



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA



**ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES**

**Departamento de Ingeniería Mecánica, Térmica y de Fluidos**

**Área de Máquinas y Motores Térmicos**

# **PROYECTO/TRABAJO FIN DE MÁSTER**

**Modelo de Viabilidad Técnico-Económico de Redes  
de Calor con Calderas de Biomasa en Entornos  
Rurales**

**Máster en Ingeniería Industrial**

**Autor: Andreu Riudavets Ramos**

**Tutor: JIMÉNEZ NAVARRO, JUAN PABLO**

**Cotutor**

**MÁLAGA, 30. junio de 2025**



# Modelo de Viabilidad Técnico-Económico de Redes de Calor con Calderas de Biomasa en Entornos Rurales

**Autor:** Riudavets Ramos, Andreu

**Tutor:** Jiménez Navarro, Juan Pablo

**Departamento:** Energética

**Titulación:** Máster en Ingeniería en Tecnologías Industriales

**Palabras clave:** redes de calor; biomasa; entornos rurales; sostenibilidad energética; eficiencia energética; viabilidad económica; energías renovables.

## Resumen

El presente Trabajo de Fin de Máster tiene como objeto analizar la viabilidad técnica, económica y ambiental de la implementación de redes de calor con calderas de biomasa en entornos rurales, utilizando un modelo simplificado para su prediseño.

Para ello, se estudia la demanda térmica de una comunidad rural tipo, se evalúa la disponibilidad y costes de la biomasa como fuente de energía frente a fuentes no renovables, y se simulan diferentes escenarios de implantación para determinar la viabilidad económica del sistema, los costes asociados y el impacto en la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>.

Para la estimación de costes, se tomarán como referencia proyectos reales de redes de biomasa ya implementados, lo que permitirá obtener valores más precisos en términos de inversión inicial, operación y mantenimiento.

El trabajo busca proporcionar una herramienta de evaluación que pueda servir de base para la toma de decisiones en proyectos reales, fomentando el uso de energías renovables en zonas rurales.

# Techno-economic assessment model for biomass-based district heating networks in rural areas

**Author:** Riudavets Ramos, Andreu

**Supervisor:** Jiménez Navarro, Juan Pablo

**Department:** Energética

**Degree:** Máster en Ingeniería en Tecnologías Industriales

**Keywords:** district heating networks; biomass; rural environments; energy sustainability; energy efficiency; economic feasibility; renewable energy.

## Abstract

This Master's Thesis aims to analyze the technical, economic, and environmental feasibility of implementing district heating networks powered by biomass boilers in rural areas, utilizing a simplified model for the pre-design of this type of project.

To achieve this, the thermal demand of a typical rural community is studied, the availability and costs of biomass as an energy source is evaluated in comparison to non-renewable sources, and various implementation scenarios are simulated to determine the system's economic viability, associated costs, and impact on CO<sub>2</sub> emissions reduction.

For cost estimation, real biomass district heating projects already implemented will be used as references, allowing for more accurate assessment in terms of initial investment, operation, and maintenance.

This work seeks to provide an assessment tool that can serve as a basis for decision-making in real projects, promoting the use of renewable energy in rural areas.

# Índice

I.	Introducción.....	14
A.	Objetivos del trabajo.....	15
1.	Objetivo General.....	15
2.	Objetivos Específicos .....	15
3.	Objetivos derivados de la implementación.....	15
B.	Justificación del estudio .....	16
II.	Marco teórico.....	17
A.	Redes de Calor con Biomasa en Entornos Rurales .....	17
1.	Componentes Principales de una Red de Calor de biomasa.....	18
2.	Beneficios de las Redes de Calor con Biomasa.....	19
3.	Marco Normativo y Políticas de Fomento.....	19
B.	Biomasa .....	20
1.	Tipos y características.....	20
2.	Proceso de transformación y aprovechamiento .....	21
3.	Ventajas y desafíos frente a otras fuentes de energía.....	21
C.	Economía Circular.....	22
1.	Aplicación de la economía circular en la gestión de biomasa.....	23
2.	Beneficios de la economía circular aplicada al proyecto .....	24
III.	Desarrollo .....	25
A.	Manual de usuario .....	25
1.	Hoja de Introducción de Datos .....	25
2.	Hoja de resultados .....	31
3.	Factores clave para mejorar la viabilidad del proyecto .....	34
B.	Creación del simulador, Manual nivel técnico .....	36
1.	Automatización de la Visualización de Edificios y Piscinas .....	36
2.	Cálculo de resultados hoja entrada de datos edificios .....	39
3.	Cálculo resultados, hoja entrada de Datos Piscinas.....	49
4.	Cálculo de componentes de la red de calor, hoja de resultados.....	53
5.	Presupuestos y consumos .....	58
6.	KPIs Económicos – Comparativa Biomasa vs Electricidad / Gasoil .....	64
7.	KPIs Ambientales – Comparativa Biomasa vs Electricidad / Gasoil .....	65

8.	KPI de Eficiencia Energética – Sistema de Biomasa .....	66
9.	KPI Ambiental–Económico: Relación CO <sub>2</sub> por Euro Invertido .....	66
C.	Creación del presupuesto .....	68
1.	Fuentes del presupuesto .....	68
2.	Estructura de las partidas principales del presupuesto .....	68
IV.	Resultados.....	70
A.	Casos de estudio Ojén .....	71
1.	Comparativa de Potencia Instalada – Simulador vs Proyecto Real.....	72
2.	Comparativa de Consumo Energético y Potencia Pico – Simulador vs Proyecto Real	72
3.	Ahorro según el simulador .....	74
4.	KPIs Económicos .....	74
5.	KPIs Ambientales .....	74
6.	KPIs eficiencia energética .....	75
B.	Casos de estudio Guaró .....	76
1.	Comparativa de Potencia Instalada – Simulador vs Proyecto Real.....	76
2.	Comparativa de Consumo Energético y Potencia Pico – Simulador vs Proyecto Real	77
3.	Ahorro según el simulador .....	79
4.	KPIs Económicos .....	79
5.	KPIs Ambientales .....	79
6.	KPIs eficiencia energética .....	79
C.	Casos de estudio Tolox .....	80
1.	Comparativa de Potencia Instalada – Simulador vs Proyecto Real.....	81
2.	Comparativa de Consumo Energético y Potencia Pico – Simulador vs Proyecto Real	81
3.	Ahorro según el simulador .....	83
4.	KPIs Económicos .....	83
5.	KPIs Ambientales .....	83
6.	KPIs eficiencia energética .....	83
D.	Casos de estudio Monda Estacar .....	84
1.	Comparativa de Potencia Instalada – Simulador vs Proyecto Real.....	84
2.	Comparativa de Consumo Energético y Potencia Pico – Simulador vs Proyecto Real	85

3.	Ahorro según el simulador .....	86
4.	KPIs Económicos .....	86
5.	KPIs Ambientales .....	86
6.	KPIs eficiencia energética .....	86
E.	Casos de estudio Alozaina .....	87
1.	Comparativa de Potencia Instalada – Simulador vs Proyecto Real.....	88
2.	Comparativa de Consumo Energético y Potencia Pico – Simulador vs Proyecto Real	88
3.	Ahorro según el simulador .....	89
4.	KPIs Económicos .....	90
5.	KPIs Ambientales .....	90
6.	KPIs eficiencia energética .....	90
7.	Inclusión de grandes consumidores: caso de la piscina climatizada en Alozaina	90
F.	Casos de estudio Casarabonela.....	93
1.	Comparativa de Potencia Instalada – Simulador vs Proyecto Real.....	93
2.	Comparativa de Consumo Energético y Potencia Pico – Simulador vs Proyecto Real	94
3.	Ahorro según el simulador .....	95
4.	KPIs Económicos .....	95
5.	KPIs Ambientales .....	96
6.	KPIs eficiencia energética .....	96
G.	Casos de estudio El Burgo .....	97
1.	Comparativa de Potencia Instalada – Simulador vs Proyecto Real.....	97
2.	Comparativa de Consumo Energético y Potencia Pico – Simulador vs Proyecto Real	98
3.	Ahorro según el simulador .....	99
4.	KPIs Económicos .....	99
5.	KPIs Ambientales .....	99
6.	KPIs eficiencia energética .....	99
H.	Comparativa General de Resultados Técnico-Económicos.....	100
1.	Potencias consumos y calderas.....	100
2.	Resultados económicos .....	103
3.	Análisis del Payback según consumo energético y potencia instalada .....	105

V.	Conclusiones.....	107
A.	Implicaciones para el diseño y toma de decisiones .....	107
B.	Principales aportaciones del simulador .....	107
C.	Líneas de mejora.....	108
VI.	Bibliografía.....	109
VII.	Anexo 1 Presupuestos.....	112
A.	Estructura del presupuesto.....	112
B.	Ejemplo presupuesto completo.....	113
C.	Justificación de precios y creación del presupuesto variable .....	117
1.	Creación del Presupuesto de la Sala de Calderas .....	118
2.	Calderas .....	118
3.	Acumuladores.....	120
4.	Vasos de expansión.....	121
5.	Intercambiadores de placas:.....	123
6.	Chimenea:.....	126
7.	Cálculo de la distribución de tuberías según la potencia de la caldera.....	127
8.	Cálculo de precios de tuberías según licitación TSA000075212 .....	129
9.	Arquetas de conexión, instalación de accesorios y reposición de servicios afectados. ....	130
10.	Instalación eléctrica: .....	130

## Índice de Tablas

Tabla 1.	Hoja Introducción de datos. Datos generales a introducir por el usuario.....	26
Tabla 2.	Selección de la provincia. ....	26
Tabla 3	Ejemplo introducción de datos de un edificio. ....	27
Tabla 4	Ejemplo introducción de datos de una piscina .....	27
Tabla 5.	Ejemplo como seleccionar el tipo de uso .....	27
Tabla 6	Ejemplo como seleccionar el tipo de aislamiento.....	28
Tabla 7	Ejemplo como seleccionar el tipo de estanquidad.....	28
Tabla 8	Ejemplo como seleccionar horas anuales. ....	30
Tabla 9	Ejemplo caldera asignada de 300kW. ....	31
Tabla 10	Ejemplo estaciones de intercambio asignadas para un único edificio.....	31
Tabla 11	Ejemplo de precios de energía asignados .....	32
Tabla 12.	Ejemplo presupuesto con IVA y sin IVA .....	32

Tabla 13. Ejemplo indicadores de costes de operación en función de la energía utilizada .....	33
Tabla 14. Ejemplo KPIs económicos en función de la energía utilizada.....	33
Tabla 15. Ejemplo KPIs ambientales en función de la energía seleccionada.....	34
Tabla 16. Ejemplo KPIs Eficiencia energética .....	34
Tabla 17. Ejemplo de datos y resultados de un edificio. ....	40
Tabla 18 Tabla de zonas climáticas. ....	42
Tabla 19.E.1. Transmitancia del elemento $[W/m^2K]$ .....	44
<i>Tabla 20.E.2. Transmitancia térmica <math>[W/m^2K]</math>.....</i>	<i>44</i>
Tabla 21. Hoja de aislamiento selección de valores de U .....	45
Tabla 22 Valores de H en función del tipo de uso .....	46
Tabla 23 Resultados precios radiadores.....	49
Tabla 24. Ejemplo de datos y resultados de una piscina .....	49
Tabla 25. Resultados calderas asignadas y consumos .....	54
Tabla 26. Precios de la energía utilizada .....	60
Tabla 27. Coste estimado anual de mantenimiento según potencia y tipo de tecnología	62
Tabla 28. Datos red de calor de Ojén.....	71
Tabla 29. Caldera asignada Ojén .....	72
Tabla 30 Consumos Ojén.....	72
Tabla 31. Consumo Anual de Energía Térmica .....	73
Tabla 32. Consumo Pico o Potencia Nominal Requerida (kW) .....	73
Tabla 33. Presupuesto Ojén .....	74
Tabla 34. Índices Económicos .....	74
Tabla 35 KPIs Ambientales Ojén.....	74
Tabla 36 KPIs eficiencia energética Ojén.....	75
Tabla 37. Datos red de calor de Guaro .....	76
Tabla 38. Caldera asignada Guaro .....	77
Tabla 39 Consumos Guaro .....	77
Tabla 40. Consumo Anual de Energía Térmica (kWh/año).....	78
Tabla 41. Consumo Pico o Potencia Nominal Requerida (kW) .....	78
Tabla 42. Presupuesto Guaro .....	79
Tabla 43. KPIs económicos Guaro .....	79
Tabla 44. KPIs Ambientales Guaro .....	79
Tabla 45 KPIs eficiencia energética Guaro .....	79
<i>Tabla 46. Datos red de calor de Tolox 2.....</i>	<i>80</i>
Tabla 47 Caldera asignada Tolox.....	81
Tabla 48 Consumo Tolox.....	81
Tabla 49. Consumo Anual de Energía Térmica (kWh/año).....	82
Tabla 50. Consumo Pico o Potencia Nominal Requerida (kW) .....	82
Tabla 51. Presupuesto Tolox.....	83
Tabla 52 KPIs Económicos Tolox.....	83
Tabla 53 KPIs Ambientales Tolox .....	83
Tabla 54 KPIs Eficiencia energética Tolox.....	83

Tabla 55 Datos Monda.....	84
Tabla 56 Caldera asignada Monda.....	84
Tabla 57 Consumo Monda.....	85
Tabla 58. Consumo Anual de Energía Térmica (kWh/año).....	85
Tabla 59. Consumo Pico o Potencia Nominal Requerida (kW) .....	85
Tabla 60. Presupuesto Monda.....	86
Tabla 61 KPIs Económicos Monda .....	86
Tabla 62 KPIs Ambientales Monda .....	86
Tabla 63 KPIs eficiencia energética Monda .....	86
<i>Tabla 64. Datos red de calor de Alosaina .....</i>	<i>87</i>
Tabla 65 Caldera asignada Alosaina.....	88
Tabla 66 Consumo Alosaina.....	88
Tabla 67. Consumo Anual de Energía Térmica (kWh/año).....	89
Tabla 68. Consumo Pico o Potencia Nominal Requerida (kW) .....	89
Tabla 69 Presupuesto Alosaina .....	89
Tabla 70 KPIs Económicos Alosaina .....	90
Tabla 71 KPIs ambientales Alosaina .....	90
Tabla 72 KPIs eficiencia energética Alosaina .....	90
Tabla 73. Datos de red de calor de Alosiana incluyendo piscina .....	91
Tabla 74. Resultados red de calor de Alosaina con piscina.....	92
Tabla 75 Datos Casarabonela .....	93
Tabla 76 Caldera asignada Casarabonela .....	93
Tabla 77 Consumo Casarabonela .....	94
Tabla 78. Consumo Anual de Energía Térmica (kWh/año).....	94
Tabla 79. Consumo Pico o Potencia Nominal Requerida (kW) .....	95
Tabla 80 Presupuesto Casarabonela .....	95
Tabla 81 KPIs económicos Casarabonela.....	95
Tabla 82 KPIs ambientales Casarabonela.....	96
Tabla 83 KPIs eficiencia energética Casarabonela.....	96
Tabla 84 Datos El Burgo.....	97
Tabla 85 Caldera asignada El Burgo .....	97
Tabla 86 consumo El Burgo .....	98
Tabla 87. Consumo Anual de Energía Térmica (kWh/año).....	98
Tabla 88. Consumo Pico o Potencia Nominal Requerida (kW) .....	98
Tabla 89 Presupuesto El Burgo.....	99
Tabla 90 KPIs económicos El Burgo.....	99
Tabla 91 KPIs ambientales El Burgo.....	99
Tabla 92 KPIs eficiencia energética El Burgo .....	99
Tabla 93 Comparativa payback en función de consumo y potencia contra la electricidad .....	106
Tabla 94. Datos de un edificio y una piscina asociados al ejemplo de presupuesto.....	114
Tabla 95. Empleo presupuesto completo para una red de calor formada por un edificio y una piscina .....	114

Tabla 96. Resumen Final de Precios Estimados: .....	119
Tabla 97 Precios deposito inercia .....	120
Tabla 98 Precios deposito inercia 2000l .....	120
Tabla 99 Precios deposito inercia 3000l .....	121
Tabla 100 Precios deposito inercia 4000l .....	121
Tabla 101. Resumen Final de Precios Estimados .....	121
Tabla 102 Precios vaso expansión 200l .....	122
Tabla 103 Precios vaso expansión 300l .....	122
Tabla 104 Precios vaso expansión 400l .....	122
Tabla 105 Precios vaso expansión 500l .....	123
Tabla 106 . Precios vaso expansión 600 .....	123
Tabla 107. Tabla Resumen de Precios Estimados: .....	123
Tabla 108 Precios intercambiador de 40 kW .....	124
Tabla 109 Precios intercambiador de 60 kW .....	124
Tabla 110 Precios intercambiador de 80 kW .....	124
Tabla 111 Precios intercambiador de 100 kW .....	124
Tabla 112 Precios intercambiador de 100 kW .....	125
Tabla 113 Precios intercambiador de 150 kW .....	125
Tabla 114 Precios chimenea de 200mm .....	126
Tabla 115 Precios chimenea de 250mm .....	126
Tabla 116 Precios chimenea de 300mm .....	127
Tabla 117 Precios licitación de tuberías .....	129
Tabla 118. Resumen de precios de tuberías en € .....	129
Tabla 119 Presupuesto para instalación eléctrica .....	130

## Índice de Figuras

Figura 1 Comparativa de la potencia de pico del simulador vs proyecto .....	101
Figura 2 Consumo Anual del Simulador VS Proyecto .....	102
Figura 3 ROI en Función de Electricidad y Gasoil .....	103
Figura 4 Payback en Función de Electricidad o Gasoil.....	104

## Índice de Imágenes

Ilustración 1. Economía circular.....	23
---------------------------------------	----

# Índice de Código

Código 1. VBA para la facilitación de selección de edificios y piscinas .....	36
Código 2. VBA para la facilitación de selección de edificios y piscinas .....	37
Código 3. Cálculo de la zona climática en función de la provincia y altitud .....	40

# I. Introducción

La Sierra de las Nieves, situada en la provincia de Málaga, es un espacio natural de alto valor ecológico, cultural y social. Este entorno se caracteriza por la presencia de montes tanto públicos como privados, cada uno enfrentando desafíos específicos en su gestión y mantenimiento.

En los **montes públicos de titularidad municipal**, gestionados por los ayuntamientos de la comarca la escasa rentabilidad económica de la madera, que no alcanza calidad suficiente para usos comerciales y solo es apta como biomasa, desincentiva a los propietarios a invertir en labores de limpieza y gestión forestal. Esta situación contribuye a la acumulación de material vegetal seco, incrementando el riesgo de incendios forestales.

Por otro lado, en los montes bajo la administración del Parque Nacional, aunque existe una obligación legal de mantenerlos en condiciones adecuadas, los recursos financieros disponibles son insuficientes para llevar a cabo las tareas necesarias. Además, la madera extraída de estos montes no puede ser comercializada debido a restricciones legales, lo que obliga a buscar alternativas para su utilización. En muchos casos, la madera termina siendo quemada sin aprovechamiento energético, representando un desperdicio de un recurso con potencial valor energético.

Esta combinación de factores ha llevado a un estado de abandono en numerosos montes de la región, con acumulaciones de árboles caídos, ramas y matorrales secos. Como consecuencia, se han producido incendios forestales que no solo afectan al ecosistema, sino que también representan una amenaza para las comunidades locales y los recursos naturales de la Sierra de las Nieves.

En este contexto, las redes de calor con calderas de biomasa emergen como una alternativa eficiente y sostenible para aprovechar los residuos forestales, generar energía renovable y reducir el riesgo de incendios.

Actualmente, se están desarrollando proyectos reales de redes de calor con calderas de biomasa en varios municipios de la Sierra de las Nieves, en colaboración con la empresa pública TRAGSA y bajo el impulso del proyecto 'Bio+a Málaga'. Según los datos del proyecto BIOMASA impulsado por la Diputación de Málaga (Diputación de Málaga, s.f.),

Este proyecto contempla la instalación de calderas y redes de calor con biomasa para suministrar energía térmica a edificios públicos en municipios como Alozaina, Casarabonela, El Burgo, Guaro, Istán, Monda, Ojén y Tolox. La iniciativa busca reducir en un 80% las emisiones de CO<sub>2</sub> y en más del 50% el gasto anual en calefacción, utilizando astilla forestal procedente de trabajos selvícolas realizados en los montes de la comarca.

Además, se ha aprobado la construcción de un centro de tratamiento de biomasa en Yunquera, con una inversión de 1,6 millones de euros. Este centro contará con un taller forestal para la producción y distribución de astilla, un aula medioambiental y un

laboratorio para estudios científicos y de viabilidad empresarial relacionados con la valorización de subproductos y residuos de biomasa.

Este Trabajo de Fin de Máster se plantea como una oportunidad para recopilar y analizar la información de estos proyectos reales una vez finalizados, y evaluar cómo podrían mejorarse sus resultados mediante la simulación y el uso de un modelo predictivo. Este modelo permitirá optimizar futuros proyectos de redes de calor con biomasa en zonas rurales, aprovechando la experiencia adquirida en la Sierra de las Nieves como caso de estudio real y aplicado.

## A. Objetivos del trabajo

### 1. Objetivo General

Desarrollar y validar un modelo de simulación simplificado que permita analizar la viabilidad técnica, económica y ambiental de redes de calor con biomasa en entornos rurales, tomando como referencia los proyectos en la Sierra de las Nieves.

### 2. Objetivos Específicos

1. **Evaluar la demanda térmica de comunidades rurales** mediante la recopilación y análisis de datos de consumo energético en edificios públicos de la Sierra de las Nieves.
2. **Comparar la biomasa frente a fuentes no renovables**, como la electricidad y el gasoil, en términos de costes operativos, emisiones de CO<sub>2</sub> y eficiencia energética.
3. **Simular diferentes escenarios de implantación y mejora** de redes de calor con biomasa, considerando variables como localización, el tipo de edificios conectados, distancia entre edificios y magnitud de estos.
4. **Estimar los costes de inversión y operación**, así como los beneficios ambientales en términos de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, utilizando datos reales de proyectos implementados en la región.

### 3. Objetivos derivados de la implementación

5. **Fomentar el aprovechamiento sostenible de los residuos forestales** disponibles en los montes públicos, contribuyendo a la gestión forestal activa y a la prevención de incendios.
6. **Generar recursos económicos y empleo local** mediante la creación de una demanda estable de biomasa, incentivando actividades relacionadas con la limpieza y gestión forestal.
7. **Sustituir fuentes de energía no renovables en edificios públicos**, promoviendo la transición hacia modelos energéticos más sostenibles y resilientes en zonas rurales.
8. **Integrar el modelo de economía circular** en la gestión energética de las comunidades rurales, aprovechando los residuos forestales como recurso energético, reduciendo la dependencia de combustibles fósiles y fomentando la sostenibilidad ambiental y económica.

Con todo ello, el trabajo busca generar una herramienta útil para la toma de decisiones en el diseño y mejora de redes de biomasa en zonas rurales, aprovechando la experiencia de los proyectos en la Sierra de las Nieves como caso de estudio real y aplicado.

## B. Justificación del estudio

La implementación de redes de calor con calderas de biomasa en entornos rurales, como la Sierra de las Nieves, presenta una notable complejidad técnica y económica. Esta complejidad se traduce en la necesidad de contar con conocimientos especializados para evaluar adecuadamente la viabilidad de dichos proyectos.

Actualmente, la evaluación de la viabilidad de proyectos de biomasa requiere de estudios detallados que implican tiempo, recursos y conocimientos técnicos avanzados. Esta situación puede limitar la capacidad de los municipios, comunidades rurales y entidades públicas para tomar decisiones informadas sobre la adopción de soluciones energéticas sostenibles.

En este contexto, el desarrollo de un simulador en Excel se presenta como una herramienta accesible y práctica que permite acercar la complejidad de estos proyectos a un nivel usuario. Este simulador está diseñado para que cualquier persona, sin necesidad de conocimientos técnicos avanzados, pueda:

- Simular de forma rápida diferentes escenarios de implementación de redes de calor con biomasa.
- Evaluar la viabilidad técnica, económica y ambiental de los proyectos.
- Analizar diversas variables y condiciones para identificar la opción que mejor se adapte a las necesidades y recursos disponibles.

La utilización de este simulador no solo facilita la toma de decisiones informadas, sino que también promueve la participación de las comunidades en la transición hacia modelos energéticos más sostenibles. Además, al permitir la evaluación de múltiples escenarios, se fomenta la optimización de recursos y la identificación de oportunidades para mejorar la eficiencia y sostenibilidad de los proyectos.

## II. Marco teórico

En esta sección se desarrollan los fundamentos técnicos y normativos necesarios para contextualizar el diseño de redes de calor con biomasa en el ámbito municipal. Se explicarán los principios de funcionamiento de estas redes, las características y ventajas del uso de biomasa como fuente energética, los criterios básicos de dimensionamiento térmico, y el marco regulador que impulsa su implantación a nivel nacional y europeo. Además, se abordarán ejemplos de proyectos relevantes en el territorio español y se introducirá el concepto de economía circular, destacando su relación directa con la valorización energética de los recursos forestales locales y la sostenibilidad de este tipo de infraestructuras.

### A. Redes de Calor con Biomasa en Entornos Rurales

Las redes de calor, también conocidas como district heating, con biomasa son sistemas centralizados de generación y distribución de energía térmica que utilizan biomasa como fuente principal. Estos sistemas son especialmente adecuados para entornos rurales, donde la disponibilidad de residuos forestales y agrícolas es abundante. Además, contribuyen a la gestión sostenible de los recursos naturales y al desarrollo económico local.

En España, la implementación de redes de calor con biomasa ha demostrado ser una solución eficiente y sostenible para la climatización de edificios públicos y privados, especialmente en zonas rurales con acceso a recursos forestales. Sin embargo, el número de redes de distrito existentes sigue siendo limitado en comparación con otros países europeos, donde este tipo de infraestructura energética está mucho más extendida. No obstante, existen casos de éxito que demuestran su viabilidad. Por ejemplo, en municipios como **Portell de Morella** y **Todolella**, en la Comunidad Valenciana, se han instalado redes de calor que abastecen a la totalidad de los edificios públicos y a numerosas viviendas particulares que han decidido conectarse, utilizando astilla de pino como combustible (AVEBIOM, 2022).

Asimismo, en la isla de Tenerife se ha proyectado la construcción del primer centro logístico de biomasa de Canarias, ubicado en Fasnia, dentro del Centro Ambiental de Las Eres (Cabildo de Tenerife, 2023).

Otro caso de éxito es el de la Universidad de Valladolid, que ha implementado una de las redes de calor con biomasa más destacadas de España. Esta red abastece de energía térmica a edificios de los campus Miguel Delibes y Río Esgueva, así como a instalaciones públicas de la Junta de Castilla y León, incluyendo el Hospital Clínico Universitario de Valladolid. Este proyecto, que utiliza biomasa forestal local, se ha consolidado como un referente en sostenibilidad energética universitaria (Universidad de Valladolid, 2022).

Soria, la Red de Calor gestionada por Rebi es pionera en el país, abasteciendo a más de 10.000 personas y diversos edificios públicos y privados (Rebi, s.f.). Utiliza biomasa forestal local, energía solar y recuperación industrial, logrando una significativa reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> y promoviendo la economía circular. Este modelo ha sido replicado en ciudades como Cuenca, donde una nueva central térmica combina biomasa y energía solar para abastecer a miles de viviendas.

En Barcelona, el proyecto Ecoenergies, liderado por Veolia, utiliza biomasa procedente de parques urbanos y bosques cercanos para suministrar energía térmica en áreas como la Marina del Prat Vermell y la Zona Franca. Este sistema demuestra la viabilidad de integrar biomasa en entornos urbanos densamente poblados (Ecoenergies Barcelona, s.f.).

Estos ejemplos destacan el potencial de las redes de calor con biomasa como soluciones sostenibles para la climatización, contribuyendo a la transición energética y al desarrollo económico local.

## 1. Componentes Principales de una Red de Calor de biomasa

Una red de calor con biomasa se compone de varios elementos clave que trabajan en conjunto para proporcionar energía térmica de manera eficiente:

### 1. Central de Generación de Energía Térmica:

- **Función:** Es el núcleo del sistema donde se produce el calor que será distribuido a los usuarios.
- **Características:**
  - Está equipada con calderas de alta eficiencia y sistemas de control avanzados para optimizar la combustión y minimizar emisiones contaminantes.
  - Incluye sistemas de depuración de humos para reducir el impacto ambiental.

### 2. Red de Distribución:

- **Función:** Transporta el calor generado en la central hasta los edificios conectados al sistema.
- **Características:**
  - Consiste en un entramado de tuberías preaisladas térmicamente que minimizan las pérdidas de calor durante el transporte.
  - Generalmente, el fluido caloportador es agua caliente que circula a temperaturas alrededor de 80 °C.
  - La red se compone de dos tuberías principales:
    - **Tubería de impulsión:** Transporta el agua caliente desde la central hacia los edificios.
    - **Tubería de retorno:** Devuelve el agua enfriada a la central para ser recalentada.

### 3. Subestaciones de Intercambio Térmico:

- **Función:** Actúan como puntos de transferencia de calor entre la red de distribución y el sistema interno de calefacción de cada edificio.
- **Características:**
  - Ubicadas en cada uno de los edificios, ocupan un espacio reducido y se integran fácilmente con las instalaciones existentes.

- Utilizan intercambiadores de calor para transferir la energía térmica del agua de la red al circuito interno del edificio sin mezclar los fluidos.
- Están equipadas con sistemas de control que regulan la temperatura y el caudal del agua según la demanda del edificio.
- Permiten una gestión individualizada del consumo energético, facilitando la contabilización y optimización del uso de la energía.

#### 4. Instalaciones Interiores de los Edificios:

- **Función:** Distribuyen y emiten el calor recibido desde la subestación a los diferentes espacios dentro del edificio.
- **Características:**
  - Incluyen sistemas de distribución interna como radiadores, suelo radiante o unidades de tratamiento de aire.
  - Están diseñadas para operar con las temperaturas y caudales proporcionados por la subestación de intercambio.
  - Pueden incorporar sistemas de control individuales, como termostatos, para ajustar la temperatura según las preferencias de los usuarios.

La integración eficiente de estos componentes permite que las redes de calor ofrezcan una solución energética sostenible y rentable, especialmente en entornos rurales donde se pueden aprovechar recursos locales como la biomasa. Además, al centralizar la producción de calor, se facilita el mantenimiento, se reducen las emisiones contaminantes y se mejora la seguridad del suministro energético.

## 2. Beneficios de las Redes de Calor con Biomasa

Los sistemas de calefacción con biomasa ofrecen múltiples beneficios:

- **Económicos:** reducción significativa de los costes energéticos para los usuarios.
- **Ambientales:** disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero y aprovechamiento de residuos forestales.
- **Sociales:** generación de empleo local en actividades relacionadas con la producción y distribución de biomasa.
- **Territoriales:** fomento de la gestión forestal sostenible y prevención de incendios forestales.

## 3. Marco Normativo y Políticas de Fomento

El desarrollo de las redes de calor con biomasa en España está respaldado por diversas políticas y normativas que promueven el uso de energías renovables y la eficiencia energética. Entre ellas se destacan:

- **Pacto Verde Europeo (European Green Deal):** establece la hoja de ruta para que Europa alcance la neutralidad climática en 2050. Promueve explícitamente la sustitución de combustibles fósiles por energías renovables en el sector térmico, impulsando tecnologías como la biomasa, especialmente en zonas rurales.

- **Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030:** establece objetivos para aumentar la participación de energías renovables en el mix energético nacional.
- **Estrategia Española de Bioeconomía:** fomenta el uso sostenible de los recursos biológicos, incluyendo la biomasa forestal, para la producción de energía y otros productos.
- **Ley de Montes:** regula la gestión y aprovechamiento sostenible de los montes y recursos forestales en España.
- **Plan Integral de Energía y Clima de Andalucía (PIECA) 2021-2030:** adapta los objetivos del PNIEC a nivel regional. Fomenta el uso térmico de biomasa en zonas rurales, impulsa el desarrollo de redes de calor renovables y promueve una transición energética justa en el territorio andaluz.
- **Estrategia Andaluza de Bioeconomía Circular:** establece líneas de actuación para la valorización energética de los recursos biológicos disponibles en la región. Incentiva el uso de biomasa residual agrícola y forestal como fuente de energía térmica local.

**Decreto 21/2018, de gestión de la biomasa en Andalucía:** regula el aprovechamiento energético de la biomasa residual, incluyendo su recogida, transporte y tratamiento. Apoya la implantación de redes de calor con biomasa en entornos rurales. Estas políticas buscan incentivar la transición hacia un modelo energético más sostenible y resiliente, especialmente en áreas rurales con abundantes recursos forestales.

## B. Biomasa

La biomasa es una fuente de energía renovable que se obtiene a partir de materiales orgánicos, principalmente de origen vegetal o animal. Su uso para la generación de calor y energía se ha consolidado como una alternativa sostenible frente a los combustibles fósiles, especialmente en regiones con abundantes recursos forestales, como los países del norte de Europa. En estas naciones, la biomasa forestal tiene un alto valor añadido debido a la gestión eficiente de los bosques y la optimización del uso de la madera. Además de aprovechar los restos forestales como astillas o pellets, se prioriza el uso de madera de mayor calidad para otros fines, como la industria maderera y la construcción, maximizando así el rendimiento económico de los recursos forestales.

### 1. Tipos y características

Existen diferentes tipos de biomasa, clasificados según su origen:

1. **Biomasa primaria:** Incluye recursos forestales como ramas, troncos y restos de podas, además de residuos agrícolas. En la Sierra de las Nieves, los bosques

dominados por especies como pinos, encinas y alcornoques constituyen una importante fuente de biomasa primaria.

2. **Biomasa secundaria:** Deriva de subproductos industriales, como serrín, astillas y cortezas.
3. **Biomasa terciaria:** Proviene de residuos urbanos, como restos de poda en zonas urbanizadas o desechos de jardinería.

En la Sierra de las Nieves, los residuos forestales se destacan como la principal fuente aprovechable, ya que representan una solución al problema de acumulación de materia seca en los montes públicos y privados.

## 2. Proceso de transformación y aprovechamiento

El proceso para transformar la biomasa en energía térmica o eléctrica incluye varias etapas:

1. **Recolección:** En áreas forestales, este proceso abarca la recogida de diversos materiales, como troncos caídos, ramas, árboles rotos por causas naturales, pies enfermos y restos generados por labores de clareo y poda. Estas actividades no solo contribuyen al aprovechamiento de la biomasa, sino que también ayudan a mantener la salud y el equilibrio del ecosistema forestal.
2. **Procesamiento:** La biomasa se tritura para convertirla en astillas o pellets, formas más homogéneas y fáciles de transportar. Este proceso reduce la humedad del material y mejora su eficiencia energética.
3. **Almacenamiento y transporte:** Es esencial para garantizar un suministro continuo a las instalaciones.
4. **Transformación en energía:** En sistemas como las calderas de biomasa, el material se quema para generar calor, que puede utilizarse directamente o transformarse en energía eléctrica mediante turbinas.

En Austria, un país con una sólida tradición en gestión forestal, este modelo se ha perfeccionado mediante la implementación de centros logísticos de biomasa. Estos centros aseguran la calidad y disponibilidad del material, optimizando su uso en instalaciones de generación térmica y eléctrica (Haberl et al., 2019). Este enfoque podría replicarse en la Sierra de las Nieves, aprovechando su gran masa forestal para satisfacer la demanda energética local.

## 3. Ventajas y desafíos frente a otras fuentes de energía

### Ventajas:

- **Energía renovable:** La biomasa es una fuente sostenible, siempre que se gestione adecuadamente el recurso forestal (Ellen MacArthur Foundation, 2019).

- **Reducción de residuos:** Su uso disminuye la acumulación de restos forestales que contribuye a la reducción de incendios.
- **Generación local de empleo:** Desde la recolección hasta el mantenimiento de las calderas, la biomasa fomenta el desarrollo económico en zonas rurales.
- **Menores emisiones netas:** Aunque la biomasa produce dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) al quemarse, este es el mismo que el árbol previamente absorbió de la atmósfera durante su crecimiento. Por ello, se considera que el balance de emisiones es neutro, ya que no se agrega nuevo CO<sub>2</sub> al ciclo natural, a diferencia de las energías fósiles que liberan carbono almacenado durante millones de años, incrementando las concentraciones globales de gases de efecto invernadero. Además, en escenarios donde los residuos forestales no se aprovechan, existe un riesgo significativo de incendios, que liberarían este CO<sub>2</sub> de manera descontrolada y sin obtener ningún beneficio energético. El aprovechamiento de biomasa no solo previene estas emisiones “en vano,” sino que también contribuye a convertir un problema en una solución energética sostenible.

