplicando la siguiente expresión:

$$\lambda = 3,335 a \quad (16)$$

- Enfriamiento desde la temperatura de congelación hasta la temperatura final.

$$Q_{u13} = c_p m (T_c - T_f) \quad (17)$$

Siendo el c_p es el calor específico por debajo del punto de congelación, obtenido a través de tablas o por la siguiente expresión:

$$c_p = 0,0126 a + 0,837 \quad (18)$$

De esta forma, la partida de enfriamiento en caso de que la cámara sea de congelación quedaría de la siguiente forma:

$$Q_{u1} = Q_{u11} + Q_{u12} + Q_{u13} \quad (19)$$

- **Calor desprendido por productos (Q_{u2})**

Ciertos productos continúan con su proceso metabólico o sufrir alguna reacción química dentro de las cámaras frigoríficas, generando un calor adicional que deberá de ser evacuado. Para obtener el valor de esta partida, hay que aplicar la siguiente expresión:

$$Q_{u2} = L m \quad (20)$$

Siendo L un parámetro asociado al producto y a la actividad del mismo dentro de la cámara en kJ/kg.

- **Enfriamiento del embalaje (Q_{u3})**

A parte del producto, este es introducido en la cámara junto a su envoltorio o embalaje, el cual también hay que enfriar hasta la temperatura de consiga. En ocasiones, el soporte donde se encuentra el embalaje constituye una parte importante de la mercancía, como puede ser en el caso de almacenar productos en envases.

La expresión para calcular esta partida es:

$$Q_{u3} = c_{p_e} m_e (T_e - T_f) \quad (21)$$

donde c_{p_e} es el calor específico del material o del embalaje en kJ/kgK

m_e es la masa del embalaje en kg

De esta forma, la partida correspondiente a enfriar el producto quedaría definida de la siguiente forma:

$$Q_u = Q_{u1} + Q_{u2} + Q_{u3} \quad (22)$$

Partidas destinadas a compensación de pérdidas (Q_p)

- **Aportaciones de calor a través de las paredes (Q_{p1})**

A través de los límites de la cámara, paredes, techo y suelo, existe una entrada de calor del exterior hacia el interior, que se puede minimizar con la utilización de aislante en toda la superficie interior del espacio frío.

Para obtener el valor de esta partida habrá que obtener el valor de cada superficie por separado, y sumarlas después.

La energía necesaria para compensar esta pérdida vendrá dada por la expresión de transferencia de calor en el caso de transmisión a través de una placa:

$$Q_{p1} = A K (T_e - T_i + T') \quad (23)$$

donde A es el área exterior de la pared en m^2

K es el coeficiente global de transmisión en W/m^2K

T_e y T_i son las temperaturas exterior e interior en $^{\circ}C$

T' es un suplemento de temperatura de la pared en $^{\circ}C$

El coeficiente global de transmisión se ha explicado en el apartado 3.4.2, y se obtiene aplicando la ecuación (2), aunque en la práctica se reduce a la utilización de la expresión (3). Donde el término más conflictivo puede ser el espesor del aislamiento, en ese caso, se utilizaría la ecuación (5).

Por otro lado, el suplemento de temperatura T' compensa el efecto del sol en las paredes, ya que dependiendo de la orientación hace que una pared tenga más o menos pérdidas. Además, las paredes expuestas al sol y de colores oscuros, causaran más pérdidas que aquellas de colores claros. Los valores que se toman para T' son los expresados en la siguiente tabla.

Tabla 14. Valores de T' (°C) en paredes expuestas al sol

| | Este | Sur | Oeste | Techo |
|-----------------|------|-----|-------|-------|
| Color claros | 2,2 | 1 | 2,2 | 5 |
| Colores medios | 3,3 | 2,2 | 3,3 | 8,3 |
| Colores oscuros | 4,4 | 2,8 | 4,4 | 11 |

- **Enfriamiento del aire de renovación (Q_{p2})**

El enfriamiento y desecación del aire de renovación es otra de las pérdidas a compensar. La ventilación en el espacio refrigerado deberá de ser suficiente para renovar periódicamente el aire viciado por aire fresco.

Para obtener la energía necesaria se deberá de disponer de las condiciones del aire (temperatura y humedad específica) tanto interior como exterior, de esta forma se calcula su entalpía a partir de la siguiente expresión:

$$i = c_{pa} T + x \lambda + c_{pw} T \quad (24)$$

donde c_{pa} es el calor específico del aire seco, 1,004 kJ/kg°C

T es la temperatura del aire en °C

x es la humedad específica del aire, kg de agua/kg de aire seco

λ es el calor latente de ebullición, 2.500,6 kJ/kg

c_{pw} es el calor específico del vapor de agua, 1,86 kJ/kg°C

Teniendo las entalpías del aire exterior e interior, se calcula la energía que hay que generar para poder compensar la pérdida por aclimatación del aire de renovación utilizando la siguiente expresión:

$$Q_{p2} = n V \rho (i_{ext} - i_{int}) \quad (25)$$

donde n es el número de renovaciones de aire por día

V es el volumen de la cámara en m³

ρ es la densidad del aire en kg/m³

i_{ext} y i_{int} son las entalpías del aire exterior e interior en kJ/kg

El parámetro n nos indica el número de veces que se renueva el aire del recinto, normalmente se debe a ventilación natural producida por la entrada y salida de personas o género. El valor que obtiene el número de renovaciones está indicado en la siguiente tabla, a través de datos experimentales.

Tabla 15. Renovaciones de aire diarias en una cámara

| Volumen de la cámara (m ³) | Número de renovaciones (cambios/día) | |
|--|--------------------------------------|--------------------|
| | Temperatura < 0 °C | Temperatura > 0 °C |
| 2,5 | 52 | 70 |
| 3 | 47 | 63 |
| 4 | 40 | 53 |
| 5 | 35 | 47 |
| 7.5 | 28 | 38 |
| 10 | 24 | 32 |
| 15 | 19 | 26 |
| 20 | 16,5 | 22 |
| 25 | 14,5 | 19 |
| 30 | 13 | 17 |
| 40 | 13 | 15 |
| 50 | 10 | 13 |
| 60 | 9 | 12 |
| 80 | 7,7 | 10 |
| 100 | 6,8 | 9 |
| 150 | 5,4 | 7 |
| 200 | 4,6 | 6 |
| 250 | 4,1 | 5,3 |
| 300 | 3,7 | 4,8 |
| 400 | 3,1 | 4,1 |
| 500 | 2,8 | 3,6 |
| 600 | 2,5 | 3,2 |
| 800 | 2,1 | 2,8 |
| 1.000 | 1,9 | 2,4 |
| 1.500 | 1,5 | 1,95 |
| 2.000 | 1,3 | 1,65 |
| 2.500 | 1,1 | 1,45 |
| 3.000 | 1,05 | 1,3 |

- **Calor aportado por motores (Q_{p3})**

Es el calor que generan los motores y las máquinas dentro de la cámara frigorífica. Generalmente es causado por los motores de los ventiladores del evaporador o los motores de la maquinaria utilizada en el movimiento de los productos. La pérdida a compensar se obtiene a través de la siguiente expresión:

$$Q_{p3} = 0,2 \sum_{i=1}^n (N_i f_i) 3.600 \quad (26)$$

donde N_i es la potencia de cada motor en kW

f_i es el tiempo de funcionamiento en horas

3.600 es el factor de conversión de horas a segundos

0,2 es el factor que considera que un 20% de la potencia se transforma en calor

- **Calor aportado por personas (Q_{p4})**

Otra de las pérdidas a compensar es el calor que genera el personal que trabaja dentro de la cámara, que dependerá de las características de la persona, y de la temperatura de la cámara. Realizándose el cálculo a través de la siguiente expresión:

$$Q_{p4} = n q t 3,6 \quad (27)$$

donde n es el número de personas

q es el calor emitido por individuo y hora en kW

t es el tiempo de permanencia en horas

3,6 es el factor de conversión de W a kJ/día

El calor emitido por individuo se puede obtener a través de dos formas:

(1) Ajustándose a la siguiente expresión:

$$q = 270 - 6 T_{int} \quad (28)$$

(2) Mediante la siguiente tabla:

Tabla 16. Calor emitido por persona

| Temperatura en la cámara (°C) | Equivalente calorífico por persona (W) |
|-------------------------------|--|
| 10 | 210 |
| 5 | 240 |
| 0 | 270 |
| -5 | 300 |
| -10 | 330 |
| -15 | 360 |
| -20 | 390 |

- **Aportación de calor debida al alumbrado (Q_{p5})**

La iluminación de las cámaras también genera un aporte de calor el cual hay que compensar. Habrá que tener en cuenta el tipo de luminaria que se utiliza, ya que dependiendo del tipo tendrán más o menos influencia en las pérdidas.

En el caso de desconocer la potencia de iluminación, se pueden designar unos valores estándar según la zona, normalmente, para zona de almacenaje se da un nivel de iluminación de 12 W/m^2 y en caso de zona de trabajo se le atribuye un nivel de 27 W/m^2 . Quedando la expresión de esta partida de la siguiente forma:

$$Q_{p5} = (f S_{al} 12 t + f' S_{tr} 27 t') 3,6 \quad (29)$$

donde f y f' son los factores que tienen en cuenta el uso de fluorescentes (1,3) o incandescentes (1)

S_{al} es la superficie dedicada a almacén en m^2

t y t' son el tiempo que permanecen encendidas las luces en el área de almacén y en de trabajo en horas

3,6 es el factor de conversión de W a kJ/día

Destacar que el término t' de la expresión (24) debe de coincidir con el término t de la expresión (22), ya que las luces están encendidas mientras el personal este trabajando.

De esta forma, la partida correspondiente a la compensación de pérdidas quedaría definida de la siguiente forma:

$$Q_p = Q_{p1} + Q_{p2} + Q_{p3} + Q_{p4} + Q_{p5} \quad (30)$$

Tras obtener las dos partidas se aplica a la carga total un porcentaje de seguridad del 10% para prever cualquier posible variación en la carga.

$$Q_u = 1,1 (Q_u + Q_p) \quad (31)$$

Tras conocer las necesidades energéticas de la cámara el siguiente paso a dar es seleccionar el tipo de tecnología a partir de la cual se va a dotar al espacio de la energía frigorífica que requiere.

4. Contextualización: Cuéllar

Nuestro proyecto se ha basado en el estudio comparativo de dos district heating, que abarcan similitudes y diferencias en cuanto a los usuarios que se van a aprovechar de las ventajas que proporcionan estas redes.

Cuéllar, localidad situada al noroeste de la provincia de Segovia y que se encuentra a medio camino de las ciudades de Valladolid y Segovia, es una Villa enclavada en la comarca de Tierra de Pinares con una población de 9.500 habitantes.



Desde 1.999, Cuéllar cuenta con una red de calefacción alimentada por biomasa, que abastece a la zona sur del municipio, en concreto la red suministra energía a 250 familias (1.000 habitantes) y una serie de edificios públicos, como son: Colegio “Santa Clara” (500 alumnos), Centro Cultural “Santa Clara” (12 salas), Pabellón Polideportivo, Piscina Climatizada y Frontón Municipal.

Como localidad pionera en España en este tipo de instalaciones, Cuéllar es un enclave muy especial por su localización, al estar rodeada de pinares. Estos mismos han sido la base económica de Cuéllar, con el aporte de madera para la fabricación de muebles y extracción de la resina, principal componente para la obtención del aguarrás, entre otros productos.

Entre ese periodo tan fructífero y el que se vive actualmente, se pasó por una etapa en la que el pinar no se aprovechaba al decaer las actividades industriales anteriores. La construcción de una red de distribución de calor, dio solución al aprovechamiento de un recurso que necesitaba mantenimiento, el pinar, obteniendo de esta forma una parte del combustible de forma gratuita. En la actualidad, la actividad a los pinares ha vuelto, y la gestión de la planta está en manos de SOMACYL, encargándose del suministro de la planta.

Tras la última ampliación de la red, el consistorio municipal da por cerrado la expansión de la actual red, surgiendo uno de los puntos de estudio del presente proyecto, la búsqueda de un emplazamiento para la instalación de un nuevo district heating.

5. Instalaciones y actuaciones

Dos instalaciones, en emplazamientos distintos, serán las que abordaremos a partir de ahora. Totalmente distintas entre sí, aplicación residencial y sector terciario por un lado, e industria por otro, de esta forma abordaremos el uso la biomasa como energía primaria para generación de energía térmica para diferentes aplicaciones.

5.1. Instalación 1: Valdihuertos

La nueva localización se encontraría en la parte noreste, en el barrio de Valdihuertos, donde actualmente existe una comunidad de vecinos que se abastece de gas propano para los servicios de calefacción y ACS durante el año, utilizando calderas individuales.

En torno a la comunidad, se sitúan dos centros: una residencia de la tercera edad “Centro de Mayores de Valdihuertos” y un centro de la Fundación Personas (APADEFIM) que utilizan gas natural para ACS y calefacción y sistemas de compresión mecánica para climatización.

5.2. Instalación 2: Verduras Tabuenca

La otra instalación corresponde con la industria, en concreto con el sector hortofrutícola. La empresa familiar Tabuenca, localizada en la parte norte de Cuéllar, se dedica a la producción y comercialización de hortalizas, siendo una de las entidades más importantes de la localidad. Dentro de sus instalaciones, la principal fuente de generación se encuentra en las cámaras frigoríficas, que disponen de grupos de compresión mecánica para la refrigeración de los productos.

6. Estudio previo de viabilidad económica

En primer lugar se deberá de realizar un estudio previo de viabilidad, de esta forma obtendremos si existe o no ahorro a la hora de proponer una solución. En el ANEXO I. Cálculos del estudio previo de viabilidad económica, se detallan las operaciones realizadas para la elaboración de los resultados expuestos en este apartado.

Se mostrarán por separado los resultados obtenidos de las dos instalaciones descritas anteriormente.

6.1. Valdihuertos

Como se ha mencionado en el apartado 5.1., las instalaciones de Valdihuertos se dividen en dos, teniendo que realizarse un estudio por instalación.

Comunidad de vecinos

La comunidad de vecinos consta de 102 viviendas alimentadas por gas propano. Los datos recogidos han sido de dos viviendas de dos y cuatro personas, siendo el prototipo de familias que residen es la comunidad.

Se nos han proporcionado datos de consumos y precios del gas durante el año 2.015.

Tabla 17. Consumo familias tipo 2015 – Comunidad de vecinos

| | Familia | Dos personas | Cuatro personas |
|----------------|------------------|---------------|-----------------|
| Periodo | Precio (€/kg) | Consumo (kg) | Consumo (kg) |
| Enero - Marzo | 0,754 | 252,73 | 445,76 |
| Marzo - Mayo | 0,761 | 105,47 | 93,53 |
| Mayo - Julio | 0,721 | 39,8 | 41,79 |
| Julio - Sept | 0,671 | 27,85 | 9,95 |
| Sept - Nov | 0,664 | 103,48 | 101,48 |
| Nov - Enero | 0,689 | 270,64 | 137,31 |
| TOTALES | 0,710 | 799,97 | 829,82 |
| | Gasto (€) | 567,99 | 589,20 |

Para traspasar el consumo de gas a biomasa es necesario conocer el poder calorífico del gas, que es de 46,323 MJ/kg, de esta forma se obtiene la energía que ha proporcionado el gas y con el poder calorífico de la biomasa obtendríamos la cantidad de astilla que se hubiera necesitado para dotar a las viviendas de calefacción y ACS durante el 2015. Al tratarse de datos de combustible consumido, no se ha tenido en cuenta los rendimientos de los equipos instalados actualmente. Tampoco se ha tenido en cuenta el rendimiento estándar de las calderas para biomasa, al querer obtener la cantidad equivalente de biocombustible respecto a la que se está consumiendo actualmente.

$$kg_{prop} \cdot Hc_{prop} = E_{prop} \rightarrow E_{prop} = E_{bio} \rightarrow kg_{bio} = \frac{E_{bio}}{Hc_{bio}} \quad (32)$$

Tabla 18. Consumo biomasa 2015 – Comunidad de vecinos

| Familia | Dos personas | Cuatro personas | Media vivienda | Comunidad |
|------------|--------------|-----------------|----------------|------------|
| kg_{bio} | 3.088,07 | 3.203,3 | 3.145,15 | 320.805,76 |
| Gasto (€) | 185,28 | 192,20 | 188,71 | 19.248,35 |

Con estos datos, se obtiene el ahorro por familia tipo y una media de ahorro por vivienda, pudiendo extrapolar a toda la comunidad el ahorro que se generaría al usar biomasa.

Tabla 19. Ahorro - Comunidad de vecinos

| Familia | Dos personas | Cuatro personas | Media vivienda | Comunidad |
|------------|--------------|-----------------|----------------|-----------|
| Ahorro (€) | 382,71 | 396,99 | 389,78 | 39.757,84 |

Centro Fundación Personas (APADEFIM)

El centro que tiene la Fundación Personas en Cuéllar dispone de generadores de calor y de frío. Para realizar el siguiente estudio, se han separado el consumo de gas natural (calor) y el eléctrico (frío), obteniendo como resultados los expresados a continuación:

❖ Calor

Tabla 20. Consumo gas natural 2015 – Centro Fundación Personas

| Combustible | Gas Natural |
|---------------------------------------|-------------|
| Poder calorífico (MJ/m ³) | 37,13 |
| Precio (€/m ³) | 0,4956 |
| Consumo (m ³) | 20.229,88 |
| Gasto (€) | 10.025,93 |

Tabla 21. Consumo biomasa para calor 2015 – Fundación Personas

| | |
|---------------------|----------------|
| Combustible | Biomasa |
| Consumo (kg) | 62.662,05 |
| Gasto (€) | 3.759,72 |

Tabla 22. Ahorro generación calor - Centro Fundación Personas

| | |
|-------------------|----------|
| Ahorro (€) | 6.266,21 |
|-------------------|----------|

❖ Frío

Tabla 23. Consumo electricidad 2015 – Fundación Personas

| Periodo | Consumo (kWh) | Precio (€/kWh) | Gasto (€) |
|--------------|------------------|----------------|-----------------|
| Valle | 5.989,44 | 0,09457 | 566,43 |
| Punta | 7.985,91 | 0,10969 | 875,43 |
| Total | 13.975,55 | 0,10332 | 1.442,41 |

Tabla 24. Consumo biomasa para frío 2015 – Fundación Personas

| | |
|---------------------|----------------|
| Combustible | Biomasa |
| Consumo (kg) | 11.066,9 |
| Gasto (€) | 660,01 |

Tabla 25. Ahorro generación frío – Fundación Personas

| | |
|-------------------|--------|
| Ahorro (€) | 778,39 |
|-------------------|--------|

Los ahorros obtenidos para las dos instalaciones se deberán de reorganizar en dos partidas, ya que se destinan a amortizaciones diferentes. Por una parte hay que gestionar el consumo destinado a calefacción y ACS y que irá directamente a la inversión del equipo intercambiador de energía, que se instalará dentro del edificio. Y por otro lado se encuentra el consumo de climatización del edificio de la Fundación Personas.

