

Trabajo Fin de Máster
Máster en Sistemas de Energía Térmica

Potencial de las instalaciones colectivas de
producción de calor y frío en edificios de viviendas
que cumplan los criterios de NZEB

Autor: Miguel Llerena Palomo

Tutor: José Luis Molina Félix

Co-tutora: MCarmen Guerrero Delgado

Dpto. Ingeniería Energética
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2020



Trabajo Fin de Máster
Máster en Sistemas de Energía Térmica

Potencial de las instalaciones colectivas de producción de calor y frío en edificios de viviendas que cumplan los criterios de NZEB

Autor:

Miguel Llerena Palomo

Tutor:

José Luis Molina Félix

Catedrático de Universidad

MCarmen Guerrero Delgado

Personal Docente e Investigador

Dpto. de Ingeniería Energética
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2020

Índice de Figuras	7
Índice de Tablas	10
Resumen	13
1 Introducción	14
1.1.- Antecedentes	14
1.2.- Objetivo	19
2 Metodología	21
2.1.- Base de datos de equipos generadores	22
2.1.1.- Equipos generadores	22
2.1.2.- Unidades terminales.....	25
2.2.- Definición de instalaciones	28
2.3.- Desarrollo de las leyes de costes	31
2.3.1.- Coste de los equipos generadores	31
2.3.2.- Coste de las Unidades Terminales.....	66
3 Aplicación del procedimiento	72
3.1.- Dimensionado de las instalaciones	72
3.1.1.- Equipos generadores de calor y frío.....	72
3.1.2.- Instalación solar térmica	73
4 Resultados	75
5 Conclusiones.....	81
Referencias	83
Anexo I.....	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Evolución del consumo de energía primaria (izqda.) y de energía per cápita (dcha.). Fuente: BP Statistical Review of World Energy (2019).....	14
Figura 1.2: Evolución de la temperatura media terrestre según diferentes escenarios. Fuente: <i>International Panel on Climate Change. Global Warming of 1.5 °C</i>	15
Figura 1.3: Impactos y riesgos del calentamiento global. Fuente: <i>International Panel on Climate Change. Global Warming of 1.5 °C</i>	16
Figura 1.4: Características de las trayectorias de emisiones globales. Fuente: <i>International Panel on Climate Change. Global Warming of 1.5 °C</i>	17
Figura 1.5: Requisitos de los edificios de consumo casi nulo en Europa. Fuente: <i>Buildings Performance Institute Europe. Nearly Zero Energy Buildings definitions across Europe</i>	18
Figura 1.6: Valores límite de consumo de energía primaria para uso residencial. Fuente: Código Técnico de la Edificación.....	19
Figura 1.7: Coste de diferentes alternativas estudiadas para un proyecto dado. Fuente: Elaboración propia.	19
Figura 1.8: Tipo de estimación y error porcentual recomendado. Fuente: A. Pikulik y H.E. Díaz. " <i>Cost estimating for major process equipment.</i> ".....	20
Figura 2.1: Esquema de desarrollo del trabajo. Fuente: Elaboración propia.	21
Figura 2.2: Caldera de biomasa con silo de 30 kW (izq.) y caldera de biomasa de 50 kW (dcha.). Fuente: Imagen de dominio público.....	22
Figura 2.3: Caldera a gas mural (izq.) y de pie (dcha.). Fuente: Imagen de dominio público.....	23
Figura 2.34 Ciclo de refrigeración. Fuente: Imagen de dominio público.....	23
Figura 2.5: Sistema Aire-agua (izq.) y Agua-aire (dcha.). Fuente: Imagen de dominio público.	24
Figura 2.6: Termo eléctrico. Fuente: Imagen de dominio público.	24
Figura 2.7: Captador plano para cubierta plana con acumulador incorporado (izq.) y captador plano para cubierta inclinada con acumulador independiente (dcha.). Fuente: Imagen de dominio público.....	25
Figura 2.8: Tipos de Fan-coil. Fuente: Imagen de dominio público.	26
Figura 2.9: Radiador de agua (izq.) y de aceite (dcha.). Fuente: Imagen de dominio público.	26
Figura 2.10: Ejemplos de Split. Fuente: Imagen de dominio público.	27
Figura 2.11: Ejemplos de Suelo radiante. Fuente: Imagen de dominio público.	27
Figura 2.12: Recta de ajuste de las calderas de condensación.	32
Figura 2.13: Distribución de costes estimados de las calderas de condensación.....	35
Figura 2.14: Recta de ajuste de las calderas de biomasa.	42
Figura 2.15: Distribución de costes estimados de las calderas de biomasa.	45
Figura 2.16: Recta de ajuste de las bombas de calor eléctricas para producción de frío.....	50
Figura 2.17: Distribución de costes estimados de las bombas de calor eléctricas para producción de frío.	52
Figura 2.18: Recta de ajuste de las bombas de calor eléctricas para producción de calor y frío.	53
Figura 2.19: Distribución de costes estimados de las bombas de calor eléctricas para producción	

de calor y frío.....	56
Figura 2.20: Recta de ajuste de las bombas de calor a gas colectivas.....	57
Figura 2.21: Distribución de costes estimados de las bombas de calor a gas colectivas.....	59
Figura 2.22: Recta de ajuste de las bombas de calor a gas individuales.....	60
Figura 3.1: Demandas punta de calefacción.....	72
Figura 3.2: Demandas punta de refrigeración.....	72
Figura 3.3: Demandas punta de ACS.....	73
Figura 3.4: Temperatura de reposición mínima.....	73
Figura 3.5: Datos referentes a la demanda de ACS.....	73
Figura 3.6: Potencias punta de ACS.....	74
Figura 3.7: Superficie de captación requerida para una cobertura del 50% y del 70%.....	74
Figura A.1: Instalación I1. Fuente: Elaboración propia.....	85
Figura A.2: Instalación I2. Fuente: Elaboración propia.....	86
Figura A.3: Instalación I3. Fuente: Elaboración propia.....	87
Figura A.4: Instalación I4. Fuente: Elaboración propia.....	88
Figura A.5: Instalación I5. Fuente: Elaboración propia.....	89
Figura A.6: Instalación I6. Fuente: Elaboración propia.....	90
Figura A.7: Instalación I7. Fuente: Elaboración propia.....	91
Figura A.8: Instalación I8. Fuente: Elaboración propia.....	92
Figura A.9: Instalación I9. Fuente: Elaboración propia.....	93
Figura A.10: Instalación I10. Fuente: Elaboración propia.....	94
Figura A.11: Instalación I11. Fuente: Elaboración propia.....	95
Figura A.12: Instalación I12. Fuente: Elaboración propia.....	96
Figura A.13: Instalación I13. Fuente: Elaboración propia.....	97
Figura A.14: Instalación I14. Fuente: Elaboración propia.....	98
Figura A.15: Instalación I15. Fuente: Elaboración propia.....	99
Figura A.16: Instalación C1. Fuente: Elaboración propia.....	100
Figura A.17: Instalación C2. Fuente: Elaboración propia.....	101
Figura A.18: Instalación C3. Fuente: Elaboración propia.....	102
Figura A.19: Instalación C4. Fuente: Elaboración propia.....	103
Figura A.20: Instalación C5. Fuente: Elaboración propia.....	104
Figura A.21: Instalación C6. Fuente: Elaboración propia.....	105
Figura A.22: Instalación C7. Fuente: Elaboración propia.....	106
Figura A.23: Instalación C8. Fuente: Elaboración propia.....	107
Figura A.24: Instalación C9. Fuente: Elaboración propia.....	108
Figura A.25: Instalación C10. Fuente: Elaboración propia.....	109
Figura A.26: Instalación C11. Fuente: Elaboración propia.....	110
Figura A.27: Instalación C12. Fuente: Elaboración propia.....	111

Figura A.28: Instalación C13. Fuente: Elaboración propia.....	112
Figura A.29: Instalación C14. Fuente: Elaboración propia.....	113
Figura A.30: Instalación C15. Fuente: Elaboración propia.....	114
Figura A.31: Instalación C16. Fuente: Elaboración propia.....	115
Figura A.32: Instalación C17. Fuente: Elaboración propia.....	116
Figura A.33: Instalación C18. Fuente: Elaboración propia.....	117
Figura A.34: Instalación C19. Fuente: Elaboración propia.....	118
Figura A.35: Instalación C20. Fuente: Elaboración propia.....	119
Figura A.36: Instalación C21. Fuente: Elaboración propia.....	120
Figura A.37: Instalación A. Fuente: Elaboración propia.....	121
Figura A.38: Instalación B. Fuente: Elaboración propia.....	122

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Resumen de instalaciones individuales. Fuente: Elaboración propia.	29
Tabla 2.2: Resumen de instalaciones colectivas de climas fríos. Fuente: Elaboración propia.	29
Tabla 2.3: Resumen de instalaciones de climas cálidos. Fuente: Elaboración propia.	30
Tabla 2.4: Resumen de instalaciones individuales y colectivas. Fuente: Elaboración propia.	30
Tabla 2.5: Submuestra de calderas de condensación considerada para el cálculo del factor de instalación.	35
Tabla 2.6: Desviación de costes finales de las calderas de condensación.	36
Tabla 2.7: Valores de ocupación en viviendas. Fuente: Código Técnico de la Edificación.	37
Tabla 2.8: Caudales mínimos de ventilación en locales. Fuente: Código Técnico de la Edificación.	37
Tabla 2.9: Valores considerados para el desarrollo de las leyes de costes	38
Tabla 2.10: Submuestra de termos eléctricos considerados para el cálculo del factor de instalación.	40
Tabla 2.11: Desviación de costes finales de los termos eléctricos.	41
Tabla 2.12: Submuestra de calderas de biomasa de potencias hasta 60 kW considerada para el cálculo del factor de instalación.	43
Tabla 2.13: Submuestra de calderas de biomasa de potencias superiores a 60 kW considerada para el cálculo del factor de instalación.	44
Tabla 2.14: Desviación de costes finales de las calderas de biomasa.	46
Tabla 2.15: Submuestra de bombas de calor eléctricas para producción de calefacción considerada para el cálculo del factor de instalación.	48
Tabla 2.16: Desviación de costes finales de las bombas de calor eléctricas para producción de calefacción.	49
Tabla 2.17: Submuestra de bombas de calor eléctricas para producción de frío considerada para el cálculo del factor de instalación.	51
Tabla 2.18: Desviación de costes finales de las bombas de calor eléctricas para producción de frío.	52
Tabla 2.19: Submuestra de bombas de calor eléctricas para producción de calor y frío considerada para el cálculo del factor de instalación.	55
Tabla 2.20: Desviación de costes finales de las bombas de calor eléctricas para producción de calor y frío.	56
Tabla 2.21: Submuestra de bombas de calor a gas colectivas considerada para el cálculo del factor de instalación.	58
Tabla 2.22: Desviación de costes finales de las bombas de calor a gas colectivas.	59
Tabla 2.23: Submuestra de bombas de calor a gas individuales considerada para el cálculo del factor de instalación.	61

Tabla 2.24: Desviación de costes finales de las bombas de calor a gas individuales.	62
Tabla 2.25: Submuestra de captadores planos considerados para el cálculo del factor de instalación.....	63
Tabla 2.26: Desviación de costes finales de los captadores planos.....	64
Tabla 2.27: Submuestra de captadores de tubo de vacío considerada para el cálculo del factor de instalación.....	64
Tabla 2.28: Desviación de costes finales de los captadores de tubos de vacío.	65
Tabla 2.29: Valores considerados para el desarrollo de las leyes de costes.....	66
Tabla 2.30: Muestra considerada en el estudio de radiadores	67
Tabla 2.31: Muestra considerada en el estudio de fancoil.....	68
Tabla 2.32: Muestra considerada en el estudio de Split	69
Tabla 4.1: Costes finales de la instalación I.5 en viviendas unifamiliares.....	75
Tabla 4.2: Costes finales de la instalación I.1 en viviendas unifamiliares.....	76
Tabla 4.3: Costes finales de la instalación C.16 en viviendas plurifamiliares.	76
Tabla 4.4.a: Costes finales de la instalación C.10 en viviendas plurifamiliares.....	77
Tabla 4.4.b: Costes finales de la instalación C.10 en viviendas plurifamiliares.	77
Tabla 4.5: Costes finales de la instalación B en viviendas unifamiliares y plurifamiliares.	78
Tabla 4.6.a: Costes finales de la instalación A en viviendas unifamiliares y plurifamiliares.	79
Tabla 4.6.b: Costes finales de la instalación A en viviendas unifamiliares y plurifamiliares.....	80

RESUMEN

El incremento del uso de combustibles fósiles en los últimos doscientos años ha taído ligado un incremento de las emisiones antropogénicas, con un consecuente incremento de la temperatura media terrestre. Ante los informes cada más preocupantes, los diferentes organismos gubernamentales han comenzado a hacer incapié en el ahorro energético como medida de reducción del consumo energético.

Cumplir con los estándares de calidad, las necesidades del cliente y las normativas medioambientales cada vez más restrictivas, puede ser una tarea de importante envergadura. El objetivo del presente trabajo es facilitar esa tarea; Mediante la elaboración de una base de datos de precios de equipamiento ofertados por diferentes fabricantes, se elaboran leyes de costes para cada elemento de la instalación, pudiendo obtenerse el coste total de una instalación, conocidos los equipos generadores y unidades terminales de que consta y resultando en una comparativa más directa y sencilla.

1 INTRODUCCIÓN

1.1.- Antecedentes

En los últimos doscientos años, desde la revolución industrial, el consumo energético de la humanidad se ha disparado. La invención de la máquina de vapor en el siglo XIX marcó el inicio de una nueva era caracterizada por el rápido descubrimiento de nuevas fuentes de energía y el desarrollo de técnicas que permitían una extracción y aprovechamiento más eficiente de las mismas. Al carbón le siguió el petróleo, y a éste el gas natural, la energía nuclear, la energía fotovoltaica y demás fuentes de energía de que disponemos en la actualidad. Desde 1800, el consumo global de energía se ha disparado desde 5.000 TWh hasta más de 153.000 TWh^[1]. Y no sólo consumimos más en términos absolutos, sino también en términos relativos, el consumo per cápita se ha cuadruplicado desde 1800^[2].