#### **Desafíos:**

- **Alta inversión inicial:** La implementación de calderas y centros logísticos requiere un desembolso inicial significativo.
- **Transporte y logística:** En zonas montañosas como la Sierra de las Nieves, el transporte de biomasa puede encarecer el proceso.
- **Gestión forestal sostenible:** Es fundamental evitar una sobreexplotación que degrade los ecosistemas.
- **Competencia con otras fuentes de energía:** Aunque es más sostenible, su eficiencia puede ser menor que la de combustibles fósiles o energías como la solar o eólica.

En la Sierra de las Nieves, la aplicación de sistemas de biomasa no solo resolvería problemas locales de acumulación de material seco, sino que también posicionaría la región como un modelo de sostenibilidad energética. Siguiendo ejemplos como Austria, la creación de infraestructura para la gestión de biomasa podría ser clave para alcanzar estos objetivos.

## **C. Economía Circular**

La economía circular es un modelo de producción y consumo que busca maximizar la eficiencia en el uso de los recursos, minimizando la generación de residuos y fomentando su reintegración en el ciclo productivo (Ellen MacArthur Foundation, 2019). Este enfoque se contrapone al modelo tradicional lineal de “producir-usar-desechar” y se fundamenta en principios como la reducción, reutilización y reciclaje de materiales y energía.

En el sector energético, la economía circular ofrece soluciones innovadoras para aprovechar recursos infrautilizados, como los residuos forestales. Según Kirchherr, Reike y Hekkert (2017), este modelo no solo tiene un enfoque ambiental, sino también económico, al fomentar nuevas cadenas de valor basadas en el reciclaje y la reutilización. La biomasa residual encaja perfectamente en este esquema, al transformar desechos que antes carecían de valor en fuentes sostenibles de energía.



*Ilustración 1. Economía circular*

*Fuente: Servicio de Investigación del Parlamento Europeo.*

## 1. Aplicación de la economía circular en la gestión de biomasa

El uso de biomasa como recurso energético representa una de las aplicaciones más claras de la economía circular en el ámbito forestal y energético. Esta práctica no solo reduce el volumen de residuos acumulados, sino que también crea un impacto positivo al prevenir riesgos ambientales como incendios forestales. Según la Fundación Ellen MacArthur (2019), “la economía circular implica diseñar soluciones regenerativas que extiendan el valor de los materiales a lo largo del tiempo”, lo que aplica directamente al aprovechamiento de residuos como biomasa para la generación de energía.

Un ejemplo notable de este enfoque es el **Centro Logístico de Biomasa en Tenerife**, que actúa como un nodo estratégico para recoger, procesar y distribuir biomasa forestal. Este modelo aprovecha los recursos disponibles de manera eficiente y los pone al servicio de la economía local, fomentando el empleo y garantizando un suministro constante de biomasa para usos energéticos (Cabildo de Tenerife, 2020).

## 2. Beneficios de la economía circular aplicada al proyecto

En el caso de la Sierra de las Nieves, implementar un sistema basado en biomasa residual permitiría, entre otros beneficios:

1. Reducir la acumulación de residuos forestales, disminuyendo el riesgo de incendios.
2. Crear empleo en tareas vinculadas al ciclo de vida de la biomasa: desde la recolección hasta el suministro.
3. Disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero, tanto por la prevención de incendios como por el uso de energías renovables en lugar de combustibles fósiles.
4. Promover la cooperación entre municipios para gestionar recursos comunes bajo principios de economía circular, siguiendo ejemplos como el modelo aplicado en Tenerife.

La reutilización de los residuos forestales como biomasa no solo da una segunda vida a materiales previamente considerados desechos, sino que también conecta la gestión forestal con la generación de energía sostenible, cerrando un ciclo en el que ambos sectores se refuerzan mutuamente.

### III. Desarrollo

Antes de presentar los manuales de usuario y técnico del simulador desarrollado en este Trabajo de Fin de Máster, es fundamental contextualizar su origen y propósito. Este simulador ha sido concebido como una herramienta práctica para evaluar la viabilidad técnica, económica y ambiental de redes de calor con biomasa en entornos rurales, tomando como referencia los proyectos implementados en la Sierra de las Nieves (Málaga).

La creación del simulador se basa en la recopilación y análisis de datos reales obtenidos de los proyectos ejecutados en municipios como Alozaina, Casarabonela, El Burgo, Guaro, Istán, Monda, Ojén y Tolox. Estos proyectos, impulsados por la Diputación de Málaga en colaboración con la empresa pública TRAGSA.

El simulador ha sido desarrollado en Excel, integrando fórmulas y algoritmos que permiten modelar diferentes escenarios de implementación de redes de calor con biomasa. Su diseño intuitivo facilita el uso por parte de técnicos municipales, ingenieros u otros interesados con o sin conocimientos en redes de calor con biomasa para evaluar proyectos similares, sin necesidad de realizar estudios complejos o contratar consultorías especializadas.

A continuación, se presentan dos manuales complementarios: el **Manual de Usuario**, que guía al usuario en la utilización práctica del simulador, y el **Manual Técnico**, que detalla la estructura interna, las fórmulas utilizadas y las bases de datos incorporadas, proporcionando una comprensión profunda de su funcionamiento y capacidades.

#### A. Manual de usuario

Este manual proporciona una guía paso a paso para utilizar el simulador de redes de calor con biomasa, desde la introducción de datos hasta la interpretación de resultados técnicos, económicos y ambientales.

Está diseñado para facilitar la toma de decisiones técnicas y políticas sobre la implantación de redes térmicas en municipios, de forma visual, rápida y comprensible incluso para usuarios sin perfil técnico.

##### 1. Hoja de Introducción de Datos

La hoja de Introducción de Datos constituye el punto de partida del simulador, donde el usuario introduce los parámetros necesarios para calcular la demanda térmica y dimensionar el sistema de biomasa. Su diseño distingue claramente las **celdas de entrada** y las **celdas de resultados** con un código de color:

- **Celdas en verde:** Áreas editables donde el usuario introduce los datos de cada proyecto.

- **Celdas en gris:** Resultados generados automáticamente por el simulador a partir de las fórmulas implementadas.

La hoja se estructura en **tres bloques principales**:

a) *Bloque 1: Datos Generales del Proyecto*

En este apartado, el usuario debe introducir los datos básicos del entorno y las características del proyecto:

Tabla 1. Hoja Introducción de datos. Datos generales a introducir por el usuario.

<b>Provincia</b>	Málaga
<b>Altitud del municipio</b>	427
<b>Numero de edificios</b>	0
<b>Número de piscinas</b>	0
<b>Temperatura de calefacción de los edificios</b>	20

- **Localización (ciudad y altitud).**

- Seleccionar del desplegable la provincia de España en la que se encuentra el municipio:

Tabla 2. Selección de la provincia.

<b>Provincia</b>	Málaga
<b>Altitud del municipio</b>	León
<b>Numero de edificios</b>	Lleida
<b>Número de piscinas</b>	Logroño
<b>Temperatura de calefacción de los edificios</b>	Lugo
	Madrid
	<b>Málaga</b>
	Melilla
	Murcia
	Ourense
	Oviedo
	Palencia
	Palma de Mallorca

- Introducir la Altitud a la que se encuentra el municipio. Ejemplo: Monda se encuentra a 427 m

- **Número total de edificios:**

Al introducir el número de edificios se desplegará un segundo bloque con la cantidad de edificios a instalar en el cual el usuario deberá rellenar los datos solicitados. Si disminuimos la cantidad de edificios introducidos, se borrarán automáticamente los datos de los edificios sobrantes. Ejemplo: si hemos introducido los datos de 3 edificios y luego cambiamos a 2, el tercero se borrará automáticamente.

Tabla 3 Ejemplo introducción de datos de un edificio.

Edificio 1			
Datos		Resultados	
Tipo de Uso		Zona climática	C1
Aislamiento		HDH	46.975,60
Estanquidad		U (W/m²K)	0,00
Superficie Total a calefactar (m²)		H	0,00
Superficie de radiadores a instalar		Consumo de calefacción (kWh/m²año)	0,00
Tuberías hasta el edificio conectado más cercano (m)		Potencia nominal (Kw)	0,00
		Consumo anual (kWh/año)	0,00
		Precio de la instalación Radiadores €	0,00

- Número total de piscinas a analizar:

Al introducir el número de piscinas se desplegará un segundo bloque con la cantidad de piscinas a calefactar donde se deberá rellenar los datos solicitados.

Tabla 4 Ejemplo introducción de datos de una piscina

Piscina Climatizada 1			
Datos		Resultados	
Ancho (m)		Superficie (m²)	0,00
Largo (m)		Volumen (m³)	0,00
Profundidad Media (m)		Pérdida (kW/m²)	1,00
Ubicación		Potencia Nominal (kW)	0,00
Temperatura (°C)		Consumo de calefacción (kWh/m²año)	0,00
Horas Anuales		Consumo Anual (kWh)	0,00
Tuberías hasta el edificio conectado más cercano (m)			

- Temperatura de calefacción de los edificios

Esta es la temperatura de confort a la que el usuario quiere que se mantengan los edificios. La temperatura preseleccionada es de 20 °C.

Estos datos permiten al simulador establecer las condiciones climáticas de cálculo, asignando una zona climática y unos grados-día (GD) de calefacción que influirán directamente en la estimación de la demanda energética.

#### b) Bloque 2: Caracterización de los Edificios

En este bloque, el usuario debe introducir los datos específicos de cada edificio a estudiar:

- **Tipo de uso:** Seleccionar del listado.

Tabla 5. Ejemplo como seleccionar el tipo de uso

Edificio 1			
Datos		Resultados	
Tipo de Uso		Zona climática	C1
Aislamiento	Bloque de viviendas (compacto, paredes compartidas)		975,60
Estanquidad	Edificio de oficinas (varias fachadas expuestas)		00
Superficie Total a calefactar (m²)	Colegios y hospitales (grandes superficies con múltiples zonas expuestas)		00
Superficie de radiadores a instalar	Comercio y retail (grandes escaparates, mucha ventilación)		00
Tuberías hasta el edificio conectado más cercano (m)	Vivienda unifamiliar (independiente, expuesto a más pérdidas)		00
	Naves industriales (grandes volúmenes, poco aislamiento térmico)		00
		Precio de la instalación Radiadores €	0,00

- **Nivel de aislamiento térmico:** Seleccionar del listado.

Tabla 6 Ejemplo como seleccionar el tipo de aislamiento

Edificio 1			
Datos		Resultados	
Tipo de Uso		Zona climática	C1
Aislamiento		H	46.975,60
Estanquidad	Muy bien aislado	U (W/m²K)	0,00
Superficie Total a calefactar (m²)	Bien aislado	H	0,00
Superficie de radiadores a instalar	Mal aislado	Consumo de calefacción (kWh/m²año)	0,00
Tuberías hasta el edificio conectado más cercano (m)	Muy mal aislado	Potencia nominal (Kw)	0,00
		Consumo anual (kWh/año)	0,00
		Precio de la instalación Radiadores €	0,00

Puede ayudarse de la siguiente tabla:

Aislamiento	U (W/m²K)	Ejemplo
Muy bien aislado	0,8	Doble o triple acristalamiento con gas argón, carpintería con rotura de puente térmico (RPT), puertas de alta eficiencia térmica.
Bien aislado	1,1	Doble acristalamiento estándar, ventanas con perfiles de PVC o aluminio con RPT, puertas de buena calidad con núcleo aislante.
Mal aislado	1,5	Ventanas con acristalamiento simple, pero con carpintería aceptable, puertas sin buen aislamiento térmico.
Muy mal aislado	1,8	Acristalamiento simple con carpintería metálica sin RPT, puertas antiguas de madera maciza sin aislamiento, huecos no protegidos térmicamente.

- **Estanquidad:** Seleccionar del listado.

Tabla 7 Ejemplo como seleccionar el tipo de estanquidad

Edificio 1			
Datos		Resultados	
Tipo de Uso		Zona climática	C1
Aislamiento		HDH	46.975,60
Estanquidad		W/m²K	0,00
Superficie Total a calefactar (m²)	Muy estanco	H	0,00
Superficie de radiadores a instalar	Media	Consumo de calefacción (kWh/m²año)	0,00
Tuberías hasta el edificio conectado más cercano (m)	Baja	Potencia nominal (Kw)	0,00
		Consumo anual (kWh/año)	0,00
		Precio de la instalación Radiadores €	0,00

Puede ayudarse de la siguiente tabla:

Nivel de estanquidad	Descripción técnica	Ejemplos típicos
Alta	Edificio con buen sellado, ventanas con juntas estancas y puertas herméticas	Edificios modernos o rehabilitados con criterios Passivhaus
Media	Aislamiento parcial, algunas filtraciones detectables	Edificios reformados parcialmente, oficinas estándar
Baja	Infiltraciones notables por ventanas, puertas sin burletes ni sellados	Edificios antiguos sin mejoras térmicas

- **Superficie total a calefactar (m<sup>2</sup>):** Metros cuadrados del edificio que se pretende climatizar.
- **Superficie total de radiadores a instalar (m<sup>2</sup>):** Metros cuadrados del edificio que se pretende climatizar que no posea radiadores utilizables y haya que hacer una nueva instalación.
- **Longitud de la red de tuberías:** Se refiere a la distancia total de las tuberías que conectan el edificio a estudiar con la sala de calderas o con el edificio más cercano que necesita calefacción. Esta longitud se puede medir utilizando MAPS, siguiendo el recorrido más corto posible a través de las calles.

## Resultados

- **Zona climática y grados-hora (HDH):** El simulador determina la zona climática en la que se encuentra el edificio. Y calculo HDH (Heating Degree Hours) representa la acumulación horaria de grados de calefacción. Se calcula como la suma de las diferencias entre la temperatura de consigna (por defecto, 20 °C) y la temperatura exterior, hora a hora. Cuanto mayor sea el valor de HDH, más energía se necesitará para calentar o enfriar el edificio.
- **Transmitancia térmica global (U):** Este valor indica la eficiencia del aislamiento del edificio. Se calcula en función del tipo de aislamiento seleccionado. Un valor de U más bajo significa que el edificio está mejor aislado, lo que reduce la pérdida de calor.
- El **factor H** representa un **coeficiente de exposición** que ajusta la demanda térmica en función del **tipo de uso del edificio** y su **nivel de exposición a pérdidas térmicas** (por geometría, superficie en contacto con el exterior, ventilación, etc.).
- **Consumo de calefacción (kWh/m<sup>2</sup>año):** Esta es la cantidad de energía que el edificio necesita por metro cuadrado para mantener una temperatura confortable durante un año. Ayuda a evaluar la eficiencia energética del edificio.
- **Potencia nominal necesaria (kW):** Es la cantidad de energía que el sistema de calefacción o refrigeración debe proporcionar para satisfacer la demanda térmica del edificio. Esto ayuda a dimensionar adecuadamente el sistema.
- **Consumo anual estimado (kWh):** Es una estimación de la cantidad total de energía que el edificio consumirá en un año para calefacción o refrigeración. Este dato es útil para prever los costos energéticos y planificar mejoras en la eficiencia.
- El **coste de instalación de radiadores (€)** según la superficie.

c) *Bloque 3: Caracterización de las Piscinas Climatizadas*

En este apartado se definen las dimensiones y condiciones de operación de las piscinas climatizadas:

- **Dimensiones de la piscina**
  - Ancho
  - Largo
  - Profundidad media
- **Ubicación:** Seleccionar si es una piscina en interior o exterior.
- **Temperatura de consigna del agua:** seleccionar de la tabla una temperatura de los 24 (°C) a los 30 (°C).
- **Horas anuales de uso:** Seleccionar de la lista la estimación de uso que se le va a dar a la piscina.

Tabla 8 Ejemplo como seleccionar horas anuales.

Piscina Climatizada 1			
Datos		Resultados	
Ancho (m)		Superficie (m <sup>2</sup> )	0,00
Largo (m)		Volumen (m <sup>3</sup> )	0,00
Profundidad Media (m)		Pérdida (kW/m <sup>2</sup> )	1,00
Ubicación		Potencia Nominal (kW)	0,00
Temperatura (°C)		Consumo de calefacción (kWh/m <sup>2</sup> año)	0,00
Horas Anuales		Consumo Anual (kWh)	0,00
Tuberías hasta el edificio conectado más cercano (m)	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">                     Todo el año                      Verano                      Invierno                 </div>		

**Resultados**

- **Superficie y volumen de la piscina:** El simulador calcula el área total de la superficie de la piscina y su volumen. Estos datos son esenciales para determinar la cantidad de agua que necesita ser calentada y para calcular la eficiencia del sistema de calefacción.
- **Potencia nominal necesaria (kW):** Este cálculo indica la cantidad de energía que el sistema de calefacción debe proporcionar para mantener la temperatura deseada del agua de la piscina. Es crucial para asegurar que el sistema sea lo suficientemente potente para mantener el confort térmico.
- **Demanda energética anual (kWh):** Esta es una estimación de la cantidad total de energía que se necesitará durante un año para mantener la piscina a la temperatura deseada. Ayuda a prever los costos energéticos y a planificar el uso eficiente de los recursos.

## 2. Hoja de resultados

En esta hoja se muestran todos los resultados calculados por el simulador. Probando distintos escenarios de entrada, el usuario podrá observar el impacto directo sobre los resultados del sistema.

### a) Sala de Calderas

Tabla 9 Ejemplo caldera asignada de 300kW.

Caldera Asignada (kW)	Cantidad de Calderas
300	1
Sala de calderas	
Consumo Previsto anual (kWh/año)	328.276,55
Consumo Pico (kW)	275,03

- **Caldera Asignada (kW):**
  - Indica la potencia total de la caldera instalada en el sistema de calefacción.
- **Cantidad de Calderas:**
  - Este campo indica cuántas calderas se han instalado en el sistema de calefacción.
- **Consumo Previsto Anual (kWh/año):**
  - Indica la cantidad de energía que se espera consumir al año.
- **Consumo Pico (kW):**
  - Es la cantidad máxima de energía en el momento de mayor demanda.

### b) Red de Calor

Tabla 10 Ejemplo estaciones de intercambio asignadas para un único edificio.

Red de calor	
Sumatoria de metros totales entre sala de calderas y	
300	m
Estación de intercambio	Cantidad
40 kW	0
60 kW	0
85 kW	0
100 kW	0
150 kW	0
200 kW	0
250 kW	0
300 kW	1
350 kW	0
400 kW	0
450 kW	0
500 kW	0

- **Sumatoria de metros totales entre sala de calderas y estaciones de intercambio:**

- Este campo indica la distancia total en metros entre la sala de calderas (donde se genera el calor) y las estaciones de intercambio (donde se distribuye el calor).

## 2. Estación de Intercambio

Las estaciones de intercambio son los puntos de conexión donde el calor generado por la caldera se transfiere al sistema de calefacción, como radiadores o circuitos de agua caliente. La cantidad de estaciones de intercambio necesarias depende del tamaño del sistema y la cantidad de edificios.

### c) Precios de la energía e inflación

Tabla 11 Ejemplo de precios de energía asignados

Precios	€/KWh
Precio medio biomasa	0,04
Precio electricidad	0,22
Precio del gasoil	0,15
Inflación acumulada desde 2022	1,122

Estos precios deberán ser actualizados por el usuario anualmente.

- **Biomasa (€/kWh):** Precio del combustible utilizado (astilla, pélets...); depende del mercado local y de si hay suministro municipal.
- **Electricidad (€/kWh):** Precio medio estimado del suministro eléctrico para calefacción; puede variar según mercado regulado o libre.
- **Gasoil (€/kWh):** Precio medio del gasóleo para calefacción (C), sujeto a variaciones según precio del crudo y fiscalidad.
- **Coefficiente de Inflación:** Factor corrector aplicado para **actualizar los precios base a valor presente**, calculado a partir de la inflación acumulada anual desde el 2022 según el INE u otra fuente oficial.

### d) Presupuestos

Tabla 12. Ejemplo presupuesto con IVA y sin IVA

Presupuesto Sin IVA	Presupuesto Con IVA	Toneladas astilla (año)
527.333,52	612.413,44	74,38

- **Presupuesto Proyecto Biomasa:**

- Muestra el coste total estimado de todo el proyecto para implementar un sistema de calefacción mediante biomasa con IVA y SIN IVA.
- **Toneladas de Astilla (año):**
  - Este campo indica la cantidad de astilla necesaria para alimentar el sistema de calefacción durante un año, medida en toneladas.

e) *Costos y Emisiones*

Tabla 13. Ejemplo indicadores de costes de operación en función de la energía utilizada

	Biomasa	Electricidad	Gasoil
Precio	13.131,06	79.968,17	49.241,48
Co2	5.908,98	72.220,84	102.094,01
Mantenimiento	1.500,00	500,00	800,00
OPEX	15.831,06	79.968,17	49.241,48

- **Precio:** Muestra el coste anual estimado de la biomasa, la electricidad y el gasoil en función del consumo calculado para la instalación, lo que permite comparar de forma directa los costes operativos de cada alternativa energética.
- **CO2:** Este campo muestra la cantidad de CO2 (dióxido de carbono) que se emite al utilizar cada tipo de energía. Esto es importante para evaluar el impacto ambiental del proyecto.
- **Mantenimiento:** Indica el costo anual estimado para el mantenimiento del sistema de calefacción, con cada tipo de energía.
- **OPEX (Gastos Operativos):** Refleja los costos operativos anuales asociados al funcionamiento del sistema de calefacción. Incluye el mantenimiento, el consumo de energía, y otros costos recurrentes.

f) *KPIs Económicos*

Tabla 14. Ejemplo KPIs económicos en función de la energía utilizada.

KPIs Económicos	Biomasa vs Electricidad	Biomasa vs Gasoil
Ahorro anual en combustible	66.837,10	36.110,42
Retorno de Inversión (ROI)	10,91	5,90
Payback	9,55	18,33

- **Ahorro Anual en Combustible:**

Muestra el ahorro económico que se puede generar al utilizar biomasa en lugar de electricidad o gasoil para el sistema de calefacción. Este indicador ayuda a determinar que opción es más económica a largo plazo.
- **Retorno de Inversión (ROI):** El ROI (Return on Investment) es un indicador que relaciona los ahorros anuales obtenidos con la inversión inicial realizada. Representa cuántas veces se recupera la inversión a lo largo del ciclo de vida del sistema. Cuanto mayor sea el ROI, más rentable es el proyecto.

- **Pay-back:** Representa el número de años que se necesitan para recuperar el costo inicial del proyecto. Un valor de pay-back más bajo indica una recuperación más rápida de la inversión.

g) *KPIs Ambientales*

Tabla 15. Ejemplo KPIs ambientales en función de la energía seleccionada.

KPIs Ambientales	Biomasa vs Electricidad	Biomasa vs Gasoil
Reducción de emisiones de CO <sub>2</sub> (kg/año)	66.311,86	96.185,03
Porcentaje de reducción de CO <sub>2</sub> (%)	91,82	94,21

- **Reducción de Emisiones de CO<sub>2</sub> (kg/año):**

Indica la cantidad de CO<sub>2</sub> que se dejaría de emitir al usar biomasa en comparación con electricidad o gasoil. Este valor muestra los beneficios ambientales de usar biomasa.

- **Porcentaje de Reducción de CO<sub>2</sub> (%):**

Este valor muestra el porcentaje de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> al usar biomasa en lugar de otras fuentes de energía, como electricidad o gasoil. Un porcentaje más alto es mejor para el medio ambiente.

h) *KPIs de Eficiencia Energética*

Tabla 16. Ejemplo KPIs Eficiencia energética

KPIs de Eficiencia Energética	Biomasa	
Costo de energía por tonelada de astilla	176,54	
	Biomasa vs Electricidad	Biomasa vs Gasoil
Relación CO <sub>2</sub> por Euro	0,11	0,16

- **Costo de Energía por Tonelada de Astilla:**

Indica el costo de generar energía utilizando una tonelada de astilla. Este valor es clave para determinar la eficiencia económica del sistema de biomasa.

- **Relación CO<sub>2</sub> por euro:**

Este índice mide cuántos kilogramos de CO<sub>2</sub> se emiten por cada euro invertido en el sistema de calefacción. Un valor más bajo es mejor, ya que indica una mayor eficiencia en la reducción de CO<sub>2</sub> por cada euro gastado.

### 3. Factores clave para mejorar la viabilidad del proyecto

Al optimizar un sistema de calefacción con biomasa, existen ciertos parámetros que influyen directamente en la rentabilidad y sostenibilidad del proyecto:

- **Demanda energética elevada:** Cuanto mayor sea el consumo de energía térmica de los edificios conectados, más rentable será la inversión. Incorporar grandes consumidores (como piscinas climatizadas o edificios con uso continuo) permite maximizar el ahorro operativo (OPEX) sin incrementar proporcionalmente el coste de instalación.
- **Payback reducido:** Un período de retorno de la inversión más corto mejora la viabilidad económica del proyecto y acelera la recuperación del capital inicial.
- **ROI elevado:** Indica que la inversión no solo se recupera, sino que genera beneficios adicionales durante la vida útil del sistema.
- **Alta reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>:** Cuanto mayor sea la reducción de emisiones, mayor será el impacto ambiental positivo, lo cual es clave para cumplir con compromisos de sostenibilidad y captación de subvenciones.

Estos indicadores permiten comparar distintas configuraciones del sistema y seleccionar la opción más equilibrada entre costes, beneficios económicos y sostenibilidad.

## B. Creación del simulador, Manual nivel técnico

El presente apartado detalla la estructura técnica del simulador desarrollado, describiendo los criterios de cálculo, las fórmulas aplicadas, las bases de datos empleadas y las hipótesis adoptadas en el diseño. Se exponen los fundamentos metodológicos que sustentan las estimaciones de demanda térmica, potencia nominal, costes y retornos económicos, con el objetivo de ofrecer una visión clara y rigurosa del funcionamiento interno de la herramienta. Este manual técnico está orientado a facilitar su validación, replicabilidad y futuras mejoras.

### 1. Automatización de la Visualización de Edificios y Piscinas

Con el fin de mejorar la usabilidad del simulador, se ha implementado una macro en VBA que permite **ocultar o mostrar dinámicamente los bloques de datos correspondientes a edificios y piscinas**, en función del número que el usuario haya introducido en las celdas B5 (edificios) y B6 (piscinas).

A continuación, se explica el funcionamiento del siguiente código paso a paso:

```
Private Sub Worksheet_Change(ByVal Target As Range)
    On Error GoTo Fin

    If Target.Address = "$B$5" Or Target.Address = "$B$6" Then
        Application.EnableEvents = False
        Application.ScreenUpdating = False

        Dim prevEdificios As Integer
        Dim prevPiscinas As Integer
        Dim numEdificios As Integer
        Dim numPiscinas As Integer
        Dim filaInicio As Integer
        Dim filaFin As Integer
        Dim i As Integer

        ' Leer valores anteriores desde celdas ocultas
        prevEdificios = 0
        prevPiscinas = 0

        If IsNumeric(Range("Z1").Value) Then prevEdificios = Range("Z1").Value
        If IsNumeric(Range("Z2").Value) Then prevPiscinas = Range("Z2").Value

        ' Leer valores actuales
        If Not IsNumeric(Range("B5").Value) Then numEdificios = 0 Else numEdificios = Range("B5").Value
        If Not IsNumeric(Range("B6").Value) Then numPiscinas = 0 Else numPiscinas = Range("B6").Value

        ' Limitar máximos
        If numEdificios > 6 Then numEdificios = 6
        If numPiscinas > 5 Then numPiscinas = 5

        ' --- BORRAR DATOS DE EDIFICIOS SI SE REDUCE ---
        If numEdificios < prevEdificios Then
            For i = numEdificios To prevEdificios - 1
                Dim filaBorrarEdificio As Integer
                filaBorrarEdificio = 13 + i * 11
                With Range("B" & filaBorrarEdificio & ":B" & (filaBorrarEdificio + 9))
                    .UnMerge
                    .ClearContents
                End With
            Next i
        End If
    End If
End Sub
```

*Código 1. VBA para la facilitación de selección de edificios y piscinas*

```

' --- BORRAR DATOS DE PISCINAS SI SE REDUCE ---
If numPiscinas < prevPiscinas Then
    For i = numPiscinas To prevPiscinas - 1
        Dim filaBorrarPiscina As Integer
        filaBorrarPiscina = 82 + i * 10
        With Range("B" & filaBorrarPiscina & ":B" & (filaBorrarPiscina + 9))
            .UnMerge
            .ClearContents
        End With
    Next i
End If

' Ocultar todo el rango general (edificios y piscinas)
Rows("12:129").Hidden = True

' Mostrar edificios
For i = 0 To numEdificios - 1
    filaInicio = 12 + i * 11
    filaFin = filaInicio + 9
    Rows(filaInicio & ":" & filaFin).Hidden = False
Next i

' Mostrar piscinas
For i = 0 To numPiscinas - 1
    filaInicio = 80 + i * 10
    filaFin = filaInicio + 9
    Rows(filaInicio & ":" & filaFin).Hidden = False
Next i

' Guardar valores actuales en Z1 y Z2
Range("Z1").Value = numEdificios
Range("Z2").Value = numPiscinas

Fin:
Application.ScreenUpdating = True
Application.EnableEvents = True
End If
End Sub

```

*Código 2. VBA para la facilitación de selección de edificios y piscinas*

### 1. Activación del evento condicionado

El procedimiento Worksheet\_Change se ejecuta automáticamente cada vez que se produce un cambio en la hoja. Sin embargo, mediante una condición específica, se limita su ejecución **únicamente cuando se modifican las celdas B5 o B6**, que corresponden al número de edificios y de piscinas introducidos por el usuario. Esto evita que el código se dispare innecesariamente ante cualquier otro cambio en la hoja.

### 2. Desactivación de eventos y actualización de pantalla

Antes de ejecutar cualquier acción, se **desactiva la actualización visual de la pantalla** (ScreenUpdating) y **los eventos automáticos de Excel** (EnableEvents). Esto previene errores, evita que la macro se llame a sí misma (recursividad), y **mejora el rendimiento**, ya que los cambios no se reflejan visualmente hasta que todo el proceso ha terminado.

### 3. Declaración e inicialización de variables

Se definen las variables necesarias para el proceso:

- prevEdificios, prevPiscinas: guardan los valores anteriores introducidos por el usuario.
- numEdificios, numPiscinas: almacenan los valores actuales.
- filaInicio, filaFin, i: controlan el rango de filas a mostrar u ocultar.

Además, se inicializan los valores anteriores a 0 por defecto, en caso de que no existan datos previos.

#### **4. Lectura de valores anteriores desde celdas ocultas**

Se recuperan los valores de edificios y piscinas que el usuario había seleccionado antes del cambio. Estos valores se almacenan previamente en las celdas **Z1** y **Z2**, ocultas para el usuario. Esta comparación permite detectar si el número de bloques (edificios o piscinas) ha aumentado o disminuido, y actuar en consecuencia.

#### **5. Lectura de nuevos valores y validación**

Se extraen los valores actuales introducidos por el usuario en las celdas B5 y B6. Si no son numéricos (por ejemplo, si están vacíos o contienen texto), se asigna el valor 0. Esto garantiza que el proceso continúe sin errores, aunque el usuario introduzca datos no válidos.

#### **6. Limitación de valores máximos**

Por diseño del simulador, solo se contemplan **hasta 6 bloques de edificios y 5 bloques de piscinas**. Esto se debe a limitaciones visuales y de espacio en la hoja de cálculo. Si el usuario introduce un número mayor, el código lo ajusta automáticamente al valor máximo permitido.

#### **7. Borrado de datos si se reducen edificios**

Si el nuevo número de edificios es menor que el anterior, significa que algunos bloques ya no se van a utilizar. Este bloque recorre las filas correspondientes a esos edificios eliminados y **borra su contenido de la columna B**, además de deshacer posibles combinaciones de celdas. Esto mantiene la hoja limpia y coherente, evitando que queden datos antiguos en bloques que ya no están activos.

#### **8. Borrado de datos si se reducen piscinas**

Este bloque funciona igual que el anterior, pero aplica la lógica a los bloques de piscina, que comienzan en la fila 82. También borra el contenido de la columna B y elimina combinaciones, asegurando que al reducir el número de piscinas, los bloques sobrantes se vacíen.

#### **9. Ocultación general del rango de trabajo**

Antes de mostrar los nuevos bloques activos, se **ocultan todas las filas** asociadas a edificios y piscinas (filas 12 a 129). Esto previene errores visuales o que queden bloques antiguos visibles tras una reducción en el número de elementos.

#### **10. Visualización de bloques de edificios**

Se recorre desde 0 hasta el número de edificios indicados por el usuario. Por cada uno, se calculan sus 10 filas correspondientes y se **desocultan**, de forma que el usuario pueda ver los datos que le corresponden a cada edificio activo.

#### **11. Visualización de bloques de piscinas**

De forma idéntica a los edificios, se muestran las filas correspondientes a cada piscina activa.

Cada bloque ocupa 10 filas, empezando desde la fila 80. Esto garantiza que solo estén visibles los bloques que el usuario ha activado mediante la celda B6.

#### **12. Actualización de valores de referencia**

Los nuevos valores introducidos por el usuario se **guardan en las celdas Z1 y Z2**, para que estén disponibles la próxima vez que se ejecute la macro. Esto es esencial para poder detectar si hay un aumento o una reducción en el número de bloques.

#### **13. Reactivación de eventos y actualización visual**

Al finalizar todo el proceso, se vuelven a activar los eventos automáticos y la actualización visual de Excel. Esto permite que la hoja vuelva a comportarse de forma normal y esté lista para nuevas Cálculo resultados hoja entrada de Datos Edificios

### **2. Cálculo de resultados hoja entrada de datos edificios**

En este apartado se generan los resultados energéticos asociados a cada edificio introducido por el usuario en la hoja de entrada de datos. A partir de parámetros como la superficie calefactable, el tipo de uso, el aislamiento, la estanquidad, la altura útil y la zona climática del municipio, el simulador calcula automáticamente la **demanda térmica anual**, la **potencia pico necesaria** y el **consumo estimado** por edificio. Estos resultados permiten dimensionar correctamente el sistema térmico y sirven como base para los cálculos económicos y ambientales posteriores.

Tabla 17. Ejemplo de datos y resultados de un edificio.

Edificio 1			
Datos		Resultados	
Tipo de Uso		Zona climática	C1
Aislamiento		HDH	46.975,60
Estanquidad		U (W/m²K)	0,00
Superficie Total a calefactar (m²)		H	0,00
Superficie de radiadores a instalar		Consumo de calefacción (kWh/m²año)	0,00
Tuberías hasta el edificio conectado más cercano (m)		Potencia nominal (Kw)	0,00
		Consumo anual (kWh/año)	0,00
		Precio de la instalación Radiadores €	0,00

### a) 1. Zona climática

La selección de la zona climática se realiza en función de la ubicación geográfica del proyecto, conforme a la clasificación establecida en el **Código Técnico de la Edificación (CTE-DB-HE1)**. Esta zona define el régimen climático de invierno, clave para los cálculos de demanda energética y dimensionamiento de los sistemas.

Se calcula mediante la siguiente fórmula:

```
=SI(
  B3<200;
  BUSCARV(B1;'Tabla Zonas Climáticas'!A:H;3);
  SI(Y(B3>=200;B3<400);
  BUSCARV(B1;'Tabla Zonas Climáticas'!A:H;4);
  SI(Y(B3>=400;B3<600);
  BUSCARV(B1;'Tabla Zonas Climáticas'!A:H;5);
  SI(Y(B3>=600;B3<800);
  BUSCARV(B1;'Tabla Zonas Climáticas'!A:H;6);
  SI(Y(B3>=800;B3<1000);
  BUSCARV(B1;'Tabla Zonas Climáticas'!A:H;7);
  SI(Y(B3>=1000;B3<4000);
  BUSCARV(B1;'Tabla Zonas Climáticas'!A:H;8);
  "Altitud fuera de rango"
  )
  )
  )
  )
  )
  )
  )
)
```

Código 3. Cálculo de la zona climática en función de la provincia y altitud

Esta fórmula en Excel tiene como objetivo determinar un valor climático específico asociado a una zona climática (indicada en la celda B1) y a un intervalo de altitud (valor de la celda B3).