Por lo tanto, los ahorros quedarían reorganizados de la siguiente manera, en función de lo mencionado anteriormente:

Tabla 26. Ahorros por concepto de la instalación de Valdehuetos

| Concepto | Ahorro |
|--------------------------|-------------|
| ACS y calefacción | 46.024,04 € |
| Climatización | 778,39 € |

Tras estos resultados, se pueden obtener las siguientes conclusiones:

1. La instalación destinada a calefacción y ACS posee un ahorro potencial, y por lo consiguiente el proyecto se presenta viable tras la elaboración

del estudio económico previo. Es por ello, que en los siguientes apartados se continuará con el desarrollo del presente proyecto.

2. La instalación destinada a climatización posee un ahorro potencial muy bajo, y tratándose de la tecnología por la que se quiere sustituir el sistema actual (máquina de absorción), quedaría descartada su implantación. A pesar de ello, en los siguientes apartados se contará con la potencia térmica que se debería de suministrar al equipo, por si la decisión del personal acreditado por la Fundación Personas diera el visto bueno a la implantación del sistema de absorción.

En el apartado 8 del presente proyecto se detallará a fondo el presupuesto y cómo quedará definido el ahorro final que tendrán los usuarios que se conecten a la red de calor. Ya que la energía que van a consumir, generada en la central térmica a partir de combustión de biomasa, deberá de ser comprada a la entidad gestora del centro.

6.2. Verduras Tabuena

El foco de estudio se fijará en la energía que necesitan las cámaras de frío para la conservación de toda la producción de la empresa cuellarana. Al no disponer de datos de consumo específico de los grupos de compresión, se ha optado por realizar un cálculo estimado a partir de los datos de producto almacenado y las características de las cámaras (véase el anexo XX), obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 27. Consumo electricidad 2015 – Tabuena

| Cámara | Energía eléctrica (kWh) |
|-----------|-------------------------|
| 1 | 13.008,86 |
| 3 | 140.739,43 |
| 4 | 34.201,53 |
| 5 | 24.198,41 |
| 6 | 78.057,24 |
| Exped | 8.689,47 |
| Total | 298.894,92 |
| Gasto (€) | 21.396,51 |

Tabla 28. Consumo biomasa para frío 2015 – Tabuena

| Combustible | Biomasa |
|--------------|------------|
| Consumo (kg) | 433.181,05 |
| Gasto (€) | 25.990,86 |

Tabla 29. Ahorro generación frío – Tabuena

| | |
|------------|-----------|
| Ahorro (€) | -4.594,35 |
|------------|-----------|

Como hemos podido observar al realizar el estudio previo, el ahorro negativo indica que el gasto con biomasa es mayor que el registrado por la generación frigorífica a través de los grupos de compresión. Por lo tanto, queda desestimando el cambio de tecnología y, con ello, el desarrollo del proyecto para la empresa Verduras Tabuena.

En el ANEXO III. Informe tipo del estudio de viabilidad económica, se detalla un documento explicativo de los resultados obtenidos y que se hará llegar a cada una de las partes interesadas en este presente proyecto.

7. Descripción de la Instalación

Como se ha indicado en el último párrafo del apartado 6.2, la inviabilidad económica en el proyecto Verduras Tabuena hace que solamente se estime oportuno seguir adelante con la instalación de Valdihuertos.

En los apartados posteriores se describirán de forma más detallada los diferentes edificios o elementos de los que se compone la red, de esta forma se comprenderá mejor la solución escogida, así como el funcionamiento del district heating.

7.1. Instalación

El proyecto Valdihuertos distingue dos instalaciones de edificios diferentes: generación y demandantes. La nomenclatura elegida denota claramente la finalidad o las características de los edificios, tal y como se describirán a continuación.

7.1.1. Edificios demandantes

Los edificios demandantes serán aquellos que solicitarán energía a la red; aunque en el global se trata de 18 edificios, se englobarán en distintas referencias, para que su identificación sea más fácil.

El núcleo más importante de demanda se encuentra en la Comunidad de Vecinos “Valdihuertos” formada por un total de 17 bloques de viviendas, establecidas en Plaza de Valdihuertos 1-17. Cada uno de los bloques se compone de seis viviendas, suponiendo un total de 102 viviendas unifamiliares.

Cada vivienda dispone de una caldera marca Vaillant modelo VCM 282 de 30,80 kW_t, suponiendo un total de 184,8 kW_t por bloque de vivienda y 3.141,60 kW_t en toda la comunidad de vecinos.

En la siguiente tabla, se muestra un resumen de la división realizada para la comunidad de vecinos y las potencias de cada vivienda y de la propia división.

Tabla 30. Descripción y distribución de la Comunidad de Vecinos “Valdihuertos”

| División | Dirección | Nom | Potencia (kW) |
|----------------|--------------------------|-----|----------------|
| Valdihuertos 1 | Plaza de Valdihuertos 1 | V1 | 184,8 |
| | Plaza de Valdihuertos 2 | V2 | 184,8 |
| | Plaza de Valdihuertos 3 | V3 | 184,8 |
| | Plaza de Valdihuertos 4 | V4 | 184,8 |
| | Plaza de Valdihuertos 5 | V5 | 184,8 |
| | Plaza de Valdihuertos 6 | V6 | 184,8 |
| | Plaza de Valdihuertos 7 | V7 | 184,8 |
| | Plaza de Valdihuertos 8 | V8 | 184,8 |
| Valdihuertos 2 | Plaza de Valdihuertos 9 | V9 | 184,8 |
| | Plaza de Valdihuertos 10 | V10 | 184,8 |
| | Plaza de Valdihuertos 11 | V11 | 184,8 |
| | Plaza de Valdihuertos 12 | V12 | 184,8 |
| Valdihuertos 3 | Plaza de Valdihuetos 13 | V13 | 184,8 |
| | Plaza de Valdihuetos 14 | V14 | 184,8 |
| | Plaza de Valdihuetos 15 | V15 | 184,8 |
| | Plaza de Valdihuetos 16 | V16 | 184,8 |
| | Plaza de Valdihuetos 17 | V17 | 184,8 |
| TOTAL | | | 3.141,6 |

La instalación demandante restante, se trata del Centro de Día y Residencia que dispone la Fundación Personas, localizado en la esquina entre las Calles Botiller y la Aceña. El propio centro posee sistemas de generación de ACS, calefacción y climatización.

Para el ACS y calefacción, el centro dispone de una instalación de placas solares y de dos calderas marca DeDietrich modelo GT 334 de 90 kW_t. Mientras que la climatización se realiza mediante una enfriadora de la marca Carrier modelo 30RA 100 B0507 PEE de 49,6 kW_e, que con un COP de 1,81 suponen 89,78 kW_t.

Tabla 31. Descripción del Centro Fundación Personas

| Edificio | Localización | |
|---|---------------------|-------|
| Centro de Día y Residencia de la Fundación Personas | Calle la Aceña, nº2 | |
| Potencia (kW) | ACS y calefacción | 180 |
| | Climatización | 87,78 |

7.1.2. Solución adoptada

Atendiendo a las potencias térmicas de todos los edificios demandantes, nos hemos planteado la siguiente distribución y, por consiguiente, la implantación de los equipos pertinentes para abastecer de forma segura la demanda solicitada.

Al haber una demanda variante a lo largo del año, y diferenciando entre invierno y verano, se ha visto oportuno desglosar la carga de ACS y calefacción, siendo el porcentaje equivalente a cada uno de los servicios a abastecer del 30% para el ACS y del 70% restante para el servicio de calefacción.

De esta forma, la potencia térmica total en invierno corresponderá con la suma de las potencias de la comunidad de vecinos y del edificio de la Fundación Personas.

$$\begin{aligned}Potencia_{invierno} &= Potencia_{valdihuertos} + Potencia_{Fundación\ Personas} = 3.141,6 + 180 \\ &= 3.321,6\ kW\end{aligned}$$

Mientras, que para verano, solo habría que tener en cuenta la generación de ACS, más la potencia térmica que utilizará el Centro de la Fundación Personas para abastecerse de climatización. Ya que, la solución adoptada en este edificio, ha sido la de sustituir la tecnología actual de grupos de compresión por una máquina de absorción de bromuro de litio – agua, de 105 kW, con un COP de 0,70.

$$Potencia_{térmica\ de\ climatización} = \frac{Potencia_{climatización}}{COP_{MA}} = \frac{105}{0,70} = 150,85\ kW$$

$$\begin{aligned}Potencia_{ACS} &= Potencia_{ACS\ Valdihuertos} + Potencia_{ACS\ Fundación\ Personas} \\ &= 0,3 \cdot (3.141,6 + 180) = 996,48\ kW\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Potencia_{verano} &= Potencia_{térmica\ de\ climatización} + Potencia_{ACS} = 150,85 + 996,48 \\ &= 1.146,48\ kW\end{aligned}$$

Atendiendo a los cálculos realizados, y a la distribución de demandas a lo largo del año, se ha creído conveniente la instalación de dos calderas:

- **3.500 kW** que funcionara desde el mes de octubre hasta mayo.
- **1.500 kW** que funcionara desde el mes de mayo hasta octubre.

Durante el periodo de no funcionamiento de las calderas, estas recibirán el oportuno mantenimiento, así como, siempre que estén disponibles, quedarán de apoyo por si fuera necesario su puesta en marcha.

7.1.3. Biocombustible

Aprovechando la localización de las instalaciones, se ha decidido utilizar como biocombustible astilla procedente de la empresa Naturpelet, ubicada en la

localidad segoviana de Sanchonuño, que dista ocho kilómetros de la central donde se va a usar como combustible.

Datos proporcionados por la empresa, nos indica que la astilla según la norma de referencia que rige el sector, Önorm M7133, posee las siguientes características:

Tabla 32. Características biocombustible

| Parámetro | Norma | Valor |
|--|-------|---------|
| Granulometría (cm) | G30 | 8,5 |
| Contenido de agua (%) | W30 | 20-30 |
| Contenido de cenizas (%) | A1 | < 1 |
| Densidad aparente (kg/m ³) | S200 | 160-250 |
| Poder calorífico (MJ/kg) | - | 12,00 |
| Precio (€/kg) | - | 0,06 |

7.1.4. Edificio de generación y almacenamiento

La disposición de un terreno sin urbanizar en las proximidades de los edificios demandantes hace muy evidente su utilización para proyectar la instalación que tiene que albergar el combustible y los diferentes equipos de distribución, control, combustión y emisiones.

La central estará situada en la parte trasera de la parte de la Comunidad de Vecinos denominada Valdihuertos 1 y en el flanco izquierdo del Centro de Día y Residencia de la Fundación Persona, teniendo acceso a las instalaciones por la Calle Arenales y Calle Botiller.

El terreno se encuentra en desnivel respecto a la Calle Arenales, por lo que se encontrará semienterrada, suponiendo un gran mimetismo con el entorno. Se dispone de un espacio de 800 m² aproximadamente, donde se deberá albergar la central de biomasa, que estará compuesta por:

- **Edificio de calderas:** de 400 m² donde se albergará las dos calderas, quemadores, sistema de evacuación de cenizas y gases de combustión. La altura variara entre los 6 y 9 metros, viéndose reducida debido a la situación del edificio semienterrado.
- **Edificio de almacenamiento:** las dimensiones de su edificación se atenderán en base a los kilogramos necesarios de biocombustible para cumplir con la demanda en una temporada (un año) y al número de llenados del silo también en una temporada. Para estos cálculos es necesario saber la cantidad de biomasa que se consume y su densidad aparente.

$$\begin{aligned} \text{Cantidad}_{\text{biomasa}} &= \text{Consumo}_{\text{Valdihuertos}} + \text{Consumo}_{\text{Fundación Personas}} \\ &= 320.805,76 + 73.917,66 = 394.534,71 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\text{Densidad}_{\text{biomasa}} = 205 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Volumen} = \frac{\text{Cantidad}_{\text{biomasa}}}{\text{Densidad}_{\text{biomasa}}} = \frac{394.534,71}{205} = 1.924,56 \text{ m}^3$$

Si se realizan dos recargas del silo por cada temporada el silo deberá de tener un volumen de:

$$\text{Volumen}_{\text{silo}} = \frac{\text{Volumen}_{\text{biomasa}}}{\text{N}^{\circ} \text{ de recargas}} = \frac{1.924,56 \text{ m}^3}{2} = 962,28 \text{ m}^3$$

Fijando que el silo dispondrá de 4,5 metros de altura, la superficie que deberá de tener el silo es de 214 m².

De esta forma quedan libres 186 m², destinados principalmente a accesos o pudiéndose utilizar como ampliaciones de alguna de las zonas descritas anteriormente si se diera el caso necesario.

En la siguiente imagen se puede observar la distribución de los edificios de la instalación.

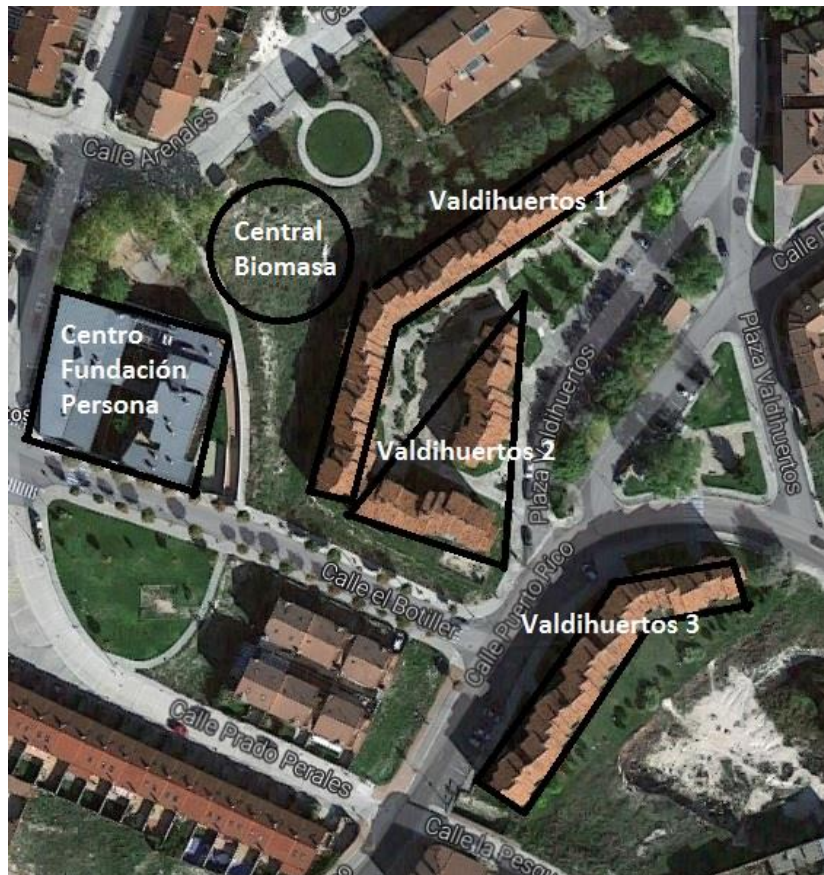


Ilustración 6. Distribución de los edificios

7.2. Equipos

7.2.1. Sistema de llenado y descarga de silo

Llenado

La operación de llenado del silo debe de realizarse de forma rápida, sencilla y segura, por lo que es necesario disponer tanto de un buen sistema que permita llevar a cabo las anteriores premisas, como de un protocolo que nos indiquen el orden de las acciones a realizar.

El abastecimiento de biomasa a la central se realizará mediante camiones de suelo móvil o con remolque elevador, a través de la Calle Arenales. El problema que se presenta en esta instalación es la altura existente desde el acceso por la Calle Arenales hasta el suelo del silo, que es de 4,5 metros.

Los camiones descargarán el biocombustible a unas tolvas repartidas a lo largo de la pared del silo, que repartirán de forma uniforme por todo el silo la astilla. Las tolvas harán que la biomasa caiga por gravedad hasta el suelo del silo, pero para evitar que en el momento de la descarga se cree una nube de partículas, la pared tendrá una inclinación, deslizándose por ella la biomasa hasta el suelo.