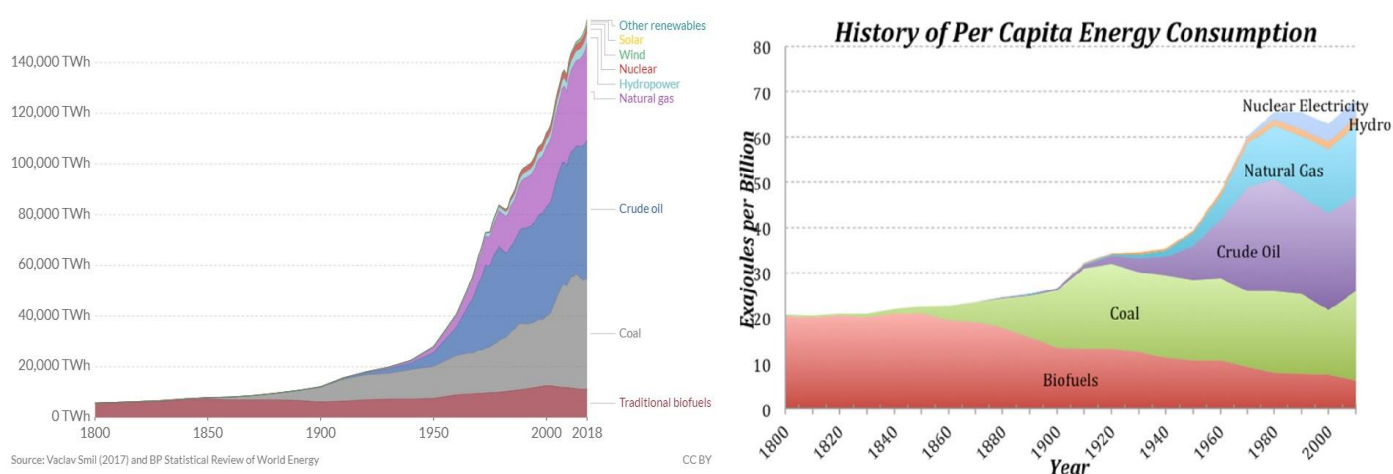


Figura 1.1: Evolución del consumo de energía primaria (izqda.) y de energía per cápita (dcha.). Fuente: BP Statistical Review of World Energy (2019)

Este incremento en el consumo energético ha permitido un rápido crecimiento de la población y un aumento de la calidad de vida, hasta los estándares de que se disfruta hoy en día. Sin embargo, este crecimiento descontrolado puede tener impactos globales. Hoy en día, el 84,7% de la energía consumida en el mundo proviene de combustibles fósiles^[1]. Algunos autores defienden que el calentamiento global que se está produciendo es parte de un ciclo natural e independiente de la actividad humana^[3,4]. Otros autores, por el contrario, afirman que dicho calentamiento tiene un origen antropogénico y apuntan a la revolución industrial como su desencadenante^[5,6].

Ante esta situación de opiniones contradictorias y una comunidad científica enfrentada, la WMO (*World Meteorological Organization*) y la UNEP (*United Nations Environment Programme*) crearon en 1988 el IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) con el objetivo de proveer a los gobiernos de la información científica necesaria para desarrollar e implementar las políticas correctas para mitigar el cambio climático^[7].

Para ello, 195 expertos de diferentes países miembros de la ONU revisan los artículos publicados cada año relativos al cambio climático y, de común acuerdo, publican un resumen del conocimiento actual en materia de cambio climático.

Su último informe, titulado “*Global warming of 1.5 °C.*” publicado en octubre de 2018, resume las consecuencias que tendría un incremento de la temperatura global de 1,5 °C [8]. Actualmente, se estima que las actividades humanas han causado un calentamiento global de aproximadamente 1,0 °C con respecto a los niveles preindustriales, siendo probable que dicho calentamiento alcance los 1,5 °C entre 2030 y 2052 en caso de mantenerse el ritmo actual. Este calentamiento es mayor en la tierra que en el océano y afecta particularmente al Ártico, alcanzando temperaturas de más del doble del promedio anual.

Las emisiones antropógenas producidas hasta la actualidad seguirán afectando al clima durante siglos, no obstante, es improbable que esas emisiones por sí solas causen un calentamiento superior a 0,5 °C durante los próximos dos o tres decenios. Es decir, si se alcanzasen y mantuviesen emisiones antropógenas globales netas de CO₂ iguales a 0, el calentamiento global y sus efectos se mitigarían en gran medida.

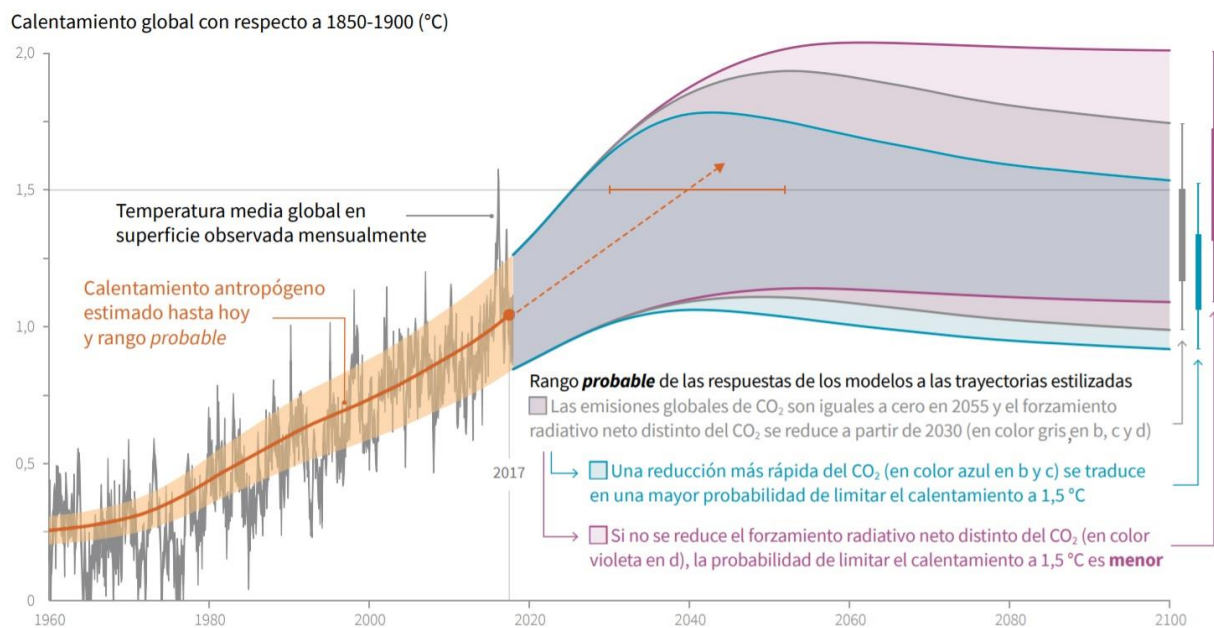


Figura 1.2: Evolución de la temperatura media terrestre según diferentes escenarios. Fuente: *International Panel on Climate Change. Global Warming of 1.5 °C*

Ya se han observado, con el incremento actual de la temperatura media global de 1,0 °C, impactos en los sistemas naturales y humanos. Los riesgos relacionados con el clima son mayores con un calentamiento global 1,5 °C que los que existen actualmente, pero son menores que con un calentamiento global de 2 °C. Estos riesgos futuros dependen del ritmo, del pico y de la duración del calentamiento y, en conjunto, esos riesgos son mayores si el calentamiento global supera los 1,5 °C antes de volver a ese nivel para 2100, que si el calentamiento global se estabiliza en 1,5 °C.

Los modelos climáticos prevén importantes diferencias en las características regionales del clima entre el momento actual y un calentamiento de 1,5 °C, y entre un calentamiento de 1,5 °C y de 2 °C. Estas diferencias comprenden, un aumento de la temperatura media en la mayoría de regiones, aumento de los episodios de calor extremo, de precipitaciones intensas y de la probabilidad de sequía.

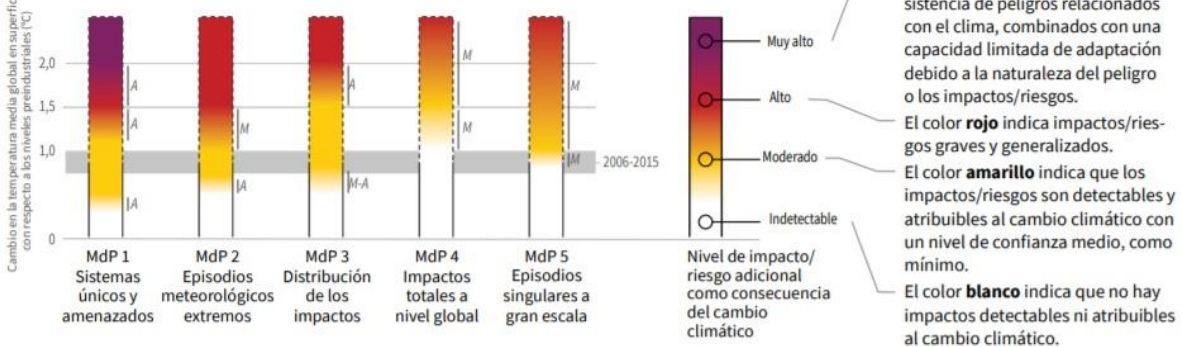
Además, se prevé que los impactos en la biodiversidad, entre ellos la pérdida y extinción de especies, sean menores con un calentamiento de 1,5 °C en lugar de 2 °C. Así mismo, el incremento del nivel del mar para 2100 se prevé que sea 0,1 m inferior con un calentamiento global de 1,5 °C que con uno de 2 °C.

Por último, se prevé que los riesgos relacionados con el clima para la salud, los medios de subsistencia, el suministro de agua, la seguridad alimentaria y el crecimiento económico aumenten con un calentamiento global de 1,5 °C, y que esos riesgos sean aún mayores con un calentamiento global de 2 °C.

La figura 1.3 ilustra el nivel de riesgo y el impacto que sufren diferentes sistemas naturales, o actividades humanas, en función de incremento de temperatura, observándose que, con un calentamiento de entre 1,5 °C y 2 °C un número importante de “motivos de preocupación” y ecosistemas pasan a un riesgo “alto” o “muy alto” con un nivel de confianza generalmente alto.

Los cinco motivos de preocupación (MdP) ilustran los impactos y los riesgos de los diferentes niveles de calentamiento global para las personas, las economías y los ecosistemas de los distintos sectores y regiones.

Impactos y riesgos asociados a los motivos de preocupación



Impactos y riesgos para determinados sistemas naturales, gestionados y humanos

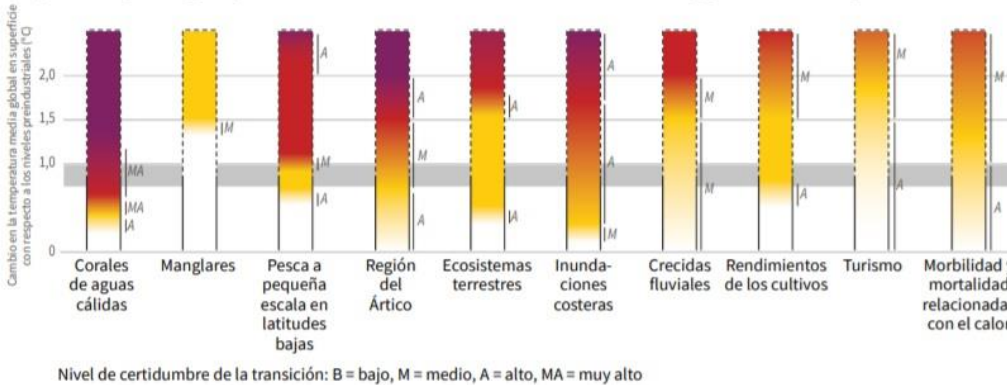


Figura 1.3: Impactos y riesgos del calentamiento global. Fuente: *International Panel on Climate Change. Global Warming of 1.5 °C.*

Frente a esta situación, se analizan diferentes escenarios, comparándose los efectos que tienen sobre el calentamiento global. Así, los modelos en los que el calentamiento global no sobrepasa los 1,5 °C, o lo sobrepasa de forma reducida, son aquellos en los que las emisiones antropógenas globales netas de CO₂ disminuyen en un 45% de aquí a 2030 y son iguales a cero en 2050. Para que el calentamiento global no rebase el límite de 2 °C, se calcula que las emisiones de CO₂ deben reducirse en un 25% de aquí a 2030 y ser iguales a cero en 2070.

Además del CO₂, las trayectorias que limitan el calentamiento global a 1,5 °C conllevan disminuciones drásticas de las emisiones de metano y carbono negro (una reducción de al menos el 35% de ambos gases para 2050). Estas trayectorias reducen asimismo la mayoría de los aerosoles refrigerantes y, en algunos escenarios, se reducen el óxido nitroso y el metano de la agricultura, el metano del sector de los residuos y los hidrofluorocarbonos.

La figura 1.4. ilustra las trayectorias de los diferentes modelos que limitan el calentamiento global a 1,5 °C.

