



Universidad de León



Escuela Superior y Técnica  
de Ingenieros de Minas

# GRADO EN INGENIERÍA DE LA ENERGÍA

TRABAJO FIN DE GRADO

## ESTUDIO DE VIABILIDAD DE EXPLOTACIÓN DE PELLETS Y DISTRICT HEATING EN PUEBLA DE LILLO.

León, Septiembre de 2014

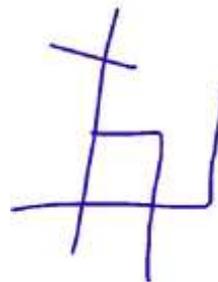
Autor: Manuel García Sierra

Tutor: Jorge Cara Jiménez

El presente proyecto ha sido realizado por D. Manuel García Sierra, alumno de la Escuela Superior y Técnica de Ingenieros de Minas de la Universidad de León para la obtención del título de Grado en Ingeniería de la Energía.

La tutoría de este proyecto ha sido llevada a cabo por D.. Jorge Cara Jiménez, profesor del Grado en Ingeniería de la Energía.

Visto Bueno

A handwritten signature in blue ink, consisting of a vertical line with a horizontal crossbar at the top, a horizontal line below it, and a vertical line on the right side that extends downwards.

Fdo.: D./Dña. Manuel García Sierra  
El autor del Trabajo Fin de Grado

Fdo.: D./Dña. Jorge Cara Jiménez  
El Tutor del Trabajo Fin de Grado

## **RESUMEN**

El presente trabajo fin de grado tiene por objeto dar una respuesta aproximada a la incógnita sobre el potencial de producción de biomasa de parte de la Montaña Central Leonesa (recogida en las hojas 104 y 79 del MTN) y su uso como fuente de energía térmica. Se desarrolla en tres partes: en la primera se evalúa, a partir de modelos teóricos y datos obtenidos de la bibliografía publicada por diversas instituciones, el potencial de productividad de biomasa forestal de la zona. En la segunda, mediante estadísticas del IDAE y aproximación conseguida a través del método simplificado, se estima la demanda térmica en el municipio de Puebla de Lillo. A partir del cruce de ambos datos se desarrolla la tercera y última parte, en la que se dimensiona una hipotética central de district heating y se estudia su viabilidad para suplir la demanda térmica del municipio de Puebla de Lillo, considerando que utiliza biomasa como combustible.

## **ABSTRACT**

This project is a rough approximation to a preliminary study on the viability of biomass exploitation and direct application as fuel in a hypothetical district heating plant based in Puebla de Lillo, Spain. It is structured in three parts the first being the estimation of the annual biomass yield ratio for the area, the later being the dimensioning of the plant based on the demand, and the last being center around the analysis on viability. Finally there is the conclusion exposition where the project will be discussed.

## ÍNDICE

1	Localización. ....	1
1.1	Ubicación de la planta de tratamiento y producción.....	1
1.2	Área de influencia de la explotación. ....	2
1.3	Ubicación de la caldera del district heating. ....	2
2	Descripción del medio .....	3
2.1	Clima .....	3
2.2	Relieve .....	4
3	Primera estimación de la biomasa aprovechable .....	6
3.1	Resumen del apartado .....	6
3.2	Cálculo de la biomasa bruta .....	6
3.3	Cálculo de la biomasa potencialmente aprovechable .....	12
3.3.1	Estimación de las áreas ocupadas dentro de cada parcela .....	13
3.3.2	Estimación de la biomasa accesible según las pendientes recogidas en el IFN 3      14	
4	Estimación y valorización de la biomasa explotable anual.....	16
4.1	Técnicas de explotación .....	16
4.1.1	Clareo .....	18
4.1.2	Resalveo.....	19
4.1.3	Cortas finales y claras .....	19
4.1.4	Caracterización de distancias a recorrer .....	19
4.2	Tabla resumen de vehículos que intervienen en cada itinerario y operaciones que realizan.....	21
4.3	Estimación de la biomasa potencial total.....	22
4.4	Estimación de la biomasa potencial accesible.....	24
4.5	Valorización de la biomasa .....	26
4.5.1	Tablas resumen del proceso de cálculo .....	28
5	Estimación de la demanda de energía térmica en el ayuntamiento de Puebla de Lillo. 32	
5.1	Metodología de cálculo .....	32
5.2	Cálculo de las demandas energéticas de los consumidores residenciales .....	33
5.2.1	Datos sobre la población .....	35
5.3	Cálculo de la demanda energética en el cuartel de la Guardia Civil.....	35

---

5.4	Cálculo de la demanda energética del Ayuntamiento de Puebla de Lillo .....	39
5.5	Cálculo de la demanda energética de los bares .....	41
5.6	Cálculo de la demanda energética en los ultramarinos .....	43
5.7	Cálculo de la demanda energética en el hotel .....	45
5.8	Estimación del consumo en Puebla de Lillo .....	47
5.8.1	Hipótesis 1: plena carga .....	48
5.8.2	Hipótesis 2: carga optimista .....	48
5.8.3	Hipótesis 3: pocos abonados .....	49
5.8.4	Hipótesis 4: solo grandes consumidores .....	49
5.8.5	Figuras resumen de las hipótesis .....	50
5.9	Perfiles de la demanda .....	54
5.9.1	Justificación y cálculo para la hipótesis de plena carga .....	54
5.9.2	Curvas de monotonía de la demanda para las distintas hipótesis de carga ..	56
5.10	Perfil de la demanda de calefacción .....	57
5.11	Gráfica de monotonía del District Heating .....	62
6	District Heating .....	66
6.1	Definición de la instalación .....	66
6.2	Red de distribución .....	66
6.2.1	Dimensionamiento de las tuberías principales .....	67
6.2.2	Cálculo de pérdida de carga .....	68
6.2.3	Subestaciones de bombeo .....	71
6.2.4	Substaciones de reparto .....	72
6.2.5	Número de consumidores a los que da servicio cada estación de reparto ..	72
6.2.6	Dimensionado de las tuberías de servicio e intercambiador de calor .....	75
6.3	Elección de la caldera .....	80
6.3.1	Elección de caldera y características en función de la hipótesis 1 .....	80
6.3.2	Elección de caldera y características en función de la hipótesis 2 .....	82
6.3.3	Elección de caldera y características en función de la hipótesis 3 .....	83
6.3.4	Elección de caldera y características en función de la hipótesis 2 .....	83
6.3.5	Elección de caldera y características en función de la hipótesis 4 .....	84
7	Estudio de viabilidad económica .....	85
7.1	Presupuesto aproximado .....	85
7.2	Valoración inicial .....	89
7.3	Determinación del coste total del combustible, según la hipótesis .....	90

---

7.3.1	Coste de extracción total de la biomasa necesaria para cada hipótesis .....	90
7.3.2	Evaluación preliminar de la viabilidad .....	90
8	Conclusiones.....	92
9	Problemas encontrados .....	93
10	Anexo .....	94
10.1	Tablas para el cálculo.....	95
10.2	Glosario .....	96
10.3	Figuras usadas para el cálculo .....	99
10.4	Especies arbóreas acompañadas de su código GIS .....	106
10.5	Planos.....	107
	Índice de planos .....	108
11	Lista de referencias.....	109

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1.- Localización de Puebla de Lillo .....	1
Figura 1-2 Localización de la parcela de District Heating .....	2
Figura 1-3.- Ubicación de la caldera de District Heating .....	3
Figura 3-2.- Disponibilidad del IFN 3 por provincias .....	7
Figura 3-8.- Representación de áreas para ejemplo .....	13
Figura 5-1.- Zonas climáticas de España .....	32
Figura 5-2.- Consumo según usos energéticos en la región continental, fuente IDAE .....	33
Figura 5-3.- Consumo energético percentual en viviendas en bloque, fuente IDAE .....	33
Figura 5-4.- Consumo percentual de una vivienda unifamiliar, fuente IDAE .....	33
Figura 5-5.- Distribución de consumos resultante del cruce de datos entre el tipo de vivienda y la zona climática continental, fuente IDAE .....	34
Figura 5-6.- Demanda de ACS por habitante y tipo de edificio; fuente: MINETUR .....	36
Figura 5-7.- Proceso de cálculo de la demanda en el edificio de la Guardia Civil 1 .....	36
Figura 5-8.- Proceso de cálculo de la demanda en el edificio de la Guardia Civil 2 .....	37
Figura 5-9.- Proceso de cálculo de la demanda en el edificio de la Guardia Civil 3 .....	37
Figura 5-10.- Proceso de cálculo de la demanda en el edificio de la Guardia Civil 4 .....	38
Figura 5-11.- Proceso de cálculo de la demanda en el edificio de la Guardia Civil 5 .....	38
Figura 5-12.- Proceso de cálculo de la demanda en el edificio del Ayuntamiento 1 .....	39
Figura 5-13.- Proceso de cálculo de la demanda en el edificio del Ayuntamiento 2 .....	40
Figura 5-14.- Proceso de cálculo de la demanda en el edificio del Ayuntamiento 3 .....	40
Figura 5-15.- Proceso de cálculo de la demanda en el edificio del Ayuntamiento 3 .....	41
Figura 5-16.- Proceso de cálculo de la demanda en el edificio del Ayuntamiento 4 .....	41
Figura 5-17.- Proceso de cálculo de la demanda en el edificio del bar 1 .....	42
Figura 5-18.- Proceso de cálculo de la demanda en el edificio del bar 2 .....	42
Figura 5-19.- Proceso de cálculo de la demanda en el edificio del bar 3 .....	43
Figura 5-20.- Proceso de cálculo de la demanda en el edificio del bar 4 .....	43
Figura 5-21.- Proceso de cálculo de la demanda en el edificio de un comercio 1 .....	44
Figura 5-22.- Proceso de cálculo de la demanda en el edificio de un comercio 2 .....	44
Figura 5-23.- Proceso de cálculo de la demanda en el edificio de un comercio 3 .....	45
Figura 5-24.- Proceso de cálculo de la demanda en el edificio de un comercio 4 .....	45
Figura 5-25.- Proceso de cálculo de la demanda en el edificio del hostel 1 .....	46
Figura 5-26.- Proceso de cálculo de la demanda en el edificio del hostel 2 .....	46

---

Figura 5-27.- Proceso de cálculo de la demanda en el edificio del hostel 3 .....	47
Figura 5-28.- Proceso de cálculo de la demanda en el edificio del hostel 4 .....	47
Figura 5-37.- Distribución horaria del consumo de ACS; fuente: Lamas Sivila, E. análisis y propuesta de un nuevo método de simulación abreviado para la certificación energética en edificios residenciales).....	54
Figura 5-38.- Gráfica de monotonía en el consumo de ACS para la hipótesis 1.....	56
Figura 5-42.- Distribución horaria del consumo de calefacción .....	58
Figura 5-43.- Gráfica de Monotonía de la demanda de calefacción, hipótesis 1 .....	61
Figura 5-47.- Gráfica de Monotonía de la demanda del District heating hipótesis 1.....	63
Figura 6-1.- Cuadro comparativo de las características de las tuberías de District Heating según el material, fuente MINETUR.....	67
Figura 6-2.- Resumen de la hipótesis de cálculo para la red de distribución .....	68
Figura 10-1.- Tabla de densidad del Agua en función de la temperatura .....	99
Figura 10-2.- Características comerciales de las tuberías preaisladas .....	100
Figura 10-3.-Temperaturas medias por mes en León, fuente: MINETUR .....	100

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1.- Coordenadas de la parcela de District Heating .....	2
Tabla 2-1.- Tabla de precipitaciones y temperaturas medias en Puebla de Lillo .....	4
Figura 2-1.- Ejemplo de varias capas cargadas en el visor jCyl para la valoración cualitativa del relieve .....	5
Figura 3-1.- Esquema del proceso de cálculo de las reservas de biomasa .....	6
Tabla 3-1.- Tabla resumen de fórmulas empleadas en Excel para el manejo de datos.....	9
Figura 3-3.- Aproximación a los porcentajes utilizables de un árbol en función de su naturaleza; poster cesFOR sobre biomasa expobioenergía 2006 .....	10
Figura 3-4.- Aproximación de porcentajes según uso industrial; fuente: poster cesFOR sobre biomasa expobioenergía 2006 .....	10
Figura 3-5.- Distribución de las existencias de biomasa bruta aprovechable, por usos, en la zona de influencia de la instalación .....	11
Figura 3-6.- Distribución Volumen con corteza por especie .....	12
Figura 3-7.- Distribución volumen de leñas por especie .....	12
3-2.- Tabla de identificación de pendientes .....	14
Figura 3-9.- Distribución de biomasa disponible por usos teniendo en cuenta la pendiente .....	15
Tabla 4-1.- Especies presentes en el estudio técnico PER 2011-2020 .....	17
Tabla 4-2 Itinerarios silvícolas con su rendimiento según el tipo de biomasa buscada ....	17
Tabla 4-3.- Resumen de cargaderos con sus coordenadas y el área de influencia .....	19
Tabla 4-4.- Resumen de vehículos que intervienen en cada itinerario y operaciones que realizan .....	21
Tabla 4-5.- Producción de biomasa anual por tonelada (de biomasa seca) y hectárea de las masas principales del total de las teselas.....	22
Tabla 4-6.- Producción anual potencial en kWh (PCS) de la zona a partir de biomasa seca .....	23
Tabla 4-7.- Producción de biomasa anual por tonelada (de biomasa húmeda) y hectárea de las masas principales del total de las teselas.....	23
Tabla 4-8.- Producción potencial anual húmeda en kWh (PCS) de la zona.....	24
Tabla 4-9.- Tabla de biomasa húmeda potencialmente accesible de la zona según tipo de itinerario .....	25
Tabla 4-10.- Producción accesible anual húmeda en kWh (PCS) de la zona según tipo de itinerario .....	25
Figura 4-1.- Diagrama de flujo para determinar el coste del sistema logístico para el aprovechamiento del total de biomasa bruta. ....	27

Tabla 4-11.- Definición del sistema logístico según la especie .....	28
Tabla 4-12.- Determinación del número de máquinas de cada tipo .....	29
Tabla 4-13.- Parámetros de proporcionalidad para el cálculo de factores de productividad .....	29
Tabla 4-14.- Factores de productividad asociados a cada máquina .....	29
Tabla 4-15.- Coste por tonelada de biomasa, según la especie, para la explotación .....	30
Tabla 5-1.- Consumos anuales en kWh de los hogares tipo según hipótesis 1 .....	34
Tabla 5-2.- - Consumos anuales en kWh de los hogares tipo según hipótesis 2 .....	34
Tabla 5-3.- Consumo anual estimado de las viviendas en kWh, primera hipótesis .....	35
Tabla 5-4.- Toneladas de CO2 emitidas por kg de GLP, la fuente "Guía para el cálculo de emisiones de GEI" .....	39
Tabla 5-5.- Tabla Resumen de la demanda en kWh de Puebla de Lillo para la hipótesis 1: plena carga.....	48
Tabla 5-6.- Tabla Resumen de la demanda en kWh de Puebla de Lillo para la hipótesis 2: carga optimista.....	48
Tabla 5-7.- Tabla Resumen de la demanda en kWh de Puebla de Lillo para la hipótesis 3: pocos abonados .....	49
Tabla 5-8.- Tabla Resumen de la demanda en kWh de Puebla de Lillo para la hipótesis 4: solo grandes consumidores .....	49
Figura 5-29.- - Consumo de energía térmica para calefacción en Puebla de Lillo; hipótesis 1.....	50
Figura 5-30.- Consumo de energía térmica para ACS en Puebla de Lillo; hipótesis 1 .....	50
Figura 5-31.- Consumo de energía térmica para ACS en Puebla de Lillo; hipótesis 2 .....	51
Figura 5-32.- Consumo de energía térmica para calefacción en Puebla de Lillo; hipótesis 2 .....	51
Figura 5-33.- Consumo de energía térmica para ACS en Puebla de Lillo; hipótesis 3 .....	52
Figura 5-34.- Consumo de energía térmica para calefacción en Puebla de Lillo; hipótesis 3 .....	52
Figura 5-35.- Consumo de energía térmica para ACS en Puebla de Lillo; hipótesis 4 .....	53
Figura 5-36.- Consumo de energía térmica para calefacción en Puebla de Lillo; hipótesis 4 .....	53
Tabla 5-9.- Consumo (en kWh) diario de ACS distribuido por horas para la hipótesis 1 ....	55
Figura 5-39.- Gráfica de monotonía en el consumo de ACS para la hipótesis 2.....	56
Figura 5-40.-Gráfica de monotonía en el consumo de ACS para la hipótesis 3 .....	57
Figura 5-41.-Gráfica de monotonía en el consumo de ACS para la hipótesis 4 .....	57
Tabla 5-10.-Tabla ejemplo de distribución intradiaria y mensual del consumo de energía térmica para la hipótesis 1 .....	59

.....	60
Figura 5-44.- Gráfica de Monotonía de la demanda de calefacción, hipótesis 2 .....	61
Figura 5-45.- Gráfica de Monotonía de la demanda de calefacción, hipótesis 3 .....	62
Figura 5-46.- Gráfica de Monotonía de la demanda de calefacción, hipótesis 4 .....	62
Figura 5-48.- Gráfica de Monotonía de la demanda del District heating hipótesis 2 .....	63
Figura 5-49.- Gráfica de Monotonía de la demanda del District heating hipótesis 3 .....	64
Figura 5-50.- Gráfica de Monotonía de la demanda del District heating hipótesis 4 .....	65
Tabla 6-1.- Tabla resumen de las características de las tuberías del District Heating .....	69
Tabla 6-2.- Tabla resumen de las bombas y tramos .....	71
Tabla 6-3.- Reparto de consumos de una subestación .....	74
Tabla 6-4.- Consumos tipo para cada consumidor individual .....	76
Tabla 6-5.- Caída de temperatura en el intercambiador en función del tipo de consumidor .....	77
Tabla 6-6.- Ejemplo de cálculo del área del intercambiador .....	77
Tabla 6-7 Reparto proporcional de los caudales fraccionados en función de los consumos anuales.....	78
Tabla 6-8.- Resumen de las características de los intercambiadores .....	79
Figura 6-3.- Imagen de varias unidades montadas sobre el mismo bastidor; fuente: HRS	80
Figura 6-4.- Caldera de biomasa para ACS en hipótesis 1 .....	81
Tabla 7-1. Capítulo del presupuesto correspondiente al District heating adaptado para reflejar los costes variables según la hipótesis .....	86
Tabla 7-2 Valoración inicial de las distintas hipótesis desde el punto de vista energético	89
Figura 7-1.- Producción y demanda según hipótesis .....	89
Tabla 7-3 Biomasa a extraer según la hipótesis.....	90
Tabla 7-4.- Coste del kWh para el explotador .....	90
Tabla 7-5.- Evaluación preliminar del coste por kWh .....	91
10-1 Muestra de la tabla Valores para el cálculo.....	95
Figura 10-4.- Diversos costes de maquinaria forestal (masas existentes) definido en la herramienta para el cálculo; fuente: IDAE .....	101
Figura 10-5.- Coste horario de mano de obra definido en la herramienta para el cálculo; fuente: IDAE. ....	101
Figura 10-6.-Gráfico para la determinación del coste en función de la distancia para distintos medios de transporte; fuente: IDAE .....	102
Figura 10-7.- Costes medios de transporte considerados en el cálculo; fuente IDAE .....	103
Figura 10-8.- Definición de los rendimientos para distintos sistemas lógicos; fuente: IDAE .....	104

Figura 10-9.- (continuación) Definición de los rendimientos para distintos sistemas lógicos; fuente: IDAE .....	104
Figura 10-10.- (continuación) Definición de los rendimientos para distintos sistemas lógicos; fuente: IDAE .....	105
Figura 10-11.- Características del intercambiador comercial sobre modelo de 6m de longitud; fuente: HRS .....	105
Tabla 10-2.- Tabla de especies dominantes con su código GIS .....	106

## 1 Localización.

Puebla de Lillo es un municipio de la provincia de León. Se encuentra dentro del área de influencia del Parque Natural de los Picos de Europa, dentro de la región conocida como Montaña Central Leonesa. Por carretera, la distancia desde la capital de la provincia es de 74 km, llevando el viaje en coche poco más de una hora.

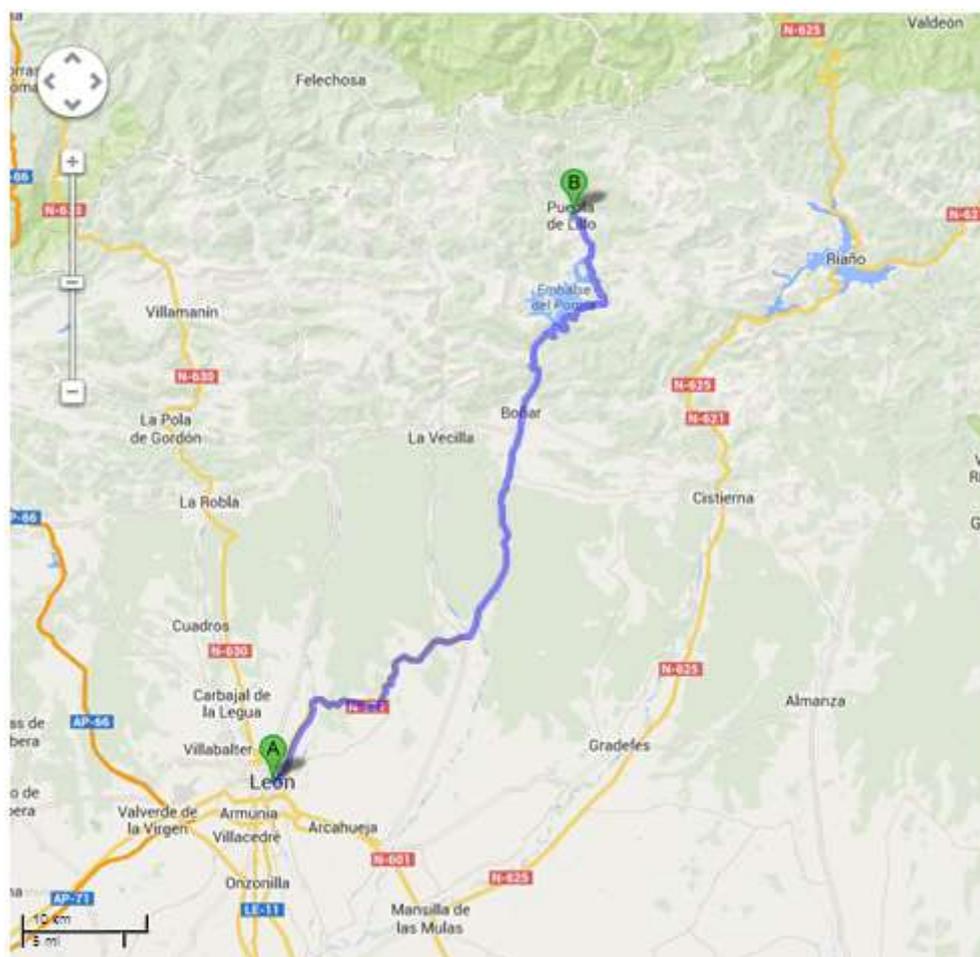


Figura 1-1.- Localización de Puebla de Lillo

### 1.1 Ubicación de la planta de tratamiento y producción

La explotación hipotética en la que se basa este estudio de viabilidad giraría en torno a una planta central de tratamiento y producción. Esta planta se situaría en del polígono industrial perteneciente al Ayuntamiento de Puebla de Lillo, dentro del área delimitada por el polígono cuyas coordenadas UTM aparecen reflejadas en la siguiente tabla.

Tabla 1-1.- Coordenadas de la parcela de District Heating

X	Y
314451.52 4764828.13	314436.39 4764896.25
314363.94 4764908.15	314233.11 4764885.44
314269.87 4764798.94	314450.44 4764828.13
314451.52 4764828.13	314436.39 4764896.25
314363.94 4764908.15	314233.11 4764885.44
314269.87 4764798.94	314450.44 4764828.13



Figura 1-2 Localización de la parcela de District Heating

## 1.2 Área de influencia de la explotación.

Para el propósito de este trabajo, definiré área de influencia de la explotación como el conjunto de masas forestales y en las que está prevista la explotación según las técnicas que se describirán en el apartado 3, técnicas de explotación.

El área de influencia de la explotación, por limitaciones geográficas y de fronteras administrativas con el Principado de Asturias, quedaría limitado al término municipal de Puebla de Lillo y a la zona norte del término municipal de Boñar (cuadrículas 079 y 104 de la cartografía escala 1:50000). En los planos nº 2 y nº3 del anexo de planos se adjunta una reproducción reducida de estas cartografías sobre las que se ha marcado el alcance del área de influencia.

## 1.3 Ubicación de la caldera del district heating.

La caldera de district heating se situará dentro de la parcela que contendrá a la planta de tratamiento y producción con objeto de minimizar el tránsito de camiones dentro del

casco urbano y de acortar la distancia con el principal consumidor de energía térmica del municipio: el cuartel de la Guardia Civil.

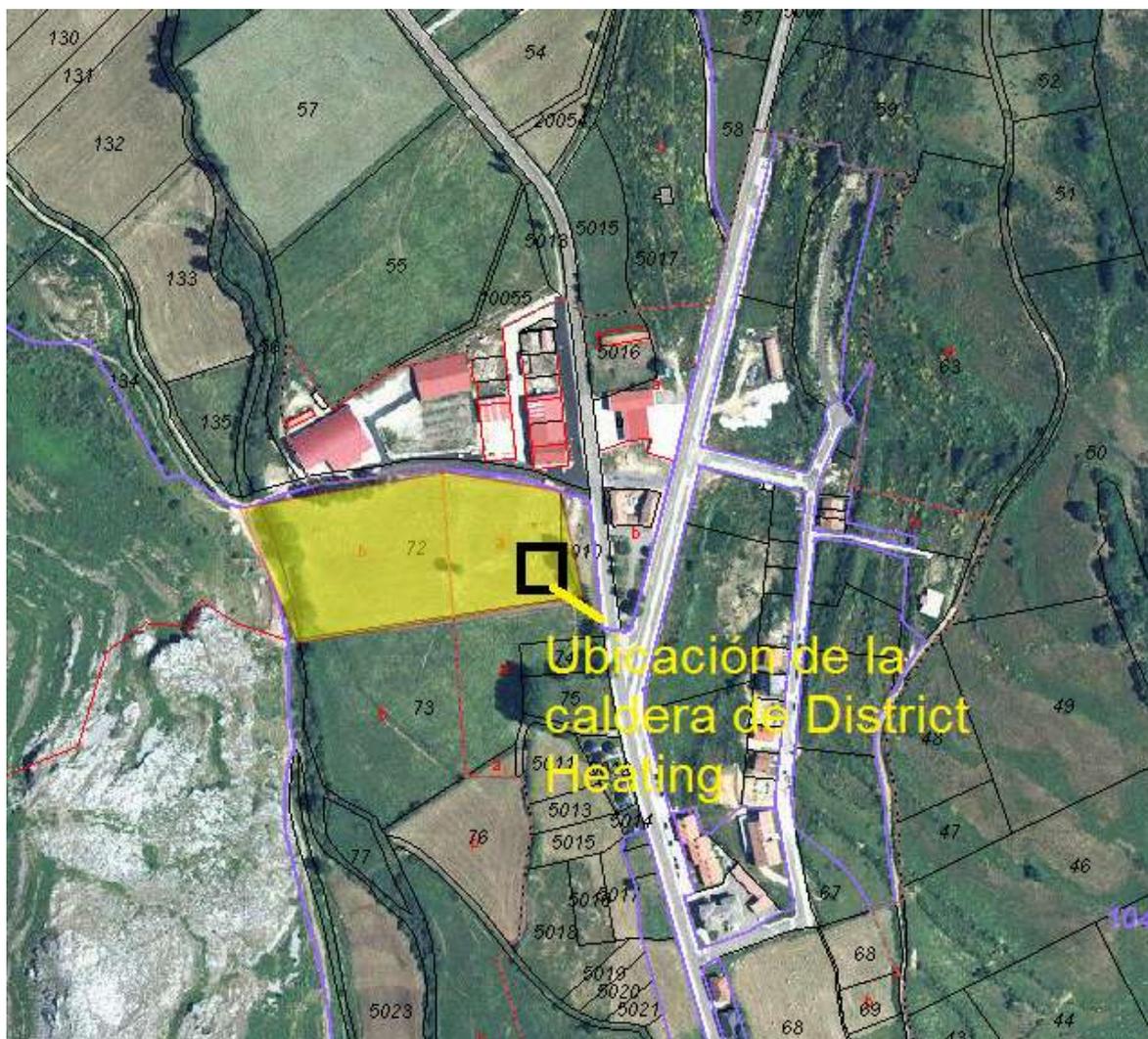


Figura 1-3.- Ubicación de la caldera de District Heating

En el plano nº6 se detalla el trazado hipotético de las tuberías de ida para la instalación.

## 2 Descripción del medio

### 2.1 Clima

Puebla de Lillo posee un clima continental moderado, caracterizándose por inviernos largos y fríos, veranos cortos y calurosos y otoños y primaveras cortos, pero con temperaturas moderadas. Con el paso de los años el frío del invierno ha ido moderándose. Además la cercanía al pantano del Porma ha suavizado el extremo de las temperaturas en toda la zona. Estos parámetros serán muy importantes a la hora de discutir el secado de la biomasa.

En la siguiente Tabla se muestra un promedio mensual de precipitaciones y temperatura máxima y mínima. Fuente <http://es.climate-data.org> (consultada el 25/08/2014)

Tabla 2-1.- Tabla de precipitaciones y temperaturas medias en Puebla de Lillo

Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tmín (°C)	-1,6	-0,9	1	1,9	4,7	8	9,8	10,1	8,5	5	1,8	0
Tmáx (°C)	5,6	7,4	10,1	12,4	15,6	20,5	23,7	23,5	20,3	15,1	10,4	7,2
mm	63	62	47	78	71	58	42	49	62	82	102	90

## 2.2 Relieve

La zona de influencia de la instalación se caracteriza por ser muy montañosa y abrupta, con gran cantidad de valles separados entre sí por crestas calizas. Entre algunos valles existen caminos pecuarios y pistas accesibles a vehículos, pero en general, si se quiere llegar a un valle se debe tomar la carretera general hasta su inicio y acceder desde ese punto, obligando a dar grandes rodeos. Como un ejemplo de lo dicho se tiene la distancia entre Puebla de Lillo y Redipuertas, que a través de senderos no llega a los 20 km y que para un vehículo pesado (camión fijo) puede suponer 56 km.

La información acerca del relieve se debe tener en cuenta a la hora de calcular la biomasa y a la hora de determinar la productividad y el precio. Esta información se introduce en el cálculo a través de la variable pendiente por un lado, de la que se puede tener información bien a través de cartografía, bien a través de datos asociados a las masas forestales, y por otro lado mediante la variable distancia a recorrer (desembosque y de itinerario).

Las dudas particulares que pudieran surgir a la hora de determinar esta, así como la determinación de distancias a recorrer por el camión de transporte se determinarán a través de la observación del mapa de pendientes, el mapa topográfico escala 1:25000 y las ortofotos de la zona. En la imagen que se adjunta a continuación se puede ver un ejemplo del proceso que se ha seguido para analizar el relieve de la zona: las líneas azules delimitan los distintos recintos en los que se divide el mapa para definir las distancias de desembosque. Se han trazado teniendo en cuenta la pendiente que separa ambos valles además de la operatividad que resulta de trazar líneas rectas en vez de seguir el contorno exacto de la sierra.

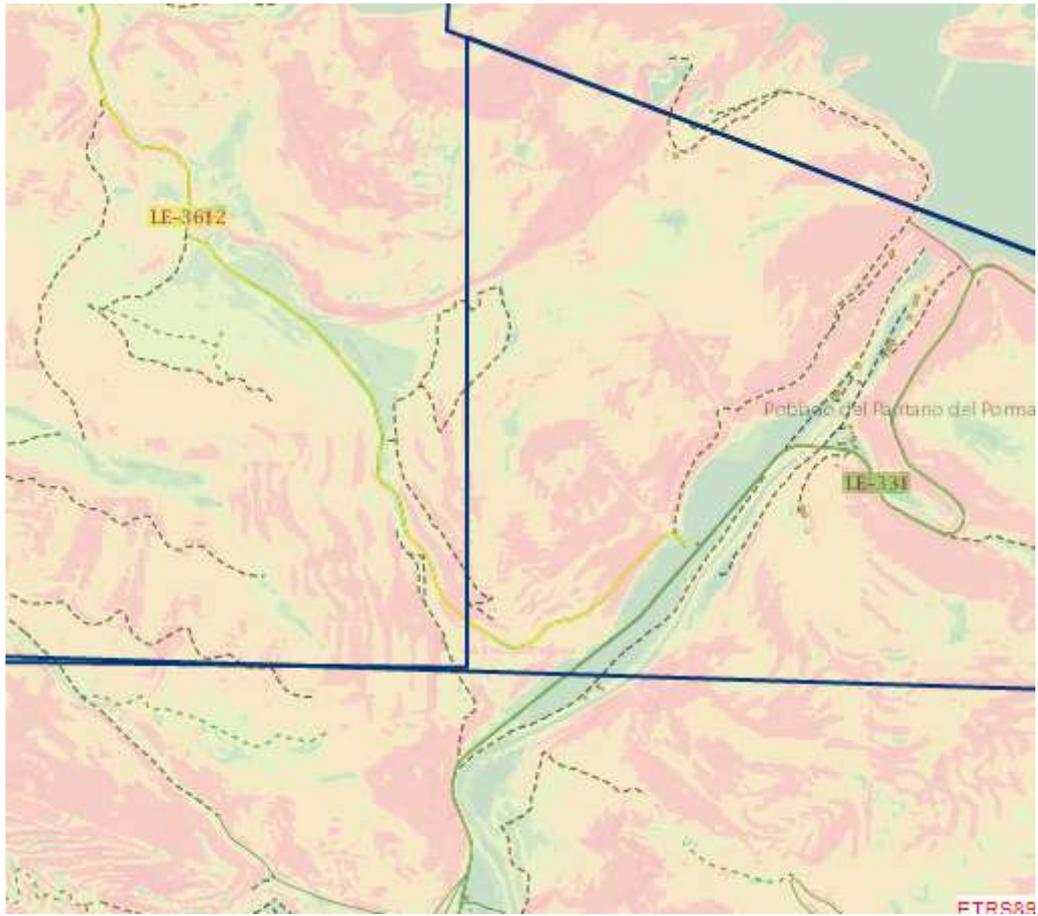


Figura 2-1.- Ejemplo de varias capas cargadas en el visor jCyl para la valoración cualitativa del relieve

### 3 Primera estimación de la biomasa aprovechable

#### 3.1 Resumen del apartado

El siguiente apartado surgió como primera aproximación al cálculo de volumen de biomasa en el área de influencia de la explotación. Sin embargo, los resultados que proporciona son aproximados al volumen de árboles y a su masa, pero no se puede combinar de forma rápida y operativa con los parámetros de productividad necesarios para elaborar el estudio económico. No obstante, la primera parte de este método, que consiste en organizar los datos del IFN 3 de forma que sean operativos para el cálculo y localizables sobre el terreno, será de utilidad en el apartado 4, donde se sigue otro método aproximado que sí proporciona rendimientos anuales y costes.

El método para determinar la cantidad de biomasa aprovechable en una primera aproximación se resume en el siguiente esquema:

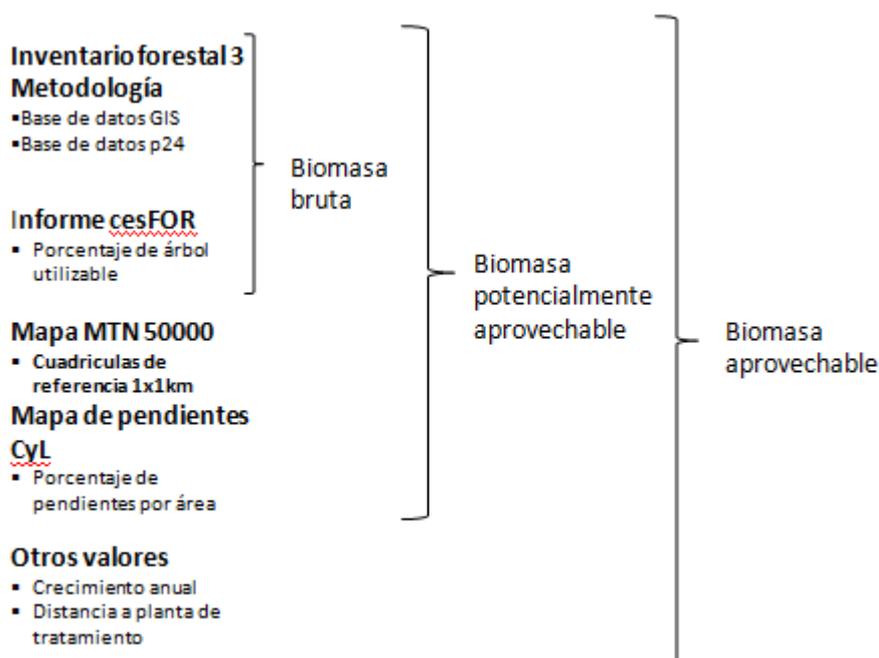


Figura 3-1.- Esquema del proceso de cálculo de las reservas de biomasa

A continuación se aborda cada una de las fases, explicándose en detalle en qué consisten y siguiendo su desarrollo hasta alcanzar un resultado.