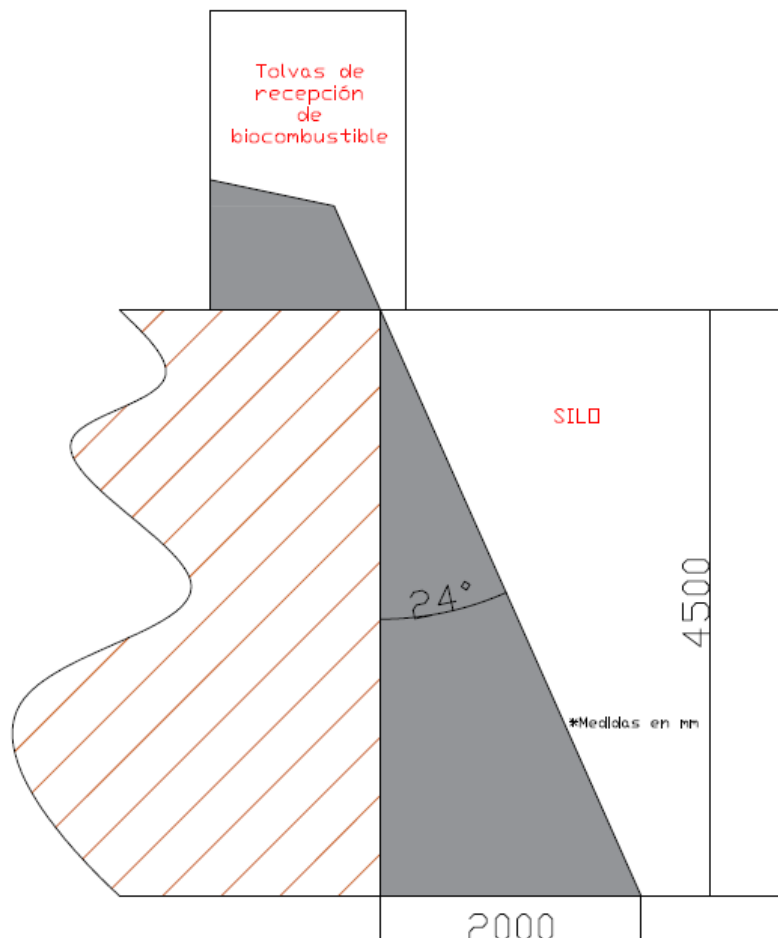


Ilustración 7. Perfil de la instalación del silo



Descarga

El silo dispondrá de un piso móvil, fraccionado en dos partes, que ocupará toda la superficie del mismo, que a través de unas estructuras de rastrillo, accionadas de forma hidráulica, moverán la biomasa hasta el sistema de distribución de alimentación a las calderas.

Cada una de las partes del suelo móvil será capaz de funcionar y gestionar de manera independiente, aprovechando el espacio del silo al máximo y evitando problemas de almacenamiento de la biomasa, como pueden ser la formación de cuevas.

El movimiento alternativo de los cilindros hidráulicos, conseguirán alimentar los dos sinfines, localizados al final de cada una de las dos mitades del suelo móvil.

7.2.2. Calderas y sistema de alimentación

Tal y como se obtenido en el apartado 7.1.2., la central térmica dispondrá de una potencia térmica instalada de 5.000 kW dividida en dos calderas: 3.500 y 1.500 kW.

El instalar dos sistemas de generación fraccionamos la temporada en dos periodos: invierno y verano, optimizando el uso de cada una de las calderas. De esa forma, la caldera de 3.500 kW se pondrá en funcionamiento para el ciclo de invierno (octubre-mayo), mientras que la caldera de 1.500 kW dará demanda para las necesidades del ciclo de verano, sobre todo ACS (mayo-octubre).

Durante los periodos de no funcionamiento de cada una de los equipos generadores se llevarán a cabo las operaciones de mantenimiento correspondientes, así como, salvando el periodo de estas acciones, las calderas deberán estar preparadas para entrar en funcionamiento como apoyo (en el caso de la caldera de 1.500 kW en invierno) o como principal (en el caso de la caldera de 3.500 kW en verano).

Ambas calderas utilizarán como combustible astilla de la empresa Naturpelet con alimentación automática mediante tornillo sin fin y de las siguientes características:

Tabla 33. Características técnicas de las calderas

| Potencia (kW) | | 3.500 | 1.500 |
|---|-------|--------|-------|
| Presión máxima de trabajo (bar) | | 3 | 3 |
| Rendimiento | | >90 | >90 |
| Tª máxima impulsión (°C) | | 109 | 102 |
| Volumen de agua (l) | | 15.000 | 4.300 |
| Fluido calortransportador | | Agua | Agua |
| Superficie intercambiador (m ²) | | 145 | 70,7 |
| Superficie parrilla (m ²) | | 1,72 | 1,25 |
| Medidas (mm) | Ancho | 2.290 | 2.050 |
| | Largo | 4.800 | 4.120 |
| | Alto | 3.500 | 3.170 |

El sistema de alimentación de combustible de las calderas será a través de sinfines desde el silo de almacenamiento hasta la entrada de cada una de los generadores. Serán las propias calderas quienes regulen el sistema según las necesidades de combustible en cada momento.

7.2.3. Sistema de tratamiento de humos y cenizas

Humos

La combustión de la astilla genera unos humos que previamente a su expulsión deben de ser tratados para evitar que partículas y contaminantes salgan a la atmósfera.

Al disponer de dos calderas, y para no duplicar equipos, se instalará una sola línea de tratamiento de humos, de esta forma, las salidas de las calderas se unirán pasando los gases por un depurador de humos, formado por tres cuerpos diferenciados: salida de gases, cuerpo separador y tolva de recogida de cenizas.

El cuerpo separar está formado por varias unidades ciclónicas, constituidas por la parte superior cilíndrica de impacto, y por una parte inferior cónica, de salida de partículas. Cada unidad tiene una entrada y una salida, que se encuentran unidas entre sí a la entrada y salida general, estando estas conectadas a la salida de la caldera y a la aspiración del ventilador de tiro, respectivamente. De la misma forma, todas las salidas de las parte inferiores cónicas, están unidas y conectadas a una tolva.

El ventilador de tiro forzado aspira los gases de la combustión y los conduce a la chimenea, creándose de esta forma una depresión en la cámara de combustión de la caldera y obligando a la admisión automática del aire necesario en la combustión.

Por último, la chimenea de fabricación robusta y en acero, permite la evacuación de los gases a la atmósfera, y estará compuesta de base de

asentamiento, cuerpo, puertas de inspección y limpieza y aislamiento térmico de lana mineral y chapa galvanizada.

Cenizas

Aunque la generación de cenizas es mínima, se debe de disponer de un sistema de extracción, recogida y tratamiento de las mismas.

Es por ello que se instalará un sistema de sinfines que trasladarán las cenizas generadas en las dos calderas hasta un punto de recogida, teniendo contratado, a través de una empresa externa, la gestión de las cenizas.

7.3. Circuito hidráulico: Central y red de calor

En este apartado se desglosará el cálculo realizado y la descripción de los diferentes elementos que componen la red de distribución de agua desde la central térmica hasta los distintos puntos terminales.

La red distribuirá el agua saliente de las calderas a una temperatura de 90°C hasta las subestaciones de intercambio de cada edificio, retornando el agua a una temperatura de 70°C. Todo este trayecto lo realizarán a través de tuberías, donde irán acoplados los diferentes elementos de equilibrado y corte.

7.3.1. Cálculos de la red

La red de distribución, que se puede observar en el ANEXO II. Planos, se ha calculado fijando una velocidad máxima del fluido por las tuberías de 1,5 m/s, pudiéndose superar en algún caso de forma excepcional.

Para que el fluido llegue a todas las estaciones de intercambio se deberá de dotar a la red de la suficiente presión. Todos los elementos que forman la red (tuberías, codos, válvulas de equilibrado y corte, intercambiadores, etc.) causarán una pérdida de carga. Estas pérdidas se podrán dividir en dos tipos:

- **Pérdidas por singularidades:** son aquellas pérdidas provocadas por elementos instalados en la red. A cada uno de estos componentes se les asignará un coeficiente y a través de la siguiente fórmula se obtiene la pérdida de carga.

$$P_{sing} = \frac{\xi \rho v^2}{2} \quad (33)$$

- **Pérdidas en tramos rectos:** son aquellas pérdidas que se producen por la fricción del fluido con las paredes de las tuberías. La constante de pérdidas por longitud se obtendrá a través de ábacos que relacionan el caudal, diámetro y material de las tuberías.

$$P_{rec} = K_{perd} Longitud \quad (34)$$

La red se dividirá en tramos quedando definida la pérdida de cada tramo por la suma de las pérdidas descritas anteriormente. La unión de los diferentes tramos

formará los distintos subcircuitos de los que se configura la red, y es la suma de las pérdidas de los diferentes tramos los que nos dará cual es el subcircuito más desfavorable, y por consiguiente, la presión que deberá de proporcionar el sistema de bombeo.

La red tendrá que estar equilibrada, para ello se instalarán válvulas de equilibrado hidráulico que dotará una pérdida de carga extra en los sub-circuitos, llegando a alcanzar todos los sub-circuitos la misma pérdida de carga.

Se dispondrá del menor número de diámetros de tubería posible, de esta forma, se estandarizará lo más posible la red. Para el presente proyecto se utilizarán los siguientes diámetros: DN200, DN150, DN80 y DN50. Con el fin de reducir la pérdida de carga que tiene que soportar el sistema de bombeo e incrementar la autoridad de las válvulas de equilibrado hidráulico, los criterios de selección utilizados en el dimensionamiento de la red de tuberías ha sido seleccionar diámetros grandes, proporcionando de esta manera, pérdidas de cargas pequeñas en la red de tuberías.



Ilustración 8. Detalle de la red de calor

La siguiente tabla nos indica las potencias, caudales, velocidad, diámetro, longitud, constante de pérdidas y pérdidas de cada uno de los tramos de la red.

Tabla 34. Datos de la red de distribución

| Tramo | Potencia (kW) | Caudal (l/s) | Longitud (m) | Diámetro (mm) | Pdc (Pa/m) | Velocidad (m/s) | Prec (Pa) | Psing (Pa) | Ptramo (Pa) | Pcircuito (Pa) |
|--------|---------------|--------------|--------------|---------------|------------|-----------------|-----------|------------|-------------|----------------|
| 1-2 | 3.321,60 | 40,73 | 10 | 200 | 65,03 | 1,30 | 650,30 | 4.900,64 | 5.550,94 | |
| 2-3 | 924,00 | 11,33 | 24 | 150 | 23,72 | 0,64 | 569,28 | 99,88 | 669,16 | |
| 3-4 | 739,20 | 9,065 | 28 | 150 | 15,51 | 0,51 | 434,28 | 63,92 | 498,20 | |
| 3-V5 | 184,80 | 2,266 | 10 | 50 | 285,69 | 1,15 | 2.856,90 | 4.206,92 | 7.063,82 | 13.283,92 |
| 4-5 | 554,40 | 6,799 | 28 | 80 | 216,81 | 1,35 | 6.070,68 | 444,41 | 6.515,09 | |
| 4-V4 | 184,80 | 2,266 | 10 | 50 | 285,69 | 1,15 | 2.856,90 | 4.206,92 | 7.063,82 | 13.782,13 |
| 5-6 | 369,60 | 4,532 | 28 | 80 | 98,83 | 0,90 | 2.767,24 | 197,52 | 2.964,76 | |
| 5-V3 | 184,80 | 2,266 | 10 | 50 | 285,69 | 1,15 | 2.856,90 | 4.206,92 | 7.063,82 | 20.297,22 |
| 6-V2 | 184,80 | 2,266 | 10 | 50 | 285,69 | 1,15 | 2.856,90 | 4.206,92 | 7.063,82 | 23.261,97 |
| 6-V1 | 184,80 | 2,266 | 41 | 50 | 285,69 | 1,15 | 11.713,29 | 4.854,14 | 16.567,43 | 32.765,58 |
| 2-7 | 2.397,60 | 29,4 | 22 | 150 | 150,05 | 1,66 | 3.301,10 | 672,49 | 3.973,59 | |
| 7-8 | 2.212,80 | 27,14 | 28 | 150 | 128,35 | 1,54 | 3.593,80 | 572,82 | 4.166,62 | |
| 7-V6 | 184,80 | 2,266 | 10 | 50 | 285,69 | 1,15 | 2.856,90 | 4.206,92 | 7.063,82 | 16.588,35 |
| 8-9 | 1.848,00 | 22,66 | 28 | 150 | 90,32 | 1,28 | 2.528,96 | 399,52 | 2.928,48 | |
| 8-V7 | 184,80 | 2,266 | 10 | 50 | 285,69 | 1,15 | 2.856,90 | 4.206,92 | 7.063,82 | 20.754,97 |
| 8-FP | 180,00 | 2,207 | 30 | 50 | 271,46 | 1,12 | 8.143,80 | 3.991,22 | 12.135,02 | 25.826,17 |
| 9-10 | 1.663,20 | 20,4 | 130 | 150 | 73,65 | 1,15 | 9.574,50 | 5.501,36 | 15.075,86 | |
| 9-V8 | 184,80 | 2,266 | 10 | 50 | 285,29 | 1,15 | 2.852,90 | 4.206,92 | 7.059,82 | 20.750,97 |
| 10-13 | 924,00 | 11,33 | 36 | 150 | 23,72 | 0,64 | 853,92 | 1.198,55 | 2.052,47 | |
| 10-11 | 739,20 | 9,065 | 64 | 80 | 380,04 | 1,80 | 24.322,56 | 790,06 | 25.112,62 | |
| 11-12 | 369,60 | 4,532 | 24 | 80 | 98,83 | 0,90 | 2.371,92 | 197,52 | 2.569,44 | |
| 11-V9 | 184,80 | 2,266 | 34 | 50 | 285,69 | 1,15 | 9.713,46 | 4.854,14 | 14.567,60 | 71.375,71 |
| 11-V10 | 184,80 | 2,266 | 10 | 50 | 285,69 | 1,15 | 2.856,90 | 4.206,92 | 7.063,82 | 63.871,93 |
| 12-V11 | 184,80 | 2,266 | 10 | 50 | 285,69 | 1,15 | 2.856,90 | 4.206,92 | 7.063,82 | 66.441,36 |
| 12-V12 | 184,80 | 2,266 | 34 | 50 | 285,69 | 1,15 | 9.713,46 | 4.206,92 | 13.920,38 | 73.297,92 |
| 13-14 | 369,60 | 4,532 | 24 | 80 | 98,83 | 0,90 | 2.371,92 | 197,52 | 2.569,44 | |
| 14-V13 | 184,80 | 2,266 | 10 | 50 | 285,69 | 1,15 | 2.856,90 | 4.206,92 | 7.063,82 | 40.811,78 |
| 14-V14 | 184,80 | 2,266 | 34 | 50 | 285,69 | 1,15 | 9.713,46 | 4.206,92 | 13.920,38 | 50.237,78 |
| 13-15 | 369,60 | 4,532 | 24 | 80 | 98,83 | 0,90 | 2.371,92 | 197,52 | 2.569,44 | |
| 15-V16 | 184,80 | 2,266 | 10 | 50 | 285,69 | 1,15 | 2.856,90 | 4.206,92 | 7.063,82 | 43.381,22 |
| 15-V17 | 184,80 | 2,266 | 34 | 50 | 285,69 | 1,15 | 9.713,46 | 4.854,14 | 14.567,60 | 50.884,99 |
| 13-V15 | 184,80 | 2,266 | 10 | 50 | 285,69 | 1,15 | 2.856,90 | 4.206,92 | 7.063,82 | 40.811,78 |

El grupo de bombeo deberá de generar la presión del circuito con mayor pérdida, esto supone al sub-circuito cuya subestación de intercambio es la del edificio V12, con una pérdida de presión de 73.297,92 Pa. Por lo tanto, el grupo de bombeo deberá de trabajar en el siguiente punto:

Tabla 35. Punto de funcionamiento grupo de bombeo

| | |
|------------------------|--------|
| Caudal (l/s) | 40,73 |
| Δ Presión (kPa) | 73,298 |

7.3.2. Esquema de principio

Como se puede ver en el ANEXO II. Planos, la instalación se podrá dividir en dos lazos (primario y secundario) teniendo un elemento en común, el colector.

- ❖ **Lazo primario:** será el integrado por las calderas, bombas de circulación, y valvulería. En este lazo las bombas de circulación se encargarán de vencer las pérdidas de carga generadas por el paso del agua por la caldera.
- ❖ **Lazo secundario:** será el denominado a partir de ahora como red de calor y se encargará de distribuir la energía hasta los consumidores finales. Está formado por las tuberías, subestación de intercambio y válvulas de equilibrado. El agua circulará desde el colector y una vez que ceda su energía en las subestaciones de intercambio, volverá al colector de nuevo. Las bombas deberán de generar la presión del circuito más desfavorable para asegurarnos que la energía llegará hasta el edificio.

Otros elementos que se ven en el esquema de principio es:

- ❖ **Colector:** se trata de una tubería que hace de nexo de unión entre los dos lazos de la instalación hidráulica. Por un lado se encuentran las entradas y salidas del lazo primario y el otro la entrada y salida del lazo secundario. Con la tabla e imagen siguientes se detalla las conexiones del colector, así como en el ANEXO II. Planos.

Tabla 36. Descripción salidas/entradas del colector

| Nº | Conexión | Lazo | Denominación |
|----|----------|------------|----------------------------|
| 1 | Entrada | Primario | Impulsión caldera 3.500 kW |
| 2 | Entrada | Primario | Impulsión caldera 1.500 kW |
| 3 | Salida | Primario | Retorno caldera 3.500 kW |
| 4 | Salida | Primario | Retorno caldera 1.500 kW |
| 5 | Salida | Secundario | Impulsión red de calor |
| 6 | Entrada | Secundario | Retorno red de calor |

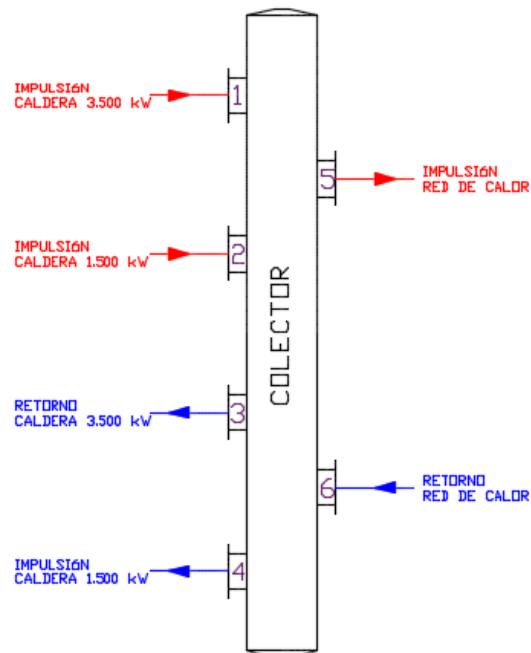


Ilustración 9. Conexiones del colector

- ❖ **Vaso de expansión:** equipo que absorbe la variación de volumen del agua al calentarse. Se utilizará un vaso de expansión cerrado de tipo membrana. Este tipo de vasos poseen dos compartimentos separados por una membrana elástica; en uno de ellos hay aire o gas a presión y en el otro se ubicará el agua proveniente del colector. La presión de la cámara de aire será regulable. En el apartado siguiente se detallará el cálculo del volumen del vaso de expansión.