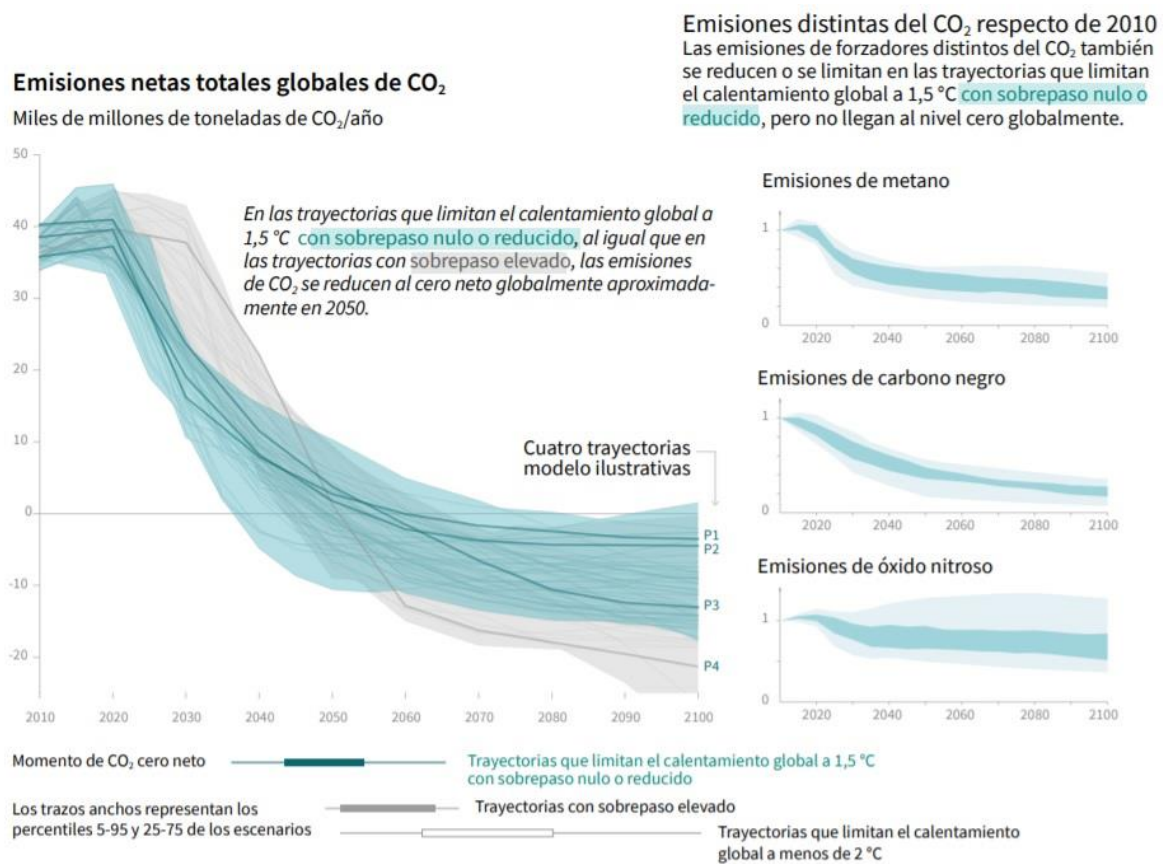


Figura 1.4: Características de las trayectorias de emisiones globales. Fuente: *International Panel on Climate Change. Global Warming of 1.5 °C*

Para que las trayectorias limiten el calentamiento global a 1,5 °C se necesitarían transiciones rápidas y de gran alcance en los sistemas energético, terrestre, urbano, industrial y de infraestructuras. Además, estas transiciones deben tener alcance global, por lo que se hace necesaria la implicación de una parte importante de los países.

Esas trayectorias que limitan con éxito el calentamiento global generalmente satisfacen la demanda de servicios energéticos con un menor uso de la energía, en particular mediante un aumento de la eficiencia energética. Se prevé que las energías renovables aporten el 70-85% de la electricidad en 2050, así mismo está modelizado un aumento de la proporción de energía nuclear y combustibles fósiles con captura y almacenamiento de dióxido de carbono (CAC). La utilización de CAC permitiría que la proporción de gas en la generación de electricidad fuera de aproximadamente el 8% de la electricidad global para 2050.

Se prevé que las emisiones de CO₂ procedentes de la industria sean aproximadamente un 65-90% inferiores en 2050 en las trayectorias que limitan el calentamiento a 1,5 °C y un 50-80% inferiores para un calentamiento global de 2 °C. Esta reducción se puede lograr mediante combinaciones de tecnologías y prácticas nuevas y existentes, como la electrificación, el hidrógeno, materias primas biológicas sostenibles y CAC.

Para que se produzca una transición en el sistema urbano y de infraestructuras se necesitarían cambios en las prácticas de planificación territorial y urbana, así como mayores reducciones en las emisiones en el transporte y los edificios. Las medidas y prácticas que permiten mayores reducciones en las emisiones incluyen diversas opciones de eficiencia energética. Para limitar el calentamiento global a 1,5 °C la proporción de electricidad de la demanda energética en los edificios debería ser un 55-75% en 2050. En el sector transporte, la proporción de la energía final baja en emisiones aumentaría desde menos del 5% en 2020 a un 35-65% en 2050.

Este informe del IPCC pone de manifiesto la importancia de limitar el calentamiento global a un valor no superior a 1,5 °C respecto a los valores preindustriales. Además, presenta diferentes trayectorias y modelos que logran los objetivos, marcando las pautas que se deberían seguir para obtener esos resultados.

Con esta información presente y con la idea de hacer especial énfasis en la reducción del consumo y promover la eficiencia energética en los edificios, el Parlamento Europeo y el Consejo de la Unión Europea establecieron, en la directiva 2010/31 del 19 de mayo, la definición de un nuevo tipo de edificio, los "Edificios de Consumo Casi Nulo" (nZEB), estos son: "Edificios con un nivel de eficiencia energética muy alto [...]. La cantidad casi nula o muy baja de energía requerida debería estar cubierta, en muy amplia medida, por energía procedente de fuentes renovables producida *in situ* o en el entorno." [9].

Si bien las especificaciones técnicas quedaban en manos de las administraciones competentes de los diferentes países, el Parlamento Europeo establecía su obligado cumplimiento en edificios públicos para el 31 de diciembre de 2018 y para todos los edificios de nueva construcción para el 31 de diciembre de 2020.

Al delegar la responsabilidad de definir las características de los edificios de consumo casi nulo a los países, se ha creado una diversificación de los mismos en función de las diferentes legislaciones aplicadas en los países. Así, por ejemplo, el consumo de energía primaria máximo para cumplir los requisitos de edificio de consumo casi nulo es de 45 kWh/m²año en Bélgica y de 20 kWh/m²año en Dinamarca [10] (Para edificios de uso residencial, datos de 2015)

Country	Status of the definition	Main reference(s)	Year of enforcement		nZEB definition for new buildings						nZEB definition for existing buildings		
			Public	Non-public	EPBD scope of nZEB definition [1]	Numerical indicator	Maximum primary energy [kWh/m ² y]		Share of renewable energy	Other indicators	Status of the definition	Maximum primary energy [kWh/m ² y]	
							Residential buildings	Non-residential buildings				Residential buildings	Non-residential buildings
Austria	✓	OIB Guidelines 6	1/01/2019	1/01/2021	✓ [7]	✓	160	170 (from 2021)	Minimum share proposed in the draft of OIB guidelines for all buildings	EP, CO ₂	✓	200	250 (from 2021)
Belgium - Brussels	✓	Amended Decree of 21/12/2007	1/01/2015	1/01/2015	✓	✓	45	~90 [2]	✓ Qualitative	EP, OH	✓	54	~ 108 [2]
Belgium - Flanders	✓	Regulation of 29/11/2013	1/01/2019	1/01/2021	✓	✓	30% PE [5]	40% PE [5]	✓ Quantitative [4]	EP, OH	Under development		
Belgium - Wallonia	Under development	Consolidated report to EC	1/01/2019	1/01/2019	✓	Under development			Quantitative	EP	Under development		
Bulgaria	Still to be approved	National nZEB Plan, BPIE study	1/01/2019	1/01/2021	✓	Still to be approved	~30-50	~40-60	Quantitative	EP	As for new buildings	~30-50	~40-60
							Included in the calculation; building needs to comply with class A					Included in the calculation; building needs to comply with class A	
Croatia	✓	Regulation OG 97/14, National nZEB Plan	1/01/2019	1/01/2021	✓	✓	33-41 [3]	Under development	Minimum share in current requirements for all buildings	EP	ND		
Cyprus	✓	Decree 366/2014, Law 210(I)/2012	1/01/2019	1/01/2021	✓	✓	100	125	✓ Quantitative	EP	✓ As for new buildings	100	125
Czech Republic	✓	Regulation 78/2013 Coll.	2016-2018 depending on size	2018-2020 depending on size	✓	✓	75-80% [2,5]	90% [5]	✓ Quantitative	EP, TS	✓ As for new buildings	75-80% [2,5]	90% [5]
Denmark	✓	Building Regulations 2010	1/01/2019	1/01/2021	✓	✓	20	25	✓ Qualitative	EP, OH, TS	✓ As for new buildings	20	25
Estonia	✓	Regulation 68:2012	1/01/2019	1/01/2021	✓ [7]	✓	50-100 [2]	90-270 [2]	✓ Qualitative		✗		
Finland	Under development	Consolidated report to EC	1/01/2018	1/01/2021	✓ [7]	ND			ND		ND		
France	Definition of Positive Energy Buildings under development [8]	Thermal Regulation 2012, National nZEB Plan	28/10/2011	1/01/2013	✓	✓	40-65 [2,3]	70-110 [2,3]	✓ Quantitative [4]	EP, OH, TS	✓	80 [3]	60% PE [2]
Germany	Under development	KfW Efficiency House, National nZEB plan	1/01/2019	1/01/2021	✓	Under development	40% PE [5]		Minimum share in current requirements for all buildings	EP	Under development	55% PE [5]	
Greece	Under development	Law 4122/2013	1/01/2019	1/01/2021	ND	ND			Minimum share in current requirements for all buildings		Under development		
Hungary	Under development	Amended decree 7/2006, study by University of Debrecen	1/01/2019	1/01/2021	✓	Under development	50-72 [2]	60-115 [2]	✓ Quantitative	EP	Under development		
Ireland	✓	Draft definition in National nZEB Plan	1/01/2019	1/01/2021	✓	✓	45	~60% PE [5]	✓ Quantitative [4]	CO ₂	Under development	75-150	

Figura 1.5: Requisitos de los edificios de consumo casi nulo en Europa. Fuente: *Buildings Performance Institute Europe. Nearly Zero Energy Buildings definitions across Europe*

La definición de Edificio de Consumo casi nulo en España corre a cargo del Código Técnico de la Edificación (CTE).

El CTE es el marco normativo que establece las exigencias que deben cumplir los edificios en relación con los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad. [11] La definición de dichos requisitos básicos se especifican en los diferentes Documentos Básicos (DB) de que consta el CTE, relativos a la Seguridad Estructural (SE),

Seguridad en caso de Incendio (SI), Seguridad de Utilización y Accesibilidad (SUA), Ahorro Energético (HE), Protección frente al Ruido (HR) y Salubridad (HS). Estos DB son actualizados regularmente para asegurar que dan respuesta a los problemas actuales y son conformes con la restante reglamentación vigente en cada momento.

En la última revisión del DB-HE, publicada en diciembre de 2019, se introdujo la siguiente definición de "Edificio de Consumo de Energía Casi Nulo": "Edificio, nuevo o existente, que cumple con las exigencias reglamentarias establecidas en este Documento Básico "DB HE Ahorro de Energía" en lo referente a la limitación de consumo energético para edificios de nueva construcción." [12]

Por tanto, el cumplimiento de los preceptos establecidos por el Documento Básico, conlleva el cumplimiento de la Directiva Europea 2010/31, relativa a la consecución de la categoría de Edificio de Consumo Casi Nulo. Entre otras exigencias de este DB, el consumo de energía primaria máximo para uso residencial en España se sitúa entre 40 y 86 kWh/m²año, según la zona climática de invierno en que se encuentre el edificio.

Valor límite $C_{ep,tot,lim}$ [kW·h/m²·año] para uso residencial privado

	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
Edificios nuevos y ampliaciones	40	50	56	64	76	86
Cambios de uso a residencial privado y reformas	55	75	80	90	105	115

En territorio extrapeninsular (Illes Balears, Canarias, Ceuta y Melilla) se multiplicarán los valores de la tabla por 1,15

Figura 1.6: Valores límite de consumo de energía primaria para uso residencial. Fuente: Código Técnico de la Edificación.

1.2.- Objetivo

Con esta última revisión del Código Técnico las condiciones mínimas de aislamiento, estanqueidad y origen de la energía utilizada se vuelven más restrictivas, existiendo un amplio abanico de posibilidades en los diferentes climas, tipologías de edificios y diferentes instalaciones con que dar respuesta a las necesidades de sus ocupantes, lo que dificulta la obtención rápida y sencilla de soluciones óptimas en un determinado proyecto.

Si, para un proyecto dado, se comprueba el cumplimiento del DB HE y se proponen diferentes mejoras para el edificio que satisfacen igualmente el cumplimiento del mismo, representando las soluciones estudiadas en una gráfica de coste de ciclo de vida frente a consumo de energía primaria total. Se puede determinar de aquellas soluciones que cumplen el Código Técnico, la que tiene un menor coste de ciclo de vida.