#### 3.2 Cálculo de la biomasa bruta

Para ubicar las especies vegetales se ha tomado como referencia el Tercer ciclo del Inventario Forestal Nacional (IFN3), ha sido realizado entre los años 1997 – 2007. Este sigue la metodología establecida en el IFN2, principalmente el carácter continuo con repetición de las mismas parcelas que se levantaron en el segundo ciclo, e introduce cambios en su concepto al considerar los ecosistemas forestales por primera vez, en su integridad. El IFN3 proporciona datos sobre superficie, las especies arbóreas y arbustivas que habitan en los montes, su crecimiento, distribución, y algunas características del suelo que ocupan. Incluye, igualmente, indicadores relacionados con la regeneración,

biodiversidad, salud, vitalidad, selvicultura y con los regímenes de propiedad y protección. Incorpora, también, el valor en términos monetarios de los aspectos ambiental, recreativo y productivo de sus sistemas forestales. Finalmente, muestra algunos indicadores de la situación actual en el marco de los criterios paneuropeos de gestión sostenible.



Figura 3-2.- Disponibilidad del IFN 3 por provincias

El IFN3 toma como referencia la cartografía base 1:50000 del Mapa forestal (DGCN) para delimitar la zona de estudio, de manera que disgrega las superficies forestales de las agrícolas, improductivas, humedales o de agua. La superficie forestal se clasifica en arbolada o desarbolada según la cubierta de especies arbóreas sea superior o inferior al 5% respectivamente. El terreno catalogado como de uso forestal monte arbolado, se estratifica según formaciones forestales dominantes, homogéneas en cuanto a la flora arbolada existentes en él, según el estado de masa y según la fracción de existencias mediante un muestreo estratificado. El terreno queda dividido y clasificado en parcelas de muestreo que se integran en el estrato asignado a la tesela de vegetación donde se hayan levantado, pudiéndose realizar así los cálculos mediante método estadístico. Los datos que proporciona de cada parcela son VCC (Volumen Con Corteza), VSC (Volmen Sin Corteza), IAVC (Incremento Anual del Volumen con Corteza) y VLE (Volumen de Leñas). Los criterios de cálculo de cada parámetro así como las ecuaciones utilizadas pueden consultarse en el documento pdf disponible para su descarga en la hoja web <http://www.magrama.gob.es>.

Dentro del IFN3 se establece una clasificación, resumida en tablas, de la superficie por uso y niveles de clasificación del suelo; dichos niveles van del 1 al 6 en grado de detalle, siendo el nivel 6 el más detallado (identifica la especie arbórea dominante de una determinada superficie caracterizada en niveles previos por región climática, tipo de

suelo, geografía y uso. Estas tablas permiten identificar y clasificar las principales especies presentes en la zona de influencia de la explotación según los distintos niveles. El tipo de superficie que se evalúa para el propósito de este trabajo es de uso forestal monte arbolado, que comprende un área de 526569,53 ha en la provincia.

En cuanto a la composición específica y a la distribución espacial, se puede comprobar que para el área de influencia de la explotación la Composición específica es heterogénea (existe más de una especie dominante) y la distribución espacial uniforme, desarbolado e irregular según la zona. Por la dificultad para el cálculo que esto plantea se ha decidido utilizar las tablas de datos publicadas dentro del propio Inventario Forestal Nacional (base de datos sig) para caracterizar el total de biomasa, su distribución y los parámetros que permitirán cubicarla.

Los datos se organizan por parcelas, las cuales tienen carácter permanente y se sitúan en puntos de la malla UTM de 1x1 km. Las parcelas de muestreo son circulares de radio variable entre 5 y 25 m, en las que se miden todos los pies con un diámetro superior al establecido para cada corona. Cada una de las parcelas cuenta con un rejón enterrado en el suelo que permite confirmar su localización en cada ciclo de inventario. En los pies mayores inventariados se miden las principales variables dendrométricas que caracterizan un árbol, así como su posición mediante rumbo y distancia al centro; se incluyen algunas variables cualitativas y otras de parcela, obteniéndose una buena descripción sistemática. A partir de las medidas individuales de cada uno de los árboles incluido en la parcela, se expanden dichos valores a la superficie de referencia (en este caso la hectárea) y se calculan las principales variables dasométricas, por especie y clase diamétrica, que caracterizan la superficie forestal.

Estos datos están recogidos en las Bases de datos Sig, distribuídas por provincias. Para su interpretación se ha seguido lo indicado en el proyecto WISDOM así como en el Manual de Descripción de Códigos de la Base de Datos de Campo del 3er inventario Forestal Nacional, publicado por el MAGRAMA.

El tratamiento de datos comienza con la lectura de la diversa documentación que existe al respecto de cómo interpretar los datos del IFN 3, en especial el registro de datos Sig 24 y del registro de datos 3pn. Del tratamiento de estos datos, descrito a continuación, con una hoja de cálculo se obtienen :

- Las definiciones que se incluyen en el Glosario, siendo la más importante la de “parcela” y la de “estrato”.
- Un listado completo de todas las parcelas con sus coordenadas.
- Un listado completo de los datos dendrométricos y dasométricos de las parcelas.

El tratamiento de datos comienza con la hoja “listado definitivo” de la base de datos P24. Esta hoja proporciona una lista de parcelas caracterizadas por sus coordenadas UTM, pudiendo reducirse en base a éstas.

Por coordenada X UTM, los valores no serán superiores a 294000 ni inferiores a 322000; y por coordenada Y UTM los valores no serán superiores a 474000 ni inferiores a 478000 (límites de las hojas 079 y 104). También podría limitarse seleccionando solo aquellas filas que tuvieran el valor 079 o 104 en la columna hoja. A partir de esta categorización se obtienen las etiquetas únicas para cada parcela (referenciado como Orden, Estadillo o Parcela en función de la tabla, pero siempre identificado por el código de variable T4 en

las tablas de la documentación aneja a la base de datos GIS). A continuación se debe asociar a cada parcela todos los recintos diferentes que la componen.

En condiciones normales, y según lo que se puede inferir del documento “metodología del IFN 2”, debería existir un registro que delimitase los recintos conocidos como “polygons” de los cuales se componen las parcelas ; en la práctica no se ha encontrado tal listado entre las tablas estudiadas y se ha recurrido a un método más primitivo pero efectivo. El método consiste en encontrar todas las filas que tienen un valor en la columna “Estadillo” igual a los contenidos en la tabla ya filtrada por coordenadas UTM; estos valores se repetirán en múltiples ocasiones: cada uno está identificando uno de los mencionados recintos; aunque por desgracia no especifica cuál es ni lo sitúa en el espacio. Sin embargo, es posible obtener la superficie y las variables dendrométricas y dasométricas necesarias para la estimación de las reservas de biomasa y su productividad en el área. Estas variables están contenidas en las tablas “Mayores\_EXC”, “Parcelas\_EXC”, “Parcpoly” y “Parcpoligon” por lo que es necesario coordinarlas antes de poder operar.

Para llevar a cabo esta operación, se ha encontrado que la manera óptima es empezar por filtrar las filas que aluden a una misma parcela en la tabla “Mayores\_EXC” de la base de datos GIS. Para ello se utiliza la primera función de expuestas al final de este apartado; dicha fórmula creará una tabla hermana a “Mayores\_EXC”, pero con 0 en las celdas que no coincidan con las parcelas determinadas en el primer paso y con el valor de la parcela repetido tantas veces como estén presentes en la columna “Estadillos” de la tabla “Mayores EXC”.

La información obtenida de esta operación se usa para coordinar esta tabla con la tabla “Parcelas\_EXC” a través de la relación entre las columnas “estadillo”, iguales en ambas. Nuevamente será necesario filtrar la tabla, como en el caso de Mayores EXC, con la salvedad de que ahora puede hacerse mucho más rápido valiéndose de la función que ocupa el segundo lugar en la tabla. Una vez coordinadas ambas tablas se establece la coordinación con la tercera y última tabla relevante para la estimación de biomasa: las tablas “Parcpoly” y “Parcpoligon”.

Esta relación se consigue con la comparación entre las columnas estadillo y aporta información común a todas las instancias repetidas de parcela que se habían determinado con anterioridad. Antes de operar y poder cubicar la biomasa es necesario conocer el área total ocupada por cada poligon individual que, como ya se ha dicho, no está definido nada más que por la repetición de la etiqueta parcela asociada a valores diferentes de variables dendrométricas y dasométricas. La forma de realizar esta operación se cubre en el siguiente apartado.

**Tabla 3-1.- Tabla resumen de fórmulas empleadas en Excel para el manejo de datos**

Nombre de la fórmula	Descripción
<b>FILTRADO DE VALORES DE ACUERDO CON UN RANGO</b>	
"=SI(CELDA("tipo";'Tablas antes de filtrar'!A66) = "v"; 'Tablas antes de filtrar'!A66*CONTAR.SI(Filtro!\$B\$2:Filtro!\$B\$131;'Tablas antes de filtrar'!\$B66); 'Tablas antes de filtrar'!A66)"	Esta fórmula se utiliza para filtrar valores que cumplan la condición de pertenecer a un rango de valores recogidos en otra columna. Ha sido útil para crear la lista de parcelas repetidas (lo que proporciona una mejor información del número de árboles en cada una)
<b>COPIAR CELDAS SEGÚN EL VALOR DE UNA COLUMNA EN COMPARACIÓN CON OTRA</b>	

<p>"=BUSCARV(\$B3;'Tablas antes de filtrar'!\$N\$2:'Tablas antes de filtrar'!\$AB\$1940;2;FALSO)"</p>	<p>Esta fórmula se ha utilizado para copiar en cada fila definida por un valor repetido las características comunes a dicho valor, distribuidas en filas. Ha sido útil para adjudicar a cada valor que se repite y está contenido en un rango varias cualidades definidas para el rango.</p>
<p>DISTRIBUCIÓN PROPORCIONAL DEL ÁREA</p>	
<p>"=Áreatotal*%sobreTotal"</p>	<p>En base a la necesidad planteada en el párrafo anterior, esta fórmula adjudica a cada elemento (valor repetido de parcela con una especie arbórea representada) un área del total de todas las áreas que componen una parcela. El valor de área se reparte considerando el % de representación de cada especie sobre el total de especies de la provincia.</p>

Ahora que se tienen estos datos relacionados y ordenados en la tabla “valores de cálculo” recogida en el anexo 1, se puede estimar el total de volumen bruto disponible en dos pasos:

- [1]. Sumando todos los valores de VCC, discriminando según sean coníferas o frondosas.
- [2]. Multiplicando el valor de ese volumen por el inverso del porcentaje utilizable para fuste, según sea frondosa o conífera según datos del informe de cesFOR sobre biomasa. De esta forma obtendremos una aproximación al volumen total de coníferas y frondosas, que a su vez se volverá a minorar por la proporción indicada en las siguientes figuras según sea conífera o forndosa.

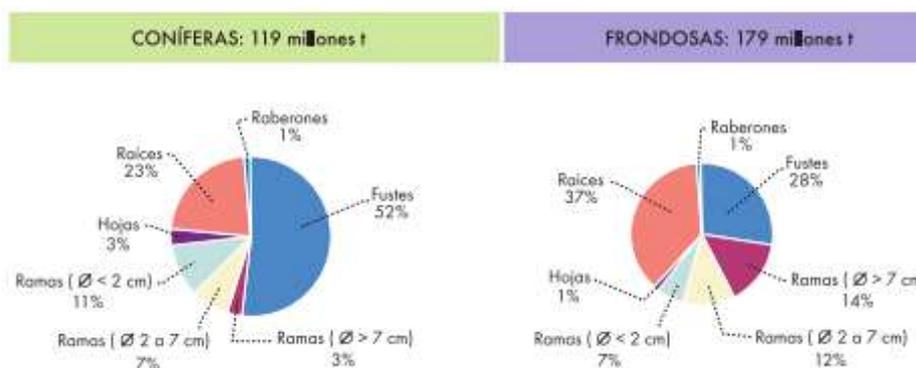


Figura 3-3.- Aproximación a los porcentajes utilizables de un árbol en función de su naturaleza; poster cesFOR sobre biomasa expobioenergía 2006

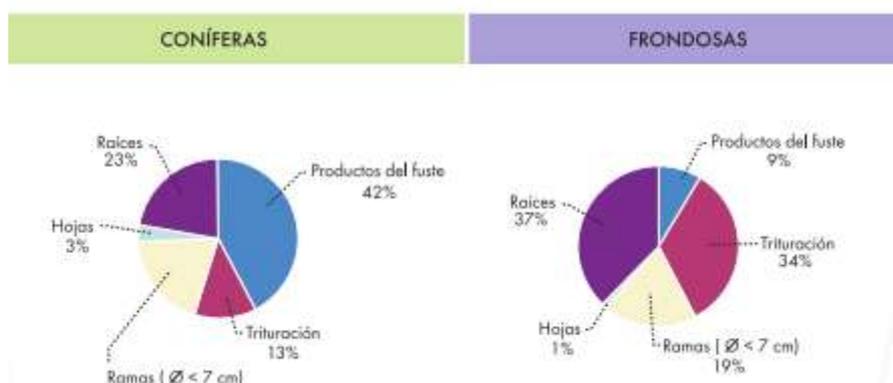


Figura 3-4.- Aproximación de porcentajes según uso industrial; fuente: poster cesFOR sobre biomasa expobioenergía 2006

De la observación de las figuras anteriores se deduce que, en el caso de las coníferas, se destina un 10% de los productos del fuste a usos distintos a la elaboración de productos del fuste, resultando en un total aprovechable para biomasa del 21%; para las frondosas se destina un 19% de los productos del fuste a usos distintos a elaboración de productos del fuste, resultando en un total del 46% destinado a biomasa.

De esta estimación resulta un valor de biomasa bruta de en la zona de  $15761,03 \text{ m}^3$ , de la cual se podría destinar a la industria maderera  $4246,60 \text{ m}^3$  y  $8664,13 \text{ m}^3$  a la caldera de district heating.

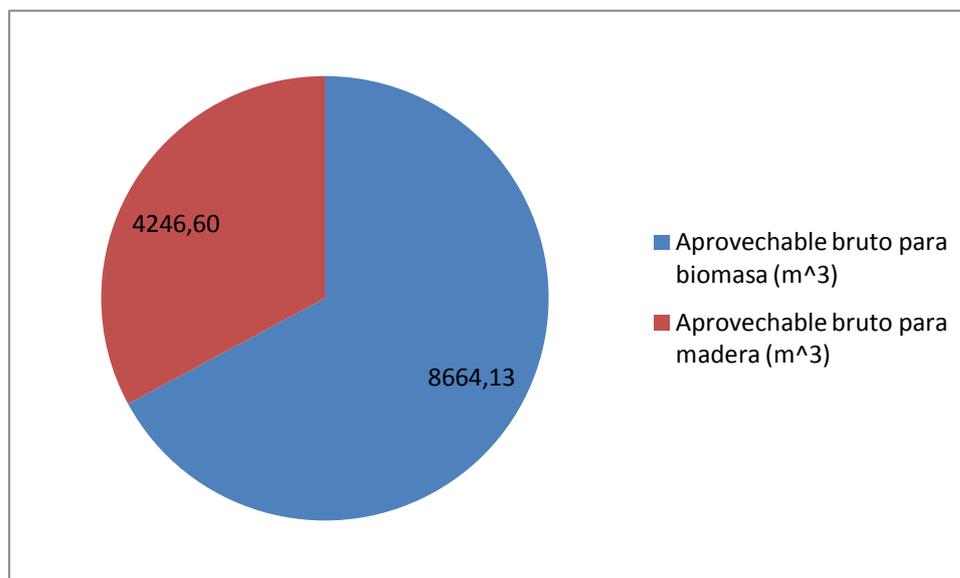


Figura 3-5.- Distribución de las existencias de biomasa bruta aprovechable, por usos, en la zona de influencia de la instalación

Para un análisis más detallado se necesitaría discriminar por especies, pero eso requeriría determinar los datos específicos para cada especie mediante trabajo de campo, lo cual queda fuera del alcance de este trabajo. En previsión de realizar un estudio de esa magnitud, se ha obtenido el resumen de parámetros dasométricos por especies, parte del cual se adjunta a continuación.

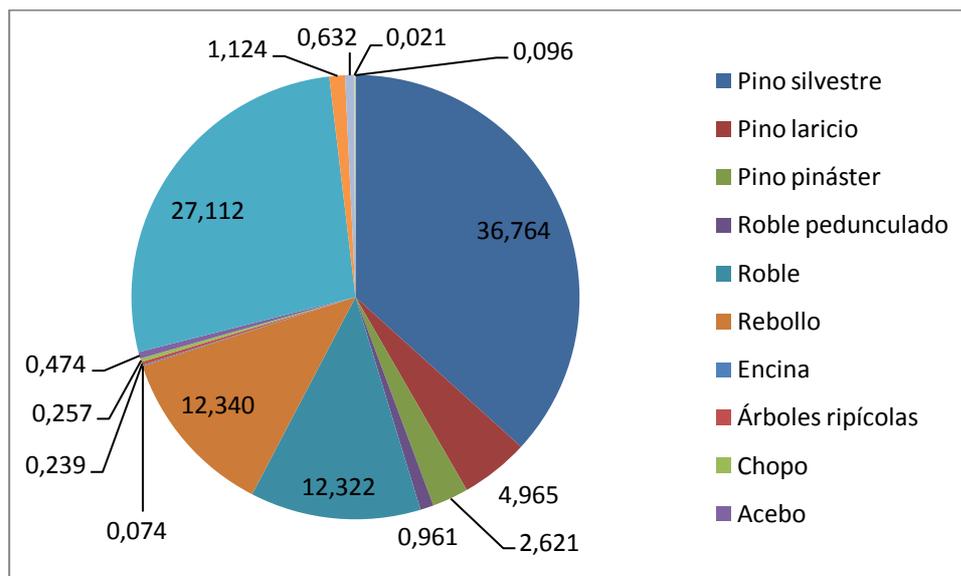


Figura 3-6.- Distribución Volumen con corteza por especie

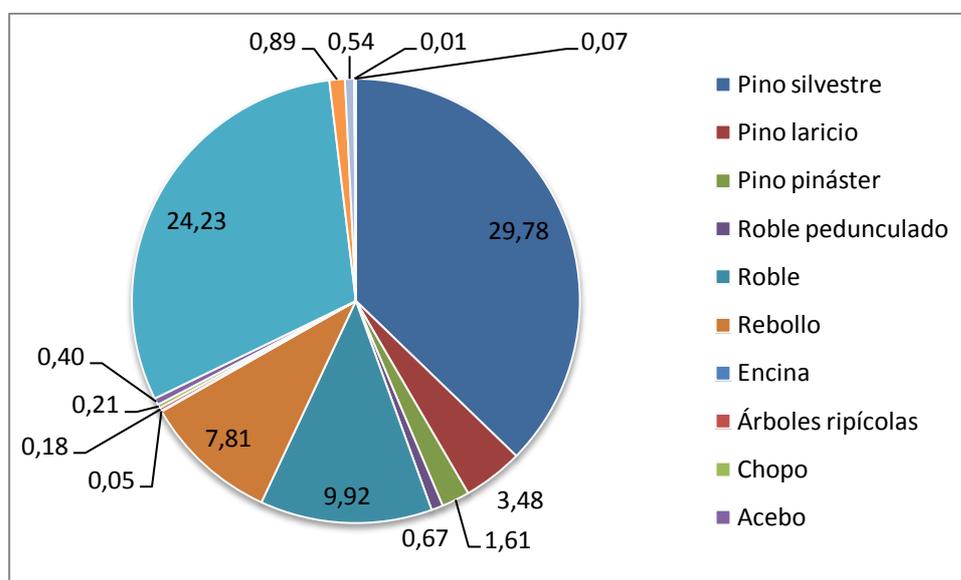


Figura 3-7.- Distribución volumen de leñas por especie

### 3.3 Cálculo de la biomasa potencialmente aprovechable

La biomasa potencialmente aprovechable es aquella a la que es posible acceder para llevar a cabo su explotación. Existen dos formas para llevar a cabo esta valoración con los datos de los que se dispone:

- Utilizar los valores “pendiente” de los estadillos anteriormente evaluados para eliminar aquellas parcelas con una pendiente con valor igual a 5.
- Estimar un porcentaje aprovechable de cada parcela mediante el método que se describe a continuación.

El porcentaje de área aprovechable paraca parcela se estimaría en función del porcentaje de cada pendiente. Para poder valorar este parámetro se realizan los siguientes pasos:

- [1]. Trazar la parrilla UTM 1kmx1km sobre la cartografía MTN 1:50000.

- [2]. Con la parrilla trazada, cargar el mapa de pendientes en el visor de la Junta de Castilla y León.
- [3]. Trazar áreas tipo de forma cuadrada, de lado 1km, centradas en cada vértice.
- [4]. Evaluar el % de pendiente tipo contenida en cada una usando un programa que reconozca porcentajes de distintos colores, como el photoshop.
- [5]. Valorar el volumen de biomasa de cada parcela en función del área de la misma y de los porcentajes de pendientes en cada recinto. Para valorar este parámetro se toma el área de la parcela, se valora en porcentaje sobre el total de área y se aplican los coeficientes determinados en el paso anterior.

### 3.3.1 Estimación de las áreas ocupadas dentro de cada parcela

Previo al cálculo de las áreas habría que filtrar de la base de datos aquellas atribuidas a especies arbustivas. Esto se logra teniendo en cuenta los números de identificador de especies acuerdo al anexo 4 de la base de datos SIG.

Para estimar las áreas se han considerado varios parámetros de los recogidos en la hoja de cálculo: el Fcc global para cada parcela y el propio de cada especie presente en la parcela. De esta forma se puede aproximar el área ocupada por cada especie. El método se justifica mediante el ejemplo planteado en la figura siguiente:

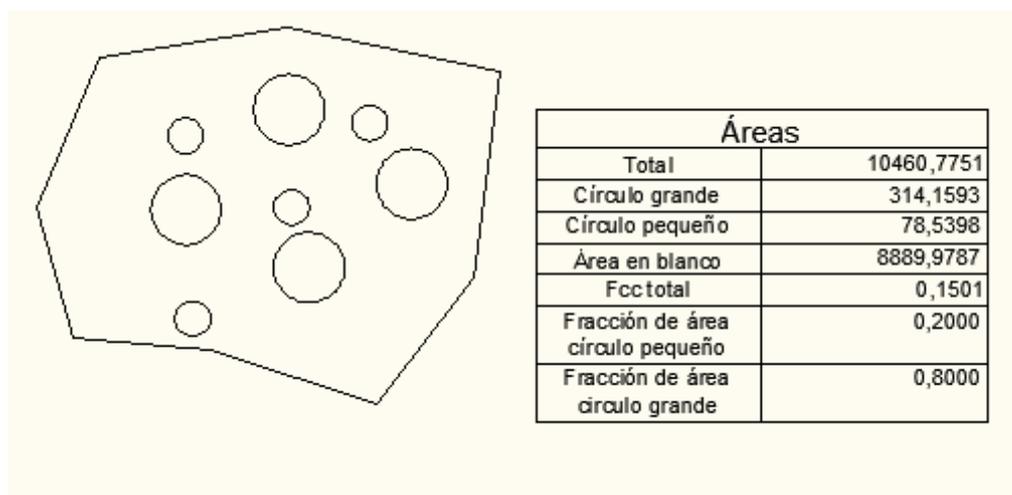


Figura 3-8.- Representación de áreas para ejemplo

De acuerdo con lo que se puede observar en esta figura, si partimos del área de una línea poligonal cerrada de contorno arbitrario (en adelante polygon) y lo multiplicamos por su Fcc podemos obtener el área ocupada total de dicha área. Esta área estaría ocupada por los troncos (pies) de los árboles.

$$10460,7751 * 0,1501 = 1570,7964$$

Si definimos la razón

$$\text{Fracción de área ocupada}_p = \frac{n * S_p}{\text{Área ocupada}}$$

Donde n es el número de círculos de un determinado diámetro, Sp es la superficie de un círculo pequeño y el denominador representa el total de área cubierta por círculos, se puede inferir el total de superficie ocupada por círculos pequeños con la operación:

$$\text{Área ocupada}_p = \text{Área total} * Fcc * \text{Fracción de Área ocupada}_p$$

$$10460,7751 * 0,1501 * 0,2 = 314,0324$$

Aunque presenta error, proporciona una buena aproximación al área ocupada por cada especie a partir de parámetros definidos en la base de datos SIG, sin necesidad de conocer la forma del recinto ni las clases diametrales de los árboles.

### 3.3.2 Estimación de la biomasa accesible según las pendientes recogidas en el IFN 3

Aunque este método proporciona mejor aproximación que discriminar las parcelas por su pendiente (se descartan 70 parcelas de forma directa), el método no resulta operativo por falta de tiempo (es necesario seleccionar manualmente cada vértice de la red UTM 1 km x1 km y leer los valores de tres características diferentes; un total de 180 comprobaciones para cada uno de los tres colores de pendiente). La hipótesis que considera los valores del IFN es más discriminativa y por tanto conservativa, por lo que se considera válida

Para el desarrollo de esta hipótesis basta con multiplicar todos los valores de  $\text{dm}^3$  de biomasa 1 si se trata de categoría menor a 5 y 0 si se trata de categoría 5. Entre las parcelas que afectan a la zona no hay ninguna no evaluada.

Esta operación revela que existen  $5760,04 \text{ m}^3$  de madera disponible para biomasa y  $3054,71 \text{ m}^3$  de madera disponible para la elaboración de productos derivados del fuste.

#### 3-2.- Tabla de identificación de pendientes

RANGO CÓDIGO	
0 - 3	1
3,01 - 12	2
12,01 - 20	3
20,01 - 35	4
> 35 5	5

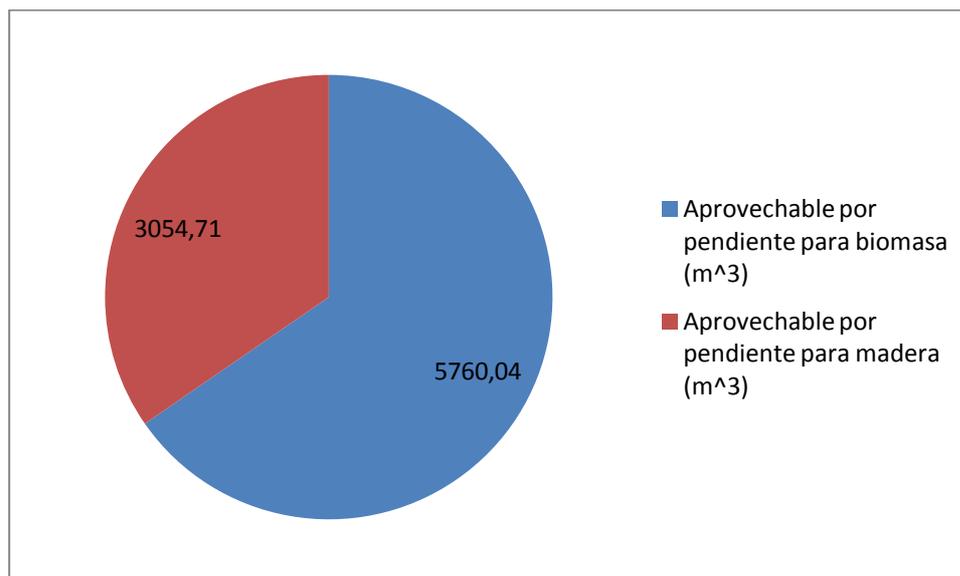


Figura 3-9.- Distribución de biomasa disponible por usos teniendo en cuenta la pendiente

**Nota:** estos valores hacen referencia a biomasa húmeda.

Los valores de PCI y PCS se determinarán utilizando las tablas del documento Varios autores, *Evaluación del potencial de energía de la biomasa. Estudio técnico PER 2011-2020*, Ed IDAE.

El PCI, a un % conocido de humedad se determina se determina a partir del PCS mediante la fórmula:

$$\text{PCI (h\%)} = \frac{(\text{PCS} \cdot 1.000 \cdot (1-x) - 11,27 \cdot x\% - 1.322)}{1.000}$$

Como se mencionó al principio de este apartado, los valores de biomasa obtenidos de esta primera aproximación permiten hacerse una idea de las reservas existentes, pero para saber cuánto se puede explotar de cada reserva y a qué precio, se debe utilizar una metodología que considere además factores de índole económico, técnico y operativo. En el siguiente apartado se sigue la metodología planteada en el documento Varios autores, *Evaluación del potencial de energía de la biomasa. Estudio técnico PER 2011-2020*, Ed IDAE a fin de determinar la cantidad total de biomasa anual que se puede explotar en los montes de la zona.

## 4 Estimación y valorización de la biomasa explotable anual

### 4.1 Técnicas de explotación

El proceso de aprovechamiento de la biomasa sólida comprende las siguientes etapas:

- [1]. Obtención de los recursos forestales
- [2]. Recogida de los recursos forestales
- [3]. Preparación (operaciones de trituración) in situ o en la planta de tratamiento
- [4]. Transporte
- [5]. Almacenaje en cubos de biomasa

Estas etapas se definen para cada uno de los distintos itinerarios selvícolas y a partir de ahí se determinan los sistemas logísticos de aprovechamiento y maquinaria asociada para cada tratamiento, así como los costes correspondientes a cada uno de ellos. Para el propósito de este proyecto se tomará como guía el documento Varios autores, *Evaluación del potencial de energía de la biomasa. Estudio técnico PER 2011-2020*, Ed IDAE. En este documento se distinguen tres tipos de actuaciones para obtención de recursos forestales, o tratamientos, sobre biomasa forestal.

- Tratamientos que no suponen la corta de árboles, como es el caso de podas, trasmoches, olivaciones, etc.
- Tratamientos que suponen corta de parte de los pies de las masas, cortas intermedias o de mejora de las masas, clareos (en los primeros estadios de la masa), claras, resalveos, etc.
- Cortas finales de las masas forestales al final del turno de aprovechamiento.

El documento señala que tanto las podas, olivaciones, etc. como los clareos no tienen un fin comercial, sino que son operaciones destinadas a la formación y mejora de las masas de modo que permiten un mayor y mejor desarrollo de la masa en pie y se fomenta la autoprotección de las mismas frente a riesgo de enfermedades, plagas e incendios, por tanto, no compite con otros usos como el maderero y por ello se puede considerar como biomasa de restos.

Respecto a los demás tratamientos nombrados el documento diferencia por un lado lo que son riberones (punta de corta de copas) y ramas y ramillas, con usos para biomasa, de lo que son los fustes propiamente dichos y con un posible y casi seguro uso maderero. Poniendo una limitación al diámetro de los pies para distinguir un uso final distingue tres tipos de uso final de la biomasa:

- **Biomasa de restos** con punta delgada de 7-7,5 cm, en la cual se incluyen riberones, ramas y ramillas procedentes de los distintos tratamientos y árboles completos con diámetro inferior a 7,5 cm (clareos). En este proyecto este tipo de biomasa se restringe a un diámetro mínimo de 2 cm.
- **Biomasa de restos competitiva**, compuesta por riberones, ramas y ramillas procedentes de los distintos tratamientos y árboles completos con diámetro inferior a 20 cm (clareos y algunas claras).
- **Biomasa de árbol completo**, compuesta por árboles enteros procedentes de de masas en pie con o sin aprovechamiento actual.

De los dos modelos de producción dados, se supone que todos los montes reciben un tratamiento conservador y por lo tanto se consideran solo tratamientos señalados como

“Pu” de público, orientados a la conservación de los montes públicos. Los itinerarios silvícolas son las operaciones que se realizan cada año proporcionando un rendimiento determinado por cada operación. Estos itinerarios, asociados a cada especie según la tabla 4-2, se resumen en la tabla 4-1.

Tabla 4-1.- Especies presentes en el estudio técnico PER 2011-2020

Nombre científico	Presentes
<i>Pinus sylvestris</i>	V
<i>Pinus nigra</i>	V
<i>Pinus pinaster</i>	V
<i>Quercus robur</i>	V
<i>Quercus petraea</i>	V
<i>Quercus pyrenaica</i>	V
<i>Quercus ilex</i>	V
Mezcla de árboles	X
<i>Populus nigra</i>	X
<i>Ilex aquifolium</i>	X
<i>Fagus sylvatica</i>	V
<i>Betula</i> spp.	X
<i>Sorbus</i> spp.	X
<i>Populus x canadensis</i>	V
<i>Ulmus Minor</i>	X

Tabla 4-2 Itinerarios silvícolas con su rendimiento según el tipo de biomasa buscada

Especie	Código de especie	Tratam.	Diámetro medio (cm)	Posibilidad <7 cm (t/ha·año)	Posibilid. competit. (<20) t/ha·año	Posibilid. árbol completo (t/ha·año)	Poder Calorífico Superior (H <sup>a</sup> =0%)
<i>Pinus sylvestris</i>	21	Clareo	7	0,04	0,04	0,04	21,100
<i>Pinus sylvestris</i>	21	1clara	24	0,15	0,49	0,49	21,100
<i>Pinus nigra</i>	25	Clareo	7,00	0,02	0,02	0,02	20,600
<i>Pinus nigra</i>	25	1clara	22,00	0,12	0,36	0,36	20,600
<i>Pinus nigra</i>	25	2clara	29,00	0,13	0,13	0,39	20,600
<i>Pinus nigra</i>	25	Corta final1	37,00	0,29	0,29	0,85	20,600
<i>Pinus nigra</i>	25	Corta final2	40,00	0,18	0,18	0,52	20,600
<i>Quercus robur</i>	41	1clara	15	0,08	0,27	0,27	19,3
<i>Quercus robur</i>	41	2clara	26,9	0,18	0,18	0,59	19,3
<i>Quercus robur</i>	41	3clara	35,5	0,25	0,25	0,82	19,3
<i>Quercus robur</i>	41	Corta final1	40	0,30	0,30	0,99	19,3

<i>Quercus robur</i>	41	Corta final2	43	0,29	0,29	0,96	19,3
<i>Quercus petraea</i>	42	1clara	15	0,08	0,27	0,27	19,3
<i>Quercus petraea</i>	42	2clara	26,9	0,18	0,18	0,59	19,3
<i>Quercus petraea</i>	42	3clara	35,5	0,25	0,25	0,82	19,3
<i>Quercus petraea</i>	42	Corta final1	40	0,30	0,30	0,99	19,3
<i>Quercus petraea</i>	42	Corta final2	43	0,29	0,29	0,96	19,3
<i>Quercus pyrenaica</i>	43	resalveo	9,7	2,17	2,17	2,17	19,1
<i>Quercus faginea</i>	44	resalveo	9,7	1,19	1,19	1,19	19,1
<i>Quercus ilex</i>	45	resalveo	9,7	1,94	1,94	1,94	18,44
<i>Fagus sylvatica</i>	71	Clareo	6,8	0,00	0,07	0,07	19,2
<i>Fagus sylvatica</i>	71	1clara	19,4	0,10	0,47	0,47	19,2
<i>Fagus sylvatica</i>	71	2clara	27	0,15	0,15	0,62	19,2
<i>Fagus sylvatica</i>	71	Corta final1	35,3	0,40	0,40	1,40	19,2
<i>Fagus sylvatica</i>	71	Corta final2	39,5	0,36	0,36	1,22	19,2
<i>Populus x canadensis</i>	258	Corta final1	38	2,82	10,52	10,52	19,4

De esta tabla se infieren los distintos itinerarios de biomasa que se aplicarán a la biomasa:

- Corta final
- Clara
- Resalveo
- Clareo

#### 4.1.1 Clareo

El clareo es un itinerario silvícola considerado poco productivo y viable por criterios ambientales. Se lleva a cabo de forma semimecanizada, estimándose que el 20% del trabajo se hace con procesadora multitaladora para apea y reunir la masa forestal situada en calles, de entre 3 a 3,5m de ancho que se abren cada 20m. El apeo y reunión de los restos de las masas situadas entre calles (un 80% del trabajo) se realiza mediante motosierra, es decir, de forma manual. La saca a cargadero de los árboles enteros se realiza mediante tractor autocargador (agrícola o forestal).

Una vez en el cargadero, la masa obtenida se somete a astillado para su posterior transporte a la planta de almacenamiento. Se considera que una vez en la planta de almacenamiento se someterá a secado natural para reducir la humedad a un porcentaje aceptable.

Esta intervención se lleva a cabo en masas regulares de coníferas a turno medio o largo para madera, y frondosas de turno largo o muy largo para madera, generalmente en terrenos con pendiente máxima de aprovechamiento del 30%. Aprovecha el árbol entero para biomasa.