Como se puede observar en la imagen anterior, no existe depósito de inercia ya que la red contiene un volumen de 7.152,07 litros de agua, ejerciendo como depósito de inercia de expansión la propia red de calor.

7.3.3. Elementos de la red

Los principales elementos de la red de calor, y que hacen que su funcionamiento sea el correcto son los que se describirán a continuación:

Bombas

La red dispondrá de un sistema de bombeo formado por dos bombas en paralelo para toda la instalación de distribución, de esta forma en caso de fallo de la bomba de funcionamiento siempre quedará una bomba de reserva. Cada una de las bombas, irán acompañadas de un variador de velocidad y de sonda de presión diferencial para variación de potencia en función de las necesidades de la red.

En la siguiente imagen se puede observar las curvas características de la familia de bombas EBARA ELINE del cual saldrán las bombas del lazo primario y secundario.

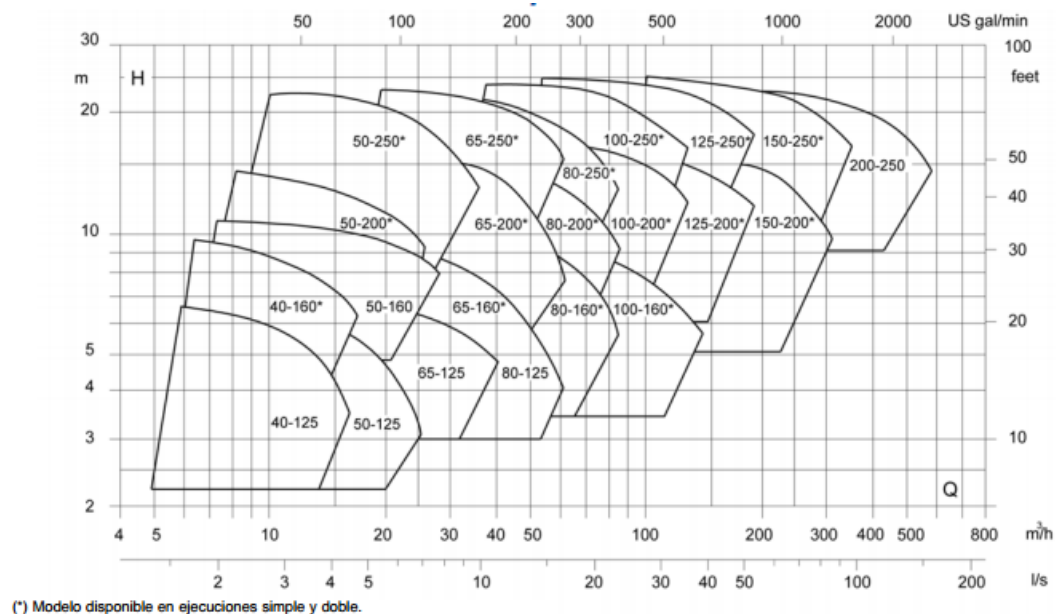


Ilustración 10. Curvas características de las bombas EBARA ELINE

Tuberías

Las conducciones de agua se realizarán a través de tuberías de acero preaisladas que se encontrarán enterradas.

La tubería utilizada en la red de calor es de la marca LOGSTOR, y está compuesta por una tubería de servicio de acero, una espuma rígida de poliuretano y por un robusto envolvente de poliuretano de alta densidad. La espuma de poliuretano se encuentra íntimamente ligada a los otros dos elementos formando en su conjunto, un único material compuesto.

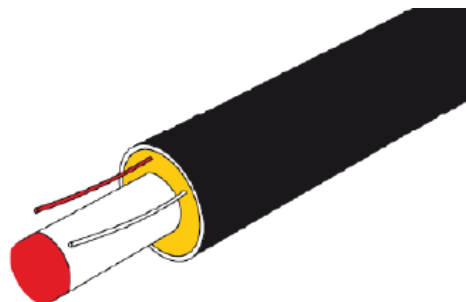


Ilustración 11. Detalle de las tuberías de la red de calor

Según se muestra en la imagen anterior, la tubería integra dos hilos de cobre que junto con la unidad analógica o digital conforman el sistema de detección de fugas. El sistema es capaz de detectar un incremento notable de la humedad en el aislamiento, advirtiendo de la existencia de un defecto en el tramo de tubería, pudiendo haber una rotura en la tubería o en la envolvente.

Los diámetros utilizados en esta instalación han sido cuatro (DN200, DN150, DN80 y DN50) intentando usar la menor variedad posible, para que los elementos de reducción y/o ensanchamiento fueran los menores y como consecuencia se incrementaran las pérdidas por singularidades.

El suministro de las tuberías se realizara en tramos de 6 a 12 metros, dependiendo del diámetro. La conexión entre las barras se hará a través de soldadura de arco eléctrico, por ello los últimos 220 mm de cada extremo estará al descubierto, sin recubrimiento térmico. Tras la unión se utilizará un kit de empalme para aislar dicha parte.

Existen otros componentes necesarios para el desarrollo de la red como son los codos, Tes a 45°, paralelas o verticales, reducciones, puntos fijos, válvulas de corte, kits de empalmes.

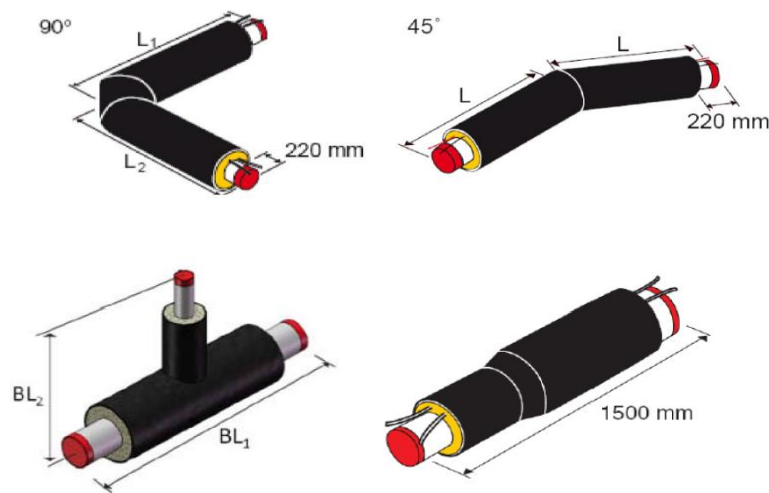


Ilustración 12. Detalles de los elementos de la red de calor

Subestación de intercambio

Las diferentes subestaciones de intercambio diseñadas para el presente proyecto estarán formadas por los diferentes componentes de primeras marcas, es decir, se elaboraran de forma individual en vez de disponer de un único proveedor.

La siguiente imagen nos muestra el esquema principal de dichos equipos, también se puede ver en el Anexo II. Planos, del presente proyecto.

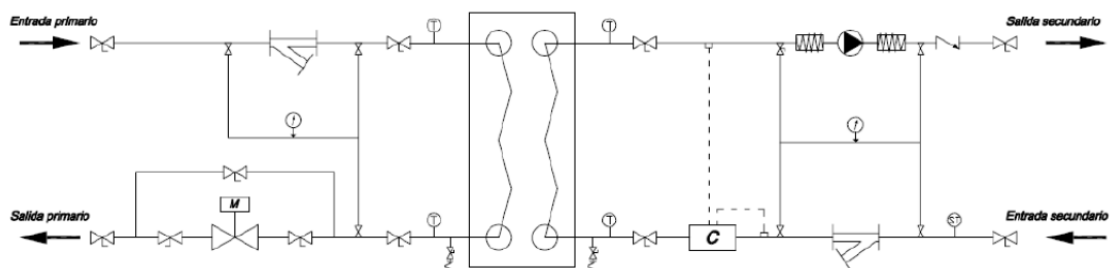


Ilustración 13. Esquema subestación de intercambio de energía

Las condiciones de diseño son $90^{\circ}\text{C}/70^{\circ}\text{C}$ en red y $80^{\circ}\text{C}/65^{\circ}\text{C}$ en circuito de edificio conectado. Es muy importante tener presentes que el salto térmico del circuito secundario entre el intercambiador de la subestación y el circuito de cada edificio es de 15°C , esto determinará el tamaño de los elementos de la subestación, en concreto del intercambiador.

La temperatura máxima de 80°C en el secundario de la subestación, hace que la solución técnica de sustituir el sistema de compresión mecánica de la Fundación Personas por un sistema de máquina de absorción requiera de otro sistema de alimentación (la máquina de absorción necesita una temperatura de 90°C en el generador), como puede ser la conexión directa desde la red de distribución. Además, sería factible ya que la salida del generador está a una temperatura de 80°C , siendo la temperatura que se alcanza con el intercambiador. Se presentaría el inconveniente de la disparidad de caudales que se requirieran en el generador e intercambiador, teniendo que adoptar una solución técnica que entraría fuera del alcance del presente proyecto.

Tal y como se muestra en el esquema, las subcentrales disponen de todos los elementos necesarios: intercambiador de placas, bomba de circulación en el secundario del intercambiador con variador de frecuencia, contador de energía en el secundario del intercambiador, filtros tanto en el primario como en el secundario, válvula de control con estabilizador de presión y limitador de caudal en el primario del intercambiador, puntos de vaciado, puentes manométricos, termómetros, bypass de la válvula de control, sonda de temperatura en el secundario, válvula de retención a la salida de la bomba, válvula de equilibrado hidráulico y demás válvulas y pequeños accesorios de corte.

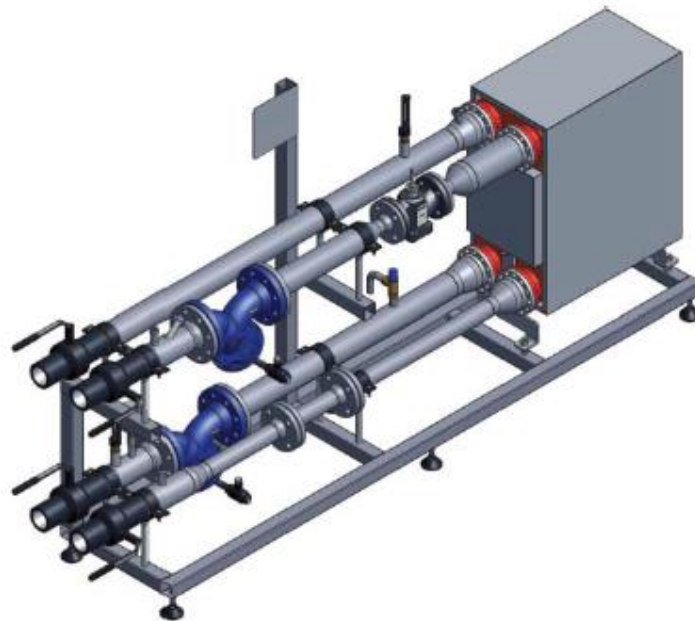


Ilustración 14. Subestación de intercambio

El funcionamiento del sistema de control será el siguiente:

❖ **Cuando aumente la demanda:**

Cuando los edificios requieren de necesidades energéticas las bombas de los circuitos secundarios de las subestaciones se pondrán en marcha, provocando un descenso de la temperatura de retorno del secundario de las subestaciones.

Una vez que se detecte el descenso de la temperatura, el sistema de control de cada subestación dará la orden de apertura a la válvula motorizada del lado del primario permitiendo la circulación del agua y el intercambio de calor hacia el edificio.

A medida que las válvulas de control vayan dejando pasar el agua, la diferencia de presión descenderá en los subcircuitos, cambio que será detectado por el sistema de control de la central térmica, que transmitirá la señal a los variadores para que aumenten las revoluciones de giro las bombas de la red de calor incrementando el caudal, la potencia térmica y restaurando la presión diferencial de consigna.

Al funcionar las bombas del lazo secundario comenzará a disminuir la temperatura de retorno del colector siendo detectado por el sistema de control de las calderas que dará orden de arrancada a las bombas del lazo primario y a su vez orden a las calderas, poniéndose en marcha.

❖ **Cuando disminuya la demanda:**

Si la demanda energética de los edificios disminuye, se irán desconectando los grupos de bombeo de las instalaciones interiores, provocando que la temperatura en el lado secundario de la subestación aumente.

Detectado el aumento de la temperatura en el secundario, se dará orden de cierre a la válvula de control monitorizada del primario, reduciendo el caudal.

A medida que las válvulas de las subestaciones se vayan cerrando, el diferencial de presiones en la red de calor se incrementará, siendo detectado por el sistema de control de la central térmica que darán orden a los variadores de las bombas de la red para que reduzcan las revoluciones de giro, disminuyendo el caudal y restaurando los niveles de presión diferencial hasta los de consigna.

Con la disminución del caudal circulante se producirá un aumento de temperatura del retorno al colector, y por consiguiente se verá afectado el retorno de las calderas. Este incremento lo detectará el sistema de control de la central térmica y de las calderas, actuando en primer lugar sobre las propias calderas que irán reduciendo su potencia, hasta que se paren. Seguidamente las bombas de circulación del lazo primario se pararán.

Las subestaciones de intercambio se ubicarán en la planta baja o sótano de los bloques de pisos, en el caso de la comunidad de vecinos, y en la sala de calderas o

cuarto anexo en el caso del edificio de la Fundación Personas. La acometida se realizará tal y como se muestra en el ANEXO II. Planos.

Válvulas de equilibrado automático

Las válvulas de equilibrado hacen que los diferentes subcircuitos que componen la red de calor se encuentren en cualquier momento de su funcionamiento en equilibrio de presiones.

Se instalarán en la salida del primario de las subestaciones de intercambio, disponiendo de bridas de conexión para una mejor instalación.

Para el presente proyecto se han seleccionado válvulas de la marca Tour & Anderson modelo STAF-SG.



Ilustración 15. Válvula de equilibrado hidráulico STAF-SG

Vaso de expansión

La instalación del vaso de expansión según se observa en el ANEXO II. Planos va directamente con conexión al colector de la instalación.

El cálculo de los vasos de expansión se rige por la norma UNE 100155:2004, sugerida por el Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios, donde se parte de la siguiente expresión:

$$V_t = V C_e C_p \quad (35)$$

donde: V_t el volumen total del vaso

V el volumen total del agua del circuito

C_e el coeficiente de dilatación del fluido

C_p el coeficiente de presión del gas

A continuación obtendremos cada uno de los parámetros por separado:

❖ Volumen total de agua en el circuito

Se obtiene sumando el volumen de agua total de las tuberías, emisores y generadores. En este caso se tomará el volumen de agua de la red, de la caldera de 3.500 kW y del colector.

$$V = V_{red} + V_{caldera} + V_{colector} = 7.152,07 + 15.000 + 73,63 = 22.225,7 \text{ litros}$$

Aplicamos un coeficiente de seguridad del 10%, dejando el total de volumen de agua en 24.448,27 litros.

❖ Coeficiente de dilatación

Representa la relación entre el volumen útil del vaso de expansión y el volumen contenido en la instalación. Se calcula aplicando la siguiente expresión:

$$C_e = (3,24 t^2 + 102,13 t - 2.708,3) 10^{-6} \quad (36)$$

Siendo t la temperatura media de fluido entre la impulsión y el retorno, es decir 80 °C, el valor del coeficiente de dilatación es:

$$C_e = (3,24 \cdot 80^2 + 102,13 \cdot 80 - 2.708,3) 10^{-6} = 0,0262$$

❖ Coeficiente de presión del gas

Representa la relación entre el volumen total y el volumen útil del vaso de expansión. Se calcula aplicando la siguiente expresión:

$$C_p = \frac{P_M}{P_M - P_m} \quad (37)$$

Siendo P_M y P_m la presión máxima (tarado + atmosférica) y mínima (manométrica + atmosférica) respectivamente, es decir, 4 y 3 bar. El valor del coeficiente es:

$$C_p = \frac{4}{4 - 3} = 4$$

Con todos los parámetros calculados, el volumen total del vaso es:

$$V_t = V C_e C_p = 24.448,27 \cdot 0,0262 \cdot 4 = 2.562,19 \text{ litros}$$

Tras consultar el mercado se ha seleccionado un vaso de expansión marca Ibaiondo. Dependiendo del apartado económico, se seleccionara un vaso de expansión con una capacidad de 3.000 litros o tres vasos de expansión de 1.000 litros. Cualquiera de las soluciones adoptadas tendrán una presión máxima de trabajo de 10 bar.



Ilustración 16. Vaso de expansión Ibaiondo

8. Amortización económica

En el apartado 6 se realizó un estudio previo de viabilidad económica, donde se obtuvo el ahorro de las instalaciones basándonos en el cambio de combustible.

Ahora, en el presente apartado calcularemos un presupuesto, lo más exacto posible, fijaremos un precio de venta de la energía por parte del centro gestor de la central térmica y por último, obtendremos el periodo de amortización de la inversión basándonos en los ahorros y beneficios que se obtienen.