En la celda B3 se encuentra la diferencia entre la altitud indicada por el usuario a la cual está el municipio y la altitud de la capital.

Se estructura como una cadena de funciones SI, que evalúan en qué rango de altitud se encuentra el valor de B3. En función de ese intervalo, la fórmula utiliza la función BUSCARV para localizar el valor correspondiente en una tabla denominada 'Tabla Zonas Climáticas', buscando por la zona climática (B1) en la columna A y extrayendo el valor desde una columna específica (de la 3 a la 8).

El rango de altitud se divide en tramos:

- < 200 m → columna 3
- 200–399 m → columna 4
- 400–599 m → columna 5
- 600–799 m → columna 6
- 800–999 m → columna 7
- 1000–3999 m → columna 8

Si el valor de altitud (B3) no se encuentra dentro de ninguno de estos rangos, la fórmula devuelve el mensaje: "Altitud fuera de rango".

b) Hoja Tabla zonas climáticas:

Tabla 18 Tabla de zonas climáticas.

Fuente: CTE TABLA ZONAS-CLIMATICAS

Provincia	Altitud Base (m)	<200m	200-400m	400-600m	600-800m	800-1000	1000
Albacete	677	D3	D2	E1	E1	E1	E1
Alicante	7	B4	C3	C1	D1	D1	E1
Almería	0	A4	B3	B3	C1	C1	D1
Avila	1054	E1	E1	E1	E1	E1	E1
Badajoz	168	C4	C3	D1	D1	E1	E1
Barcelona	1	C2	C1	D1	D1	E1	E1
Bilbao	214	C1	D1	D1	E1	E1	E1
Burgos	861	E1	E1	E1	E1	E1	E1
Cáceres	385	C4	D3	D1	E1	E1	E1
Cádiz	0	A3	B3	B3	C1	C1	D1
Castellón de la Plana	18	B3	C2	C1	D1	D1	E1
Ceuta	0	B3	B3	C1	C1	D1	D1
Ciudad Real	630	D3	D2	E1	E1	E1	E1
Córdoba	113	B4	C3	C2	D1	D1	E1
Coruña (a)	0	C1	C1	D1	D1	E1	E1
Cuenca	975	D2	E1	E1	E1	E1	E1
Donostia - San Sebastián	5	C1	D1	D1	E1	E1	E1
Girona	143	C2	D1	D1	E1	E1	E1
Granada	754	C3	D2	D1	E1	E1	E1
Guadalajara	708	D3	D1	E1	E1	E1	E1
Huelva	50	B4	B3	C1	C1	D1	D1
Huesca	432	D2	E1	E1	E1	E1	E1
Jaén	436	C4	C3	D1	D1	E1	E1
León	346	E1	E1	E1	E1	E1	E1
Lleida	131	D3	D2	E1	E1	E1	E1
Logroño	379	D2	D1	E1	E1	E1	E1
Lugo	412	D1	E1	E1	E1	E1	E1
Madrid	589	D3	D1	E1	E1	E1	E1
Málaga	0	A3	B3	C1	C1	D1	D1
Melilla	130	A3	B3	B3	C1	C1	D1
Murcia	25	B3	C2	C1	D1	D1	E1
Ourense	327	C2	D1	E1	E1	E1	E1
Oviedo	214	C1	D1	D1	E1	E1	E1
Palencia	722	D1	E1	E1	E1	E1	E1
Palma de Mallorca	1	B3	B3	C1	C1	D1	D1
Las Palmas de Gran Canaria	114	A3	A3	A3	A3	B3	B3
Pamplona	456	D1	E1	E1	E1	E1	E1
Pontevedra	77	C1	C1	D1	D1	E1	E1
Salamanca	770	D2	E1	E1	E1	E1	E1
Santa Cruz de Tenerife	0	A3	A3	A3	A3	B3	B3
Santander	1	C1	C1	D1	D1	E1	E1
Segovia	1013	D2	E1	E1	E1	E1	E1
Sevilla	9	B4	B3	C2	C1	D1	E1
Soria	984	E1	E1	E1	E1	E1	E1
Tarragona	1	B3	C2	C1	D1	D1	E1
Teruel	995	D2	E1	E1	E1	E1	E1
Toledo	445	C4	D3	D2	E1	E1	E1
Valencia	8	B3	C2	C1	D1	D1	E1
Valladolid	704	D2	E1	E1	E1	E1	E1
Vitoria - Gasteiz	512	D1	E1	E1	E1	E1	E1
Zamora	617	D2	E1	E1	E1	E1	E1
Zaragoza	207	D3	D2	E1	E1	E1	E1

c) 2. HDH

Los **grados hora (HDH)** son una medida más precisa que los grados día (GD) para estimar la **demanda térmica de calefacción** en un edificio.

Se calculan **hora a hora**, midiendo la diferencia entre una **temperatura de referencia interior (por ejemplo, 20 °C)** y la **temperatura exterior real** en cada momento. Si la temperatura exterior es menor que la de confort, esa diferencia se suma como necesidad de calefacción.

Se calcula mediante la formula:

```
=BUSCARX(D14;'Temperaturas climáticas'!P2:AA2;'Temperaturas climáticas'!P4:AA4)
```

Esta función busca el valor contenido en la celda **D14** (que corresponde a la provincia o localidad seleccionada por el usuario) dentro del rango **P2:AA2** de la hoja '**Temperaturas climáticas**', que contiene los nombres de las localidades.

Una vez localizado ese nombre, la fórmula devuelve automáticamente el valor correspondiente de la misma columna en la fila **P4:AA4**, que contiene los **Grados Hora de Calefacción (HDH)** para cada localidad.

#### d) *Hoja Zonas climáticas:*

En la hoja '**Temperaturas climáticas**' se encuentra la **base de datos climática** utilizada por el simulador. Esta hoja contiene las **temperaturas exteriores reales de cada hora del año** para todas las **zonas climáticas y provincias de España**.

Se han recopilado más de **150.000 datos horarios**, lo que permite calcular con gran precisión los **grados hora de calefacción (HDH)** para cada localidad. Esta granularidad en los datos climáticos permite que el simulador:

- Ajuste el consumo energético y la potencia térmica a las condiciones reales de cada municipio.
- Tenga en cuenta la **altitud**, la **proximidad al mar** y la **variabilidad estacional** en cada zona.
- Mejore la precisión del **dimensionamiento** frente a metodologías tradicionales que emplean estimaciones mensuales o anuales más genéricas.

Esto convierte al simulador en una herramienta mucho más fiable para la toma de decisiones técnico-económicas.

#### e) *3. Transmitancia térmica media (U)*

El valor de transmitancia térmica (U) representa el aislamiento medio del edificio, considerando envolventes opacas (muros, cubiertas, suelos) y elementos transparentes (ventanas). Se encuentra en la sección HE 1 (limitación de la demanda energética) del CTE, como Transmitancia térmica.

Se calcula mediante la formula:

```
=BUSCARX(B15; Aislamiento!A3:A6; Aislamiento!B3:B6)
```

La fórmula tiene como finalidad automatizar la asignación de un valor de **transmitancia térmica global media (U)** según el **tipo de aislamiento seleccionado** por el usuario.

En detalle, BUSCARX localiza el valor introducido en la celda **B15** dentro del rango **A3:A6** de la hoja "**Aislamiento**", que contiene una lista de categorías de aislamiento térmico cualitativo (por ejemplo, "Muy bien aislado", "Bien aislado", etc.). Una vez encontrada la coincidencia, devuelve el valor correspondiente desde el rango **B3:B6**, que contiene los valores numéricos de **transmitancia térmica (U)** expresados en  $W/m^2 \cdot K$ .

Este valor U representa el nivel de aislamiento térmico del edificio: a menor valor, mayor calidad del aislamiento.

La fórmula se apoya en una tabla como la siguiente (en la hoja "Aislamiento")

### Hoja Aislamiento

Los valores de transmitancia térmica global U ( $W/m^2 \cdot K$ ) empleados en el simulador para caracterizar el nivel de aislamiento térmico de los edificios no se refieren únicamente a los huecos (ventanas y puertas), sino que representan una **estimación media ponderada** de toda la envolvente térmica del edificio: muros, cubiertas, suelos y huecos.

Para establecer estos valores simplificados, se ha tomado como referencia el **Apéndice E del Documento Básico HE1 del Código Técnico de la Edificación (CTE-HE1)**, donde se recogen los valores orientativos de transmitancia térmica para los distintos elementos constructivos según zona climática (ver Tablas E.1 y E.2).

Tabla 19.E.1. Transmitancia del elemento [ $W/m^2 K$ ]

Fuente: Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico HE – Ahorro de Energía

Transmitancia del elemento [ $W/m^2 K$ ]	Zona Climática					
	$\alpha$	A	B	C	D	E
$U_M$	0.94	0.50	0.38	0.29	0.27	0.25
$U_S$	0.53	0.53	0.46	0.36	0.34	0.31
$U_C$	0.50	0.47	0.33	0.23	0.22	0.19

$U_M$ : Transmitancia térmica de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno

$U_S$ : Transmitancia térmica de suelos (forjados en contacto con el aire exterior)

$U_C$ : Transmitancia térmica de cubiertas

Tabla 20.E.2. Transmitancia térmica [ $W/m^2 K$ ]

Fuente: Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico HE – Ahorro de Energía

Transmitancia térmica de huecos [ $W/m^2 K$ ]		$\alpha$	A	B	C	D	E
Captación solar	Alta	5.5 – 5.7	2.6 – 3.5	2.1 – 2.7	1.9 – 2.1	1.8 – 2.1	1.9 – 2.0
	Media	5.1 – 5.7	2.3 – 3.1	1.8 – 2.3	1.6 – 2.0	1.6 – 1.8	1.6 – 1.7
	Baja	4.7 – 5.7	1.8 – 2.6	1.4 – 2.0	1.2 – 1.6	1.2 – 1.4	1.2 – 1.3

- Los valores de  $U_M$ ,  $U_S$  y  $U_C$  proporcionan referencias para muros, suelos y cubiertas, respectivamente.

- La **Tabla E.2** muestra la transmitancia térmica típica de huecos (ventanas y puertas) en función de la captación solar y zona climática.
- A partir de estos rangos, se ha calculado una **media ponderada típica** considerando una distribución estándar de superficie en la envolvente de un edificio público:  
**≈ 70 % opacos (muros/cubiertas/suelos) y ≈ 30 % huecos.**

Para facilitar el uso práctico del simulador y evitar exigir al usuario conocimientos técnicos específicos sobre la envolvente, **la selección del nivel de aislamiento se basa únicamente en la tipología de los huecos (ventanas y puertas)**, ya que son fácilmente observables y diferenciables en cualquier edificio.

Esta elección permite mantener un equilibrio entre precisión y facilidad de uso, sin comprometer significativamente la fiabilidad de la simulación en contextos reales de planificación preliminar.

Tabla 21. Hoja de aislamiento selección de valores de U

Aislamiento	U (W/m²K)	Ejemplo
Muy bien aislado	0,8	Doble o triple acristalamiento con gas argón, carpintería con rotura de puente térmico (RPT), puertas de alta eficiencia térmica.
Bien aislado	1,1	Doble acristalamiento estándar, ventanas con perfiles de PVC o aluminio con RPT, puertas de buena calidad con núcleo aislante.
Mal aislado	1,5	Ventanas con acristalamiento simple pero con carpintería aceptable, puertas sin buen aislamiento térmico.
Muy mal aislado	1,8	Acristalamiento simple con carpintería metálica sin RPT, puertas antiguas de madera maciza sin aislamiento, huecos no protegidos térmicamente.

#### f) 4. Factor H

En el simulador energético, el valor **H** es un **factor empírico de corrección por exposición térmica, análogo a la relación A/V**.

Representa un **coeficiente de exposición** que ajusta la demanda energética de calefacción en función del **tipo de uso del edificio** y de su configuración arquitectónica. Este factor tiene en cuenta la **compacidad del edificio**, el **grado de exposición a pérdidas térmicas** (por fachada, cubierta o ventilación) y el **volumen edificado**.

Se calcula mediante la formula:

```
=BUSCARX(B14; Aislamiento!A9:A16; Aislamiento!B9:B16)
```

Esta fórmula busca el contenido de la celda **B14** en el rango **A9:A16** de la hoja "**Aislamiento**", donde se encuentran listados distintos **tipos de elementos de la envolvente térmica**, como muros, cubiertas, suelos o particiones. Una vez identificada la coincidencia, devuelve el valor correspondiente de la **columna B (B9:B16)**, que contiene el valor numérico asociado a cada tipología.

Tabla 22 Valores de H en función del tipo de uso

Tipo de Uso	H (Factor de Exposición)
<b>Bloque de viviendas</b> (compacto, paredes compartidas)	0,95
<b>Edificio de oficinas</b> (varias fachadas expuestas)	1,1
<b>Colegios y hospitales</b> (grandes superficies con múltiples zonas expuestas)	1,2
<b>Comercio y retail</b> (grandes escaparates, mucha ventilación)	1,3
<b>Vivienda unifamiliar</b> (independiente, expuesto a más pérdidas)	1,4
<b>Naves industriales</b> (grandes volúmenes, poco aislamiento térmico)	1,5

g) 5. Consumo de calefacción (kWh/m<sup>2</sup>)

La demanda energética específica de calefacción se estima mediante la siguiente fórmula:

$$=SI.ERROR(D15*D16*D17*24/(0,85*1000); 0)$$

Esta fórmula calcula una **estimación del consumo energético anual** para calefacción, expresado en **kilovatios hora (kWh)**.

Utiliza como factores de entrada tres variables clave:

- **D15**: demanda energética específica de calefacción (kWh/m<sup>2</sup>)
- **D16**: superficie útil calefactada (m<sup>2</sup>)
- **D17**: factor de corrección (como el factor H o un número de días o unidades de uso)
- El número **24** representa las horas diarias de funcionamiento
- El **0,85** representa el **rendimiento medio del sistema de generación** (por ejemplo, una caldera con un 85 % de eficiencia)
- El **1000** convierte de vatios hora a kilovatios hora

h) 6. Potencia nominal

La **potencia nominal de calefacción** representa la demanda térmica máxima instantánea que debe ser cubierta por el sistema generador (caldera, bomba de calor, etc.) en las condiciones más desfavorables del año. Es decir, se trata de la **potencia pico** que el sistema debe entregar en la hora más fría, teniendo en cuenta todas las fuentes de pérdidas térmicas a través de la envolvente del edificio.

No obstante, en este cálculo **no se han considerado ni la radiación solar incidente ni las cargas internas** (ocupación, iluminación, equipos), que en condiciones reales pueden suponer aportes térmicos durante las horas de funcionamiento del edificio.

Esta omisión es una **decisión conservadora**, ya que la inclusión de estos factores tendería a **reducir la demanda neta de calefacción**, especialmente en edificios con alta ocupación o exposición solar. Sin embargo, su exclusión permite adoptar un **margen de seguridad** en el dimensionamiento térmico, adecuado para fases preliminares de estudio o en ausencia de datos específicos sobre horarios de uso y condiciones interiores.

En el ámbito técnico profesional, esta potencia se calcula habitualmente como la **suma de tres componentes principales**:

$$Q_{\text{total}} = Q_{\text{transmisión}} + Q_{\text{ventilación}} + Q_{\text{infiltraciones}}$$

Donde:

- **Q transmisión:** pérdidas térmicas a través de la envolvente del edificio (muros, cubiertas, ventanas).
- **Q ventilación:** energía necesaria para calentar el aire exterior que entra por los sistemas de ventilación.
- **Q infiltraciones:** pérdidas por entradas de aire no controladas (rendijas, puertas, defectos constructivos).

Para estimar esta potencia se ha implementado la siguiente fórmula combinada:

$$Q_{\text{nom}} = (HDH_{\text{máx}} \cdot U \cdot H \cdot S) + (0,33 \cdot n \cdot S \cdot h \cdot HDH_{\text{máx}}) + (n_{\text{inf}} \cdot 0,33 \cdot S \cdot h \cdot HDH_{\text{máx}}) \div 1000$$

Donde:

- **HDH máx:** salto térmico máximo horario (°C) según zona climática (calculado con datos climáticos horarios).
- **U:** transmitancia térmica media del edificio (W/m<sup>2</sup>·K).
- **H:** factor de exposición térmica según el tipo de uso del edificio (adimensional).
- **S:** superficie útil calefactada (m<sup>2</sup>).
- **n:** número de renovaciones de aire por hora (en este caso se han asumido 2 renovaciones/h).
- **h:** altura media interior del edificio (se ha considerado 3,2 metros).
- **n inf:** tasa de infiltración de aire no controlado (valor típico: 0,5 para estanqueidad media).
- **0,33:** constante térmica del aire (W/m<sup>3</sup>·K).
- **/1000:** convierte el resultado de vatios a kilovatios (kW).

#### i) 7. Consumo anual (kWh)

Este valor se calcula multiplicando la demanda de calefacción específica por la **superficie útil calefactada** del edificio. Representa el total de energía térmica necesaria para mantener las condiciones de confort durante la temporada de calefacción.

Se calcula mediante la formula:

```
=B16*D18
```

Esta fórmula calcula el **consumo energético anual** de un sistema térmico, habitualmente expresado en **kilovatios hora por año (kWh/año)**.

- **B16** representa la **demanda energética total del edificio** (por ejemplo, en kWh/m<sup>2</sup>·año), o la demanda térmica base.
- **D18** representa la **superficie útil calefactada (m<sup>2</sup>)** o un factor proporcional (por ejemplo, número de unidades, tiempo de uso, etc.).

La fórmula multiplica ambos valores para obtener el **consumo total** requerido por el edificio a lo largo del año.

#### *j) 8. Precio de la instalación de radiadores*

La fórmula multiplica un valor de coste medio por m<sup>2</sup> de instalación por la superficie introducida por el usuario para estimar el presupuesto total del sistema de emisores térmicos (radiadores) en un nuevo edificio.

Se calcula mediante la formula:

```
=Radiadores!$C$25*'Entrada Datos'!B17
```

Esta fórmula calcula el **precio estimado de instalación del sistema de radiadores** para un nuevo edificio o proyecto, basándose en:

1. Un precio medio por metro cuadrado calefactado, ubicado en la celda **C25** de la hoja "**Radiadores**".
2. **La superficie útil a calefactar**, indicada por el usuario en la celda **B17** de la hoja "**Entrada Datos**".

#### **Determinación del coste medio por metro cuadrado de instalación de radiadores en la Sierra de las Nieves**

En el marco del simulador energético desarrollado, el valor medio de coste por metro cuadrado de instalación de emisores térmicos (radiadores) se ha obtenido a partir del análisis de diversos proyectos reales ejecutados en municipios pertenecientes a la comarca de la **Sierra de las Nieves** (provincia de Málaga). El objetivo de este cálculo es contar con un valor de referencia fiable que permita estimar presupuestos preliminares de sistemas de calefacción, ajustados a contextos técnicos, climáticos y constructivos similares.

#### **Recopilación de datos reales**

Se recopilaron datos técnicos y económicos de **14 instalaciones de calefacción** distribuidas en los municipios de **El Burgo, Monda, Tolox y Alozaina**, en edificios de uso público (centros educativos, sanitarios, deportivos y sociales). Para cada caso, se disponía de la siguiente información:

- Superficie calefactada (m<sup>2</sup>)
- Potencia térmica instalada (kW)
- Coste total de los radiadores (€)
- Precio unitario por metro cuadrado (€/m<sup>2</sup>)

## Hoja Radiadores

Tabla 23 Resultados precios radiadores.

Fuente: Licitación TSA0075212

	Coloegio	M <sup>2</sup>	Potencia necesaria kw	Demanda Kwh/año en función de certificado	€/m	Precio radiadores €
El BURGO	CEIP San Agustín	2.070,00	207		49,05	101.541,78
	Centro de Cuidados Alzheimer	190,00	19		49,05	9.320,26
Monda	CEIP Remedios Rojo 2	1.148,00	115		52,52	60.292,87
Tolox	Tanatorio	280,00	28		41,16	10.728,08
	Consultorio	133,00	13		41,16	5.474,53
	Biblioteca Pública Antonio Canca	381,00	38		41,16	15.682,68
	Centro Juvenil	1.372,00	137		41,16	56.474,10
	CEIP San Roque (Infantil y ESO)	1.275,00	128		38,31	48.851,10
	Guardería	154,00	15		41,16	6.338,93
	CEIP San Roque Módulo	924,00	92		41,16	38.033,58
Alozaina	CEIP Arquitecto Sánchez Sepúlveda Módulo 1	1.827,00	183		44,38	81.084,38
	CEIP Arquitecto Sánchez Sepúlveda Módulo 2	200,00	20		44,38	8.876,23
	Guardería	300,00	30		44,38	13.314,35
	Gimnasio	120,00	12		44,38	5.325,74
	Centro de Mayores	302,00	30		44,38	13.403,11
	Precio medio ponderado por m <sup>2</sup>	43,56				

### 3. Cálculo resultados, hoja entrada de Datos Piscinas

En este apartado se estiman los resultados energéticos de las piscinas climatizadas introducidas por el usuario. A partir de parámetros como las dimensiones, el volumen, la ubicación (interior/exterior), la temperatura objetivo y las horas de uso anual, el simulador calcula de forma automática la **potencia térmica necesaria** y el **consumo energético anual** para cada piscina. Estos valores se incorporan al cálculo global de la red de calor, permitiendo evaluar su impacto en la demanda total y en la viabilidad económica del proyecto.

Tabla 24. Ejemplo de datos y resultados de una piscina

Piscina Climatizada 1			
Datos		Resultados	
Ancho (m)		Superficie (m <sup>2</sup> )	0,00
Largo (m)		Volumen (m <sup>3</sup> )	0,00
Profundidad Media (m)		Pérdida (kW/m <sup>2</sup> )	1,00
Ubicación		Potencia Nominal (kW)	0,00
Temperatura (°C)		Consumo de calefacción (kWh/m <sup>2</sup> año)	0,00
Horas Anuales		Consumo Anual (kWh)	0,00
Tuberías hasta el edificio conectado más cercano (m)			

a) *Superficie (m<sup>2</sup>)*

Este valor representa la **superficie horizontal de la lámina de agua de la piscina**, es decir, el área en contacto con el aire. Es un parámetro fundamental para estimar las **pérdidas térmicas** que se producen por evaporación, convección y radiación, especialmente si la piscina se encuentra al aire libre. También sirve de base para calcular la **potencia necesaria** del sistema de climatización.

Se calcula mediante la fórmula:

$$= B82 * B83$$

Esta fórmula multiplica el **ancho** de la piscina (B82) por su **largo** (B83), ambos en metros.

- **B82:** Ancho de la piscina (m)
- **B83:** Largo de la piscina (m)

El resultado se expresa en metros cuadrados (m<sup>2</sup>), y determina el área útil sobre la cual se evaluarán las pérdidas energéticas y la demanda térmica del sistema.

b) *Volumen (m<sup>3</sup>)*

Este valor representa el **volumen total de agua contenida en la piscina**, y es esencial para tener una idea de la **cantidad de fluido que necesita ser calentado y mantenido a temperatura constante**. Aunque la climatización se calcula principalmente en base a la superficie (por las pérdidas térmicas), el volumen es útil para conocer la capacidad térmica total del sistema y estimar, por ejemplo, el tiempo inicial de calentamiento.

Se calcula mediante la fórmula:

$$= B82 * B83 * B84$$

Esta fórmula multiplica:

- **B82:** Ancho de la piscina (m)
- **B83:** Largo de la piscina (m)
- **B84:** Profundidad media de la piscina (m)

El resultado se expresa en metros cúbicos (m<sup>3</sup>) y representa el volumen total de agua contenida en la piscina. Este valor puede emplearse como referencia para el cálculo del **calentamiento inicial** del agua o para estudios más avanzados de eficiencia térmica.

c) *Pérdida (kW/m<sup>2</sup>)*

Este valor representa la **pérdida térmica específica por metro cuadrado** de superficie de la piscina. Indica cuánta energía se pierde por cada m<sup>2</sup> de superficie de agua debido a

la diferencia entre la temperatura del agua y la del entorno. Este dato es fundamental para calcular la potencia necesaria del sistema de climatización.

Se calcula mediante la fórmula:

```
=SI(B85="Interior"; Piscina!$B$2; Piscina!$B$3)
```

Esta fórmula aplica una condición lógica para seleccionar el valor adecuado según la **ubicación de la piscina**:

- **B85**: Celda donde el usuario indica si la piscina está ubicada en el **interior** o **exterior**.
- **Piscina!\$B\$2**: Valor predefinido de pérdida térmica para piscinas interiores (kW/m<sup>2</sup>).
- **Piscina!\$B\$3**: Valor predefinido de pérdida térmica para piscinas exteriores (kW/m<sup>2</sup>).

d) *Funcionamiento*:

- Si la piscina es **interior**, se toma el valor correspondiente a pérdidas en interiores.
- Si la piscina es **exterior**, se toma el valor correspondiente a pérdidas en exteriores.

Condición	Pérdida Evaporación (kW/m <sup>2</sup> )
Interior	0,3
Exterior	1

El resultado es un valor numérico que expresa cuánta energía se pierde por cada m<sup>2</sup> de superficie de agua, y varía significativamente en función de la ubicación, ya que las piscinas exteriores están más expuestas a las condiciones climáticas.

e) *Potencia Nominal (kW)*

Este valor representa la **potencia térmica necesaria** para mantener la piscina climatizada en las condiciones establecidas (temperatura, superficie, ubicación y horas de uso). Es uno de los parámetros clave para dimensionar el sistema de calefacción o caldera que cubrirá la demanda energética de la piscina.

Se calcula mediante la siguiente fórmula:

```
=SI.ERROR(D84*D82*BUSCARX(B86;Piscina!$A$6:$A$12;Piscina!$B$6:$B$12);0)
```

**Explicación de los elementos:**

- **D84**: Valor de pérdida térmica específica (kW/m<sup>2</sup>), que ya ha sido calculado previamente según si la piscina está en interior o exterior.
- **D82**: Superficie de la piscina (m<sup>2</sup>).

- **B86**: Temperatura objetivo del agua en °C (por ejemplo, 27 °C), introducida por el usuario.
- **Piscina!\$A\$6:\$A\$12**: Rango de temperaturas de referencia en una tabla de datos ubicada en la hoja "**Piscina**".
- **Piscina!\$B\$6:\$B\$12**: Factores de corrección o coeficientes de demanda asociados a cada temperatura.

Temperatura (°C)	Factor Adicional
24	0,9
25	0,95
26	1
27	1,05
28	1,1
29	1,15
30	1,2

- **BUSCARX(...)**: Función que busca en la tabla de la hoja "Piscina" el **factor de corrección correspondiente a la temperatura seleccionada**.
- **SI.ERROR(...;0)**: En caso de que no se encuentre el valor o haya un error en la búsqueda, devuelve cero para evitar errores de cálculo.

f) *Demanda (kWh/m<sup>2</sup>·año)*

Este valor representa la **demanda energética anual específica por metro cuadrado** de superficie de la piscina. Indica cuánta energía (en kWh) se requiere al año por cada metro cuadrado de lámina de agua para mantener la temperatura objetivo bajo las condiciones de uso indicadas.

Se calcula mediante la siguiente fórmula:

```
=SI.ERROR(D85*BUSCARX(B87;Piscina!$A$17:$A$19;Piscina!$B$17:$B$19)/D82;0)
```

**Explicación de los elementos:**

- **D85**: Potencia nominal de la piscina (kW), ya calculada anteriormente.
- **B87**: Horas anuales de uso indicadas por el usuario
- **Piscina!\$A\$17:\$A\$19**: Columna de referencia con descripciones de uso (por ejemplo, "Todo el año", "6 meses", "3 meses").
- **Piscina!\$B\$17:\$B\$19**: Valores numéricos equivalentes al número total de horas de funcionamiento al año según cada caso (por ejemplo, 8760 para uso continuo, 4380 para medio año, etc.).
- **BUSCARX(...)**: Busca el valor de horas anuales en la tabla de la hoja "**Piscina**" según lo seleccionado en B87.

Horas uso anual (h)	
Todo el año	8760
Verano	2256
Invierno	2160

- **D82**: Superficie de la piscina (m<sup>2</sup>).
- **SI.ERROR(...;0)**: Devuelve 0 en caso de error, para mantener la estabilidad del sim

g) *Consumo Anual (kWh)*

Este valor representa el **consumo total de energía térmica requerido por la piscina durante un año completo**, en función de su superficie, las condiciones de operación y el nivel de uso definido. Es uno de los indicadores clave para estimar el tamaño del sistema de generación y el consumo de biomasa asociado.

Se calcula mediante la fórmula:

$$= D86 * D82$$

**Explicación de los elementos:**

- **D86**: Demanda energética anual específica por metro cuadrado, expresada en kWh/m<sup>2</sup>·año (calculada en la fórmula anterior).
- **D82**: Superficie de la piscina (m<sup>2</sup>).

Toma la cantidad de energía que se necesita por cada m<sup>2</sup> de lámina de agua durante el año, y la multiplica por la superficie total de la piscina. El resultado es el **consumo energético total de esa piscina** en un año de operación, considerando ubicación, temperatura deseada y uso anual.

#### 4. Cálculo de componentes de la red de calor, hoja de resultados

En este apartado se calculan los principales elementos físicos y económicos que componen una red de calor con biomasa. A partir de los datos introducidos por el usuario (número de edificios, piscinas, superficies calefactadas, distancias entre elementos, etc.), el simulador determina de forma automatizada:

Estos cálculos se presentan en la hoja de resultados con desglose por categorías, lo que permite tener una visión clara del impacto económico de cada parte del sistema, facilitando el análisis y la toma de decisiones en fases preliminares del proyecto.

Tabla 25. Resultados calderas asignadas y consumos

Caldera Asignada (kW)	Cantidad de Calderas
300	1
<b>Sala de calderas</b>	
Consumo Previsto anual (kWh/año)	328.276,55
Consumo Pico (kW)	275,03

a) *Caldera Asignada (kW)*

Este valor representa la **potencia nominal de la caldera estándar que se selecciona para cubrir la demanda térmica total del sistema**. La elección no se hace con precisión exacta, sino en función de un catálogo de calderas comerciales con potencias predefinidas. Es decir, el simulador **asigna automáticamente una caldera con una potencia igual o superior a la demanda pico**, tomando como referencia los modelos disponibles.

Para la elección de calderas en el proyecto, se ha definido una estrategia que **prioriza** los siguientes aspectos:

1. **Las calderas seleccionadas deben cubrir siempre la potencia pico de la instalación.**
2. **Se prioriza el uso de una única caldera siempre que sea posible.**
3. **Si la demanda supera la potencia máxima de una caldera individual, se opta por dos calderas idénticas** para optimizar la eficiencia y mantenimiento.
4. **En instalaciones muy grandes (superiores a 300 kW), se modulariza la potencia con unidades de 300 kW siempre que sea posible.**

**Elección de la caldera en función de la potencia requerida**

Para seleccionar el tipo de caldera adecuado en función de la potencia pico (), se han definido los siguientes criterios:

- **Si es inferior a 80 kW** → Se instala una caldera de 80 kW.
- **Si se encuentra entre 80 y 100 kW** → Se instala una caldera de 100 kW.
- **Si se encuentra entre 100 y 120 kW** → Se instala una caldera de 120 kW.
- **Si se encuentra entre 120 y 150 kW** → Se instala una caldera de 150 kW.
- **Si se encuentra entre 150 y 200 kW** → Se instala una caldera de 200 kW.
- **Si se encuentra entre 200 y 250 kW** → Se instala una caldera de 250 kW.
- **Si se encuentra entre 250 y 300 kW** → Se instala una caldera de 300 kW.
- **Si es superior a 300 kW** → Se modulariza con calderas de 200, 250 o 300 kW según corresponda.

Se calcula mediante la siguiente fórmula:

```
=SI(D6<81; 80;  
SI(D6<101; 100;  
SI(D6<121; 120;  
SI(D6<151; 150;  
SI(D6<201; 200;  
SI(D6<251; 250;  
SI(D6<301; 300;  
SI(D6<401; 400))))))
```

En esta fórmula, **D6** contiene el valor del **consumo pico del sistema** (en kW). Mediante una serie de condiciones encadenadas, se compara la demanda pico con umbrales establecidos, y se asigna la **potencia comercial mínima que cumple con ese requisito**. Por ejemplo, si la demanda pico es de 138 kW, se selecciona una caldera de 150 kW; si es de 205 kW, se asigna una de 250 kW.

Este método de selección escalonada evita el sobredimensionamiento excesivo al tiempo que garantiza la cobertura total de la demanda. La potencia asignada resultante es, además, el valor que se utilizará para los cálculos energéticos, económicos y de emisiones en el resto del simulador.

#### b) *Cantidad de Calderas*

Este valor indica el **número total de calderas necesarias** para satisfacer la demanda térmica pico del sistema. Se calcula en función de la **potencia máxima estimada (D6)** y de una **potencia límite establecida por unidad de caldera**, que en este caso es de 300 kW. Esta limitación puede responder a restricciones técnicas, normativas o de disponibilidad comercial.

La fórmula utilizada es la siguiente:

```
=SI(D6<=300; 1; REDONDEAR.MAS(D6/300; 0))
```

En esta expresión:

- **D6** contiene el valor del consumo pico del sistema (kW).
- Si el valor es igual o inferior a 300 kW, se considera suficiente con **una sola caldera**.

- Si supera ese umbral, se divide el valor de D6 entre 300 y se aplica la función REDONDEAR.MAS, que redondea hacia arriba al entero más próximo.

De esta forma, el sistema asigna automáticamente **el número mínimo de calderas necesarias** para cubrir la potencia requerida, sin subdimensionar el sistema.

*c) Consumo Previsto Anual (kWh/año)*

Este valor representa la **suma total de energía térmica estimada que será consumida por el sistema a lo largo de un año**, considerando todos los elementos conectados a la red de calefacción, como edificios y piscinas. Es uno de los indicadores principales del dimensionamiento energético del sistema y sirve de base para cálculos de costes operativos, dimensionamiento de almacenamiento de biomasa y análisis de viabilidad económica.

La fórmula utilizada es la siguiente:

```
= 'Entrada Datos'!D20 + 'Entrada Datos'!D31 + 'Entrada Datos'!D42 + 'Entrada Datos'!D53 +
'Entrada Datos'!D64 + 'Entrada Datos'!D75 + 'Entrada Datos'!D87 + 'Entrada Datos'!D97 +
'Entrada Datos'!D107 + 'Entrada Datos'!D117 + 'Entrada Datos'!D127
```

Esta fórmula realiza la **suma de los consumos anuales individuales** de hasta **11 bloques distintos** (edificios o piscinas) introducidos por el usuario en la hoja "**Entrada Datos**". Las celdas referenciadas (D20, D31, D42, etc.) corresponden a los campos donde se calcula automáticamente el consumo anual de cada uno de esos elementos.

El resultado representa la **demanda energética anual agregada** de toda la instalación, expresada en kilovatios hora por año (kWh/año).

*d) Consumo Pico (kW)*

El consumo pico representa la **potencia máxima simultánea que puede requerir el sistema de calefacción en condiciones de máxima demanda térmica**. Este valor es crucial para dimensionar adecuadamente la caldera o el conjunto de calderas, así como para definir los elementos auxiliares como bombas, intercambiadores o acumuladores.

Se calcula mediante la siguiente fórmula:

```
= 'Entrada Datos'!D19 + 'Entrada Datos'!D30 + 'Entrada Datos'!D41 + 'Entrada Datos'!D52 +
'Entrada Datos'!D74 + 'Entrada Datos'!D85 + 'Entrada Datos'!D95 + 'Entrada Datos'!D105 +
'Entrada Datos'!D115 + 'Entrada Datos'!D125
```

Esta expresión realiza la **suma de las potencias nominales** de hasta 10 elementos calefactados (ya sean edificios o piscinas), cuyos valores individuales han sido previamente calculados en la hoja "**Entrada Datos**". Las celdas referenciadas (D19, D30, D41, etc.) contienen la potencia estimada para cada uno de estos bloques, basada en su demanda térmica y uso anual.

*e) Sumatoria de Metros Totales entre Sala de Calderas y Estaciones de Intercambio*

**Sumatoria de Metros Totales entre Sala de Calderas y Estaciones de Intercambio**

Este valor representa la **longitud total de las tuberías necesarias para conectar la sala de calderas con todos los puntos de consumo térmico** del sistema (edificios y piscinas).