#### 4.1.2 Resalveo

Es un itinerario muy utilizado en el aprovechamiento de madera o leña. El sistema es de aprovechamiento de árbol completo con multitaladora seguido de saca de árboles completos a cargadero con autocargador. Una vez en el cargador serán astillados y trasladados mediante camión rígido a la central de procesamiento. No se emplean camiones multilift ni de piso móvil porque estos solo se recomiendan para distancias superiores a 20 km en monte de acceso fácil.

#### 4.1.3 Cortas finales y claras

Estos tratamientos se llevan a cabo en coníferas y frondosas en masas regulares, semi-regulares o irregulares para madera excepto choperas. Los apeos y reuniones se efectúan mediante multitaladora y el transporte hasta la astilladora móvil mediante tractor autocargador. El transporte de la astilla se realiza mediante camión rígido.

#### 4.1.4 Caracterización de distancias a recorrer

En cuanto a la delimitación de las distancias, se aproximará de la siguiente manera:

- Se realizará una división del territorio en recintos, delimitados por sus coordenadas UTM. Esta división atiende, por un lado, al tipo de vía que llega hasta ellos: carretera, pista de vehículos o camino, y por otro a las barreras geográficas, estimadas en función del mapa de pendientes de la región. Las divisiones se realizan sobre un mapa en el que se han cargado los límites de cuadrícula, el mapa de pendientes, el mapa de carreteras y el mapa de caminos.
- La distancia de cada recinto a Puebla de Lillo será medida y anotada.
- La clasificación por coordenadas UTM de las parcelas permite ubicarlas dentro de uno de los recintos, permitiendo que se obtenga la variable cost distance para cada uno.
- Para todas aquellas parcelas que pertenezcan a la región se asociará un valor de distancia de desplazamiento en camión igual a la distancia por carretera desde un punto más o menos centrado de la carretera que llegue a la parcela. Así mismo, se estima la distancia desde ese punto a las parcelas pertenecientes al recinto para estimar las distancias cubiertas por el tractor autocargador.

En el punto tomado como referencia para cada parcela se supone la existencia de un cargadero, punto en el que se ubicará la astilladora y los espacios habilitados para el secado al natural.

Tabla 4-3.- Resumen de cargaderos con sus coordenadas y el área de influencia

nº de cargadero	Identificador	Coordenada X	Coordenada Y	Distancia a Puebla por carretera (km)	Coordenada X del área de influencia	Coordenada Y del área de influencia
1	Redipueras	303438	4760508	56	294500	4768900
					308200	4768900
					308000	4759200

					294100	4759300
2	Valdet eja	302200	610020 0	24,9	294100	4759300
					308000	4759200
					307750	4751970
					300927	4752208
					301026	4756792
					294299	4756971
3	Valcua va	296780	474689 0	40,7	300927	4752208
					301026	4756792
					294299	4756971
					300768	4745203
					293843	4745283
4	Boñar	310075	474867 6	24,9	300887	4752169
					321386	4751514
					321227	4744707
					294299	4756971
5	Valdec astillo	311213	475330 5	19,9	307919	4754178
					314383	4754000
					314566	4754952
					315836	4756083
					320281	4756381
					321254	4755190
					321386	4751514
					307760	4751996
6	Rucayo	310776	475983 4	18,2	308030	4763525
					314844	4763306
					314804	4758564
					311332	4758762
					311312	4756220
					307938	4756361
7	Cofiñal	315256 1	476673 9	3	311748	4772732
					321889	4772355
					321809	4767811
					311629	4768069

La información proporcionada por esta tabla se empleará en combinación con las tablas elaboradas a partir del IFN 3 para obtener un perfil de distancias por parcela. Esto permitirá discriminar el coste por tonelada de biomasa en función de su procedencia para tener una aproximación más precisa al coste de producción.

## 4.2 Tabla resumen de vehículos que intervienen en cada itinerario y operaciones que realizan

Tabla 4-4.- Resumen de vehículos que intervienen en cada itinerario y operaciones que realizan

Caracterización de los itinerarios silvícolas					
Nombre	Apeo	Reunión	Saca	Tratamiento previo	Transporte desde el cargadero
Clareo	Motosierra (80%)	Manual en calles	Tractor autocargador	Astillado con trituradora portatil	Camión rígido
	Multitaladora (20%)	Multitaladora			
Resalveo	Multitaladora	Multitaladora	Tractor autocargador	Astillado con trituradora portatil	Camión rígido
Corta	Multitaladora	Multitaladora	Tractor autocargador	Astillado con trituradora portatil	Camión rígido
Clara	Multitaladora	Multitaladora	Tractor autocargador	Astillado con trituradora portatil	Camión rígido

### 4.3 Estimación de la biomasa potencial total

Para el propósito de este trabajo se busca determinar el total de toneladas de biomasa que el bosque dentro del área de influencia de la explotación es capaz de producir al año en función de los itinerarios forestales. La bibliografía consultada propone utilizar un método que tiene en cuenta la FCC de cada parcela según la especie y discriminando parcelas según las siguientes condiciones:

- Siguiendo los criterios de la fuente consultable, se desechan aquellas parcelas con FCC inferior a 50, considerándolas no explotables desde el punto de vista económico. También se excluyen formaciones por encima de 1700 m (clase 10 y superior).
- Se desechan así mismo todos aquellos árboles marcados con una X en la tabla 4.1, por considerarlos no energéticamente interesante.
- Coeficiente de reducción en función de la eficiencia de las operaciones de recogida, accesibilidad...
- El rendimiento de las operaciones de extracción en función de las pendientes, excluyéndose las pendientes de clase 5 (superiores al 35%).

Una vez eliminados estos parámetros de la tabla de datos Valores para el cálculo, se procede a aplicar la ecuación para calcular la biomasa bruta para cada parcela.

$$BT \text{ (t/año)} = [\sum (Ppoti * Oi)] * Fcca * St * MPPF]$$

Donde:

- BT, la biomasa potencial total para el aprovechamiento de restos y árboles completos procedentes de tratamientos selvícolas llevados a cabo en masas existentes.
- Ppot , la productividad de biomasa de la especie i (ya sea de restos y pies de diámetro inferior a 7 cm, de restos y pies con diámetro inferior a 20 cm o de árbol completo) en la tesela t. (Según tabla 4.2).
- O, la ocupación de la especie i en la tesela t. Fcc , la fracción de cabida cubierta arbolada de la tesela t.
- S, es la superficie de la tesela t.
- MPPF, el coeficiente de productividad potencial forestal en la tesela t; para este trabajo se supone en 1,88.

Se considerará la productividad derivada para biomasa como la que deriva de la probabilidad de ramas inferiores a 7 cm de diámetro e inferiores a 20 cm de diámetro.

La biomasa potencial total, aplicados estos criterios a los datos organizados en el apartado anterior resulta ser:

**Tabla 4-5.- Producción de biomasa anual por tonelada (de biomasa seca) y hectárea de las masas principales del total de las teselas**

Tratamiento tipo	Producción anual potencial Especie 1 (t/año)	Producción anual potencial Especie 2 (t/año)	Producción anual potencial Especie 3 (t/año)
Produccion por corta final 1	900,58	232,61	15,28

Producccion por corta final 2	0,00	107,54	0,00
Producccion por 1 clara	1728,32	251,89	33,39
Producccion por 2 clara	371,47	115,25	9,17
Producccion por 3 clara	183,67	88,13	12,73
Producccion por resalveo	164,63	16,40	1,60
Producccion por clareo	13363,95	0,00	0,00

Tabla 4-6.- Producción anual potencial en kWh (PCS) de la zona a partir de biomasa seca

Tratamiento tipo	Producción anual potencial Especie 1 (kWh/año)	Producción anual potencial Especie 2 (kWh/año)	Producción anual potencial Especie 3 (kWh/año)
Producccion por corta final 1	4845308,57	1265970,62	81897,11
Producccion por corta final 2	3204700,18	587751,68	0,00
Producccion por 1 clara	9683114,14	1375896,24	188805,51
Producccion por 2 clara	1999583,70	626483,05	49138,27
Producccion por 3 clara	984676,55	472450,40	68247,59
Producccion por resalveo	0,00	89164,01	9395,76
Producccion por clareo	70903185,27	3248864,13	1123007,94
Total	4845308,57	1265970,62	81897,11

Según el documento, esta cantidad se reduce en función de la humedad. Suponiendo una humedad media del 40% en el momento del corte, estas cantidades se reducen –según la expresión  $B=B_{seca}*(1-x)$  - hasta los valores recogidos en las siguientes tablas:

Tabla 4-7.- Producción de biomasa anual por tonelada (de biomasa húmeda) y hectárea de las masas principales del total de las teselas

Tratamiento tipo	Producción anual potencial Especie 1 (t/año)	Producción anual potencial Especie 2 (t/año)	Producción anual potencial Especie 3 (t/año)
Producccion por corta final 1	540,35	139,57	9,17
Producccion por corta final 2	0,00	64,53	0,00

Produccion por 1 clara	1036,99	151,13	20,03
Produccion por 2 clara	222,88	69,15	5,50
Produccion por 3 clara	110,20	52,88	7,64
Produccion por resalveo	98,78	9,84	0,96
Produccion por clareo	8018,37	0,00	0,00

**Tabla 4-8.- Producción potencial anual húmeda en kWh (PCS) de la zona**

Tratamiento tipo	Producción anual potencial Especie 1 (kWh/ha)	Producción anual potencial Especie 2 (kWh/ha)	Producción anual potencial Especie 3 (kWh/ha)
Produccion por corta final 1	2907185,14	759582,37	49138,27
Produccion por corta final 2	1922820,11	352651,01	0,00
Produccion por 1 clara	5809868,48	825537,74	113283,31
Produccion por 2 clara	1199750,22	375889,83	29482,96
Produccion por 3 clara	590805,93	283470,24	40948,55
Produccion por resalveo	0,00	53498,40	5637,46
Produccion por clareo	42541911,16	1949318,48	673804,76

La comparación entre ambas figuras permite establecer una relación entre la productividad anual de dejar secar la biomasa hasta una humedad determinada, mostrando que cuanto más seca esté antes de su astillado, mayor será la cantidad en toneladas que se transporte anualmente al almacén.

El documento indica que esta cantidad se debe minorar hasta conseguir la biomasa potencial anual accesible, tarea que se aborda en el siguiente apartado.

#### **4.4 Estimación de la biomasa potencial accesible**

El valor anteriormente obtenido se minorará primero mediante un coeficiente de rendimiento, fijado por la bibliografía en el 65% y que representa las dificultades para recoger el 100% de la biomasa así como las pérdidas imputables al desarrollo normal de las operaciones de extracción.

La bibliografía también propone clasificar la extracción por porcentaje de árbol dedicado a madera o si este se destina a fines energéticos por completo. Para este trabajo se ha optado por no aplicar este coeficiente y proporcionar una estimación en base al coeficiente de rendimiento.

**Tabla 4-9.- Tabla de biomasa húmeda potencialmente accesible de la zona según tipo de itinerario**

Tratamiento tipo	Producción anual potencial Especie 1 (t/ha)	Producción anual potencial Especie 2 (t/ha)	Producción anual potencial Especie 3 (t/ha)
Producccion por corta final 1	351,2260342	90,71921128	5,957696412
Producccion por corta final 2	0	41,9421098	0
Producccion por 1 clara	674,0452612	98,23573462	13,02058804
Producccion por 2 clara	144,8746773	44,94747945	3,574617847
Producccion por 3 clara	71,63139264	34,3689303	4,96474701
Producccion por resalveo	64,20579564	6,394977167	0,625196838
Producccion por clareo	5211,940948	0	0

**Tabla 4-10.- Producción accesible anual húmeda en kWh (PCS) de la zona según tipo de itinerario**

Tratamiento tipo	Producción anual potencial Especie 1 (t/ha)	Producción anual potencial Especie 2 (t/ha)	Producción anual potencial Especie 3 (t/ha)
Producccion por corta final 1	1889670,34	493728,5435	31939,87243
Producccion por corta final 2	1249833,07	229223,1562	0
Producccion por 1 clara	3776414,513	536599,5325	73634,14983
Producccion por 2 clara	779837,6443	244328,3913	19163,92346
Producccion por 3 clara	384023,855	184255,6541	26616,56036
Producccion por resalveo	0	34773,96215	3664,348134
Producccion por clareo	27652242,25	1267057,012	437973,0956

Los valores de estas tablas se consideran como válidos para el cálculo, esto es, se emplearán para ver qué demanda de la proyectada puede cubrirse con biomasa de la zona.

## 4.5 Valorización de la biomasa

Una vez se dispone de información sobre la biomasa disponible por parcela en toneladas y se dispone de las coordenadas de los recintos, así como de los costes de las diversas operaciones involucradas en su obtención, se puede estimar el coste de la tonelada de biomasa. El coste por tonelada puede evaluarse considerando uno de los siguientes aspectos:

Coste de aprovechamiento, el cual incluye el coste de apeo y de reunión del material.

Coste de adecuación del material hasta los requerimientos finales. Engloba todos aquellos procesos dirigidos a la transformación del material en bruto (empacado, triturado, astillado) ya sea en campo, cargadero o en el parque de la central o centro de tratamiento y almacenamiento.

Coste de saca hasta cargadero donde se carga el camión con el que se realiza el transporte por vías asfaltadas.

Coste de transporte. Abarca el transporte desde el cargadero por vías asfaltadas hasta el lugar donde se encuentra ubicada la central o centro de almacenado.

Los dos primeros costes se determinan según el coste de la maquinaria en euros/h, determinado a partir de las figuras 11.4, 11.5, 11.6 y 11.7. y se resumen en el parámetro llamado coste por tonelada, sistema lógico y especie. Estas figuras, obtenidas del documento que se ha tomado como guía, se emplean siguiendo los criterios que se exponen a continuación:

- Se considera que el total de producción bruta anual por especie, calculada en apartados anteriores, se debe explotar en su totalidad. Este total bruto será el que posteriormente se minore según los factores de rendimiento relacionados con la humedad, la eficiencia de la recogida... para determinar el total de energía disponible procedente de la biomasa al año.
- Se escoge, para cada especie, el itinerario más productivo en toneladas brutas anuales.
- Se determina el coste por hora de trabajo de cada máquina en un itinerario considerando los valores de las figuras 11.4, 11.5, 11.6 y 11.7 y la información de la bibliografía para elegir qué máquina se emplea.
- Se determina la productividad de cada máquina en función de los parámetros volumen medio del arbolado ( $V$ ), diámetro normal del arbolado ( $Dd$ ), coste del combustible ( $CO$ ) y distancia de transporte ( $Ti$ ).

Se debe determinar el número de máquinas de las que se dispone de un determinado tipo. Para ello se toman las toneladas por especie que se deben producir, qué máquina se emplea y su productividad. Luego se comparan con el número de horas disponibles (campaña desde Mayo hasta principios de Octubre) y se obtiene el número de vehículos que deben trabajar a la vez. El total de horas de la campaña son 3816 h.

Las expresiones utilizadas para determinar la productividad en cada caso se recogen en la figura 11.8., 11.9 y 11.10. Los valores de la productividad determinados para cada máquina se recogen en la tabla resumen correspondiente.

El resumen de estos criterios queda recogido en el siguiente diagrama de flujo:

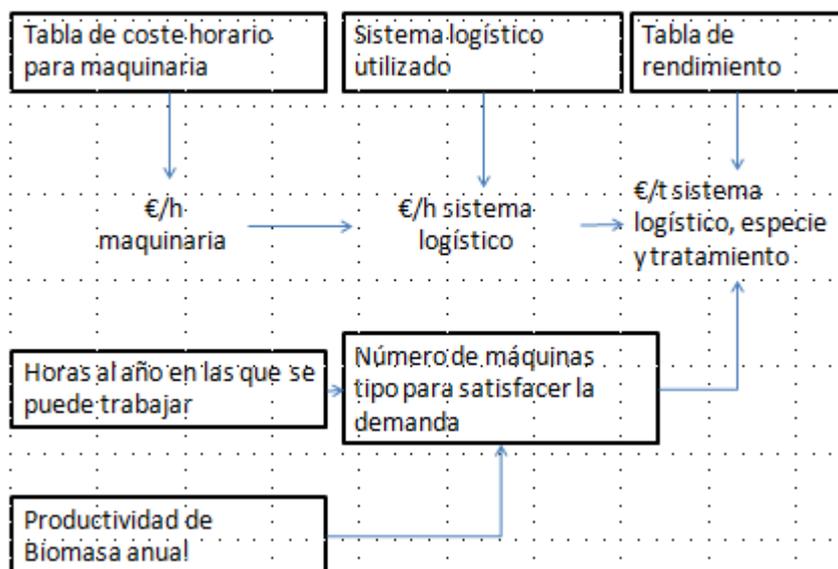


Figura 4-1.- Diagrama de flujo para determinar el coste del sistema logístico para el aprovechamiento del total de biomasa bruta.

## 4.5.1 Tablas resumen del proceso de cálculo

Especie	Itinerario	Maquinaria de apeo	Maquinaria de reunión	Maquinaria de astillado	Maquinaria de transporte
21	clara	Multitaladora	Tractor recogedor	Astilladora cargadero	Camión rígido
25	clara	Multitaladora	Tractor recogedor	Astilladora cargadero	Camión rígido
41	corta	Multitaladora	Tractor recogedor	Astilladora cargadero	Camión rígido
42	corta	Multitaladora	Tractor recogedor	Astilladora cargadero	Camión rígido
43	clareo	Motosierra	Reunión manual	Astilladora cargadero	Camión rígido
		Multitaladora	Tractor recogedor	Astilladora cargadero	Camión rígido
45	clareo	Motosierra	Reunión manual	Astilladora cargadero	Camión rígido
		Multitaladora	Tractor recogedor	Astilladora cargadero	Camión rígido
71	clara	Multitaladora	Tractor recogedor	Astilladora cargadero	Camión rígido
258	corta	Multitaladora	Tractor recogedor	Astilladora cargadero	Camión rígido

Tabla 4-11.- Definición del sistema logístico según la especie

Número de horas/máquina				Número de máquinas			
Apeo	recogida	saca	transporte	Apeo	recogida	saca	transporte
53,790	3771,242	49,552	80,265	0,014	0,988	0,013	0,021
11,605	813,657	10,691	17,317	0,003	0,213	0,003	0,005
4,798	336,366	4,420	7,159	0,001	0,088	0,001	0,002
17,665	1238,504	16,273	26,360	0,005	0,325	0,004	0,007
314,961	1678,057	169,840	275,110	0,083	0,440	0,045	0,072
737,462	51704,074	679,359	1100,438	0,193	13,549	0,178	0,288
3,210	17,102	1,731	2,804	0,001	0,004	0,000	0,001

7,516	526,954	6,924	11,215	0,002	0,138	0,002	0,003
46,862	3285,532	43,170	69,927	0,012	0,861	0,011	0,018
3,863	270,865	3,559	5,765	0,001	0,071	0,001	0,002
			suma	0,315	16,678	0,258	0,418

Tabla 4-12.- Determinación del número de máquinas de cada tipo

Parámetros		
Volumen medio del arbolado	V	0,83
diámetro normal del arbolado	Dd	27,3182711
coste del combustible	C	0,9

Tabla 4-13.- Parámetros de proporcionalidad para el cálculo de factores de productividad

Productividad por máquina (tonelada húmeda a la hora)	
Camión rígido	10,1863258
Multitaladora	15,2
motosierra	8,89745681
reunión manual	1,67
Tractor recogedor	0,21679956
Tractor agrícola	10,0517
Astilladora cargadero	16,5

Tabla 4-14.- Factores de productividad asociados a cada máquina

Tabla 4-15.- Coste por tonelada de biomasa, según la especie, para la explotación

Especie	Itinerario	Total de toneladas secas	Total toneladas húmedas (40%) anuales	Coste del sistema logístico (€/h)	Coste en €/t del sistema logístico
21	clara	817,60	490,56	325,025	206,611194
25	clara	176,40	105,84	325,025	206,611194
41	corta	72,92	43,75	325,025	206,611194
42	corta	268,50	161,10	325,025	206,611194
43	clareo	14011,77	8407,06	460,295	27,3522838
				325,025	206,611194
45	clareo	142,80	85,68	460,295	27,3522838
				325,025	206,611194
71	clara	712,30	427,38	325,025	206,611194
258	corta	58,72	35,23	325,025	381,977592

Nota: se ha considerado que cada tipo de bosque solo puede llevar un itinerario asociado; así es que se elegirá de entre todos los posibles el que mayor producción tenga. Se considera que cada parcela se explota según un itinerario y que las tres especies que aparecen en cada parcela también lo hacen.

También se debe mencionar que, si bien se había diseñado un método para calcular la distancia de desembosque media, este no ha podido aplicarse porque no resultaba operativo con respecto al tiempo exigido por el mismo.

Siguiendo la bibliografía citada se podrían calcular los otros aspectos del coste, útiles si se busca hacer actuaciones específicas sobre un proyecto con el fin de optimizarlo; para este trabajo, no obstante, es suficiente con este valor, pues nos permite obtener un coste para la obtención de biomasa anual en función de las toneladas recogidas de cada especie. También se podrían definir otros aspectos clave de la logística, como el tamaño de los almacenamientos temporales, las rutas logísticas... Pero por el grado de trabajo que entra cada uno de ellos, queda fuera del alcance de este trabajo.

## 5 Estimación de la demanda de energía térmica en el ayuntamiento de Puebla de Lillo.

### 5.1 Metodología de cálculo

Para estimar la demanda en la localidad se ha utilizado el informe SECH-SPACHOUSE sobre consumo residencial (Analysis of the Energy Consumption in the Spanish Households), editado por el IDAE. Este informe permite, mediante tablas reproducidas a continuación, estimar el consumo por habitante en calefacción y agua caliente en la zona climática continental, a la que pertenece Puebla de Lillo. Una vez obtenido el consumo por habitante y tipo de vivienda (individual o en bloque), se cruzan los datos de consumo con los datos de los habitantes obtenidos mediante entrevista telefónica con el Ayuntamiento de Puebla de Lillo.

Para los edificios del sector terciario (hoteles, casas rurales, autoservicios y bares) se ha utilizado el programa CE3X de calificación energética para estimar la demanda. Este programa utiliza en el cálculo la normativa vigente. Los datos de los establecimientos han sido completados de forma cualitativa, basándose en la experiencia personal y en la observación directa de los mismos.

En el marco en el que se ha desarrollado el estudio del que se obtienen los datos se divide España en tres regiones climáticas; Puebla de Lillo pertenece, de acuerdo con esta división, a la zona climática Continental.



Figura 5-1.- Zonas climáticas de España

## 5.2 Cálculo de las demandas energéticas de los consumidores residenciales

El consumo medio de los hogares ubicados en la zona Continental es de 13141 kWh al año. Los consumos de calefacción, basados preferentemente en sistemas térmicos, representan el 55% del consumo del sector.

Los consumos de agua caliente Sanitaria representan un 17,4% del consumo total de energía.

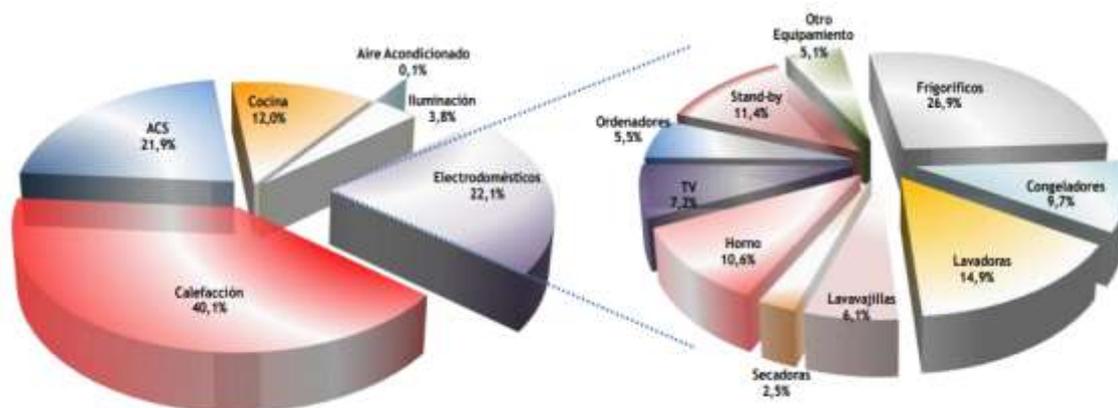


Figura 5-2.- Consumo según usos energéticos en la región continental, fuente IDAE

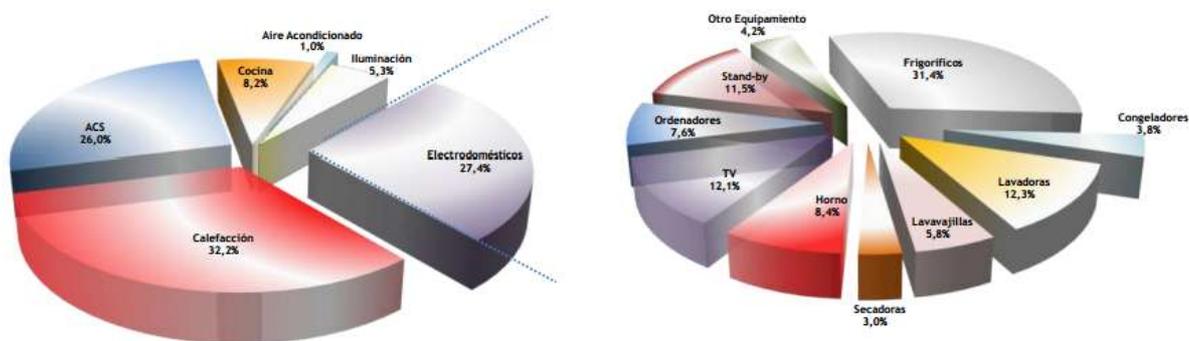


Figura 5-3.- Consumo energético porcentual en viviendas en bloque, fuente IDAE

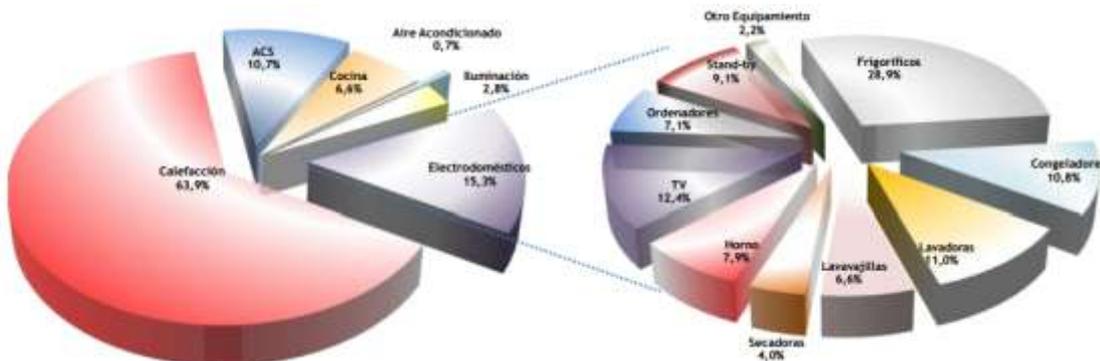


Figura 5-4.- Consumo porcentual de una vivienda unifamiliar, fuente IDAE

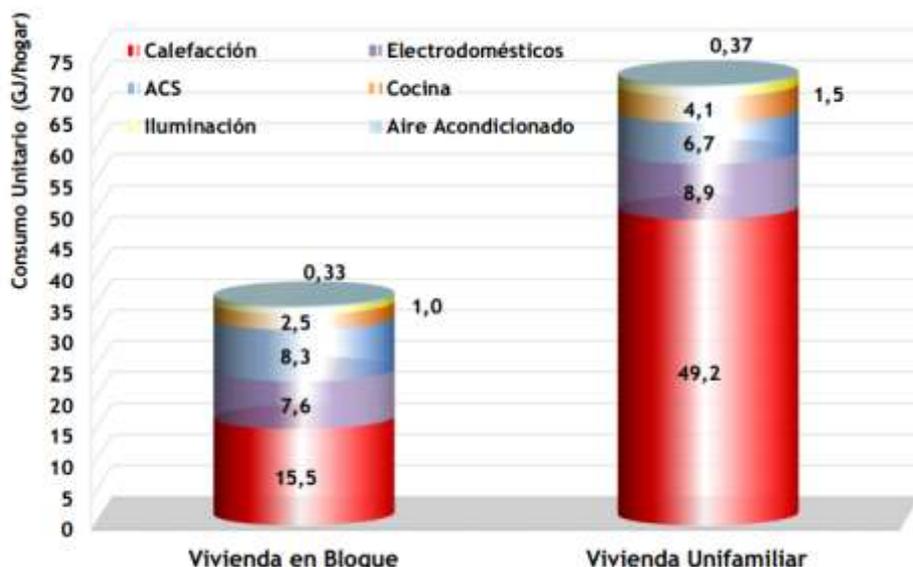


Figura 5-5.- Distribución de consumos resultante del cruce de datos entre el tipo de vivienda y la zona climática continental, fuente IDAE

Según el informe, el consumo de las viviendas en bloque se considera un 25% inferior al de la media. El consumo de las viviendas unifamiliares se considera 1,8 veces la media. Cruzando esta información con las figuras anteriormente expuestas salvo la 4.10 se tiene que:

Tabla 5-1.- Consumos anuales en kWh de los hogares tipo según hipótesis 1

Media en clima continental	Vivienda en bloque			Vivienda individual		
	Total	ACS	Calefacción	Total	ACS	Calefacción
13141	9855,75	2562,495	3173,5515	23653,8	2594,82186	15114,7782

La última figura, aunque representa el cruce entre las estadísticas de zona y las de tipo de vivienda, no es coherente con la media de consumo para estas regiones ni con la apreciación sobre el porcentaje que representa cada tipo de vivienda sobre el consumo medio en la zona continental. De acuerdo con la figura 4.10, el consumo por vivienda sería:

Tabla 5-2.- Consumos anuales en kWh de los hogares tipo según hipótesis 2

Vivienda en bloque			Vivienda individual		
Total	ACS	Calefacción	Total	ACS	Calefacción
9786,11111	2305,55552	4305,55557	19658,3333	1861,11103	13666,6667

De entre las dos hipótesis de consumo se elige la segunda, dado que parte de datos cruzados por los autores del proyecto.

### 5.2.1 Datos sobre la población

De acuerdo con la entrevista telefónica mantenida con el ayuntamiento de Puebla de Lillo y la ficha municipal de Puebla de Lillo editada por Caja España para el año 2012, se tiene que:

- Hay 412 habitantes censados en la localidad de Puebla de Lillo.
- En el municipio hay un total de 455 viviendas unifamiliares y 29 para varias familias. Esto supone un porcentaje de 83,9% a favor de las primeras y de 5,4% a favor del resto. De estas viviendas, 305 están en el núcleo de la localidad. El instituto nacional de estadística indica que de estas, 55 están ocupadas por 3 o más personas y pasarán a ser consideradas como viviendas en bloque.
- Se ha considerado como vivienda unifamiliar aquella en la que una única familia ocupa el edificio en su totalidad. Se ha incluido dentro de este grupo casas que tienen uno o varios muros con en común con viviendas adyacentes.

De acuerdo con esto y los datos discutidos en el apartado anterior se tiene que:

Tabla 5-3.- Consumo anual estimado de las viviendas en kWh, primera hipótesis

Vivienda tipo	Consumo ACS	Consumo Calefacción	Número de consumidores tipo	Consumo total ACS	Consumo total calefacción	Consumo total energía térmica
Individual	1861,1103	13666,6667	250	465277,758	3416666,67	3881944,425
Bloque	2305,5552	4305,5555	55	126805,554	236805,557	363611,1102

### 5.3 Cálculo de la demanda energética en el cuartel de la Guardia Civil

El edificio del puesto de la Guardia Civil de Puebla de Lillo se ha dimensionado como un edificio terciario pequeño suponiendo sus características constructivas equiparables a las de un edificio reformado. Se ha supuesto la existencia de una caldera de gasóleo C de 200 kW y de un calentador eléctrico de ACS acompañado de dos acumuladores de 300 l cada uno. Las características, orientación y altura de los pisos se han estimado a partir de observaciones directas del edificio. Para el cálculo se ha empleado el software CE3X.

Como parte del procedimiento de cálculo, el programa solicita la demanda de ACS diaria. Esta se obtendrá para el caso del cuartel y el resto de casos a partir de la tabla 3.1, reproducida como imagen, de la sección HE 4, cálculo de la contribución Solar mínima.

Tabla 3.1. Demanda de referencia a 60°C (1)

Criterio de demanda	Litros ACS/día a 60° C	
Viviendas unifamiliares	30	por persona
Viviendas multifamiliares	22	por persona
Hospitales y clínicas	55	por cama
Hotel ****	70	por cama
Hotel ***	55	por cama
Hotel/Hostal **	40	por cama
Camping	40	por emplazamiento
Hostal/Pensión *	35	por cama
Residencia (ancianos, estudiantes, etc)	55	por cama
Vestuarios/Duchas colectivas	15	por servicio
Escuelas	3	por alumno
Cuarteles	20	por persona
Fábricas y talleres	15	por persona
Administrativos	3	por persona
Gimnasios	20 a 25	por usuario
Lavanderías	3 a 5	por kilo de ropa
Restaurantes	5 a 10	por comida
Cafeterías	1	por almuerzo

Figura 5-6.- Demanda de ACS por habitante y tipo de edificio; fuente: MINETUR

Se supone el tipo de edificio enmarcado dentro de “cuartel” con 20 camas, ascendiendo la demanda total a 400 l/día.

Una vez determinada la cantidad de ACS, se procede a utilizar el software CE3X, que permite calcular la demanda energética de calefacción y ACS aplicando el método simplificado recogido en el CTE.

The image shows a screenshot of the CE3X software interface. It is divided into two main sections: 'Datos generales' (General data) and 'Definición edificio' (Building definition).  
 In the 'Datos generales' section, the following fields are visible:  
 - Normativa vigente: Anterior (dropdown)  
 - Año: 1959 (text input)  
 - Tipo de: Edificio completo (dropdown)  
 - Perfil de uso: Intensidad Baja - 24h (dropdown)  
 - Provincia/Ciudad autónoma: León (dropdown)  
 - Localidad: Otro (dropdown) with 'Puebla de Lillo' (text input)  
 - Zona: HE-1 (dropdown) and HE-2 (dropdown) with 'E1' (dropdown) and 'III' (dropdown) options.  
 In the 'Definición edificio' section, the following fields are visible:  
 - Superficie útil: 1358 m2 (text input)  
 - Altura libre de: 2.7 m (text input)  
 - Número de plantas: 2 (text input)  
 - Consumo total diario de: 1100 l/día (text input)  
 - Masa de las particiones: Media (dropdown)  
 - A checkbox labeled 'Se ha ensayado la estanqueidad del edificio' is present.  
 At the bottom, there are two buttons: 'Imagen edificio' and 'Plano situación'.