8.1. Presupuesto

Se realizarán dos presupuestos, dependiendo de quién asumirá los gastos de las instalaciones. En esta ocasión, la unidad gestora de la central térmica y red de calor se hará cargo de los gastos referidos a las instalaciones que van a administrar, mientras que los usuarios invertirán en los equipos instalados en sus propiedades.

8.1.1. Presupuesto para la unidad gestora

Tabla 37. Presupuesto unidad gestora

| Partida | Concepto | Cantidad | |
|--------------|--------------------------------|---|--------------|
| 1 | Obra civil | | |
| | 1.1 | Edificio central Térmica | 229.000,00 € |
| | 1.2 | Zanjas de la red de distribución | 30.289,98 € |
| | SUBTOTAL | | 259.289,98 € |
| 2 | Equipos | | |
| | 2.1 | Calderas | 68.404,26 € |
| | 2.2 | Red de calor | 20.364,96 € |
| | 2.3 | Sistema de tratamiento de humos y cenizas | 16.574,00 € |
| | 2.4 | Sistema de bombeo | 7.992,00 € |
| | 2.5 | Sistema de equilibrado hidráulico | 7.067,34 € |
| | 2.6 | Sistema de control de equipos | 24.000,00 € |
| | 2.7 | Sistema de transporte de biomasa | 32.500,00 € |
| | 2.8 | Otros elementos de la red de calor | 9.599,38 € |
| SUBTOTAL | | 186.501,94 € | |
| 3 | Instalación eléctrica | 45.000,00 € | |
| 4 | Sistema de gestión de residuos | 13.000,00 € | |
| 5 | Otro gastos | 75.568,79 € | |
| TOTAL | | 579.360,71 € | |

8.1.2. Presupuesto para los usuarios

Tabla 38. Presupuesto usuarios

| Ud | Concepto | Cantidad | Total |
|----|--|--------------|--------------------|
| 17 | Subestación de intercambio - Comunidad | 5.498,00 € | 93.466,00 € |
| 1 | Subestación de intercambio - Fundación | 5.498,00 € | 5.498,00 € |
| | | TOTAL | 98.964,00 € |

8.2. Precio de la energía

Durante el presente proyecto se han barajado diferentes precios de energía según su origen, pero realmente hay que tener presente tres precios:

- ❖ **Precio inicial:** es aquel precio que están pagando actualmente los futuros usuarios de la red de calor. Al disponer de dos fuentes de energía distintas, dispondremos de los siguientes precios:

Tabla 39. Precios combustibles iniciales utilizados por los futuros usuarios

| Usuario | Materia prima | Precio variable (€/kWh) |
|----------------------|---------------|-------------------------|
| Comunidad de vecinos | Gas propano | 0,055 |
| Fundación Personas | Gas natural | 0,048 |

- ❖ **Precio biomasa:** es el precio al que la unidad gestora comprará la astilla que se quemará en la central térmica.

Tabla 40. Precio combustible central térmica

| Empresa | Materia prima | Precio (€/kWh) |
|------------|---------------|----------------|
| Naturpelet | Astilla | 0,018 |

- ❖ **Precio de venta de la energía producida en la central térmica:** será el precio que la unidad gestora venderá la energía a los usuarios finales. Teniendo que estar entre el precio más barato de los iniciales y el precio de la biomasa, de esta forma, los usuarios verían que con el cambio de combustible se ahorraría.

Se fija que el coste de la energía generada por biomasa tiene un coste del 35% menor, tomando como referencia el menor precio de los combustibles iniciales, que en esta ocasión es el del gas natural.

$$PV_{biomasa} = P_{Gas\ Natural} \cdot 0,65 = 0,048 \cdot 0,65 = 0,0312 \text{ €/kWh}$$

8.3. Retorno de la inversión

El cálculo del retorno de la inversión será sencillo, y basándonos en los datos de los dos apartados anteriores (presupuesto y precios).

8.3.1. Retorno de la inversión empresa gestora

Los datos de partida son:

- Presupuesto: 579.360,71 €
- Precio compra de biomasa: 0,018 €/kWh
- Precio venta energía: 0,0312 €/kWh
- Energía generada: 1.278.226,03 kWh

Los **beneficios** obtenidos son:

$$\begin{aligned} \text{Beneficios} &= \text{Energía generada} \cdot \Delta \text{precios} \\ &= 1.278.226,06 \text{ kWh} \cdot (0,0312 - 0,018) \text{ €/kWh} = 16.872,58 \text{ €} \end{aligned}$$

El **tiempo de retorno** en cubrir la inversión inicial:

$$\text{Tiempo de retorno} = \frac{\text{Inversión inicial}}{\text{Beneficios}} = \frac{579.360,71 \text{ €}}{16.872,58 \text{ €/año}} = 34,34 \text{ años}$$

En caso de que el gestor de la planta sea una entidad pública, por ejemplo el Ayto. de Cuéllar, el tiempo de retorno debería coincidir con la vida útil de la instalación, asegurándose que durante el tiempo de funcionamiento normal de la instalación se ha amortizado.

8.3.2. Retorno de la inversión usuarios

Al disponer de os fuentes de energía inicial distintas se hará por separado el retorno de la inversión.

❖ Comunidad de vecinos

- Presupuesto: 5.498,00 €
- N° de subestaciones: 17
- Precio compra energía propano: 0,055 €/kWh
- Precio compra energía biomasa: 0,0312 €/kWh
- Energía demandada: 1.069.352,52 kWh

El **ahorro real** obtenido es:

$$\begin{aligned} \text{Ahorro}_{\text{real}} &= \text{Energía}_{\text{demandada}} \cdot \Delta \text{Precios}_{\text{compra}} \\ &= 1.069.352,52 \text{ kWh} \cdot (0,055 - 0,0312) \text{ €/kWh} = 25.450,59 \text{ €} \end{aligned}$$

Inversión inicial:

$$\text{Inversión} = \text{Presupuesto} \cdot \text{N}^{\circ} \text{ subestaciones} = 5.498,00 \text{ €} \cdot 17 = 93.466,00 \text{ €}$$

Tiempo de retorno de la inversión:

$$TR_{comunidad} = \frac{Inversión}{Ahorro_{real}} = \frac{93.466,00€}{25.450,59 \text{ €/año}} = 3,67 \text{ años}$$

❖ **Fundación Personas**

- Presupuesto: 5.498,00 €
- N° de subestaciones: 1
- Precio compra energía Gas Natural: 0,048 €/kwh
- Precio compra energía biomasa: 0,0312 €/kWh
- Energía demandada: 208.873,51 kWh

El **ahorro real** obtenido es:

$$\begin{aligned} Ahorro_{real} &= Energía_{demandada} \cdot \Delta Precios_{compra} \\ &= 208.873,51 \text{ kWh} \cdot (0,048 - 0,0312) \text{ €/kWh} = 3.509,07 \text{ €} \end{aligned}$$

Inversión inicial:

$$Inversión = Presupuesto \cdot N^{\circ} \text{ subestaciones} = 5.498,00 \text{ €} \cdot 1 = 5.498,00 \text{ €}$$

Tiempo de retorno de la inversión:

$$TR_{Fundación} = \frac{Inversión}{Ahorro_{real}} = \frac{5.498,00€}{3.509,07 \text{ €/año}} = 1,57 \text{ años}$$

Los tiempos de retorno de los usuarios finales son reducidos, siendo muy atractivos para las entidades. Al depender de la variabilidad de los precios de compra, se podría negociar con la unidad gestora el precio obteniendo una mejora en los tiempos de retorno, siempre que sea inferior que el estimado en el presente proyecto.

9. Conclusiones

Lo que se ha conseguido con este Trabajo Fin de Máster es la elaboración de un proyecto de carácter energético, abordando diferentes tareas a lo largo de su realización.

Desde el principio, se quiso englobar un proyecto completo, donde instalaciones de diferentes sectores económicos formarán parte de la misma idea, dotar de soluciones energéticas diferentes a las existentes, siempre teniendo presente que el ahorro marcaría todas las decisiones a tomar.

Tal fue así, que en el primer paso a lo largo de este camino, con la realización del estudio de viabilidad económica, nos esclareció que una de las instalaciones no tenía potencial de ahorro si se adoptaban los cambios tecnológicos en la generación de frío, por lo que la empresa Verduras Tabuenca detenía su marcha. También, se observa que el ahorro en la generación de frío para climatización en el



edificio de la Fundación Personas, es muy bajo, descartando la implantación de la tecnología de absorción en virtud de los grupos de compresión.

Siguiendo por el camino solo se mantenía un conjunto de instalaciones, con las mismas necesidades, dotarlas de calefacción y ACS, ello conllevaba una solución con un gran potencial de trabajo, la realización de una red de calor, District Heating. Esta tecnología, de generación centralizada era la mejor solución para proporcionar al complejo de edificios formado por la comunidad de Valduermos y la Fundación Personas.

Teniendo el final del camino marcado, con el dimensionamiento del District Heating, faltaba definir uno de los accesos, conocer la materia prima que sustituiría a las usadas por los edificios. Aprovechando la localización de Cuéllar, enmarcada en el Mar de Pinares, y con el auge la empresa Naturpellet, se ha elegido la biomasa para la generación de la energía térmica necesaria.

Sin más pasos que dar, llegan las conclusiones sobre todo el sendero recorrido, desde por qué la generación de frío es económicamente inviable, hasta optar por una red de calor centralizada.

Queda esclarecido, que económicamente la viabilidad de sustituir los sistemas de compresión mecánica por máquinas de absorción es inviable, partiendo en primer lugar por el ahorro obtenido, que es nulo (Verduras Tabuenca) o muy escaso (Fundación Personas), y en segundo plano por el elevado valor económico de los equipos de absorción. Este tipo de tecnología dispone de viabilidad si existe un aprovechamiento de una corriente de energía residual, o si su implantación coincide con la puesta en marcha de la instalación.

Quedando con potencial económico de aprovechamiento la generación de energía térmica, la solución de recurrir a una red de calor centralizada era la mejor de las opciones disponibles. Edificios con las mismas necesidades, el espejo de la red que Cuéllar dispone en su zona sur, un combustible respetuoso con el medio ambiente y un retorno de la inversión corto, no hicieron más que potenciar la elaboración del presente proyecto.

Personalmente, el reto de abordar un Trabajo Fin de Máster tan complejo en características, integrar la generación calefacción y ACS junto con climatización, adentrarme en una industria horticultura, manejar datos reales de las instalaciones, tomar decisiones técnicas, realizar el dimensionamiento y los cálculos de equipos; en definitiva, la realización del presente proyecto que os presentamos. Plasmar los conocimientos adquiridos a lo largo de la formación del Máster en Energía en este Trabajo Fin de Máster me ha mostrado el comienzo de una nueva etapa, una etapa de crecimiento continuo en el que el trabajo y esfuerzo serán los baluartes del futuro.

10. Bibliografía

- AVEBIOM. (2016). Recuperado el 16 de Junio de 2016, de Asociación Española de valorización energética de la biomasa: <http://www.avebiom.org/es/ind-precios-biomasa>
- Comparador Luz. (2016). Recuperado el 16 de Junio de 2016, de Comparador Luz: <http://comparadorluz.com/faq/precio-kwh-gas-natural-2015>
- DeDietrich. (2008). Recuperado el 16 de Julio de 2016, de DeDietrich: http://www.dedietrich-calefaccion.es/productos/gama_de_productos/calderas_de_gran_potencia/gasoleo_gas_de_hierro_fundido_gt
- Ente Regional de la Energía de Castilla y León (EREN). (2000). Difusión de mejores prácticas y nuevas tecnologías en: Generación y distribución de frío. Valladolid, Castilla y León.
- Gutiérrez, F., & San Miguel, G. (2015). *Tecnologías para el uso y transformaciones de biomasa energética*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.
- Hayes, G. D. (1992). *Manual de datos para la ingeniería de los alimentos*. (J. Burgos, Trad.) Zaragoza: Ascribia.
- IDAE. (2014). *Factores de emisión de CO2 y coeficientes de paso de energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector de edificios en España*. Recuperado el 18 de Agosto de 2016, de Ministerio de Industria, Energía y Turismo: http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Reconocidos/Reconocidos/C%20_%2020140720_Factores%20emision%20CO2%20y%20E%20%20Final_Primary-CorrErrata_con%20portada.pdf
- IDAE. (2015). Recuperado el 22 de Junio de 2016, de IDAE: http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Tarifas_Reguladas_ene_2015_9195098b.pdf
- Lucuona, A. (2013). Aplicaciones a energía solar y calores residuales. *Máquinas de absorción*. Madrid: Universidad Carlos III.
- Miranda, Á. L., & Monleón, M. (1996). *Monografías de climatización y ahorro energético: Cámaras frigoríficas*. Barcelona: Ediciones CEAC.
- Miranda, Á. L., & Rufes, P. (2004). *Monografías de climatización y ahorro energético: Ciclos de refrigeración*. Madrid: AMV Ediciones.
- Real Academia de la Lengua Española. (2014). Recuperado el 4 de Julio de 2016, de Real Academia Española: <http://dle.rae.es/?id=5YtOE4H>



San José, J. F. (2012). *Refrigeración: Cámaras frigoríficas*. Valladolid: Universidad de Valladolid.

UNE 100155:2004. (12 de 11 de 2004). *Climatización. Diseño y cálculo de sistemas de expansión*.



ANEXO I. Cálculos del estudio previo de viabilidad económica

Recogidos los datos de las diferentes instalaciones de estudio, se han procedido a su análisis y tratamiento para obtener si es viable o no el cambio de tecnología de generación. A continuación se detallará los cálculos que se han realizado para obtener los datos que aparecen en el apartado 6, y a mayores se ha obtenido las emisiones de CO₂ que se han producido durante el periodo de estudio a la hora de la generación. Los factores se han obtenido del documento del IDAE, que entraban en vigor a fecha de 1 de enero de 2016.

1. Valduhertos

a. Comunidad de vecinos

Se parte de datos proporcionados por dos viviendas habitadas por 2 y 4 personas. La comunidad de vecinos está alimentada por gas propano, siendo la generación de calefacción y ACS individual, es decir, cada vivienda posee una caldera individual.

Los datos que se han manejado son los kilogramos de gas propano que ha consumido la vivienda durante el último año, 2.015. Para poder exportar el consumo a toda la comunidad se ha realizado la media de ambas vivienda y multiplicado por el número de viviendas que existen, que son ciento dos. A su vez, también se dispone del precio por kilogramo de gas, de esta forma conocemos cuanto se han gastado las familias en la generación de ACS y calefacción.

| | Familia | Dos personas | Cuatro personas |
|----------------|---------------|---------------|-----------------|
| Periodo | Precio (€/kg) | Consumo (kg) | Consumo (kg) |
| Enero - Marzo | 0,754 | 252,73 | 445,76 |
| Marzo - Mayo | 0,761 | 105,47 | 93,53 |
| Mayo - Julio | 0,721 | 39,8 | 41,79 |
| Julio - Sept | 0,671 | 27,85 | 9,95 |
| Sept - Nov | 0,664 | 103,48 | 101,48 |
| Nov - Enero | 0,689 | 270,64 | 137,31 |
| TOTALES | 0,710 | 799,97 | 829,82 |

El consumo total de gas propano para toda la comunidad se aproxima a la media de los datos de las dos familias, multiplicado por el número total de viviendas:

$$Media = \frac{799,97 + 829,82}{2} = 814,7583 \text{ kg}$$

$$Consumo_{com} = Media \cdot N^{\circ} \text{ de viviendas} = 814,76 \cdot 102 = 83.105,35 \text{ kg}$$

Durante el periodo 2.015 existen un total de seis precios diferentes para el propano, escogiendo la media de los mismos para nuestros cálculos:

$$\begin{aligned} \text{Precio}_{\text{propano}} &= \frac{\sum_{i=1}^6 \text{Precio}_i}{6} = \frac{0,754 + 0,761 + 0,721 + 0,671 + 0,664 + 0,689}{6} \\ &= 0,71 \text{ €/kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Gasto}_{\text{comunidad}} &= \text{Consumo}_{\text{com}} \cdot \text{Precio}_{\text{propano}} = 83.105,35 \text{ kg} \cdot 0,71 \text{ €/kg} \\ &= 59.006,18 \text{ €} \end{aligned}$$

Para saber qué cantidad de biomasa equivale a los kilogramos de gas propano que se han consumido se aplicará la ecuación 32, además de ser necesario conocer el poder calorífico del gas, que en este caso, tiene un valor de 46,32 MJ/kg.

$$\begin{aligned} \text{Energía}_{\text{com}} &= \text{Consumo}_{\text{com}} \cdot H_{c_{\text{propano}}} = 83.105,35 \text{ kg} \cdot 46,32 \text{ MJ/kg} \\ &= 3.849.669,08 \text{ MJ} \end{aligned}$$

La biomasa elegida para sustituir al gas propano como fuente de energía para la generación de calefacción y ACS se trata de astilla con un poder calorífico de 12 MJ/kg y un precio de 0,06 €/kg, por lo que la cantidad de astilla necesaria y el gasto para generar la energía que se obtiene con el gas propano es:

$$\text{Consumo}_{\text{biomasa}} = \frac{\text{Energía}_{\text{com}}}{H_{c_{\text{biomasa}}}} = \frac{3.849.669,08 \text{ MJ}}{12 \text{ MJ/kg}} = 320.805,76 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Gasto}_{\text{biomasa}} &= \text{Consumo}_{\text{biomasa}} \cdot \text{Precio}_{\text{biomasa}} = 320.805,76 \text{ kg} \cdot 0,06 \text{ €/kg} \\ &= 19.248,35 \text{ €} \end{aligned}$$

Por lo tanto, el ahorro que se produce con el cambio de combustible es de:

$$\text{Ahorro}_{\text{comunidad}} = \text{Gasto}_{\text{com}} - \text{Gasto}_{\text{biomasa}} = 59.006,18 - 19.248,35 = 39.757,84 \text{ €}$$

b. Centro Fundación Personas

Los datos de partida para realizar el estudio de viabilidad económica para la Fundación Personas son las facturas eléctricas y de gas natural del año 2.015. Las primeras se utilizarán para obtener la parte de climatización, mientras que los datos de consumo de gas natural se usarán en los cálculos de calefacción y ACS.