La fórmula utilizada para su cálculo es la siguiente:

```
= 'Entrada Datos'!B18 + 'Entrada Datos'!B29 + 'Entrada Datos'!B40 +  
'Entrada Datos'!B51 + 'Entrada Datos'!B62 + 'Entrada Datos'!B73 +  
'Entrada Datos'!B88 + 'Entrada Datos'!B98 + 'Entrada Datos'!B108 +  
'Entrada Datos'!B118 + 'Entrada Datos'!B128
```

Cada celda referenciada contiene la distancia (en metros) entre la sala de calderas y uno de los consumidores individuales (ya sea un edificio o una piscina). El simulador admite hasta **11 estaciones de intercambio** diferentes.

La suma de todas estas distancias proporciona la **longitud total de red necesaria** para la conexión hidráulica del sistema, expresada en **metros lineales (m)**

*f) Estaciones de Intercambio – Clasificación por Potencia*

Cada fila de esta sección indica el **número de consumidores individuales** cuya **potencia térmica nominal** se encuentra dentro de un rango específico. La finalidad es organizar los puntos de consumo según escalones de potencia estándar (por ejemplo, 40 kW, 60 kW, 85 kW, etc.), permitiendo así una clasificación clara que facilite decisiones técnicas y económicas relacionadas con las estaciones de intercambio.

Para la fila correspondiente a 40 kW, la fórmula utilizada es:

```
=SUMA(
  SI(('Entrada Datos'!D19>0)*('Entrada Datos'!D19<40);1;0);
  SI(('Entrada Datos'!D30>0)*('Entrada Datos'!D30<40);1;0);
  SI(('Entrada Datos'!D41>0)*('Entrada Datos'!D41<40);1;0);
  SI(('Entrada Datos'!D52>0)*('Entrada Datos'!D52<40);1;0);
  SI(('Entrada Datos'!D63>0)*('Entrada Datos'!D63<40);1;0);
  SI(('Entrada Datos'!D74>0)*('Entrada Datos'!D74<40);1;0);
  SI(('Entrada Datos'!D85>0)*('Entrada Datos'!D85<40);1;0);
  SI(('Entrada Datos'!D95>0)*('Entrada Datos'!D95<40);1;0);
  SI(('Entrada Datos'!D105>0)*('Entrada Datos'!D105<40);1;0);
  SI(('Entrada Datos'!D115>0)*('Entrada Datos'!D115<40);1;0);
  SI(('Entrada Datos'!D125>0)*('Entrada Datos'!D125<40);1;0)
)
```

La fórmula evalúa la potencia térmica de hasta 11 posibles consumidores, ubicados en distintas celdas de la hoja "**Entrada Datos**". En cada caso, si la potencia se encuentra dentro del rango correspondiente (por ejemplo, mayor que 0 y menor que 40 kW), se suma 1. El resultado final indica cuántos consumidores caen dentro de ese intervalo.

Esta lógica se **repite de forma análoga para el resto de filas**, variando únicamente los **límites del intervalo de potencia**. Por ejemplo:

- En la fila de 60 kW se contabilizan los consumidores con potencia  $\geq 40$  y  $< 60$ .
- En la de 85 kW, aquellos con potencia  $\geq 60$  y  $< 85$ .
- Y así sucesivamente hasta la fila de 500 kW.

Cada fórmula emplea la misma estructura SI(...)\*(...) para representar condiciones lógicas dobles y luego utiliza SUMA(...) para contar los elementos que cumplen dichas condiciones.

## 5. Presupuestos y consumos

### a) *Presupuesto Total Estimado (€)*

Este valor representa el **coste económico total estimado del sistema de calefacción con biomasa**, calculado a partir de la suma de diversos componentes parciales. Incluye tanto los elementos propios de la sala de calderas como los costes asociados a las unidades consumidoras (edificios y piscinas).

La fórmula utilizada es:

```
= 'Presupuesto modificable'!J125 +  
'Entrada Datos'!D21 + 'Entrada Datos'!D32 + 'Entrada Datos'!D43 +  
'Entrada Datos'!D54 + 'Entrada Datos'!D65 + 'Entrada Datos'!D76
```

En esta expresión:

- 'Presupuesto modificable'!J125 corresponde al coste base de la sala de calderas, incluyendo la caldera, silo, obra civil y accesorios.
- 'Entrada Datos'!D21, D32, D43, D54, D65, D76 contienen los costes individuales de instalación de radiadores asociados a cada uno de los **edificios** definidos por el usuario (hasta 6 en total). Estos valores se calculan automáticamente en función de la superficie calefactada o de la potencia asignada.

La suma de todos estos valores proporciona el **presupuesto global del sistema**, expresado en euros (€), bajo el supuesto de que se ejecutan todas las instalaciones contempladas en el modelo.

#### *b) Consumo Anual de Astilla (t/año)*

Este valor indica la **cantidad total de biomasa en forma de astilla (expresada en toneladas)** que será necesaria para cubrir el consumo energético anual previsto por el sistema de calefacción.

La fórmula utilizada es:

```
= D5 / 'Sierra nieves'!$D$4
```

En esta expresión:

- **D5** contiene el valor del **consumo energético anual** del sistema (kWh/año), previamente calculado como la suma del consumo de todos los edificios y piscinas conectados.
- '**Sierra nieves**'!\$D\$4 corresponde al **poder calorífico útil de la astilla**, expresado en kWh por tonelada (kWh/t), y se encuentra referenciado desde la hoja "**Sierra nieves**".

La fórmula realiza una simple división entre el consumo energético necesario y la energía que aporta una tonelada de astilla, resultando en la **cantidad total de toneladas que deben ser suministradas al año** para satisfacer la demanda térmica del sistema.

c) *Coste Energético Anual según Fuente de Energía (€)*

Este bloque calcula el **coste total anual en euros (€)** de abastecer la demanda térmica del sistema utilizando distintos tipos de energía: biomasa, electricidad o gasoil. Las fórmulas aplican un **precio unitario por kWh o tonelada**, dependiendo del tipo de energía, sobre el consumo energético correspondiente.

Para el cálculo de los precios se utiliza la siguiente tabla que se puede ir actualizando en función del año:

Tabla 26. Precios de la energía utilizada

Precios	€/kWh
Precio medio biomasa	0,04
Precio electricidad	0,22
Precio del gasoil	0,15

Inflación acumulada desde 2022	1,122
--------------------------------	-------

**1. Biomasa: 0,04 €/kWh**

**Valor propuesto:** 0,04 €/kWh (sin incluir subvenciones).

**Fuente primaria:**

- **IDAE (2023).** *Precios de la biomasa para uso térmico.* Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.

**Justificación:**

El IDAE establece un rango de **0,04-0,06 €/kWh** para biomasa (pellets y astillas) en aplicaciones térmicas. El valor de **0,04 €/kWh** se sitúa en el límite inferior del rango, coherente con proyectos que utilizan biomasa residual o contratos de suministro a largo plazo. Si se incluyen subvenciones (ej: programas de eficiencia energética), el precio podría reducirse a **0,03-0,035 €/kWh**, pero esto debe especificarse como una condición excepcional.

**2. Electricidad: 0,22 €/kWh**

**Valor propuesto:** 0,22 €/kWh (uso doméstico/PYMES).

**Fuente primaria:**

- **CNMC (2023).** *Informe de precios de la electricidad.* Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia.

**Justificación:**

La CNMC reporta un precio medio de **0,18-0,25 €/kWh** para consumidores residenciales y pequeñas empresas, incluyendo impuestos y peajes. El valor de **0,22 €/kWh** refleja una estimación conservadora dentro de este rango. Para instalaciones industriales (>100 kW), se recomienda usar **0,15 €/kWh** (CNMC, 2023).

### 3. Gasoil: 0,15 €/kWh

Valor propuesto: 0,15 €/kWh (incluyendo impuestos).

Fuente primaria:

- **CORES (2023).** *Precios medios de productos petrolíferos.* Corporación de Reservas Estratégicas.

#### Justificación:

El CORES indica un precio base del gasóleo C de **0,09-0,12 €/kWh** (sin impuestos). Sumando el impuesto especial (**0,042 €/kWh**) y el IVA (21%), el coste total se eleva a **0,14-0,16 €/kWh**. El valor de **0,15 €/kWh** representa la media de este rango, válido para usos no agrícolas.

### 4. Inflación acumulada desde 2022:

- Para reflejar el valor actualizado de los precios energéticos y mantener la comparabilidad a precios constantes, se ha aplicado un **factor de corrección por inflación acumulada** desde el año 2022. Este coeficiente, estimado en **1,122**, se basa en los datos oficiales del Índice de Precios de Consumo (IPC) publicados por el Instituto Nacional de Estadística (INE) entre enero de 2022 y abril de 2025.
- Este ajuste permite homogeneizar los precios de distintas fuentes y años, asegurando que todos los valores reflejen el **poder adquisitivo actualizado** en euros de 2025. Es especialmente relevante para comparar alternativas energéticas en términos reales y para proyectar correctamente los retornos de inversión en escenarios de mediano-largo plazo.

#### d) Coste de Mantenimiento Anual (€)

Este valor representa el **coste anual de mantenimiento técnico de la caldera**, en función de su potencia térmica asignada. El simulador lo calcula utilizando una tabla de referencia que recoge costes medios de mantenimiento por tramos de potencia.

La fórmula utilizada es:

```
=BUSCARV(MIN(600; (ENTERO((C2-1)/100)+1)*100); 'Mantenimiento Caldera'!A2:D7; 2; FALSO)
```

- **C2:** Contiene la potencia de la caldera asignada (en kW).
- **\*(ENTERO((C2-1)/100)+1)100:** Redondea la potencia hacia arriba al múltiplo de 100 inmediatamente superior (por ejemplo, 235 kW → 300 kW).
- **MIN(600; ...):** Limita la búsqueda a un máximo de 600 kW, que es el último valor de referencia disponible en la tabla.
- **'Mantenimiento Caldera'!A2:D7:** Rango que contiene los tramos de potencia y los costes de mantenimiento asociados.
- **2:** Columna desde la que se extrae el valor (columna de biomasa).

- **FALSO:** Búsqueda exacta del valor redondeado.

El resultado es el **coste anual estimado de mantenimiento** de la caldera de biomasa, en euros.

**Nota:** La misma fórmula se utiliza para gasoil, cambiando la columna del BUSCARV (por ejemplo, columna 4 en lugar de 2), ya que los valores de mantenimiento difieren por tipo de combustible.

Tabla 27. Coste estimado anual de mantenimiento según potencia y tipo de tecnología

Potencia (kW)	Biomasa (€/año)	Gasoil (€/año)	Electricidad (€/año)
100	800	400	300
200	1200	600	400
300	1500	800	500
400	1800	1000	600
500	2200	1200	700
600	2600	1400	800

El coste del mantenimiento anual de una sala de calderas varía significativamente según la fuente energética utilizada, la potencia instalada y la complejidad del sistema. A continuación, se detalla la justificación para cada tecnología:

### 1. Costes y actividades asociadas de Calderas de Biomasa

- **Limpieza de residuos:** Eliminación de cenizas y partículas sólidas generadas durante la combustión.
- **Mantenimiento mecánico:** Revisión de sinfines, tolvas y sistemas de alimentación de combustible.
- **Calibración:** Ajuste de parámetros de combustión (aire/combustible) para optimizar eficiencia.
- **Escalado de costes:** Para potencias superiores a 100 kW, se aplica un incremento del 15-20% debido a la mayor complejidad de los sistemas de almacenamiento y automatización.

#### Rango de precios:

Los valores reflejan la necesidad de intervenciones frecuentes y mano de obra especializada, siguiendo referencias como Caseragua (2024) *Mantenimiento de instalaciones térmicas con biomasa.*, que establece costes base desde 190 €/año para instalaciones pequeñas.

### 2. Costes y actividades asociadas Calderas de Gasoil

- **Revisión del quemador:** Limpieza de toberas y verificación de la llama.
- **Análisis de humos:** Control de emisiones para cumplir con normativas ambientales (RITE).

- **Mantenimiento del depósito:** Inspección de fugas y corrosión.
- **Escalado de costes:** Incremento progresivo según potencia, derivado de mayores requisitos de seguridad y capacidad de combustible.

#### Rango de precios:

Los valores se ajustan a las estimaciones de Cronoshare (2025), que incluyen costes de mano de obra cualificada y revisiones obligatorias anuales.

### 3. Costes y actividades asociadas Sistemas Eléctricos

- **Revisión de resistencias:** Comprobación de desgaste y sustitución si es necesario.
- **Control de cuadros eléctricos:** Verificación de protecciones y conexiones.
- **Mantenimiento predictivo:** Monitoreo de sistemas de control para evitar fallos.

#### Rango de precios:

Los valores se ajustan a las estimaciones de Habitissimo (2024). *Precio de mantenimiento de caldera* y Cronoshare (2025). *Cuánto cuesta el mantenimiento de calderas*.

#### e) OPEX Anual (€/año)

El OPEX (Operational Expenditure) representa el **coste de operación anual**, que incluye:

- Coste de la energía (biomasa, electricidad o gasoil).
- Coste de mantenimiento técnico.
- Otros costes variables asociados al funcionamiento del sistema.

En el caso de la biomasa, se calcula mediante la fórmula:

$$= G5 + J2 + G7$$

- **G5:** Coste de la biomasa (€/año), previamente calculado a partir del consumo anual y el precio por tonelada.
- **J2:** Coste de mantenimiento de la caldera (€/año), obtenido mediante BUSCARV.
- **G7:** Otros costes operativos asociados (pueden incluir logística, limpieza, etc.).

La suma de estos tres componentes da como resultado el **coste total de operación anual** para un sistema de calefacción con biomasa.

**Nota:** Para gasoil, la fórmula del OPEX es estructuralmente la misma, sustituyendo el coste energético y el mantenimiento por los correspondientes a ese combustible.

## 6. KPIs Económicos – Comparativa Biomasa vs Electricidad / Gasoil

El simulador calcula una serie de indicadores clave que permiten evaluar la **viabilidad económica del sistema de calefacción con biomasa** frente a sistemas convencionales como la electricidad o el gasoil. A continuación, se describen los principales indicadores y sus fórmulas.

### a) *Ahorro Anual en Combustible €*

Este valor representa la **diferencia en el coste energético anual** entre el sistema basado en biomasa y el sistema convencional (electricidad o gasoil).

Fórmula:

$$= H5 - G5$$

- **H5:** Coste anual del sistema convencional (electricidad o gasoil).
- **G5:** Coste anual del sistema de biomasa.

El resultado es el **ahorro económico directo por año**, expresado en euros (€).

### b) *Retorno de la Inversión (ROI) (%)*

El ROI indica el **porcentaje de rentabilidad anual** que se obtiene de la inversión inicial, en función del ahorro que genera el sistema de biomasa respecto al sistema convencional.

Fórmula:

$$= G12 / G2 * 100$$

- **G12:** Ahorro anual en combustible (€), calculado previamente.
- **G2:** Inversión inicial total (€).

La fórmula calcula la fracción de la inversión que se recupera cada año mediante el ahorro, y la expresa en porcentaje.

### c) *Payback (años)*

El Payback mide el **número de años necesarios para recuperar la inversión inicial**, basándose en el ahorro generado anualmente.

Fórmula:

$$= G2 / (H8 - G8)$$

- **G2**: Inversión inicial total (€).
- **H8**: Coste anual del sistema convencional.
- **G8**: OPEX anual del sistema de biomasa.

Esta fórmula tiene en cuenta no solo el precio del combustible, sino también otros costes de operación, ofreciendo un cálculo más realista del tiempo de retorno.

Las mismas fórmulas se utilizan tanto para la comparación **Biomasa vs Electricidad** como para **Biomasa vs Gasoil**, variando únicamente los valores de coste energético y OPEX correspondientes a cada fuente.

## 7. KPIs Ambientales – Comparativa Biomasa vs Electricidad / Gasoil

Los indicadores ambientales calculados por el simulador permiten evaluar el **impacto en términos de reducción de emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)** cuando se opta por un sistema de calefacción con biomasa frente a alternativas fósiles como la electricidad o el gasoil. A continuación, se explican los principales indicadores y sus fórmulas:

### a) 1. Reducción de Emisiones de CO<sub>2</sub> (kg/año)

Este valor representa la **cantidad total de emisiones de CO<sub>2</sub> evitadas** al utilizar biomasa en lugar de electricidad o gasoil. Se calcula como la diferencia entre las emisiones anuales asociadas al sistema convencional y las del sistema de biomasa.

#### Fórmula:

$$= H6 - G6$$

- **H6**: Emisiones anuales del sistema de referencia (electricidad o gasoil), en kg de CO<sub>2</sub>.
- **G6**: Emisiones anuales del sistema de biomasa, en kg de CO<sub>2</sub>.

El resultado representa la **reducción absoluta de emisiones** y se expresa en **kilogramos de CO<sub>2</sub> por año (kg/año)**.

### b) 2. Porcentaje de Reducción de CO<sub>2</sub> (%)

Este indicador expresa en términos relativos la **proporción de emisiones evitadas** con respecto a las emisiones que generaría el sistema convencional.

#### Fórmula:

$$= G18 / H6 * 100$$

- **G18:** Reducción absoluta de emisiones (calculada como H6 - G6).
- **H6:** Emisiones anuales del sistema convencional (kg CO<sub>2</sub>/año).

El resultado es un porcentaje (%) que indica qué **fracción de las emisiones originales se ha evitado** al utilizar biomasa como fuente de energía térmica.

## 8. KPI de Eficiencia Energética – Sistema de Biomasa

Los indicadores de eficiencia energética permiten analizar el rendimiento económico del sistema en relación con la cantidad de combustible consumido. En el caso de los sistemas de biomasa, uno de los KPIs más representativos es el **coste de energía por tonelada de astilla consumida**.

### a) *Costo de Energía por Tonelada de Astilla (€/t)*

Este indicador expresa el **coste total anual de la energía térmica generada**, dividido por la cantidad de biomasa utilizada en el mismo período. Permite evaluar el **rendimiento económico** del sistema en relación con el volumen de combustible utilizado.

**Fórmula:**

$$= G5 / H2$$

- **G5:** Coste total anual del consumo de biomasa, en euros (€).
- **H2:** Cantidad total de astilla consumida anualmente, en toneladas (t).

El resultado se expresa en **euros por tonelada (€/t)** y representa el **coste medio por cada tonelada de biomasa utilizada** en el sistema. Este KPI es útil para comparaciones entre distintos suministradores, tecnologías de combustión o condiciones de operación.

## 9. KPI Ambiental–Económico: Relación CO<sub>2</sub> por Euro Invertido

Este indicador relaciona el **beneficio ambiental obtenido** (en términos de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>) con el **coste total de inversión en el sistema de biomasa**. Se trata de un índice que permite valorar la **eficiencia ambiental de la inversión**, midiendo cuántos kilogramos de CO<sub>2</sub> se evitan por cada euro invertido.

### a) *Relación CO<sub>2</sub> por Euro Invertido (kg CO<sub>2</sub> / €)*

**Fórmula:**

$$= G18 / G2$$

- **G18:** Reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> (kg/año), obtenida al sustituir el sistema convencional por biomasa.
- **G2:** Inversión inicial total en el sistema de biomasa (€).

El resultado se expresa en **kilogramos de CO<sub>2</sub> evitados por euro invertido (kg/€)**. Un valor más alto indica una mayor eficiencia ambiental de la inversión realizada.

Esta fórmula se aplica tanto a la comparación **biomasa vs electricidad** como **biomasa vs gasoil**, variando únicamente los valores de emisiones evitadas.

## C. Creación del presupuesto

En este apartado, se explica la procedencia y estructura de las partidas más importantes del presupuesto y que sufren variaciones en función de la selección de edificios y piscinas del usuario. Para ver el presupuesto de forma más detallada ir al anexo presupuestos.

### 1. Fuentes del presupuesto

Las estimaciones económicas del simulador se fundamentan en tres fuentes principales:

1. **Licitaciones públicas de los proyectos de la Sierra de las Nieves:** Se han analizado los pliegos y documentos de contratación de las instalaciones de redes de calor con biomasa en municipios como Ojén, Tolox, Monda y otros, promovidos por la Diputación de Málaga. Como las licitaciones: **TSA0076710 y TSA0075212.**
2. **Proyectos encargados en sierra de las nieves:** Se han utilizado como base de precios los proyectos reales impulsados por la Diputación de Málaga en varios municipios de la Sierra de las Nieves.
3. **Base de tarifas TRAGSA 2022:** Se ha utilizado la base de tarifas de TRAGSA correspondiente al año 2022, que incluye precios unitarios para diversas actuaciones y servicios relacionados con la implementación de redes de calor con biomasa.
4. **Generador de precios de la construcción en España:** Se ha consultado el generador de precios de la construcción en España para obtener referencias actualizadas sobre los costes de materiales, mano de obra y otros elementos necesarios en la ejecución de proyectos de redes de calor con biomasa. Esta herramienta proporciona información detallada y actualizada que complementa las otras fuentes utilizadas.
5. **Presupuestos solicitados a empresas especializadas:** Además de las fuentes anteriores, se han solicitado presupuestos específicos a empresas especializadas en la instalación.

### 2. Estructura de las partidas principales del presupuesto

La estructura del presupuesto está compuesta por los siguientes bloques:

1. **Sala de calderas:** Se ha definido un coste fijo que varía según el número de calderas necesarias (una, dos o tres), incluyendo el silo de biomasa y su instalación en un módulo prefabricado. Los precios están basados en proyectos reales redactados en la Sierra de las Nieves.
2. **Calderas:** Los precios unitarios de calderas comerciales (80 a 300 kW) se han extraído de licitaciones públicas (como TSA000075212) y complementado con tarifas de instalación extraídas de la base de precios de TRAGSA 2022. En los casos donde no existían datos directos, se ha recurrido a extrapolaciones proporcionales según la potencia.
3. **Acumuladores, vasos de expansión, intercambiadores de placas y chimeneas:** Estos componentes térmicos se han valorado utilizando el

Generador de Precios de la Construcción de CYPE, fuente reconocida por proporcionar precios actualizados que incluyen materiales, mano de obra y costes indirectos.

4. **Tuberías:** El cálculo de la red de tuberías se realiza automáticamente en el simulador en función de la potencia térmica y la longitud estimada. Se han definido tres escenarios según la potencia de la caldera, aplicando una distribución porcentual del diámetro de las conducciones. Los precios unitarios de suministro se han obtenido de la licitación pública TSA000075212.
5. **Otros costes complementarios:** Se ha incluido un sobrecoste del 30 % sobre el valor de las tuberías para cubrir elementos como arquetas de conexión, reposición de servicios afectados e imprevistos asociados a obra civil.
6. **Instalación eléctrica:** Se han considerado tanto los costes de la instalación eléctrica principal de la sala de calderas (presupuesto real solicitado a empresa especializada), como un coste adicional por cada subestación de intercambio conectada.

La suma de todas estas partidas asociadas a la configuración introducida por el usuario y las partidas fijas que se derivan de las aquí presentes permite estimar con precisión el coste total del sistema para. El simulador actualiza dinámicamente el presupuesto conforme se modifican los edificios o piscinas conectados, lo que permite comparar distintas alternativas de diseño con gran agilidad.

Para un desglose completo de las partidas presupuestarias, precios unitarios, fórmulas de cálculo y fuentes utilizadas, puede consultarse el **Anexo de Presupuestos**, donde se documentan en detalle los criterios aplicados para cada componente del sistema.

## IV. Resultados

En este apartado se presentan los resultados del simulador aplicado a siete municipios de la comarca de la Sierra de las Nieves. El objetivo es evaluar su precisión y utilidad frente a los proyectos reales redactados y ejecutados por la Diputación de Málaga, en colaboración con TRAGSA. Para ello, se comparan distintos indicadores clave: potencia de caldera instalada, consumo energético anual, demanda pico, presupuestos estimados, así como indicadores económicos y ambientales. A través de esta comparación se pretende poner de manifiesto el grado de ajuste del simulador a la realidad técnica y climática de cada localidad, y su capacidad para detectar sobredimensionamientos, valorar la rentabilidad de los proyectos y facilitar decisiones estratégicas. Cada caso de estudio se acompaña de tablas con datos cuantitativos y comentarios interpretativos.

## A. Casos de estudio Ojén

El municipio de Ojén se localiza en la provincia de Málaga, a una altitud de 314 metros sobre el nivel del mar. En el estudio realizado con el simulador, se ha introducido un total de **3 edificios** como parte del sistema de calefacción municipal. La temperatura de consigna para la calefacción de los edificios se ha fijado en **20 °C**, valor habitual para usos de confort en equipamientos públicos.

A continuación, se detallan todos los datos utilizados:

Tabla 28. Datos red de calor de Ojén

Provincia	Málaga
Altitud del municipio	309
Numero de edificios	3
Número de piscinas	0
Temperatura de calefacción de los edificios	20

Edificio 1			
Datos		Resultados	
Tipo de Uso	Colegios y hospitales	Zona climática	B3
Aislamiento	Bien aislado	HDH	33.720,60
Estanquidad	Media	U (W/m²K)	1,10
Superficie Total a calefactar (m²)	350	H	1,20
Superficie de radiadores a instalar	350	Consumo de calefacción (kWh/m²año)	52,37
Tuberías hasta el edificio conectado más cercano (m)	220	Potencia nominal (Kw)	27,18
		Consumo anual (kWh/año)	18.328,14
		Precio de la instalación Radiadores €	19.058,32
Edificio 2			
Datos		Resultados	
Tipo de Uso	Colegios y hospitales	Zona climática	B3
Aislamiento	Muy mal aislado	Grados-Día de Calefacción (GD)	33.720,60
Estanquidad	Baja	U (W/m²K)	1,80
Superficie Total (m²)	1000	H	1,20
Superficie de radiadores a instalar	1000	Consumo de calefacción (kWh/m²año)	85,69
Tuberías hasta el edificio conectado más cercano (m)	220	Potencia nominal (Kw)	101,76
		Consumo anual (kWh/año)	85.690,00
		Precio de la instalación Radiadores (€)	54.452,33
Edificio 3			
Datos		Resultados	
Tipo de Uso	Colegios y hospitales	Zona climática	B3
Aislamiento	Mal aislado	Grados-Día de Calefacción (GD)	33.720,60
Estanquidad	Media	U (W/m²K)	1,50
Superficie Total (m²)	608,33	H	1,20
Superficie de radiadores a instalar	608,33	Consumo de calefacción (kWh/m²año)	71,41
Tuberías hasta el edificio conectado más cercano (m)	155	Potencia nominal (Kw)	52,82
		Consumo anual (kWh/año)	43.439,83
		Precio de la instalación Radiadores (€)	33.124,99

## 1. Comparativa de Potencia Instalada – Simulador vs Proyecto Real

Tabla 29. Caldera asignada Ojén

Caldera Asignada (kW)	Cantidad de Calderas
200	2

En el caso práctico analizado, se observa una diferencia relevante entre la solución propuesta por el simulador y la decisión adoptada en el proyecto real en cuanto al dimensionamiento de la sala de calderas.

### Simulador:

- **Caldera asignada:** 200 kW
- **Cantidad de calderas:** 1
- El simulador selecciona una única caldera estándar de 200 kW para cubrir la demanda pico estimada, ajustándose a la potencia requerida en el momento del análisis y aplicando un criterio de redondeo hacia el modelo comercial más cercano por exceso.

### Proyecto Real:

- **Calderas instaladas:** 2 unidades de 120 kW (potencia total: 240 kW)
- **Observación técnica:** La instalación se dimensionó teniendo en cuenta **una futura ampliación de la red**, que contempla la conexión de nuevos edificios. Por tanto, el criterio aplicado fue el de **sobredimensionamiento planificado** para facilitar una futura expansión sin necesidad de sustituir o reforzar el sistema.

## 2. Comparativa de Consumo Energético y Potencia Pico – Simulador vs Proyecto Real

Tabla 30 Consumos Ojén

Sala de calderas	
Consumo Previsto anual (kWh/año)	147.457,96
Consumo Pico (kW)	181,76

La siguiente comparación analiza dos parámetros fundamentales en el dimensionamiento del sistema de calefacción: el **consumo energético anual previsto** y la **demanda de potencia térmica en condiciones de carga máxima**.

a) 1. Consumo Anual de Energía Térmica (kWh/año)

Tabla 31. Consumo Anual de Energía Térmica

Fuente	Consumo Anual (kWh)
Simulador	147.457,96
Proyecto real	249,806,3

El consumo anual estimado por el simulador es sensiblemente inferior (aproximadamente un 41 % menos) al previsto en el proyecto redactado. Esta diferencia puede explicarse por varios factores:

- En el proyecto real se incluyen criterios conservadores, como un mayor número de horas anuales de uso térmico y márgenes de seguridad para garantizar cobertura incluso en condiciones extremas.
- Además, las memorias valoradas tienden a utilizar estimaciones estándar de uso y carga térmica, que no siempre se ajustan a la climatología específica del municipio. En este caso, Ojén se encuentra en la zona climática B3 según el Código Técnico de la Edificación, lo que implica inviernos suaves y una temporada de calefacción reducida. Esta condición climática, propia de municipios costeros o próximos al litoral malagueño, justifica un número significativamente menor de horas reales de calefacción respecto a las consideradas en los criterios genéricos del proyecto real.

b) 2. Consumo Pico o Potencia Nominal Requerida (kW)

Tabla 32. Consumo Pico o Potencia Nominal Requerida (kW)

Fuente	Potencia Pico (kW)
Simulador	181,76
Proyecto real	239,97

Según el proyecto: La caldera estará en funcionamiento durante 5 meses al año, de noviembre a marzo de lunes a viernes. Durante unas 10 horas lo que equivale a 1.041 horas al año. Teniendo en cuenta el consumo total anteriormente mencionado, 249.806,3 kWh/año, la potencia de la caldera deberá ser similar a:  $249.806,3 \text{ kWh/año} / 1.041 \text{ h/año} = 239,97 \text{ kW}$

La potencia pico calculada por el simulador es algo inferior a la del proyecto real. Aunque la diferencia no es extrema, sí sugiere que el proyecto fue diseñado con un **margen adicional de seguridad** ya que incluye meses no muy fríos, lo cual es coherente con la instalación de dos calderas modulares de 120 kW cada una.

### 3. Ahorro según el simulador

Tabla 33. Presupuesto Ojén

Presupuesto Sin IVA	Presupuesto Con IVA	Toneladas astilla (año)	
557.327,45	649.240,73	33,41	
	Biomasa	Electricidad	Gasoil
Precio	5.898,32	35.920,76	22.118,69
Co2	2.654,24	32.440,75	45.859,43
Mantenimiento	1.200,00	400,00	600,00
OPEX	8.298,32	35.920,76	22.118,69

El simulador estima un ahorro energético y económico significativo en la sustitución de sistemas individuales por una red de calor centralizada. Esta estimación depende directamente de los precios de la biomasa frente a los de los combustibles convencionales.

### 4. KPIs Económicos

Tabla 34. Índices Económicos

KPIs Económicos	Biomasa vs Electricidad	Biomasa vs Gasoil
Ahorro anual en combustible	30.022,44	16.220,38
Retorno de Inversión (ROI)	4,62	2,50
Payback	23,50	46,98

El valor del *payback* obtenido, de 23,5 años en el caso de biomasa frente a electricidad y 46,98 años frente a gasoil, evidencia una clara falta de viabilidad económica del proyecto en su estado actual. Especialmente en la comparación con el gasoil, el periodo de retorno resulta excesivamente elevado, lo que refuerza la conclusión de que los ahorros anuales generados no compensan, en un horizonte temporal razonable, la inversión inicial. Esta situación sugiere la necesidad de reescalar el proyecto, por ejemplo, aumentando la demanda térmica mediante la conexión de nuevos edificios u otros consumidores al sistema. Esta medida permitiría incrementar la eficiencia económica y reducir significativamente el tiempo de recuperación de la inversión, mejorando así su sostenibilidad financiera.

### 5. KPIs Ambientales

Tabla 35 KPIs Ambientales Ojén

KPIs Ambientales	Biomasa vs Electricidad	Biomasa vs Gasoil
Reducción de emisiones de CO <sub>2</sub> (kg/año)	29.786,51	43.205,18
Porcentaje de reducción de CO <sub>2</sub> (%)	91,82	94,21

## 6. KPIs eficiencia energética

Tabla 36 KPIs eficiencia energética Ojén

<b>KPIs de Eficiencia Energética</b>	<b>Biomasa</b>	
Costo de energía por tonelada de astilla	176,54	
	<b>Biomasa vs Electricidad</b>	<b>Biomasa vs Gasoil</b>
Relación CO <sub>2</sub> por Euro	0,05	0,07

## B. Casos de estudio Guaro

El municipio de Guaro, situado también en la provincia de Málaga, ha sido seleccionado como uno de los casos prácticos para validar el funcionamiento del simulador de redes de calor con biomasa. En este análisis, se han introducido un total de **3 edificios**, lo que permite evaluar el comportamiento térmico y económico de una red de calefacción local.

Entre los **datos generales del proyecto** (bloque superior en verde), se especifica la **altitud del municipio**, el número de edificaciones conectadas y la **temperatura objetivo de calefacción**, que se mantiene en los habituales **20 °C** para confort térmico interior.

Tabla 37. Datos red de calor de Guaro

Provincia	Málaga
Altitud del municipio	354
Numero de edificios	3
Número de piscinas	0
Temperatura de calefacción de los edificios	20

Edificio 1			
Datos		Resultados	
Tipo de Uso	Colegios y hospitales	Zona climática	B3
Aislamiento	Mal aislado	HDH	33.720,60
Estanquidad	Media	U (W/m²K)	1,50
Superficie Total a calefactar (m²)	327	H	1,20
Superficie de radiadores a instalar	327	Consumo de calefacción (kWh/m²año)	71,41
Tuberías hasta el edificio conectado más cercano (m)	70	Potencia nominal (Kw)	28,39
		Consumo anual (kWh/año)	23.350,52
		Precio de la instalación Radiadores €	17.805,91
Edificio 2			
Datos		Resultados	
Tipo de Uso	Colegios y hospitales	Zona climática	B3
Aislamiento	Mal aislado	Grados-Día de Calefacción (GD)	33.720,60
Estanquidad	Baja	U (W/m²K)	1,50
Superficie Total (m²)	644	H	1,20
Superficie de radiadores a instalar	644	Consumo de calefacción (kWh/m²año)	71,41
Tuberías hasta el edificio conectado más cercano (m)	40	Potencia nominal (Kw)	61,11
		Consumo anual (kWh/año)	45.986,96
		Precio de la instalación Radiadores (€)	35.067,30
Edificio 3			
Datos		Resultados	
Tipo de Uso	Colegios y hospitales	Zona climática	B3
Aislamiento	Mal aislado	Grados-Día de Calefacción (GD)	33.720,60
Estanquidad	Media	U (W/m²K)	1,50
Superficie Total (m²)	560	H	1,20
Superficie de radiadores a instalar	560	Consumo de calefacción (kWh/m²año)	71,41
Tuberías hasta el edificio conectado más cercano (m)	40	Potencia nominal (Kw)	48,62
		Consumo anual (kWh/año)	39.988,66
		Precio de la instalación Radiadores (€)	30.493,31

### 1. Comparativa de Potencia Instalada – Simulador vs Proyecto Real

Tabla 38. Caldera asignada Guaro

Caldera Asignada (kW)	Cantidad de Calderas
150	1

En este caso práctico también se aprecia una diferencia importante entre la propuesta del simulador y el dimensionamiento definido en la memoria valorada redactada para el proyecto real.

#### Simulador:

- **Caldera asignada:** 150 kW
- **Cantidad de calderas:** 1
- Selecciona una única caldera estándar de 150 kW, suficiente para cubrir la demanda pico estimada de 147,43 kW. El sistema aplica un criterio de redondeo al modelo comercial más cercano por exceso, lo que permite optimizar la inversión sin sobredimensionamiento innecesario.

#### Proyecto Real:

- **Calderas instaladas:** 2 unidades de 120 kW (potencia total: 240 kW)
- Se optó por la instalación de 2 calderas de 120 kW (240 kW en total), lo que supone un sobredimensionamiento del 63 % respecto a la demanda pico calculada por el simulador. Esta decisión se justifica, según la memoria técnica, en la previsión de futuras ampliaciones de la red y en la necesidad de asegurar el suministro incluso con una caldera fuera de servicio (criterio N-1).