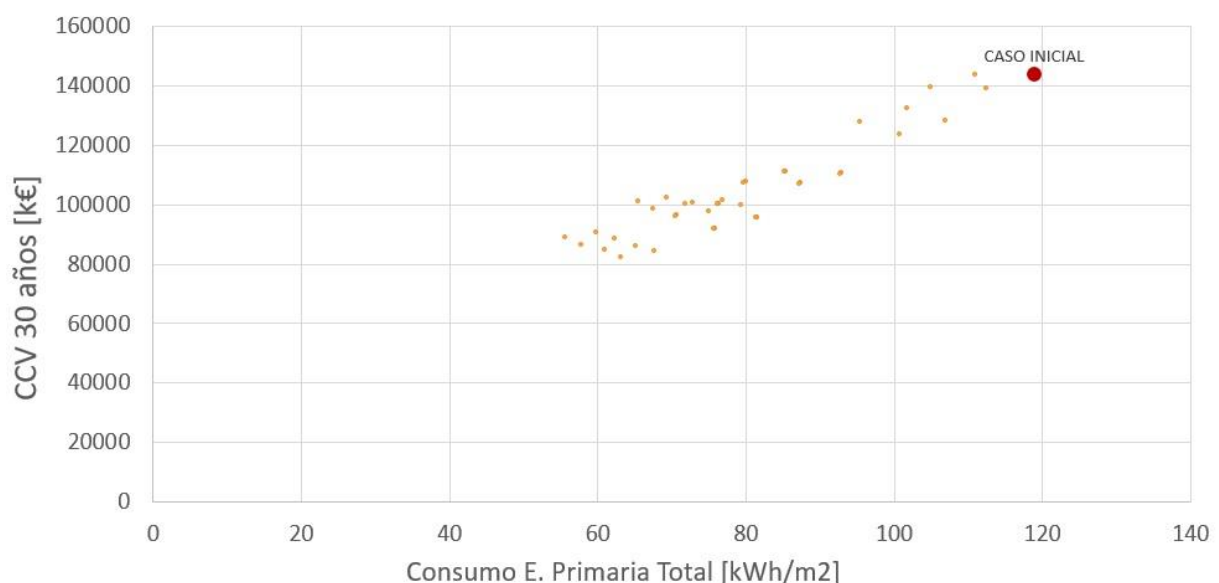


Figura 1.7: Coste de diferentes alternativas estudiadas para un proyecto dado. Fuente: Elaboración propia.

Puesto que el análisis de alternativas requiere un amplio conocimiento de diferentes soluciones y consume una cantidad importante de tiempo, se hace necesario contar con una herramienta que permita estimar de forma rápida las soluciones más óptimas para el caso concreto de estudio, que contemple diferentes tipologías de viviendas, en diferentes climas y estudie su comportamiento en función de un número determinado de combinaciones de instalaciones, ofreciendo el coste estimado de todas las posibilidades y permitiendo al proyectista descartar una gran cantidad de soluciones que, o no cumplen con los valores mínimos, o bien tiene un coste claramente superior a otros, pudiendo hacer un estudio en detalle de un número menor de soluciones.

Ese es el objetivo del presente trabajo. Para ello se obtendrán una serie de leyes de costes de diferentes equipos, en función de un parámetro característico típico del equipo en cuestión. Con estas leyes de costes y para una demanda determinada, o con una superficie en concreto y con una combinación determinada de equipos en la instalación, se podrá obtener fácilmente un coste aproximado de la instalación al completo. Aplicando esta metodología para todas las instalaciones que den respuesta a las demandas del edificio en cuestión, se podrá determinar con facilidad cuales son las que mejor satisfacen la demanda.

Las leyes de costes se obtendrán mediante aplicación de la metodología de Guthrie^[13]. Esta metodología consiste en evaluar el coste del sistema a partir del coste de los equipos principales, evaluando cada componente según su tamaño nominal. Finalmente, se añade un factor (*Lang Factor*) que tiene en cuenta los costes de instalación.

Atendiendo a Pikulik y Díaz (1977)^[14], la estimación de los costes se puede clasificar de acuerdo a la figura 1.8. La obtención de estimaciones más detalladas incrementa el coste de obtención y sólo está justificado para diseños finales del proceso.

Estimación de Orden de Magnitud	< 40 % de error
Estimación a nivel Estudio	< 25 %
Estimación Preliminar	< 12 %
Estimación Definitiva	< 6 %
Estimación Detallada	< 3 %

Figura 1.8: Tipo de estimación y error porcentual recomendado. Fuente: A. Pikulik y H.E. Díaz. " *Cost estimating for major process equipment.* "

Según J.M. Douglas para propósitos de diseño preliminar es suficiente determinar los costes con un nivel de exactitud de entre el 25 % y el 40%^[15], se hará uso de ambas referencias para tener en cuenta la idoneidad de las leyes de costes obtenidas durante el trabajo.

2 METODOLOGÍA

El procedimiento a seguir para obtener dichas leyes de costes es el siguiente.

- Se elaborará una base de datos con diferentes equipos, catalogados por su potencia, capacidad o superficie, según proceda, y sus precios.
- Se elaborarán leyes de costes que, en función del parámetro característico del equipo (potencia, superficie, etc) permita obtener un coste estimado que incluya tanto el precio del equipo como la instalación.
- Se diseñarán una serie de instalaciones que combinen diferentes equipos y que den respuesta a las necesidades de agua caliente sanitaria, calefacción y/o refrigeración de sus ocupantes.
- Se considerarán una serie de edificios de viviendas con diferentes tipologías y dimensiones.
- Aplicando las leyes de costes previamente establecidas, a la combinación de viviendas consideradas en los climas existentes y con las diferentes instalaciones diseñadas, se obtendrán aquellas soluciones que satisfacen las exigencias a un menor coste.

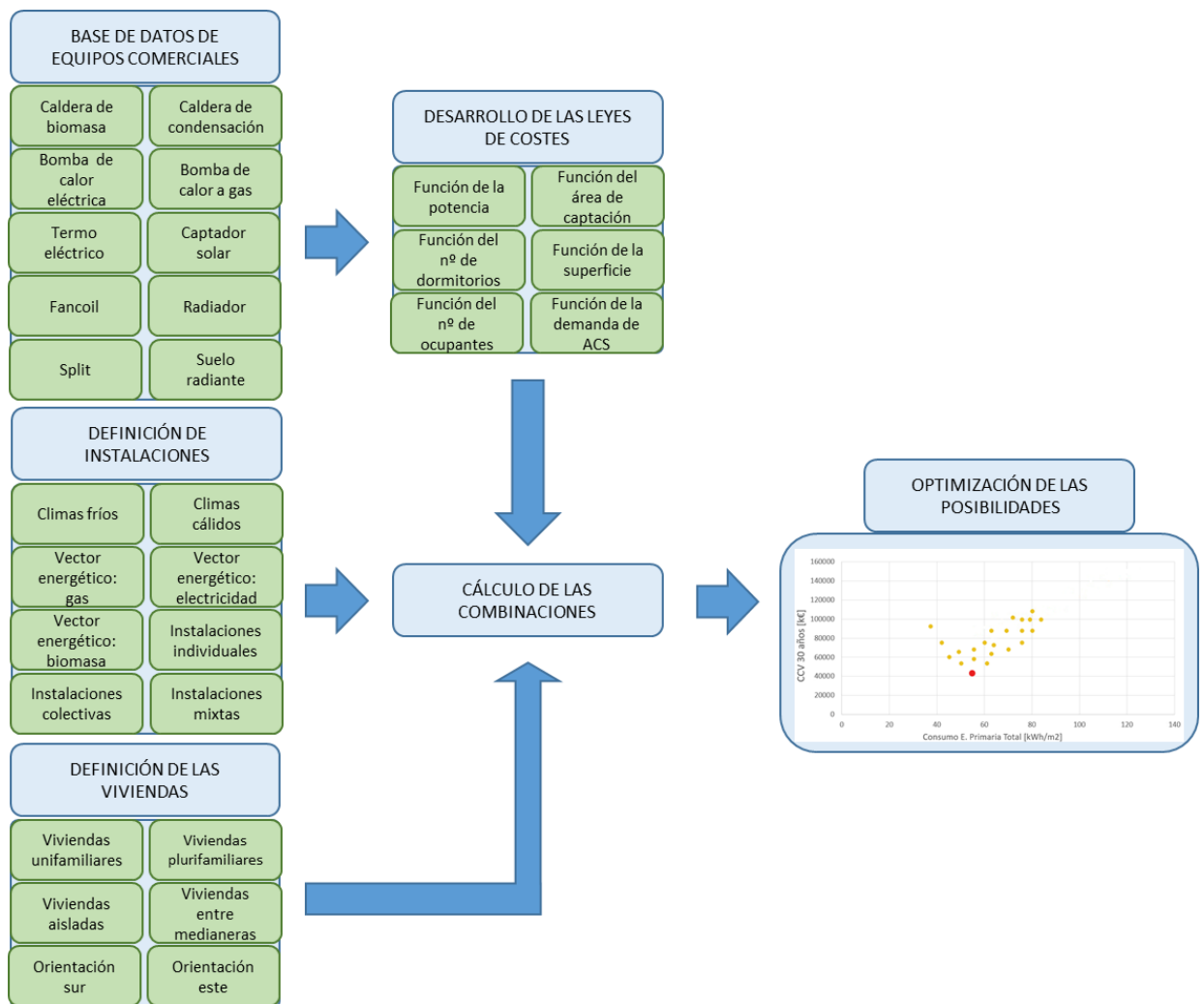


Figura 2.1: Esquema de desarrollo del trabajo. Fuente: Elaboración propia.

2.1.- Base de datos de equipos generadores

En primer lugar, se describen los equipos que se han considerado en el estudio. Para la elaboración de la base de datos, se han tenido en cuenta los equipos más empleados en las edificaciones en la actualidad. Se hace una distinción entre equipos generadores, aquellos cuyo cometido es generar u obtener la energía necesaria para satisfacer la demanda de agua caliente sanitaria, calefacción y/o refrigeración; Y unidades terminales, que son los equipos que transferirán dicha energía al espacio cuya demanda se desea cubrir.

2.1.1.- Equipos generadores

Se engloban dentro de esta categoría los equipos destinados a la generación u obtención de energía térmica, tanto para su consumo en forma de calor como de agua caliente sanitaria, así como aquellos que la transforman para cubrir la demanda de refrigeración.

- Calderas de biomasa

Las calderas de biomasa utilizan como fuente de energía combustibles naturales como astillas de madera o pellets. El calor generado en la combustión es transmitido al circuito de agua en el intercambiador incorporado en la caldera, obteniéndose agua caliente para el sistema de calefacción o ACS. ^[16]



Figura 2.2: Caldera de biomasa con silo de 30 kW (izq.) y caldera de biomasa de 50 kW (dcha.). Fuente: Imagen de dominio público.

- **Caldera de condensación**

Las calderas de condensación a gas, son calderas de alto rendimiento basadas en el aprovechamiento del calor latente de condensación presente en los humos de la combustión. [17]

Gracias a la recuperación del calor latente presente en los humos se obtienen rendimientos muy elevados, en ocasiones superior a la unidad, debido a que se utiliza el PCS del combustible.

Estas calderas calientan agua, pudiendo emplearse para el sistema de calefacción o como ACS. Pueden ser murales o de pie.



Figura 2.3: Caldera a gas mural (izq.) y de pie (dcha.). Fuente: Imagen de dominio público.

- **Bomba de calor eléctrica**

Una bomba de calor adquiere calor de un espacio frío y lo transfiere a otro más caliente, gracias a un trabajo aportado desde el exterior.

Se emplea un fluido refrigerante con una temperatura de vaporización a presión atmosférica muy baja. Mediante un compresor, se eleva su presión y temperatura hasta la presión de condensación, entonces atraviesa un condensador donde cede calor al exterior condensando en el proceso y saliendo de éste en estado líquido. A continuación, atraviesa una válvula de expansión donde se reduce su presión y temperatura manteniéndose en estado líquido. Tras esto, se envía al evaporador, donde absorbe el calor del medio y se evapora. Finalmente se cierra el ciclo enviando el refrigerante al compresor.

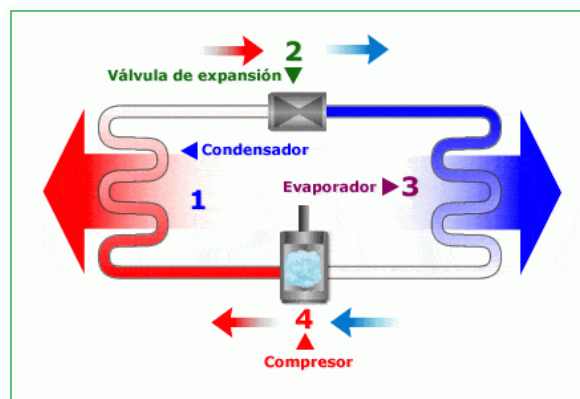


Figura 2.34 Ciclo de refrigeración. Fuente: Imagen de dominio público.

Así las bombas de calor se pueden emplear tanto para la producción de calefacción, refrigeración o producción de ACS.

Se pueden clasificar según el fluido de los focos frío y caliente [18], así se distinguen:

- Aire-aire. La cesión y aporte de calor se hacen al aire ambiente.
- Aire-agua. El proceso de evaporación se hace con aire ambiente y en la condensación se cede calor al agua.
- Agua-aire. Se extrae calor de una fuente de agua constante, como pozos, y se transfiere a un circuito de aire.
- Agua-agua. Similar al anterior, pero ambos focos son agua.

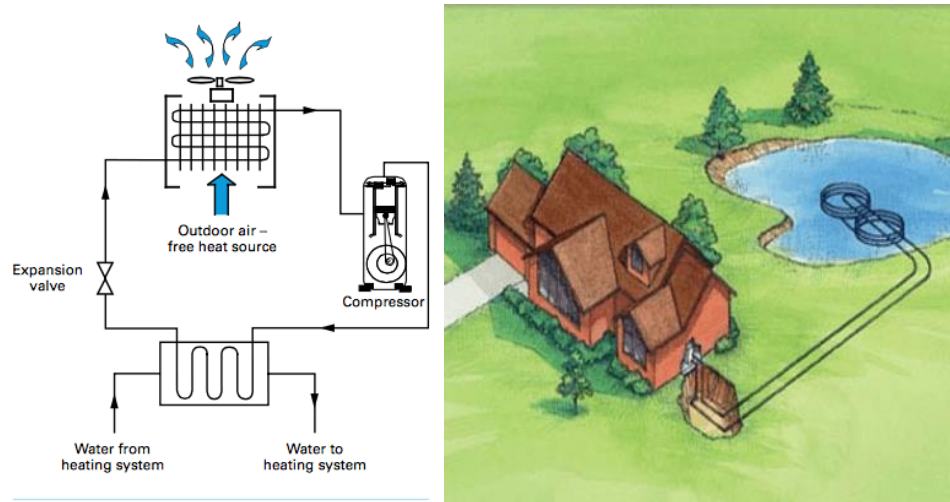


Figura 2.5: Sistema Aire-agua (izq.) y Agua-aire (dcha.). Fuente: Imagen de dominio público.