Figura 5-7.- Proceso de cálculo de la demanda en el edificio de la Guardia Civil 1

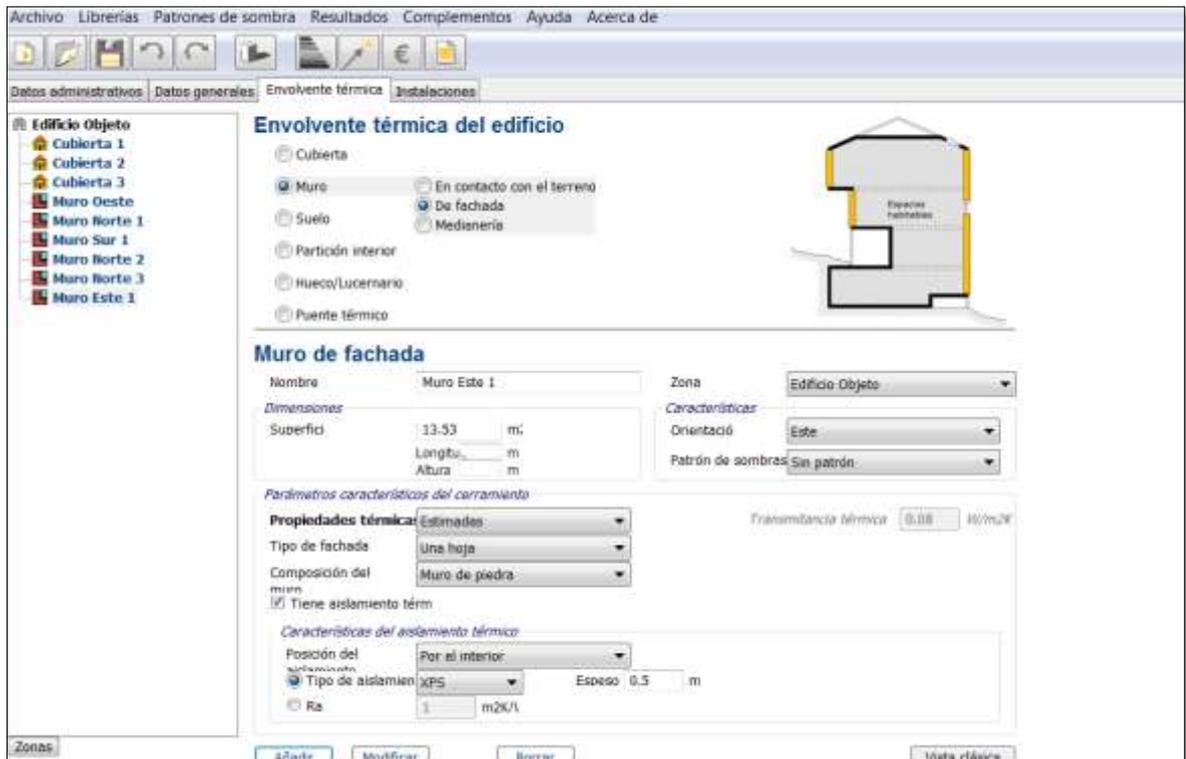


Figura 5-8.- Proceso de cálculo de la demanda en el edificio de la Guardia Civil 2



Figura 5-9.- Proceso de cálculo de la demanda en el edificio de la Guardia Civil 3

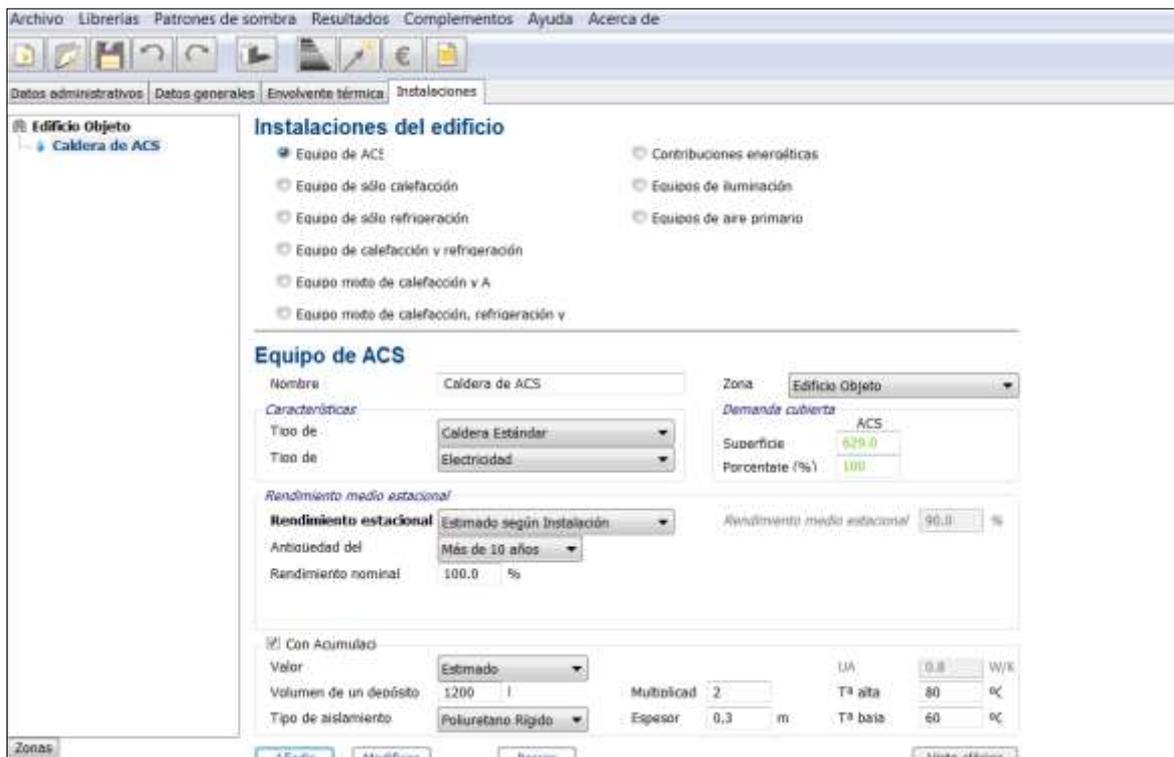


Figura 5-10.- Proceso de cálculo de la demanda en el edificio de la Guardia Civil 4



Figura 5-11.- Proceso de cálculo de la demanda en el edificio de la Guardia Civil 5

El edificio tiene un total de 1358 m<sup>2</sup> útiles, por tanto la demanda en kwh será de 218366,4 kWh anuales.

Para el cálculo de la demanda de ACS se ha tenido en cuenta las toneladas de CO<sub>2</sub> emitidas (2,1 kg/m<sup>2</sup>), suponiendo que se trata de una caldera de GLP y cruzando datos con los proporcionados por la "Guía para el cálculo de emisiones de GEI" publicado por el Instituto Catalán del Cambio Climático.

Tabla 5-4.- Toneladas de CO2 emitidas por kg de GLP, la fuente "Guía para el cálculo de emisiones de GEI"

combustible	factor de conversión	toneladas de co2/kg de combustible
GLP genérico (kg)	12,64 kWh/kg de GLP genérico	2,96 kg CO2/kg de GLP genérico

De esta operación se tiene que el edificio demanda

$$Energía (kWh) = 2,15 * \frac{1358}{2,96} * 12,64 = 12467,90 kWh$$

### 5.4 Cálculo de la demanda energética del Ayuntamiento de Puebla de Lillo

La demanda del edificio del ayuntamiento se ha dimensionado igual que el puesto de la Guardia Civil, mediante el uso del programa CE3X. Su superficie se ha medido en el catastro, y suponiendo sus características constructivas equiparables a las de un edificio terciario de uso intenso durante 8 horas. Se ha supuesto que tiene una producción de CS capaz de satisfacer las necesidades de 10 personas. Para este edificio, la demanda es de 44 l/día.

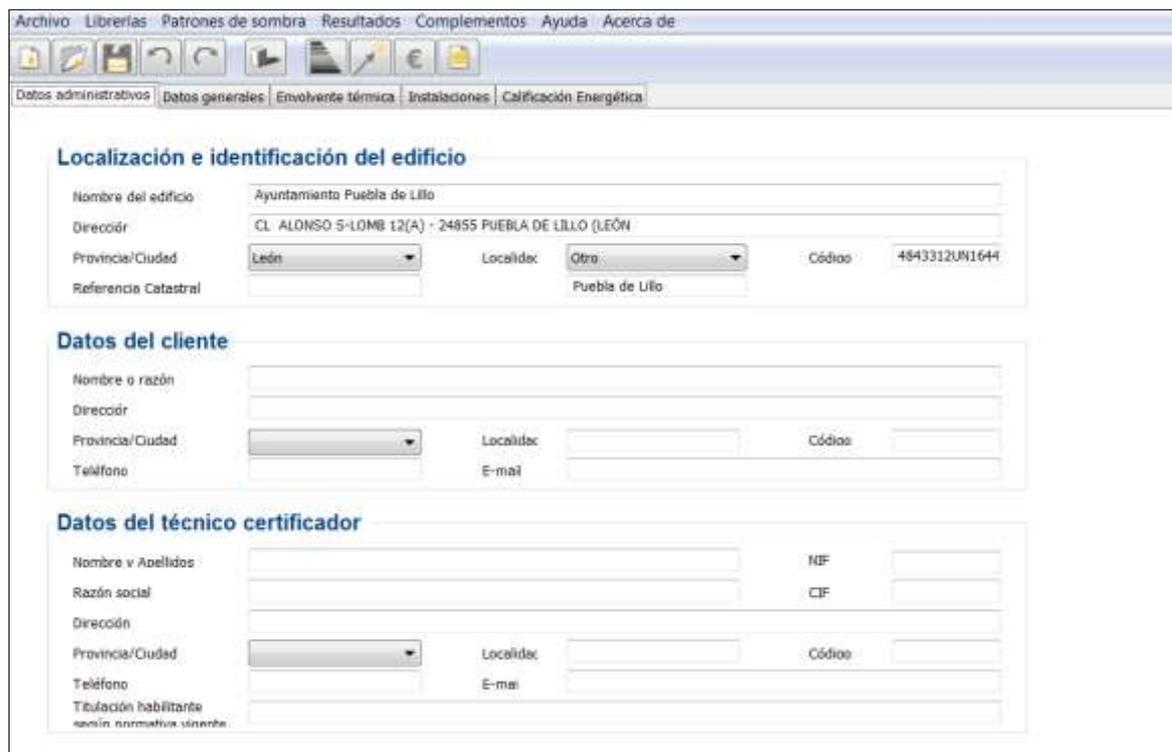


Figura 5-12.- Proceso de cálculo de la demanda en el edificio del Ayuntamiento 1

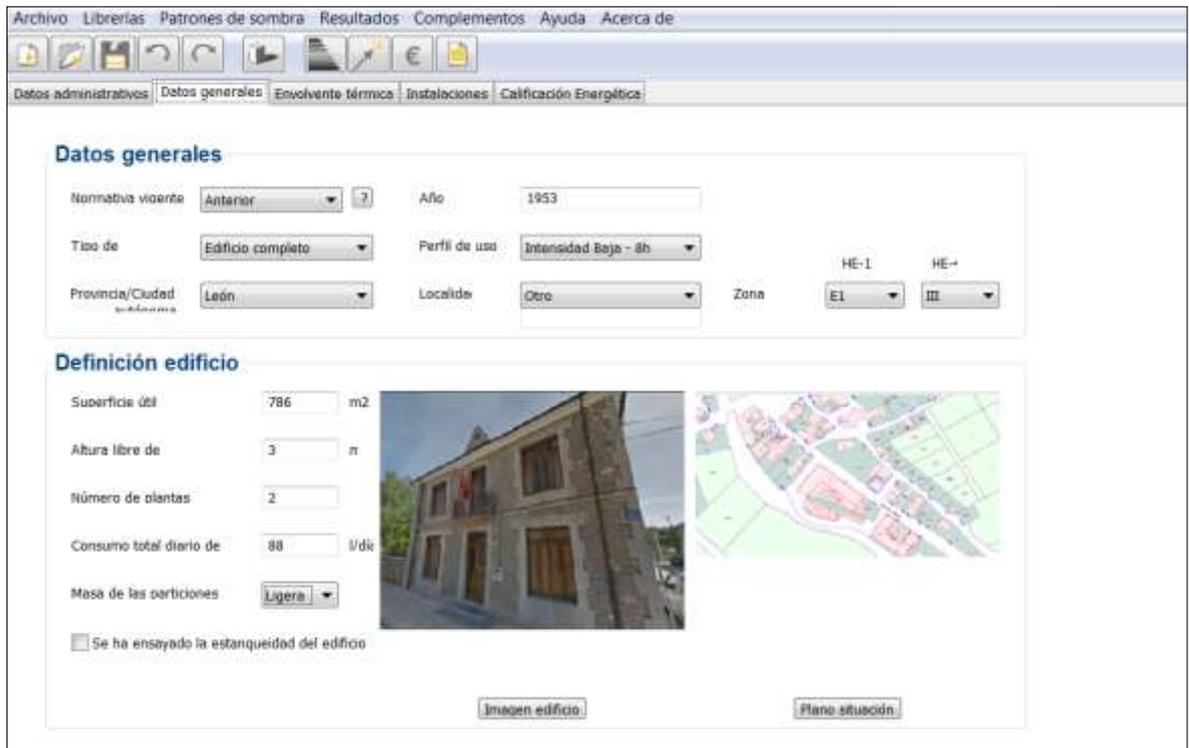


Figura 5-13.- Proceso de cálculo de la demanda en el edificio del Ayuntamiento 2



Figura 5-14.- Proceso de cálculo de la demanda en el edificio del Ayuntamiento 3

**Instalaciones del edificio**

- Equipo de ACS
- Equipo de sólo calefacción
- Equipo de sólo refrigeración
- Equipo de calefacción y refrigeración
- Equipo mixto de calefacción y A
- Equipo mixto de calefacción, refrigeración y
- Contribuciones energéticas
- Equipos de iluminación
- Equipos de aire primario

**Equipo de ACS**

Nombre: Caldera ACS      Zona: Edificio Objeto

Características

Tipo de: Caldera Estándar

Tipo de: GLP

Demanda cubierta: ACS

Superficie: 786,0

Porcentaje (%): 100

Rendimiento medio estacional

Rendimiento estacional: Estimado según instalación      Rendimiento medio estacional: 56,8 %

Potencia nominal: 24,0 kW

Carga media real ficmb: 0,2

Rendimiento de: 85 %

Aislamiento de la: Antigua con mal aislamiento

Con Acumulación

Valor: Estimado      UA: 0,1 W/K

Volumen de un depósito: 100 l      Multiplicad: 1      Tª alta: 80 °C

Tipo de aislamiento: Poliuretano Rígido      Espesor: 0,5 m      Tª baja: 60 °C

Figura 5-15.- Proceso de cálculo de la demanda en el edificio del Ayuntamiento 3

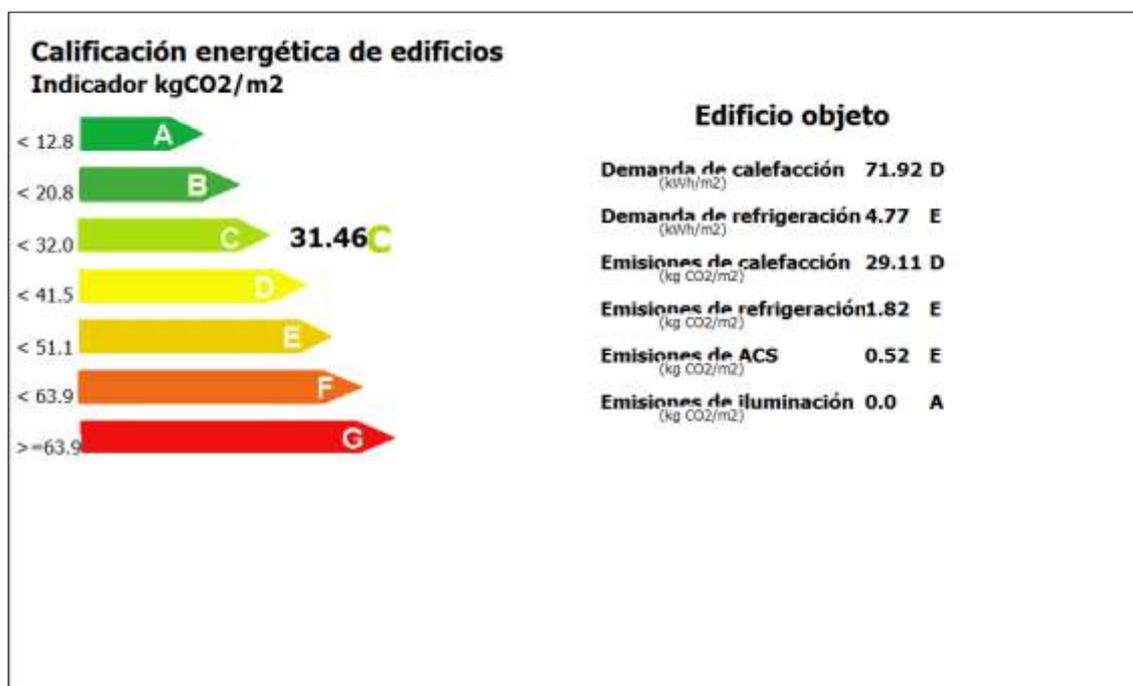


Figura 5-16.- Proceso de cálculo de la demanda en el edificio del Ayuntamiento 4

El edificio tiene un total de 786 m<sup>2</sup> útiles, por tanto la demanda en kwh será de 56450,52 kWh anuales.

Siguiendo el mismo proceso que el mostrado para la guardia civil, se estima el consumo de ACS 1745,34 kWh.

### 5.5 Cálculo de la demanda energética de los bares

Para estimar la demanda energética de los bares se ha definido un local tipo de 80 m<sup>2</sup> con dos muros en contacto con el exterior, uno de ellos acristalado y el otro no, y dos tabiques en contacto con locales no habitados. Se a considerado que se trata de locales

mal aislados por su antigüedad y por la falta de reformas apreciada en épocas recientes. En Puebla de Lillo existen en el momento en el que se realizó este proyecto 5 locales de características similares. Como en el caso del resto de edificios tipo, se tendrá en cuenta su demanda de calefacción y ACS determinadas mediante el programa CE3X.

La demanda de ACS para el bar, de acuerdo con la tabla presentada anteriormente, es de 50 l.

Figura 5-17.- Proceso de cálculo de la demanda en el edificio del bar 1

Figura 5-18.- Proceso de cálculo de la demanda en el edificio del bar 2

**Instalaciones del edificio**

- Equipo de ACS
- Equipo de sólo calefacción
- Equipo de sólo refrigeración
- Equipo de calefacción y refrigeración
- Equipo mixto de calefacción y A
- Equipo mixto de calefacción, refrigeración y
- Contribuciones energéticas
- Equipos de iluminación
- Equipos de aire primario

**Equipo de ACS**

Nombre: Equipo ACS      Zona: Edificio Objeto

Características:

Tipo de: Caldera Estándar      Demanda cubierta: ACS

Tipo de: GLP      Superficie: 80.0

Rendimiento medio estacional:

Rendimiento estacional: Estimado según Instalación      Rendimiento medio estacional: 88.2 %

Potencia nominal: 3.0 kW

Caroa media real Bomb: 0.2      Aislamiento de la: Bien aislada y mantenida

Rendimiento de: 85 %

Con Acumulaci:

Valor: Por defecto      UA: 4.3 W/K

Volumen de un depósito: 100 l      Multiplicad: 1      Tª alta: 80 °C

Tª baja: 60 °C

Figura 5-19.- Proceso de cálculo de la demanda en el edificio del bar 3



Figura 5-20.- Proceso de cálculo de la demanda en el edificio del bar 4

El local tipo tiene un total de 80 m<sup>2</sup> útiles, por tanto la demanda en kwh de los 5 establecimientos será de 68360 kWh anuales.

Siguiendo el mismo proceso que el mostrado para la guardia civil, se estima el consumo de ACS es 20394,81 kWh anuales.

### 5.6 Cálculo de la demanda energética en los ultramarinos

Se supone un local tipo de características similares a las del bar pero con diferencias en cuanto al porcentaje de acristalamiento de la fachada principal (inferior al del bar), demanda de ACS (la suficiente para una sola persona), la potencia de la caldera y el muro trasero, que se supone colindante con un almacén (espacio no habitado).

La demanda de ACS de acuerdo con la tabla es de 6l/día dado que en el local trabajan 2 personas.

Datos administrativos | Datos generales | **Envoltente térmica** | Instalaciones | Calificación Energética | Calificación Energética

### Datos generales

Normativa vigente: Anterior 7 Año: 1980

Tipo de: Local Perfil de uso: Intensidad Baja - Bh

Provincia/Ciudad autónoma: León Localidad: Otro Zona: HE-1 E1 HE+ III Pueblo de Lillo

### Definición edificio

Superficie útil: 80 m<sup>2</sup>

Altura libre de: 2.5 m

Número de plantas: 1

Consumo total diario de: 10 l/día

Masa de las particiones: Ligera

Se ha ensayado la estanqueidad del edificio

Imagen edificio Plano situación

Figura 5-21.- Proceso de cálculo de la demanda en el edificio de un comercio 1

Datos administrativos | Datos generales | **Envoltente térmica** | Instalaciones | Calificación Energética | Calificación Energética

Edificio Objeto

- Muro medianería 1
- Muro medianería 2
- Suelo con terreno
- Techo
- Muro de fachada
- Partición vertical con alma

### Envoltente térmica del edificio

Cubierta  
 Muro  
 Suelo  
 Partición interior  
 Huevo/Lucernario  
 Puente térmico



### Huevo/Lucernario

Nombre: Huevo

Cerramiento: [ ] Orientación: [ ]

**Dimensiones**

Longitud: [ ] m

Altura: [ ] m

Multiplicador: 1

Superficie: [ ] m<sup>2</sup>

Porcentaje de: 20 %

**Características**

Permeabilidad del: Foco estanco 100 m<sup>3</sup>/hm

Absortividad del: 0 0.75

Dispositivo de protección solar: dispositivo de protección solar

Patrón de sombras: Sin patrón

Doble ventana

**Parámetros característicos del hueco**

Propiedades térmicas: Estimadas

Tipo de: Doble

Tipo de: Metálico sin RPT

U vidrio: 3.3 W/m<sup>2</sup>K

g vidrio: 0.75

U marco: 5.7 W/m<sup>2</sup>K

Figura 5-22.- Proceso de cálculo de la demanda en el edificio de un comercio 2

Figura 5-23.- Proceso de cálculo de la demanda en el edificio de un comercio 3



Figura 5-24.- Proceso de cálculo de la demanda en el edificio de un comercio 4

El local tipo tiene un total de 80 m<sup>2</sup> útiles, por tanto la demanda en kwh del comercio será de 12784 kWh anuales.

Siguiendo el mismo proceso que el mostrado para la guardia civil, se estima el consumo de ACS es 2678,31 kWh.

### 5.7 Cálculo de la demanda energética en el hotel

Como en los casos anteriores, el primer paso será dimensionar el caudal de agua caliente sanitaria necesario. Se suponen 22 habitaciones en el hotel, lo que según la tabla, para un hotel de dos estrellas, representa un consumo de 880 l/día de ACS.

### Datos generales

Normativa vigente: **NBE-CT-79** Año: **1980**

Tipo de: **Edificio completo** Perfil de uso: **Intensidad Baja - 24h**

Provincia/Ciudad autónoma: **León** Localidad: **Otro** Zona: **E1** **HE-1** **HE-2**

subzona **León** subzona **Puebla de Lillo**

---

### Definición edificio

Superficie útil: **1122** m<sup>2</sup>

Altura libre de: **2.5** m

Número de plantas: **3**

Consumo total diario de: **880** l/día

Masa de las particiones: **Ligera**

Se ha ensayado la estanqueidad del edificio

**Imagen edificio** **Plano situación**

Figura 5-25.- Proceso de cálculo de la demanda en el edificio del hostel 1

### Edificio Objeto

- Muro medianería 1
- Suelo con terreno
- Muro de fachada
- Muro de fachada 2
- Muro de fachada 3
- Cubierta con aire

### Envoltura térmica del edificio

Cubierta  Enterrada

En contacto con el aire

Muro

Suelo

Partición interior

Hueco/Lucernario

Puente térmico



---

### Cubierta en contacto con el aire

Nombre: **Cubierta con aire** Zona: **Edificio Objeto**

Dimensiones: Superficie: **386** m<sup>2</sup>, Longitud: **\_\_\_\_\_** m, Anchura: **\_\_\_\_\_** m

Características: Patrón de sombras: **Sin patrón**

Parámetros característicos del cerramiento: **Propiedades térmicas**: Estimadas, Transmitancia térmica: **0.1** W/m<sup>2</sup>K

Clase de cubierta: **Cubierta inclinada**

Tipo de: **Tablero soporte**

Tiene aislamiento térmico

Características del aislamiento térmico:  Tipo de aislamien: **MW**, Espesor: **0.5** m

Ra: **\_\_\_\_\_** m<sup>2</sup>K/λ

Figura 5-26.- Proceso de cálculo de la demanda en el edificio del hostel 2

Figura 5-27.- Proceso de cálculo de la demanda en el edificio del hostel 3



Figura 5-28.- Proceso de cálculo de la demanda en el edificio del hostel 4

La demanda de calefacción del hostel es de 96391,02 kWh anuales.

La demanda de ACS del hostel es de 30520,22 kWh anuales.

### 5.8 Estimación del consumo en Puebla de Lillo

Una vez caracterizados todos los consumos individuales se deben formular distintas hipótesis de explotación del district heating a fin de prever posibles escenarios. Estas previsiones afectarán a la demanda de combustible anual, al precio del kWh y al número de subestaciones de district heating. Otras partes de la instalación, por limitaciones de tiempo, se supondrán iguales independientemente de la hipótesis considerada: longitud sección de tuberías, reparto de las subestaciones y bombas, se calcularán una vez para la hipótesis de máxima carga.

A continuación se presentan, en formato de tabla, las hipótesis de consumo:

### 5.8.1 Hipótesis 1: plena carga

Tabla 5-5.- Tabla Resumen de la demanda en kWh de Puebla de Lillo para la hipótesis 1: plena carga

Vivienda tipo	Consumo ACS	Consumo Calefacción	Número de consumidores tipo	Consumo total ACS	Consumo total calefacción	Consumo total energía térmica
Individual	1861,11	13666,67	250,00	465277,76	3416666,67	3881944,42
Bloque	2305,56	4305,56	55,00	126805,55	236805,56	363611,11
Hotel	30520,22	96391,02	1,00	30520,22	96391,02	126911,24
Comercio	2678,31	12784,00	1,00	2678,31	12784,00	15462,31
Bar	4078,96	13672,00	5,00	20394,81	68360,00	88754,81
Ayuntamiento	1745,34	56450,52	1,00	1745,34	56450,52	58195,86
Casa cuartel	12467,91	218366,40	1,00	12467,91	218366,40	230834,31
Total	55657,41	415636,16	314,00	659889,91	4105824,16	4765714,07

### 5.8.2 Hipótesis 2: carga optimista

Tabla 5-6.- Tabla Resumen de la demanda en kWh de Puebla de Lillo para la hipótesis 2: carga optimista

Vivienda tipo	Consumo ACS	Consumo Calefacción	Número de consumidores tipo	Consumo total ACS	Consumo total calefacción	Consumo total energía térmica
Individual	1861,11	13666,67	175,00	325694,43	2391666,67	2717361,10
Bloque	2305,56	4305,56	38,00	87611,11	163611,11	251222,22
Hotel	30520,22	96391,02	1,00	30520,22	96391,02	126911,24
Comercio	2678,31	12784,00	1,00	2678,31	12784,00	15462,31
Bar	4078,96	13672,00	5,00	20394,81	68360,00	88754,81
Ayuntamiento	1745,34	56450,52	1,00	1745,34	56450,52	58195,86
Casa cuartel	12467,91	218366,40	1,00	12467,91	218366,40	230834,31

Total	55657,41	415636,16	222,00	481112,14	3007629,72	3488741,86
-------	----------	-----------	--------	-----------	------------	------------

### 5.8.3 Hipótesis 3: pocos abonados

Tabla 5-7.- Tabla Resumen de la demanda en kWh de Puebla de Lillo para la hipótesis 3: pocos abonados

Vivienda tipo	Consumo ACS	Consumo Calefacción	Número de consumidores tipo	Consumo total ACS	Consumo total calefacción	Consumo total energía térmica
Individual	1861,11	13666,67	50,00	93055,55	683333,33	776388,88
Bloque	2305,56	4305,56	11,00	25361,11	47361,11	72722,22
Hotel	30520,22	96391,02	1,00	30520,22	96391,02	126911,24
Comercio	2678,31	12784,00	1,00	2678,31	12784,00	15462,31
Bar	4078,96	13672,00	5,00	20394,81	68360,00	88754,81
Ayuntamiento	1745,34	56450,52	1,00	1745,34	56450,52	58195,86
Casa cuartel	12467,91	218366,40	1,00	12467,91	218366,40	230834,31
Total	55657,41	415636,16	70,00	186223,26	1183046,38	1369269,64

### 5.8.4 Hipótesis 4: solo grandes consumidores

Tabla 5-8.- Tabla Resumen de la demanda en kWh de Puebla de Lillo para la hipótesis 4: solo grandes consumidores

Vivienda tipo	Consumo ACS	Consumo Calefacción	Número de consumidores tipo	Consumo total ACS	Consumo total calefacción	Consumo total energía térmica
Hotel	30520,22	96391,02	1,00	30520,22	96391,02	126911,24
Comercio	2678,31	12784,00	1,00	2678,31	12784,00	15462,31
Bar	4078,96	13672,00	5,00	20394,81	68360,00	88754,81
Ayuntamiento	1745,34	56450,52	1,00	1745,34	56450,52	58195,86
Casa cuartel	12467,91	218366,40	1,00	12467,91	218366,40	230834,31
Total	51490,75	397663,94	9,00	67806,60	452351,94	520158,54

5.8.5 Figuras resumen de las hipótesis

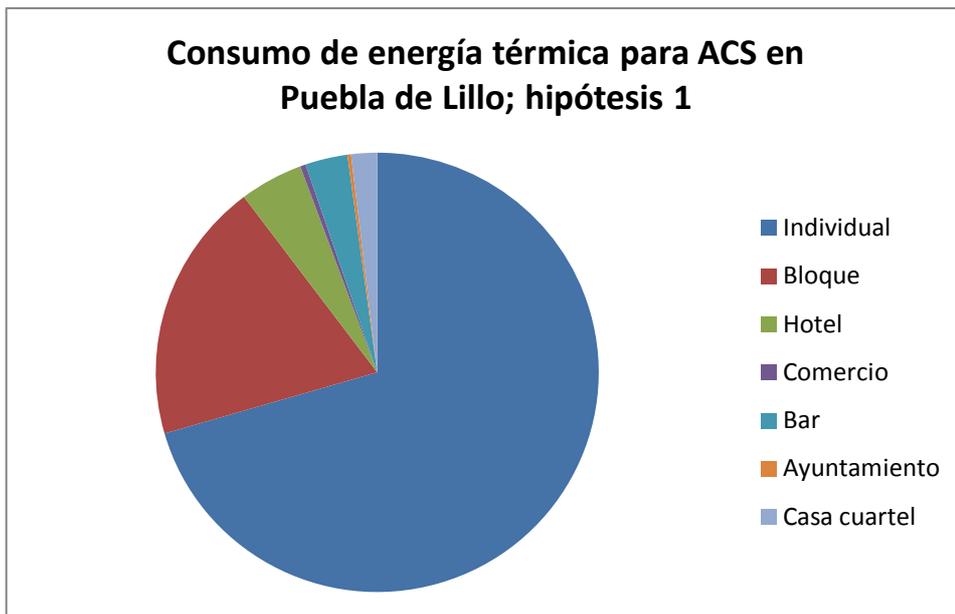


Figura 5-29.-.- Consumo de energía térmica para calefacción en Puebla de Lillo; hipótesis 1

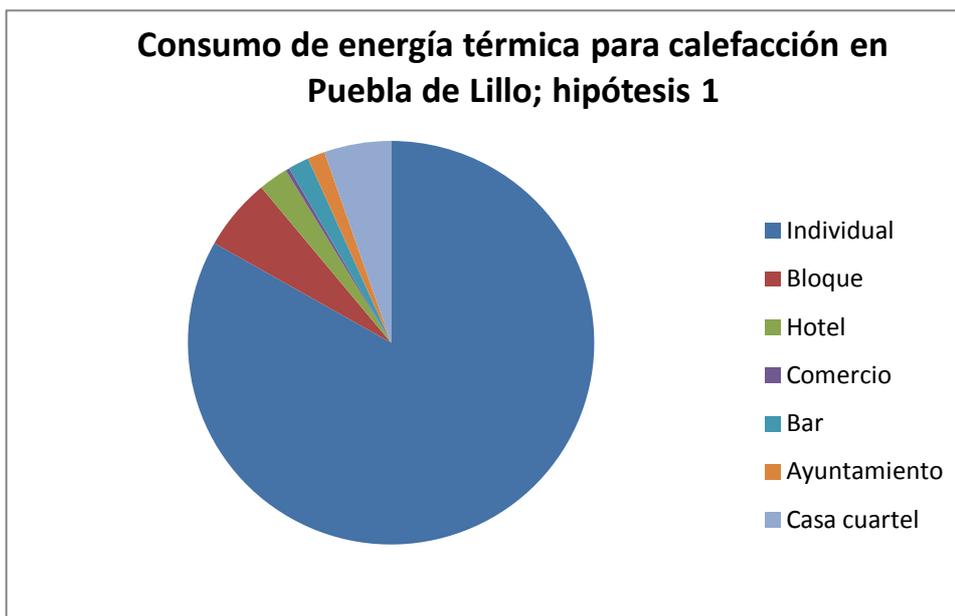


Figura 5-30.- Consumo de energía térmica para ACS en Puebla de Lillo; hipótesis 1

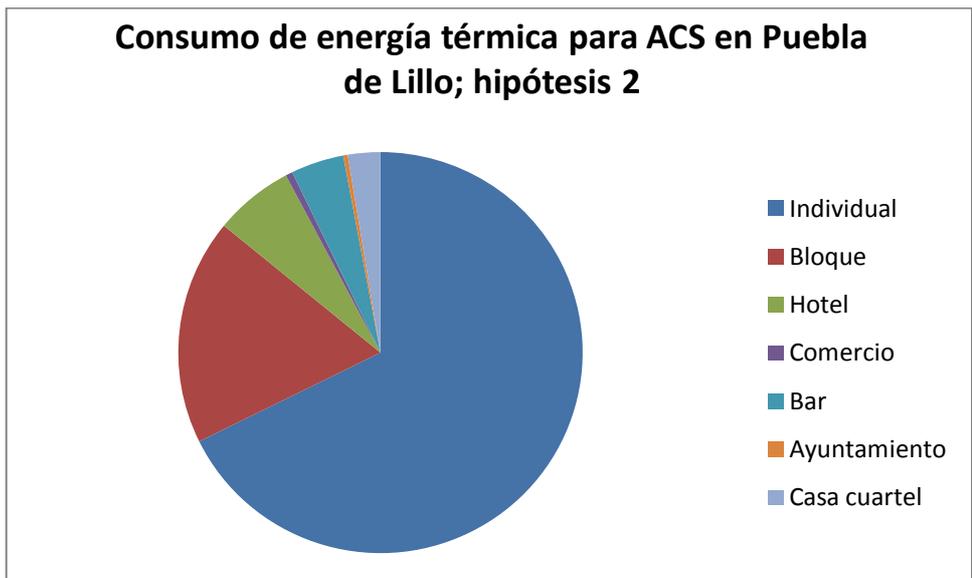


Figura 5-31.- Consumo de energía térmica para ACS en Puebla de Lillo; hipótesis 2

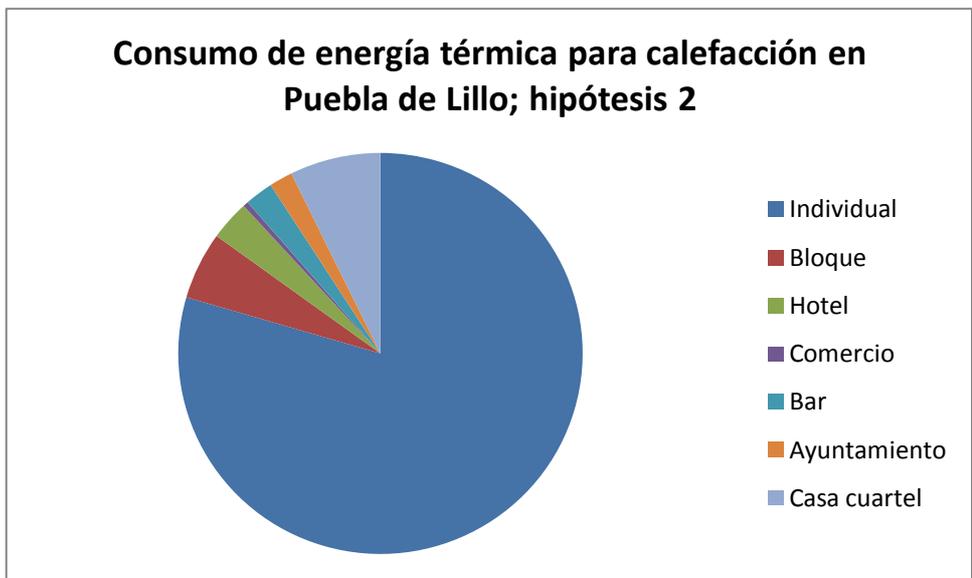


Figura 5-32.- Consumo de energía térmica para calefacción en Puebla de Lillo; hipótesis 2

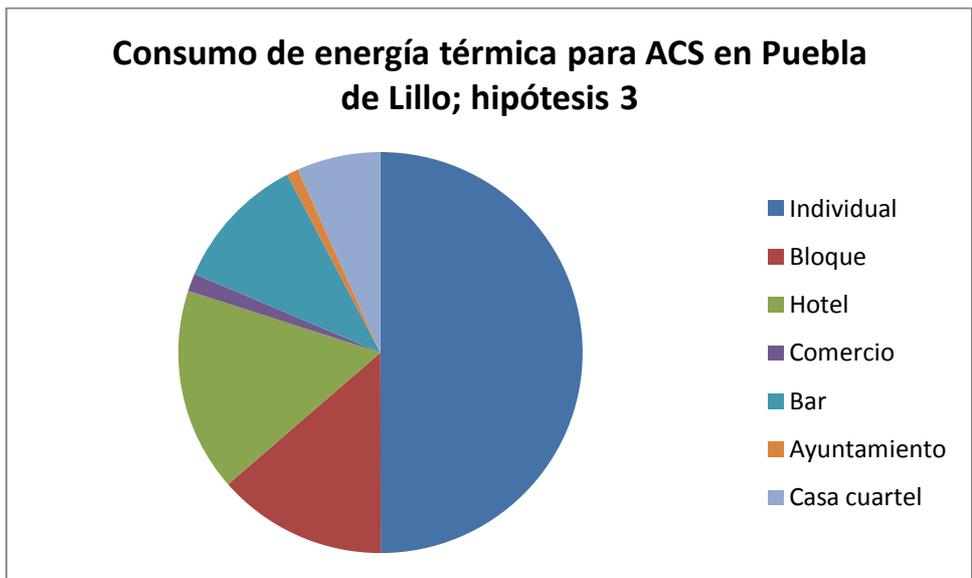


Figura 5-33.- Consumo de energía térmica para ACS en Puebla de Lillo; hipótesis 3