## 2. Comparativa de Consumo Energético y Potencia Pico – Simulador vs Proyecto Real

Tabla 39 Consumos Guaro

Sala de calderas	
Consumo Previsto anual (kWh/año)	123.193,65
Consumo Pico (kW)	147,43

La siguiente comparación analiza dos parámetros fundamentales en el dimensionamiento del sistema de calefacción: el **consumo energético anual previsto** y la **demandas de potencia térmica en condiciones de carga máxima**.

a) 1. Consumo Anual de Energía Térmica (kWh/año)

Tabla 40. Consumo Anual de Energía Térmica (kWh/año)

Fuente	Consumo Anual (kWh)
Simulador	123.193,65
Proyecto real	179.545,11

El consumo anual estimado por el simulador es un 31 % inferior al calculado en el proyecto real. Aunque la diferencia es menor que en otros casos analizados, sigue siendo relevante. Las posibles causas son:

- En el proyecto real se utilizan criterios conservadores, como un mayor número de horas anuales de uso térmico y márgenes de seguridad.
- Las memorias valoradas tienden a aplicar valores estándar de uso que no siempre se ajustan a la climatología del municipio. En este caso, Guaro se encuentra en **zona climática B3** según el CTE, lo que indica inviernos suaves y una temporada de calefacción reducida. Esto hace que asumir más de 2.000 horas de uso anuales resulte excesivo, mientras que el simulador ajusta este parámetro a partir de grado-horas reales.

b) 2. Consumo Pico o Potencia Nominal Requerida (kW)

Tabla 41. Consumo Pico o Potencia Nominal Requerida (kW)

Fuente	Potencia Pico (kW)
Simulador	147,43
Proyecto real	239,00

Según el proyecto real:

La caldera estará en funcionamiento durante 5 meses al año, de noviembre a marzo de lunes a viernes. Durante unas 6 horas y 40 minutos diarias lo que equivale a 675 horas al año. Teniendo en cuenta el consumo total anteriormente mencionado, 161.590,6 kWh/año, la potencia de la caldera deberá ser similar a:  $161.590,6 \text{ kWh/año} / 675 \text{ h/año} = 239 \text{ kW}$

La potencia pico calculada por el simulador es algo inferior a la del proyecto real. Aunque la diferencia no es extrema, sí sugiere que el proyecto fue diseñado con un **margen adicional de seguridad** y contemplando posibles ampliaciones futuras, lo cual es coherente con la instalación de dos calderas modulares de 120 kW cada una.

### 3. Ahorro según el simulador

Tabla 42. Presupuesto Guaro

Presupuesto Sin IVA	Presupuesto Con IVA	Toneladas astilla (año)	
394.456,12	457.649,09	27,91	
	Biomasa	Electricidad	Gasoil
Precio	4.927,75	30.009,97	18.479,05
Co2	2.217,49	27.102,60	38.313,23
Mantenimiento	1.200,00	400,00	600,00
OPEX	7.327,75	30.009,97	18.479,05

### 4. KPIs Económicos

Tabla 43. KPIs económicos Guaro

KPIs Económicos	Biomasa vs Electricidad	Biomasa vs Gasoil
Ahorro anual en combustible	25.082,23	13.551,30
Retorno de Inversión (ROI)	5,48	2,96
Payback	20,18	41,04

El análisis económico evidencia que, tal como está planteado, el proyecto no resulta viable frente al gasoil, y presenta un retorno excesivamente largo también frente a la electricidad. Esta situación sugiere la necesidad de replantear el diseño, ampliando la demanda conectada para mejorar la eficiencia económica y reducir el plazo de recuperación de la inversión.

No obstante, esta posibilidad ya se había previsto en el proyecto real, motivo por el cual se optó por un sobredimensionamiento inicial de las calderas. La instalación se planteó con una capacidad superior a la demanda actual con el objetivo de facilitar futuras ampliaciones de la red sin necesidad de reemplazar el equipo térmico instalado.

### 5. KPIs Ambientales

Tabla 44. KPIs Ambientales Guaro

KPIs Ambientales	Biomasa vs Electricidad	Biomasa vs Gasoil
Reducción de emisiones de CO <sub>2</sub> (kg/año)	24.885,12	36.095,74
Porcentaje de reducción de CO <sub>2</sub> (%)	91,82	94,21

### 6. KPIs eficiencia energética

Tabla 45 KPIs eficiencia energética Guaro

KPIs de Eficiencia Energética	Biomasa	
Costo de energía por tonelada de astilla	176,54	
	Biomasa vs Electricidad	Biomasa vs Gasoil
Relación CO <sub>2</sub> por Euro	0,05	0,08

## C. Casos de estudio Tolox

El municipio de Tolox, situado en el interior montañoso de la provincia de Málaga y perteneciente a la comarca de la Sierra de las Nieves, ha sido analizado como un tercer caso práctico bajo la denominación **Tolox 2**. En este caso, el estudio considera la inclusión de **cinco edificios públicos** de diferente tipología de uso: **una guardería, un colegio, una biblioteca, un consultorio médico y un centro juvenil**. Esta diversidad de usos permite evaluar el rendimiento del simulador en contextos con cargas térmicas heterogéneas y regímenes horarios distintos.

En el bloque superior de la imagen (celdas en verde), se introducen los **datos generales del proyecto**.

Tabla 46. Datos red de calor de Tolox 2

Provincia	Málaga
Altitud del municipio	285
Numero de edificios	5
Número de piscinas	0
Temperatura de calefacción de los edificios	20

Guardería			
Datos		Resultados	
Tipo de Uso	Colegios y hospitales	Zona climática	B3
Aislamiento	Mal aislado	HDH	33.720,60
Estanquidad	Media	U (W/m²K)	1,50
Superficie Total a calefactar (m²)	154	H	1,20
Superficie de radiadores a instalar	154	Consumo de calefacción (kWh/m²año)	71,41
Tuberías hasta el edificio conectado más cercano (m)	20	Potencia nominal (Kw)	13,37
		Consumo anual (kWh/año)	10.996,88
		Precio de la instalación Radiadores €	8.385,66
Consultorio			
Datos		Resultados	
Tipo de Uso	Colegios y hospitales	Zona climática	B3
Aislamiento	Muy mal aislado	Grados-Día de Calefacción (GD)	33.720,60
Estanquidad	Media	U (W/m²K)	1,80
Superficie Total (m²)	133	H	1,20
Superficie de radiadores a instalar	133	Consumo de calefacción (kWh/m²año)	85,69
Tuberías hasta el edificio conectado más cercano (m)	20	Potencia nominal (Kw)	12,46
		Consumo anual (kWh/año)	11.396,77
		Precio de la instalación Radiadores (€)	7.242,16
Colegio			
Datos		Resultados	
Tipo de Uso	Colegios y hospitales	Zona climática	B3
Aislamiento	Muy mal aislado	Grados-Día de Calefacción (GD)	33.720,60
Estanquidad	Baja	U (W/m²K)	1,80
Superficie Total (m²)	924	H	1,20
Superficie de radiadores a instalar	924	Consumo de calefacción (kWh/m²año)	85,69
Tuberías hasta el edificio conectado más cercano (m)	250	Potencia nominal (Kw)	94,03
		Consumo anual (kWh/año)	79.177,56
		Precio de la instalación Radiadores (€)	50.313,96
Biblioteca			
Datos		Resultados	
Tipo de Uso	Bloque de viviendas (d	Zona climática	B3
Aislamiento	Mal aislado	Grados-Día de Calefacción (GD)	33.720,60
Estanquidad	Media	U (W/m²K)	1,50
Superficie Total (m²)	381	H	0,95
Superficie de radiadores a instalar	381	Consumo de calefacción (kWh/m²año)	56,53
Tuberías hasta el edificio conectado más cercano (m)	20	Potencia nominal (Kw)	30,35
		Consumo anual (kWh/año)	21.538,54
		Precio de la instalación Radiadores (€)	20.746,34
Centro Juvenil parking			
Datos		Resultados	
Tipo de Uso	Naves industriales (gr	Zona climática	B3
Aislamiento	Mal aislado	Grados-Día de Calefacción (GD)	33.720,60
Estanquidad	Media	U (W/m²K)	1,50
Superficie Total (m²)	1372	H	1,50
Superficie de radiadores a instalar	1372	Consumo de calefacción (kWh/m²año)	89,26
Tuberías hasta el edificio conectado más cercano (m)	40	Potencia nominal (Kw)	130,91
		Consumo anual (kWh/año)	122.465,28
		Precio de la instalación Radiadores (€)	74.708,60

## 1. Comparativa de Potencia Instalada – Simulador vs Proyecto Real

Tabla 47 Caldera asignada Tolox

Caldera Asignada (kW)	Cantidad de Calderas
200	1

En el caso práctico analizado, se observa una coincidencia en la potencia total instalada, aunque con diferencias en la configuración técnica entre la solución propuesta por el simulador y la adoptada en el proyecto real.

### Simulador:

- **Caldera asignada:** 200 kW
- **Cantidad de calderas:** 1

Selecciona una única caldera de 200 kW, ajustada a la demanda pico estimada (150,21 kW), aplicando un criterio de redondeo al modelo comercial inmediatamente superior.

### Proyecto Real:

- **Calderas instaladas:** 2 unidades de 100 kW (potencia total: 200 kW)

Se opta por instalar 2 calderas de 100 kW cada una. Esta configuración responde a una estrategia de modularidad y seguridad de suministro, permitiendo repartir cargas, mejorar la eficiencia parcial y contemplar ampliaciones futuras o el funcionamiento en condiciones de mantenimiento o fallo (criterio N-1).

## 2. Comparativa de Consumo Energético y Potencia Pico – Simulador vs Proyecto Real

Tabla 48 Consumo Tolox

Sala de calderas	
Consumo Previsto anual (kWh/año)	245.575,03
Consumo Pico (kW)	150,21

La siguiente comparación analiza dos parámetros fundamentales en el dimensionamiento del sistema de calefacción: el **consumo energético anual previsto** y la **demanda de potencia térmica en condiciones de carga máxima**.

a) 1. Consumo Anual de Energía Térmica (kWh/año)

Tabla 49. Consumo Anual de Energía Térmica (kWh/año)

Fuente	Consumo Anual (kWh)
Simulador	245.575,03
Proyecto real	266.233,67

El consumo anual estimado por el simulador y el proyecto real es prácticamente equivalente, con una diferencia inferior al 8%. Esta cercanía valida los cálculos realizados por el simulador, ya que refleja fielmente la realidad térmica esperada en la instalación, a partir de los edificios y parámetros introducidos.

b) 2. Consumo Pico o Potencia Nominal Requerida (kW)

Tabla 50. Consumo Pico o Potencia Nominal Requerida (kW)

Fuente	Potencia Pico (kW)
Simulador	150,21
Proyecto real	199,67

Según el proyecto, la caldera estará en funcionamiento durante 5 meses al año, de noviembre a marzo de lunes a viernes. Durante unas 10 horas lo que equivale a 1.200 horas al año. Teniendo en cuenta el consumo total anteriormente mencionado, 239.610,30 kWh/año, la potencia de la caldera deberá ser similar a:  $239.610,30 \text{ kWh/año} \cdot 1.200 \text{ h/año} = 199,67 \text{ kW}$ .

Por su parte, el simulador estima una potencia pico de **150,21 kW**, basada en una metodología que tiene en cuenta grados-hora, características constructivas, ventilación y rendimiento térmico. La diferencia entre ambos valores refleja una **estrategia más conservadora en el proyecto real**, con un diseño pensado para cubrir escenarios exigentes y posibles ampliaciones futuras.

### 3. Ahorro según el simulador

Tabla 51. Presupuesto Tolox

Presupuesto Sin IVA	Presupuesto Con IVA	Toneladas astilla (año)	
600.402,70	688.458,97	55,64	
	<b>Biomasa</b>	<b>Electricidad</b>	<b>Gasoil</b>
Precio	9.823,00	59.822,08	36.836,25
Co2	4.420,35	54.026,51	76.373,83
Mantenimiento	1.200,00	400,00	600,00
OPEX	12.223,00	59.822,08	36.836,25

### 4. KPIs Económicos

Tabla 52 KPIS Económicos Tolox

KPIs Económicos	Biomasa vs Electricidad	Biomasa vs Gasoil
Ahorro anual en combustible	49.999,08	27.013,25
Retorno de Inversión (ROI)	7,26	3,92
Payback	14,46	27,97

El análisis económico muestra una **mejora significativa respecto a otros casos analizados**, especialmente en la comparación frente a electricidad, donde el proyecto presenta un payback inferior a 15 años y un ROI superior a 7. Estos valores sugieren una **viabilidad técnica y económica razonable**, aunque todavía con margen de mejora frente al gasoil, cuyo retorno se sitúa cerca de los 28 años.

Este caso refuerza la importancia de dimensionar correctamente la red y aprovechar al máximo la superficie calefactable disponible. Aun así, como en otros proyectos, la eficiencia económica puede optimizarse si se incrementa ligeramente la demanda conectada, lo que permitiría mejorar los indicadores globales y asegurar un retorno más rápido de la inversión.

### 5. KPIs Ambientales

Tabla 53 KPIS Ambientales Tolox

KPIs Ambientales	Biomasa vs Electricidad	Biomasa vs Gasoil
Reducción de emisiones de CO <sub>2</sub> (kg/año)	49.606,16	71.953,48
Porcentaje de reducción de CO <sub>2</sub> (%)	91,82	94,21

### 6. KPIs eficiencia energética

Tabla 54 KPIS Eficiencia energética Tolox

KPIs de Eficiencia Energética	Biomasa	
Costo de energía por tonelada de astilla	176,54	
	Biomasa vs Electricidad	Biomasa vs Gasoil
Relación CO <sub>2</sub> por Euro	0,07	0,10

## D. Casos de estudio Monda Estacar

El municipio de **Monda**, ubicado también en la comarca de la Sierra de las Nieves (provincia de Málaga), se ha analizado como un caso singular dentro del estudio, ya que **no se configura como una red de calor tradicional**, sino como **una instalación térmica individual**, dado que **solo se incluye un único edificio**: un colegio.

Los datos generales introducidos en el simulador, visibles en el bloque superior de color verde.

Tabla 55 Datos Monda

Provincia	Málaga
Altitud del municipio	427
Numero de edificios	1
Número de piscinas	0
Temperatura de calefacción de los edificios	20

Colegio			
Datos		Resultados	
Tipo de Uso	Colegios y hospitales	Zona climática	C1
Aislamiento	Mal aislado	HDH	46.975,60
Estanquidad	Media	U (W/m <sup>2</sup> K)	1,50
Superficie Total a calefactar (m <sup>2</sup> )	832	H	1,20
Superficie de radiadores a instalar	832	Consumo de calefacción (kWh/m <sup>2</sup> año)	99,48
Tuberías hasta el edificio conectado más cercano (m)	50	Potencia nominal (Kw)	73,37
		Consumo anual (kWh/año)	82.765,48
		Precio de la instalación Radiadores €	45.304,34

### 1. Comparativa de Potencia Instalada – Simulador vs Proyecto Real

Caldera Asignada (kW)	Cantidad de Calderas
80	1

Tabla 56 Caldera asignada Monda

En este caso, el simulador propone una caldera de 80 kW, mientras que el proyecto real opta por una caldera de mayor potencia, de 120 kW. Aunque la diferencia no es extrema, sí implica un enfoque distinto en cuanto al dimensionamiento del sistema.

#### Simulador:

- **Caldera asignada:** 80 kW
- **Cantidad de calderas:** 1

Selecciona una caldera comercial de 80 kW, ajustada a la potencia pico estimada, que permite cubrir la demanda térmica prevista con eficiencia sin sobredimensionar el sistema.

#### Proyecto Real:

- **Calderas instaladas:** 1 unidades de 120 kW (potencia total: 120 kW)

Se elige una caldera de 120 kW, lo que representa un sobredimensionamiento. Esta decisión puede deberse a una previsión de posibles ampliaciones futuras o a una estrategia conservadora para asegurar la cobertura en picos de demanda, incluso por encima de lo estimado inicialmente.

## 2. Comparativa de Consumo Energético y Potencia Pico – Simulador vs Proyecto Real

Tabla 57 Consumo Monda

<b>Sala de calderas</b>	
<b>Consumo Previsto anual (kWh/año)</b>	82.765,48
<b>Consumo Pico (kW)</b>	73,37

La siguiente comparación analiza dos parámetros fundamentales en el dimensionamiento del sistema de calefacción: el **consumo energético anual previsto** y la **demanda de potencia térmica en condiciones de carga máxima**.

### a) 1. Consumo Anual de Energía Térmica (kWh/año)

Tabla 58. Consumo Anual de Energía Térmica (kWh/año)

<b>Fuente</b>	<b>Consumo Anual (kWh)</b>
Simulador	82.765,48
Proyecto real	71.274,67

El consumo anual estimado por el simulador es un 16 % superior al proyectado en la memoria técnica. Esta pequeña diferencia se debe a distintos factores metodológicos.

### b) 2. Consumo Pico o Potencia Nominal Requerida (kW)

Tabla 59. Consumo Pico o Potencia Nominal Requerida (kW)

<b>Fuente</b>	<b>Potencia Pico (kW)</b>
Simulador	73,37
Proyecto real	83,2

La potencia pico calculada por el simulador es **muy similar** a la estimada en el proyecto real.

### 3. Ahorro según el simulador

Tabla 60. Presupuesto Monda

Presupuesto Sin IVA	Presupuesto Con IVA	Toneladas astilla (año)	
260.962,26	305.089,72	18,75	
	<b>Biomasa</b>	<b>Electricidad</b>	<b>Gasoil</b>
Precio	3.310,62	20.161,67	12.414,82
Co2	1.489,78	18.208,41	25.740,06
Mantenimiento	800,00	300,00	400,00
OPEX	5.310,62	20.161,67	12.414,82

### 4. KPIs Económicos

Tabla 61 KPIs Económicos Monda

KPIs Económicos	Biomasa vs Electricidad	Biomasa vs Gasoil
Ahorro anual en combustible	16.851,05	9.104,20
Retorno de Inversión (ROI)	5,52	2,98
Payback	20,54	42,94

Los indicadores reflejan una **viabilidad baja frente a electricidad**, con un retorno de la inversión en torno a 20 años. Frente a gasoil, sin embargo, el payback supera los 40 años, lo que limita el interés económico del proyecto si no se combinan medidas como la ampliación de demanda térmica, subvenciones o la sustitución de electricidad como fuente principal. Como se ha previsto y realizado en el proyecto real.

### 5. KPIs Ambientales

Tabla 62 KPIs Ambientales Monda

KPIs Ambientales	Biomasa vs Electricidad	Biomasa vs Gasoil
Reducción de emisiones de CO <sub>2</sub> (kg/año)	16.718,63	24.250,29
Porcentaje de reducción de CO <sub>2</sub> (%)	91,82	94,21

### 6. KPIs eficiencia energética

Tabla 63 KPIs eficiencia energética Monda

KPIs de Eficiencia Energética	Biomasa	
Costo de energía por tonelada de astilla	176,54	
	Biomasa vs Electricidad	Biomasa vs Gasoil
Relación CO <sub>2</sub> por Euro	0,05	0,08

## E. Casos de estudio Alozaina

**Alozaina**, otro de los municipios pertenecientes a la comarca de la **Sierra de las Nieves (Málaga)**, presenta un caso de estudio relevante por el número y la variedad de edificios analizados. En total, se incluyen **cuatro edificios**: un **colegio**, una **guardería**, un **centro de mayores** y un **gimnasio municipal**, todos ellos con **uso público continuo o intensivo**, lo que aporta una alta demanda térmica al sistema.

Además, en este municipio se **plantea un análisis adicional** de viabilidad para la **futura inclusión de una piscina climatizada**, lo que permite comparar escenarios con y sin ampliación de la red de calor, evaluando el impacto que ello tendría tanto en el consumo energético como en la rentabilidad del proyecto.

Tabla 64. Datos red de calor de Alozaina

Provincia	Málaga
Altitud del municipio	386
Numero de edificios	4
Número de piscinas	0
Temperatura de calefacción de los edificios	20

Gimnasio			
Datos		Resultados	
Tipo de Uso	Vivienda unifamiliar (i)	Zona climática	B3
Aislamiento	Bien aislado	HDH	33.720,60
Estanquidad	Media	U (W/m²K)	1,10
Superficie Total a calefactar (m²)	550	H	1,40
Superficie de radiadores a instalar	150	Consumo de calefacción (kWh/m²año)	61,09
Tuberías hasta el edificio conectado más cercano (m)	170	Potencia nominal (Kw)	45,02
		Consumo anual (kWh/año)	33.601,59
		Precio de la instalación Radiadores €	8.167,85
Colegio			
Datos		Resultados	
Tipo de Uso	Colegios y hospitales	Zona climática	B3
Aislamiento	Mal aislado	Grados-Día de Calefacción (GD)	33.720,60
Estanquidad	Media	U (W/m²K)	1,50
Superficie Total (m²)	2027	H	1,20
Superficie de radiadores a instalar	2027	Consumo de calefacción (kWh/m²año)	71,41
Tuberías hasta el edificio conectado más cercano (m)	470	Potencia nominal (Kw)	175,99
		Consumo anual (kWh/año)	144.744,68
		Precio de la instalación Radiadores (€)	110.374,88
Centro de mayores			
Datos		Resultados	
Tipo de Uso	Vivienda unifamiliar (i)	Zona climática	B3
Aislamiento	Mal aislado	Grados-Día de Calefacción (GD)	33.720,60
Estanquidad	Media	U (W/m²K)	1,50
Superficie Total (m²)	302	H	1,40
Superficie de radiadores a instalar	302	Consumo de calefacción (kWh/m²año)	83,31
Tuberías hasta el edificio conectado más cercano (m)	60	Potencia nominal (Kw)	27,95
		Consumo anual (kWh/año)	25.159,53
		Precio de la instalación Radiadores (€)	16.444,60
Guardería			
Datos		Resultados	
Tipo de Uso	Edificio de oficinas (v)	Zona climática	B3
Aislamiento	Bien aislado	Grados-Día de Calefacción (GD)	33.720,60
Estanquidad	Media	U (W/m²K)	1,10
Superficie Total (m²)	300	H	1,10
Superficie de radiadores a instalar	300	Consumo de calefacción (kWh/m²año)	48,00
Tuberías hasta el edificio conectado más cercano (m)	50	Potencia nominal (Kw)	22,67
		Consumo anual (kWh/año)	14.400,68
		Precio de la instalación Radiadores (€)	16.335,70

## 1. Comparativa de Potencia Instalada – Simulador vs Proyecto Real

Tabla 65 Caldera asignada Alozaina

Caldera Asignada (kW)	Cantidad de Calderas
300	1

En el caso práctico analizado, se aprecia una diferencia en el diseño del sistema térmico, especialmente en el enfoque adoptado para el dimensionamiento de la potencia instalada.

### Simulador:

- **Caldera asignada:** 300 kW
- **Cantidad de calderas:** 1

Selecciona una única caldera estándar de 300 kW, ajustada a la demanda pico estimada (300 kW) y siguiendo un criterio de redondeo hacia el modelo comercial más próximo, sin sobredimensionamientos innecesarios.

### Proyecto Real:

- **Calderas instaladas:** 3 unidades de 120 kW (potencia total: 360 kW).

Plantea una instalación compuesta por 3 calderas de 120 kW (potencia total: 360 kW). Esta solución busca modularidad y redundancia, permitiendo atender demandas parciales de forma eficiente y habilitando una futura ampliación de la red sin necesidad de rediseñar el sistema.

## 2. Comparativa de Consumo Energético y Potencia Pico – Simulador vs Proyecto Real

Tabla 66 Consumo Alozaina

Sala de calderas	
Consumo Previsto anual (kWh/año)	217.906,48
Consumo Pico (kW)	271,62

La siguiente comparación analiza dos parámetros fundamentales en el dimensionamiento del sistema de calefacción: el **consumo energético anual previsto** y la **demanda de potencia térmica en condiciones de carga máxima**.

a) 1. Consumo Anual de Energía Térmica (kWh/año)

Tabla 67. Consumo Anual de Energía Térmica (kWh/año)

Fuente	Consumo Anual (kWh)
Simulador	217.906,48
Proyecto real	216.522,78

Ambas estimaciones son prácticamente idénticas, lo que valida la coherencia entre el modelo aplicado por el simulador y la metodología empleada en el proyecto redactado. Esta cercanía sugiere que la superficie calefactada y los perfiles de uso introducidos coinciden razonablemente en ambos enfoques.

b) 2. Consumo Pico o Potencia Nominal Requerida (kW)

Tabla 68. Consumo Pico o Potencia Nominal Requerida (kW)

Fuente	Potencia Pico (kW)
Simulador	271
Proyecto real	359,64

La caldera estará en funcionamiento durante 5 meses al año, de noviembre a marzo de lunes a viernes. Durante unas 7 horas lo que equivale a 710 horas al año. Teniendo en cuenta el consumo total anteriormente mencionado, 255.346 kWh/año, la potencia de la caldera deberá ser similar a:  $255.346 \text{ kWh/año} / 710 \text{ h/año} = 359,64 \text{ kW}$

La potencia calculada por el simulador es ligeramente inferior a la instalada en el proyecto real. Esta diferencia responde, previsiblemente, a un criterio de sobredimensionamiento adoptado en la memoria técnica con el objetivo de garantizar la cobertura en escenarios de expansión futura o funcionamiento redundante. La elección de una caldera adicional también puede responder a estrategias de mantenimiento sin interrupciones del servicio (criterio N-1).

### 3. Ahorro según el simulador

Tabla 69 Preupuesto Alosaina

Presupuesto Sin IVA	Presupuesto Con IVA	Toneladas astilla (año)	
826.389,39	964.276,43	49,37	
	<b>Biomasa</b>	<b>Electricidad</b>	<b>Gasoil</b>
Precio	8.716,26	53.082,02	32.685,97
Co2	3.922,32	47.939,43	67.768,92
Mantenimiento	1.500,00	500,00	800,00
OPEX	11.416,26	53.082,02	32.685,97

## 4. KPIs Económicos

Tabla 70 KPIs Económicos Alozaina

KPIs Económicos	Biomasa vs Electricidad	Biomasa vs Gasoil
Ahorro anual en combustible	44.365,76	23.969,71
Retorno de Inversión (ROI)	4,60	2,49
Payback	23,14	45,34

El análisis económico refleja que el proyecto de Alozaina presenta una rentabilidad moderada frente a la electricidad, con un ROI aceptable y un payback de algo más de 23 años. Sin embargo, frente al gasoil, los resultados son mucho menos favorables, con un periodo de recuperación de la inversión superior a los 45 años.

## 5. KPIs Ambientales

Tabla 71 KPIs ambientales Alozaina

KPIs Ambientales	Biomasa vs Electricidad	Biomasa vs Gasoil
Reducción de emisiones de CO <sub>2</sub> (kg/año)	44.017,11	63.846,60
Porcentaje de reducción de CO <sub>2</sub> (%)	91,82	94,21

## 6. KPIs eficiencia energética

Tabla 72 KPIs eficiencia energética Alozaina

KPIs de Eficiencia Energética	Biomasa	
Costo de energía por tonelada de astilla	176,54	
	Biomasa vs Electricidad	Biomasa vs Gasoil
Relación CO <sub>2</sub> por Euro	0,05	0,07

## 7. Inclusión de grandes consumidores: caso de la piscina climatizada en Alozaina

Uno de los factores clave para mejorar la rentabilidad y viabilidad económica de una red de calor es la incorporación de **consumidores térmicos de gran demanda y uso constante**, como es el caso de las **piscinas climatizadas**. Su uso intensivo durante el invierno, cuando también se requiere calefacción en otros edificios públicos, permite **incrementar la carga base de la red** y mejorar significativamente los indicadores económicos del sistema.

En el caso concreto de **Alozaina**, se ha analizado el impacto de **incluir en la red de calor la piscina cubierta municipal**, una instalación que se encuentra muy próxima al trazado de la red proyectada. A partir de los datos del simulador, los resultados son los siguientes:

Tabla 73. Datos de red de calor de Aloziana incluyendo piscina

Provincia	Málaga
Altitud del municipio	386
Numero de edificios	4
Número de piscinas	1
Temperatura de calefacción de los edificios	20

Gimnasio			
Datos		Resultados	
Tipo de Uso	Vivienda unifamiliar (i	Zona climática	B3
Aislamiento	Bien aislado	HDH	33.720,60
Estanquidad	Media	U (W/m²K)	1,10
Superficie Total a calefactar (m²)	550	H	1,40
Superficie de radiadores a instalar	150	Consumo de calefacción (kWh/m²año)	61,09
Tuberías hasta el edificio conectado más cercano (m)	170	Potencia nominal (Kw)	45,02
		Consumo anual (kWh/año)	33.601,59
		Precio de la instalación Radiadores €	8.167,85
Colegio			
Datos		Resultados	
Tipo de Uso	Colegios y hospitales	Zona climática	B3
Aislamiento	Mal aislado	Grados-Día de Calefacción (GD)	33.720,60
Estanquidad	Media	U (W/m²K)	1,50
Superficie Total (m²)	2027	H	1,20
Superficie de radiadores a instalar	2027	Consumo de calefacción (kWh/m²año)	71,41
Tuberías hasta el edificio conectado más cercano (m)	470	Potencia nominal (Kw)	175,99
		Consumo anual (kWh/año)	144.744,68
		Precio de la instalación Radiadores (€)	110.374,88
Centro de mayores			
Datos		Resultados	
Tipo de Uso	Vivienda unifamiliar (i	Zona climática	B3
Aislamiento	Mal aislado	Grados-Día de Calefacción (GD)	33.720,60
Estanquidad	Media	U (W/m²K)	1,50
Superficie Total (m²)	302	H	1,40
Superficie de radiadores a instalar	302	Consumo de calefacción (kWh/m²año)	83,31
Tuberías hasta el edificio conectado más cercano (m)	60	Potencia nominal (Kw)	27,95
		Consumo anual (kWh/año)	25.159,53
		Precio de la instalación Radiadores (€)	16.444,60
Guardería			
Datos		Resultados	
Tipo de Uso	Edificio de oficinas (va	Zona climática	B3
Aislamiento	Bien aislado	Grados-Día de Calefacción (GD)	33.720,60
Estanquidad	Media	U (W/m²K)	1,10
Superficie Total (m²)	300	H	1,10
Superficie de radiadores a instalar	300	Consumo de calefacción (kWh/m²año)	48,00
Tuberías hasta el edificio conectado más cercano (m)	50	Potencia nominal (Kw)	22,67
		Consumo anual (kWh/año)	14.400,68
		Precio de la instalación Radiadores (€)	16.335,70
Piscina Climatizada 1			
Datos		Resultados	
Ancho (m)	10	Superficie (m²)	200,00
Largo (m)	20	Volumen (m³)	300,00
Profundidad Media (m)	1,5	Pérdida (kW/m²)	0,30
Ubicación	Interior	Potencia Nominal (kW)	60,00
Temperatura (°C)	26	Consumo de calefacción (kWh/m²año)	2.628,00
Horas Anuales	Todo el año	Consumo Anual (kWh)	525.600,00
Tuberías hasta el edificio conectado más cercano (m)	20		

Tabla 74. Resultados red de calor de Aozaina con piscina.

<b>Caldera Asignada (kW)</b>	<b>Cantidad de Calderas</b>
250	2
<b>Sala de calderas</b>	
<b>Consumo Previsto anual (kWh/año)</b>	743.506,48
<b>Consumo Pico (kW)</b>	331,62

Presupuesto Sin IVA	Presupuesto Con IVA	Toneladas astilla (año)	
918.578,51	1.075.825,27	168,46	
	<b>Biomasa</b>	<b>Electricidad</b>	<b>Gasoil</b>
Precio	29.740,26	181.118,18	111.525,97
Co2	13.383,12	163.571,43	231.230,52
Mantenimiento	1.500,00	500,00	800,00
OPEX	32.440,26	181.118,18	111.525,97
<b>KPIs Económicos</b>	<b>Biomasa vs Electricidad</b>	<b>Biomasa vs Gasoil</b>	
Ahorro anual en combustible	151.377,92	81.785,71	
Retorno de Inversión (ROI)	14,07	7,60	
Payback	7,24	13,60	
<b>KPIs Ambientales</b>	<b>Biomasa vs Electricidad</b>	<b>Biomasa vs Gasoil</b>	
Reducción de emisiones de CO <sub>2</sub> (kg/año)	150.188,31	217.847,40	
Porcentaje de reducción de CO <sub>2</sub> (%)	91,82	94,21	
<b>KPIs de Eficiencia Energética</b>	<b>Biomasa</b>		
Costo de energía por tonelada de astilla	176,54		
	<b>Biomasa vs Electricidad</b>	<b>Biomasa vs Gasoil</b>	
Relación CO <sub>2</sub> por Euro	0,14	0,20	

Estos valores evidencian una **mejora sustancial en los indicadores económicos** con respecto al caso sin piscina, donde el payback era considerablemente más largo y el ROI más bajo. La incorporación de esta instalación permite:

- **Amortizar más rápidamente la inversión inicial**
- **Aumentar el rendimiento del sistema en horas bajas**
- **Justificar el dimensionamiento de calderas mayores o adicionales**
- **Aprovechar la cercanía física para minimizar costes de conexión**

Además, dado que la piscina es una instalación con una **demanda térmica estable y prolongada en el tiempo**, actúa como **consumidor base**, lo que contribuye a mejorar la eficiencia operativa de la red.

Por tanto, este caso demuestra que la inclusión estratégica de grandes consumidores, especialmente cuando **ya se encuentran cerca del trazado de la red**, es una **medida clave para garantizar la sostenibilidad técnica y económica** del sistema. En proyectos futuros, este tipo de consumidores debería ser priorizado en la fase de diseño y evaluación de alternativas.

## F. Casos de estudio Casarabonela

**Casarabonela** es un municipio malagueño situado en la vertiente sur de la **Sierra de las Nieves**, que se caracteriza por una topografía montañosa y un clima con inviernos moderadamente fríos. En este caso de estudio, el análisis del simulador se centra únicamente en un **edificio de gran tamaño**, correspondiente al **colegio público del municipio**, el cual concentra toda la demanda térmica considerada.

Este centro escolar se enfrenta a una **problemática de falta de espacio disponible**, lo que condiciona tanto las posibilidades de ampliación como el diseño de la sala de calderas y la ubicación de los elementos del sistema. Esta limitación se tendrá en cuenta tanto en el presupuesto como en el planteamiento técnico de la solución propuesta.

Tabla 75 Datos Casarabonela

Provincia	Málaga
Altitud del municipio	514
Numero de edificios	1
Número de piscinas	0
Temperatura de calefacción de los edificios	20

Colegio			
Datos		Resultados	
Tipo de Uso	Colegios y hospitales	Zona climática	C1
Aislamiento	Mal aislado	HDH	46.975,60
Estanquidad	Media	U (W/m²K)	1,50
Superficie Total a calefactar (m²)	4500	H	1,20
Superficie de radiadores a instalar	200	Consumo de calefacción (kWh/m²año)	99,48
Tuberías hasta el edificio conectado más cercano (m)	60	Potencia nominal (Kw)	396,83
		Consumo anual (kWh/año)	447.649,84
		Precio de la instalación Radiadores €	10.890,47

### 1. Comparativa de Potencia Instalada – Simulador vs Proyecto Real

Tabla 76 Caldera asignada Casarabonela

Caldera Asignada (kW)	Cantidad de Calderas
200	2

En el caso práctico analizado, se observa una diferencia relevante entre la solución propuesta por el simulador y la decisión adoptada en el proyecto real en cuanto al dimensionamiento de la sala de calderas.

#### Simulador:

- **Caldera asignada:** 200 kW
- **Cantidad de calderas:** 2
- El simulador selecciona 2 calderas de 200kW para cubrir la demanda pico estimada, ajustándose a la potencia requerida en el momento del análisis y

aplicando un criterio de redondeo hacia el modelo comercial más cercano por exceso.

**Proyecto Real:**

- **Calderas instaladas:** se desea instala 3 unidades de 120 kW (potencia total: 360 kW) sin embargo por falta de espacio solo se instala 1 caldera de 120kw.

Para el dimensionamiento de la caldera de biomasa se han tenido en cuenta los siguientes datos: • Consumo actual = 236.700 kWh/año La caldera estará en funcionamiento durante 5 meses al año, de noviembre a marzo de lunes a viernes. Durante unas 10 horas lo que equivale a 1.000 horas al año.