- Bomba de calor a gas

Las bombas de calor a gas siguen el mismo principio de funcionamiento que las bombas de calor eléctricas, pero sustituyen el motor eléctrico que acciona el compresor, por un motor de combustión interna de acuerdo con un ciclo Otto.^[19]

La clasificación y tipologías es análoga al caso de bomba de calor eléctrica.

- Termo eléctrico

El termo eléctrico aprovecha el efecto Joule para calentar agua. Los termos eléctricos constan de un depósito de agua con una resistencia en su interior que utiliza energía eléctrica para calentar agua.



Figura 2.6: Termo eléctrico. Fuente: Imagen de dominio público.

- Captador solar

Un captador solar es un dispositivo que permite aprovechar la radiación solar, transformándola en energía

térmica, para calentar un depósito de agua, para su posterior consumo como ACS o para calefacción.

Estos captadores pueden funcionar por circulación forzada o por termosifón. Además de tener el depósito acumulador incorporado o independiente y según sean para cubierta plana o inclinada.



Figura 2.7: Captador plano para cubierta plana con acumulador incorporado (izq.) y captador plano para cubierta inclinada con acumulador independiente (dcha.). Fuente: Imagen de dominio público.

2.1.2.- Unidades terminales

Las unidades terminales, son los equipos destinados a modificar las condiciones ambientales del habitáculo.

- **Fancoil**

Los fancoils (también llamados ventiloconvectores) son equipos formados por un intercambiador y un ventilador. Por el intercambiador circula agua que enfría o calienta el aire que circula forzado por un ventilador.

Existe una doble clasificación:^[20]

- Según la instalación.
 - o De dos tubos. Constan de un tubo de impulsión y otro de retorno. Sólo pueden proporcionar o frío o calor a la vez.
 - o De cuatro tubos. Constan de dos tubos de impulsión y dos de retorno. Cada circuito funciona de forma independiente, pudiendo suministrar frío y calor a la vez.
- Según su tipología.
 - o De suelo o de consola. Se instalan en el suelo y disponen de una rejilla superior de impulsión y una de retorno inferior.
 - o De pared. Se instalan en la pared y disponen de una rejilla de impulsión inferior y una de retorno frontal.
 - o De cassette. Se instalan encastrados en el falso techo, disponen de cuatro rejillas de impulsión perimetrales y una de retorno central.
 - o De techo. Se instalan en el falso techo y no disponen de rejillas de impulsión o retorno, se debe hacer la instalación de las mismas de forma independiente.
 - o De techo con descarga directa. Se instalan en el falso techo y disponen de una rejilla de impulsión frontal y una de retorno inferior.

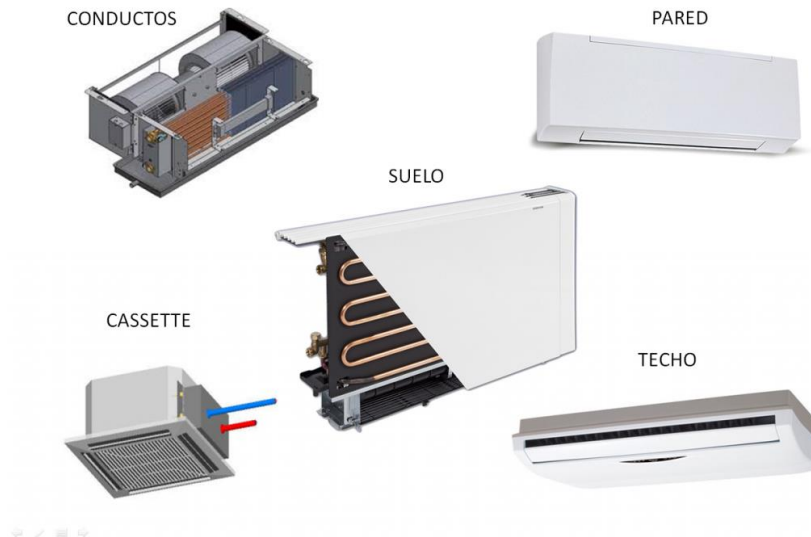


Figura 2.8: Tipos de Fan-coil. Fuente: Imagen de dominio público.

- **Radiador**

Un radiador es un aparato que transfiere el calor del fluido al ambiente del local mediante convección y radiación. Se clasifican según diversos criterios: ^[21]

- Según el fluido caloportador. Generalmente emplean agua o aceite.
- Según el material de fabricación. Pudiendo ser de hierro fundido, de aluminio o de acero.
- Según su temperatura. Pudiendo ser de alta o baja temperatura.



Figura 2.9: Radiador de agua (izq.) y de aceite (dcha.). Fuente: Imagen de dominio público.

- **Split**

Un Split tiene el mismo funcionamiento básico que un fan-coil, con la salvedad de que, en lugar de utilizar agua, emplea un gas refrigerante.

Estos Split pueden ser, simples o multisplit, según tengan una unidad exterior por cada unidad interior, o si todas las unidades interiores comparten la misma unidad exterior, respectivamente. ^[22]

Además de esta diferenciación, los Split pueden ser:^[23]

- De pared. La unidad interior se instala en la pared del habitáculo, siendo el tipo más común en viviendas.
- De suelo. La unidad interior está colocada sobre el suelo. Se emplea generalmente en oficinas.
- De conductos. Una única unidad interior, generalmente instalada en el falso techo, que distribuye el aire a varias estancias a través de conductos.
- De cassette. Se instalan en el techo y suelen emplearse en oficinas.



Figura 2.10: Ejemplos de Split. Fuente: Imagen de dominio público.

- **Suelo radiante**

El suelo radiante consiste en una serie de tuberías situadas bajo el pavimento por cuyo interior se hace circular agua caliente o fría según las necesidades de la estancia.

El suelo radiante puede ser sólo para calefacción o con capacidad para proporcionar tanto frío como calor. Además, la instalación puede ser con capa de mortero o seco, según se emplee o no cemento.



Figura 2.11: Ejemplos de Suelo radiante. Fuente: Imagen de dominio público.

2.2.- Definición de instalaciones

A continuación, se definen una serie de instalaciones con las que se validarán las leyes elaboradas en el estudio.

Se establecen dos categorías diferenciadas, según sean instalaciones únicamente planteadas para climas fríos (Zonas climáticas C, D y E) o climas cálidos (A y B), además se distinguen según sea el vector energético principal, según empleen gas, biomasa o electricidad. Por último se hace una distinción según sean instalaciones colectivas, individuales, o colectivas-individuales. Cada instalación se compone de un equipo generador y una unidad terminal de calefacción, otro de refrigeración y dos instalaciones para ACS, o cualquier combinación de las mismas.

Se tienen 15 instalaciones individuales:

ID	Vector	Calefacción	UT Cal	Refrigeración	UT Ref	ACS1	ACS2	Clima
I.1	Gas	Caldera Condensación	Radiadores			Energía solar térmica	Caldera de condensación	Frío
I.2	Gas	Caldera Condensación	Radiadores	Aire acondicionado, Enfriadora eléctrica	Fancoil	Energía solar térmica	Caldera de condensación	Frío
I.3	Gas	Caldera Condensación	Suelo radiante			Energía solar térmica	Caldera de condensación	Frío
I.4	Gas					Energía solar térmica	Caldera de condensación	Cálido
I.5	Gas			Aire acondicionado, Enfriadora eléctrica	Fancoil	Energía solar térmica	Caldera de condensación	Cálido
I.6	Gas	Bomba de calor eléctrica, aire/agua	Split	Bomba de calor eléctrica, aire/agua	Split	Energía solar térmica	Caldera de condensación	Cálido
I.7	Electricidad	Bomba de calor eléctrica, aire/agua	Fancoil	Bomba de calor eléctrica, aire/agua	Fancoil	Bomba de calor eléctrica, aire/agua	Efecto Joule o termo eléctrico	Frío
I.8	Electricidad	Bomba de calor eléctrica, aire/agua	Suelo radiante	Bomba de calor eléctrica, aire/agua	Suelo radiante	Bomba de calor eléctrica, aire/agua	Efecto Joule o termo eléctrico	Frío o cálido
I.9	Electricidad					Energía solar térmica	Efecto Joule o termo eléctrico	Cálido
I.10	Electricidad					Bomba de calor eléctrica, aire/agua	Efecto Joule o termo eléctrico	Cálido
I.11	Electricidad	Bomba de calor eléctrica, aire/agua	Split	Bomba de calor eléctrica, aire/agua	Split	Bomba de calor eléctrica, aire/agua	Efecto Joule o termo eléctrico	Cálido
I.12	Biomasa					Caldera de biomasa		Cálido
I.13	Biomasa	Caldera de Biomasa	Fancoil	Aire acondicionado, Enfriadora eléctrica	Fancoil	Caldera de biomasa		Frío o cálido
I.14	Biomasa	Caldera de Biomasa	Suelo radiante			Caldera de biomasa		Frío
I.15	Biomasa	Caldera de Biomasa	Radiadores			Caldera de biomasa		Frío

Tabla 2.1: Resumen de instalaciones individuales. Fuente: Elaboración propia.

Las instalaciones colectivas son 21, quedando como sigue:

ID	Vector	Calefacción	UT Cal	Refrigeración	UT Ref	ACS1	ACS2	Clima
C.1	Gas	Caldera Condensación	Fancoil	Aire acondicionado, Enfriadora eléctrica	Fancoil	Energía solar térmica	Caldera de condensación	Frío
C.2	Gas	Caldera Condensación	Radiadores			Energía solar térmica	Caldera de condensación	Frío
C.3	Gas	Caldera Condensación	Suelo radiante	Aire acondicionado, Enfriadora eléctrica	Suelo radiante	Energía solar térmica	Caldera de condensación	Frío
C.4	Gas	Caldera Condensación	Suelo radiante			Energía solar térmica	Caldera de condensación	Frío
C.5	Gas	Bomba de calor a gas aire/agua	Suelo radiante	Bomba de calor a gas, aire/agua	Suelo radiante	Bomba de calor a gas, aire/agua	Caldera de condensación	Frío
C.6	Electricidad	Bomba de calor eléctrica, aire/agua	Fancoil			Bomba de calor eléctrica, aire/agua	Efecto Joule o termo eléctrico	Frío
C.7	Electricidad	Bomba de calor eléctrica, aire/agua	Fancoil	Bomba de calor eléctrica, aire/agua	Fancoil	Bomba de calor eléctrica, aire/agua	Efecto Joule o termo eléctrico	Frío
C.8	Electricidad	Bomba de calor eléctrica, aire/agua	Suelo radiante			Bomba de calor eléctrica, aire/agua	Efecto Joule o termo eléctrico	Frío
C.9	Electricidad	Bomba de calor eléctrica, aire/agua	Suelo radiante	Bomba de calor eléctrica, aire/agua	Suelo radiante	Bomba de calor eléctrica, aire/agua	Efecto Joule o termo eléctrico	Frío
C.10	Biomasa	Caldera de Biomasa	Suelo radiante			Caldera de biomasa		Frío
C.11	Biomasa	Caldera de Biomasa	Suelo radiante	Aire acondicionado, Enfriadora eléctrica	Suelo radiante	Caldera de biomasa		Frío
C.12	Biomasa	Caldera de Biomasa	Radiadores			Caldera de biomasa		Frío
C.13	Biomasa	Caldera de Biomasa	Radiadores	Aire acondicionado, Enfriadora eléctrica	Fancoil	Caldera de biomasa		Frío

Tabla 2.2: Resumen de instalaciones colectivas de climas fríos. Fuente: Elaboración propia.

ID	Vector	Calefacción	UT Cal	Refrigeración	UT Ref	ACS1	ACS2	Clima
C.14	Gas					Energía solar térmica	Caldera de condensación	Cálido
C.15	Gas	Bomba de calor a gas aire/agua	Fancoil	Bomba de calor a gas, aire/agua	Fancoil	Bomba de calor a gas, aire/agua	Caldera de condensación	Cálido
C.16	Gas	Bomba de calor eléctrica, aire/aire	Split	Bomba de calor eléctrica, aire/aire	Split	Energía solar térmica	Calentador a gas	Cálido
C.17	Electricidad			Sustitución REF	Split	Bomba de calor eléctrica, aire/agua	Efecto Joule o termo eléctrico	Cálido
C.18	Electricidad	Bomba de calor eléctrica, aire/agua	Fancoil	Bomba de calor eléctrica, aire/agua	Fancoil	Bomba de calor eléctrica, aire/agua	Efecto Joule o termo eléctrico	Cálido
C.19	Biomasa	Caldera de Biomasa	Radiadores	Aire acondicionado, Enfriadora eléctrica	Fancoil	Caldera de biomasa		Cálido
C.20	Biomasa	Caldera de Biomasa	Fancoil	Aire acondicionado, Enfriadora eléctrica	Fancoil	Caldera de biomasa		Cálido
C.21	Biomasa					Caldera de biomasa		Cálido

Tabla 2.3: Resumen de instalaciones de climascálidos. Fuente: Elaboración propia.