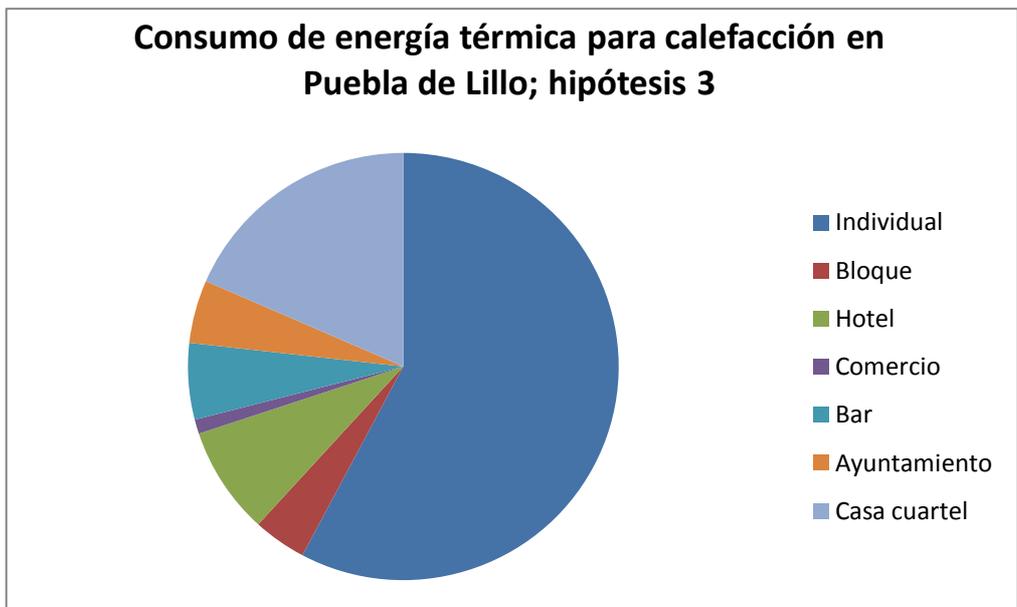


Figura 5-34.- Consumo de energía térmica para calefacción en Puebla de Lillo; hipótesis 3

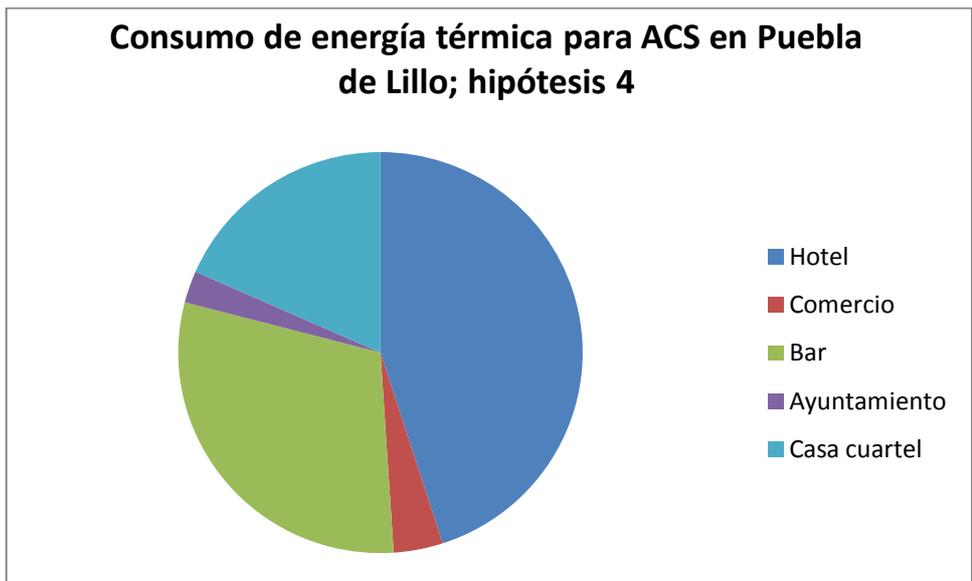


Figura 5-35.- Consumo de energía térmica para ACS en Puebla de Lillo; hipótesis 4

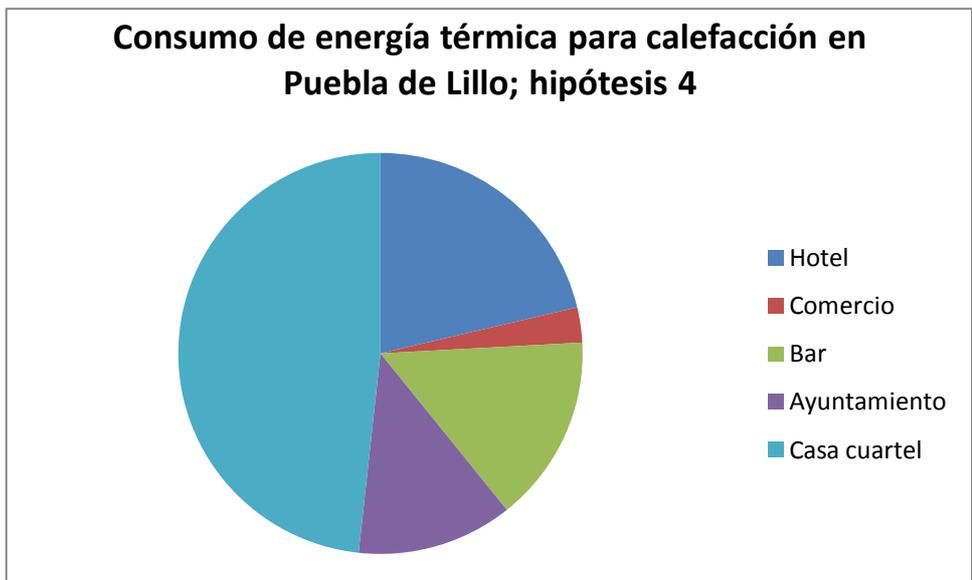


Figura 5-36.- Consumo de energía térmica para calefacción en Puebla de Lillo; hipótesis 4

## 5.9 Perfiles de la demanda

### 5.9.1 Justificación y cálculo para la hipótesis de plena carga

Para dimensionar la caldera se necesita disponer de una curva monótona de la demanda; esta permite saber cuántas horas y a qué potencia funciona la caldera al año. La curva monótona de la demanda se construye a partir de los datos diarios de consumo de la instalación. AL no disponer de esa información, se inferirán los mismos de los presentados en el apartado anterior.

Perfil de la demanda de ACS

La demanda de ACS se estima haciendo las siguientes consideraciones:

El perfil de consumo es constante para todo el año.

El perfil de consumo es igual para todos los edificios tipo.

De estas dos premisas se obtiene que el consumo total diario en kWh necesario para cubrir la demanda de ACS es

$$Demanda\ diaria = \frac{Demanda\ total\ anual}{365} = \frac{659889,909}{365} = 1807,92\ kWh$$

Esta demanda se considera distribuida a lo largo del día según la siguiente gráfica (construida a partir de datos obtenidos de la tesis “Análisis y propuesta de un nuevo método de simulación abreviado para la certificación energética en edificios residenciales”)

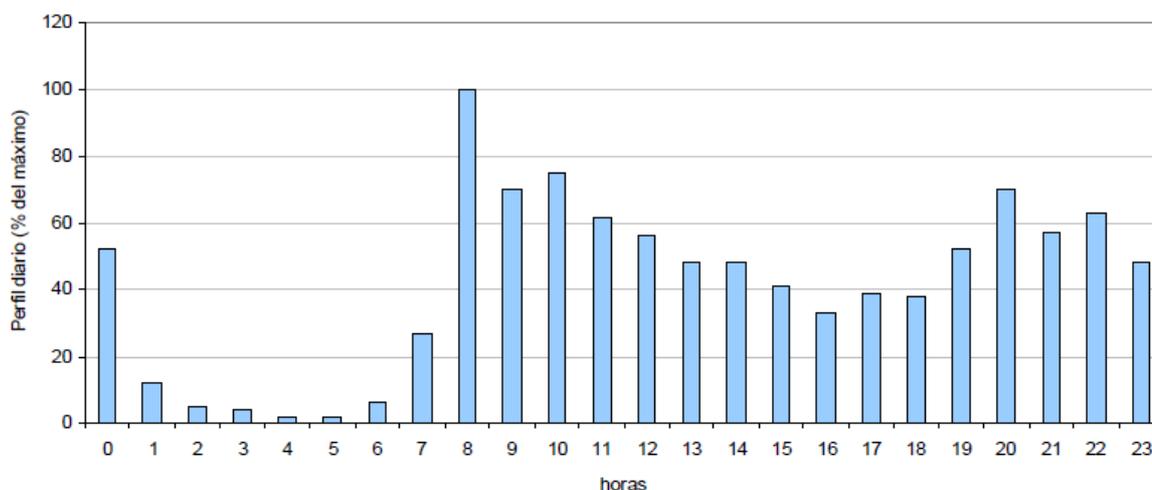


Figura 5-37.- Distribución horaria del consumo de ACS; fuente: Lamas Sivila, E. análisis y propuesta de un nuevo método de simulación abreviado para la certificación energética en edificios residenciales)

Sabiendo el calor diario demandado y cómo se distribuye por horas, se obtiene el consumo horario de ACS como:

$$Q_{ACS/hora} = Q_{ACS/día} * CONSUMO$$

El parámetro consumo se consigue multiplicando el Consumo por horas obtenido de la gráfica de barras ponderado sobre la cifra que resulta de sumar todos los porcentajes. Usando esta ecuación se construye la siguiente tabla:

Tabla 5-9.- Consumo (en kWh) diario de ACS distribuido por horas para la hipótesis 1

Hora	Consumo por horas (proporción)	Demanda horaria (kWh)
0	0,55	95,98
1	0,1	17,45
2	0,05	8,73
3	0,05	8,73
4	0,1	17,45
5	0,1	17,45
6	0,05	8,73
7	0,25	43,63
8	1	174,51
9	0,7	122,16
10	0,75	130,88
11	0,61	106,45
12	0,55	95,98
13	0,5	87,25
14	0,5	87,25
15	0,4	69,80
16	0,35	61,08
17	0,4	69,80
18	0,45	78,53
19	0,5	87,25
20	0,7	122,16
21	0,55	95,98
22	0,65	113,43
23	0,5	87,25
Total	10,36	1807,92

A partir de esta tabla se infieren los datos de consumo anuales de ACS y se elabora la gráfica de monotonía.

### 5.9.2 Curvas de monotonía de la demanda para las distintas hipótesis de carga

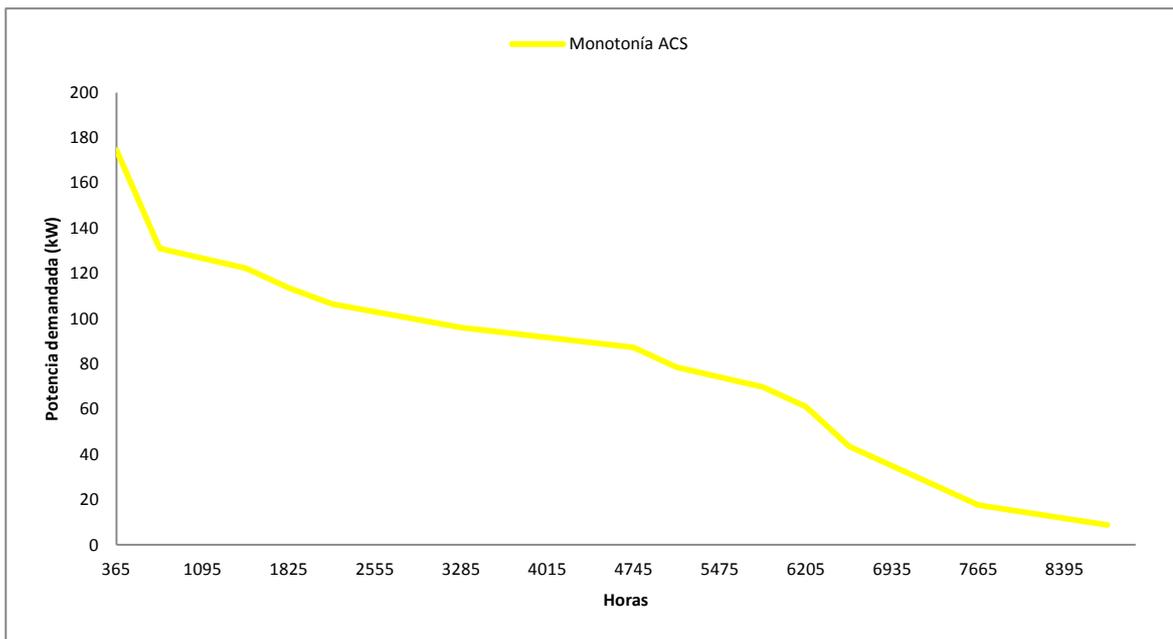


Figura 5-38.- Gráfica de monotonía en el consumo de ACS para la hipótesis 1

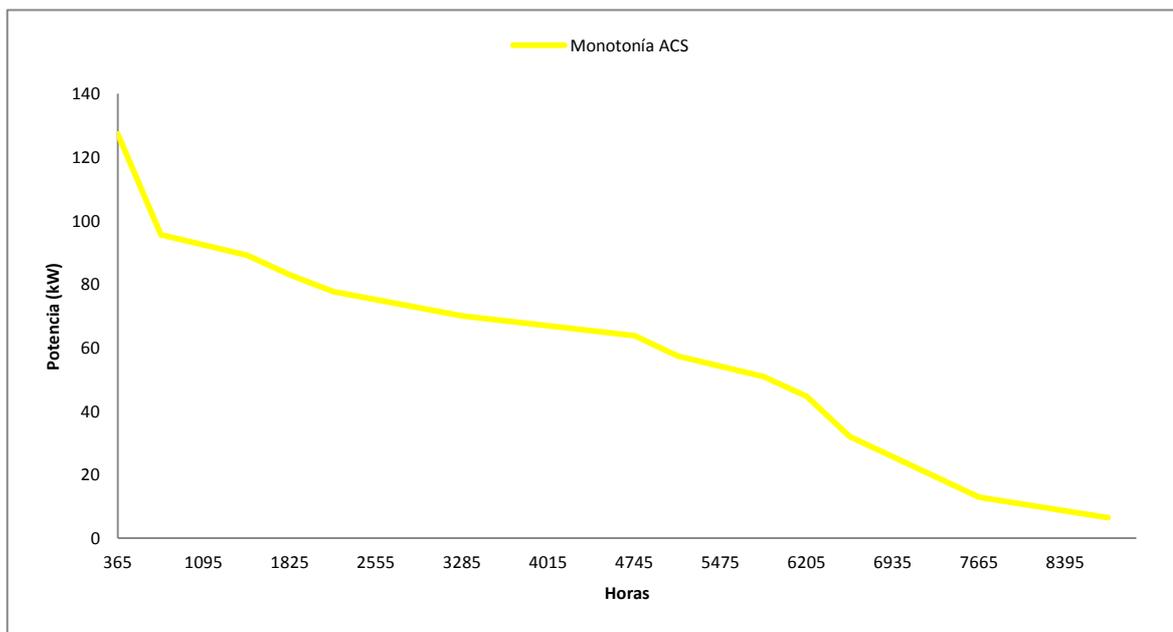


Figura 5-39.- Gráfica de monotonía en el consumo de ACS para la hipótesis 2

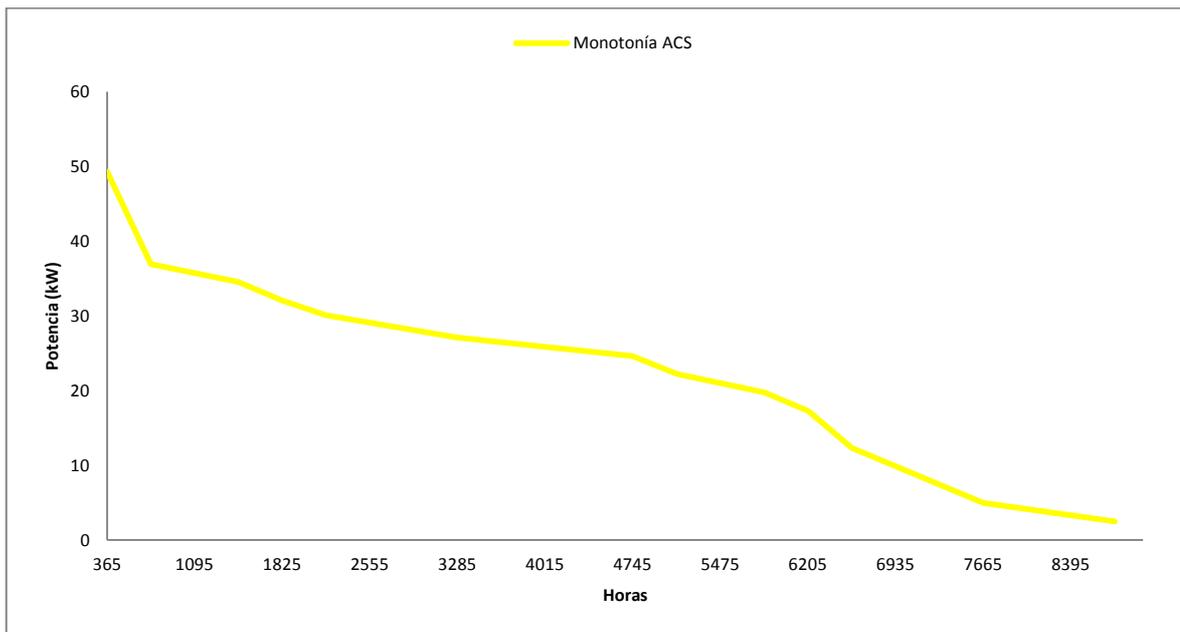


Figura 5-40.-Gráfica de monotonía en el consumo de ACS para la hipótesis 3

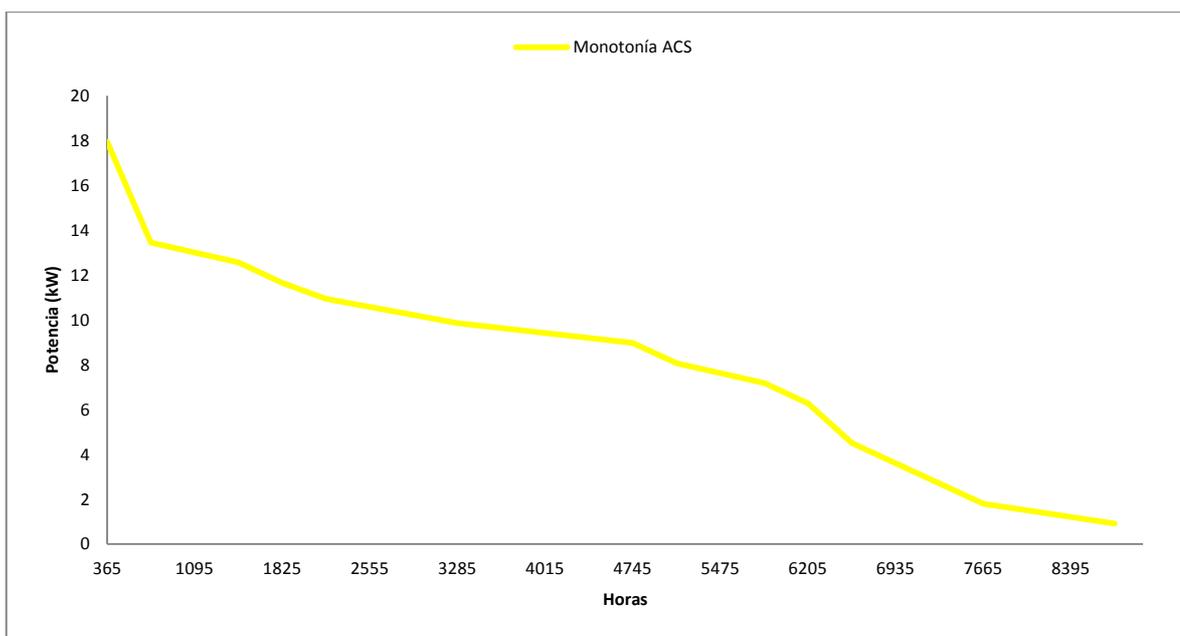


Figura 5-41.-Gráfica de monotonía en el consumo de ACS para la hipótesis 4

A la vista de los datos presentados, se recomienda:

- Para la hipótesis 1, disponer de un grupo de al menos 180 kW para la generación de ACS
- Para la hipótesis 2, disponer de un grupo de 130 kW para la generación de ACS
- Para la hipótesis 3, disponer de un grupo de 50 kW para la generación de ACS
- Para la hipótesis 4, disponer de un grupo de 18 kW para la generación de ACS

### 5.10 Perfil de la demanda de calefacción

Para la calefacción, en ausencia de un perfil de uso, se ha construido uno propio basándose en los siguientes criterios:

De acuerdo con las tablas de severidad climática para León, el mes más frío es Enero. Considerando que la temperatura interna del edificio será la misma y que el área de calefacción también se mantendrá constante, la temperatura externa será la única que condicione la demanda. El mes de máximo consumo por tanto será Enero. En base a esta consideración, se establece un reparto proporcional de la calefacción a lo largo de los meses de Enero a Mayo.

Se considera que la calefacción solo funciona durante la campaña de uso, entre el 15 de Octubre y el 15 de Mayo.

Se considera que la calefacción se utiliza con un porcentaje bajo durante las horas en las que la ocupación de los hogares es menor, alcanzando niveles máximos de uso a las 13 horas y desde las 18 horas hasta las 22 horas.

Se considera que el perfil de consumo de calefacción para todos los receptores y en todos los meses es el mismo para la aproximación objeto de este trabajo.

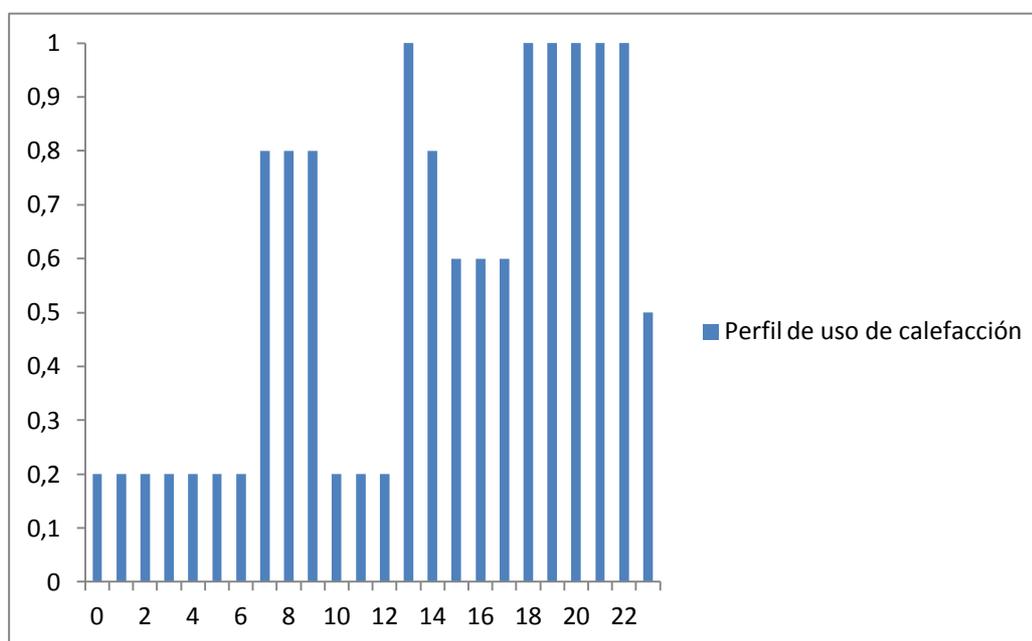


Figura 5-42.- Distribución horaria del consumo de calefacción

De forma análoga a la tabla de consumo de ACS, se construye la tabla para la calefacción y se obtiene su gráfica de monotonía. Este gráfico se completa con una tabla similar a la construida para la ACS, pero que esta vez incluye discriminación mensual.

Tabla 5-10.-Tabla ejemplo de distribución intradiaria y mensual del consumo de energía térmica para la hipótesis 1

Hora	Porcentaje de uso								Potencia por Horas							
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Octubre	Noviembre	Diciembre
0	0,2	0,18	0,16	0,13	0,09	0,10	0,16	0,19	323,99	331,11	256,89	225,83	151,45	159,12	261,49	310,57
1	0,2	0,18	0,16	0,13	0,09	0,10	0,16	0,19	323,99	331,11	256,89	225,83	151,45	159,12	261,49	310,57
2	0,2	0,18	0,16	0,13	0,09	0,10	0,16	0,19	323,99	331,11	256,89	225,83	151,45	159,12	261,49	310,57
3	0,2	0,18	0,16	0,13	0,09	0,10	0,16	0,19	323,99	331,11	256,89	225,83	151,45	159,12	261,49	310,57
4	0,2	0,18	0,16	0,13	0,09	0,10	0,16	0,19	323,99	331,11	256,89	225,83	151,45	159,12	261,49	310,57
5	0,2	0,18	0,16	0,13	0,09	0,10	0,16	0,19	323,99	331,11	256,89	225,83	151,45	159,12	261,49	310,57
6	0,2	0,18	0,16	0,13	0,09	0,10	0,16	0,19	323,99	331,11	256,89	225,83	151,45	159,12	261,49	310,57
7	0,8	0,74	0,63	0,54	0,37	0,39	0,62	0,77	1295,95	1324,43	1027,56	903,33	605,80	636,47	1045,96	1242,27
8	0,8	0,74	0,63	0,54	0,37	0,39	0,62	0,77	1295,95	1324,43	1027,56	903,33	605,80	636,47	1045,96	1242,27
9	0,8	0,74	0,63	0,54	0,37	0,39	0,62	0,77	1295,95	1324,43	1027,56	903,33	605,80	636,47	1045,96	1242,27
10	0,2	0,18	0,16	0,13	0,09	0,10	0,16	0,19	323,99	331,11	256,89	225,83	151,45	159,12	261,49	310,57
11	0,2	0,18	0,16	0,13	0,09	0,10	0,16	0,19	323,99	331,11	256,89	225,83	151,45	159,12	261,49	310,57
12	0,2	0,18	0,16	0,13	0,09	0,10	0,16	0,19	323,99	331,11	256,89	225,83	151,45	159,12	261,49	310,57
13	1	0,85	0,79	0,67	0,47	0,49	0,78	0,96	1619,94	1524,48	1284,45	1129,17	757,25	795,59	1307,45	1552,84
14	0,8	0,74	0,63	0,54	0,37	0,39	0,62	0,77	1295,95	1324,43	1027,56	903,33	605,80	636,47	1045,96	1242,27
15	0,6	0,55	0,48	0,40	0,28	0,29	0,47	0,58	971,96	993,33	770,67	677,50	454,35	477,36	784,47	931,71
16	0,6	0,55	0,48	0,40	0,28	0,29	0,47	0,58	971,96	993,33	770,67	677,50	454,35	477,36	784,47	931,71

17	0,6	0,55	0,48	0,40	0,28	0,29	0,47	0,58	971,96	993,33	770,67	677,50	454,35	477,36	784,47	931,71
18	1	0,85	0,79	0,67	0,47	0,49	0,78	0,96	1619,94	1524,48	1284,45	1129,17	757,25	795,59	1307,45	1552,84
19	1	0,85	0,79	0,67	0,47	0,49	0,78	0,96	1619,94	1524,48	1284,45	1129,17	757,25	795,59	1307,45	1552,84
20	1	0,85	0,79	0,67	0,47	0,49	0,78	0,96	1619,94	1524,48	1284,45	1129,17	757,25	795,59	1307,45	1552,84
21	1	0,85	0,79	0,67	0,47	0,49	0,78	0,96	1619,94	1524,48	1284,45	1129,17	757,25	795,59	1307,45	1552,84
22	1	0,85	0,79	0,67	0,47	0,49	0,78	0,96	1619,94	1524,48	1284,45	1129,17	757,25	795,59	1307,45	1552,84
23	0,5	0,46	0,40	0,34	0,23	0,25	0,39	0,48	809,97	827,77	642,22	564,58	378,63	397,80	653,73	776,42

.-

A partir de la tabla se elaboran las gráficas de monotonía en el consumo de calefacción.

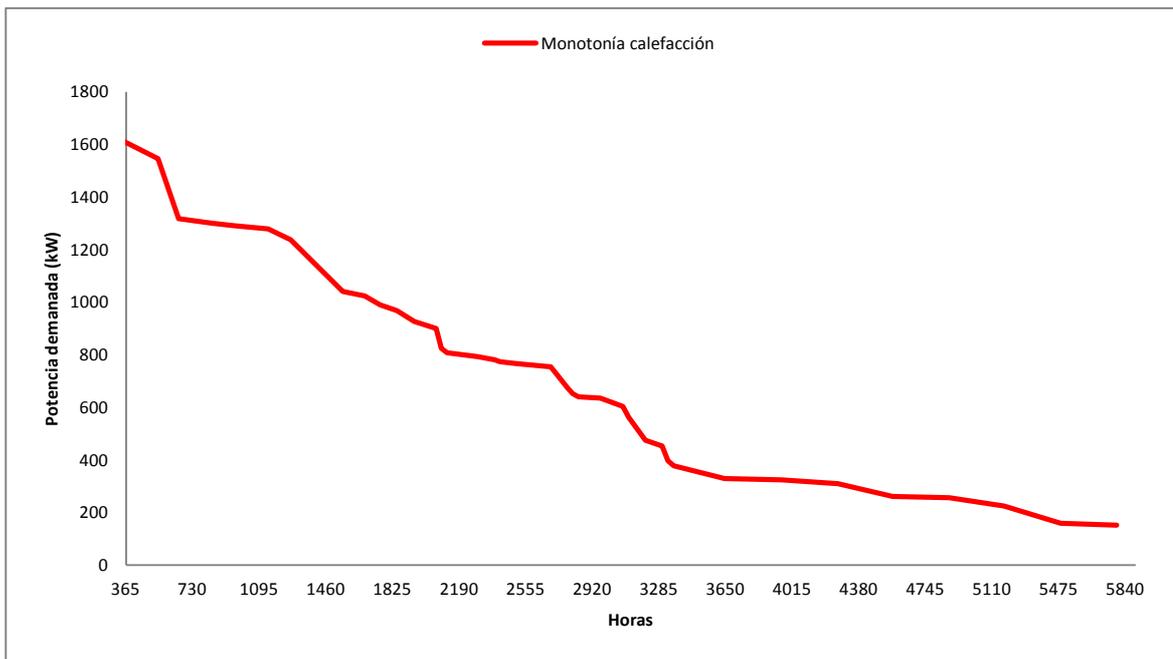


Figura 5-43.- Gráfica de Monotonía de la demanda de calefacción, hipótesis 1

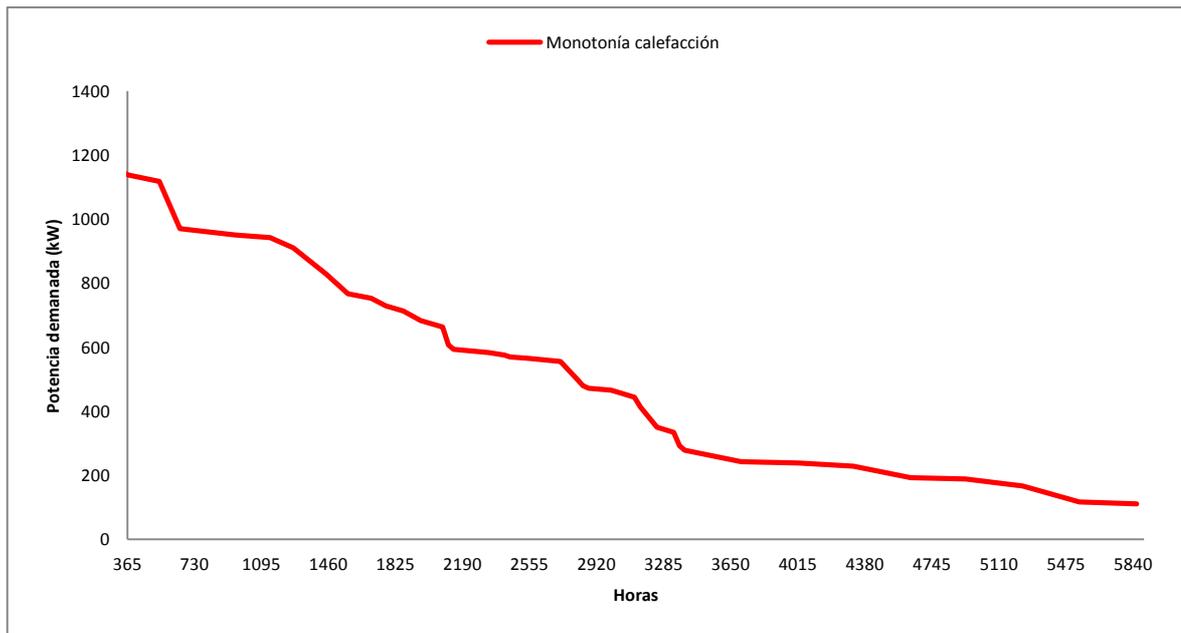


Figura 5-44.- Gráfica de Monotonía de la demanda de calefacción, hipótesis 2

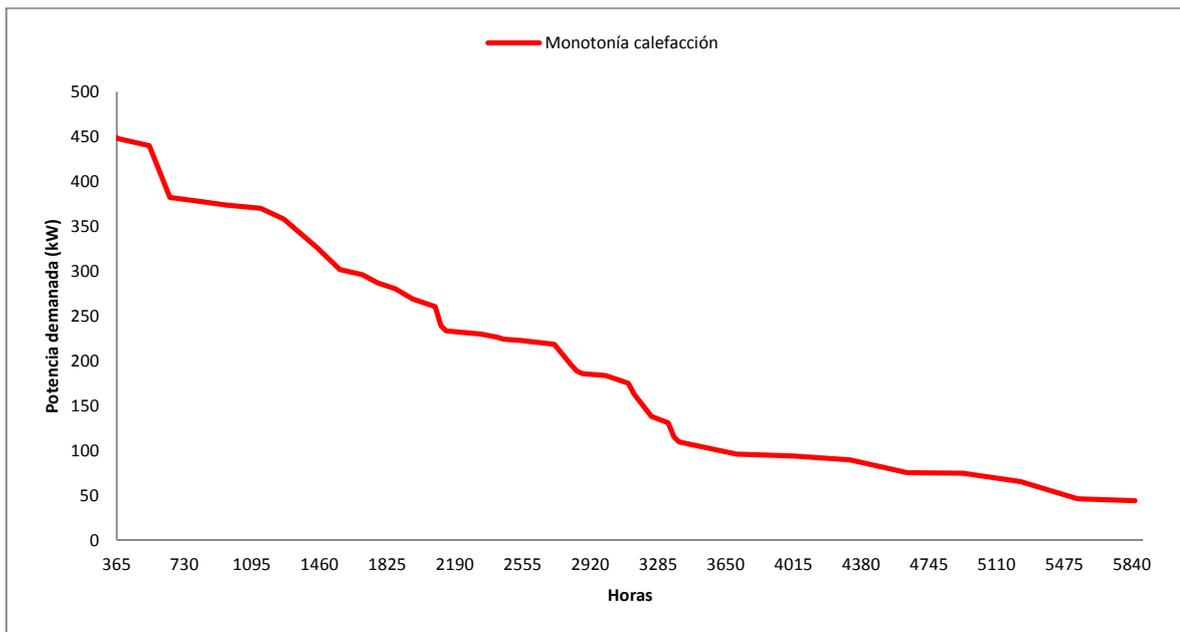


Figura 5-45.- Gráfica de Monotonía de la demanda de calefacción, hipótesis 3

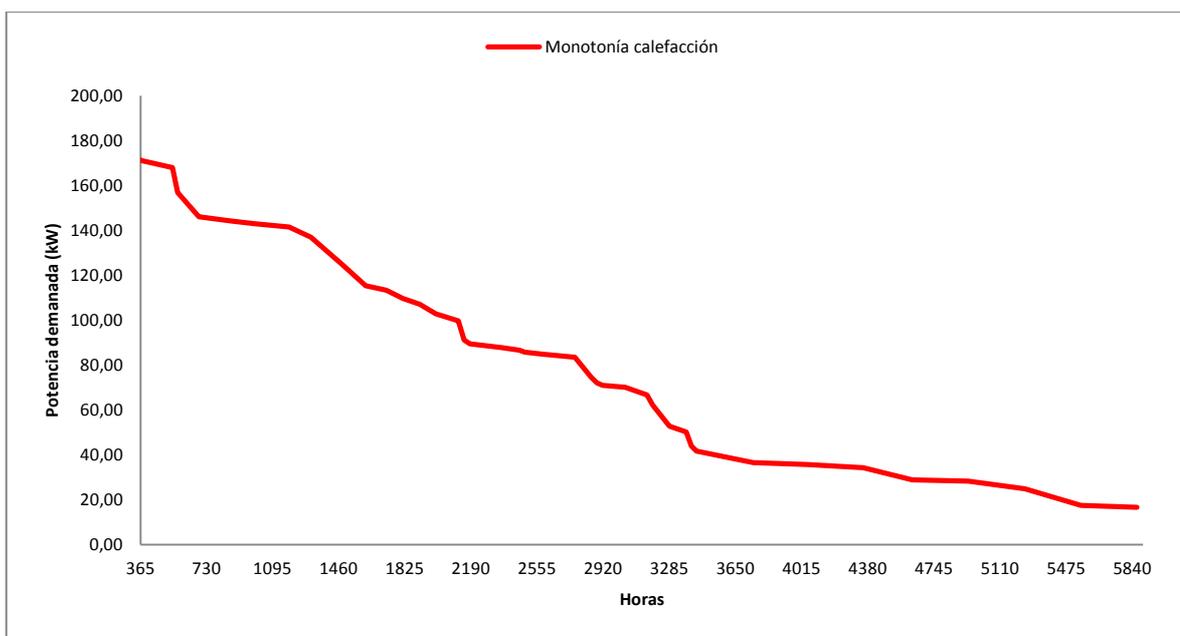


Figura 5-46.- Gráfica de Monotonía de la demanda de calefacción, hipótesis 4

### 5.11 Gráfica de monotonía del District Heating

Como se había dicho al principio de este apartado, el district heating se dimensionará teniendo la hipótesis 1. Aún así, las curvas de monotonía se presentan para todas las demás.