Teniendo en cuenta el consumo total anteriormente mencionado, 236.700 kWh/año, la potencia de la caldera deberá ser similar a:  $236.700 \text{ kWh/año} \cdot 1.000 \text{ h/año} = 236,7 \text{ kW}$  Conociendo la potencia necesaria y teniendo en cuenta el reducido espacio disponible en el colegio y en el municipio, se diseña una instalación de una caldera de 120 kW serie Multifire, modelo MF2 D 120 “KWB”. Por otro lado, se estima la cantidad de combustible necesario para la instalación, conociendo la demanda, 236.700 kWh/año, y el PCI (Poder Calorífico Inferior) del combustible.

## 2. Comparativa de Consumo Energético y Potencia Pico – Simulador vs Proyecto Real

Tabla 77 Consumo Casarabonela

<b>Sala de calderas</b>	
<b>Consumo Previsto anual (kWh/año)</b>	328.276,55
<b>Consumo Pico (kW)</b>	354,93

La siguiente comparación analiza dos parámetros fundamentales en el dimensionamiento del sistema de calefacción: el **consumo energético anual previsto** y la **demanda de potencia térmica en condiciones de carga máxima**.

a) 1. Consumo Anual de Energía Térmica (kWh/año)

Tabla 78. Consumo Anual de Energía Térmica (kWh/año)

<b>Fuente</b>	<b>Consumo Anual (kWh)</b>
Simulador	217.906,48
Proyecto real	236.700,00

El consumo anual estimado por el simulador es bastante similar al del proyecto real.

b) 2. Consumo Pico o Potencia Nominal Requerida (kW)

Tabla 79. Consumo Pico o Potencia Nominal Requerida (kW)

Fuente	Potencia Pico (kW)
Simulador	354,93
Proyecto real	360,00

La potencia pico calculada por el simulador es algo inferior a la del proyecto real. Aunque la diferencia no es extrema, sí sugiere que el proyecto fue diseñado con un **margen adicional de seguridad** o contemplando posibles ampliaciones futuras, lo cual es coherente con la instalación de dos calderas modulares de 120 kW cada una.

### 3. Ahorro según el simulador

Tabla 80 Presupuesto Casarabonela

Presupuesto Sin IVA	Presupuesto Con IVA	Toneladas astilla (año)	
336.184,97	404.217,80	74,38	
	Biomasa	Electricidad	Gasoil
Precio	13.131,06	79.968,17	49.241,48
Co2	5.908,98	72.220,84	102.094,01
Mantenimiento	1.200,00	400,00	600,00
OPEX	15.531,06	79.968,17	49.241,48

### 4. KPIs Económicos

Tabla 81 KPIs económicos Casarabonela

KPIs Económicos	Biomasa vs Electricidad	Biomasa vs Gasoil
Ahorro anual en combustible	66.837,10	36.110,42
Retorno de Inversión (ROI)	16,53	8,93
Payback	6,27	11,99

El valor del *payback* obtenido, de 23,5 años en el caso de biomasa frente a electricidad y 46,98 años frente a gasoil, evidencia una clara falta de viabilidad económica del proyecto en su estado actual. Especialmente en la comparación con el gasoil, el periodo de retorno resulta excesivamente elevado, lo que refuerza la conclusión de que los ahorros anuales generados no compensan, en un horizonte temporal razonable, la inversión inicial. Esta situación sugiere la necesidad de reescalar el proyecto, por ejemplo, aumentando la demanda térmica mediante la conexión de nuevos edificios u otros consumidores al sistema. Esta medida permitiría incrementar la eficiencia económica y reducir significativamente el tiempo de recuperación de la inversión, mejorando así su sostenibilidad financiera.

## 5. KPIs Ambientales

Tabla 82 KPIs ambientales Casarabonela

<b>KPIs Ambientales</b>	<b>Biomasa vs Electricidad</b>	<b>Biomasa vs Gasoil</b>
Reducción de emisiones de CO <sub>2</sub> (kg/año)	66.311,86	96.185,03
Porcentaje de reducción de CO <sub>2</sub> (%)	91,82	94,21

## 6. KPIs eficiencia energética

Tabla 83 KPIs eficiencia energética Casarabonela

<b>KPIs de Eficiencia Energética</b>	<b>Biomasa</b>	
Costo de energía por tonelada de astilla	176,54	
	<b>Biomasa vs Electricidad</b>	<b>Biomasa vs Gasoil</b>
Relación CO <sub>2</sub> por Euro	0,16	0,24

## G. Casos de estudio El Burgo

El municipio de **El Burgo**, situado también en el entorno de la **Sierra de las Nieves**, representa un ejemplo de red de calor a pequeña escala, que integra únicamente dos edificios clave: el **colegio público** y el **consultorio médico municipal**. Esta tipología de proyecto permite evaluar la rentabilidad de sistemas térmicos centralizados en núcleos rurales con una demanda térmica moderada pero bien concentrada.

Tabla 84 Datos El Burgo

Provincia	Málaga
Altitud del municipio	591
Numero de edificios	2
Número de piscinas	0
Temperatura de calefacción de los edificios	20

Colegio			
Datos		Resultados	
Tipo de Uso	Colegios y hospitales	Zona climática	C1
Aislamiento	Mal aislado	HDH	46.975,60
Estanquidad	Media	U (W/m <sup>2</sup> K)	1,50
Superficie Total a calefactar (m <sup>2</sup> )	2070	H	1,20
Superficie de radiadores a instalar	2070	Consumo de calefacción (kWh/m <sup>2</sup> año)	99,48
Tuberías hasta el edificio conectado más cercano (m)	10	Potencia nominal (Kw)	182,54
		Consumo anual (kWh/año)	205.918,92
		Precio de la instalación Radiadores €	112.716,33
Consultorio			
Datos		Resultados	
Tipo de Uso	Colegios y hospitales	Zona climática	C1
Aislamiento	Bien aislado	Grados-Día de Calefacción (GD)	46.975,60
Estanquidad	Media	U (W/m <sup>2</sup> K)	1,10
Superficie Total (m <sup>2</sup> )	190	H	1,20
Superficie de radiadores a instalar	190	Consumo de calefacción (kWh/m <sup>2</sup> año)	72,95
Tuberías hasta el edificio conectado más cercano (m)	60	Potencia nominal (Kw)	14,99
		Consumo anual (kWh/año)	13.860,57
		Precio de la instalación Radiadores (€)	10.345,94

### 1. Comparativa de Potencia Instalada – Simulador vs Proyecto Real

Tabla 85 Caldera asignada El Burgo

Caldera Asignada (kW)	Cantidad de Calderas
200	1

En el caso práctico analizado, **no existe diferencia en la potencia térmica instalada**, ya que tanto el simulador como el proyecto real optan por una caldera de 200 kW

#### Simulador:

- **Caldera asignada:** 200 kW
- **Cantidad de calderas:** 1

Selecciona una única caldera de 200 kW, ajustada a la demanda pico estimada (197,64 kW), redondeando al modelo comercial inmediatamente superior.

**Proyecto Real:**

- **Calderas instaladas:** 1 unidades de 200 kW (potencia total: 200 kW)

Plantea también una caldera de 200 kW

## 2. Comparativa de Consumo Energético y Potencia Pico – Simulador vs Proyecto Real

Tabla 86 consumo El Burgo

<b>Sala de calderas</b>	
<b>Consumo Previsto anual (kWh/año)</b>	219.779,49
<b>Consumo Pico (kW)</b>	197,53

La siguiente comparación analiza dos parámetros fundamentales en el dimensionamiento del sistema de calefacción: el **consumo energético anual previsto** y la **demanda de potencia térmica en condiciones de carga máxima**.

a) *1. Consumo Anual de Energía Térmica (kWh/año)*

Tabla 87. Consumo Anual de Energía Térmica (kWh/año)

<b>Fuente</b>	<b>Consumo Anual (kWh)</b>
Simulador	217.906,48
Proyecto real	224.408,89

El consumo anual estimado por el simulador es un **ligeramente superior** al previsto en el proyecto real. Esta diferencia, aunque moderada, puede atribuirse a diferencias metodológicas entre ambos enfoques.

b) *2. Consumo Pico o Potencia Nominal Requerida (kW)*

Tabla 88. Consumo Pico o Potencia Nominal Requerida (kW)

<b>Fuente</b>	<b>Potencia Pico (kW)</b>
Simulador	197,53
Proyecto real	187,00

La potencia pico calculada por el simulador es muy ligeramente superior a la del proyecto real.

### 3. Ahorro según el simulador

Tabla 89 Presupuesto El Burgo

Presupuesto Sin IVA	Presupuesto Con IVA	Toneladas astilla (año)	
413.606,86	471.468,37	49,80	
	<b>Biomasa</b>	<b>Electricidad</b>	<b>Gasoil</b>
Precio	8.791,18	53.538,28	32.966,92
Co2	3.956,03	48.351,49	68.351,42
Mantenimiento	1.200,00	400,00	600,00
OPEX	11.191,18	53.538,28	32.966,92

### 4. KPIs Económicos

Tabla 90 KPIs económicos El Burgo

KPIs Económicos	Biomasa vs Electricidad	Biomasa vs Gasoil
Ahorro anual en combustible	44.747,10	24.175,74
Retorno de Inversión (ROI)	9,49	5,13
Payback	11,13	21,65

Los resultados económicos son muy positivos. Frente a electricidad, el proyecto presenta un ROI alto y un payback inferior a 12 años, lo que lo hace **viable**. Incluso frente a gasoil, los indicadores muestran un proyecto más que los anteriores rentable, con un retorno razonable a medio plazo.

Esto convierte a El Burgo en un ejemplo claro de caso económicamente viable para la implantación de una red de calor con biomasa, especialmente si se ejecuta con planificación a largo plazo y posibilidad de expansión.

### 5. KPIs Ambientales

Tabla 91 KPIs ambientales El Burgo

KPIs Ambientales	Biomasa vs Electricidad	Biomasa vs Gasoil
Reducción de emisiones de CO <sub>2</sub> (kg/año)	44.395,46	64.395,39
Porcentaje de reducción de CO <sub>2</sub> (%)	91,82	94,21

### 6. KPIs eficiencia energética

Tabla 92 KPIs eficiencia energética El Burgo

KPIs de Eficiencia Energética	Biomasa	
Costo de energía por tonelada de astilla	176,54	
	<b>Biomasa vs Electricidad</b>	<b>Biomasa vs Gasoil</b>
Relación CO <sub>2</sub> por Euro	0,09	0,14

## H. Comparativa General de Resultados Técnico-Económicos

En este apartado se presentan los resultados obtenidos tras aplicar el simulador de redes de calor con biomasa a siete municipios de la Sierra de las Nieves, todos ellos con proyectos reales previamente redactados por la empresa pública TRAGSA. El objetivo es contrastar los resultados técnicos, energéticos y económicos generados por el simulador con los datos reflejados en las memorias valoradas ejecutadas por la Diputación. A través de esta comparación se pretende evaluar la precisión del simulador, su utilidad para la toma de decisiones y su capacidad para detectar ineficiencias o sobredimensionamientos habituales en los estudios convencionales. Las tablas incluidas en este epígrafe recogen de forma sintética los datos clave de cada municipio, como la potencia pico calculada, el consumo anual estimado, el tipo y número de calderas instaladas, así como los indicadores económicos (ROI, payback) frente a distintas fuentes de energía. Además, se incluye un análisis transversal que permite observar cómo influyen variables como el consumo energético total o la potencia instalada en la viabilidad económica del sistema.

### 1. Potencias consumos y calderas

Los resultados obtenidos tras comparar el simulador con proyectos reales previamente redactados por TRAGSA en distintos municipios de la provincia de Málaga muestran una **elevada coherencia técnica**, especialmente en lo relativo al cálculo del consumo térmico anual. En la mayoría de los casos, las diferencias entre el consumo estimado por el simulador y el recogido en las memorias valoradas son mínimas, lo que valida la metodología empleada basada en grado-horas, ventilación, estanquidad, altura útil y rendimiento medio del sistema.

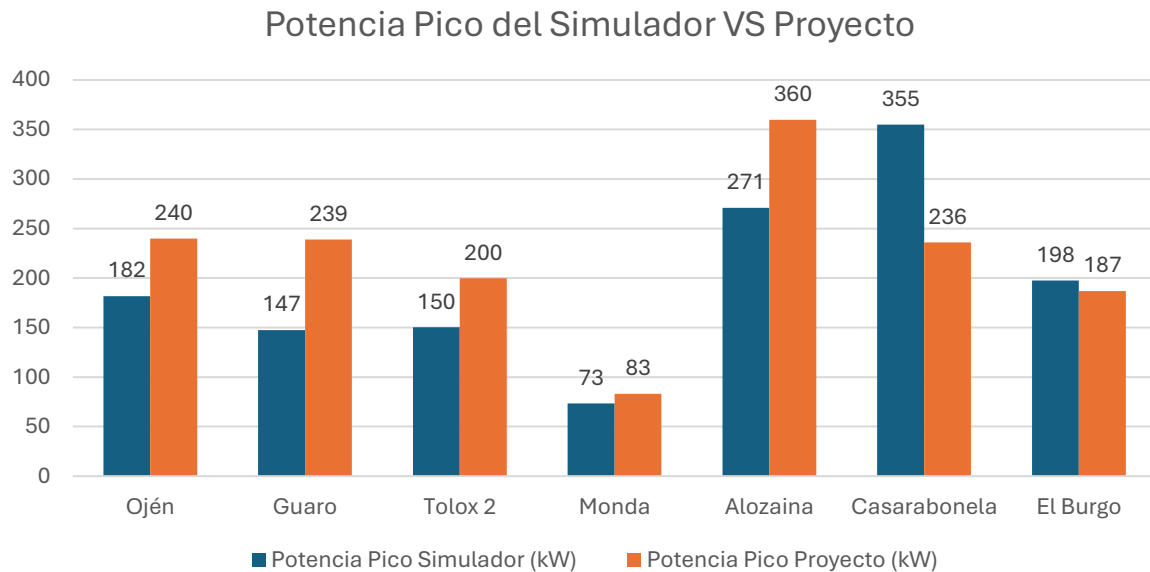


Figura 1 Comparativa de la potencia de pico del simulador vs proyecto

El gráfico “**Potencia Pico del Simulador vs Proyecto**” permite comparar visualmente la potencia máxima requerida que ha sido estimada por el simulador frente a la que se ha especificado en los proyectos reales para cada uno de los municipios analizados.

En general, se confirma que **los proyectos reales tienden a sobredimensionar la potencia instalada**. Esta tendencia suele estar motivada por la previsión de una futura ampliación de la red, márgenes de seguridad adicionales o por la aplicación del criterio N-1 (que implica contar con redundancia ante fallos). En contraposición, el simulador propone potencias **ajustadas a la demanda térmica real**, utilizando modelos comerciales estándar y evitando sobrecostes innecesarios en las fases iniciales de diseño.

En el caso **atípico de Casarabonela**, el simulador estima una potencia superior a la del proyecto. Este comportamiento puede explicarse por un posible **subdimensionamiento en el proyecto real debido a limitaciones físicas**, como la falta de espacio en el colegio. Es posible que se haya estimado un mayor número de horas de funcionamiento para compensar una potencia menor, intentando dar un servicio durante un mayor número de horas para ir calentado el edificio con más tiempo en las horas previas a su uso.

En resumen, este análisis pone de manifiesto el **valor del simulador como herramienta de predimensionamiento**, que no solo permite ahorrar costes sino también adaptar las soluciones técnicas a las condiciones reales de cada municipio, evitando tanto sobredimensionamientos innecesarios como riesgos de infraestimación de la potencia en instalaciones críticas.

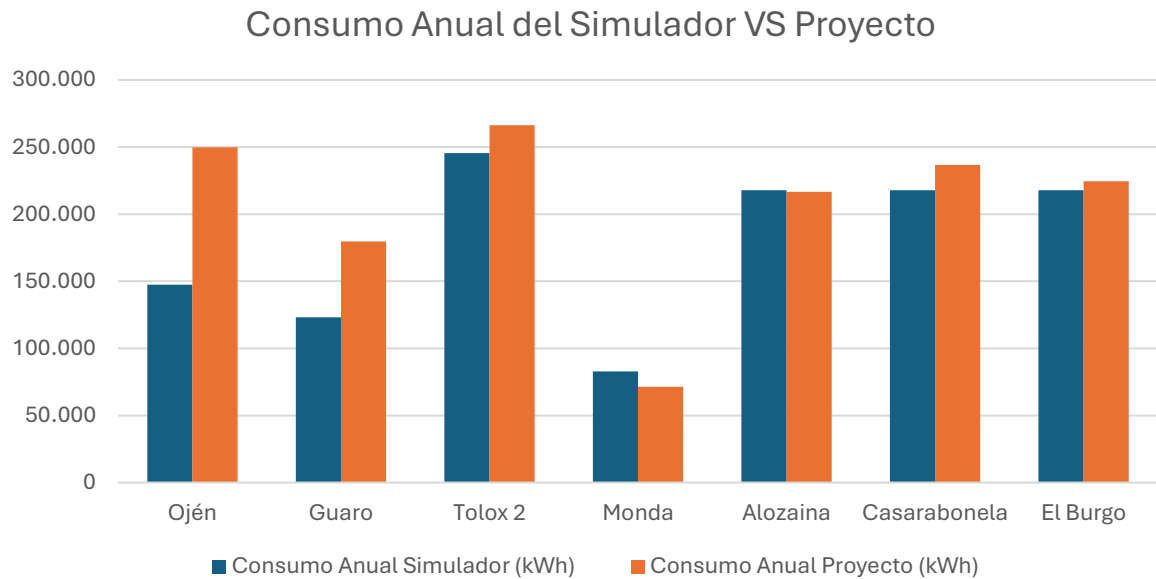


Figura 2 Consumo Anual del Simulador VS Proyecto

El gráfico “**Consumo Anual del Simulador vs Proyecto**” permite visualizar y comparar los valores de consumo térmico anual (en kWh) estimados por el simulador frente a los recogidos en los proyectos reales desarrollados en distintos municipios de la provincia de Málaga.

Los resultados ponen de manifiesto una tendencia clara: **los proyectos reales tienden a sobreestimar los consumos energéticos**, especialmente en municipios de clima más suave, lo cual responde a criterios de diseño conservadores.

#### **Análisis por zonas:**

- En municipios como **Ojén y Guaro**, ambos situados en cotas más bajas y más cercanos a la costa, las diferencias entre el consumo estimado por el simulador y el previsto en los proyectos son muy notables. Esto se debe, en gran medida, a que los proyectos reales suelen **sobredimensionar el número de horas de funcionamiento** del sistema térmico, sin tener en cuenta que estos municipios presentan inviernos suaves con una demanda real más baja de calefacción.
- En contraste, en municipios con condiciones climáticas más frías o mayor altitud —como **El Burgo, Tolox 2, Alozaina o Casarabonela**—, **la diferencia entre el consumo estimado por el simulador y el del proyecto real es mínima**. Esto indica que en estos casos la estimación de horas de uso del sistema se aproxima más a la realidad, y que el simulador logra reflejar con mayor precisión el comportamiento térmico ajustado a las condiciones locales.

Este comportamiento confirma que el simulador, al emplear **datos climáticos horarios y parámetros como la altitud, los grados-día de calefacción o la proximidad a la costa**, permite realizar un ajuste mucho más realista del consumo térmico. En cambio, los

proyectos reales aplican  **criterios generalistas o estándares conservadores**, lo que en muchos casos conlleva a **sobredimensionamientos de la demanda energética**.

## 2. Resultados económicos

Desde el punto de vista **económico**, los resultados varían notablemente según el tipo de energía a sustituir.

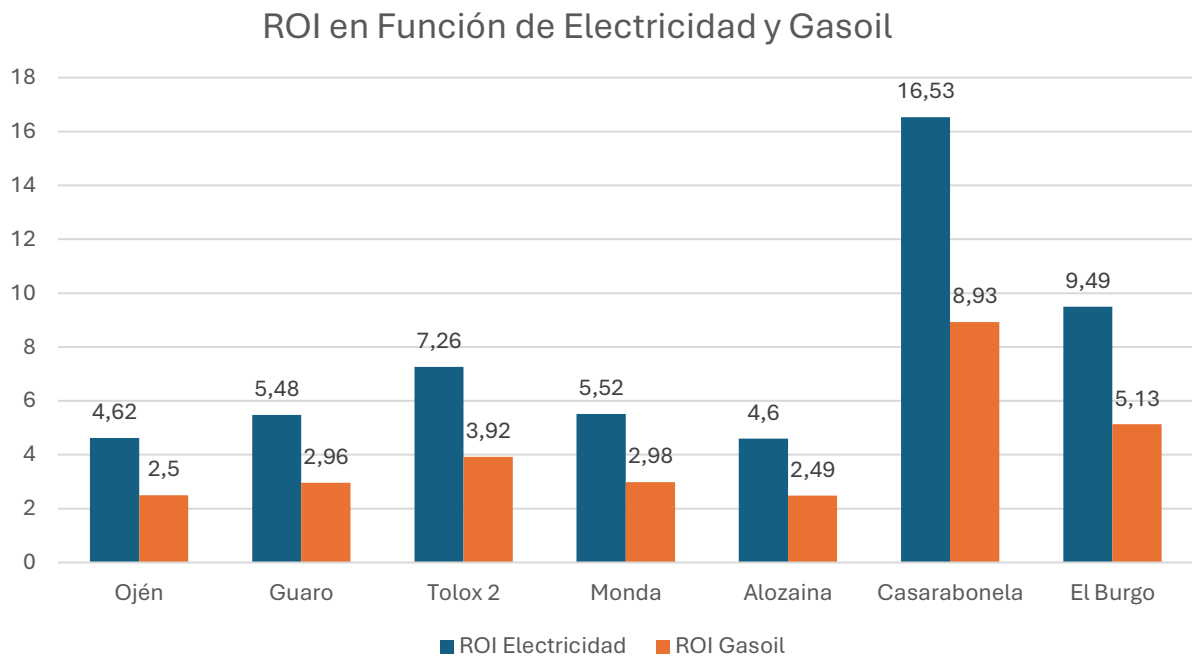


Figura 3 ROI en Función de Electricidad y Gasoil

El gráfico muestra el **Retorno sobre la Inversión (ROI)** en distintos municipios de la Sierra de las Nieves al sustituir los sistemas actuales de calefacción por **biomasa**, comparando dos escenarios:

- **Azul:** sustitución de **electricidad** por biomasa
  - **Naranja:** sustitución de **gasoil** por biomasa
1. **La biomasa ofrece un ROI mayor frente a la electricidad que frente al gasoil:** Esto se debe a que el precio de la electricidad es mucho más elevado que el de la biomasa, lo que permite obtener mayores ahorros operativos y, por tanto, una recuperación más rápida de la inversión.
  2. **Casarabonela destaca con el ROI más alto (16,53 frente a electricidad):** Esto indica un caso muy favorable para la implantación de la biomasa, probablemente debido a un consumo térmico elevado y una red de calor muy pequeña que hace que el presupuesto para la implementación sea menor.
  3. **Tolox 2 y El Burgo también muestran valores de ROI muy positivos (7,26 y 9,49 respectivamente frente a electricidad):**

En estos casos, se aprecia una buena proporción entre inversión realizada y ahorro conseguido, especialmente en municipios con mayor demanda térmica.

4. **Los ROI más bajos se observan en Alozaina (4,6 y 2,49) y Ojén (4,62 y 2,5):** Esto sugiere que, aunque hay ahorro, los proyectos aún no resultan altamente rentables si no se optimiza más la red o se conectan más edificios con alto consumo.

El gráfico pone de manifiesto que **la sustitución de electricidad por biomasa resulta generalmente más rentable** que la del gasoil, y que **la rentabilidad mejora claramente cuando se concentran consumos**. Proyectos en municipios con un solo edificio o baja demanda térmica muestran un ROI limitado, lo que subraya la importancia de **dimensionar correctamente las redes y priorizar consumidores con alta demanda**.

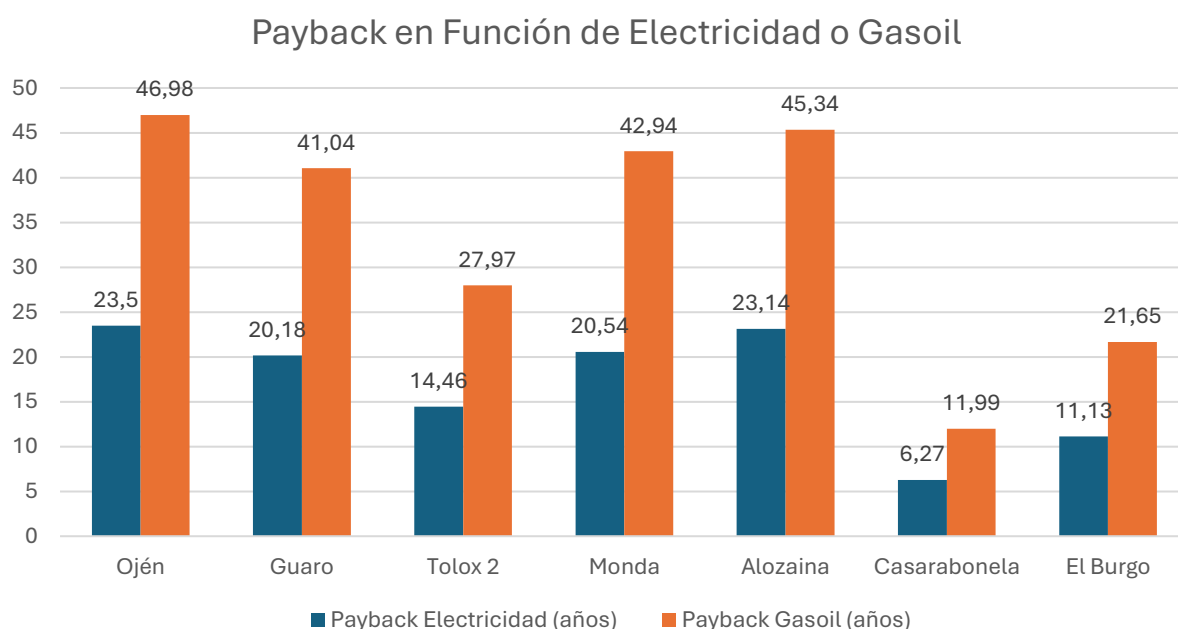


Figura 4 Payback en Función de Electricidad o Gasoil

El gráfico “**Payback en función de Electricidad o Gasoil**” muestra el número de años necesarios para recuperar la inversión inicial de una red de calor con biomasa, comparando el escenario de sustitución de electricidad y gasoil. Esta métrica es clave para evaluar la viabilidad económica del proyecto desde el punto de vista del retorno financiero.

#### **Análisis general del gráfico**

- **Frente a electricidad**, el periodo de retorno se mantiene en valores moderados en casi todos los municipios, oscilando entre 11 y 23 años, con Casarabonela (6,27 años) y Tolox 2 (14,46 años) como los casos más favorables.

- **Frente a gasoil**, el payback se dispara por encima de los 40 años en municipios como Ojén (46,98 años), Alozaina (45,34 años), Monda (42,94 años) y Guaro (41,04 años), lo que reduce sensiblemente la viabilidad económica de la inversión si no se acompaña de subvenciones o estrategias complementarias como la ampliación de red o el agrupamiento de consumo.

#### **Casos más rentables:**

Los resultados muestran que los **proyectos más rentables** son aquellos con **mayor demanda térmica anual concentrada**, como:

- **Casarabonela:** Presenta un payback excepcionalmente bajo frente a electricidad (6,27 años), debido a que se trata de un edificio de gran superficie con uso intensivo.
- **Tolox 2 y El Burgo:** También muestran ratios muy razonables (14,46 y 11,13 años respectivamente frente a electricidad), lo que los convierte en proyectos sólidos desde el punto de vista financiero.

#### **Casos menos rentables:**

Por el contrario, instalaciones más pequeñas o mal ajustadas como:

- **Ojén o Monda**, donde el sistema está **sobredimensionado o con baja demanda real**, presentan **retornos largos**, especialmente en la comparativa frente a gasoil, lo que podría comprometer su ejecución sin apoyo económico.

El gráfico demuestra que la biomasa presenta una rentabilidad razonable al sustituir electricidad, pero pierde competitividad frente al gasoil sin medidas adicionales. Esto resalta la importancia de un diseño cuidadoso y realista de la red, así como la necesidad de apoyar estos proyectos con ayudas públicas, economías de escala o una correcta identificación de los edificios con mayor consumo térmico.

### **3. Análisis del Payback según consumo energético y potencia instalada**

La siguiente tabla recoge los valores de payback (en años) en función del consumo energético anual del sistema y de la potencia nominal instalada de la caldera. A partir de estos resultados se extraen conclusiones relevantes para la toma de decisiones en la fase de diseño de redes de calor:

Tabla 93 Comparativa payback en función de consumo y potencia contra la electricidad

26,88	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
100000	60,69	65,47	68,84	73,95	75,71	68,84	78,44	86,23	86,23	89,95
200000	27,31	28,73	30,20	31,80	32,56	30,20	34,42	37,08	37,08	38,69
300000	17,62	18,40	19,35	20,26	20,74	19,35	22,05	23,62	23,62	24,64
400000	13,00	13,54	14,23	14,86	15,22	14,23	16,22	17,33	17,33	18,08
500000	10,31	10,70	11,25	11,74	12,02	11,25	12,82	13,68	13,68	14,28
600000	8,53	8,85	9,31	9,70	9,93	9,31	10,61	11,31	11,31	11,80
700000	7,28	7,55	7,94	8,26	8,46	7,94	9,04	9,63	9,63	10,05
800000	6,35	6,58	6,92	7,20	7,37	6,92	7,88	8,39	8,39	8,75
900000	5,63	5,83	6,13	6,37	6,53	6,13	6,98	7,43	7,43	7,75
1000000	5,06	5,23	5,50	5,72	5,86	5,50	6,27	6,67	6,67	6,96

Lo que más influye en la mejora de la rentabilidad del proyecto no es tanto el tamaño de la caldera, sino el nivel de consumo térmico conectado. Es decir, aumentar el número y el tipo de edificios conectados (especialmente aquellos con alta demanda) tiene un impacto mucho más significativo en la reducción del periodo de retorno que instalar una caldera de mayor potencia.

#### Observaciones detalladas:

- Para consumos bajos (por ejemplo, 100.000 kWh/año), incluso con potencias nominales pequeñas (50 o 100 kW), el payback es excesivamente alto (superior a 60 años), lo que indica una viabilidad económica muy baja.
- A medida que se incrementa el consumo energético, el payback disminuye de forma muy notable. Al pasar de 100.000 a 500.000 kWh/año, el payback se reduce desde más de 60 años a aproximadamente 10 años.
- A partir de consumos superiores a 700.000–800.000 kWh/año, el payback se sitúa por debajo de los 8 años en casi todos los rangos de potencia, lo que refleja condiciones favorables para la inversión.
- Variar la potencia instalada sin aumentar el consumo tiene un efecto mucho menor sobre la rentabilidad, e incluso puede penalizarla si el sistema queda sobredimensionado.

## V. Conclusiones

A lo largo del presente Trabajo Fin de Máster he desarrollado un simulador de redes de calor con biomasa orientado a facilitar el análisis técnico y económico de este tipo de proyectos en entornos municipales. La herramienta permite estimar de manera rápida y fiable la demanda térmica, la potencia requerida, los ahorros económicos y energéticos, así como los principales indicadores de viabilidad, tanto a nivel económico como ambiental.

Los resultados obtenidos tras su validación frente a proyectos reales han demostrado una elevada coherencia técnica con las memorias redactadas por TRAGSA, evidenciando al mismo tiempo un margen importante de mejora en términos de eficiencia, flexibilidad y precisión climática. El simulador no solo reproduce con gran fidelidad los consumos térmicos, sino que permite explorar múltiples escenarios con distintas combinaciones de edificios, lo que optimiza el diseño y justifica mejor la inversión.

### A. Implicaciones para el diseño y toma de decisiones

Uno de los principales aprendizajes extraídos del análisis comparativo ha sido la importancia de dimensionar correctamente la red, priorizando la conexión de consumidores térmicos intensivos como piscinas climatizadas, centros de salud, residencias o colegios con jornada completa. Este enfoque permite maximizar la eficiencia económica del sistema, reducir los periodos de amortización (payback) y aumentar el retorno de la inversión, sin necesidad de sobredimensionar la potencia instalada.

Asimismo, el simulador proporciona una interfaz intuitiva pensada también para usuarios no técnicos, lo que facilita su adopción por parte de responsables municipales o equipos políticos implicados en la toma de decisiones. Esta accesibilidad contribuye a democratizar la planificación energética local, permitiendo que los análisis no queden limitados al entorno técnico, sino que formen parte activa de la estrategia territorial de sostenibilidad.

### B. Principales aportaciones del simulador

- Ofrece resultados técnicos consistentes con proyectos profesionales.
- Mejora significativamente la eficiencia del proceso de predimensionamiento.
- Reduce el tiempo de análisis de semanas a minutos.
- Facilita la comparación dinámica de distintas alternativas.

- Integra condiciones climáticas reales (HDH) y costes de mercado actualizados.
- Permite adaptar los diseños a las necesidades económicas, técnicas y geográficas de cada municipio.

En este sentido, el simulador puede convertirse en una herramienta estratégica para la Diputación y otras entidades públicas, al integrarse fácilmente en procesos de planificación energética, elaboración de encargos técnicos o selección de proyectos prioritarios. Su uso podría sustituir total o parcialmente algunas fases previas de los estudios tradicionales, agilizando plazos, reduciendo costes y mejorando la toma de decisiones.

### C. Líneas de mejora

Como línea futura de trabajo, se plantea ampliar las funcionalidades del simulador con:

- Módulos avanzados de visualización gráfica (curvas de retorno, escenarios alternativos).
- Integración con plataformas GIS para análisis espacial de viabilidad y planificación territorial.
- Exportación de resultados automatizada a formatos técnicos (memorias tipo, fichas resumen).

En definitiva, el simulador desarrollado no solo responde a una necesidad operativa concreta, sino que representa una contribución real al avance de las herramientas de diseño energético municipal. Su aplicación práctica puede tener un impacto directo en la eficiencia de la inversión pública, la sostenibilidad energética y la lucha contra el cambio climático en el ámbito rural.