La facturación de gas natural se realiza a través de los metros cúbicos que consumen las calderas para la generación, tanto de ACS como de calefacción. Los datos obtenidos de las facturas son:

$$\text{Consumo}_{GN} = 20.229,88 \text{ m}^3 \quad \text{Precio}_{GN} = 0,048 \text{ €/kWh} \quad H_{c_{GN}} = 10,325 \text{ kWh/m}^3$$

De esta forma utilizando la ecuación 32, la Fundación Personas tuvo un gasto en gas natural durante el año 2015 de:

$$\begin{aligned} \text{Gasto}_{GN} &= \text{Consumo}_{GN} \cdot H_{c_{GN}} \cdot \text{Precio}_{GN} \\ &= 20.229,88 \text{ m}^3 \cdot 10,325 \text{ kWh/m}^3 \cdot 0,048 \text{ €/kWh} = 10.025,93 \text{ €} \end{aligned}$$

Utilizando la misma biomasa, el consumo y gasto sería de:

$$\begin{aligned} \text{Energía}_{GN} &= \text{Consumo}_{GN} \cdot Hc_{GN} = 20.229,88 \text{ m}^3 \cdot 10,325 \text{ kWh/m}^3 = 208.873,51 \text{ kWh} \\ &= \text{Energía}_{biomasa} \end{aligned}$$

$$\text{Consumo}_{biomasa} = \frac{\text{Energía}_{biomasa}}{Hc_{biomasa}} = \frac{208.873,51 \text{ kWh}}{3,33 \text{ kWh/kg}} = 62.662,03 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Gasto}_{biomasa} &= \text{Consumo}_{biomasa} \cdot \text{Precio}_{biomasa} = 62.662,03 \text{ kg} \cdot 0,06 \text{ €/kg} \\ &= 3.759,72 \text{ €} \end{aligned}$$

El gasto en combustible es inferior si se hubiera utilizado biomasa, teniendo un ahorro de:

$$\begin{aligned} \text{Ahorro}_{Fundación Personas calor} &= \text{Gasto}_{GN} - \text{Gasto}_{biomasa} = 10.025,93 \text{ €} - 3.759,72 \text{ €} \\ &= 6.266,21 \text{ €} \end{aligned}$$

En cuanto a la refrigeración, se disponen de los datos de energía eléctrica consumida en el 2.015 por todo el edificio, por lo que se han tenido que realizar varias suposiciones. La primera, los compresores suponen el 30% del consumo eléctrico global. La tarifa que posee el centro es la 3.0A, teniendo tres franjas horarias de consumo distintas, por lo tanto, se ha supuesto que los grupos de climatización están funcionando un total de 7 horas diarias, englobados dentro de las franjas punta (4 horas) y llano (3 horas).

Con estas suposiciones, los datos recogidos han sido:

| Consumo (kWh) | Precio punta (€/kWh) | Precio llano (€/kWh) |
|---------------|----------------------|----------------------|
| 46.584,50 | 0,10969 | 0,094572 |
| % de horas | 57 | 43 |

Partiendo de estos datos, el consumo y gasto generado por los grupos es de:

$$\begin{aligned} \text{Energía}_{GC} &= \text{Energía}_{eléctrica} \cdot \text{Porcentaje asociado al consumo de los GC} \\ &= 46.584,50 \text{ kWh} \cdot 0,30 = 13.975,35 \text{ kWh} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Precio}_{elec} &= \sum_{i=1}^2 \text{Precio}_i \cdot \% \text{ de horas}_i = 0,10969 \cdot 0,57 + 0,094572 \cdot 0,43 \\ &= 0,10332 \text{ €/kWh} \end{aligned}$$

$$\text{Gasto}_{GC} = \text{Energía}_{GC} \cdot \text{Precio}_{elec} = 13.975,35 \text{ kWh} \cdot 0,10332 \text{ €/kWh} = 1.444,01 \text{ €}$$

En este caso, para saber la cantidad de biomasa necesaria hay que tener en cuenta los parámetros de rendimiento del equipo de compresión mecánica y de la máquina de absorción de bromuro de litio-agua, que son del 1,81 y 0,69 respectivamente.

De esta forma, se obtiene que el consumo y gasto en biomasa es de:

$$Energía_{climatización} = Energía_{GC} \cdot COP_{GC} = 13.975,35 \cdot 1,81 = 25.295,38 \text{ kWh}$$

$$Energía_{biomasa} = \frac{Energía_{climatización}}{COP_{absorción}} = \frac{25.295,38}{0,69} = 36.659,98 \text{ kWh}$$

$$Consumo_{biomasa} = \frac{Energía_{biomasa}}{Hc_{biomasa}} = \frac{36.659,98 \text{ kWh}}{3,33 \text{ kWh/kg}} = 11.066,90 \text{ kg}$$

$$Gasto_{biomasa} = Consumo_{biomasa} \cdot Precio_{biomasa} = 11.066,90 \text{ kg} \cdot 0,06 \text{ €/kg} = 664,01 \text{ €}$$

$$Ahorro_{Fundación Personas frío} = 1.444,01 - 664,01 = 779,99 \text{ €}$$

Suponiendo un ahorro total de:

$$Ahorro_{Fundación Personas} = 6.266,21 + 779,99 = 7.046,20 \text{ €}$$

c. Reorganización de los ahorros

Los ahorros calculados nos dan una información sobre cuál es el potencial de ahorro de la instalación si cambiamos los sistemas de generación, es decir, se han obtenido como si la permuta fuera individualizada en cada una de las instalaciones. Hay que tener en cuenta que tanto la comunidad de vecinos como la Fundación Personas comprarán la energía a la entidad gestora de la planta generadora, cuyo precio será siempre inferior al de la energía que utilizan en la actualidad, pero mayor que el precio de la biomasa utilizado para este estudio previo.

Cabe destacar que solamente se han utilizado los conceptos de precios variables, por lo que el ahorro calculado anteriormente debería de ser mayor, por lo que virtualmente si tenemos constancia de las dos hándicap anteriores, en definitiva el ahorro calculado se aproxima al que realmente se obtiene.

En los apartados anteriores para la instalación Valduhertos se deben de reorganizar en dos partidas al pertenecer a orígenes diferentes.

Esto se debe a que por un lado se está obteniendo el ahorro destinado para calefacción y ACS y que se destinará para amortizar el equipo intercambiador de energía, el cual se instalará dentro del edificio, y por otro lado se encuentra el consumo de climatización de la Fundación Personas, cuyo ahorro se invertirá en amortizar el equipo generador de climatización.

Por lo tanto los ahorros reorganizados son:

$$\begin{aligned} Ahorro_{calor} &= Ahorro_{comunidad} + Ahorro_{Fundación Personas calor} = 39.757,84 + 6.266,21 \\ &= 46.024,04 \text{ €} \end{aligned}$$

$$Ahorro_{frío} = 779,99 \text{ €}$$

Entrando en más detalle se obtienen las siguientes conclusiones:

- El ahorro obtenido para la generación de calor nos permite disponer de un margen de movilidad a la hora de amortizar la instalación de la subestación de intercambio.
- El ahorro obtenido para la generación de frío hace inviable el pensamiento de cambiar la tecnología actual por máquina de absorción. A pesar de ello, los cálculos y notaciones técnicas se tendrán en cuenta para la elaboración del presente proyecto, por si en un futuro los gestores del edificio de la Fundación Personas quisieran retomar el cambio de tecnología.

d. Emissiones de CO₂

A mayores, se ha querido calcular la cantidad de CO₂ que se emite al generar la energía final. A continuación se expresa el combustible o fuente de energía primaria y su factor de emisión de CO₂, así como la cantidad final emitida.

| Centro | Energía primaria | Factor de emisión (kg CO ₂ /kWh final) | Energía final (kWh) | Kg de CO ₂ emitidos |
|-------------------------------------|------------------|---|---------------------|--------------------------------|
| Comunidad de vecinos "Valdihuertos" | Gas propano | 0,244 | 1.069.352,52 | 260.922,02 |
| Centro Fundación Personas | Gas Natural | 0,204 | 208.873,51 | 42.610,20 |
| Centro Fundación Personas | Electricidad | 0,649 | 13.975,35 | 9.070 |

2. Verduras Tabuenca

Los datos de partida para el cálculo de viabilidad económica para la empresa Verduras Tabuenca han sido los siguientes:

- ❖ Documentación de la legalización de las cámaras frigoríficas
- ❖ Facturas de electricidad del año 2.015
- ❖ Planos de la instalación
- ❖ Cantidad de producto almacenadas durante el año 2.015

El orden de operación ha seguido la siguiente secuencia:

1. Determinar la energía frigorífica proporcionada en 2.015
2. Calcular el coste de generación por los equipos de compresión mecánica
3. Calcular la cantidad y coste de biomasa para la generación por máquina de absorción
4. Obtener el ahorro y la conclusión del estudio de viabilidad

Según lo expuesto anteriormente, la primera de las acciones ha sido obtener la energía de refrigeración que las cámaras frigoríficas proporcionaron durante el año de estudio, el 2.015.

Para ello, se solicitó a la empresa los productos que se habían almacenado durante este periodo en las cámaras (un total de 6), así como el tiempo de permanencia y la tipología de embalaje utilizado y sus características. También se han requerido datos de las cámaras tales como dimensiones, materiales de construcción, iluminación, orientación, tiempo de uso, temperaturas de trabajo y productos que almacena cada cámara. Con toda esa información y utilizando el proceso descrito en el apartado 3.4.3, se han obtenido las siguientes cargas frigoríficas.

| Cámara | Energía frigorífica 2.015 (kWh) |
|--------------|---------------------------------|
| 1 | 26.394,79 |
| 3 | 285.558,26 |
| 4 | 69.394,40 |
| 5 | 49.098,22 |
| 6 | 158.377,00 |
| Expedición | 17.630,81 |
| Total | 606.453,47 |

Una vez conocida la energía frigorífica que requirieron las cámaras, se debe de obtener la energía eléctrica necesaria, ya que los grupos de generación disponibles en la instalación son grupos de compresión que utilizan como energía primaria la electricidad. El dato que se necesita para esta conversión es el COP de los grupos, que según datos proporcionados es de 2,029.

$$Energía_{eléctrica} = \frac{Energía_{frigorífica}}{COP_{GC}} = \frac{606.453,47 \text{ kWh}}{2,029} = 298.894,92 \text{ kWh}$$

Según las facturas proporcionadas, la empresa dispone de la tarifa eléctrica 6.1A que dispone de seis franjas horarias de facturación. Para disponer de un precio único, ya que se desconoce la cantidad exacta de energía que es consumida en cada una de las franjas, se ha realizado una ponderación del precio según el número de horas que es aplicado cada uno de los seis periodos. Además, aparecen dos términos dependientes de la energía consumida: la energía eléctrica (EE) y el término de energía o tarifa de acceso (TA).

| Periodo | Nº horas | % | Coste EE (cnt€/kWh) | Coste TA (cnt€/kWh) |
|--------------|--------------|------------|---------------------|---------------------|
| 1 | 631 | 7,2 | 8,4868 | 2,6674 |
| 2 | 876 | 10 | 7,4125 | 1,9921 |
| 3 | 448 | 5,1 | 8,0185 | 1,0615 |
| 4 | 747 | 8,5 | 7,8711 | 0,5283 |
| 5 | 1.019 | 11,6 | 7,3809 | 0,3411 |
| 6 | 5.039 | 57,5 | 5,5853 | 0,2137 |
| Total | 8.760 | 100 | 6,5052 | 0,6533 |

$$\begin{aligned}
 \text{Coste EE} &= \sum_{i=1}^6 C_{EEi} \cdot \%_i \\
 &= 8,4868 \cdot 0,072 + 7,4125 \cdot 0,10 + 8,0185 \cdot 0,051 + 7,8711 \cdot 0,085 \\
 &\quad + 7,3809 \cdot 0,116 + 5,5883 \cdot 0,575 = 6,5052 \text{ cnt€/kWh}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Coste TA} &= \sum_{i=1}^6 C_{TAi} \cdot \%_i \\
 &= 2,6674 \cdot 0,072 + 1,9912 \cdot 0,10 + 1,0615 \cdot 0,051 + 0,5283 \cdot 0,085 \\
 &\quad + 0,3411 \cdot 0,116 + 0,2137 \cdot 0,575 = 0,6533 \text{ cnt€/kWh}
 \end{aligned}$$

$$\text{Coste}_{elec} = \text{Coste EE} + \text{Coste TA} = 6,5052 + 0,6533 = 7,1585 \text{ cnt€/kWh}$$

Por lo tanto, la empresa se ha gastado en la generación de frío por parte de los grupos de compresión:

$$\begin{aligned}
 \text{Gasto}_{GC} &= \text{Energía}_{electrica} \cdot \text{Coste}_{elec} = 298.894,92 \text{ kWh} \cdot 7,1585 \text{ cnt€/kWh} \\
 &= 2.139.651,94 \text{ cnt€} = 21.396,52 \text{ €}
 \end{aligned}$$

Conocida la energía y el gasto de los grupos actuales, pasamos a obtener la cantidad de biomasa necesaria en el caso de haber utilizado esta tecnología para la generación a través de máquina de absorción. Para conocer la energía que debe de proporcionarnos la biomasa es necesario disponer del rendimiento de la máquina de absorción de amoniaco-agua, que según la documentación obtenida es de 0,42.

$$\text{Energía}_{biomasa} = \frac{\text{Energía}_{frigorífica}}{COP_{MA}} = \frac{606.453,47 \text{ kWh}}{0,42} = 1.443.936,83 \text{ kWh}$$

$$\text{Consumo}_{biomasa} = \frac{\text{Energía}_{biomasa}}{H_{C_{biomasa}}} = \frac{1.443.936,83 \text{ kWh}}{3,33 \text{ kWh/kg}} = 433.181,05 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Gasto}_{biomasa} &= \text{Consumo}_{biomasa} \cdot \text{Precio}_{biomasa} = 433.181,05 \text{ kg} \cdot 0,06 \text{ €/kg} \\
 &= 25.990,86 \text{ €}
 \end{aligned}$$

El último de los pasos es el cálculo del ahorro y la conclusión del estudio, es decir si es conveniente o no el cambio de tecnología.



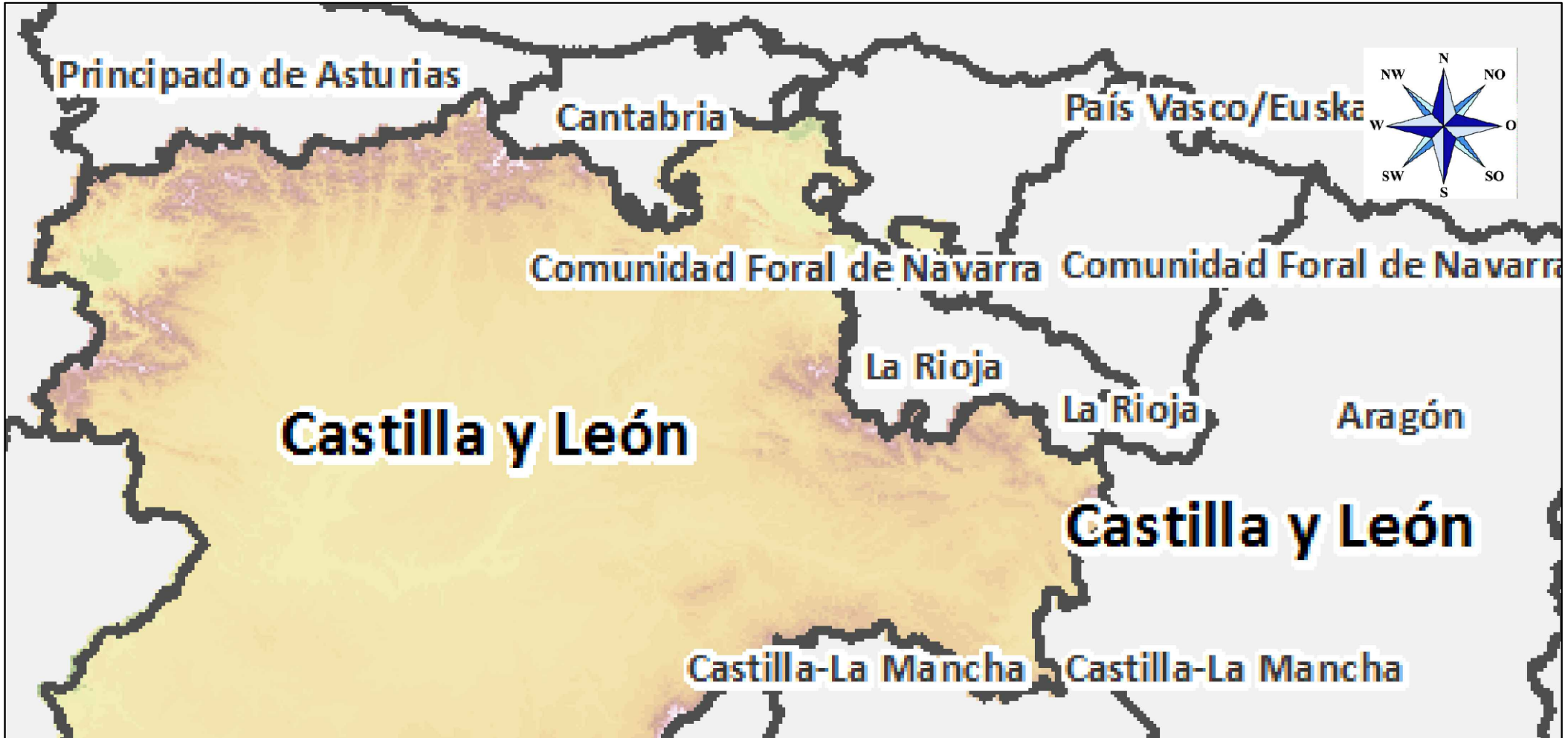
$$\text{Ahorro} = \text{Gasto}_{GC} - \text{Gasto}_{biomasa} = 21.396,52 - 25.990,86 = -4.594,35 \text{ €}$$

Los datos obtenidos del ahorro suponen que el estudio de viabilidad para la empresa Verduras Tabuenca termine en este punto, ya que se obtiene un ahorro negativo, lo que quiere decir, y como conclusión, es que un cambio de la actual tecnología de generación del sistema de refrigeración de las cámaras frigoríficas supondría un gasto extra anual entorno a los 4.600 €.