La demanda total de la instalación queda caracterizada por la siguiente gráfica de monotonía:

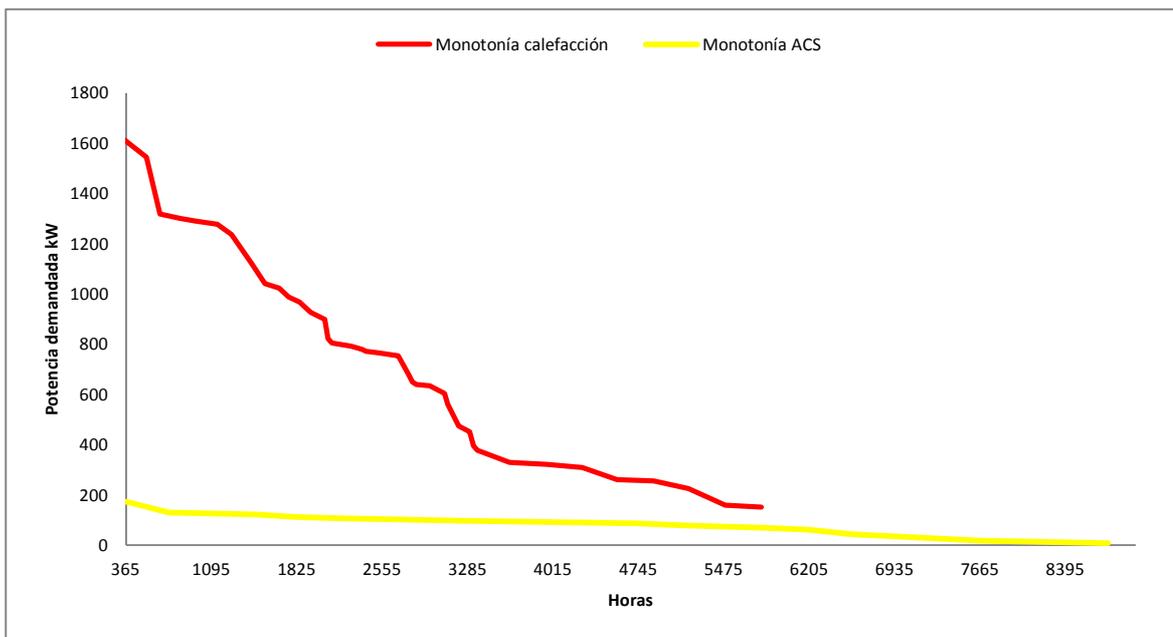


Figura 5-47.- Gráfica de Monotonía de la demanda del District heating hipótesis 1

De la observación de esta gráfica se deduce, para la hipótesis 1:

- La generación de potencia se fraccionará en cuatro escalones, pudiendo funcionar la instalación a partir de cuatro calderas en paralelo que funcionen según la demanda. Los tres primeros grupos tendrían 400 kW de potencia y el cuarto 450, sumando en total los 1705 kW necesarios que se emplearían en satisfacer la demanda del mes de Enero.
- Las necesidades de almacenamiento serán muy diferentes a lo largo del año, requiriéndose gran cantidad de biomasa almacenada a principios del invierno y una cantidad menor en los últimos meses del año.

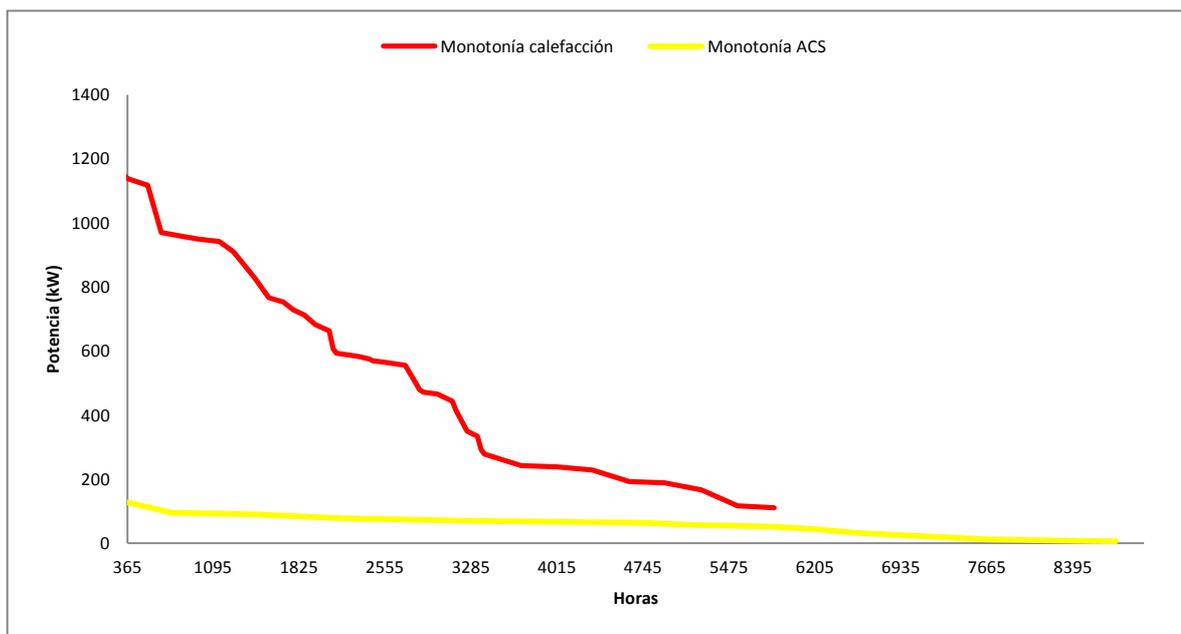


Figura 5-48.- Gráfica de Monotonía de la demanda del District heating hipótesis 2

De la observación de esta gráfica se deduce, para la hipótesis 2:

- La generación de potencia se fraccionará en cuatro escalones, pudiendo funcionar la instalación a partir de tres calderas en paralelo que funcionen según la demanda. Los tres grupos tendrían 300 kW.
- Las necesidades de almacenamiento serán muy diferentes a lo largo del año, requiriéndose gran cantidad de biomasa almacenada a principios del invierno y una cantidad menor en los últimos meses del año.

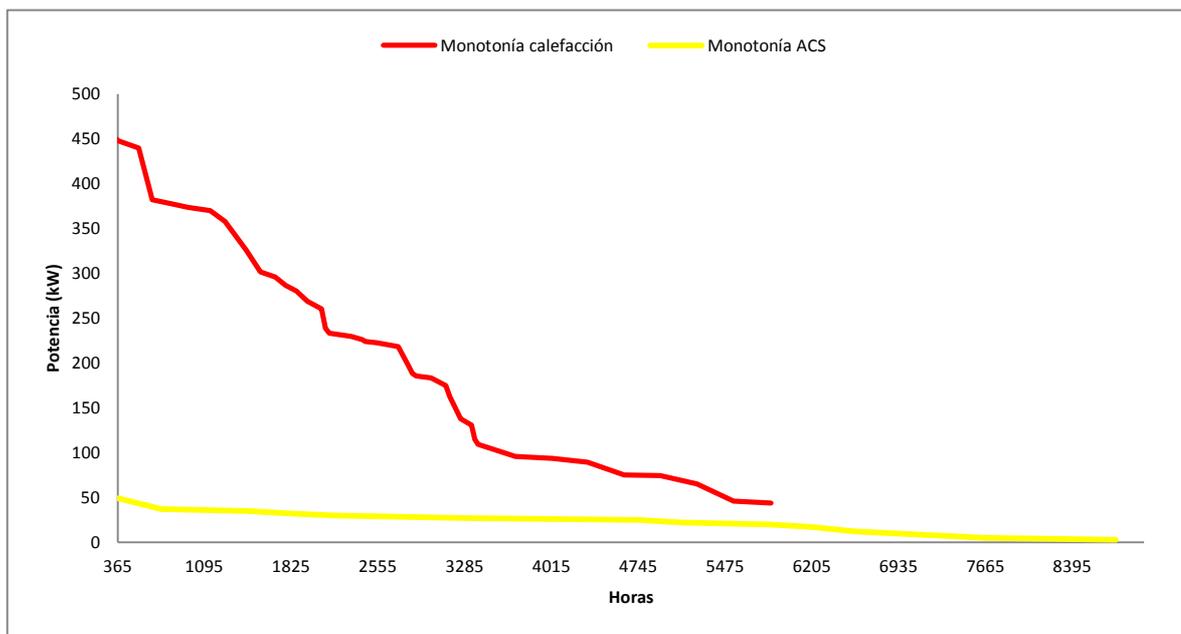


Figura 5-49.- Gráfica de Monotonía de la demanda del District heating hipótesis 3

De la observación de esta gráfica se deduce, para la hipótesis 3:

- La generación de potencia se fraccionará en tres escalones, pudiendo funcionar la instalación a partir de tres calderas en paralelo que funcionen según la demanda. Los tres grupos tendrían 100 kW, 150 kW y 200 kW respectivamente.
- Las necesidades de almacenamiento serán muy diferentes a lo largo del año, requiriéndose gran cantidad de biomasa almacenada a principios del invierno y una cantidad menor en los últimos meses del año.

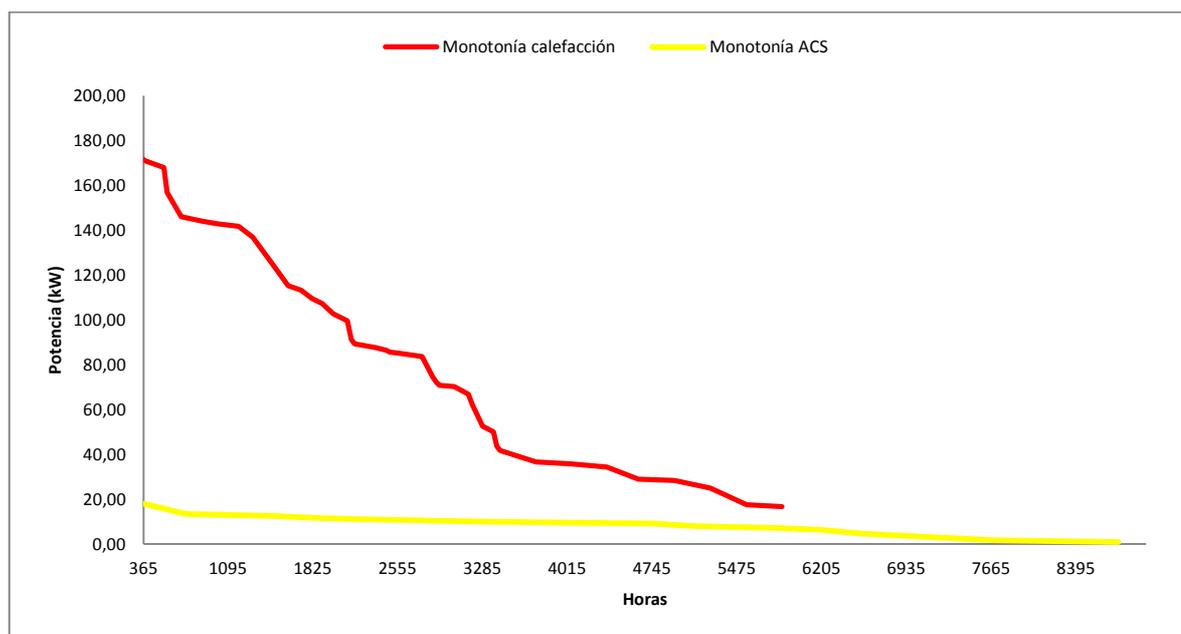


Figura 5-50.- Gráfica de Monotonía de la demanda del District heating hipótesis 4

De la observación de esta gráfica se deduce, para la hipótesis 2:

- La demanda es demasiado baja como para poder plantear si quiera una instalación de estas características. Se recomienda utilizar una caldera individual tipo residencial para cada consumidor.

## 6 District Heating

Para la realización de este apartado se ha utilizado la Guía Básica de Redes de Calor y de Frío, publicada por la Generalitat de Catalunya en 2011, elaborada por la asociación de empresas adhoc (Asociación de empresas de Calor y Frío) y distribuida por el IDAE. Esta guía describe los aspectos técnicos de una instalación de district heating, teniendo en cuenta la legislación (RITE y otros documentos).

En este apartado se busca definir de manera general las partes de la instalación de district heating y efectuar un dimensionamiento aproximado de la misma para poder obtener así una cifra aproximada con la que entrar en el estudio de viabilidad económico. En primer lugar se definirán las partes de la instalación, caracterizándolas y calculando aquellas que lo precisen.

En segundo lugar, se aportará documentación gráfica aproximada sobre el hipotético trazado de la red de distribución y las subestaciones de los usuarios.

Por último se analizarán los plazos y se proporcionarán precios aproximados a través de un presupuesto.

### 6.1 Definición de la instalación

De acuerdo con la Guía Básica de Redes de Calor y de Frío, publicada por la Generalitat de Catalunya en 2011, elaborada por la asociación de empresas adhoc (Asociación de empresas de Calor y Frío) y distribuida por el IDAE, una instalación de District heating ha de contar con tres partes fundamentales:

- La central de generación térmica, que comprende los grupos generadores y los grupos de apoyo.
- La red de tuberías de distribución y servicio.
- Las subestaciones de conexión con los consumidores .

En este apartado se busca definir cada una de ellas en la medida suficiente para poder elaborar un estudio de viabilidad económica de la instalación, esto es, dimensionar sus elementos partiendo del tipo de combustible (astillas) y de la demanda calculada; con estos valores se determinará el coste de la inversión, planeará una financiación acorde y se contrastará con el ahorro de combustible que genera la instalación para determinar su viabilidad teórica.

### 6.2 Red de distribución

El trazado de la red escogido es el ramificado o de espina de pescado, señalado por varias fuentes como el más adecuado para sistemas incipientes. Esto implica que cada consumidor se conectará a las subestaciones de conexión mediante una tubería de ida y una de retorno y que en el caso de una avería en la red, esta afectará a todos los consumidores aguas abajo (tal y como ocurre en las redes eléctricas homónimas).

El sistema de tubos elegido será de un tubo alojado en zanja; este sistema no permite suministrar independientemente agua caliente sanitaria y agua para calefacción, pero por exigencias de las calles por las que ha de discurrir el trazado (demasiado estrechas) es el que se debe utilizar. Las zanjas seguirán el trazado de la calzada, evitando pasar por debajo de terrenos urbanizables.

El tipo de tubería elegida para la distribución es de tipo acero.

Material tubería	Acero	Plástico
Formato de suministro	Tuberías de hasta 12 m	Bobinas de tubería
Servicio	Calor/frío	Calor
Temperatura máxima	148 °C (aislamiento)	90 °C (tubería)
Presión de servicio, máxima	16 bar	6 bar
Diámetros comerciales	≥ DN 800	≤ DN 200
Compatible con picos de presión i/o temperatura	SI	NO

Figura 6-1.- Cuadro comparativo de las características de las tuberías de District Heating según el material, fuente MINETUR

### 6.2.1 Dimensionamiento de las tuberías principales

Las tuberías principales se dimensionarán teniendo en cuenta la temperatura de impulsión, el calor específico del agua, la carga térmica del sistema y las pérdidas de presión. Se considera que el caudal de ida es igual al caudal de retorno y que las pérdidas de calor son las indicadas en el software de cálculo proporcionado por el fabricante de la tubería de servicio. El caudal se determina partiendo de la demanda a través de la siguiente expresión:

$$q = \frac{Q}{\rho_{H_2O} * e * (t_s - t_r)}$$

La Q de esta expresión hace referencia a la cantidad de calor demandada. La instalación debe ser capaz de soportar la demanda en el punto máximo, que como se vio en el apartado anterior se localiza en el mes de Enero. Todos los cálculos de la instalación se harán teniendo en cuenta la Q máxima, que se determina a partir de los datos de los perfiles de consumo de la siguiente manera:

Se toma el máximo valor de P diario en Enero para la calefacción (bien a la 13:00 o bien en el intervalo 19:00-23:00).

Se toma el máximo valor de P para el ACS de entre los posibles; corresponde a las 8:00.

Se suman ambos valores y se obtiene la P de cálculo. Multiplicando por 1h, se tiene que la demanda térmica de cálculo serán 1707,20 kW.

La temperatura  $t_s$  se supone constante para el cálculo, asumiendo la pérdida de carga el generador en forma de exceso de combustible. La temperatura de ida se fija en 85°C y la de retorno en 50 °C para una primera aproximación.

La tubería se supone de secciones variables, estando el tramo más grande entre 0 y 1 (plano 6). Por cada ramal el caudal disminuye considerando que cada subestación absorbe 1/33 de la demanda total salvo 2 que absorbe la mitad de ese valor. Para el caso de la subestación del hotel, se considera que igualmente absorbe 1/33 de la demanda, reflejándose la diferencia en el tramo de agua fría del intercambiador.

Este caudal se debe ser tal que no se supere la velocidad máxima en ningún tramo del sistema. Este valor se ha fijado en 2,5m/s (apuntes de District Heating universidad de Dinamarca). Este valor se evalúa para los tramos descritos anteriormente según la expresión:

$$c = \frac{q_v}{\frac{\pi}{4} * d}$$

Aquellos diámetros que ofrezcan condiciones de operación dentro de los márgenes definidos se elegirán de entre el resto. Considerada esta información, se determina la sección del tubo para cada tramo.

Para los valores del diámetro se toman los normalizados del fabricante de tuberías aisladas EFITERM, para tuberías de PEX con ida y retorno dentro del mismo tubo aislado. Valiéndose de la hoja de cálculo se ensayan los valores hasta dar uno que cumpla con la condición

Como parte última de este apartado figura calcular las pérdidas de carga por rozamiento, necesarias para justificar la presencia de equipos de impulsión.

Demanda total (kWh)	1707,2
Demanda de tramo de subestación	51,73
Demanda de tramo de subestación 1-2 (sobre el total)	0,019
Subestc 2 guardia civil (kWh)	82.7
Densidad del agua (kg/m <sup>3</sup> )	968
Poder calorífico del agua (kWh/KgK)	15,08
Ts (°C)	85
Tr (°C)	50
Presion (bar)	6

Figura 6-2.- Resumen de la hipótesis de cálculo para la red de distribución

### 6.2.2 Cálculo de pérdida de carga

El cálculo de la pérdida de carga en cada tubería de distribución depende de si el fluido circula en régimen turbulento o laminar. Como ya se ha indicado, la demanda total máxima sirve para calcular el flujo de calor que se distribuye por cada uno de los tramos marcados en el mapa.

El caudal de agua necesario para asegurar el suministro de energía ( $q$ ) se calcula a partir del flujo térmico que va por cada red de distribución ( $Q$ ), del poder calorífico ( $C_p$ ) y de la densidad del agua ( $\rho$ ) y de la diferencia de temperatura  $\Delta T$ .

$$q = \frac{Q}{\rho C_p \Delta T}$$

Con el caudal se calcula la velocidad para distintos diámetros de tubería y se escoge el diámetro con el que se asegura una velocidad menor de 2,5 m/s.

A partir de la velocidad y del diámetro se determina el número de Reynolds:

$$Re = \frac{D \cdot u \cdot \rho}{\mu}$$

Una vez que se conoce el número de Re se calcula el factor de rozamiento ( $f$ ). En todos los tramos del distric heating se tiene un régimen turbulento, y el factor de rozamiento se ha calculado a partir de la ecuación de White-Colebrook.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log \left( \frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{f}} + \frac{K/D}{3,71} \right)$$

Siendo K la rugosidad de la tubería, que para una tubería de PEX es de 0.0015mm, y D el diámetro de la tubería.

La pérdida de carga se calcula mediante la ecuación de Darcy:

$$h_L = f \frac{L}{D} \frac{u^2}{2g}$$

En la Tabla se muestra un resumen de los parámetros más característicos de cada tramo de tubería, caracterizados por las pérdidas de calor y los caudales:

**Tabla 6-1.- Tabla resumen de las características de las tuberías del District Heating**

Tramo	Caudal (m <sup>3</sup> /h)	Din (m)	Longitud (m)	v (m/s)	f	hL (m)	bar
0-1	43,40	0,09	21,47	1,89	0,0134	0,6	0,1
1-2	3,42	0,022	35,58	2,50	0,0168	8,7	0,8
2-s1	1,32	0,016	48,57	1,82	0,0191	9,8	0,9
2S-2	2,10	0,02	35,58	1,86	0,0181	5,7	0,5
1-3	39,98	0,075	227,10	2,51	0,0132	12,9	1,2
3-s3	1,32	0,016	12,99	1,82	0,0191	2,6	0,2
3-4	38,67	0,075	36,91	2,43	0,0132	2,0	0,2
4-5	2,63	0,02	200,92	2,33	0,0174	48,2	4,5
5-s4	1,32	0,016	15,54	1,82	0,0191	3,1	0,3
5-S33	1,32	0,016	96,42	1,82	0,0191	19,4	1,8
4-7	36,04	0,075	135,17	2,27	0,0134	6,3	0,6
7- S5	1,32	0,016	11,55	1,82	0,0191	2,3	0,2
7-8	34,72	0,075	37,53	2,18	0,0135	1,6	0,2
8-S6	1,32	0,016	67,59	1,82	0,0191	13,6	1,3
8-9	33,41	0,075	72,49	2,10	0,0136	2,9	0,3
9-s7	1,32	0,016	29,55	1,82	0,0191	5,9	0,6
9-11	5,26	0,028	14,93	2,37	0,0162	2,5	0,2
11-s8	1,32	0,016	39,26	1,82	0,0191	7,9	0,7
11-12	3,95	0,025	36,81	2,23	0,0167	6,3	0,6
12-s9	1,32	0,016	5,11	1,82	0,0191	1,0	0,1
12-10	2,63	0,02	26,89	2,33	0,0174	6,4	0,6
10-s10	1,32	0,016	39,06	1,82	0,0191	7,8	0,7

10+s11	1,32	0,016	15,34	1,82	0,0191	3,1	0,3
9-13	26,83	0,063	42,43	2,39	0,0137	2,7	0,3
13-s12	1,32	0,016	19,02	1,82	0,0191	3,8	0,4
13-15	25,51	0,063	49,80	2,27	0,0138	2,9	0,3
15-14	2,63	0,02	63,80	2,33	0,0174	15,3	1,4
14-s13	1,32	0,016	12,99	1,82	0,0191	2,6	0,2
14-s14	1,32	0,016	104,29	1,82	0,0191	21,0	2,0
15-16	22,88	0,063	43,97	2,04	0,0140	2,1	0,2
16-31	6,58	0,032	42,94	2,27	0,0159	5,6	0,5
31-s15	1,32	0,016	22,39	1,82	0,0191	4,5	0,4
31-17	5,26	0,028	30,78	2,37	0,0162	5,1	0,5
17-s16	1,32	0,016	27,61	1,82	0,0191	5,5	0,5
17-18	3,95	0,025	24,54	2,23	0,0167	4,2	0,4
18-s17	1,32	0,016	7,16	1,82	0,0191	1,4	0,1
18-19	2,63	0,02	39,06	2,33	0,0174	9,4	0,9
19-s18	1,32	0,016	33,84	1,82	0,0191	6,8	0,6
19-s19	1,32	0,016	60,33	1,82	0,0191	12,1	1,1
16-20	16,31	0,05	77,30	2,31	0,0143	6,0	0,6
20-s20	1,32	0,016	14,31	1,82	0,0191	2,9	0,3
20-26	8,42	0,04	73,31	1,86	0,0153	5,0	0,5
26-s21	1,32	0,016	3,07	1,82	0,0191	0,6	0,1
26-27	7,10	0,04	169,33	1,57	0,0157	8,4	0,8
27-28	1,32	0,016	14,83	1,82	0,0191	3,0	0,3
28-s22	1,32	0,016	1,02	1,82	0,0191	0,2	0,0
32-s23	1,32	0,016	16,36	1,82	0,0191	3,3	0,3
32-s24	1,32	0,016	50,10	1,82	0,0191	10,1	0,9
27-29	3,16	0,025	342,02	1,79	0,0164	36,5	3,4
29-s25	1,32	0,016	35,79	1,82	0,0191	7,2	0,7
29-30	1,84	0,022	270,45	1,35	0,0171	19,5	1,8
30-s26	1,32	0,016	15,34	1,82	0,0191	3,1	0,3
30-s27	1,32	0,016	63,39	1,82	0,0191	12,7	1,2
28-32	2,63	0,02	115,54	2,33	0,0174	27,7	2,6

20-21	6,58	0,032	48,36	2,27	0,0159	6,3	0,6
21-s28	1,32	0,016	20,45	1,82	0,0191	4,1	0,4
21-22	5,26	0,028	31,70	2,37	0,0162	5,3	0,5
22-s29	1,32	0,016	33,74	1,82	0,0191	6,8	0,6
22-23	3,95	0,025	71,57	2,23	0,0167	12,2	1,1
23-s30	1,32	0,016	2,04	1,82	0,0191	0,4	0,0
23-24	2,63	0,02	82,82	2,33	0,0174	19,9	1,9
24-s31	1,32	0,016	21,47	1,82	0,0191	4,3	0,4
24-25	1,32	0,016	58,28	1,82	0,0191	11,7	1,1
25-s32	1,32	0,016	3,07	1,82	0,0191	0,6	0,1

### 6.2.3 Subestaciones de bombeo

De las subestaciones de bombeo se calculará solo las bombas, suponiendo un coste fijo en los elementos de fontanería asociados a cada una. Para evaluar la necesidad de estaciones de bombeo, se pensó en dibujar una curva de presión según el tramo, pero no resultaba operativo. En su lugar se construyó una tabla en Excel que evalúa las necesidades de incluir bombas según qué tramo y las necesidades de incluir más después de la primera actuación. Cuando esta descienda por debajo de un valor de control (4 bar) se instalará una bomba para devolverla a la presión de diseño (6 bar). Una vez se sepa dónde colocar las bombas, se dimensionarán estas en función del caudal, la diferencia de presión que deben proporcionar y el NPSH.

#### 6.2.3.1 Tabla de precios de las bombas

Los precios de esta tabla se han estimado a partir de varios ejemplos comerciales. No obstante, por limitaciones de tiempo no se han usado valores reales de las bombas para afinar más este cálculo.

Tabla 6-2.- Tabla resumen de las bombas y tramos

Tramo	Presión a compensar	Caudal (l/h)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Potencia teórica (W)	Rendimiento comercial	Potencia comercial	Precio
3-4	1,445	2983,4	0,011	1551,5	0,850	1825,260	750,00
8-9	0,746	2577,6	0,009	692,3	0,850	814,418	334,64
12-10	1,095	202,9	0,001	80,0	0,850	94,117	38,67
13-15	0,528	1968,7	0,007	374,4	0,850	440,467	180,99
15-14	1,703	202,9	0,001	124,4	0,850	146,373	60,14
18-19	1,858	202,9	0,001	135,8	0,850	159,732	65,63
20-21	1,300	507,4	0,002	237,4	0,850	279,347	114,78

22-23	2,220	304,4	0,001	243,3	0,850	286,223	117,61
23-24	0,750	202,9	0,001	54,8	0,850	64,465	26,49
26-27	3,792	548,1	0,002	748,3	0,850	880,366	361,74
27-29	3,000	243,7	0,001	263,2	0,850	309,636	127,23
28-32	0,500	202,9	0,001	36,5	0,850	42,976	17,66
5-S33	2,345	101,5	0,000	85,6	0,850	100,759	41,40
5-s4	2,345	101,5	0,000	85,6	0,850	100,759	41,40

Las bombas se colocarán en continuo con la tubería, dentro de recintos (preferentemente subestaciones de reparto) con ventilación suficiente y que garanticen la conexión segura a la red eléctrica que las hace funcionar.

El coste real que suponen las bombas se debe incluir dentro del capítulo de costes de operación de la cuenta “gastos” asociada al district heating y se consideran englobados dentro del parámetro del mismo nombre.

#### 6.2.4 Subestaciones de reparto.

Las estaciones de reparto son las partes de la red en las que se sitúan los aparatos de medida y los dispositivos de seguridad necesarios para hacer llegar el servicio al ciudadano. Las estaciones de bombeo estarán equipadas con:

- Contadores; uno por cada consumidor, precintados y colocados en el lado de baja temperatura del intercambiador.
- Válvulas de seguridad y dispositivos de corte para poder aislar a cada consumidor de la red y a la subestación de la red.
- Un intercambiador de calor que suministrará calor a cada consumidor. La parte de más alta temperatura da servicio a los circuitos de calefacción, mientras que la parte del serpentín más alejada de la entrada da servicio a la red de ACS.
- Bombas de impulsión para los tramos de calefacción.

#### 6.2.5 Número de consumidores a los que da servicio cada estación de reparto

Para estimar el número de consumidores a los que da servicio cada estación de reparto se parte del parámetro demanda del tramo de subestación, definido en el apartado Dimensionamiento de las tuberías principales. Esta demanda, en kWh, ha de ser repartida por medio del intercambiador entre todos los usuarios conectados. Considerando las estadísticas utilizadas en el apartado Caracterización de la demanda, se efectúa un reparto proporcional de la demanda teniendo en cuenta cinco posibilidades:

1. A la subestación se conectan solamente consumidores residenciales
2. A la subestación se conectan consumidores residenciales y bares
3. A la subestación se conectan consumidores residenciales y el comercio
4. A la subestación se conectan consumidores residenciales y el ayuntamiento
5. A la subestación se conectan consumidores residenciales y el hotel
6. A la subestación se conecta el cuartel de la guardia civil

En la hora de máxima demanda térmica (8:00 del mes de Enero) cada subestación de los supuestos 1 al 4 consumen 51,73kWh.

Para calcular el número de consumidores tipo a los que suministra cada subestación se debe calcular el porcentaje sobre el total e consumo que representa cada consumidor. Para ello se opera el total de consumo de cada uno entre el total de consumo anual y se multiplica por el consumo de la hora de máximo consumo en Enero.

$$Q_{ind} = \frac{Q_{total\ por\ receptor\ unitario}}{Q_{total\ anual}} * Q_{intradiaario}$$

El primer cociente se puede agrupar bajo la etiqueta “porcentaje total de la demanda” para operar con otras variables.

Una vez caracterizado el consumo unitario por tipo de consumidor, se debe evaluar la carga proporcional dentro de la subestación que supone cada uno. En la hipótesis 1 se considera el mismo ratio viviendas unifamiliares/viviendas en bloque que muestran los datos del INE.

En la hipótesis 2, 3 y 4 se empieza por restar de la demanda total la demanda que genera el consumidor específico (bar, comercio y hotel respectivamente) y lo que sobra se reparte entre consumidores tipo como se hizo en la hipótesis 1.

Por último, se multiplica el número de consumidores redondeado por el consumo y se obtiene la demanda de la subestación, que debe ser similar, hasta un error de +-1 kWh, al estimado en el cálculo de las conducciones.

En la aplicación de este método ha sido necesario redondear a la alza para no trabajar con fracciones de consumidor, esto resulta en una sobredimensión de los intercambiadores que se desprecia, dado que los intercambiadores no suponen un término importante en comparación con el coste final de la instalación, condicionado en mayor medida por la caldera y la obra civil necesaria. Además, los redondeos de subestaciones se ajustan a mano para evitar terminar con más consumidores que consumidores existen (por ejemplo con 70 viviendas en bloque cuando solo existen 50).

Se debe mencionar el consumo tan grande que representa el cuartel en comparación con el resto de subestaciones. Este consumo, teniendo en cuenta que el consumo real después del ajuste de cada subestación está por debajo del consumo teórico en torno a 2 kW y que ese “error” se extiende a 33 subestaciones, se tiene que el sistema en su conjunto se ha dimensionado para absorber la demanda generada por la guardia civil.

Tabla 6-3.- Reparto de consumos de una subestación

Consumo total subestación (kWh)	tipos	Porcentaje sobre el total de la demanda	Tanto por uno de representacion	número de consumidores tipo	número de consumidores estimados	total demandado	Total de la subestación*	nº de subestaciones
50,2	Individual	0,0032668	0,81455672	7,555938122	8	44,61	49,36510442	25
	Bloque	0,0013909	0,076297299	1,662306387	2	4,74		
50,2	Individual	0,0032668	0,81455672	7,555938122	7	39,03	39,23233494	5
	Bloque	0,0013909	0,076297299	1,662306387	0	0		
	Bar	0,0037345	0,018623612	1	1	0,19		
50,2	Individual	0,0032668	0,81455672	7,555938122	7	39,03	46,16255824	1
	Bloque	0,0013909	0,076297299	1,662306387	2	4,74		
	comercio	0,0032530	0,00324449	1	1	2,37		
50,2	Individual	0,0032668	0,81455672	7,555938122	7	39,03	48,53703174	1
	bloque	0,0013909	0,076297299	1,662306387	3	7,12		
	ayuntamiento	0,0122434	0,012211363	1	1	2,37		
50,2	Individual	0,0032668	0,81455672	7,555938122	0	1	46,58195599	1
	Bloque	0,0013909	0,076297299	1,662306387	0	0		
	Hotel	0,0266999	0,026630057	1	1	45,58		
82,69	Guardia Civil	0,0484365	0,048436458	1	1	82,69	82,69049149	1

### 6.2.6 Dimensionado de las tuberías de servicio e intercambiador de calor

Las tuberías de servicio de la instalación acceden al intercambiador de calor, de donde toman energía térmica, para luego llevar este flujo de energía a los consumidores finales. Es necesario aproximar la temperatura de impulsión y de retorno en estos circuitos para poder dimensionar el intercambiador de calor. Se suponen cuatro hipótesis para su dimensionamiento:

- Tuberías que alimentan el hotel
- Tuberías que alimentan el cuartel de la guardia civil
- Tuberías que alimentan una vivienda individual
- Tuberías que alimentan una vivienda en bloque
- Tuberías que alimentan al ayuntamiento
- Tuberías que alimentan a los comercios

Para definir cada hipótesis se debe concretar:

- Temperatura de impulsión
- Presión de la red
- Dimensiones de la red (pérdidas de carga)
- Demanda total por hipótesis

Se suponen las características de las tuberías de servicio son las mismas que las tuberías de reparto a subestación del district heating.

#### 6.2.6.1 Cálculo de la superficie del intercambiador

Es la parte fundamental de la estación de reparto. Para garantizar la salubridad del agua en las estaciones de intercambio existirán intercambiadores de calor que darán servicio a las instalaciones domésticas. Para el cálculo del intercambiador se ha supuesto que:

Existe un único serpentín de agua caliente proveniente del district heating alimentando a cada intercambiador. Éste circuito se conecta directamente a la red de distribución y consiste en un tubo alojado en una matriz un segundo tubo, dividido en tantos tramos como consumos atiende, por el que circulará el agua a calentar. La salida de este serpentín es el retorno y se engancha a la red de retorno.

Estos tramos varían en longitud en tanto varía la temperatura del agua de impulsión (disminuyendo desde el primer tramo en adelante), requiriendo de una mayor longitud conforme disminuye la temperatura del fluido caliente.