## VI. Bibliografía

1. Asociación Española de Valorización Energética de la Biomasa. (2023). *Valorización energética de la biomasa en la Sierra de las Nieves (Málaga)*. <https://www.avebiom.org/biomasanews/calefaccion-industrial-y-district-heating/valorizacion-energetica-biomasa-sierra-nieves-malaga>
2. MITECO. (s.f.). *Guía técnica de instalaciones térmicas con biomasa en edificios*. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Recuperado de [https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/energia/files-1/Eficiencia/RITE/documentosreconocidosrite/Gu%C3%ADas%20t%C3%A9cnicas/Guia\\_Instalaciones\\_Biomasa.pdf](https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/energia/files-1/Eficiencia/RITE/documentosreconocidosrite/Gu%C3%ADas%20t%C3%A9cnicas/Guia_Instalaciones_Biomasa.pdf)
3. AVEBIOM. (s.f.). *El nuevo RITE afecta a las instalaciones térmicas de biomasa en edificación*. Asociación Española de Valorización Energética de la Biomasa. Recuperado de <https://www.avebiom.org/biomasanews/servicios-energeticos-e-instaladoras/nuevo-RITE-instalaciones-termicas-biomasa-edificacion>
4. ESEFICIENCIA. (2025, 19 de marzo). *El municipio de Yunquera contará con una planta de biomasa dentro del proyecto Bio+a Málaga*. <https://www.eseficiencia.es/2025/03/19/municipio-yunquera-contara-planta-biomasa-dentro-proyecto-bioa-malaga>
5. Asociación Española de Valorización Energética de la Biomasa. (2022). *Informe Redes de Calor con Biomasa 2022*. [https://www.avebiom.org/sites/default/files/observatorio\\_biomasa/Informe-REDES-CALOR-BIOMASA-2022-AVEBIOM.pdf](https://www.avebiom.org/sites/default/files/observatorio_biomasa/Informe-REDES-CALOR-BIOMASA-2022-AVEBIOM.pdf)
6. El País. (2024, 1 de enero). *El pueblo que se calienta con los residuos de su bosque: así funciona una de las primeras redes de calor comunitarias de España*. <https://elpais.com/clima-y-medio-ambiente/2024-01-01/el-pueblo-que-se-calienta-con-los-residuos-de-su-bosque-asi-funciona-una-de-las-primeras-redes-de-calor-comunitarias-de-espana.html>
7. Ingenieros Civiles. (s.f.). *District Heating, las redes de calor en zonas rurales (I)*. <https://ingenieros-civiles.es/actualidad/actualidad/1/688/district-heating-las-redes-de-calor-en-zonas-rurales>
8. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2020). *Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030*. <https://www.miteco.gob.es/es/ministerio/planes-estrategias/plan-nacional-integrado-energia-clima.aspx>
9. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (2018). *Estrategia Española de Bioeconomía Horizonte 2030*. <https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/politica-forestal/estrategia-espanola-bioeconomia-horizonte-2030.aspx>
10. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (2003). *Ley 43/2003, de 21 de noviembre, de Montes*. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2003-21039>

11. IDAE. (2023). Precios de la biomasa para uso térmico. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Recuperado de <https://www.idae.es>
12. CNMC. (2023). Informe de precios de la electricidad. Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia. Recuperado de <https://www.cnmc.es>
13. CORES. (2023). Precios medios de productos petrolíferos. Corporación de Reservas Estratégicas. Recuperado de <https://www.cores.es>
14. Ellen MacArthur Foundation. (2019). *What is circular economy?*. Recuperado de <https://ellenmacarthurfoundation.org>
15. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2021). *Economía circular en el sector energético*. Madrid, España.
16. Cabildo de Tenerife. (2020). *Centro Logístico de Biomasa: Caso de Estudio*. Recuperado de <https://tenerifebio.com>
17. Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the Circular Economy: An Analysis of 114 Definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 221-232.
18. Kirchmayr, U., Hübner, R., & Hinterberger, F. (2020). Biomass Energy: From Forest to Furnace. *Renewable Energy Journal*, 34(2), 87-95.
19. Haberl, H., Geissler, S., & Krausmann, F. (2019). *Wood Biomass and Energy in Austria: Lessons from Sustainable Forestry*. Vienna: Austrian Institute for Renewable Energy.
20. Ellen MacArthur Foundation. (2019). *What is circular economy?*. Recuperado de <https://ellenmacarthurfoundation.org>
21. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2021). *Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030*. Madrid, España.
22. Parques Nacionales de España. (s.f.). *Parque Nacional Sierra de las Nieves*. Recuperado de <https://parquesnacionales.ign.es/sierra-de-las-nieves#flora>
23. Junta de Andalucía. (s.f.). *Parque Nacional de Sierra de las Nieves*. Recuperado de [https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal/landing-page-%C3%ADndice/-/asset\\_publisher/zX2ouZa4r1Rf/content/parque-nacional-de-sierra-de-las-nieves/20151](https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal/landing-page-%C3%ADndice/-/asset_publisher/zX2ouZa4r1Rf/content/parque-nacional-de-sierra-de-las-nieves/20151)
24. Diputación de Málaga. (s.f.). *BIOMAS-A: Red de calor con biomasa*. <https://biomas-a.malaga.es/>
25. AVEBIOM (2022). *Redes de calor con biomasa en municipios rurales: ejemplos en la Comunidad Valenciana*. Asociación Española de Valorización Energética de la Biomasa. Disponible en: <https://www.avebiom.org/biblioteca/redes-de-calor-con-biomasa-en-municipios>
26. **Cabildo de Tenerife.** (2023). *El Cabildo proyecta en Fasnia el primer centro logístico de biomasa de Canarias*. Recuperado de: <https://www.tenerife.es/portalcabtfe/es/actualidad/item/17282-el-cabildo-proyecta-en-fasnia-el-primer-centro-logistico-de-biomasa-de-canarias>
27. **Universidad de Valladolid.** (2022). *La red de calor con biomasa de la Universidad de Valladolid abastece a los campus Miguel Delibes y Río Esgueva*. Recuperado de:

- [https://www.uva.es/export/sites/uva/uva/actualidad/\\_documentos/notasprensa/2022/RedCalorBiomasa\\_UVa.pdf](https://www.uva.es/export/sites/uva/uva/actualidad/_documentos/notasprensa/2022/RedCalorBiomasa_UVa.pdf)
28. **Rebi.** (s.f.). *Red de Calor de Soria*. Recuperado de: <https://www.rebi.es/red-de-calor-de-soria/>
  29. **Ecoenergies Barcelona.** (s.f.). *Red de calor y frío con energía renovable*. Recuperado de: <https://www.ecoenergies.es/>
  30. Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (2020). **Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico HE: Ahorro de Energía.** Recuperado de: <https://www.codigotecnico.org>
  31. Caseragua. (2024). *Mantenimiento de instalaciones térmicas con biomasa*. Recuperado de: <https://caseragua.com>
  32. Cronoshare. (2025). *Precio medio del mantenimiento de calderas de gasoil en España*. Recuperado de: <https://cronoshare.com>

## VII. Anexo 1 Presupuestos

El presente anexo recoge el desglose de los presupuestos empleados en el simulador para estimar los costes de inversión asociados a una red de calor con biomasa. Estos presupuestos han sido elaborados combinando diferentes fuentes técnicas y reales con el objetivo de obtener valores representativos, contrastados y aplicables a entornos municipales como los de la Sierra de las Nieves.

Las estimaciones económicas se fundamentan principalmente en cinco fuentes complementarias:

- **Licitaciones públicas** ya ejecutadas por la Diputación de Málaga, como las referencias TSA0076710 y TSA0075212.
- **Proyectos técnicos reales** redactados por TRAGSA en municipios de la comarca.
- La **base de tarifas TRAGSA 2022**, ampliamente utilizada en entornos de contratación pública.
- El **Generador de Precios de la Construcción (España)**, una herramienta de referencia nacional para consultar precios actualizados de materiales y partidas constructivas.
- **Presupuestos comerciales** solicitados a empresas especializadas en instalación de redes de calor, con el fin de validar y ajustar ciertos componentes clave.

En este anexo se presentan algunos de los elementos más representativos que componen el presupuesto total de una red de calor: sala de calderas, red de tuberías, estaciones de intercambio, acumuladores, chimeneas, intercambiadores, etc. Las partidas se estructuran de forma clara para facilitar su consulta y actualización, permitiendo al usuario comprender cómo se construyen las estimaciones de coste final que aparecen en la hoja de resultados del simulador.

### A. Estructura del presupuesto

El presupuesto generado por el simulador se estructura en **dos tipos de partidas** diferenciadas que permiten adaptar los costes a las características específicas de cada proyecto analizado:

#### 1. Partidas variables

Estas partidas **varían directamente en función de los datos introducidos por el usuario en el simulador**, como el número de edificios y piscinas, su superficie a calefactar, la potencia térmica requerida o la longitud de la red de tuberías. Entre las partidas variables más relevantes se encuentran:

- Suministro e instalación de calderas (en función de la potencia total requerida).

- Instalación de radiadores (según la superficie de calefacción).
- Acumuladores, intercambiadores de placas y vasos de expansión (calculados en base a la configuración de la sala de calderas).
- Longitud y tipo de tuberías (proporcionales a la distancia y potencia).
- Subestaciones o estaciones de intercambio (en función del número de edificios/piscinas).

Estas partidas se actualizan automáticamente en el presupuesto conforme se modifican los parámetros del simulador.

## 2. Partidas fijas

Asociadas a las partidas variables, se incluyen también **una serie de partidas fijas** que se activan cuando se detecta la necesidad de ciertos elementos constructivos o de apoyo. Estas partidas no dependen directamente de magnitudes continuas (como metros o kilovatios), sino de la presencia o no de determinados componentes.

Esta **combinación de partidas variables y fijas** permite construir un presupuesto técnico detallado, adaptable y coherente con los datos de entrada proporcionados, facilitando tanto la **estimación económica realista** como la **comparación entre distintas alternativas de diseño**.

Además de las partidas variables y fijas descritas, al presupuesto final se le **aplican dos coeficientes adicionales** para reflejar los costes reales de ejecución de obra en un entorno profesional:

- **Costes indirectos (7,5 %)**: representan los gastos que no directamente imputables a una partida concreta, como costes de coordinación, gestión de obra, planificación, seguros u oficina técnica. Son habituales en cualquier presupuesto técnico y reflejan los costes operativos del contratista.
- **Gastos generales (6,25 %)**: incluyen los costes estructurales de la empresa que ejecuta el proyecto, como administración, personal indirecto, oficinas centrales o gastos financieros. También son estándar en licitaciones públicas.

Estos porcentajes se calculan **al final del presupuesto**, una vez sumadas todas las partidas anteriores, y permiten obtener un coste global **más ajustado a la realidad del mercado**, compatible con los criterios de contratación pública y estimación de inversiones para organismos como la Diputación.

## B. Ejemplo presupuesto completo

En este apartado se presenta un ejemplo completo del presupuesto obtenido por el simulador con los datos de una red de calor que consta de edificio y una piscina situados en Málaga.

Tabla 94. Datos de un edificio y una piscina asociados al ejemplo de presupuesto.

Provincia	Málaga
Altitud del municipio	380
Numero de edificios	1
Número de piscinas	1
Temperatura de calefacción de los edificios	20

Edificio 1			
Datos		Resultados	
Tipo de Uso	Colegios y hospitales	Zona climática	B3
Aislamiento	Mal aislado	HDH	33.720,60
Estanquidad	Media	U (W/m²K)	1,50
Superficie Total a calefactar (m²)	3500	H	1,20
Superficie de radiadores a instalar	3500	Consumo de calefacción (kWh/m²año)	71,41
Tuberías hasta el edificio conectado más cercano (m)	250	Potencia nominal (Kw)	303,87
		Consumo anual (kWh/año)	249.929,15
		Precio de la instalación Radiadores €	190.583,16
Piscina Climatizada 1			
Datos		Resultados	
Ancho (m)	10	Superficie (m²)	250,00
Largo (m)	25	Volumen (m³)	450,00
Profundidad Media (m)	1,8	Pérdida (kW/m²)	0,30
Ubicación	Interior	Potencia Nominal (kW)	75,00
Temperatura (°C)	26	Consumo de calefacción (kWh/m²año)	648,00
Horas Anuales	Invierno	Consumo Anual (kWh)	162.000,00
Tuberías hasta el edificio conectado más cercano (m)	110		

Tabla 95. Empleo presupuesto completo para una red de calor formada por un edificio y una piscina

Descripción	Cantidad	Unidad	Precio	Total
<b>Sala de calderas</b>				
Modulo pref. para sala de caldera y/o silo de biomasa de hormigón o sim. para 3 calderas + silo	0	u	43.273,29	0,00
Modulo pref. para sala de caldera y/o silo de biomasa de hormigón o sim. para 2 calderas + silo	1	u	35.273,29	35.273,29
Modulo pref. para sala de caldera y/o silo de biomasa de hormigón o sim. para 1 calderas + silo	0	u	33.273,29	0,00
<b>Calderas</b>				
Tarimado de silo de madera formado por vigas de madera de 150x50 mm de sección y tablero tricapa de 30 mm de espesor, colocado c	15	m²	255,93	3.838,95
Ayuda albañilería calefacción	1	ud	193,6	193,60
Caldera para la combustión de astillas, pellet, hueso de aceituna, agropellet, etc, potencia nominal de 80 kW, serie Multifire,	0	Ud	18.751,80	0,00
Caldera para la combustión de astillas, pellet, hueso de aceituna, agropellet, etc, potencia nominal de 100 kW, serie Multifire,	0	Ud	22.991,80	0,00
Caldera para la combustión de astillas, pellet, hueso de aceituna, agropellet, etc, potencia nominal de 120 kW, serie Multifire,	0	Ud	27.231,80	0,00
Caldera para la combustión de astillas, pellet, hueso de aceituna, agropellet, etc, potencia nominal de 150 kW, serie Multifire,	0	Ud	30.232,60	0,00
Caldera para la combustión de astillas, pellet, hueso de aceituna, agropellet, etc, potencia nominal de 200 kW, serie Multifire,	2	Ud	41.986,80	83.973,60
Caldera para la combustión de astillas, pellet, hueso de aceituna, agropellet, etc, potencia nominal de 250 kW, serie Multifire,	0	Ud	54.483,60	0,00
Caldera para la combustión de astillas, pellet, hueso de aceituna, agropellet, etc, potencia nominal de 300 kW, serie Multifire,	0	Ud	64.983,60	0,00
Sistema de extracción de cenizas volátiles en contenedor de cenizas, recomendable para combustibles con alto contenido en ceniza	2	Ud	325	650,00
Detección de combustible plus	2	Ud	664,59	1.329,18

Revestimiento esclusa rueda celular P45A ó G50	2	Ud	222,16	444,32
KWB GRUPO AUMENTO TEMP RETORNO DN50 STRATOS 30/1-12 KVS28	2	Ud	2.407,24	4.814,48
Regulador de tiro con válvula de alivio de presión montado en chimenea, de 200 mm de diámetro	2	Ud	354,1	708,20
Válvula descarga térmica para intercambiador de seguridad de caldera 3/4".	2	Ud	160,83	321,66
Confort depósito de cenizas	2	Ud	256,76	513,52
SUMINISTRO Y MONTAJE ACCIONAMIENTO SIN FÍN LLENADO	2	Ud	2.407,24	4.814,48
Canal de alimentación para astillas de madera, pellet, etc, para caldera de biomasa	7	m	385	2.695,00
Agitador de lamas de acero flexible, para caldera de biomasa, de 4,5 m de diámetro.	2	Ud	1.711,50	3.423,00
Bomba circuladora doble de alta eficiencia, de rotor húmedo libre de mantenimiento apta para temperatura	1	Ud	3.950,11	3.950,11
Acumulador de inercia, apoyo calefacción de acero negro "GRENNHEISS modelo DPAN/DI", 1000 l	0		1.633,51	0,00
Acumulador de inercia, apoyo calefacción de acero negro "GRENNHEISS modelo DPAN/DI", 2000 l	0	Ud	3.926,91	0,00
Acumulador de inercia, apoyo calefacción de acero negro "GRENNHEISS modelo DPAN/DI", 3000 l	0		4.957,93	0,00
Acumulador de inercia, apoyo calefacción de acero negro "GRENNHEISS modelo DPAN/DI", 4000 l	1		6.268,40	6.268,40
Vaso de expansión cerrado con una capacidad de 200 l.	0		526,11	0,00
Vaso de expansión cerrado con una capacidad de 300 l.	0	Ud	645,54	0,00
Vaso de expansión cerrado con una capacidad de 400 l.	1	Ud	696,00	696,00
Vaso de expansión cerrado con una capacidad de 500 l.	0		869,84	0,00
Vaso de expansión cerrado con una capacidad de 600 l.	0		1.116,20	0,00
Circuito formado por tubo de polipropileno copolímero random resistente a la temperatura (PP-RCT), de 63 mm de diámetro exterior	60	m	50,23	3.013,80
Chimenea modular metálica, de doble pared, pared interior de acero inoxidable AISI 316L de 200 mm de diámetro y pared exterior d	0		380,81	0,00
Chimenea modular metálica, de doble pared, pared interior de acero inoxidable AISI 316L de 250 mm de diámetro y pared exterior d	15	m	482,19	7.232,85
Chimenea modular metálica, de doble pared, pared interior de acero inoxidable AISI 316L de 300 mm de diámetro y pared exterior d	0		572,76	0,00
SISTEMA DE COLECTORES DE DISTRIBUCIÓN	1	ud	6.179,28	6.179,28
Contador de calorías con microprocesador	1	Ud	2.663,57	2.663,57
Extintor polvo ABC 5kg	1	ud	193,15	193,15
Extintor de nieve carbónica CO2 2 kg, colocado	1	ud	95,07	95,07

#### Red de calor

Soterrado de tuberías para red de calor de calor bajo pavimento	0	ml	43,84	0,00
Restitución de trazado de la red de calor	0	m2	44,98	0,00
Tubería flexible preaislada para instalaciones de calefacción, con doble tubo interior de 40 mm, 2x40 mm. Diámetro ext 180 mm.	0	m	82,082	0,00
Tubería flexible preaislada para instalaciones de calefacción, con doble tubo interior de 50 mm, 2x50 mm. Diámetro ext 200 mm.	0	m	79,56	0,00
Tubería flexible preaislada para instalaciones de calefacción, con doble tubo interior de 63 mm, 2x63 mm. Diámetro ext 200 mm.	0	m	90,506	0,00
Tubería flexible preaislada para instalaciones de calefacción, con un solo tubo interior de 75 mm. Diámetro ext. 200 mm.	0	m	86,424	0,00
Tubería flexible preaislada para instalaciones de calefacción, con un solo tubo interior de 90 mm. Diámetro ext. 200 mm.	0	m	93,496	0,00
Arquetas de conexión, instalación de accesorios y reposición de servicios afectados. 30% del total de suministro e instalación de tuberías	1	Ud	0,00	0,00

<b>Estaciones de intercambio incluye bomba secundario</b>				
Intercambiador de placas 40 kw, desmontable de acero inoxidable AISI 316L	0	Ud	606,94	0,00
Intercambiador de placas 60 kw, desmontable de acero inoxidable AISI 316L	0	Ud	663,61	0,00
Intercambiador de placas 80 kw, desmontable de acero inoxidable AISI 316L	0	Ud	877,81	0,00
Intercambiador de placas 100 kw, desmontable de acero inoxidable AISI 316L	0	Ud	1.137,47	0,00
Intercambiador de placas 150 kw, desmontable de acero inoxidable AISI 316L	0	Ud	1.703,12	0,00
Intercambiador de placas 200 kw, desmontable de acero inoxidable AISI 316L	0	Ud	2.268,77	0,00
Intercambiador de placas 250 kw, desmontable de acero inoxidable AISI 316L	0	Ud	2.834,42	0,00
Intercambiador de placas 300 kw, desmontable de acero inoxidable AISI 316L	0	Ud	3.400,07	0,00
Intercambiador de placas 350 kw, desmontable de acero inoxidable AISI 316L	0	Ud	3.965,72	0,00
Intercambiador de placas 400 kw, desmontable de acero inoxidable AISI 316L	1	Ud	4.531,72	4.531,72
Intercambiador de placas 450 kw, desmontable de acero inoxidable AISI 316L	0	Ud	5.097,02	0,00
Intercambiador de placas 500 kw, desmontable de acero inoxidable AISI 316L	0	Ud	5.662,67	0,00
Regulador de caudal y control para equilibrage de lineas	1	Ud	3.640,69	3.640,69
Conexion red de calor con subestación	1	Ud	3.392,84	3.392,84
Control y monitorización de instalación	1	Ud	4.572,60	4.572,60
Ayuda albañilería instalaciones telecomunicaciones	1	ud	242	242,00
Puesta en marcha, pago del software y comprobación del sistema de control	1	ud	1.200,00	1.200,00

<b>Instalación electrica</b>				
Intsalación electrica de sala de calderas	1	ud	10.225,47	10.225,47
Extra de instalación por estación de intercambio	1	ud	1.700,00	1.700,00

<b>Legalización</b>				
Tramitación y legalización de la instalación	1	u	14.138,11	14.138,11

<b>Residuos</b>				
Gestión de RCD mixtos	0	t	25	0,00
Canon de gestión de residuos	1	Ud	0	0,00

<b>Seguridad y salud</b>				
Recipiente recogida basura	3	ud	33,92	101,76
Barandilla protección huecos. Montaje y desmontaje	75	m	7,71	578,25
Pasarela acero, de 1,50 m longitud. Montaje y desmontaje	50	m	14,33	716,5
Tapón plástico protección redondos	50	ud	0,87	43,5
Vallado perimetral formado por vallas peatonales de hierro, de 1,10x2,50 m	50	ud	2,25	112,5
Valla cerramiento obra 2 m de altura. Montaje y desmontaje	50	m	5,34	267
Valla normalizada desviación tráfico, colocada	4	ud	2,34	9,36
Señal normalizada tráfico con soporte, colocada	2	ud	10,2	20,4
Cartel indicativo de riesgos general, colocado	2	ud	6,8	13,6

Cinta balizamiento, colocada	500	m	1,13	565
Cono balizamiento de plástico, colocado	10	ud	15,04	150,4
Extintor polvo ABC 6 kg, colocado	2	ud	58,69	117,38
Extintor de nieve carbónica CO2 2 kg, colocado	2	ud	95,07	190,14
Botiquín portátil de obra	2	ud	50,92	101,84
Casco de seguridad ABS o PEAD con anagrama, blanco	6	ud	7,45	44,7
Protector auditivo tapones con cordón	6	ud	0,21	1,26
Mascarilla autofiltrante plegada, partículas, un uso, Clase FFP2	60	ud	0,7	42
Ropa de trabajo de alta visibilidad: chaqueta y pantalón	6	ud	31,73	190,38
Ropa de trabajo de alta visibilidad: Polo manga corta	6	ud	8,25	49,5
Chaleco alta visibilidad	6	ud	3,22	19,32
Guantes impermeabilizados protección contra riesgos mecánicos	6	par	0,66	3,96
Guantes protección riesgo eléctrico en baja tensión	2	par	22,22	44,44
Botas de seguridad Categoría S1+P	6	par	13,35	80,1
Recurso preventivo	125	h	35	4.375,00
Vigilante máquina aislada	150	h	27,01	4.051,50
<b>CONTROL DE CALIDAD 2%</b>	1		9.797,90	9.797,90
			<b>Total</b>	<b>238.616,63</b>
<b>Costes indirectos</b>	7,5			256.512,87
<b>Gastos generales</b>	6,25			272.544,93
IVA 21%	1	Ud	57.234,43	57.234,43
<b>Total</b>				<b>329.779,36</b>

### C. Justificación de precios y creación del presupuesto variable

En este apartado se detallan las partidas económicas más representativas incluidas en el presupuesto generado por el simulador. Cada componente se ha calculado a partir de fuentes reales como licitaciones públicas, bases de precios oficiales (TRAGSA, Generador de Precios de CYPE, licitaciones) y presupuestos de mercado. Se justifica cómo varían estos elementos en función del número y características de los edificios y piscinas seleccionados por el usuario (superficie, distancia a sala de calderas, potencia requerida, etc.), lo que permite adaptar el coste total a cada caso concreto de forma realista.

## 1. Creación del Presupuesto de la Sala de Calderas

La determinación del costo de la **sala de calderas** se basa en el número de calderas necesarias para cubrir la demanda térmica de la instalación. Para ello, se han definido tres escenarios en función de la cantidad de calderas y la necesidad de un **silo de biomasa**.

### Escenarios de Diseño para la Sala de Calderas

Dependiendo del número de calderas instaladas, se considerarán las siguientes configuraciones:

#### Caso 1: Sala para 3 calderas + silo 43.273,29 €

- Se utiliza cuando el sistema requiere **tres calderas** de biomasa.
- Incluye un **módulo prefabricado** de hormigón o similar con espacio suficiente para la instalación de tres calderas y un silo de almacenamiento de biomasa.
- Representa el costo más alto entre las opciones, debido a su mayor tamaño y capacidad.

#### Caso 2: Sala para 2 calderas + silo 35.273,29 €

- Se selecciona cuando el proyecto necesita **dos calderas**.
- La sala es de menor tamaño que en el caso anterior, pero mantiene espacio para el silo de biomasa.

#### Caso 3: Sala para 1 caldera + silo 33.273,29 €

- Se aplica cuando solo se instala **una caldera de biomasa**.
- La configuración más compacta y económica, adecuada para instalaciones de menor potencia térmica.

## 2. Calderas

Los precios de suministros de las calderas de **100 kW**, **120 kW** y **200 kW** se han calculado utilizando **las licitaciones de sierra de las nieves** que se encuentran publicados en la plataforma de licitaciones del sector público como la licitación TSA000075212. En cuanto a los precios de instalación son los de las tarifas Tragsa 2022

### 1. Caldera de 100 kW:

- **Precio de la caldera:** 18.995 €
- **Precio de instalación:** 3.996,8 €
- **Precio total** = 18.995 € + 3.996,8 € = **22.991,8 €**

### 2. Caldera de 120 kW:

- **Precio de la caldera:** 23.235 €

- **Precio de instalación:** 3.996,8 €
- **Precio total** = 23.235 € + 3.996,8 € = **27.231,8 €**

### 3. Caldera de 200 kW:

- **Precio total** = 39.986,8 € (Ya incluye tanto la instalación como la caldera)

## Cálculo de Precios para las Calderas de 80 kW, 250 kW y 300 kW:

Los precios de las calderas de **80 kW**, **250 kW** y **300 kW** se estimaron utilizando la **relación proporcional** que sigue el incremento de precios en función de la potencia de las calderas.

### 1. Caldera de 80 kW:

- **Precio estimado de la caldera:** 14.755 € (calculado utilizando el mismo incremento proporcional entre las calderas de 100 kW y 120 kW)
- **Costo de instalación:** 3.996,8 €
- **Precio total estimado:** 14.755 € + 3.996,8 € = **18.751,8 €**

### 2. Caldera de 250 kW:

- **Precio de la caldera:** 50.486,8 € (calculado utilizando un incremento proporcional entre la caldera de 200 kW y la de 250 kW)
- **Costo de instalación:** 3.996,8 €
- **Precio total estimado:** 50.486,8 € + 3.996,8 € = **54.483,6 €**

### 3. Caldera de 300 kW:

- **Precio de la caldera:** 60.986,8 € (calculado utilizando un incremento proporcional entre la caldera de 250 kW y la de 300 kW)
- **Costo de instalación:** 3.996,8 €
- **Precio total estimado:** 60.986,8 € + 3.996,8 € = **64.983,6 €**

Tabla 96. Resumen Final de Precios Estimados:

Potencia (kW)	Precio de la Caldera	Costo de Instalación	Precio Total Estimado
80 kW	14.755 €	1.996,8 €	16.751,8 €
100 kW	18.995 €	1.996,8 €	20.991,8 €
120 kW	23.235 €	1.996,8 €	25.231,8 €
150 kW	26.235,8 €	1.996,8 €	28.232,6 €
200 kW	37.990,00 €	1.996,8 €	39.986,8 €
250 kW	50.486,8 €	1.996,8 €	52.483,6 €
300 kW	60.986,8 €	1.996,8 €	62.983,6 €

### 3. Acumuladores

A continuación, se presentan una serie de partidas presupuestarias correspondientes a **acumuladores para sistemas de calefacción**, obtenidas del **Generador de Precios de CYPE**, una herramienta ampliamente utilizada para la estimación económica de instalaciones térmicas en proyectos técnicos. Estos precios incluyen materiales, mano de obra y costes complementarios asociados a la instalación, y sirven como base para la evaluación económica preliminar del sistema.

Los precios de los depósitos de inercia de **1000 l**, **2000 l** y **4000 l** se han utilizado como base, y los cálculos se han extrapolado para estimar el costo de los depósitos intermedios.

#### Depósito de inercia de 1000 l:

Tabla 97 Precios deposito inercia

1000l Fuente: Generador de Precios de CYPE (<https://generadordeprecios.info/>)

Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
<b>1 Materiales</b>					
mt38csg060p	Ud	Acumulador de acero vitrificado, de suelo, 1000 l, 800 mm de diámetro y 2200 mm de altura, forro acolchado con cubierta posterior, aislamiento de poliuretano inyectado libre de CFC y protección contra corrosión mediante ánodo de magnesio.	1,000	1.464,45	1.464,45
mt37sve010e	Ud	Válvula de esfera de latón niquelado para rosca de 1 1/4".	4,000	16,78	67,12
mt38www011	Ud	Material auxiliar para instalaciones de A.C.S.	1,000	1,45	1,45
<b>Subtotal materiales:</b>					<b>1.533,02</b>
<b>2 Mano de obra</b>					
mo004	h	Oficial 1º calefactor.	1,500	23,74	35,61
mo103	h	Ayudante calefactor.	1,500	21,90	32,85
<b>Subtotal mano de obra:</b>					<b>68,46</b>
<b>3 Costes directos complementarios</b>					
	%	Costes directos complementarios	2,000	1.601,48	32,03
Coste de mantenimiento decenal: 343,04€ en los primeros 10 años.			<b>Costes directos (1+2+3):</b>		<b>1.633,51</b>

#### Depósito de inercia de 2000 l:

Tabla 98 Precios deposito inercia 2000l

Fuente: Generador de Precios de CYPE (<https://generadordeprecios.info/>)

Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
<b>1 Materiales</b>					
mt38csg060w	Ud	Acumulador de acero vitrificado, de suelo, 2000 l, 1400 mm de diámetro y 2300 mm de altura, forro acolchado con cubierta posterior, aislamiento de poliuretano inyectado libre de CFC y protección contra corrosión mediante ánodo de magnesio.	1,000	3.685,50	3.685,50
mt37sve010e	Ud	Válvula de esfera de latón niquelado para rosca de 1 1/4".	4,000	16,78	67,12
mt38www011	Ud	Material auxiliar para instalaciones de A.C.S.	1,000	1,45	1,45
<b>Subtotal materiales:</b>					<b>3.754,07</b>
<b>2 Mano de obra</b>					
mo004	h	Oficial 1º calefactor.	2,100	23,74	49,85
mo103	h	Ayudante calefactor.	2,100	21,90	45,99
<b>Subtotal mano de obra:</b>					<b>95,84</b>
<b>3 Costes directos complementarios</b>					
	%	Costes directos complementarios	2,000	3.849,91	77,00
Coste de mantenimiento decenal: 824,65€ en los primeros 10 años.			<b>Costes directos (1+2+3):</b>		<b>3.926,91</b>

## 1. Depósito de inercia de 3000 l:

Tabla 99 Precios deposito inercia 3000l

Fuente: Generador de Precios de CYPE (<https://generadordeprecios.info/>)

Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
<b>1 Materiales</b>					
mt38csg060z	Ud	Acumulador de acero vitrificado, de suelo, 3000 l, 1700 mm de diámetro y 2350 mm de altura, forro acolchado con cubierta posterior, aislamiento de poliuretano inyectado libre de CFC y protección contra corrosión mediante ánodo de magnesio.	1,000	4.678,05	4.678,05
mt37sve010e	Ud	Válvula de esfera de latón niquelado para rosca de 1 1/4".	4,000	16,78	67,12
mt38www011	Ud	Material auxiliar para instalaciones de A.C.S.	1,000	1,45	1,45
<b>Subtotal materiales:</b>					<b>4.746,62</b>
<b>2 Mano de obra</b>					
mo004	h	Oficial 1º calefactor.	2,500	23,74	59,35
mo103	h	Ayudante calefactor.	2,500	21,90	54,75
<b>Subtotal mano de obra:</b>					<b>114,10</b>
<b>3 Costes directos complementarios</b>					
% Costes directos complementarios			2,000	4.860,72	97,21
Coste de mantenimiento decenal: 1.041,17€ en los primeros 10 años.			<b>Costes directos (1+2+3):</b>		<b>4.957,93</b>

## 2. Depósito de inercia de 4000 l:

Tabla 100 Precios deposito inercia 4000l

Fuente: Generador de Precios de CYPE (<https://generadordeprecios.info/>)

Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
<b>1 Materiales</b>					
mt38csg060B	Ud	Acumulador de acero vitrificado, de suelo, 4000 l, 1950 mm de diámetro y 2350 mm de altura, forro acolchado con cubierta posterior, aislamiento de poliuretano inyectado libre de CFC y protección contra corrosión mediante ánodo de magnesio.	1,000	5.951,40	5.951,40
mt37sve010e	Ud	Válvula de esfera de latón niquelado para rosca de 1 1/4".	4,000	16,78	67,12
mt38www011	Ud	Material auxiliar para instalaciones de A.C.S.	1,000	1,45	1,45
<b>Subtotal materiales:</b>					<b>6.019,97</b>
<b>2 Mano de obra</b>					
mo004	h	Oficial 1º calefactor.	2,750	23,74	65,29
mo103	h	Ayudante calefactor.	2,750	21,90	60,23
<b>Subtotal mano de obra:</b>					<b>125,52</b>
<b>3 Costes directos complementarios</b>					
% Costes directos complementarios			2,000	6.145,49	122,91
Coste de mantenimiento decenal: 1.316,36€ en los primeros 10 años.			<b>Costes directos (1+2+3):</b>		<b>6.268,40</b>

Tabla 101. Resumen Final de Precios Estimados

Depósito de Inercia (litros)	Precio Total Estimado (€)
1000 l	1.633,51
2000 l	3.926,91
3000 l	4.957,93
4000 l	6.268,40

## 4. Vasos de expansión

A continuación, se detallan los costes asociados a la instalación de **vasos de expansión** en sistemas de calefacción, extraídos del **Generador de Precios de CYPE**. Las partidas incluyen el precio unitario de los materiales, la mano de obra necesaria y los costes directos complementarios, proporcionando así una estimación realista y actualizada del coste total de instalación de este componente.

## Vaso de expansión de 200 l:

Tabla 102 Precios vaso expansión 200l

Fuente: Generador de Precios de CYPE (<https://generadordeprecios.info/>)

Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
<b>1 Materiales</b>					
mt38vex010p	Ud	Vaso de expansión, capacidad 200 l, de 1075 mm de altura y 550 mm de diámetro, con rosca de 1 1/4" de diámetro y 10 bar de presión.	1,000	420,01	420,01
mt42www040	Ud	Manómetro con baño de glicerina y diámetro de esfera de 100 mm, con toma vertical, para montaje roscado de 1/2", escala de presión de 0 a 5 bar.	1,000	43,29	43,29
<b>Subtotal materiales:</b>					<b>463,30</b>
<b>2 Mano de obra</b>					
mo004	h	Oficial 1º calefactor.	1,150	23,74	27,30
mo103	h	Ayudante calefactor.	1,150	21,90	25,19
<b>Subtotal mano de obra:</b>					<b>52,49</b>
<b>3 Costes directos complementarios</b>					
	%	Costes directos complementarios	2,000	515,79	10,32
Coste de mantenimiento decenal: 89,44€ en los primeros 10 años.			<b>Costes directos (1+2+3):</b>		<b>526,11</b>

## Vaso de expansión de 300 l:

Tabla 103 Precios vaso expansión 300l

Fuente: Generador de Precios de CYPE (<https://generadordeprecios.info/>)

Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
<b>1 Materiales</b>					
mt38vex010s	Ud	Vaso de expansión, capacidad 300 l, de 1980 mm de altura y 485 mm de diámetro, con rosca de 1 1/2" de diámetro y 10 bar de presión.	1,000	532,53	532,53
mt42www040	Ud	Manómetro con baño de glicerina y diámetro de esfera de 100 mm, con toma vertical, para montaje roscado de 1/2", escala de presión de 0 a 5 bar.	1,000	43,29	43,29
<b>Subtotal materiales:</b>					<b>575,82</b>
<b>2 Mano de obra</b>					
mo004	h	Oficial 1º calefactor.	1,250	23,74	29,68
mo103	h	Ayudante calefactor.	1,250	21,90	27,38
<b>Subtotal mano de obra:</b>					<b>57,06</b>
<b>3 Costes directos complementarios</b>					
	%	Costes directos complementarios	2,000	632,88	12,66
Coste de mantenimiento decenal: 109,74€ en los primeros 10 años.			<b>Costes directos (1+2+3):</b>		<b>645,54</b>

## Vaso de expansión de 400 l:

Tabla 104 Precios vaso expansión 400l

Fuente: Generador de Precios de CYPE (<https://generadordeprecios.info/>)

Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
<b>1 Materiales</b>					
mt38vex010u	Ud	Vaso de expansión, capacidad 400 l, de 1980 mm de altura y 485 mm de diámetro, con rosca de 1 1/2" de diámetro y 10 bar de presión.	1,000	582,00	582,00
mt42www040	Ud	Manómetro con baño de glicerina y diámetro de esfera de 100 mm, con toma vertical, para montaje roscado de 1/2", escala de presión de 0 a 5 bar.	1,000	43,29	43,29
<b>Subtotal materiales:</b>					<b>625,29</b>
<b>2 Mano de obra</b>					
mo004	h	Oficial 1º calefactor.	1,250	23,74	29,68
mo103	h	Ayudante calefactor.	1,250	21,90	27,38
<b>Subtotal mano de obra:</b>					<b>57,06</b>
<b>3 Costes directos complementarios</b>					
	%	Costes directos complementarios	2,000	682,35	13,65
Coste de mantenimiento decenal: 118,32€ en los primeros 10 años.			<b>Costes directos (1+2+3):</b>		<b>696,00</b>

## Vaso de expansión de 500 l:

Tabla 105 Precios vaso expansión 500l

Fuente: *Generador de Precios de CYPE* (<https://generadordeprecios.info/>)

Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio	
				unitario	Importe
<b>1 Materiales</b>					
mt38vex010v	Ud	Vaso de expansión, capacidad 500 l, de 2055 mm de altura y 600 mm de diámetro, con rosca de 1 1/2" de diámetro y 10 bar de presión.	1,000	747,87	747,87
mt42www040	Ud	Manómetro con baño de glicerina y diámetro de esfera de 100 mm, con toma vertical, para montaje roscado de 1/2", escala de presión de 0 a 5 bar.	1,000	43,29	43,29
<b>Subtotal materiales:</b>					<b>791,16</b>
<b>2 Mano de obra</b>					
mo004	h	Oficial 1º calefactor.	1,350	23,74	32,05
mo103	h	Ayudante calefactor.	1,350	21,90	29,57
<b>Subtotal mano de obra:</b>					<b>61,62</b>
<b>3 Costes directos complementarios</b>					
	%	Costes directos complementarios	2,000	852,78	17,06
Coste de mantenimiento decenal: 147,87€ en los primeros 10 años.			<b>Costes directos (1+2+3): 869,84</b>		

## Vaso de expansión de 600 l:

Tabla 106 . Precios vaso expansión 600

Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio	
				unitario	Importe
<b>1 Materiales</b>					
mt38vex010w	Ud	Vaso de expansión, capacidad 600 l, de 2055 mm de altura y 600 mm de diámetro, con rosca de 1 1/2" de diámetro y 10 bar de presión.	1,000	989,40	989,40
mt42www040	Ud	Manómetro con baño de glicerina y diámetro de esfera de 100 mm, con toma vertical, para montaje roscado de 1/2", escala de presión de 0 a 5 bar.	1,000	43,29	43,29
<b>Subtotal materiales:</b>					<b>1.032,69</b>
<b>2 Mano de obra</b>					
mo004	h	Oficial 1º calefactor.	1,350	23,74	32,05
mo103	h	Ayudante calefactor.	1,350	21,90	29,57
<b>Subtotal mano de obra:</b>					<b>61,62</b>
<b>3 Costes directos complementarios</b>					
	%	Costes directos complementarios	2,000	1.094,31	21,89
Coste de mantenimiento decenal: 189,75€ en los primeros 10 años.			<b>Costes directos (1+2+3): 1.116,20</b>		

Tabla 107. Tabla Resumen de Precios Estimados:

Vaso de Expansión (litros)	Precio Total Estimado
200 l	526,11 €
300 l	645,54 €
400 l	696,00 €
500 l	869,84 €
600 l	1.116,20 €

## 5. Intercambiadores de placas:

Se presenta a continuación una tabla con los costes estimados para la instalación de **intercambiadores de placas**, componentes clave en las estaciones de intercambio térmico. Los datos han sido obtenidos del **Generador de Precios de CYPE** e incluyen tanto los precios unitarios de los materiales como la mano de obra asociada y los costes directos complementarios.