Además de estas instalaciones, se estudian dos instalaciones con calefacción y refrigeración colectivas, y ACS individual:

ID	Vector	Calefacción	UT Cal	Refrigeración	UT Ref	ACS1	ACS2	Clima
A	Gas			Aire acondicionado, Enfriadora eléctrica	Fancoil	Energía solar térmica	Caldera de condensación	Frío
B	Biomasa	Caldera biomasa	Fancoil	Aire acondicionado, Enfriadora eléctrica	Fancoil	Caldera de biomasa		Ambos

Tabla 2.4: Resumen de instalaciones individuales y colectivas. Fuente: Elaboración propia.

En el Anexo I se detalla el esquema de principio de las instalaciones que forman parte del estudio.

2.3.- Desarrollo de las leyes de costes

Una vez definidos los diferentes equipos que forman parte del estudio, se procede a establecer las leyes de costes de los mismos. Para ello se hace uso de diferentes bases de datos, que incluye el Generador de precios de Cype, los catálogos de los propios fabricantes y bancos de datos elaborados por el departamento en trabajos previos.

El coste de las instalaciones se ha caracterizado de acuerdo a la siguiente expresión:

$$Coste_{instalación} [€] = Coste_{generación} + Coste_{UT}$$

Donde:

$Coste_{generación}$ es el coste de los equipos generadores

$Coste_{UT}$ es el coste de las unidades terminales

2.3.1.- Coste de los equipos generadores

El coste de los equipos generadores se han caracterizado como sigue:

$$Coste_{generación} [€] = Coste_{equipo} * F_{instalación} * F_{descuento} * F_{biomasa}$$

Donde:

$Coste_{equipo}$: es el precio unitario de los equipos y se detallará posteriormente.

$F_{instalación}$: Es un valor porcentual del precio unitario del equipo que representa el incremento de coste debido a la instalación. Es variable según el equipo estudiado.

$F_{descuento}$: Es igual a 0.9 (esto es un 10% de descuento sobre el P.V.P.)

$F_{biomasa}$: Es igual a 1,15 en los equipos de generación de biomasa y 1 en caso contrario. Representa el sobre coste en la instalación de biomasa.

A continuación, se describirá el coste de los equipos generadores, detallándose los diferentes términos de la expresión para cada equipo generador.

- **Caldera de condensación**

El parámetro característico de la ley de costes de las calderas de condensación es la potencia nominal de la misma. La muestra de equipos considerados tiene las siguientes características:

Lista de fabricantes	Baxxi, Saunier Duval, Wolf, Viessman, Junkers, Vaillant, Generador de precios de Cype y Burderus
Número de equipos	101
Rango de potencia contemplado [kW]	20-300

- Coste de equipo

Representando el coste de los equipos frente a su potencia nominal, se obtiene la siguiente distribución y recta de ajuste:

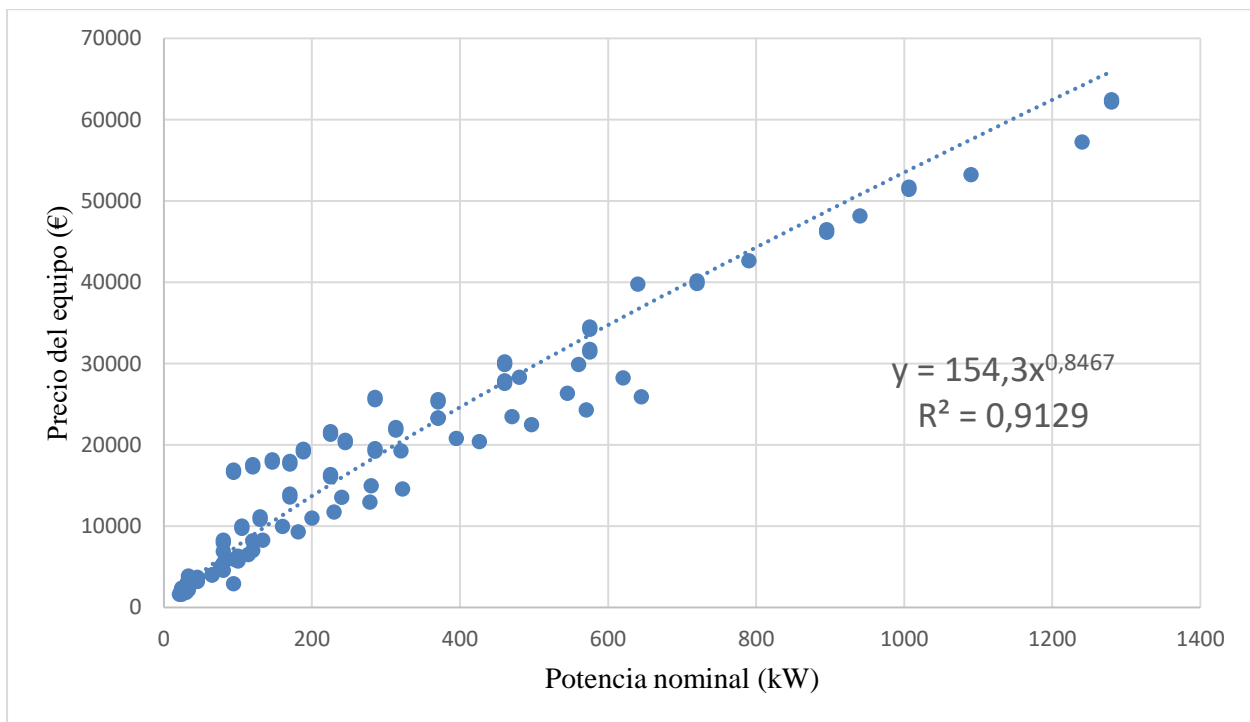


Figura 2.12: Recta de ajuste de las calderas de condensación.

La ley de coste del equipo resulta:

$$Coste_{equipo}[\text{€}] = 154.3 * Potencia^{0.8467}$$

- Factor de instalación

Para el cálculo del factor de instalación, se ha estudiado una submuestra de equipos de los que se conoce el precio unitario del equipo y el coste final, una vez instalado. De esta forma, es posible obtener un factor de instalación para cada equipo, calculándose un valor medio de factor de instalación de los equipos.

La submuestra estudiada es la siguiente:

Fabricante	Potencia	Precio unitario		Precio total	Finstalacion	
Cype	25	Elemento	Caldera	1624,75	1626,85	1,090266195
			Material auxiliar	2,10		
			Mano de obra	109,83		
			Costes directos complementarios	34,73		
		Total		1771,41		
	30	Elemento	Caldera	1862,40	1864,50	1,081303694
			Material auxiliar	2,10		
			Mano de obra	109,83		
			Costes directos complementarios	39,49		
		Total		2013,82		
	45	Elemento	Caldera	3607,50	3867,09	1,135268191
			Material auxiliar	259,59		
			Mano de obra	148,09		
			Costes directos complementarios	80,30		
		Total		4095,48		
	65	Elemento	Caldera	3997,50	4257,09	1,124210131
			Material auxiliar	259,59		
			Mano de obra	148,82		
			Costes directos complementarios	88,12		
		Total		4494,03		
	80	Elemento	Caldera	4585,00	4844,59	1,110968375
			Material auxiliar	259,59		
			Mano de obra	149,37		
			Costes directos complementarios	99,83		
Total			5093,79			
100	Elemento	Caldera	5703,75	5963,34	1,093264957	
		Material auxiliar	259,59			
		Mano de obra	150,10			
		Costes directos complementarios	122,27			
	Total		6235,71			
Junkers	21	Elemento	Caldera	1625,00	1726,02	1,152350769
			Material auxiliar	101,02		
			Mano de obra	109,83		
			Costes directos complementarios	36,72		
		Total		1872,57		
	30	Elemento	Caldera	2110,00	2148,60	1,091753555
			Material auxiliar	38,60		
			Mano de obra	109,83		
		Costes directos complementarios	45,17			
Total		2303,60				

SaunierDuval	26,7	Elemento	Caldera	2140,00	2268,60	1,13364486
			Material auxiliar	128,60		
			Mano de obra	109,83		
			Costes directos complementarios	47,57		
		Total		2426,00		
	32,8	Elemento	Caldera	2170,00	2298,60	1,132073733
			Material auxiliar	128,60		
			Mano de obra	109,83		
			Costes directos complementarios	48,17		
		Total		2456,60		
	32,8	Elemento	Caldera	3865,00	3922,10	1,064054334
			Material auxiliar	57,10		
Mano de obra			109,83			
Costes directos complementarios			80,64			
Total			4112,57			
Vaillant	23	Elemento	Caldera	2050,00	2112,10	1,105546341
			Material auxiliar	62,10		
			Mano de obra	109,83		
			Costes directos complementarios	44,44		
		Total		2266,37		
	31	Elemento	Caldera	3025,00	3086,68	1,077831405
			Material auxiliar	61,68		
			Mano de obra	109,83		
			Costes directos complementarios	63,93		
		Total		3260,44		
	80	Elemento	Caldera	5425,00	6348,08	1,22160553
			Material auxiliar	923,08		
			Mano de obra	149,18		
			Costes directos complementarios	129,95		
		Total		6627,21		
	100	Elemento	Caldera	6315,00	7298,08	1,202885194
			Material auxiliar	983,08		
			Mano de obra	149,18		
			Costes directos complementarios	148,96		
		Total		7596,22		
120	Elemento	Caldera	6995,00	7978,08	1,185302359	
		Material auxiliar	983,08			
		Mano de obra	150,54			
		Costes directos complementarios	162,57			
	Total		8291,19			

Buderus	45	Elemento	Caldera	3700,00	3965,88	1,137554054
			Material auxiliar	265,88		
			Mano de obra	160,54		
			Costes directos complementarios	82,53		
		Total		4208,95		

Tabla 2.5: Submuestra de calderas de condensación considerada para el cálculo del factor de instalación.

Se obtiene un factor de instalación medio de:

$$F_{instalación} = 1.13$$

- Ley de costes

Se toman los siguientes factores de descuento y biomasa:

$$F_{descuento} = 0.9$$

$$F_{biomasa} = 1$$

Obteniéndose la siguiente ley de costes de las calderas de condensación:

$$Coste_{generacion} [€] = (154.3 * Potencia^{0.8467}) * 1.13 * 0.9 * 1 = 156.92 * Potencia^{0.8467}$$

- Comprobación de ajuste

Finalmente, se comprueba cómo de precisa es la ley de costes obtenida, para ello se representa el coste estimado de los equipos (sin considerar el factor instalación, ni descuento, ni biomasa) frente al coste proporcionado por el distribuidor. Se obtiene la siguiente distribución:

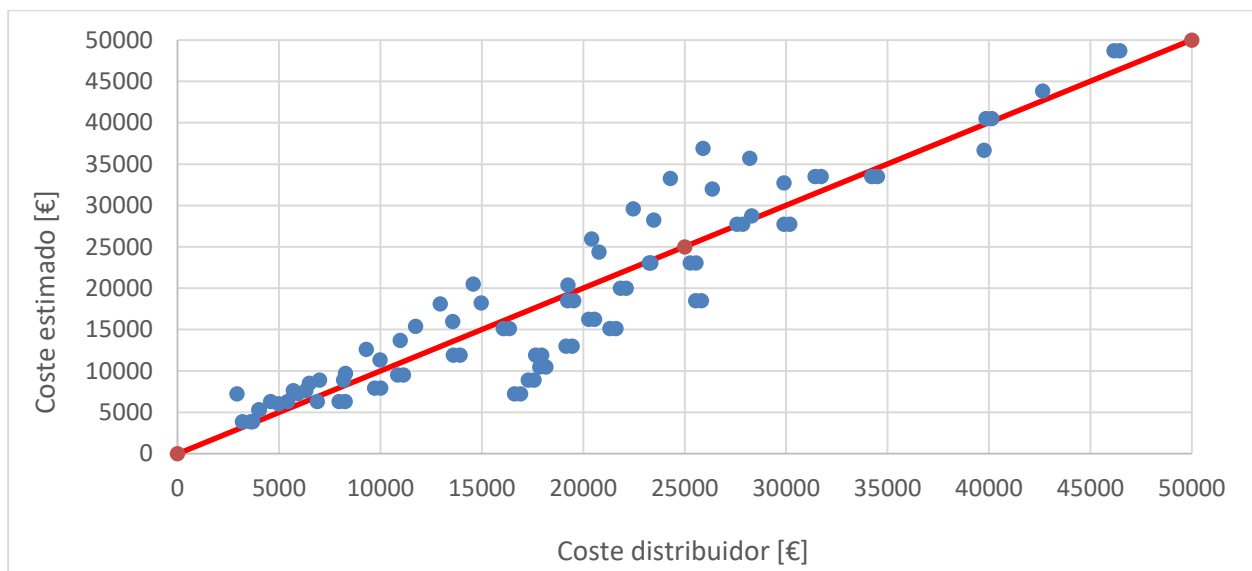


Figura 2.13: Distribución de costes estimados de las calderas de condensación.

Se puede observar cuántos equipos han sido subestimados (puntos por debajo de la recta diagonal) o sobreestimados (puntos por encima de la recta diagonal) en sus precios.