Las pérdidas del intercambiador por transmisión de calor con el entorno y debidas al efecto Joule se suponen 0 a efectos del cálculo.

Las pérdidas de carga generadas en el intercambiador se cuentan según el número de codos, supuestos de 90° para los empalmes de las tuberías de agua fría y de 180 para los giros del serpentín. Estas pérdidas de carga no se tendrán en cuenta a la hora de dimensionar las bombas de impulsión del district heating.

Existen otras consideraciones que se irán concretando conforme se siga el desarrollo del cálculo.

A partir de estos datos y las hipótesis caracterizadas para cada subestación se han calculado las superficies de los intercambiadores.

El agua que se va a utilizar en el district heating sale de la caldera a 85 °C. En cada subestación hay que instalar un intercambiador de calor para asegurar que tanto la calefacción como el agua de ACS lleguen a los usuarios en unas condiciones de presión y temperatura determinados.

Se ha decidido instalar un intercambiador de tubos concéntricos en contracorriente. La ecuación empleada para el cálculo de las áreas es la siguiente:

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T_{ln},$$

Donde Q el calor intercambiado entre el fluido frío y el caliente; U el coeficiente global de transmisión de calor, que en este caso se ha supuesto igual a 2000 W/m<sup>2</sup>K que es un valor típico para el caso en el que tanto el fluido frío como el caliente son agua; A el área de intercambio necesaria y  $\Delta T_{ln}$  la diferencia media de temperaturas logarítmica,

$$\Delta T_{ln} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}}$$

Del cálculo con la hipótesis inicial se ha inferido que no es posible realizar una conexión con esa configuración: a partir de un consumidor determinado, la temperatura del agua caliente que proviene de la caldera cae por debajo de la temperatura de consigna para la salida del intercambiador, imposibilitando su funcionamiento. Para arreglar este problema se ha fraccionado el intercambiador.

Cada usuario individual tiene asociado un consumo, recogido en la siguiente tabla. Este consumo es el que se usa para dimensionar el intercambiador y para comprobar que puede funcionar (considerando que el rango de temperatura de entrada del fluido caliente en cada tramo supere al de salida del fluido frío).

Tabla 6-4.- Consumos tipo para cada consumidor individual

	Q calefacción (KWh)	Q ACS (KWh)	Qi (KWh)	Qi calefacción (KWh)	Qi ACS (kWh)
Individual	13666,7	1861,1	5,58	4,91	0,668
Bloque	4305,6	2305,6	2,37	1,55	0,828
Hotel	96391,0	30520,2	45,58	34,62	10,962
Comercio	12784,0	2678,3	2,37	1,96	0,411
Bar	13672,0	4079,0	0,19	0,15	0,044
Ayuntamiento	56450,5	1745,3	2,37	2,30	0,071
Casa cuartel	218366,4	12467,9	82,69	78,22	4,466

Siendo  $Q_i$  el flujo de calor necesario para calentar cada una de los usuarios de la red, 250 viviendas individuales, 50 bloques, 5 bar, 1 comercio, 1 hotel, 1 ayuntamiento, y 1 casa cuartel.  $Q_i$  calefacción y  $Q_i$  ACS representan la energía necesaria para calefacción y para ACS respectivamente que necesita cada usuario.

A partir de  $Q_i$  vamos a calcular el  $\Delta T$  que se produce al calentar ese flujo de agua  
 $Q_i = mC_p\Delta T$

En la siguiente Tabla se muestra la variación de temperatura que sufre la línea que va a cada uno de los usuarios.

Tabla 6-5.- Caída de temperatura en el intercambiador en función del tipo de consumidor

Usuario	$\Delta T$ Calefacción	$\Delta T$ ACS
Individual	3.221	0.0097
Bloque	1.014	0.0121
Hotel	22.718	0.1598
Comercio	1.288	0.0060
Bar	0.097	0.0006
Ayuntamiento	1.511	0.0010
Casa cuartel	51.331	0.0651

El flujo de agua que llega a cada subestación es el mismo, se calculó a partir de la distribución de los tramos y es igual a 1,315 m<sup>3</sup>/h. El diámetro de cada una de las tuberías de la subestación es de 0,016 m. El área de cada intercambiador se calculó una vez conocida la temperatura de salida del fluido caliente después de pasar por cada uno de los usuarios. Se ha supuesto  $F=1$  para todos los intercambiadores.

Un ejemplo de cálculo se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 6-6.- Ejemplo de cálculo del área del intercambiador

Bar Calefacción							
Bar	$T_i$ (°C)	$T_f$ (°C)	$T_i'$ (°C)	$T_f'$ (°C)	$\Delta T_{In}$	Área (m <sup>2</sup> )	Longitud (m)
1	85.0	84.9	30	65	34.6	0.0022	0.043

Individual Calefacción							
Individual	$T_i$ (°C)	$T_f$ (°C)	$T_i'$ (°C)	$T_f'$ (°C)	$\Delta T_{In}$	Área (m <sup>2</sup> )	Longitud (m)

1	84.9	81.7	30	65	33.3	0.0737	1.47
2	81.7	78.5	30	65	29.8	0.0824	1.64
3	78.5	75.2	30	65	26.2	0.0936	1.86
4	75.2	72.0	30	65	22.5	0.1090	2.17
5	72.0	68.8	30	65	18.6	0.1321	2.63
6	68.8	65.6	30	65	14.2	0.1728	3.44
7	65.6	62.4	30	65	7.9	0.3111	6.19

Bar ACS							
Bar	T <sub>i</sub> (°C)	T <sub>f</sub> (°C)	T <sub>i</sub> ' (°C)	T <sub>f</sub> ' (°C)	ΔT <sub>ln</sub>	Área (m <sup>2</sup> )	Longitud (m)
1	62.4	62.4	10	55	22.9	0.00325	0.065

Individual ACS							
Individual	T <sub>i</sub> (°C)	T <sub>f</sub> (°C)	T <sub>i</sub> ' (°C)	T <sub>f</sub> ' (°C)	ΔT <sub>ln</sub>	Área (m <sup>2</sup> )	Longitud (m)
1	62.4	62.3	10	55	22.9	0.0146	0.290
2	62.3	62.3	10	55	22.9	0.0146	0.290
3	62.3	62.2	10	55	22.9	0.0146	0.291
4	62.2	62.2	10	55	22.7	0.0147	0.293
5	62.2	62.2	10	55	22.7	0.0147	0.293
6	62.2	62.2	10	55	22.7	0.0147	0.293
7	62.2	62.1	10	55	22.6	0.0148	0.294

El resultado del cálculo permite definir la longitud y el diámetro de tubo que tendría el intercambiador de cada subestación.

Después del cálculo se ha llegado a la conclusión de que los intercambiadores deben fraccionarse para poder garantizar el salto térmico a los consumidores. En la tabla que se presenta a continuación se han tenido en cuenta dichos fraccionamientos.

**Tabla 6-7 Reparto proporcional de los caudales fraccionados en función de los consumos anuales**

Etiqueta	Consumidor nombre	Q calefacción	Q ACS	Q <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub> calefacción KWh	Q <sub>i</sub> ACS
1	Individual	13666,67	1861,11	5,57	4,908	0,66
2	Bloque	4305,55	2305,55	2,37	1,54	0,82
3	Hotel	96391,02	30520,25	45,58	34,621	10,96

4	Comercio	12784	2678,31	2,37	1,96317771	0,411
5	Bar	13672	4078,96	0,19	0,14880276	0,044
6	Ayuntamiento	56450,52	1745,34	2,37	2,30326096	0,071
7	Casa cuartel	218366,4	12467,90	82,69	78,224182	4,466

Tabla 6-8.- Resumen de las características de los intercambiadores

Hipótesis antigua	Hipótesis fraccionada	Longitud total de tubo (m)	Área de inecesaria m <sup>2</sup>	Ref. comercial	Precio estimado
8 c. individuales 2 c.bloque	5 c. individuales	12,81	0,64	MI 7 76/18	3.750 €
	3c. Individuales				
7 c.individuales 1 comercio 2 c.bloque	2c. Bloque	5,43	0,46	MI 7 76/18	4500 €
	1Comercio	11,79	0,68		
	4 Individual	20,20	1,02		
1 Ayuntamiento 7 Individuales 2 bloques	3 c.indiv	11,94	0,60	MI 7 76/18	4500
	1 Ayuntamiento	14,25	1,00		
	3 individuales	6,68	1,33		
1 bar 7 consumidores individuales	1 bloque	21,50	0,11	MI 7 76/18	3000
	4individuales				
1 Hotel	1 bloques	1,24	0,06	MI 7 76/18	3000
1 consumidor individual	1 Hotel	1,90	0,10		
1 Cuartel Guardia civil	1 Cuartel Guardia civil	2,88	0,14	MI 7 76/18	3000

El modelo comercial elegido del intercambiador es el MI 7 76/18 de la casa HRS, que proporciona área y diámetros adecuados a la aplicación. Sus características se adaptan según la longitud de la unidad y del número de unidades, pero es modular y proporciona una adaptación perfecta al diámetro de las tuberías de servicio. Se considera que el proceso de adaptación para el fraccionamiento (otra toma de agua caliente, valvulería y obra asociadas) encarece cada intercambiador en 25% por fraccionamiento. El fraccionamiento se considera realizado sobre la misma estructura del intercambiador comercial, mediante modificación del mismo en taller, por lo que no generará necesidades extra de espacio.



Figura 6-3.- Imagen de varias unidades montadas sobre el mismo bastidor; fuente: HRS

#### 6.2.6.2 Red de tuberías de tuberías de ACS

El esquema particular para las tuberías de ACS seguiría las indicaciones para instalaciones de este tipo que figuran en el manual editado por el MINETUR. De acuerdo con lo indicado con esta publicación, el agua accede al circuito a través de una toma que se conecta a la red de distribución. A continuación se sitúa una válvula de corte y un filtro homologado (UNE-EN 13443-180). Pasado el filtro, el manual recomienda colocar el contador. En la instalación de district heating se suponen los contadores centralizados en un armario precintado y cerrado con llave con un cristal para la comprobación del valor.

A partir de este punto, se debería definir un caudal tipo para consumidor y concretar las condiciones específicas de su instalación; debido a las limitaciones de tiempo, esta parte de la instalación no se considerará para determinar el coste de la instalación.

### 6.3 Elección de la caldera

Para caracterizar la caldera se han utilizado el generador de precios de Cype para calderas modelo Herz de potencia variable. Los criterios usados se han introducido para cada hipótesis teniendo en cuenta los criterios de fraccionamiento ya mencionados.

#### 6.3.1 Elección de caldera y características en función de la hipótesis 1

Condiciones de elección de la caldera:

- Es conveniente la instalación de por lo menos dos grupos diferenciadas. Una de ellas suministrará ACS en un circuito abierto y aislado y tendrá una potencia de

200 kW. La otra tendrá una potencia de por lo menos 1600 kW y funcionará estacionalmente para satisfacer las demandas de calefacción.

- La generación de potencia se fraccionará en cuatro escalones, pudiendo funcionar la instalación a partir de cuatro calderas en paralelo que funcionen según la demanda. Los tres primeros grupos tendrían 400 kW de potencia y el cuarto 450, sumando en total los 1705 kW necesarios que se emplearían en satisfacer la demanda del mes de Enero.
- Las necesidades de almacenamiento serán muy diferentes a lo largo del año, requiriéndose gran cantidad de biomasa almacenada a principios del invierno y una cantidad menor en los últimos meses del año.

### 6.3.1.1 Caldera de ACS

Las calderas de ACS serán, como ya se ha mencionado, 3 grupos de 65 kW variables colocados en paralelo. El modelo es Firematic 60 T, que admite biomasa hasta con un 20% de humedad y presenta un rendimiento de 92%. Admite alimentación continua desde el silo.

Aunque no es necesario una caldera independiente para la ACS, es conveniente fraccionar el consumo de esta forma porque aporta flexibilidad al sistema, permitiendo suplir picos de consumo sin tener que arrancar las calderas más grandes. En caso de fallo de un grupo grande también pueden contribuir a reducir el uso de de la caldera de gasoil en las horas de poco consumo.

Estas calderas también se separan porque al funcionar un mayor número de horas anuales tienen más coste de mantenimiento.

En cuanto a la forma de uso, durante la temporada de calefacción, entrarán a funcionar cuando la potencia del grupo mayor que esté arrancado no sea suficiente, arrancando sucesivamente en previsión de mayores demandas de uso. Fuera de la temporada de calefacción, funcionarán por sí solas, arrancando secuencialmente según la necesidad.



Figura 6-4.- Caldera de biomasa para ACS en hipótesis 1

Estas calderas tienen aislamiento interior, cámara de combustión con sistema automático de limpieza del quemador mediante parrilla basculante, intercambiador de calor de tubos verticales con mecanismo de limpieza automática, sistema de recogida y extracción de cenizas del módulo de combustión y depósito de cenizas extraíble, control de la combustión mediante sonda Lambda integrada y un sistema de mando integrado el control de 2 circuitos de calefacción adicionales con bomba y válvula mezcladora.

Estos dos circuitos se etiquetarán como principal y apoyo, y se controlarán desde un ordenador ubicado en una sala aledaña a la sala de calderas. Nota: aunque reciban los nombres de calderas de ACS, ambas alimentan el mismo circuito de agua caliente..

El precio de cada caldera es de 25600 €.

### **6.3.1.2 Grupo de calderas de calefacción**

Las calderas de calefacción serán 3, del modelo Biofire biocontrol 500 de la casa Herz. Tienen una potencia modulable de 150 a 500 kW, lo que proporciona al sistema flexibilidad para adaptarse a la demanda. Se considera su rendimiento 0,94 de acuerdo al fabricante y que puede admitir biomasa con un 30% de humedad. En cuanto a las prestaciones, incluye las mismas que el anterior además de un sistema de telegestión incluido. El precio de cada caldera es de 108701 € incluidos costes de instalación.

### **6.3.1.3 Calderas de apoyo**

De acuerdo con la bibliografía consultada es necesario disponer de un grupo de apoyo de combustible distinto a la biomasa en previsión de posibles dificultades en el suministro, averías...

Para la instalación este grupo será una caldera de Gasóleo-C con el 65% de la potencia máxima intradiaria instalada. La caldera y el depósito se instalarán en un edificio anexo alejado de la planta principal. Se ha elegido una caldera de 500 kW, 92% y de rendimiento cuyo precio, contada instalación es de 100000 € incluidos costes de instalación.

## **6.3.2 Elección de caldera y características en función de la hipótesis 2**

De la observación de esta gráfica se deduce, para la hipótesis 2:

- Es conveniente la instalación de por lo menos dos grupos de calderas diferenciadas.
- La generación de potencia se fraccionará en escalones.
- Las necesidades de almacenamiento serán muy diferentes a lo largo del año, requiriéndose gran cantidad de biomasa almacenada a principios del invierno y una cantidad menor en los últimos meses del año.
- Será necesario un grupo de apoyo de un combustible convencional alternativo.

### **6.3.2.1 Caldera de ACS**

Las calderas de ACS serán 2 de 65 kW variables colocadas en paralelo. El modelo es Firematic 60 T, que admite biomasa hasta con un 20% de humedad y presenta un rendimiento de 92%. Admite alimentación continua desde el silo.

En cuanto a la forma de uso, el precio y las características se mantiene lo dicho en el apartado anterior.

#### **6.3.2.2 Grupo de calderas de calefacción**

Las calderas de calefacción serán 2, del modelo Biofire biocontrol 600 de la casa Herz. Tienen una potencia modulable de 180 a 600 kW, lo que proporciona al sistema flexibilidad para adaptarse a la demanda. Se considera su rendimiento 0,94 de acuerdo al fabricante y que puede admitir biomasa con un 30% de humedad. El modelo tiene las mismas prestaciones que el de menor potencia. El precio de esta caldera es 125369 €.

#### **6.3.2.3 Calderas de apoyo**

De acuerdo con la bibliografía consultada es necesario disponer de un grupo de apoyo de combustible distinto a la biomasa en previsión de posibles dificultades en el suministro, averías...

Para la instalación este grupo será una caldera de Gasóleo-C con el 65% de la potencia máxima intradiaria instalada. La caldera y el depósito se instalarán en un edificio anexo alejado de la planta principal. Se utilizará una caldera de 500 kW, como la del apartado anterior, y una de 100 kW de 32000 €.

### **6.3.3 Elección de caldera y características en función de la hipótesis 3**

De la observación de esta gráfica se deduce, para la hipótesis 3:

- Es conveniente la instalación de por lo menos dos calderas diferenciadas. Una de ellas suministrará ACS en un circuito abierto y aislado y tendrá una potencia de 50 kW. La otra tendrá una potencia de por lo menos 450 kW y funcionará estacionalmente para satisfacer las demandas de calefacción.
- La generación de potencia se fraccionará en tres escalones, pudiendo funcionar la instalación a partir de tres calderas en paralelo que funcionen según la demanda. Los tres grupos tendrían 100 kW, 150 kW y 200 kW respectivamente.
- Las necesidades de almacenamiento serán muy diferentes a lo largo del año, requiriéndose gran cantidad de biomasa almacenada a principios del invierno y una cantidad menor en los últimos meses del año.

### **6.3.4 Elección de caldera y características en función de la hipótesis 2**

De la observación de esta gráfica se deduce, para la hipótesis 2:

- Es conveniente la instalación de por lo menos dos grupos de calderas diferenciadas.
- La generación de potencia se fraccionará en escalones.
- Las necesidades de almacenamiento serán muy diferentes a lo largo del año, requiriéndose gran cantidad de biomasa almacenada a principios del invierno y una cantidad menor en los últimos meses del año.

- Será necesario un grupo de apoyo de un combustible convencional alternativo.

#### **6.3.4.1 Caldera de ACS**

Las calderas de ACS serán una de 65 kW y otra de 20 kW variables colocadas en paralelo. Los modelos son Firematic 60 T y Firematic 20 T respectivamente, que admiten biomasa hasta con un 20% de humedad y presentan un rendimiento de 92%. Admite alimentación continua desde el silo.

En cuanto a la forma de uso y las características se mantiene lo dicho en el apartado anterior.

#### **6.3.4.2 Grupo de calderas de calefacción**

Las calderas de calefacción serán 3, del modelo Biofire biocontrol 400 de la casa Herz. Tiene una potencia modulable de 180 a 400 kW, lo que proporciona al sistema flexibilidad para adaptarse a la demanda. Se considera su rendimiento 0,94 de acuerdo al fabricante y que puede admitir biomasa con un 30% de humedad. El modelo tiene las mismas prestaciones que los de menor potencia.

#### **6.3.4.3 Calderas de apoyo**

De acuerdo con la bibliografía consultada es necesario disponer de un grupo de apoyo de combustible distinto a la biomasa en previsión de posibles dificultades en el suministro, averías...

Para la instalación este grupo será una caldera de Gasóleo-C con el 65% de la potencia máxima intradiaria instalada. La caldera y el depósito se instalarán en un edificio anexo alejado de la planta principal. Se utilizará una caldera de gasoil de 250 kW, con un precio de 56000 €.

#### **6.3.5 Elección de caldera y características en función de la hipótesis 4**

De la observación de esta gráfica se deduce, para la hipótesis 4

- La demanda es demasiado baja como para poder plantear si quiera una instalación de estas características. Se recomienda utilizar una caldera individual tipo residencial para cada consumidor.

## 7 Estudio de viabilidad económica

Para poder llevar a cabo un estudio de viabilidad económica se recurrirá a un análisis VAN acompañado del análisis de los umbrales de rentabilidad para la explotación.

Los costes vendrán determinados por el presupuesto aproximado, el coste del combustible y los plazos de los préstamos a pagar cada mes.

Los ingresos vendrán del precio del kWh que se pueda cobrar a cada cliente, siendo función de la hipótesis y del número de abonados, y de la diferencia entre el precio del kWh por biomasa y procedente del gasóleo C para los edificios públicos alimentados.

### 7.1 Presupuesto aproximado

A continuación se presentan el capítulo del presupuesto que concierne a la instalación de District Heating. Se han construido teniendo en cuenta las indicaciones encontradas en la bibliografía, AGUASOL. Guía básica de redes de calor y frío. *Ed. Institut català d' Energí, Generalitat de Catalunya, 2011*, y datos obtenidos a través del CYPE. En cuanto al valor de los otros capítulos, se determinaría a partir del documento citado como porcentaje del coste de inversión de la instalación.

Tabla 7-1. Capítulo del presupuesto correspondiente al District heating adaptado para reflejar los costes variables según la hipótesis

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO (€/unidad)	IMPORTE (€)
PRESUPUESTO	m2 Acondicionamiento de tierra por medios mecánicos. Desbroce y acondicionamiento de la parcela.			
Capítulo 02 District Heating.				
Subcapítulo 03.01 Obra civil y movimiento de tierras				
03.01.01				
		15000	1,23	18450
03.01.02	m Ejecución de zanjas, tendido de tubos y elaboración de arquetas para district heating. Incluye ripado de pavimento, excavación con retroexcavadora, de retirada de tierra con medios mecanizados, tendido de tubos y relleno posterior de zanjas con áridos, dispuestos para ser base de carretera.			
		3473/2300	18	62514/41400
03.01.03	m2 Pavimentación de calles afectadas con medios mecánicos			
		10419/6900	7,45	77621,55/51405
03.01.05	Ejecución de los edificios de subestaciones y de reparto			

		33/26/8	350	11150/9100/2800
03.01.06	Ejecución de nave de tratamiento y adquisición de equipos, incluidos silos y sistemas de alimentación			
	1	285000/199500/114000	285000	
Subcapítulo 03.02 Fontanería	Bombas. Se considera el total de bombas instaladas			
03.02.01				
	1	1	2278,38	
03.02.02	Intercambiadores. Este valor se adaptará para el resto de hipótesis; se consigue reduciendo el número de subestaciones de tipo individual en función del número de consumidores enganchados.			
	1	153750	123750/95500/30000	
03.02.04	m Tuberías preaisladas PEX de diversos diámetros			

		3473/2300/23 00	24	83352/55200/55200
03.02.05	Calderas. Se suman el total de todas las calderas según los precios dados por el calculador de precios, que incluyen instalación y mano de obra. Este concepto varía según la hipótesis. Aquí se han recogido las tres posibilidades.			
		1	--	526103/382738/188178

## 7.2 Valoración inicial

La primera valoración se establece en función de una comparación de la energía potencial existente en forma de biomasa (considerada humedad y eficiencia de recogida) y la demanda que alimenta el district heating con objeto de determinar el coste derivado de la explotación.

Tabla 7-2 Valoración inicial de las distintas hipótesis desde el punto de vista energético

Hipótesis	Energía demandada kWh anual	Energía disponible por biomasa (anual)	Exceso
1	5124423,733	26938097,5	21813673,8
2	37513,35	7482804,86	7445291,5
3	14723,33	2078556,9	2063833,58
4	5593,10	577376,918	571783,815

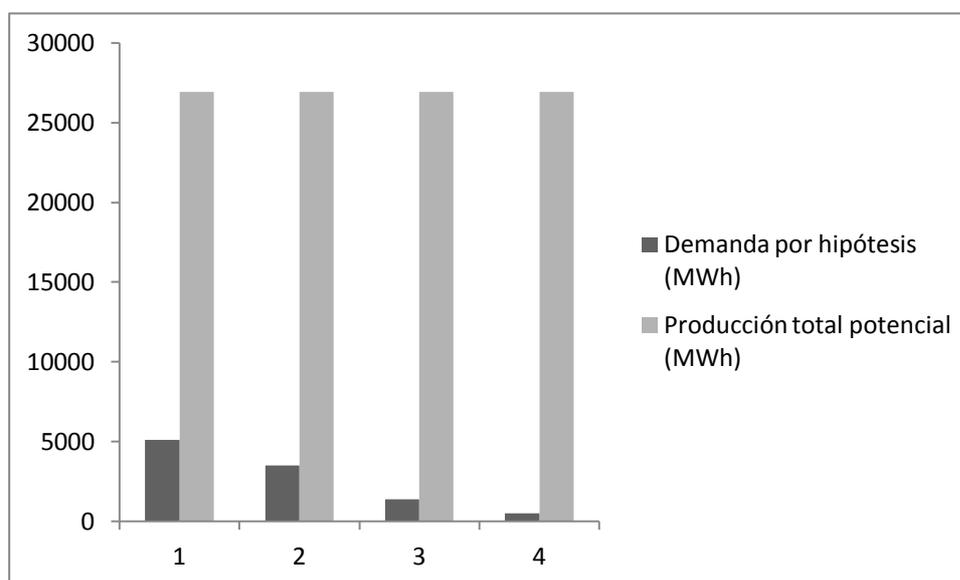


Figura 7-1.- Producción y demanda según hipótesis

Esta primera valoración permite acotar el rango de producción de biomasa necesario para hacer que la instalación funcione. Se supondrá, para estar del lado conservativo, que se explota un 30% por encima de la biomasa estrictamente necesaria cada año. Se hará, así mismo, dando prioridad a aquellas masas que tengan itinerarios silvícolas más baratos según los datos presentados.

Tabla 7-3 Biomasa a extraer según la hipótesis

Hipótesis	Energía demandada kWh anual	Toneladas a obtener
1	5124,423733	2413,07069
2	3488,74	1642,83462
3	1369,27	644,783612
4	520,16	244,94058

### 7.3 Determinación del coste total del combustible, según la hipótesis

#### 7.3.1 Coste de extracción total de la biomasa necesaria para cada hipótesis

Se ha considerado un coste medio imputable igual al generado por el Quercus Pyrex. Aunque también hay otras especies, este es el más numeroso y evita entrar en conflicto con especies de gran valor ecológico de la zona como el pino.

Tabla 7-4.- Coste del kWh para el explotador

Hipótesis	Energía demandada MWh anual	Energía disponible por biomasa (anual)	exceso	Toneladas a obtener	Coste total (€)	€/kWh
1	5124,42	26938,10	21813,67	2622,90	612080,63	0,12
2	3488,74	26938,10	23449,36	1785,69	416708,57	0,12
3	1369,27	26938,10	25568,83	700,85	163550,77	0,12
4	520,16	26938,10	26417,94	266,24	62129,71	0,12

#### 7.3.2 Evaluación preliminar de la viabilidad

Para poder evaluar la viabilidad de cada especie se debe encontrar un valor de € por kWh más afinado que el que proporciona la tabla anterior. Para ello se deben contar todos los costes anuales derivados del uso de la explotación. Estos costes anuales se han calculado de la siguiente manera:

- Los costes por intereses derivan de la financiación. Se ha supuesto que se piden dos préstamos a bancos, el primero a 12 años sobre el 40% de la inversión inicial, con un interés del 7,5%; el segundo a 8 años sobre 10% de la inversión inicial, con un interés del 15%. El coste de las mensualidades se minora al suponerse una subvención del 15% para la instalación.
- Los costes de mantenimiento y explotación se han estimado a partir de la información contenida en AGUASOL. Guía básica de redes de calor y frío. Ed. Institut català d'Energia, Generalitat de Catalunya, 2011.
- El PCI y precio del Gasóleo C se ha obtenido de la página web de Repsol.
- Para calcular el precio en €/kW se ha dividido el total del coste para atender la demanda con un determinado combustible entre los kWh que se deben cubrir.

Tabla 7-5.- Evaluación preliminar del coste por kWh

Costes/Ingresos (€)	Hipotesis 1	Hipotesis 2	Hipotesis 3
Total de inversión	1743769,59	1578899,84	1355155,84
Financiación	1133450,23	236834,976	203273,38
Coste por intereses anual	87551,76	79273,9293	68040,12
Coste anual de combustible	612080,63	416708,57	163550,77
Coste de mantenimiento	52313,08	47366,9951	40654,68
Coste explotación	100	70	40
Demanda	5124420	3488740	1369270
Coste para atender la demanda con gasoleo C	558200,72	368390,11	122438,65
Ahorro en euros por consumo de organismos publicos	30988,20	30988,20	30988,20
Facturación mínima para cubrir gastos	0,14	0,16	0,08
Facturación del kWh con calefacción de gasoleo al 85% de rendimiento	0,11	0,11	0,09

A la vista del análisis previo se concluye que para estas condiciones, solo la hipótesis tres tiene beneficios, aunque estos ascenderán a 51244 €.

El cálculo del VAN y del TIR para la hipótesis es necesario si se quiere conocer el valor de la inversión y cómo de fiable es. Llegados a este punto por tanto, se puede afirmar que el district heating puede ser una opción viable

Este apartado debería haberse desarrollado más en profundidad, barajando diversas hipótesis en función de diferentes modelos de financiación y naturaleza del promotor: particular con dinero, asociación con más capital inicial, administración... que actuarían sobre las fuentes de financiación reduciendo el precio del kWh.

Así mismo, sería conveniente analizar diversas hipótesis de secado por ser este un parámetro muy influyente en el precio final.

## 8 Conclusiones

- La planta de District heating se presenta como una posibilidad cierta, eso sí, bajo determinadas circunstancias. Se puede ver que es muy susceptible de variar en función de la naturaleza de la financiación, el grado de aproximación de la instalación y del coste del combustible. Así mismo, una variable que no ha sido valorada, el secado, puede jugar un papel muy importante en la rentabilidad por su influencia sobre el PCS. Otros aspectos técnicos como un recuperador pueden mejorar sustancialmente el rendimiento de la explotación.
- La zona de influencia de la explotación presenta potencial de explotación para biomasa siempre y cuando esta sea consumida en un ámbito local para operaciones de climatización. Desde el punto de vista de la industria maderera o eléctrica, la productividad no es suficiente.
- Los pellets quedan descartados como opción de explotación: el coste de extracción de la biomasa es demasiado elevado como para llevar a cabo una valorización posterior. Las briquetas, por otro lado, pueden ser una opción viable.
- Debido a la magnitud de las aproximaciones no es posible tomar este trabajo como antecedente serio que justifique un proyecto de la magnitud de un district heating. Sin embargo, el potencial que muestra sí puede ser tomado como argumento para llevar a cabo un estudio detallado que, tomando este mismo documento como guía, establezca su viabilidad de manera más aproximada.
- Del apartado 7 se infiere que se deben considerar varios escenarios de financiación antes de descartar por completo el district heating como opción para Puebla. Sin embargo, por falta de tiempo no se ha podido abordar un análisis más profundo,
- Los cálculos de los parámetros relacionados con el district heating se han desarrollado demasiado en profundidad. Se ha malgastado tiempo teniendo en cuenta que el resultado se aproxima mucho a los valores que aparecen en diversas guías. La aproximación del combustible, no obstante, es necesaria.
- Para realizar un análisis de esta envergadura con un mínimo de precisión es necesario un equipo de varios profesionales, conocimientos, tiempo y acceso a datos y medios.
- Existe bibliografía gratuita de gran calidad que tomar como guía en el desarrollo de este tipo de evaluaciones

## 9 Problemas encontrados

Durante la realización de este estudio se han encontrado ciertas dificultades que han comprometido la calidad de la información así como su exactitud; los principales se detallan a continuación:

- Disponibilidad de la cartografía; a pesar de la gran variedad de recursos online disponible y de que existen múltiples plataformas públicas que los alojan, ha sido imposible encontrar una versión descargable del atlas forestal español escala 1:50000. Además, la dirección WMS que habría permitido visionar esta cartografía en un visor profesional (como el programa Global Mapper, considerado ideal por el autor de este proyecto para la tarea a acometer) redirige a un servidor sobresaturado que no proporciona dato alguno. Por otro lado, los visores de mapas online son útiles para una comprobación puntual, pero imprecisas (error grosero) e ineficaces para procesar un gran volumen de datos como el necesario para la realización de este trabajo. Estos mismos visores tampoco están exentos de problemas, dado que de entre los cinco utilizados, tan solo el de la junta de Castilla y León es capaz de proporcionar acceso a datos útiles para este proyecto.
- Falta de tiempo; en la línea de la falta de medios, un estudio de esta índole que quiera ofrecer un mínimo de precisión necesita más tiempo del que se dispone para un trabajo fin de grado, en especial si quien lo realiza es nuevo en la materia.
- Falta de experiencia; el tema a tratar, sobre el que se lleva investigando desde 1880, es muy extenso y presenta un escalón que ha sido duro de superar.
- Falta de medios; para llevar a cabo un estudio de esta magnitud y dotarlo de la precisión que exige una inversión como la planteada, es necesario contar con medios técnicos y humanos. En el caso de la demanda, por ejemplo, la precisión en la estimación de la de la misma es fundamental, ya que condicionará el dimensionamiento de la caldera. Con los medios al alcance del autor, en lo que respecta a la obtención de datos, no se puede realizar una estimación mínimamente precisa de la demanda dado que sería necesario auditar las viviendas una a una. Por otro lado, una inversión de estas características debería ir acompañada por un estudio de la dimensión y precisión que ofrecen publicaciones como el Informe Final de Recursos Leñosos para Usos Energéticos, publicado por la Junta de Castilla y León, en el que se utiliza la metodología WISDOM para caracterizar la biomasa de la zona con precisión y garantías de sostenibilidad.

## **10 Anexo**

## 10.1 Tablas para el cálculo

### 10-1 Muestra de la tabla Valores para el cálculo

Estrato	Estado	Polygon	SUPERFICIE	Clase	Subclase	Especie	CD	NPies	ABas	VCC	VSC	IAVC	VLE	Altitud	Orientación	Pendiente
14	23	377996	311,969504	A	4	071	10	254,648124	1,66412498	4,09883362	3,24822095	0,31550289	0,55743228	8	3	4
14	23	377996	311,969504	A	4	071	15	159,155078	2,70658749	10,8302697	9,50107225	0,4868661	1,07881148	8	3	4
14	23	377996	311,969504	A	4	071	20	127,324062	3,45892497	11,4241233	10,1262905	0,59768867	1,50782077	8	3	4
14	23	377996	311,969504	A	4	071	25	99,029826	4,56655279	19,5740381	17,5870157	0,74167183	2,20393719	8	3	4
14	23	377996	311,969504	A	4	071	30	42,441354	3,00171665	12,2700554	11,0751646	0,45628361	1,57065126	8	3	4
14	23	377996	311,969504	A	4	071	35	28,294236	2,79851389	11,5825292	10,4727689	0,39803535	1,55957228	8	3	4
14	23	377996	311,969504	A	4	071	45	5,092962	0,855625	4,03503786	3,67072396	0,10505325	0,52735952	8	3	4
14	23	377996	311,969504	A	4	071	55	5,092962	1,258884	4,32861136	3,94136794	0,13207966	0,83520201	8	3	4
14	23	377996	311,969504	A	4	071	70	5,092962	2,334784	13,9382561	12,8122943	0,15901529	1,74265967	8	3	4

## 10.2 Glosario

Para facilitar la comprensión al lector se ha incluido un glosario de términos técnicos ajenos a la ingeniería de minas utilizados en este trabajo:

### Definiciones relativas al District heating:

**Central de generación:** punto en el que se lleva a cabo la producción de calor o frío. De esta manera pueden eliminarse los equipos individuales en los puntos de consumo, ya sean viviendas o edificios, al mismo tiempo que es posible disponer de tecnologías con mejor eficiencia energética como la cogeneración, el uso de calor residual o las energías renovables (biomasa, solar, geotermia), equipos más eficientes por factor de escala y gestionados profesionalmente.

**Red de tuberías de distribución:** la red de tuberías que permite la distribución de los fluidos está formada principalmente de tubos aislados para minimizar las pérdidas térmicas. Mediante agua — antiguamente también vapor—, se transporta la energía hasta los usuarios, donde se cede el calor a los puntos de consumo enfriando el fluido, en el caso de las redes de calefacción (o bien se absorbe el calor de los puntos de consumo, es decir, se calienta el fluido, en el caso de redes de refrigeración). La red también dispone de un circuito de retorno a la central. Habitualmente, las tuberías se distribuyen en zanjas subterráneas que siguen el trazado de las calles en zonas urbanas.

**Subestaciones:** la transferencia térmica entre la red de distribución y los consumidores (edificios o viviendas) se realiza a través de una subestación formada por un intercambiador y los elementos que regulan y controlan que el funcionamiento sea el correcto, así como los elementos de medición para facturar las energías.

### Definiciones obtenidas del tercer Inventario Forestal Nacional (IFN3):

**Ecuaciones de Cubicación:** son una herramienta para cubicar un árbol en pie a partir de magnitudes de sencilla medición sin necesidad de apearlo, como su diámetro normal (es decir, a la altura del pecho o 1,3 m) y su altura total. En la fase de cálculo del Inventario Forestal se emplean ecuaciones de cubicación y crecimiento distintas para cada Territorio Histórico. En el caso de León son las mismas que las utilizadas en 1996.

**Volumen Con Corteza (VCC):** parámetro que forma parte de las ecuaciones de cubicación. Indica el volumen maderable del fuste principal, desde la base hasta el diámetro mínimo de 7,5 cm, excluidas las ramas.

**Volumen sin corteza (VSC):** parámetro que forma parte de las ecuaciones de cubicación. Indica el volumen maderable del fuste principal pero descontando la parte correspondiente a la corteza.