## Intercambiador de placas 40 kW:

Tabla 108 Precios intercambiador de 40 kW

Fuente: *Generador de Precios de CYPE* (<https://generadordeprecios.info/>)

Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio	
				unitario	Importe
<b>1 Materiales</b>					
mt38csg310o	Ud	Intercambiador de placas de acero inoxidable AISI 316, potencia 40 kW, presión máxima de trabajo 6 bar y temperatura máxima de 100°C.	1,000	89,00	89,00
mt37sve010d	Ud	Válvula de esfera de latón niquelado para roscar de 1".	2,000	12,15	24,30
mt37sve010e	Ud	Válvula de esfera de latón niquelado para roscar de 1 1/4".	2,000	16,78	33,56
mt42www040	Ud	Manómetro con baño de glicerina y diámetro de esfera de 100 mm, con toma vertical, para montaje roscado de 1/2", escala de presión de 0 a 5 bar.	4,000	43,29	173,16
mt42www050	Ud	Termómetro bimetálico, diámetro de esfera de 100 mm, con toma vertical, con vaina de 1/2", escala de temperatura de 0 a 120°C.	4,000	54,70	218,80
mt38www011	Ud	Material auxiliar para instalaciones de A.C.S.	1,000	1,45	1,45
				<b>Subtotal materiales:</b>	<b>540,27</b>
<b>2 Mano de obra</b>					
mo004	h	Oficial 1º calefactor.	1,200	23,74	28,49
mo103	h	Ayudante calefactor.	1,200	21,90	26,28
				<b>Subtotal mano de obra:</b>	<b>54,77</b>
<b>3 Costes directos complementarios</b>					
% Costes directos complementarios			2,000	595,04	11,90
Coste de mantenimiento decenal: 127,46€ en los primeros 10 años.			<b>Costes directos (1+2+3): 606,94</b>		

## 1. Intercambiador de placas 60 kW:

Tabla 109 Precios intercambiador de 60 kW

Fuente: *Generador de Precios de CYPE* (<https://generadordeprecios.info/>)

Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio	
				unitario	Importe
<b>1 Materiales</b>					
mt38csg310w	Ud	Intercambiador de placas de acero inoxidable AISI 316, potencia 62 kW, presión máxima de trabajo 6 bar y temperatura máxima de 100°C.	1,000	140,00	140,00
mt37sve010d	Ud	Válvula de esfera de latón niquelado para roscar de 1".	2,000	12,15	24,30
mt37sve010e	Ud	Válvula de esfera de latón niquelado para roscar de 1 1/4".	2,000	16,78	33,56
mt42www040	Ud	Manómetro con baño de glicerina y diámetro de esfera de 100 mm, con toma vertical, para montaje roscado de 1/2", escala de presión de 0 a 5 bar.	4,000	43,29	173,16
mt42www050	Ud	Termómetro bimetálico, diámetro de esfera de 100 mm, con toma vertical, con vaina de 1/2", escala de temperatura de 0 a 120°C.	4,000	54,70	218,80
mt38www011	Ud	Material auxiliar para instalaciones de A.C.S.	1,000	1,45	1,45
				<b>Subtotal materiales:</b>	<b>591,27</b>
<b>2 Mano de obra</b>					
mo004	h	Oficial 1º calefactor.	1,300	23,74	30,86
mo103	h	Ayudante calefactor.	1,300	21,90	28,47
				<b>Subtotal mano de obra:</b>	<b>59,33</b>
<b>3 Costes directos complementarios</b>					
% Costes directos complementarios			2,000	650,60	13,01
Coste de mantenimiento decenal: 139,36€ en los primeros 10 años.			<b>Costes directos (1+2+3): 663,61</b>		

## 2. Intercambiador de placas 80 kW:

Tabla 110 Precios intercambiador de 80 kW

Fuente: *Generador de Precios de CYPE* (<https://generadordeprecios.info/>)

Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio	
				unitario	Importe
<b>1 Materiales</b>					
mt38csg310B	Ud	Intercambiador de placas de acero inoxidable AISI 316, potencia 86 kW, presión máxima de trabajo 6 bar y temperatura máxima de 100°C.	1,000	350,00	350,00
mt37sve010d	Ud	Válvula de esfera de latón niquelado para roscar de 1".	2,000	12,15	24,30
mt37sve010e	Ud	Válvula de esfera de latón niquelado para roscar de 1 1/4".	2,000	16,78	33,56
mt42www040	Ud	Manómetro con baño de glicerina y diámetro de esfera de 100 mm, con toma vertical, para montaje roscado de 1/2", escala de presión de 0 a 5 bar.	4,000	43,29	173,16
mt42www050	Ud	Termómetro bimetálico, diámetro de esfera de 100 mm, con toma vertical, con vaina de 1/2", escala de temperatura de 0 a 120°C.	4,000	54,70	218,80
mt38www011	Ud	Material auxiliar para instalaciones de A.C.S.	1,000	1,45	1,45
				<b>Subtotal materiales:</b>	<b>801,27</b>
<b>2 Mano de obra</b>					
mo004	h	Oficial 1º calefactor.	1,300	23,74	30,86
mo103	h	Ayudante calefactor.	1,300	21,90	28,47
				<b>Subtotal mano de obra:</b>	<b>59,33</b>
<b>3 Costes directos complementarios</b>					
% Costes directos complementarios			2,000	860,60	17,21
Coste de mantenimiento decenal: 184,34€ en los primeros 10 años.			<b>Costes directos (1+2+3): 877,81</b>		

Tabla 111 Precios intercambiador de 100 kW

Fuente: *Generador de Precios de CYPE* (<https://generadordeprecios.info/>)

### 3. Intercambiador de placas 100 kW:

Tabla 112 Precios intercambiador de 100 kW

Fuente: Generador de Precios de CYPE (<https://generadordeprecios.info/>)

Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
<b>1 Materiales</b>					
mt38csg310E	Ud	Intercambiador de placas de acero inoxidable AISI 316, potencia 100 kW, presión máxima de trabajo 6 bar y temperatura máxima de 100°C.	1,000	600,00	600,00
mt37sve010d	Ud	Válvula de esfera de latón niquelado para roscar de 1".	2,000	12,15	24,30
mt37sve010e	Ud	Válvula de esfera de latón niquelado para roscar de 1 1/4".	2,000	16,78	33,56
mt42www040	Ud	Manómetro con baño de glicerina y diámetro de esfera de 100 mm, con toma vertical, para montaje roscado de 1/2", escala de presión de 0 a 5 bar.	4,000	43,29	173,16
mt42www050	Ud	Termómetro bimetálico, diámetro de esfera de 100 mm, con toma vertical, con vaina de 1/2", escala de temperatura de 0 a 120°C.	4,000	54,70	218,80
mt38www011	Ud	Material auxiliar para instalaciones de A.C.S.	1,000	1,45	1,45
<b>Subtotal materiales:</b>					<b>1.051,27</b>
<b>2 Mano de obra</b>					
mo004	h	Oficial 1º calefactor.	1,400	23,74	33,24
mo103	h	Ayudante calefactor.	1,400	21,90	30,66
<b>Subtotal mano de obra:</b>					<b>63,90</b>
<b>3 Costes directos complementarios</b>					
%	Costes directos complementarios		2,000	1.115,17	22,30
Coste de mantenimiento decenal: 238,87€ en los primeros 10 años.			<b>Costes directos (1+2+3): 1.137,47</b>		

### 4. Intercambiador de placas 150 kW:

Tabla 113 Precios intercambiador de 150 kW

Fuente: Generador de Precios de CYPE (<https://generadordeprecios.info/>)

Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
<b>1 Materiales</b>					
mt38csg310J	Ud	Intercambiador de placas de acero inoxidable AISI 316, potencia 150 kW, presión máxima de trabajo 6 bar y temperatura máxima de 100°C.	1,000	1.150,00	1.150,00
mt37sve010d	Ud	Válvula de esfera de latón niquelado para roscar de 1".	2,000	12,15	24,30
mt37sve010e	Ud	Válvula de esfera de latón niquelado para roscar de 1 1/4".	2,000	16,78	33,56
mt42www040	Ud	Manómetro con baño de glicerina y diámetro de esfera de 100 mm, con toma vertical, para montaje roscado de 1/2", escala de presión de 0 a 5 bar.	4,000	43,29	173,16
mt42www050	Ud	Termómetro bimetálico, diámetro de esfera de 100 mm, con toma vertical, con vaina de 1/2", escala de temperatura de 0 a 120°C.	4,000	54,70	218,80
mt38www011	Ud	Material auxiliar para instalaciones de A.C.S.	1,000	1,45	1,45
<b>Subtotal materiales:</b>					<b>1.601,27</b>
<b>2 Mano de obra</b>					
mo004	h	Oficial 1º calefactor.	1,500	23,74	35,61
mo103	h	Ayudante calefactor.	1,500	21,90	32,85
<b>Subtotal mano de obra:</b>					<b>68,46</b>
<b>3 Costes directos complementarios</b>					
%	Costes directos complementarios		2,000	1.669,73	33,39
Coste de mantenimiento decenal: 357,66€ en los primeros 10 años.			<b>Costes directos (1+2+3): 1.703,12</b>		

A continuación, se presentan las estimaciones de precios para intercambiadores de placas con capacidades de 200, 250, 300, 350, 400, 450 y 500 kW, extrapoladas a partir de los precios proporcionados para capacidades menores:

- **200 kW:** 2.268,77 €
- **250 kW:** 2.834,42 €
- **300 kW:** 3.400,07 €
- **350 kW:** 3.965,72 €
- **400 kW:** 4.531,37 €

- **450 kW:** 5.097,02 €

- **500 kW:** 5.662,67 €

Estas estimaciones se basan en una extrapolación lineal utilizando los precios proporcionados para capacidades de 40 a 200 kW.

## 6. Chimenea:

A continuación, se recoge una tabla con los precios de referencia para sistemas de **chimeneas metálicas aisladas**, necesarias para la evacuación de humos en instalaciones térmicas de biomasa. Los datos han sido extraídos del **Generador de Precios de CYPE**, e incluyen tanto el suministro como la instalación de los tramos de chimenea, anclajes y elementos auxiliares. Esta información es útil para estimar los costes de esta parte esencial del sistema de evacuación en proyectos de redes de calor.

### Chimenea de 200mm

Tabla 114 Precios chimenea de 200mm

Fuente: Generador de Precios de CYPE (<https://generadordeprecios.info/>)

Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
<b>1 Materiales</b>					
mt20din011z	Ud	Material auxiliar para montaje y sujeción a la obra de los tubos de doble pared con aislamiento, modelo DP 304/304 "DINAK", de 200 mm de diámetro interior.	1,000	12,78	12,78
mt20din010zm	m	Tubo de doble pared con aislamiento, modelo DP 304/304 "DINAK", de 200 mm de diámetro interior, compuesto por pared interior de acero inoxidable AISI 304 y pared exterior de acero inoxidable AISI 304, con aislamiento de lana de roca entre paredes, de 30 mm de espesor y 100 kg/m <sup>3</sup> de densidad, temperatura máxima de 600°C, presión de trabajo de hasta 40 Pa, según UNE-EN 1856-1, con el precio incrementado el 60% en concepto de accesorios, piezas especiales y módulos finales.	1,000	340,93	340,93
<b>Subtotal materiales:</b>					<b>353,71</b>
<b>2 Mano de obra</b>					
mo004	h	Oficial 1ª calefactor.	0,430	23,74	10,21
mo103	h	Ayudante calefactor.	0,430	21,90	9,42
<b>Subtotal mano de obra:</b>					<b>19,63</b>
<b>3 Costes directos complementarios</b>					
	%	Costes directos complementarios	2,000	373,34	7,47
Coste de mantenimiento decenal: 95,20€ en los primeros 10 años.					<b>Costes directos (1+2+3):</b> 380,81

### Chimenea de 250mm

Tabla 115 Precios chimenea de 250mm

Fuente: Generador de Precios de CYPE (<https://generadordeprecios.info/>)

Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
<b>1 Materiales</b>					
mt20din011A	Ud	Material auxiliar para montaje y sujeción a la obra de los tubos de doble pared con aislamiento, modelo DP 304/304 "DINAK", de 250 mm de diámetro interior.	1,000	16,34	16,34
mt20din010Am	m	Tubo de doble pared con aislamiento, modelo DP 304/304 "DINAK", de 250 mm de diámetro interior, compuesto por pared interior de acero inoxidable AISI 304 y pared exterior de acero inoxidable AISI 304, con aislamiento de lana de roca entre paredes, de 30 mm de espesor y 100 kg/m <sup>3</sup> de densidad, temperatura máxima de 600°C, presión de trabajo de hasta 40 Pa, según UNE-EN 1856-1, con el precio incrementado el 60% en concepto de accesorios, piezas especiales y módulos finales.	1,000	435,86	435,86
<b>Subtotal materiales:</b>					<b>452,20</b>
<b>2 Mano de obra</b>					
mo004	h	Oficial 1ª calefactor.	0,450	23,74	10,68
mo103	h	Ayudante calefactor.	0,450	21,90	9,86
<b>Subtotal mano de obra:</b>					<b>20,54</b>
<b>3 Costes directos complementarios</b>					
	%	Costes directos complementarios	2,000	472,74	9,45
Coste de mantenimiento decenal: 120,55€ en los primeros 10 años.					<b>Costes directos (1+2+3):</b> 482,19

## Chimenea de 300mm

Tabla 116 Precios chimenea de 300mm

Fuente: Generador de Precios de CYPE (<https://generadordeprecios.info/>)

Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
<b>1 Materiales</b>					
mt20din011B	Ud	Material auxiliar para montaje y sujeción a la obra de los tubos de doble pared con aislamiento, modelo DP 304/304 "DINAK", de 300 mm de diámetro interior.	1,000	19,55	19,55
mt20din010Bm	m	Tubo de doble pared con aislamiento, modelo DP 304/304 "DINAK", de 300 mm de diámetro interior, compuesto por pared interior de acero inoxidable AISI 304 y pared exterior de acero inoxidable AISI 304, con aislamiento de lana de roca entre paredes, de 30 mm de espesor y 100 kg/m <sup>3</sup> de densidad, temperatura máxima de 600°C, presión de trabajo de hasta 40 Pa, según UNE-EN 1856-1, con el precio incrementado el 60% en concepto de accesorios, piezas especiales y módulos finales.	1,000	521,44	521,44
<b>Subtotal materiales:</b>					<b>540,99</b>
<b>2 Mano de obra</b>					
mo004	h	Oficial 1º calefactor.	0,450	23,74	10,68
mo103	h	Ayudante calefactor.	0,450	21,90	9,86
<b>Subtotal mano de obra:</b>					<b>20,54</b>
<b>3 Costes directos complementarios</b>					
	%	Costes directos complementarios	2,000	561,53	11,23
Coste de mantenimiento decenal: 143,19€ en los primeros 10 años.			<b>Costes directos (1+2+3):</b> 572,76		

## 7. Cálculo de la distribución de tuberías según la potencia de la caldera

Para determinar la cantidad y tipo de tubería a instalar en la red de distribución térmica, se han definido dos escenarios en función de la potencia de la caldera.

### 1. Escenario 1: Potencia de la caldera $\leq 300$ kW

En este caso, la distribución de tuberías se establece en los siguientes porcentajes:

- 40% de tubería de 40 mm
- 20% de tubería de 50 mm
- 40% de tubería de 60 mm

Para calcular la cantidad necesaria de cada tipo de tubería, se aplica la siguiente fórmula:

$$L_{40\text{mm}} = L_{\text{total}} \times 0.40$$

$$L_{50\text{mm}} = L_{\text{total}} \times 0.20$$

$$L_{60\text{mm}} = L_{\text{total}} \times 0.40$$

Donde:

- $L_{\text{total}}$  es la longitud total de tuberías necesaria en el proyecto (m).
- $L_{40\text{mm}}$ ,  $L_{50\text{mm}}$ ,  $L_{60\text{mm}}$  son las longitudes específicas de cada tipo de tubería.

### 2. Escenario 2: Potencia de la caldera $> 300 < 450$ kW

Cuando la potencia térmica supera los 300 kW, la distribución de tuberías cambia para adaptarse a los mayores requerimientos hidráulicos del sistema. Se establece la siguiente distribución:

- 20% de tubería de 50 mm
- 40% de tubería de 63 mm
- 40% de tubería de 75 mm

Las fórmulas utilizadas para el cálculo de la longitud de cada tubería son:

$$L_{50\text{mm}} = L_{\text{total}} \times 0.20$$

$$L_{63\text{mm}} = L_{\text{total}} \times 0.40$$

$$L_{75\text{mm}} = L_{\text{total}} \times 0.40$$

### 3. Escenario 3 : Potencia de la caldera >450kW

Cuando la potencia térmica supera los 450 kW, la distribución de tuberías cambia para adaptarse a los mayores requerimientos hidráulicos del sistema. Se establece la siguiente distribución:

- 20% de tubería de 50 mm
- 30% de tubería de 63 mm
- 30% de tubería de 75 mm
- 20% de tubería de 90 mm

Las fórmulas utilizadas para el cálculo de la longitud de cada tubería son:

$$L_{50\text{mm}} = L_{\text{total}} \times 0.20$$

$$L_{63\text{mm}} = L_{\text{total}} \times 0.30$$

$$L_{75\text{mm}} = L_{\text{total}} \times 2 \times 0.30$$

$$L_{90\text{mm}} = L_{\text{total}} \times 2 \times 0.20$$

En las redes de calor, las tuberías de mayor diámetro (75 y 90 mm) son conducciones individuales para los circuitos de ida y retorno, lo que implica duplicar la cantidad de tuberías necesarias. En cambio, en diámetros menores, se utilizan tuberías preaisladas de doble conducción que integran ambos circuitos en una sola unidad, reduciendo así la cantidad de material y facilitando la instalación.

### 3. Aplicación al presupuesto

Para determinar el costo total de las tuberías, se considera el precio unitario por metro lineal ( $P_x$ ) de cada tipo de tubería:

Para calderas  $\leq 300$  kW:

$$C_{\text{tuberías}} = (L_{40\text{mm}} \times P_{40\text{mm}}) + (L_{50\text{mm}} \times P_{50\text{mm}}) + (L_{60\text{mm}} \times P_{60\text{mm}})$$

Para calderas  $> 300$  kW:

$$C_{\text{tuberías}} = (L_{50\text{mm}} \times P_{50\text{mm}}) + (L_{63\text{mm}} \times P_{63\text{mm}}) + (L_{75\text{mm}} \times P_{75\text{mm}})$$

Donde:

- C<sub>tuberías</sub> es el costo total de la instalación de tuberías.
- P<sub>40mm</sub>, P<sub>50mm</sub>, P<sub>60mm</sub>, P<sub>63mm</sub>, P<sub>75mm</sub>, L<sub>90mm</sub> son los precios unitarios de cada tipo de tubería.

## 8. Cálculo de precios de tuberías según licitación TSA000075212

Los precios unitarios de tuberías incluidos en este apartado han sido obtenidos a partir de la licitación pública **TSA000075212**, relativa a la ejecución de redes de calor con biomasa. Esta licitación proporciona precios reales adjudicados en el mercado, lo que permite obtener una estimación más ajustada a la realidad para tramos de conducción en redes térmicas. Se consideran diferentes diámetros de tubería preaislada, incluyendo únicamente el suministro.

Tabla 117 Precios licitación de tuberías

Fuente: Página de contratación del estado TSA000075212

Lote 1: Suministro de tuberías preaisladas y accesorios para red de calor en Alosaina y Ojén				INSTALACIONES NEGRATIN		FONTIA SUMINISTROS		CECILIO ALONSO		
Nº lds.	Ud.	Descripción	Precio unit. (IVA no incluido)	Importe (IVA no incluido)	Precio unit. (IVA no incluido)	Importe (IVA no incluido)	Precio unit. (IVA no incluido)	Importe (IVA no incluido)	Precio unit. (IVA no incluido)	Importe (IVA no incluido)
<b>Tuberías</b>										
660	m	Suministro de tubería flexible preaislada para instalaciones de calefacción, con un solo tubo interior de 75 mm, en PEX-a SDR11 con barrera antiodifusión de oxígeno y temperatura desde -10° hasta 95°. Presión hasta 6 bar. Diámetro exterior de unos 175-200 mm. Incluso aislamiento térmico de espuma de polietileno reticulado PEX o PUR y funda exterior corrugada con doble pared de polietileno de alta densidad. 160m a suministrar en Ojén y 500 m en Alosaina	206,69	136.415,40	77,41	51.090,60	58,78	38.794,80	63,24	41.738,40
400	m	Suministro de tubería flexible preaislada para instalaciones de calefacción, con un solo tubo interior de 90 mm, en PEX-a SDR11 con barrera antiodifusión de oxígeno y temperatura desde -10° hasta 95°. Presión hasta 6 bar. Diámetro exterior de unos 175-200 mm. Incluso aislamiento térmico de espuma de polietileno reticulado PEX o PUR y funda exterior corrugada con doble pared de polietileno de alta densidad.	206,69	82.676,00	85,46	34.184,00	64,68	25.872,00	71,92	28.768,00
<b>Suministro en Alosaina</b>										
300	m	Suministro de tubería flexible preaislada para instalaciones de calefacción, con doble tubo interior de 63 mm, en PEX-a SDR11 con barrera antiodifusión de oxígeno y temperatura desde -10° hasta 95°. Presión hasta 6 bar. Diámetro exterior de unos 200 mm. Incluso aislamiento térmico multicapa de espuma de polietileno reticulado PEX o PUR y funda exterior corrugada con doble pared de polietileno de alta densidad. 150m a suministrar en Ojén y 150m en Alosaina	208,69	62.607,00	78,30	23.490,00	59,35	17.805,00	71,22	21.366,00
300	m	Suministro de tubería flexible preaislada para instalaciones de calefacción, con doble tubo interior de 50 mm, en PEX-a SDR11 con barrera antiodifusión de oxígeno y temperatura desde -10° hasta 95°. Presión hasta 6 bar. Diámetro exterior de unos 160-175mm. Incluso aislamiento térmico multicapa de espuma de polietileno reticulado PEX o PUR y funda exterior corrugada con doble pared de polietileno de alta densidad. 130 m a suministrar en Ojén y 250 m en Alosaina	199,31	75.737,80	74,72	28.393,60	56,69	21.542,20	52,20	19.836,00

Tabla 118. Resumen de precios de tuberías en €

Descripción		Instalaciones Negratin	Fontia Suministros	Cecilio Alonso	Media
Tubería 75mm	de	77,41	58,78	63,24	66,48
Tubería 90mm	de	85,46	64,68	71,92	74,02
Tubería 63mm	de	78,30	59,35	71,22	69,62
Tubería 50mm	de	74,72	56,69	52,20	61,20
Tubería 40mm	de				
<b>Media Total</b>		<b>78,97</b>	<b>59,88</b>	<b>64,65</b>	<b>67,83</b>

Se añade un 30 % si el pedido de cada tamaño es menor a 200 m

## 9. Arquetas de conexión, instalación de accesorios y reposición de servicios afectados.

Según la experiencia en los proyectos de la sierra de las nieves se estima un 30% del costo de suministro e instalación de las tuberías como gastos en arquetas de conexión, instalación de accesorios y reposición de servicios afectados.

## 10. Instalación eléctrica:

- **Instalación principal de toda la sala de calderas:**

Tabla 119 Presupuesto para instalación eléctrica

Fuente: presupuesto solicitado a Elecnor.

Fecha:	24/04/2024	C.I.F.:	
Nº PRESUPUESTO	729/707/02/0004		
C:	C. Estacar, BD, 29110 Monda, Málaga	Domicilio Fiscal:	
Proyecto:	INSTALACIÓN ACOMETIDA ELÉCTRICA A SALA DE MÁQUINAS COLEGIO REMEDIOS ROJOS, MONDA (MÁLAGA).		

CÓDIGO	UD	CONCEPTO	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL
<b>CÓDIGO</b>	<b>UD</b>	<b>ELECTRICIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO</b>	<b>SUBTOTAL</b>
01.01	ud	<b>COMBINADO MAGNETOTERMICO + DIFERENCIAL CUADRO</b> Interruptor combinado de magnetotermico + diferencial de 4x32 A + 4x32 A 30 mA trifásico alojado en cuadro general del edificio. Incluye conexionado a las barras del cuadro, material auxiliar y cableado. Totalmente montado y conectado	1,00	267,36 €	267,36 €
01.02	ud	<b>LÍNEA L.H.5x6 MM2 BAJO CANALIZACIÓN VISTA TUBO H Ø32 MM</b> Manguera multipolar RZ1-K (AS), libre de halógenos, con conductor multifilar de cobre clase 5 (-K) de 6 mm <sup>2</sup> de sección, con aislamiento de compuesto termoplástico a base de poliolefina libre de halógenos con baja emisión de humos y gases corrosivos (Z1). Canalizada en superficie mediante tubería H.L.H. de 32 mm de diámetro desde cuadro principal en el interior del colegio a sala de máquinas. Totalmente montado y conectado.	1,00	756,99 €	756,99 €
01.03	ud	<b>CUADRO ELECTRICO SALA MÁQUINAS</b> Cuadro para sala máquinas formado por los siguientes componentes de protección (Marca Legrand o similar):  - Interruptor General de subcuadro magnetotermico de 4x25 A - Interruptor Diferencial General de 4X25 A 30 mA - Interruptor Diferencial General de 4X25 A 300 mA - Interruptor Magnetotermico 4x20 A - Interruptor Diferencial General de 2X25 A 30 mA - Relé 1BA Bomba CC1 - Relé 1BA Bomba distrito - Interruptor Magnetotermico 2x16 A (C1-Usos varios) - Interruptor Magnetotermico 2x16 A (C2-Centralita) - Interruptor Magnetotermico 2x10 A (C3-Circuito iluminación) - Interruptor Magnetotermico 2x10 A (C4-Circuito iluminación)  Todo ello en cuadro eléctrico de superficie de 36 elementos en 3 filas de 12 elementos por cada una. Totalmente conectado y probado.	1,00	859,63 €	859,63 €
01.04	ud	<b>PUNTO DE LUZ SIMPLE C/MECANISMO C-3</b> Instalación de punto de luz simple formado por conducto unipolar 450/750 V H07V-K de sección de 3x1,5 mm <sup>2</sup> , canalizado en superficie mediante tubería H.L.H. de 20 mm de diámetro. Incluye mecanismo de interruptor de superficie estanco, marca Legrand o similar.	1,00	261,69 €	261,69 €
01.05	ud	<b>PANTALLA LED ESTANCA 150 CM 35 W IP65</b> Luminaria, de 1 lámpara fluorescente LED de 35 W, con cuerpo de políster reforzado con fibra de vidrio; reflector interior de chapa de acero, acabado termoesmaltado, de color blanco; difusor de metacrilato; balasto magnético; protección IP65 y rendimiento mayor del 65%. Instalación en la superficie del techo superficial. Totalmente conectada.	2,00	57,99 €	115,97 €
01.06	ud	<b>PUNTO DE LUZ SIMPLE PARA EMERGENCIAS</b> Instalación de punto de luz simple formado por conducto unipolar 450/750 V H07V-K de sección de 3x1,5 mm <sup>2</sup> , canalizado en superficie mediante tubería H.L.H. de 20 mm de diámetro. Totalmente montado	1,00	75,85 €	75,85 €
01.07	ud	<b>LUMINARIA EMERGENCIA LED 135 LUM</b> Luminaria de emergencia, con tubo lineal LED, 6 W - G5, flujo luminoso 135 lúmenes de superficie, clase II, IP65, con baterías de Ni-Cd de alta temperatura, autonomía de 1 h, alimentación a 230 V, tiempo de carga 24 h. Instalación en superficie en zonas comunes. Incluso accesorios y elementos de fijación. Totalmente conectada.	1,00	48,00 €	48,00 €

01.08	ud	<b>CIRCUITO DE FUERZA USOS VARIOS</b> Instalación de circuito de fuerza basado en canalización de conducto unipolar 450/750 V H07V-K de sección de 3x2,5 mm <sup>2</sup> , canalizado en superficie mediante tubería H.L.H. de 20 mm de sección. Incluye mecanismo de 2 bases de enchufe Schuko de superficie estanco, marca Legrand o similar.	1,00	357,93 €	357,93 €
01.09	ud	<b>CIRCUITO DE ALIMENTACION CALDERA</b> Instalación de circuito de fuerza basado en canalización de manguera multipolar RZ1-K (AS), libre de halógenos, con conductor multifilar de cobre clase 5 (-K) 5G4, con aislamiento de compuesto termoplástico a base de poliolefina libre de halógenos con baja emisión de humos y gases corrosivos (Z1). Canalización en superficie mediante tubería H.L.H. de 25 mm de diámetro.	1,00	404,04 €	404,04 €
01.10	ud	<b>CONEXIONADO DE CENTRAL DE CONTROL HKM VELATORIO</b> Instalación de circuito de la central de control basado en canalización de conducto unipolar 450/750 V H07V-K de sección de 3x2,5 mm <sup>2</sup> , canalizado en superficie mediante tubería H.L.H. de 25 mm de sección.	1,00	573,59 €	573,59 €
01.11	ud	<b>CANALIZACIÓN DATOS CABLE BUS CALDERA-COLEGIO</b> Instalación de 2 mangueras de 2x2x0,5 apantallado canalizado bajo tubo corrugado L.H. de diámetro 20mm soterrado.	1,00	1.457,91 €	1.457,91 €
01.12	ud	<b>CONEXIÓN DATOS Sonda DE VELATORIO</b> Instalación cable de datos UTP CAT6 bajo canalización de tubo H.L.H. de 20mm de diámetro.	1,00	210,67 €	210,67 €
01.13	ud	<b>CONEXIÓN Sonda A VELATORIO FR35</b> Instalación de 2 mangueras de 2x2x0,5 apantallado canalizado bajo tubo H.	1,00	303,57 €	303,57 €
01.14	ud	<b>CONEXIONADO DESDE CALDERA A CENTRALITA DE VELATORIO</b> Instalación de 2 mangueras de 2x2x0,75 apantallado canalizado bajo tubo H.L.H. de 20mm de diámetro.	1,00	510,73 €	510,73 €
01.15	ud	<b>CIRCUITO DE Sonda DE TEMPERATURA EXTERIOR SALA</b> Instalación circuito para sonda de temperatura exterior para la caldera conectado con cable de datos UTP cat6 de dos hilos. Canalización en superficie mediante tubería H.L.H. de 20 mm de diámetro.	1,00	112,55 €	112,55 €
01.16	ud	<b>CIRCUITO DE Sonda DE TEMPERATURA INTERIOR</b> Instalación circuito para sonda de temperatura interior para el depósito de la caldera, conectado con cable de datos UTP cat6 de dos hilos. Canalización en superficie mediante tubería H.L.H. de 20 mm de diámetro.	2,00	112,55 €	225,10 €
01.17	ud	<b>CIRCUITO DE ALIMENTACIÓN DE BOMBA</b> Instalación circuito eléctrico para bomba formado por conducto unipolar 450/750 V H07V-K de sección de 3x2,5 mm <sup>2</sup> , canalizado en superficie mediante tubería H.L.H. de 20 mm de diámetro.	3,00	440,14 €	1.320,41 €
<b>COLEGIO</b>					
01.18	ud	<b>ACOMETIDA DE CUADRO GENERAL</b> Instalación acometida al cuadro del velatorio mediante canalización de manguera multipolar RZ1-K (AS) L.H. con conductor multifilar de cobre clase 5 (-K) 3G4 con aislamiento de compuesto termoplástico a base de poliolefina libre de halógenos con baja emisión de humos y gases corrosivos (Z1). Canalización en superficie mediante tubería H.L.H. de 25 mm de diámetro.	1,00	931,91 €	931,91 €
01.19	ud	<b>CUADRO ELECTRICO COLEGIO</b> Cuadro para el colegio formado por los siguientes componentes de protección (Marca Legrand o similar):  - Interruptor Diferencial General de 2X25 A 30 mA - Relé 16A - Interruptor Magnetotermico 2x16 A - Interruptor Magnetotermico 2x16 A (C2-Usos varios) - Interruptor Magnetotermico 2x10 A (C3-Circuito iluminación)  Todo ello en cuadro eléctrico de superficie de 18 elementos en 3 filas de 6 elementos por cada una. Totalmente conectado y probado.  También se instalará un punto de luz pequeño con aplique dentro del armario	1,00	550,95 €	550,95 €
01.20	ud	<b>CIRCUITO DE Sonda DE TEMPERATURA INTERIOR</b> Instalación circuito para sonda de temperatura interior para el depósito de la caldera, conectado con cable de datos UTP cat6 de dos hilos. Canalización en superficie mediante tubería H.L.H. de 20 mm de diámetro.	1,00	254,07 €	254,07 €

Solo la bomba de distrito

01.21	ud	<b>CIRCUITO DESDE CENTRAL A FR35 EN CABLE BUS 2X2X0,5</b> Instalación circuito cable bus 2x2x0,5 apantallado desde la central hasta FR35	1,00	215,69 €	215,69 €
01.22	ud	<b>ALIMENTACIÓN CENTRAL KKM COLEGIO</b> Instalación alimentación a la central KKM del colegio mediante canalización de manguera multipolar RZ1-K (AS) L.H. con conductor multifilar de cobre clase 5 (-K) 3G2,5 con aislamiento de compuesto termoplástico a base de poliolefina libre de halógenos con baja emisión de humos y gases corrosivos (Z1). Canalización en superficie mediante tubería H I H de 20 mm de diámetro	1,00	410,85 €	410,85 €
<b>TOTAL</b>				<b>10.225,47 €</b>	

- **Instalación subestaciones de intercambio**

Se añade un extra de 1700€ por cada subestación ya que se necesita conectar un subcuadro para la bomba, válvulas, control, etc.