Esta conclusión justifica la estructura que sigue el proyecto a partir del apartado 7, centrándonos en la instalación de Valdihuertos y desestimando cualquier tipo de inversión en la empresa Verduras Tabuenca.



ANEXO II. Planos

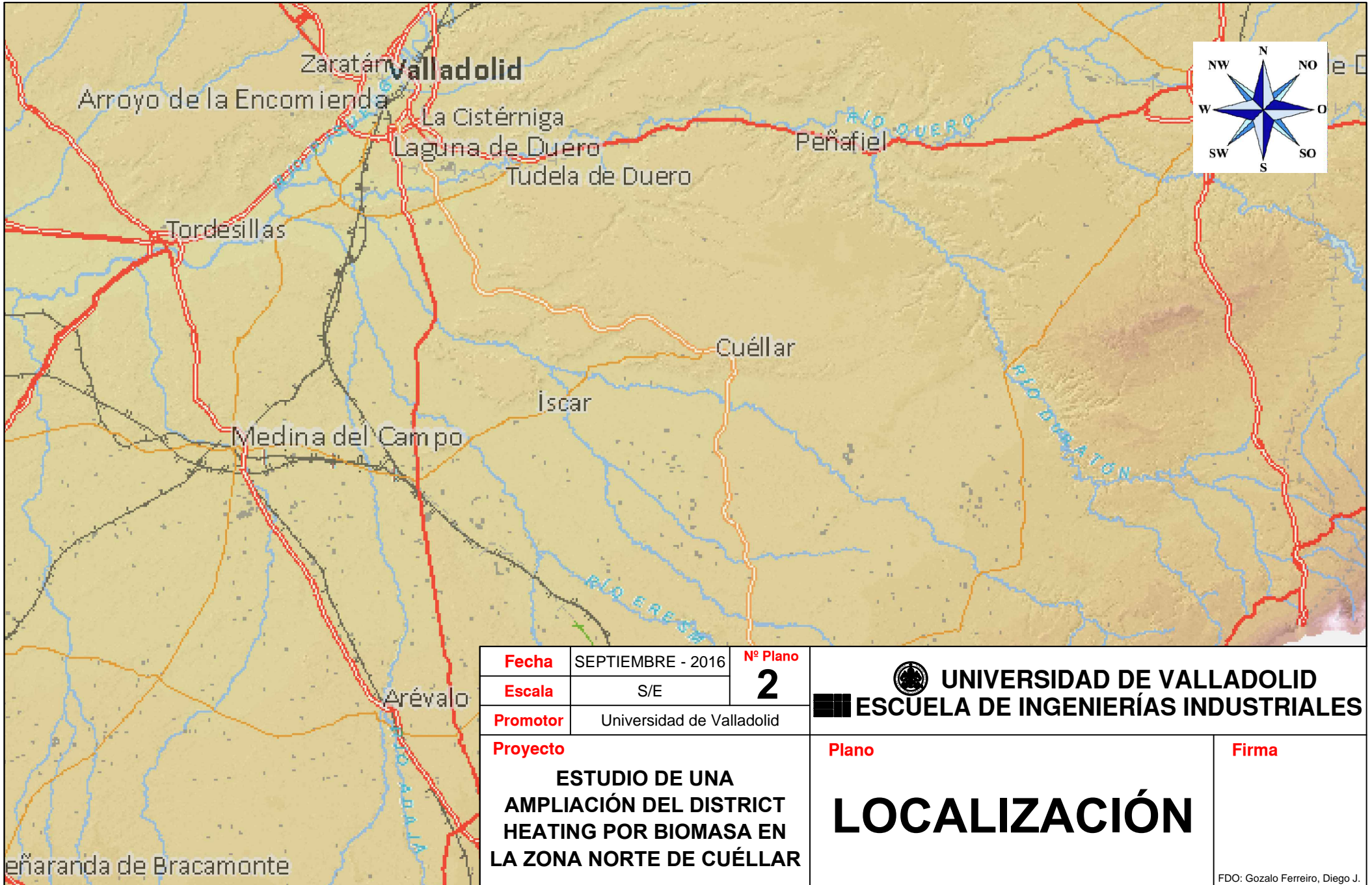


Castilla y León

| | | | |
|-----------------|--|-----------------|----------|
| Fecha | SEPTIEMBRE - 2016 | Nº Plano | 1 |
| Escala | S/E | | |
| Promotor | Universidad de Valladolid | | |
| Proyecto | ESTUDIO DE UNA AMPLIACIÓN DEL DISTRICT HEATING POR BIOMASA EN LA ZONA NORTE DE CUÉLLAR | | |

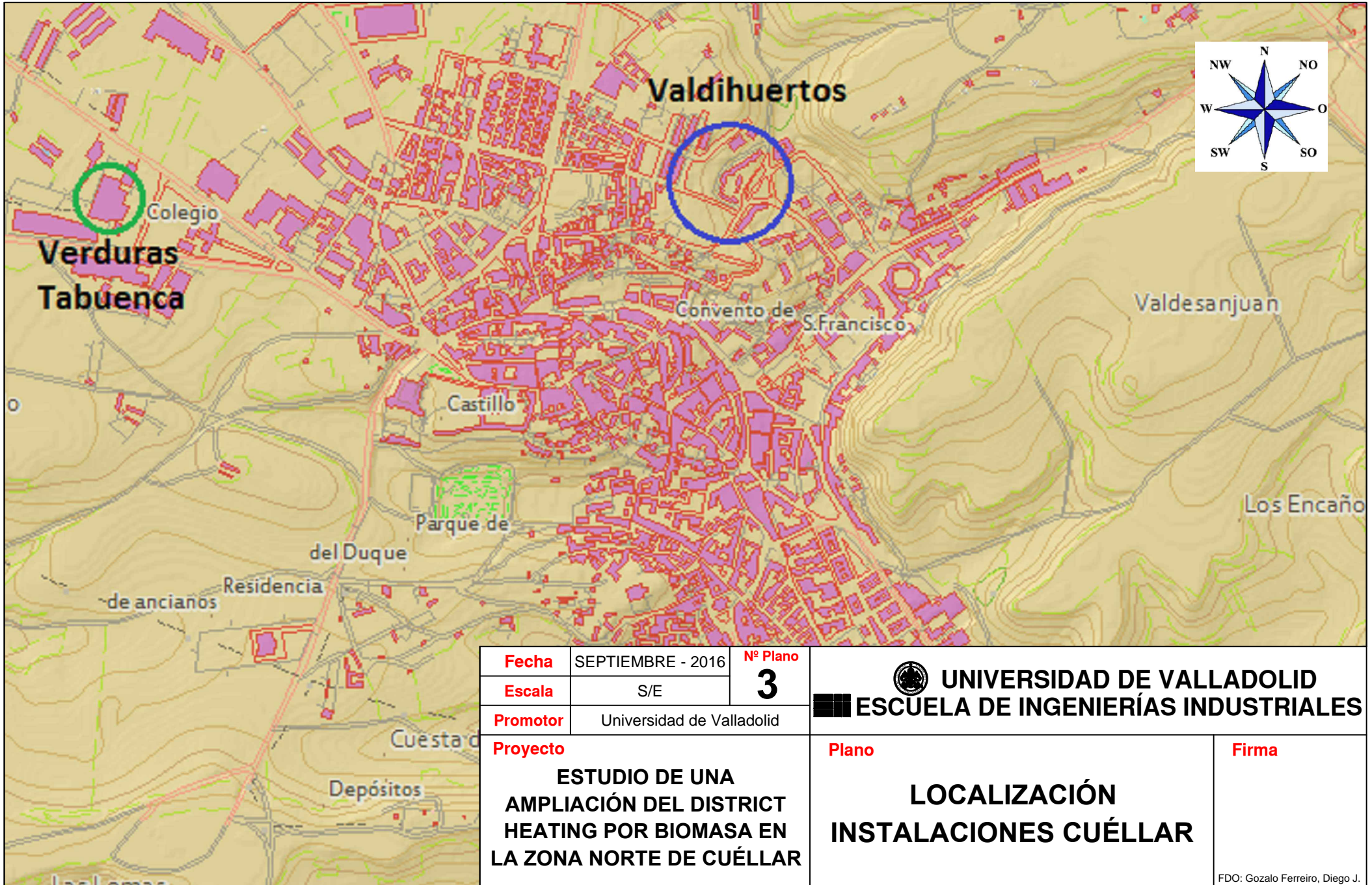

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

| | |
|---------------------|--------------|
| Plano | Firma |
| LOCALIZACIÓN | |




| | | |
|-----------------|---|-----------------|
| Fecha | SEPTIEMBRE - 2016 | Nº Plano |
| Escala | S/E | 2 |
| Promotor | Universidad de Valladolid | |
| Proyecto | ESTUDIO DE UNA AMPLIACIÓN DEL DISTRICT HEATING POR BIOMASA EN LA ZONA NORTE DE CUÉLLAR | |

| | |
|--|--------------|
|  UNIVERSIDAD DE VALLADOLID ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES | |
| Plano | Firma |
| LOCALIZACIÓN | |
| FDO: Gozalo Ferreiro, Diego J. | |

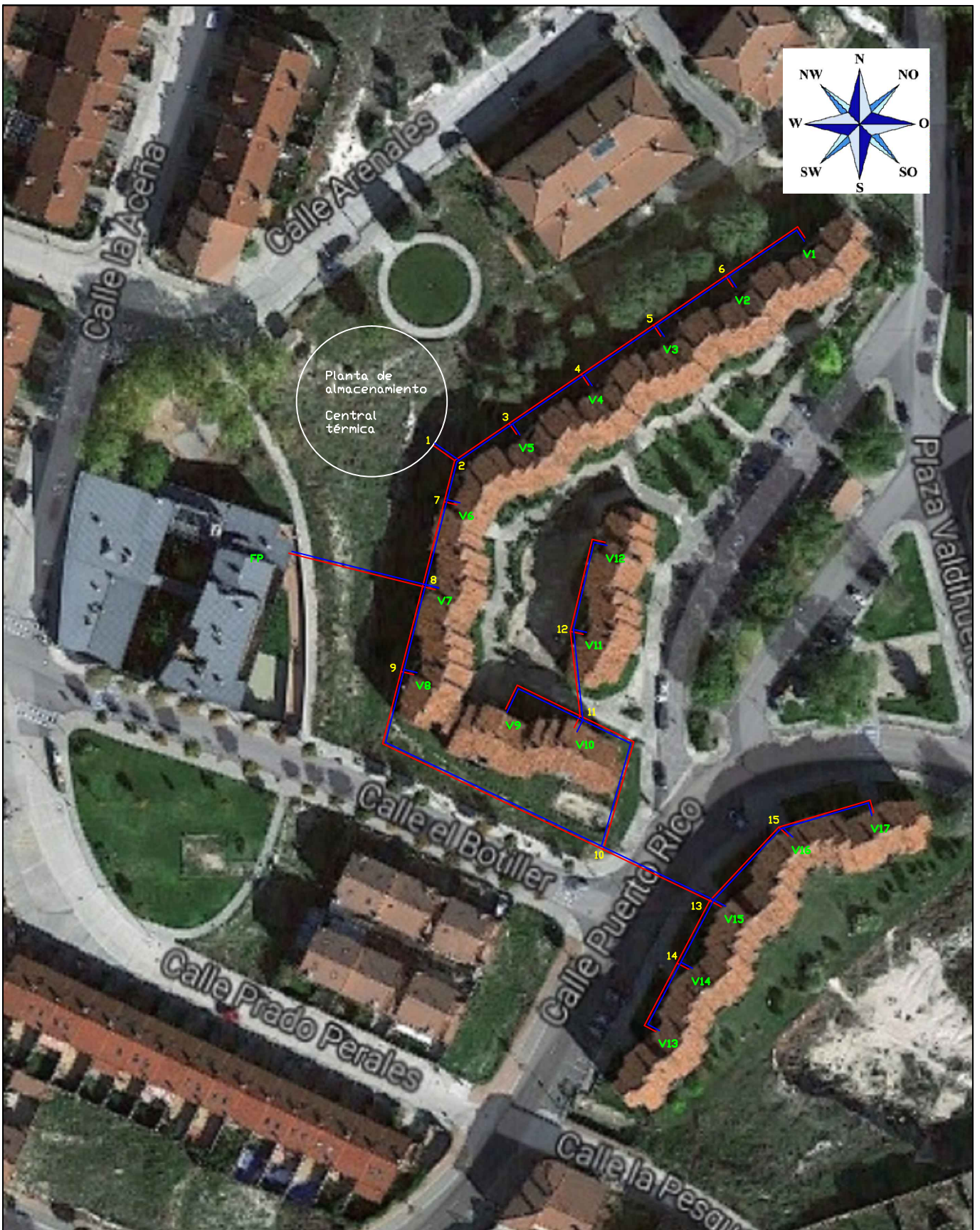


| | | |
|-----------------|--|-----------------------------|
| Fecha | SEPTIEMBRE - 2016 | Nº Plano 3 |
| Escala | S/E | |
| Promotor | Universidad de Valladolid | |
| Proyecto | ESTUDIO DE UNA AMPLIACIÓN DEL DISTRICT HEATING POR BIOMASA EN LA ZONA NORTE DE CUÉLLAR | |

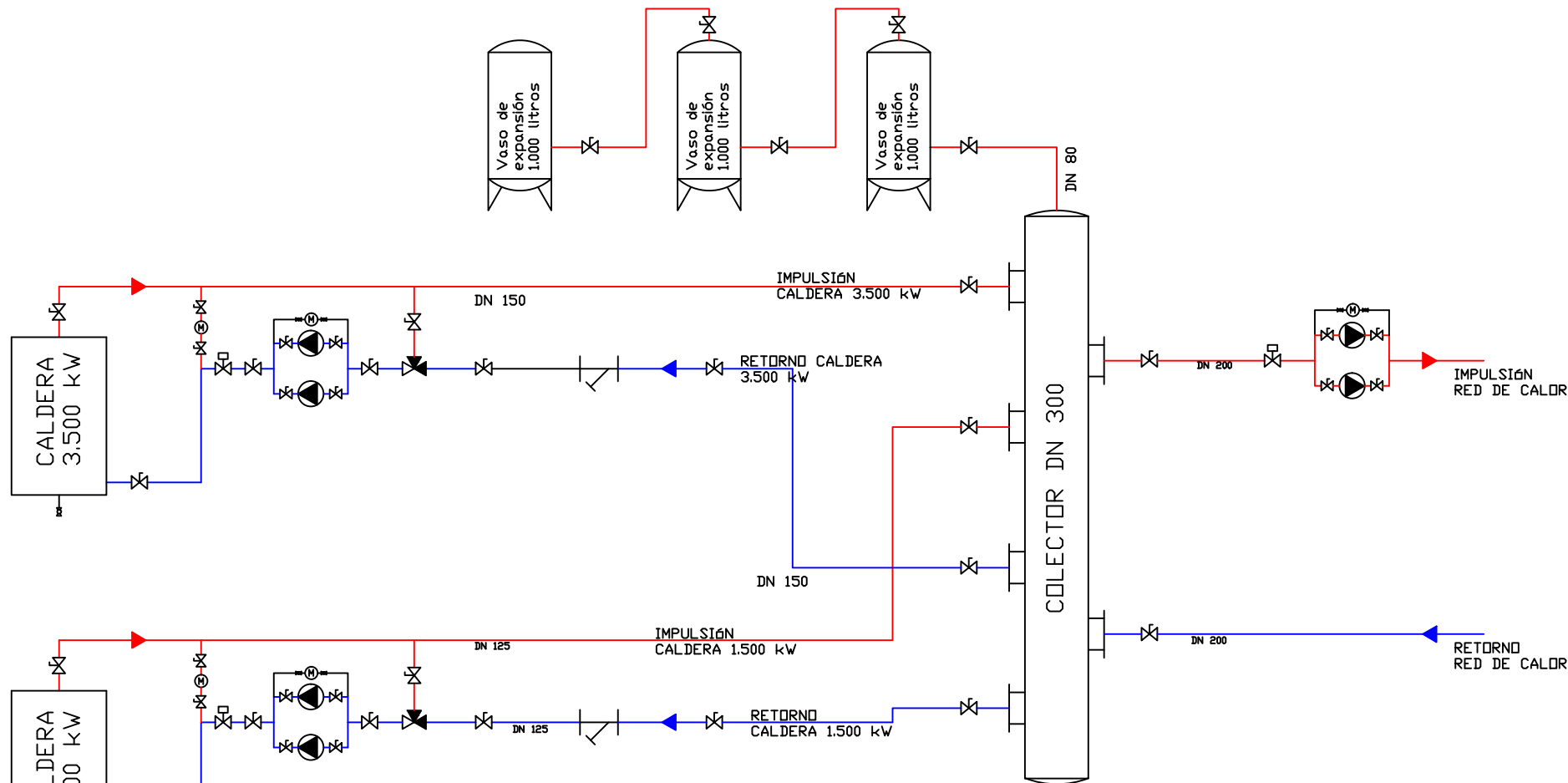
| | |
|--|--------------|
|  UNIVERSIDAD DE VALLADOLID ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES | |
| Plano | Firma |
| LOCALIZACIÓN INSTALACIONES CUÉLLAR | |
| FDO: Gozalo Ferreiro, Diego J. | |



| | | | | |
|-----------------|---|-----------------|----------|--|
| Fecha | SEPTIEMBRE - 2016 | Nº Plano | 4 |  UNIVERSIDAD DE VALLADOLID ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES |
| Escala | S/E | | | |
| Promotor | Universidad de Valladolid | | | |
| Proyecto | ESTUDIO DE UNA AMPLIACIÓN DEL DISTRICT HEATING POR BIOMASA EN LA ZONA NORTE DE CUÉLLAR | | | Plano <h1 style="text-align: center;">EDIFICIOS VALDIHUERTOS</h1> |
| | | | | Firma <small>FDO: Gozalo Ferreiro, Diego J.</small> |



| | | | | | |
|-----------------|--|-----------------|--------------------------------|--|---------------------|
| Fecha | SEPTIEMBRE - 2016 | Nº Plano | 5 |  UNIVERSIDAD DE VALLADOLID ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES | |
| Escala | S/E | | | | |
| Promotor | Universidad de Valladolid | | | | |
| Proyecto | ESTUDIO DE UNA AMPLIACIÓN DEL DISTRICT HEATING POR BIOMASA EN LA ZONA NORTE DE CUÉLLAR | | Plano | | RED DE CALOR |
| | | | FDO: Gozalo Ferreiro, Diego J. | | |