Además, se comprueba la desviación en los costes finales (considerando el factor de instalación, descuento y biomasa) de algunos equipos de los que se conocen los costes reales, considerada la instalación y puesta en

funcionamiento:

Nombre	Modelo	Potencia nominal [kW]	Precio final (€)	Precio final estimado (€)	Diferencia (€)	Error (%)
Junkers	ZWBC 22/24-2C	21	1872,57	2101,47	228,90	12,22
Vaillant	VMW 236/5-5	23	2266,37	2269,73	3,36	0,15
Vaillant	VM 264/5-7 (H-ES)	24	2426,00	2353,01	-72,99	-3,01
Cype	mt38cmj013a	24	1771,41	2353,01	581,60	32,83
SaunierDuval	ThermaCondens AS 25	26,7	2426,00	2575,29	149,29	6,15
Cype	mt38cbh012bb	30	2013,82	2842,35	828,53	41,14
Junkers	ZSB-30-2 E	30	2303,60	2842,35	538,75	23,39
Vaillant	VM 356/5-7 (H-ES)	31	3260,44	2922,37	-338,07	-10,37
SaunierDuval	ThermaCondens AS 30	32,8	2456,60	3065,42	608,82	24,78
SaunierDuval	IsofastCondens 35-B (H-ES)	32,8	4112,57	3065,42	-1047,15	-25,46
Cype	mt38cbu070aa	45	4095,48	4006,58	-88,90	-2,17
Buderus	Logamax Plus GB 162	45	4208,95	4006,58	-202,37	-4,81
Cype	mt38cbu070fa	65	4494,03	5470,07	976,04	21,72
Cype	mt38cbu070ka	80	5093,79	6521,47	1427,68	28,03
Vaillant	EcoTEC plus VM ES 806/5-5	80	6627,21	6521,47	-105,74	-1,60
Cype	mt38cbu070pa	100	6235,71	7877,70	1641,99	26,33
Vaillant	EcoTEC plus VM ES 1006/5-5	100	7596,89	7877,70	280,81	3,70
Vaillant	EcoTEC plus VM ES 1206/5-5	120	8291,19	9192,68	901,49	10,87

Tabla 2.6: Desviación de costes finales de las calderas de condensación.

- **Termo eléctrico**

La ley ha sido caracterizada en función del número de ocupantes en la vivienda, siguiendo lo estipulado en el anejo F del CTE DB HE, así se estima un consumo de ACS de 28 litros/persona día. Se determina la ocupación de las viviendas unifamiliares en función del número de dormitorios y la ocupación de las viviendas multifamiliares según el número de viviendas, de acuerdo con las tablas a y b del citado anejo.

Tabla a-Anejo F. Valores mínimos de ocupación de cálculo en uso residencial privado

Número de dormitorios	1	2	3	4	5	6	≥6
Número de Personas	1,5	3	4	5	6	6	7

Tabla b-Anejo F. Valor del factor de centralización en viviendas multifamiliares

Nº viviendas	N≤3	4≤N≤10	11≤N≤20	21≤N≤50	51≤N≤75	76≤N≤100	N≥101
Factor de centralización	1	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70

Tabla 2.7: Valores de ocupación en viviendas. Fuente: Código Técnico de la Edificación.

Debido a que la distinción que hace la tabla a del Anejo F del CTE DB HE es excesivamente precisa (consta de 7 posibles números de dormitorios), a que el porcentaje de viviendas con más de 3 dormitorios es muy bajo y a que las diferencias obtenidas al emplear esa distinción son mínimas, se divide la ley de costes del termo eléctrico en función de la tabla 2.1. del CTE DB HS 3. Esto es, viviendas de 0 y 1 dormitorio, viviendas de 2 dormitorios y viviendas de 3 o más dormitorios.

Tipo de vivienda	Caudal mínimo q_v en l/s				
	Locales secos ^{(1) (2)}			Locales húmedos ⁽²⁾	
	Dormitorio principal	Resto de dormitorios	Salas de estar y comedores ⁽³⁾	Mínimo en total	Mínimo por local
0 ó 1 dormitorios	8	-	6	12	6
2 dormitorios	8	4	8	24	7
3 o más dormitorios	8	4	10	33	8

(1) En los *locales* secos de las viviendas destinados a varios usos se considera el caudal correspondiente al uso para el que resulte un caudal mayor

(2) Cuando en un mismo *local* se den usos de *local* seco y húmedo, cada zona debe dotarse de su caudal correspondiente

(3) Otros *locales* pertenecientes a la vivienda con usos similares (salas de juego, despachos, etc.)

Tabla 2.8: Caudales mínimos de ventilación en locales. Fuente: Código Técnico de la Edificación.

Para facilitar la aplicación de las leyes de costes, se relaciona el número de dormitorios de la vivienda con la superficie de las mismas. Para ello se han analizado diferentes proyectos de ejecución de viviendas ^[24-29] y se han consultado diversos buscadores de inmuebles ^[30,31], tomándose unos valores de metros cuadrados según el número de dormitorios de las viviendas, pudiendo así caracterizar las leyes en función de los metros cuadrados.

Por tanto, se obtienen leyes diferentes según el número de dormitorios y los metros cuadrados de las viviendas estudiadas. La tabla 2.4. resume los valores considerados para establecer la ley de costes de los termos eléctricos.

Numero de dormitorios	Ocupación (personas)	Consumo de ACS (l/día)	Capacidad de los termos considerados (l)	Superficie de la vivienda (m²)
0 o 1 dormitorios	1,5	42	10 a 75	49
2 dormitorios	3	84	80 a 150	75
3 o más dormitorios	5,6	156,8	200 a 500	136

Tabla 2.9: Valores considerados para el desarrollo de las leyes de costes

La muestra de equipos considerados tiene las siguientes características:

Lista de fabricantes	Domusa Teknik, Junkers, Vaillant y Generador de precios de Cype
Número de equipos	39
Rango de potencia contemplado [kW]	1,2 - 6
Rango de capacidad contemplado [l]	10 - 500

Se toma un valor medio de potencia para las calderas eléctricas de 2 kW.

Se ha tomado el precio medio de los equipos del rango de capacidad adecuado para cada número de ocupantes. El valor de $F_{instalación}$ se obtiene como el valor medio de $F_{instalación}$ correspondiente a los equipos adecuados para ese número de ocupantes y en base al siguiente desglose del generador de precios de Cype:

Fabricante	Capacidad	Precio unitario		Precio total	Finstalacion	
Cype	10	Elemento	Termo	101,85	123,31	1,493765341
			Material auxiliar	21,46		
			Mano de obra	25,85		
			Costes directos complementarios	2,98		
		Total		152,14		
	30	Elemento	Termo	158,11	179,57	1,33704383
			Material auxiliar	21,46		
			Mano de obra	27,68		
			Costes directos complementarios	4,15		
		Total		211,40		
	50	Elemento	Termo	176,54	198,00	1,308768551
			Material auxiliar	21,46		
			Mano de obra	28,52		
			Costes directos complementarios	4,53		
		Total		231,05		
	75	Elemento	Termo	202,73	224,19	1,276574755
			Material auxiliar	21,46		
			Mano de obra	29,54		
			Costes directos complementarios	5,07		
		Total		258,80		
	100	Elemento	Termo	226,98	248,44	1,257467618
			Material auxiliar	21,46		
			Mano de obra	31,38		
			Costes directos complementarios	5,60		
		Total		285,42		
	120	Elemento	Termo	291,00	312,46	1,207766323
			Material auxiliar	21,46		
			Mano de obra	32,11		
Costes directos complementarios			6,89			
Total			351,46			
150	Elemento	Termo	421,95	443,41	1,152221827	
		Material auxiliar	21,46			
		Mano de obra	33,24			
		Costes directos complementarios	9,53			
	Total		486,18			
200	Elemento	Termo	496,64	518,10	1,136114691	
		Material auxiliar	21,46			
		Mano de obra	35,08			
		Costes directos complementarios	11,06			
	Total		564,24			

Cype	150	Elemento	Termo	421,95	443,41	1,152221827
			Material auxiliar	21,46		
			Mano de obra	33,24		
			Costes directos complementarios	9,53		
		Total		486,18		
	200	Elemento	Termo	496,64	518,10	
			Material auxiliar	21,46		
			Mano de obra	35,08		
			Costes directos complementarios	11,06		
		Total		564,24		

Tabla 2.10: Submuestra de termos eléctricos considerados para el cálculo del factor de instalación.

La ley resulta:

- Para una vivienda de menos de 75 m²:

$$Coste_{equipo}[\text{€}] = 176$$

$$F_{instalación} = 1.35$$

$$Coste_{generación}[\text{€}] = 176 * 1.35 * 0.9 * 1 = 213.84$$

- Para una vivienda de entre 75 y 136 m²:

$$Coste_{equipo}[\text{€}] = 317$$

$$F_{instalación} = 1.20$$

$$Coste_{generación}[\text{€}] = 317 * 1.20 * 0.9 * 1 = 342.36$$

- Para una vivienda de más de 136 m²:

$$Coste_{equipo}[\text{€}] = 959.5$$

$$F_{instalación} = 1.11$$

$$Coste_{generación}[\text{€}] = 959.5 * 1.11 * 0.9 * 1 = 958.54$$

Para viviendas plurifamiliares, se considerarán viviendas de 90 m² para el cálculo del número de viviendas en el bloque y se multiplicará el coste de generación por el número de viviendas.

Finalmente, se comprueba la desviación en los costes finales (considerando el factor de instalación, descuento y biomasa) de algunos equipos de los que se conocen los costes reales, considerada la instalación y puesta en funcionamiento:

Nombre	Modelo	Capacidad [l]	Precio final (€)	Precio final estimado (€)	Desviación (€)	Error (%)
Cype	mt38tew021aa	10	151,92	213,84	61,92	40,78
Junkers	Elacell 10L	10	140,06	213,84	73,78	52,67
Cype	mt38tew021bb	15	160,58	213,84	53,26	33,12
Junkers	Elacell 15L	15	155,36	213,84	58,48	37,6
Cype	mt38tew021cc	30	207,03	213,84	6,81	3,3
Junkers	Elacell 30L	30	187,82	213,84	26,02	13,95
Junkers	Elacell confort 35L	35	242,29	213,84	-28,45	-11,7
Cype	mt38tew020a	35	237,32	213,84	-23,48	-9,9
Cype	mt38tew021ee	50	226,26	213,84	-12,42	-5,5
Cype	mt38tew021ff	75	253,48	213,84	-39,64	-15,6
Cype	mt38tew021gg	80	269,37	342,36	72,99	27,1
Junkers	Elacell 80L	80	275,01	342,36	67,35	24,5
Junkers	Elacell 100L	100	285,42	342,36	56,94	19,9
Cype	mt38tew021hh	100	279,56	342,36	62,80	22,5
Junkers	Elacell 120	120	351,46	342,36	-9,10	-2,6
Cype	mt38tew021ii	120	344,32	342,36	-1,96	-0,6
Cype	mt38tew021jj	150	476,36	342,36	-134,00	-28,1
Junkers	Elacell 150L	150	486,18	342,36	-143,82	-29,6
Cype	mt38tew021kk	200	552,88	958,54	405,66	73,4
Junkers	Elacell 200L	200	564,24	958,54	394,30	69,9
Cype	mt38tew022k	300	797,82	958,54	160,72	20,1
Junkers	Elacell 300L	300	814,07	958,54	144,47	17,8
Cype	mt38tew022p	500	2166,58	958,54	-1208,04	-55,8
Junkers	Elacell 500L	500	2166,58	958,54	-1208,04	-55,8

Tabla 2.11: Desviación de costes finales de los termos eléctricos.

- **Caldera de biomasa**

El parámetro característico de la ley de costes de las calderas de biomasa es la potencia nominal de la misma. La muestra de equipos considerados tiene las siguientes características:

Lista de fabricantes	Met Mann, Domusatechnik, Ecoforest, Lasian, Ferrolí y Generador de precios de Cype
Número de equipos	55
Rango de potencia contemplado [kW]	5,3-373,7

- Coste de equipo

Representando el coste de los equipos frente a su potencia nominal, se obtiene la siguiente distribución y recta de ajuste:

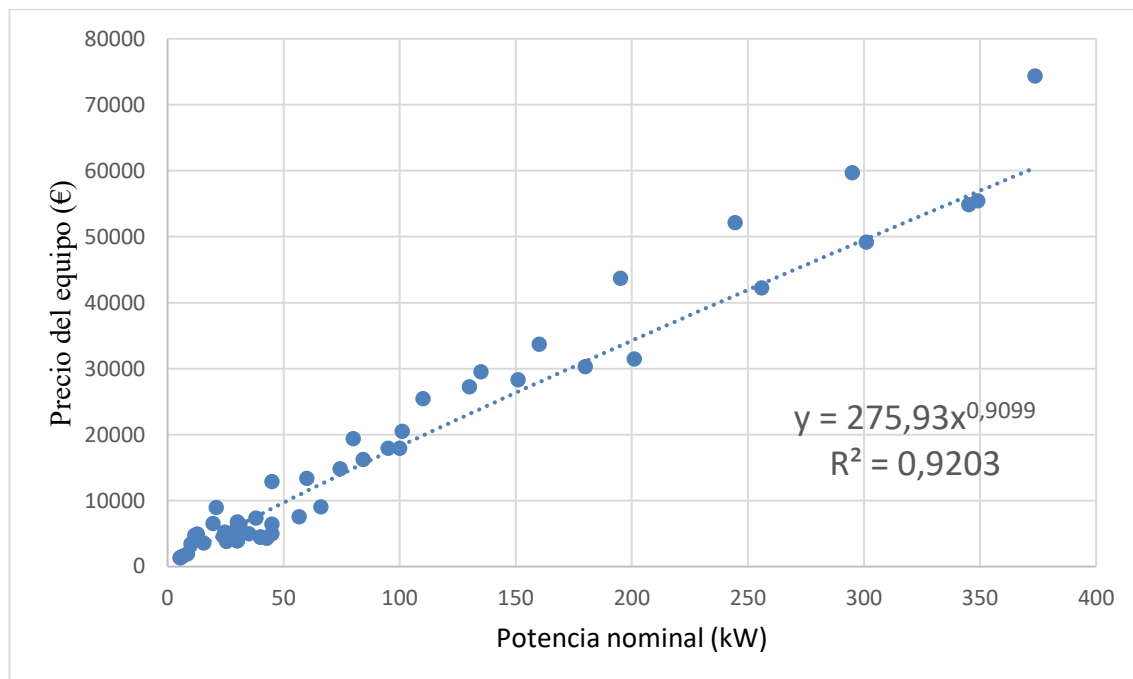


Figura 2.14: Recta de ajuste de las calderas de biomasa.