**Volumen de leñas (VLE):** parámetro que forma parte de las ecuaciones de cubicación. Indica el volumen aportado por las ramas hasta un diámetro mínimo de 7,5 cm

**Incremento Anual de Volumen con Corteza (IAVC):** parámetro que forma parte de las ecuaciones de cubicación. Autodescriptivo. Varía en función de cada parcela y árbol y tiene en cuenta un periodo de varios años para su determinación.

**Uso forestal:** Es la parte de la superficie terrestre ocupada por especies vegetales espontáneas y su zona de influencia con similar actuación humana. También comprende las plantaciones poco diversificadas de especies forestales arbóreas, sean autóctonas o alóctonas, siempre que la intervención humana sobre ellas sea infrecuente y laxa, pero **excluye** las tratadas como cultivos, es decir con intervención frecuente y considerable, para la obtención de frutos, elementos decorativos, hojas, compuestos químicos, flores, plantas de jardinería o varas (y en el futuro biomasa), más próximas a los sistemas agrícolas que a los forestales, así como los parques urbanos aunque estén arbolados, jardines botánicos y viveros forestales fuera de los montes.

**Monte Arbolado:** Terreno poblado con especies forestales arbóreas como manifestación vegetal dominante y con una fracción de cabida cubierta por ellas igual o superior al 20%; el concepto incluye las dehesas de base cultivo o pastizal con labores siempre que la fracción de cabida cubierta arbolada sea igual o superior al 20%. También comprende los terrenos con plantaciones monoespecíficas o poco diversificadas de especies forestales arbóreas, sean autóctonas o alóctonas, siempre que la intervención humana sea débil y discontinua, pero excluye las tratadas como cultivos, es decir con intervención frecuente y considerable, para la obtención de frutos, elementos decorativos, hojas, compuestos químicos, flores, plantas de jardinería o varas (y en el futuro biomasa), más próximas a los sistemas agrícolas que a los forestales, así como los parques urbanos aunque estén arbolados, los árboles sueltos, los bosquetes de cabida menor de 0,25 ha, las alineaciones de pies de anchura menor de 25 m y las riberas arboladas con especies autóctonas o asilvestradas de estructura irregular, origen natural y gran biodiversidad.

**Monte Arbolado Ralo:** terreno poblado con especies arbóreas como manifestación botánica dominante y con una fracción de cabida cubierta por ellas comprendida entre el 10 y el 20 por ciento; también terreno con especies de matorral o pastizal natural como manifestación vegetal dominante, pero con una presencia de árboles forestales importante cuantificada por una fracción de cabida cubierta arbórea igual o superior al 10% e inferior al 20%, incluyéndose aquí dehesas de base cultivo cuando la fracción de cabida cubierta forestal esté entre el 10 y el 20 por ciento; puede en algunos casos, cuando la importancia de la manifestación botánica no esté muy clara, solaparse con el concepto MONTE ARBOLADO, pero cede ante éste cuando la fracción de cabida cubierta alcance el 20%. Excluye también los mismos terrenos descartados en la definición de monte arbolado.

**Monte Arbolado Disperso:** Terreno ocupado por especies arbóreas como presencia vegetal dominante y con una fracción de cabida cubierta por dichas especies entre el 5 y el 10 por ciento; igualmente espacio de tierra conteniendo matas, malezas y herbazales naturales como fenómenos botánicos preponderantes, pero con una manifestación de árboles forestales que cubran una fracción de cabida cubierta sobre el suelo igual o superior al 5% y menor del 10%. Las dehesas con base cultivo no se clasificarán dentro de este grupo aunque la fracción de cabida cubierta de los árboles esté entre el 5 y el 10 por ciento, pues la importancia del uso agrícola anula prácticamente a los demás. Prescinde igualmente de las mismas manifestaciones arbóreas excluidas en la definición de monte arbolado.

**Monte Temporalmente Desarbolado:** Terreno que en el pasado cercano era monte arbolado y que actualmente está desprovisto de árboles pero que, casi con seguridad, en el futuro próximo volverá a estar cubierto de ellos.

**Monte Desarbolado.-** Terreno poblado con especies de matorral o/y pastizal natural o con débil intervención humana como manifestación vegetal dominante con presencia o no de árboles forestales, pero en todo caso con la fracción de cabida cubierta por éstos inferior al 5% (damos por supuesto que no puede haber terrenos con especies forestales arbóreas dominantes de una fracción de cabida cubierta inferior al 5%).

**Monte sin Vegetación Superior:** Terreno que se encuentra en los mismos parajes de uso forestal que los anteriores y que, teóricamente, podría ser monte arbolado o desarbolado pero que, debido a las circunstancias actuales de suelo, de clima o de topografía, no está poblado por vegetales superiores (pteridofitas y espermafitas) aunque sí podría estarlo por vegetales inferiores (talofitas y briofitas) o aparecer sin cubierta vegetal alguna.

**Árboles Fuera del Monte:** Este concepto comprende las riberas pobladas de árboles que no sean plantaciones situadas fuera de los montes o sin estar estructuradas con ellos, los bosquetes de menos de 2.500 m<sup>2</sup> de cabida, las alineaciones de especies arbóreas o arbustivas de anchura menor de 25 m y los árboles sueltos situados sobre algún terreno de uso forestal.

**Complementos del Bosque:** Dentro de los montes arbolados e íntimamente unidos con los ecosistemas citados anteriormente, existen unos terrenos, en general de poca extensión, que no siendo bosques están al servicio de ellos y no tendrían sentido por sí solos (pistas forestales, cortafuegos, parques de madera, viveros temporales, construcciones forestales, pequeños claros, ...). Pueden variar tanto cuantitativa como cualitativamente en el tiempo y su tendencia natural es a integrarse en el bosque y poblarse de árboles, arbustos y matorrales. Su evaluación es compleja y en muchos casos se incluyen en la superficie de bosque al hacer los inventarios.

### **Caracterización estructural de las poblaciones arbóreas**

Son los indicadores que sirven para interpretar los aspectos estáticos y dinámicos de la vegetación al ser considerados los sistemas forestales arbóreas como un recurso natural renovable. El conocimiento estructural de dichos sistemas permitirá comprenderlos mejor, aproximarnos a su funcionamiento y, consecuentemente, establecer con más precisión sus potencialidades y sus restricciones, al objeto de fijar los objetivos de desarrollo sostenible, de persistencia y de estabilidad de los sistemas forestales. La estructura se define en distintas subcategorías: espacial, específica, temporal, etc. La Estructura espacial, por ejemplo, hace referencia a la disposición de la vegetación en el espacio de forma que muestra las condiciones ecológicas y de gestión del territorio. Estas subcategorías a su vez se definen por indicadores propios de cada una. Así, la subcategoría Estructura espacial se define a partir de indicadores como la fracción de cabida cubierta de la vegetación arbórea y la distribución espacial.

### 10.3 Figuras usadas para el cálculo

Presión externa: 1 atm = 101 325 Pa

Temperatura °C	Densidad kg / m <sup>3</sup>	Temperatura °C	Densidad kg / m <sup>3</sup>	Temperatura °C	Densidad kg / m <sup>3</sup>
0 (hielo)	917,00	33	994,76	67	979,34
0	999,82	34	994,43	68	978,78
1	999,89	35	994,08	69	978,21
2	999,94	36	993,73	70	977,63
3	999,98	37	993,37	71	977,05
4	1000,00	38	993,00	72	976,47
5	1000,00	39	992,63	73	975,88
6	999,99	40	992,25	74	975,28
7	999,96	41	991,86	75	974,68
8	999,91	42	991,46	76	974,08
9	999,85	43	991,05	77	973,46
10	999,77	44	990,64	78	972,85
11	999,68	45	990,22	79	972,23
12	999,58	46	989,80	80	971,60
13	999,46	47	989,36	81	970,97
14	999,33	48	988,92	82	970,33
15	999,19	49	988,47	83	969,69
16	999,03	50	988,02	84	969,04
17	998,86	51	987,56	85	968,39
18	998,68	52	987,09	86	967,73
19	998,49	53	986,62	87	967,07
20	998,29	54	986,14	88	966,41
21	998,08	55	985,65	89	965,74
22	997,86	56	985,16	90	965,06
23	997,62	57	984,66	91	964,38
24	997,38	58	984,16	92	963,70
25	997,13	59	983,64	93	963,01
26	996,86	60	983,13	94	962,31
27	996,59	61	982,60	95	961,62
28	996,31	62	982,07	96	960,91
29	996,02	63	981,54	97	960,20
30	995,71	64	981,00	98	959,49
31	995,41	65	980,45	99	958,78
32	995,09	66	979,90	100	958,05

Figura 10-1.- Tabla de densidad del Agua en función de la temperatura

LOGSTOR tubería de District Heating preaislada					
Tipo de tubería	Diámetro, Ø mm	Valor de lambda garantizado W/mK	Con barrera a la difusión	Propiedades del aislamiento constantes	Ventajas resumidas
Single pipes Proceso Axial Tubería Single en barras, producción en continuo	26.9 – 219.1	0.023	Si	Si	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tecnología de producción en continuo que proporciona las mejores propiedades en eficiencia térmica</li> <li>Disponible en 3 espesores de aislamiento térmico: Serie 1, 2 y Serie 3 para aplicaciones excepcionalmente difíciles</li> <li>Incorpora barrera a la difusión de gases celulares que previene el deterioro de las propiedades aislantes</li> <li>Barrera a la difusión de gases celulares opcional en tuberías de gran diámetro</li> <li>Disponible con tuberías de servicio de acero</li> <li>Se pueden utilizar todos los tipos de kit de empalmes</li> </ul>
Single pipes Proceso Espiral Tubería Single en barras, producción en continuo	323.3 – 1219	0.026	Opcional	Opcional	<ul style="list-style-type: none"> <li>Disponible en 3 espesores de aislamiento térmico: Serie 1, 2 y Serie 3 para aplicaciones excepcionalmente difíciles</li> <li>Disponible con tuberías de servicio de acero y cobre. Otros materiales opcionales.</li> <li>Se pueden utilizar todos los tipos de kit de empalmes</li> </ul>
Single pipes Tubería Single en barras, producción tradicional	26.9 – 1219	0.027	No	No	<ul style="list-style-type: none"> <li>Disponible en 3 espesores de aislamiento térmico: Serie 1, 2 y Serie 3 para aplicaciones excepcionalmente difíciles</li> <li>Disponible con tuberías de servicio de acero y cobre. Otros materiales opcionales.</li> <li>Se pueden utilizar todos los tipos de kit de empalmes</li> </ul>
TwinPipe Tubería Twin pipe en barras, producción en continuo	26.9 – 114.3	0.023	Si	Si	<ul style="list-style-type: none"> <li>Proporciona las mejores propiedades en eficiencia térmica</li> <li>Disponible en 2 espesores de aislamiento térmico: Series 1 y 2 para aplicaciones excepcionalmente difíciles</li> <li>Incorpora barrera a la difusión de gases celulares que previene el deterioro de las propiedades aislantes</li> <li>Disponible con tuberías de servicio de acero y cobre</li> <li>Requiere menores trabajos de excavación y número de kits de empalme</li> </ul>
TwinPipe Tubería Twin pipe en barras, producción tradicional	26.9 – 219.1	0.027	No	No	
FlexPipe Tubería Single, flexible	15 – 110	0.022	Si	Si*	<ul style="list-style-type: none"> <li>Disponible en 3 espesores de aislamiento térmico: Serie 1, 2 y Serie 3 para aplicaciones excepcionalmente difíciles</li> <li>Incorpora barrera a la difusión de gases celulares que previene el deterioro de las propiedades aislantes</li> <li>Barrera de difusión estándar en las tuberías FlexPipes – las pérdidas térmicas son mayores en dimensiones reducidas</li> <li>Disponible con tuberías de servicio de acero, PEX, multicapa o cobre</li> </ul>

Figura 10-2.- Características comerciales de las tuberías preaisladas

León	T <sub>med</sub>	3,1	4,4	6,6	8,6	12,1	16,4	19,7	19,1	16,7	11,7	6,8	3,8
	HR <sub>med</sub>	81	75	66	63	60	57	52	53	60	72	78	81

Figura 10-3.-Temperaturas medias por mes en León, fuente: MINETUR

Máquina	Coste horario (€/h)	Adquisición (€)	Mantenimiento y reparaciones (%)	Subvenciones (%)	Tipo interés (%)	Seguros (%)
Motosierra	20,56	1.000	25	25	4	5
Cosechadora	83,44	300.506	25	25	4	5
Multitaladora	78,68	290.000	25	25	4	5
Tractor recogedor	40,41	62.500	25	25	4	5
Tractor agrícola	41,06	68.000	25	25	4	5
Autocargador	76,25	180.000	25	25	4	5
Astilladora en cargadero	137,77	450.759	25	25	4	5
Trituradora en cargadero	92,41	240.000	25	25	4	5
Empacadora	109,17	420.708	25	25	4	5
Astilladora en parque	86,53	200.000	25	25	4	5

Máquina	Coste horario (€/h)	Adquisición (€)	Mantenimiento y reparaciones (%)	Subvenciones (%)	Tipo interés (%)	Seguros (%)
Trituradora en parque	110,54	250.000	25	25	4	5
Grúa cargadora en parque	57,97	150.000	25	25	4	5
Astilladora móvil	137,77	450.759	25	25	4	5

Figura 10-4.- Diversos costes de maquinaria forestal (masas existentes) definido en la herramienta para el cálculo; fuente: IDAE

Mano de obra	Coste horario (€/h)
Peón especializado motosierra	16,17
Peón auxiliar	13,86
Jefe de cuadrilla	15,87
Maquinista	19,55

Figura 10-5.- Coste horario de mano de obra definido en la herramienta para el cálculo; fuente: IDAE.

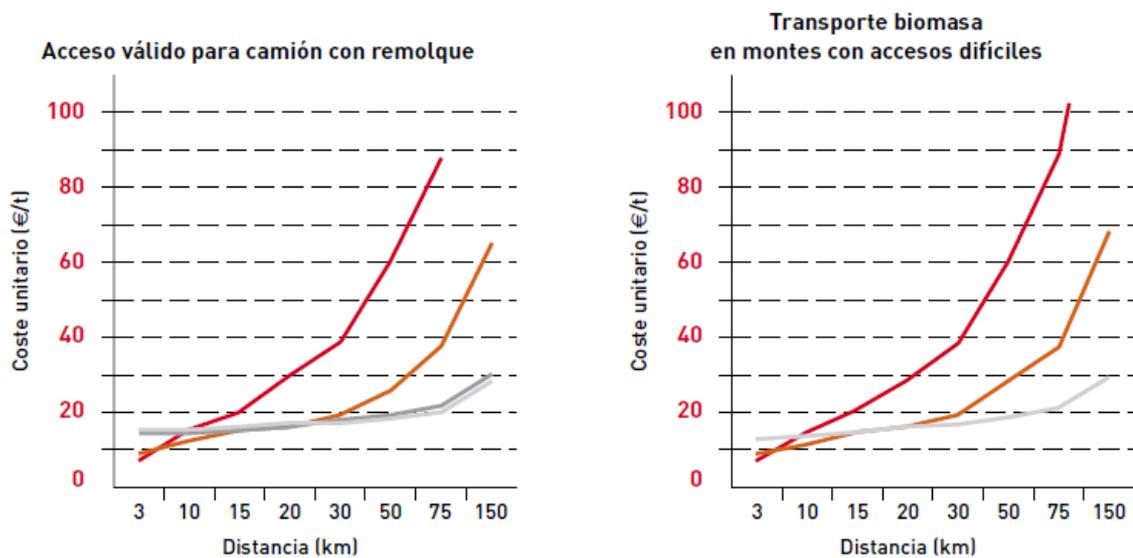


Figura 10-6.-Gráfico para la determinación del coste en función de la distancia para distintos medios de transporte; fuente: IDAE

Material	Coste transporte							Coste carga-descarga			Coste final (€/t)
	Máquina	Carga nacional (t húmedas)	Coste horario (€/h)	Distancia media (km)	Velocidad media (km/h)	Coste (€/km)	Coste (€/t)	Tiempo de carga descarga (h)	Coste pala cargadora (€/h)	Coste carga y descarga (€/t)	
Residuos	Camión rígido	6,33	68,16	60,00	52,00	1,14	12,44	0,42	57,97	8,31	20,74
	Tráiler	9,06	81,92	60,00	52,00	1,37	10,43	0,62	57,97	9,52	19,95
	Camión remolque	12,65	71,05	60,00	52,00	1,18	6,48	0,83	57,97	8,50	14,98
	Piso móvil	12,98	82,41	60,00	52,00	1,37	7,33	0,53	57,97	5,77	13,10
Árbol completo	Camión rígido	7,38	68,16	60,00	52,00	1,14	10,66	0,47	57,97	7,98	18,65
	Tráiler	10,54	81,92	60,00	52,00	1,37	8,97	0,70	57,97	9,29	18,26
	Camión remolque	14,75	71,05	60,00	52,00	1,18	5,56	0,83	57,97	7,29	12,85
	Piso móvil	22,90	82,41	60,00	52,00	1,37	4,15	0,56	57,97	3,42	7,58
Astillado	Camión rígido	13,50	68,16	60,00	52,00	1,14	5,83	0,25	57,97	2,34	8,16
	Tráiler	19,21	81,92	60,00	52,00	1,37	4,92	0,33	57,97	2,43	7,35
	Camión remolque	22,00	71,05	60,00	52,00	1,18	3,73	0,42	57,97	2,44	6,17
	Piso móvil	24,50	82,41	60,00	52,00	1,37	3,88	0,42	57,97	2,39	6,27
Empacado	Camión rígido	17,00	68,16	60,00	52,00	1,14	4,63	0,32	57,97	2,35	6,98
	Tráiler	22,00	81,92	60,00	52,00	1,37	4,30	0,38	57,97	2,44	6,73
	Camión remolque	22,00	71,05	60,00	52,00	1,18	3,73	0,42	57,97	2,44	6,17
	Piso móvil	24,50	82,41	60,00	52,00	1,37	3,88	0,45	57,97	2,58	6,46
Triturado	Camión rígido	15,75	68,16	60,00	52,00	1,14	4,99	0,27	57,97	2,14	7,13
	Tráiler	22,00	81,92	60,00	52,00	1,37	4,30	0,33	57,97	2,12	6,42
	Camión remolque	22,00	71,05	60,00	52,00	1,18	3,73	0,42	57,97	2,44	6,17
	Piso móvil	24,50	82,41	60,00	52,00	1,37	3,88	0,42	57,97	2,39	6,27
Promedio						1,26	5,89	Promedio		10,32	

Figura 10-7.- Costes medios de transporte considerados en el cálculo; fuente IDAE

Operaciones	Maquinaria	Productividad (Th/h)	Fuente
Apeo	Manual (solo apeo)	$60/(6,37+0,45/V)^*$	FAO
	Multitaladora (solo apeo)	Para $8 < d < 15$ $0,049 \cdot d^2,174$	Tolosana et al.
		Para $d > 15$ $1,45 \cdot d - 15,2$	
	Cosechadora	$1,17 \cdot d - 6,5$	Tolosana et al.
Astillado saca calle	Astilladora sobre autocargador	7,14	Tolosana et al.
Empacado saca calle	Empacadora	3,68	Tolosana et al.
Saca pacas	Tractor agrícola	$19,51+5C+M0/1.200$	
	Autocargador	$25,08+30C+M0/1.800$	
Reunión manual (clareos)	Manual	1,67*	FAO
Reunión mecanizada	Tractor recogedor	0,12 ha/h (también se puede expresar como $V_{corta} \cdot 0,12$ )	Tolosana
Saca a cargadero	Tractor agrícola	$-0,01Dd+10,06$	Tolosana et al.
	Autocargador	$-0,014 \cdot Dd + 14,37$	Tolosana et al.
Transporte árbol entero	Camión rígido	$6,1/(0,42+\sum Ti/vi)$	Tolosana et al.
	Camión remolque	$14,4/(0,83+\sum Ti/vi)$	Tolosana et al.
	Tráiler	$10,3/(0,7+\sum Ti/vi)$	Tolosana et al.

Figura 10-8.- Definición de los rendimientos para distintos sistemas lógicos; fuente: IDAE

Transporte residuo entero	Autocargador	$5/(0,15+\sum Ti/20)$	Tolosana et al.
	Camión rígido	$7,2/(0,47+\sum Ti/vi)$	Tolosana et al.
	Camión remolque	$14,4/(0,83+\sum Ti/vi)$	Tolosana et al.
	Trailer	$10,3/(0,7+\sum Ti/vi)$	Tolosana et al.
Astillado cargadero	Astilladora	16,5	Tolosana et al.
	Trituradora	31,6	Tolosana et al.

Figura 10-9.- (continuación) Definición de los rendimientos para distintos sistemas lógicos; fuente: IDAE

Operaciones	Maquinaria	Productividad (Th/h)	Fuente	
Transporte astilla	Camión rígido	$15,75/(0,27+\sum Ti/vi)$	Tolosana et al.	
	Camión remolque	$22/(0,42+\sum Ti/vi)$	Tolosana et al.	
	Tráiler	$22/(0,33+\sum Ti/vi)$	Tolosana et al.	
	Piso móvil	$24,5/(0,42+\sum Ti/vi)$	Tolosana et al.	
Empacado cargadero	Empacadora	10	Tolosana et al.	
Transporte pacas	Camión rígido	$17/(0,32+\sum Ti/vi)$	Tolosana et al.	
	Camión remolque	$22/(0,42+\sum Ti/vi)$	Tolosana et al.	
	Tráiler	$22/(0,38+\sum Ti/vi)$	Tolosana et al.	
Astillado residuo en parque	Astilladora	Restos	30	Tolosana et al.
		Árbol completo	35	
	Trituradora	Restos	20	Tolosana et al.
		Árbol completo	25	
Astillado de pacas en parque central	Astilladora parque	40	Tolosana et al.	
	Trituradora parque	30	Tolosana et al.	
Refinado parque	Astilladora	40	Tolosana et al.	
	Trituradora	35	Tolosana et al.	

Figura 10-10.- (continuación) Definición de los rendimientos para distintos sistemas lógicos; fuente: IDAE

Modelo	Longitud (m)	Superficie (m²)	Conexión lado camisa	Conexión lado tubos	Caudal máx. lado camisa (m³/hr)	Caudal máx. lado tubos (m³/hr)	Volumen lado camisa (l)	Volumen lado tubos (l)
MI 7 76/18	3,0-6,0	2,3	2"	2"	16	13	14,4	8,3

Figura 10-11.- Características del intercambiador comercial sobre modelo de 6m de longitud; fuente: HRS

## 10.4 Especies arbóreas acompañadas de su código GIS

Tabla 10-2.- Tabla de especies dominantes con su código GIS

Código	Nombre científico	Sinonimias	Nombre vulgar
21	<i>Pinus sylvestris</i>		Pino silvestre
25	<i>Pinus nigra</i>	<i>Pinus laricio</i> . <i>Pinus clusiana</i>	Pino laricio
26	<i>Pinus pinaster</i>	<i>Pinus maritima</i>	Pino pináster
41	<i>Quercus robur</i>	<i>Quercus pedunculata</i>	Roble pedunculado
42	<i>Quercus petraea</i>	<i>Quercus sessiliflora</i>	Roble
43	<i>Quercus pyrenaica</i>	<i>Quercus toza</i>	Rebollo
45	<i>Quercus ilex</i>	<i>Quercus rotundifolia</i>	Encina
50	Mezcla de árboles		Árboles ripícolas
58	<i>Populus nigra</i>		Chopo
65	<i>Ilex aquifolium</i>		Acebo
71	<i>Fagus sylvatica</i>		Haya
73	<i>Betula spp.</i>		Abedul
78	<i>Sorbus spp.</i>		Sorbus
258	<i>Populus canadensis</i> x	<i>Populus euroamericana</i> x	Chopo híbrido

## 10.5 Planos

## Índice de planos

Localización	1
Detalle de los sistemas de almacenamiento y alimentación de biomasa	2
Detalle de los sistemas de alimentación y almacenamiento	3
Red de distribución de ACS y Calefacción	4
Zonificación de las hojas MTN 104 y 79 para el cálculo del precio de la biomasa	5

## 11 Lista de referencias

- [1]. AGUASOL. Guía básica de redes de calor y frío. Ed. Institut català d'Energia, Generalitat de Catalunya, 2011. Disponible en: [http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_20110502\\_Guia\\_Basica\\_Redes\\_de\\_Calor\\_y\\_de\\_Frio\\_ES\\_5e18b14a.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_20110502_Guia_Basica_Redes_de_Calor_y_de_Frio_ES_5e18b14a.pdf)
- [2]. Alberdi S., Saura S. y Martínez, FJ. El estudio de la biodiversidad en el tercer inventario forestal nacional. Sociedad Española de Ciencias Forestales, 2005. Disponible en: <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Dialnet-ElEstudioDeLaBiodiversidadEnElTercerInventarioFore-2981908.pdf>
- [3]. Aranzada GF, Cabrera M, Vera A y Cornejo JM. Evaluación potencial de la energía de la biomasa. Instituto para la Diversificación y ahorro de la energía IDAE, 2011. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/89252863/Evaluacion-Del-Potencial-de-La-Energia-de-La-Biomasa>
- [4]. Área de Banco de Datos e Inventario Patrimonial. Servicio de Inventario Nacional. Segundo Inventario Forestal Nacional. Explicaciones y Métodos. 1986-1995. Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 1990. Disponible en: [http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/explicaciones\\_y\\_m%C3%A9todos\\_tcm7-171562.pdf](http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/explicaciones_y_m%C3%A9todos_tcm7-171562.pdf)
- [5]. Área de Inventario y Estadísticas Forestales. Resumen provincial del valor económico y la renta anual de la superficie forestal arbolada según la metodología del IFN3. Subdirección general de inventario del patrimonio natural y la biodiversidad. Dirección general de medio natural y política forestal. Agosto 2011. Disponible en: <http://www.marm.es/es/biodiversidad/servicios/banco-de-datos-biodiversidad/informaciondisponible/ifn3.aspx>
- [6]. Baumgrass, John E. Biomass yields from Allegheny hardwood thinning. *Forest service research paper* 1980. Disponible en: [http://www.fs.fed.us/ne/newtown\\_square/publications/research\\_papers/pdfs/scanned/OCR/ne\\_rp466.pdf](http://www.fs.fed.us/ne/newtown_square/publications/research_papers/pdfs/scanned/OCR/ne_rp466.pdf)
- [7]. Bioenergía. Guía práctica nº 7. CENER, 2011. Disponible en: <http://www.modernavarra.com/wp-content/uploads/Bioenergia.pdf>
- [8]. Biomasa. Experiencias con biomasa agrícola y forestal para uso energético. Instituto para la Diversificación y ahorro de la energía IDAE; 2008. Disponible en: [http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_10980\\_Biomasa\\_experiencias\\_A2008\\_A\\_3acc6e67.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10980_Biomasa_experiencias_A2008_A_3acc6e67.pdf)
- [9]. Bravo F, Del Río M, Del Peso C. El Inventario Forestal Nacional. Fundación General de la Universidad, Valladolid, 2002.
- [10]. *Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón. Estudio sobre la funcionalidad de la vegetación leñosa de Aragón como sumidero de CO<sub>2</sub>: existencias y potencialidad (estimación cuantitativa y potencialidad (estimación cuantitativa y predicciones de fijación) Dirección General de Calidad Ambiental y Cambio Climático del Departamento de Medio Ambiente del Gobierno de Aragón. Diciembre 2008.* Disponible en:

- [11]. [http://www.aragon.es/estaticos/GobiernoAragon/Departamentos/MedioAmbiente/Areas/03\\_Cambio\\_climatico/06\\_Proyectos\\_actuaciones\\_Emisiones\\_GEI/estudio.pdf](http://www.aragon.es/estaticos/GobiernoAragon/Departamentos/MedioAmbiente/Areas/03_Cambio_climatico/06_Proyectos_actuaciones_Emisiones_GEI/estudio.pdf)
- [12]. COFELY .Guía integral de desarrollos de proyectos de redes de distrito de calor y frío. Institut català d'Energia, Generalitat de Catalunya, 2012. Disponible en: [http://www.adhac.es/Priv/ClientsImages/AsociacionPerso6\\_1338538783.pdf](http://www.adhac.es/Priv/ClientsImages/AsociacionPerso6_1338538783.pdf)
- [13]. Drigo R, Campanero, Rodríguez F y Broto M. Wisdom Castilla y León. Evaluación de recursos leñosos para usos energéticos. Informe final. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), 2009. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/012/i1320s/i1320s01.pdf>
- [14]. Edwards K, Sheyvens H and Stephenson J. Community based forest biomass monitoring. Institute for Global Environmental Strategies (IGES); 2014. Disponible en: [http://pub.iges.or.jp/modules/envirolib/upload/4999/attach/IGES\\_CBFBM\\_Manual\\_reduced.pdf](http://pub.iges.or.jp/modules/envirolib/upload/4999/attach/IGES_CBFBM_Manual_reduced.pdf)
- [15]. Energía de la biomasa. Instituto para la Diversificación y ahorro de la energía IDAE, 2007. Disponible en: <http://www.idae.es/index.php/idpag.233/reلمenu.321/mod.pags/mem.detalle>
- [16]. Francés RS, de Castro CO, Pedrosa AQ Variables de influencia en la productividad de biomasa de matorral en la mancomunidad de El Alto Jarama-Atazar. Boletín del CIDEU 5: 53-65, 2008. Disponible en: [file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Dialnet-VARIABLESDeInfluenciaEnLaProductividadDeBiomasaDeM-2718827%20\(4\).pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Dialnet-VARIABLESDeInfluenciaEnLaProductividadDeBiomasaDeM-2718827%20(4).pdf)
- [17]. Francescato V, Antonini E y Zuccoli L. Manual de combustibles de madera. AVEBIOM, Valladolid, 2008. Disponible en: [http://www.cederprodese.org/CederProdese/documents/COMBUSTIBLES\\_BTC\\_Handbook\\_Espa%3%B1ol\\_Completo.pdf](http://www.cederprodese.org/CederProdese/documents/COMBUSTIBLES_BTC_Handbook_Espa%3%B1ol_Completo.pdf)
- [18]. Gil, L., y Torre, M. Atlas Forestal Castilla y León. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Castilla y León. Valladolid; 2007. Disponible en: [http://www.jcyl.es/web/jcyl/binarios/330/642/AtlasForestal\\_CastillayLeon\\_Bloque3.pdf?blobheader=application%2Fpdf%3Bcharset%3DUTF-8&blobheadername1=Cache-Control&blobheadername2=Expires&blobheadername3=Site&blobheadervalue1=no-store%2Cno-cache%2Cmust-revalidate&blobheadervalue2=0&blobheadervalue3=JCYL\\_MedioAmbiente&blobnocache=true](http://www.jcyl.es/web/jcyl/binarios/330/642/AtlasForestal_CastillayLeon_Bloque3.pdf?blobheader=application%2Fpdf%3Bcharset%3DUTF-8&blobheadername1=Cache-Control&blobheadername2=Expires&blobheadername3=Site&blobheadervalue1=no-store%2Cno-cache%2Cmust-revalidate&blobheadervalue2=0&blobheadervalue3=JCYL_MedioAmbiente&blobnocache=true)
- [19]. Grupo Tragsa, Tragsatec. Especial Biomasa Forestal. La Cadena Monte-energía: una nueva oportunidad de desarrollo. Disponible en: <http://www.tragsa.es/es/comunicacion/noticias/Documents/ESPECIAL%20BIOMASA%202007.pdf>
- [20]. Grupo Tragsa, Tragsatec. Tercer Inventario Forestal Nacional. Descripción de los códigos de la Base de datos de SIG. Disponible en: [http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/Documentador\\_BDSig\\_IFN3\\_tcm7-158348.pdf](http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/Documentador_BDSig_IFN3_tcm7-158348.pdf)

- [21]. Grupo Tragsa, Tragsatec. Tercer Inventario Forestal Nacional. Descripción de los códigos de la Base de datos de campo. Disponible en: [http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/Documentador\\_BDCAMPO\\_IFN3\\_tcm7-217971.pdf](http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/Documentador_BDCAMPO_IFN3_tcm7-217971.pdf)
- [22]. Guía práctica para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Comisión Interdepartamental del Cambio Climático. Generalitat de Catalunya, 2011. Disponible en: [http://www20.gencat.cat/docs/canviclimatic/Home/Politiques/Politiques%20catalanes/La%20mitigacio%20del%20canvi%20climatic/Guia%20de%20calcul%20demissions%20de%20CO2/120301\\_Guia%20practica%20calcul%20emissions\\_rev\\_ES.pdf](http://www20.gencat.cat/docs/canviclimatic/Home/Politiques/Politiques%20catalanes/La%20mitigacio%20del%20canvi%20climatic/Guia%20de%20calcul%20demissions%20de%20CO2/120301_Guia%20practica%20calcul%20emissions_rev_ES.pdf)
- [23]. Guía técnica. Instalaciones de biomasa térmica en edificios. Instituto para la Diversificación y ahorro de la energía IDAE, Madrid, 2009. Disponible en: [http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_10920\\_Instalaciones\\_Biomasa\\_Term\\_edificios\\_2009\\_b6fe691f.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10920_Instalaciones_Biomasa_Term_edificios_2009_b6fe691f.pdf)
- [24]. [1] Lamas Sivila, E. análisis y propuesta de un nuevo método de simulación abreviado para la certificación energética en edificios residenciales)
- [25]. López C., Espinosa, J., Bengoa Mtz de Mandojana, J. Mapa de vegetación de Castilla y León. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Castilla y León.; 2009. Disponible en: [http://www.jcyl.es/web/jcyl/MedioAmbiente/es/Plantilla100/1284162386111/\\_/\\_/](http://www.jcyl.es/web/jcyl/MedioAmbiente/es/Plantilla100/1284162386111/_/_/)
- [26]. Maquinaria agrícola y forestal. Instituto para la Diversificación y ahorro de la energía IDAE, Madrid, 2007. Disponible en: [http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_10737\\_Biomasa\\_maquinaria\\_07\\_4c8e40bd.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10737_Biomasa_maquinaria_07_4c8e40bd.pdf)
- [27]. Martínez, P. Biomasa residual forestal en la dehesa. Área forestal, Diputación de Salamanca, 2013. Disponible en: <http://www.dipsanet.es/fomento/salamancaenergetica/fasell/DEHESA.pdf>
- [28]. Martínez, P. Biomasa residual vegetal (arbórea) potencial procedente de tratamientos selvícolas de terrenos forestales. Área de Fomento, Diputación de Salamanca, 2013. Disponible en: <http://www.dipsanet.es/fomento/salamancaenergetica/fasell/FORESTAL.pdf>
- [29]. Mateos, E. y col. Estimación de la biomasa residual procedente de la gestión forestal en Bizkaia. Departamento de Ingeniería química Medio Ambiente UPV/EHI; 2012. Disponible en: <http://www.ingeba.org/lurralde/lurranet/lur35/35edeso.pdf>
- [30]. Miranda de, Bruno. Instalaciones de biomasa. BDM. A Coruña; 2010. Disponible en: <http://www.ingenierosindustriales.com/wp-content/uploads/downloads/2011/05/03.-Instalaciones-de-Biomasa.pdf>
- [31]. Picardo, A y Bengoa, J. Tercer Inventario Forestal Nacional (1997 - 2006) Castilla y León. Dirección General del Medio Natural. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Castilla y León, 2007. Disponible en: [http://www.jcyl.es/web/jcyl/binarios/1012/766/IFN3\\_DatosRegionalesCyL\\_Parte\\_1.pdf?blobheader=application%2Fpdf%3Bcharset%3DUTF-](http://www.jcyl.es/web/jcyl/binarios/1012/766/IFN3_DatosRegionalesCyL_Parte_1.pdf?blobheader=application%2Fpdf%3Bcharset%3DUTF-)

[8&blobheadername1=Cache-Control&blobheadername2=Expires&blobheadername3=Site&blobheadervalue1=no-store%2Cno-cache%2Cmust-revalidate&blobheadervalue2=0&blobheadervalue3=JCYL\\_MedioAmbiente&blobnocache=true](#)

- [32]. Proyecto SECH-SPAHOUSEC. Análisis del consumo energético del sector residencial en España. Informe final. Secretaría General, Departamento de Planificación y Estudios. Instituto para la Diversificación y ahorro de la energía IDAE, 2011. Disponible en:  
[http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos\\_Informe\\_SPAHOUSEC\\_ACC\\_f68291a3.pdf](http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos_Informe_SPAHOUSEC_ACC_f68291a3.pdf)
- [33]. Rodríguez, F. y Broto, M. cubiFOR. Ecuaciones de volumen comercial para las principales especies maderables de Castilla y León. Centro de Servicios y promoción forestal y de su Industria de Castilla y León, 2010. Disponible en:  
<http://www.pfcyl.es/documento/cubifor-ecuaciones-de-volumen-comercial-para-las-principales-especies-maderables-de-castil>