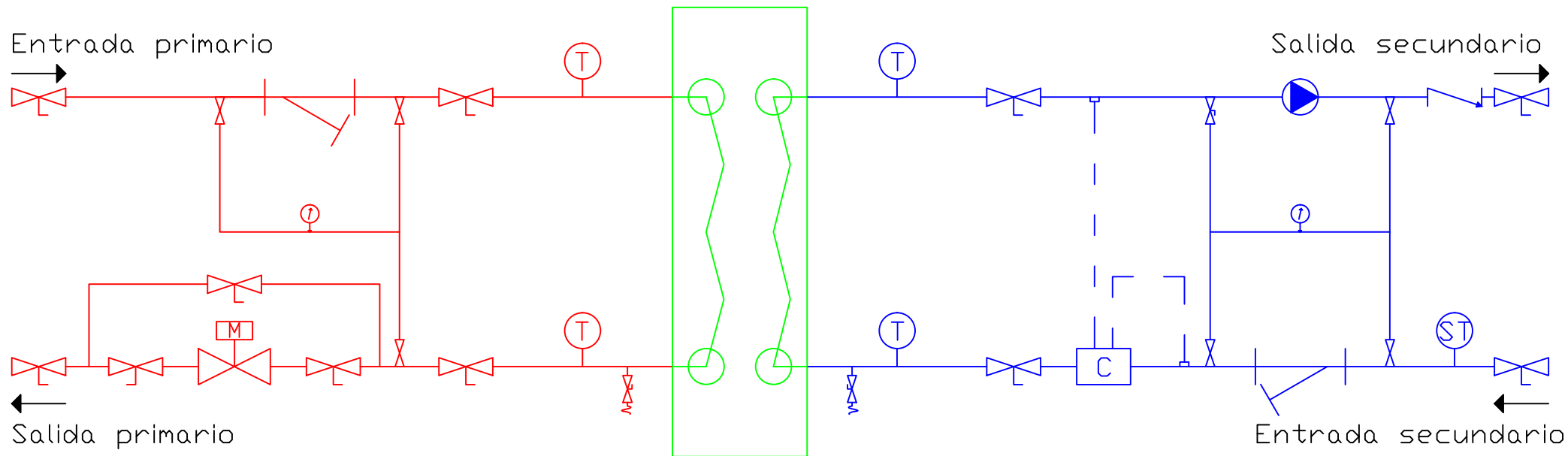
| | | |
|-----------------|--|-----------------------------|
| Fecha | SEPTIEMBRE - 2016 | Nº Plano 7 |
| Escala | S/E | |
| Promotor | Universidad de Valladolid | |
| Proyecto | ESTUDIO DE UNA AMPLIACIÓN DEL DISTRICT HEATING POR BIOMASA EN LA ZONA NORTE DE CUÉLLAR | |



UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

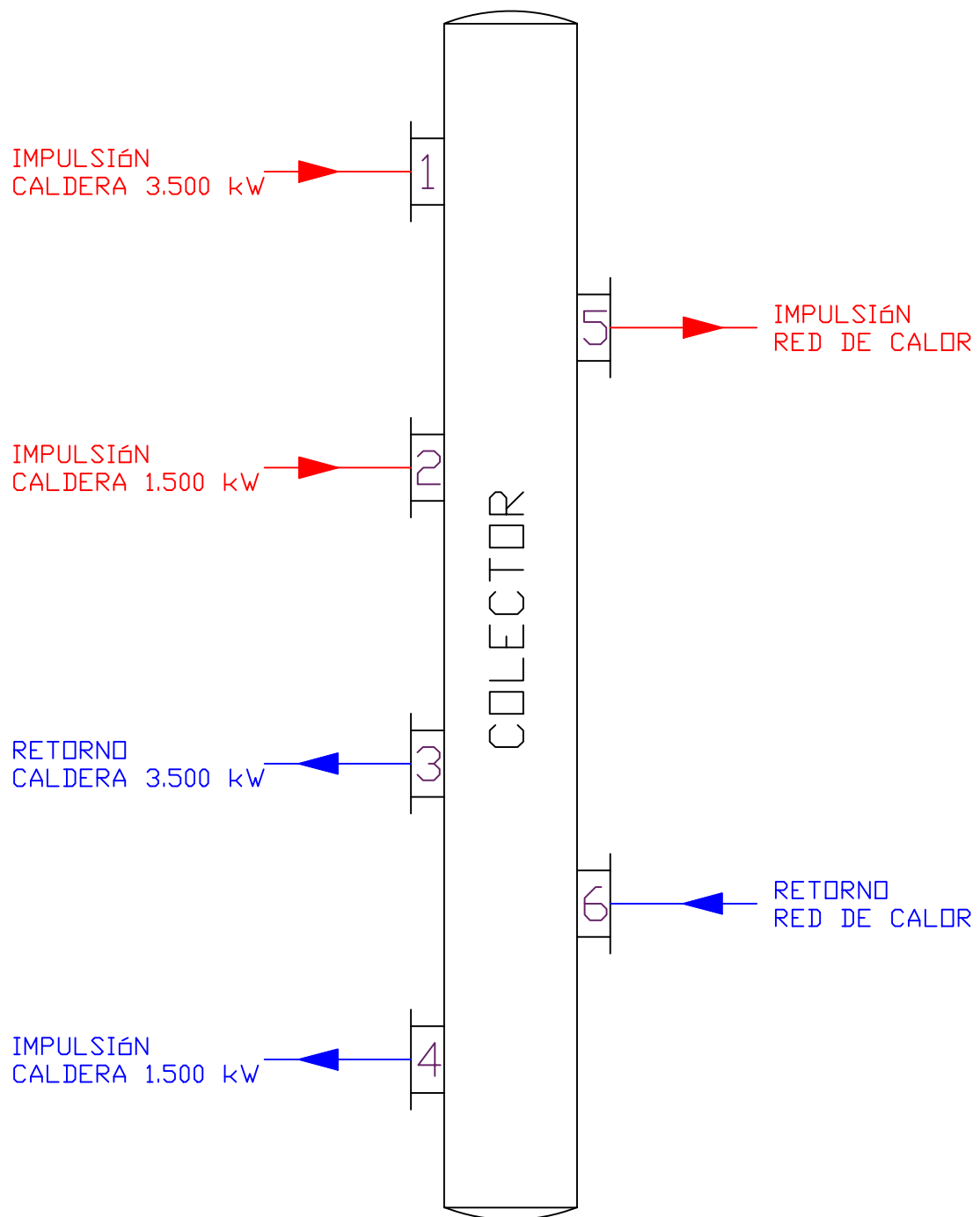
Plano
ESQUEMA DE PRINCIPIO

Firma

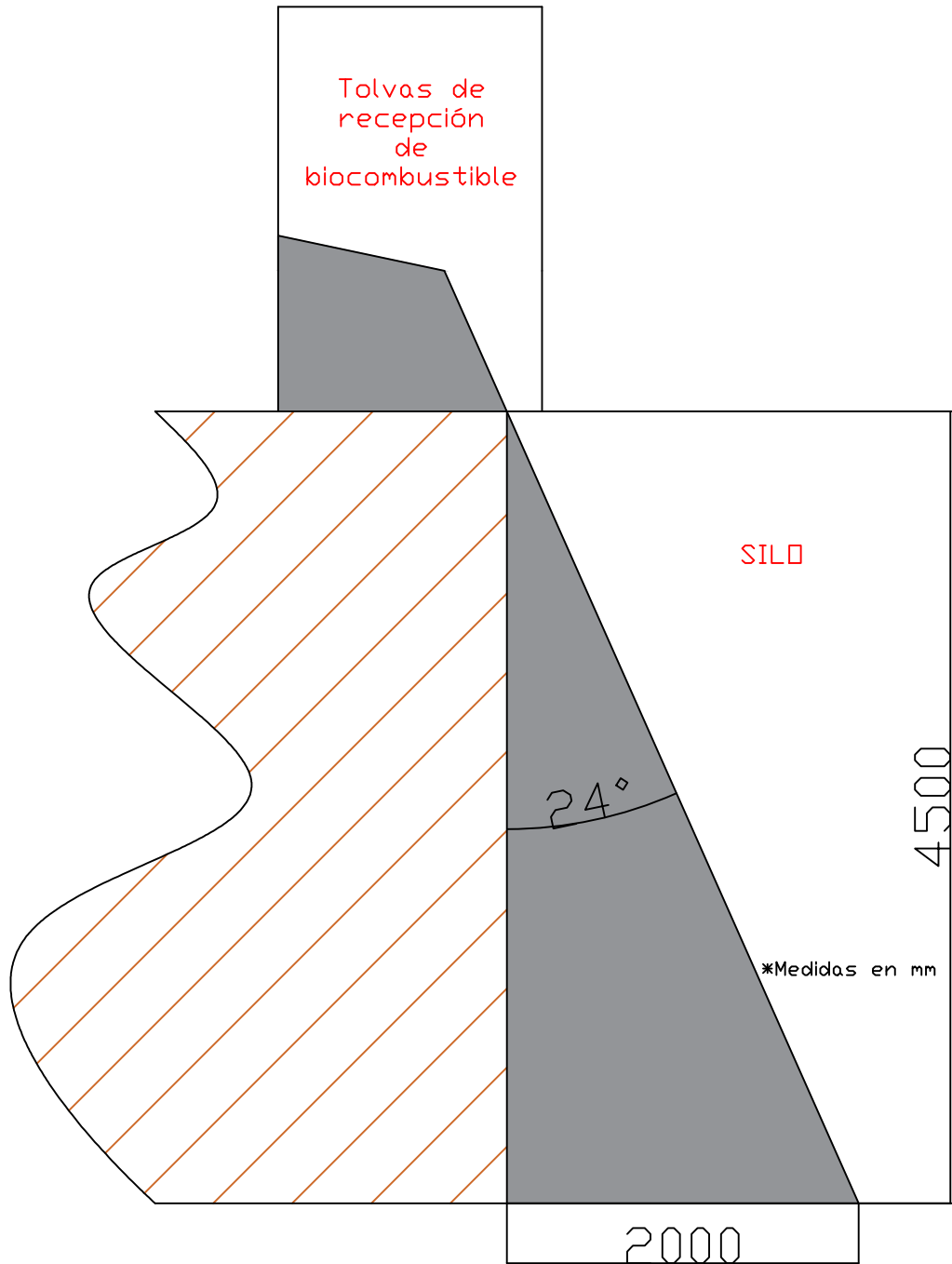
 FDO: Gozalo Ferreiro, Diego J.



| | | | | | |
|-----------------|--|-----------------|----------|--|--------------|
| Fecha | SEPTIEMBRE - 2016 | Nº Plano | 8 |  UNIVERSIDAD DE VALLADOLID ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES | |
| Escala | S/E | | | | |
| Promotor | Universidad de Valladolid | | | | |
| Proyecto | ESTUDIO DE UNA AMPLIACIÓN DEL DISTRICT HEATING POR BIOMASA EN LA ZONA NORTE DE CUÉLLAR | | | Plano ESQUEMA SUBESTACIÓN DE INTERCAMBIO | Firma |



| | | | | |
|-----------------|---|-----------------|----------|--|
| Fecha | SEPTIEMBRE - 2016 | Nº Plano | 9 |  UNIVERSIDAD DE VALLADOLID ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES |
| Escala | S/E | | | |
| Promotor | Universidad de Valladolid | | | |
| Proyecto | ESTUDIO DE UNA AMPLIACIÓN DEL DISTRICT HEATING POR BIOMASA EN LA ZONA NORTE DE CUÉLLAR | | | Plano DETALLE CONEXIONES COLECTOR |
| | | | | Firma <small>FDO: Gozalo Ferreiro, Diego J.</small> |



| | | | | | |
|-----------------|--|-----------------|--------------|--|---------------------------------|
| Fecha | SEPTIEMBRE - 2016 | Nº Plano | 10 |  UNIVERSIDAD DE VALLADOLID ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES | |
| Escala | S/E | | | | |
| Promotor | Universidad de Valladolid | | | | |
| Proyecto | ESTUDIO DE UNA AMPLIACIÓN DEL DISTRICT HEATING POR BIOMASA EN LA ZONA NORTE DE CUÉLLAR | | Plano | | PLANO DE PERFIL DEL SILO |
| | | | | Firma | |



ANEXO III. Informe tipo del estudio de viabilidad económica

A continuación se detallará un documento que se hará llegar a las diferentes entidades y usuarios particulares que han colaborado en la elaboración del proyecto y que sirve de complemento a este, no siendo un documento oficial obligatorio.

Con este informe se quiere explicar de forma breve los objetivos que se han llevado a cabo, los resultados obtenidos y conclusiones que se obtienen del estudio.

Al disponer de varios colaboradores se quiere realizar un informe estándar, para que la información sea personalizada en cada caso, es por ello, que no se detallaran ningún dato, sino que simplemente es un modelo que sirva como hoja de ruta a rellenar con los datos pertinentes de cada colaborador.

En el informe aparecerá la siguiente información:

- ❖ Datos de energía consumida, año 2.015
- ❖ Datos de coste por energía consumida generada por el combustible actual
- ❖ Datos de coste por energía consumida generada por biomasa
- ❖ Coste de las inversiones a realizar
- ❖ Tiempo del retorno de la inversión realizada

Además, se detallará en qué condiciones se alcanzan los datos anteriores.

En caso de que el conjunto del proyecto no se llegue a realizar, se dispondrá de una serie de soluciones alternativas para aconsejar a los colaboradores.

INFORME DE VIABILIDAD ECONÓMICA PARA LA ENTIDAD _____

D. Diego José Gozalo Ferreiro, con la colaboración del Departamento de Ingeniería Energética y Fluidomecánica de la Universidad de Valladolid y el Ayuntamiento de Cuéllar, en relación con el Trabajo Fin de Máster: “Estudio de una ampliación del District Heating por biomasa en la zona norte de Cuéllar”, expone:

1- Que, en primer lugar agradecer la colaboración de _____ a la hora de permitir el acceso a las instalaciones, datos y otra información utilizada en la elaboración del Trabajo Fin de Máster.

2- Que, la solución a estudiar es la sustitución del sistema de generación de _____ por energía obtenida a partir de la combustión de biomasa.

3- Que, los resultados obtenidos en el estudio de viabilidad económica realizado en el Trabajo Fin de Máster han desprendido los siguientes resultados:

| Dato | Unidad | Valor |
|---|--------------------|-------|
| Combustible/Energía primaria actual | - | |
| Cantidad de combustible consumido | m ³ | |
| | kg | |
| Poder calorífico del combustible | kWh/m ³ | |
| | kWh/kg | |
| Energía consumida durante el periodo de estudio (año 2.015) | kWh | |
| Coste de energía consumida (término variable) | €/kWh | |
| Gasto en energía consumida | € | |
| Combustible sustitutivo | - | |
| Poder calorífico del combustible sustitutivo | kWh/kg | |
| Cantidad de combustible sustitutivo | kg | |
| Coste del combustible sustitutivo | €/kg | |
| Gasto del combustible sustitutivo | € | |
| Ahorro con el cambio de combustible | € | |

4- Que, la cantidad obtenida como ahorro nos proporciona una idea aproximada, teniendo que realizar un estudio más exhaustivo para determinar de forma correcta la cantidad exacta de ahorro en la instalación.



5- Que, en virtud de los resultados obtenidos en el estudio de viabilidad económica se obtiene que la instalación posee un potencial de ahorro _____

6- Que, solamente se muestran datos del ahorro, en ningún momento se cita los costes de la inversión.

7- Que, las soluciones a adoptar pueden ser de forma individualizada o colectiva, ya que hay otras entidades que han sido objeto de estudio a lo largo del desarrollo del Trabajo Fin de Máster.

8- Que, la solución colectiva a tomar es la creación de una planta de generación centralizada de energía térmica con distribución a través de una red de calor, lo que recibe el nombre de District Heating.

9- Que, en caso querer una solución particular, la entidad _____ deberá de ponerse en contacto con el responsable de la realización del Trabajo Fin de Máster, o en su caso con las entidades que han colaborado en dicha realización.

9- Que, en caso de que la entidad _____ quisiera implementar las medidas de eficiencia energética deberá de ponerse en contacto con el responsable de la realización del Trabajo Fin de Máster, o en su caso con las entidades que han colaborado en dicha realización.

Valladolid, a __ de _____ de 2.016