La ley de coste del equipo resulta:

$$Coste_{equipo} [€] = 275,93 * Potencia^{0,9099}$$

- Factor de instalación

Para el cálculo del factor de instalación, se ha estudiado una submuestra de equipos de los que se conoce el precio unitario del equipo y el coste final, una vez instalado. De esta forma, es posible obtener un factor de instalación para cada equipo, calculándose un valor medio de factor de instalación de los equipos.

Dado el carácter exponencial del coste de instalación de los equipos según su potencia, se distinguen dos factores de instalación diferentes.

- Para potencias hasta 60 kW.

La submuestra estudiada es la siguiente:

Fabricante	Potencia	Precio unitario		Precio total	Finstalacion	
Cype	21	Elemento	Caldera	8995,35	10647,01	1,22015746
			Material auxiliar	1651,66		
			Mano de obra	113,49		
			Costes directos complementarios	215,21		
		Total		10975,71		
	45	Elemento	Caldera	12882,68	15203,19	1,213583664
			Material auxiliar	2320,51		
			Mano de obra	124,47		
			Costes directos complementarios	306,55		
		Total		15634,21		
	60	Elemento	Caldera	13388,70	15203,19	1,213583664
			Material auxiliar	2320,51		
Mano de obra			128,14			
Costes directos complementarios			316,75			
Total			16154,10			

Tabla 2.12: Submuestra de calderas de biomasa de potencias hasta 60 kW considerada para el cálculo del factor de instalación.

Se obtiene un factor de instalación medio de:

$$F_{instalación} = 1.21$$

- Para potencias superiores a 60 kW.

La submuestra estudiada es la siguiente:

Fabricante	Potencia	Precio unitario		Precio total	Finstalacion	
Cype	80	Elemento	Caldera	19397,63	28899,17	1,531180871
			Material auxiliar	9501,54		
			Mano de obra	219,66		
			Costes directos complementarios	582,45		
		Total		29701,28		
	101	Elemento	Caldera	20525,70	30820,69	1,542513045
			Material auxiliar	10294,99		
			Mano de obra	219,66		
			Costes directos complementarios	620,81		
		Total		31661,16		
	130	Elemento	Caldera	27254,18	39135,55	1,472886361
			Material auxiliar	11881,37		
Mano de obra			219,66			
Costes directos complementarios			787,10			
Total			40142,31			

Cype	151	Elemento	Caldera	28315,95	40834,00	1,478838958
			Material auxiliar	12518,05		
			Mano de obra	219,66		
			Costes directos complementarios	821,07		
		Total		41874,73		
	180	Elemento	Caldera	30331,28	42849,33	1,448351998
			Material auxiliar	12518,05		
			Mano de obra	219,66		
			Costes directos complementarios	861,38		
		Total		43930,37		
	201	Elemento	Caldera	31475,93	43993,98	1,432774504
			Material auxiliar	12518,05		
			Mano de obra	219,66		
			Costes directos complementarios	884,27		
		Total		45097,91		
	256	Elemento	Caldera	42278,93	56300,43	1,363574953
			Material auxiliar	14021,50		
			Mano de obra	219,66		
			Costes directos complementarios	1130,40		
		Total		57650,49		
	301	Elemento	Caldera	49215,08	63136,58	1,3131211
			Material auxiliar	13921,50		
			Mano de obra	219,66		
			Costes directos complementarios	1269,12		
Total			64625,36			
349	Elemento	Caldera	55455,08	74542,68	1,374174196	
		Material auxiliar	19087,60			
		Mano de obra	219,66			
		Costes directos complementarios	1442,60			
	Total		76204,94			

Tabla 2.13: Submuestra de calderas de biomasa de potencias superiores a 60 kW considerada para el cálculo del factor de instalación.

Se obtiene un factor de instalación medio de:

$$F_{instalación} = 1.44$$

- Ley de costes

Se toman los siguientes factores de descuento y biomasa:

$$F_{descuento} = 0.9$$

$$F_{biomasa} = 1.15$$

Obteniéndose las siguientes leyes de costes de las calderas de biomasa:

- Para potencias hasta 60 kW.

$$Coste_{generacion}[\text{€}] = (275.93 * Potencia^{0.9099}) * 1.21 * 0.9 * 1.15 = 345.56 * Potencia^{0.9099}$$

- Para potencias superiores a 60 kW.

$$Coste_{generacion}[\text{€}] = (275.93 * Potencia^{0.9099}) * 1.21 * 0.9 * 1.15 = 411.25 * Potencia^{0.9099}$$

- Comprobación de ajuste

Finalmente, se comprueba cómo de precisa es la ley de costes obtenida, para ello se representa el coste estimado de los equipos (sin considerar el factor instalación, ni descuento, ni biomasa) frente al coste proporcionado por el distribuidor. Se obtiene la siguiente distribución:

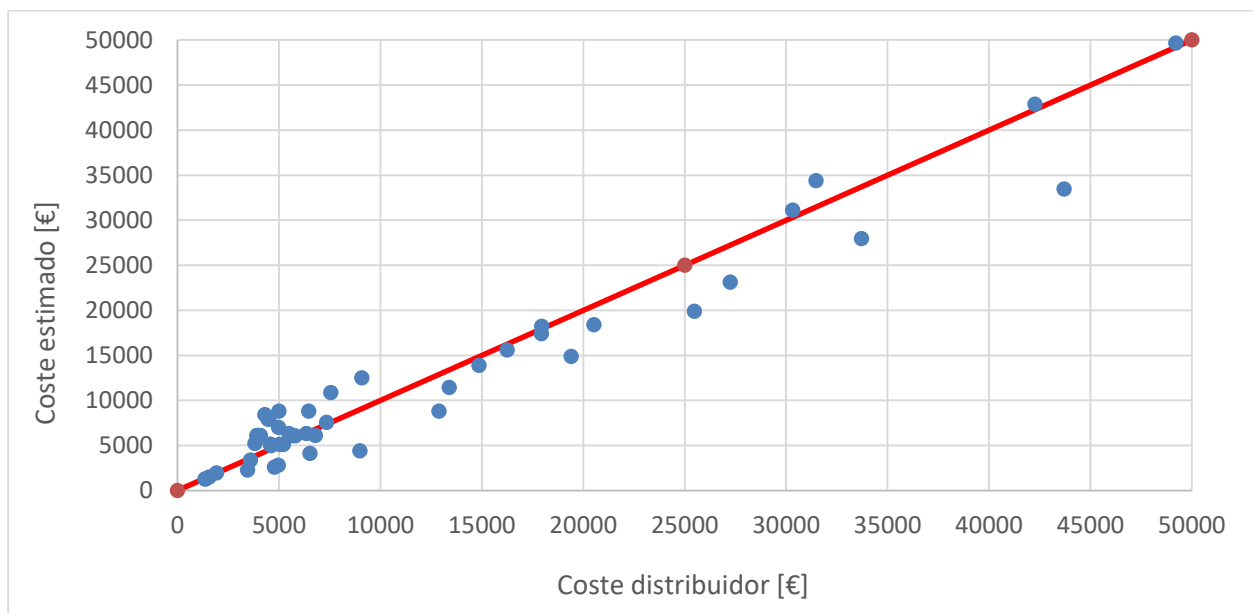


Figura 2.15: Distribución de costes estimados de las calderas de biomasa.

Se puede observar cuántos equipos han sido subestimados (puntos por debajo de la recta diagonal) o sobreestimados (puntos por encima de la recta diagonal) en sus precios.

Además, se comprueba la desviación en los costes finales (considerando el factor de instalación, descuento y biomasa) de algunos equipos de los que se conocen los costes reales, considerada la instalación y puesta en funcionamiento:

Nombre	Modelo	Potencia nominal [kW]	Precio final (€)	Precio final estimado (€)	Diferencia (€)	Error (%)
Cype	mt38cbh012bb	21	10975,77	7194,55	-3781,22	-34,5
Ecoforest	Vap 24	24	4724,24	8124,01	3399,77	71,9
Ecoforest	Vap 30	30	6968,24	9952,89	2984,65	42,8
Ecoforest	Vap 38	38	7534,34	12341,32	4806,98	63,8
Cype	mt38cbh012dd	45	15634,21	14393,77	-1240,44	-7,9
Cype	mt38cbh012ee	60	16154,10	18700,63	2546,53	15,8
Cype	mt38cbh018bna	80	29701,28	22168,05	-7533,23	-25,4
Ecoforest	Vap 100	100	18346,34	27158,51	8812,17	48
Cype	mt38cbh018bpc	101	31661,16	27405,51	-4255,65	-13,4
Cype	mt38cbh018bqd	130	40142,31	34481,25	-5661,06	-14,1
Cype	mt38cbh018bsf	151	41874,73	39514,55	-2360,18	-5,6
Cype	mt38cbh018btg	180	43930,37	46363,73	2433,36	5,5
Cype	mt38cbh018bvi	201	45097,91	51260,64	6162,73	13,7
Cype	mt38cbh018bxk	256	57650,49	63879,79	6229,30	10,8
Cype	mt38cbh018bzm	301	64625,36	74020,76	9395,40	14,5
Cype	mt38cbh007sa	349	76204,94	84688,17	8483,23	11,1

Tabla 2.14: Desviación de costes finales de las calderas de biomasa.

- **Bomba de calor eléctrica**

Se distinguen según su uso: Para calefacción, para refrigeración o para calefacción y refrigeración.

Se han estudiado las bombas de calor aire-agua en todos los casos.

- Para calefacción

El parámetro característico de es la potencia nominal de calefacción de la misma. La muestra de equipos considerados tiene las siguientes características:

Lista de fabricantes	Daikin, Ecoforest y Generador de precios de Cype
Número de equipos	7
Rango de potencia contemplado [kW]	9 - 25

- Coste de equipo

Dada la similitud entre los precios de los equipos estudiados se ha optado por tomar el precio medio de los mismos, resultando:

$$Coste_{equipo}[\text{€}] = 9350$$

- Factor de instalación

Para el cálculo del factor de instalación, se ha estudiado una submuestra de equipos de los que se conoce el precio unitario del equipo y el coste final, una vez instalado. De esta forma, es posible obtener un factor de instalación para cada equipo, calculándose un valor medio de factor de instalación de los equipos.

La submuestra estudiada es la siguiente:

Fabricante	Potencia	Precio Unitario		Precio total	Finstalacion	
Cype	9	Elemento	Equipo	7751,25	9852,69	1,354342848
			Material auxiliar	2101,44		
			Mano de obra	439,32		
			Costes directos complementarios	205,84		
		Total		10497,85		
	12	Elemento	Equipo	8667,75	10769,19	1,318990511
			Material auxiliar	2101,44		
			Mano de obra	439,32		
			Costes directos complementarios	224,17		
		Total		11432,68		
	25	Elemento	Equipo	9740,25	11841,69	1,286068633
			Material auxiliar	2101,44		
Mano de obra			439,32			
Costes directos complementarios			245,62			
Total			12526,63			
Daikin	11	Elemento	Equipo	8057,00	10128,99	1,296687353
			Material auxiliar	2071,99		
			Mano de obra	113,49		
			Costes directos complementarios	204,93		
		Total		10447,41		
	14	Elemento	Equipo	8970,00	11041,99	1,26977369
			Material auxiliar	2071,99		
			Mano de obra	124,47		
			Costes directos complementarios	223,41		
		Total		11389,87		
	16	Elemento	Equipo	10066,00	12141,99	1,243718458
			Material auxiliar	2075,99		
			Mano de obra	131,80		
			Costes directos complementarios	245,48		
		Total		12519,27		
		Elemento	Material auxiliar	2075,99		
			Mano de obra	131,80		
			Costes directos complementarios	245,48		
	Total		12519,27			

Tabla 2.15: Submuestra de bombas de calor eléctricas para producción de calefacción considerada para el cálculo del factor de instalación.

Se obtiene un factor de instalación medio de:

$$F_{instalación} = 1.30$$

- Ley de costes

Se toman los siguientes factores de descuento y biomasa:

$$F_{descuento} = 0.9$$

$$F_{biomasa} = 1$$

Obteniéndose las siguientes leyes de costes de las calderas de biomasa:

$$Coste_{generacion} [€] = 9350 * 1.30 * 0.9 * 1 = 10939.50$$

- Comprobación de ajuste

Se comprueba la desviación en los costes finales (considerando el factor de instalación, descuento y biomasa) de algunos equipos de los que se conocen los costes reales, considerada la instalación y puesta en funcionamiento:

Nombre	Modelo	Potencia nominal [kW]	Precio final (€)	Precio final estimado (€)	Diferencia (€)	Error (%)
Cype	mt42eco050aaa	9	10497,85	10939,50	441,65	4,2
Cype	mt42eco050aab	12	11432,69	10939,50	-493,19	-4,3
Cype	mt42eco050aac	25	12526,63	10939,50	-1587,13	-12,7
Daikin	EKHBRD011ADV17	11	10451,41	10939,50	488,09	4,7
Daikin	EKHBRD014ADV17	14	11393,87	10939,50	-454,37	-4
Daikin	EKHBRD016ADV17	16	12519,27	10939,50	-1579,77	-12,6

Tabla 2.16: Desviación de costes finales de las bombas de calor eléctricas para producción de calefacción.

- Para refrigeración

El parámetro característico de la ley de costes de las bombas de calor eléctricas para producción de frío es la potencia nominal de refrigeración de la misma. La muestra de equipos considerados tiene las siguientes características:

Lista de fabricantes	Carrier, Hitecsa, Daikin y Eurofred
Número de equipos	53
Rango de potencia contemplado [kW]	4 - 102

- Coste de equipo

Representando el coste de los equipos frente a su potencia nominal, se obtiene la siguiente distribución y recta de ajuste:

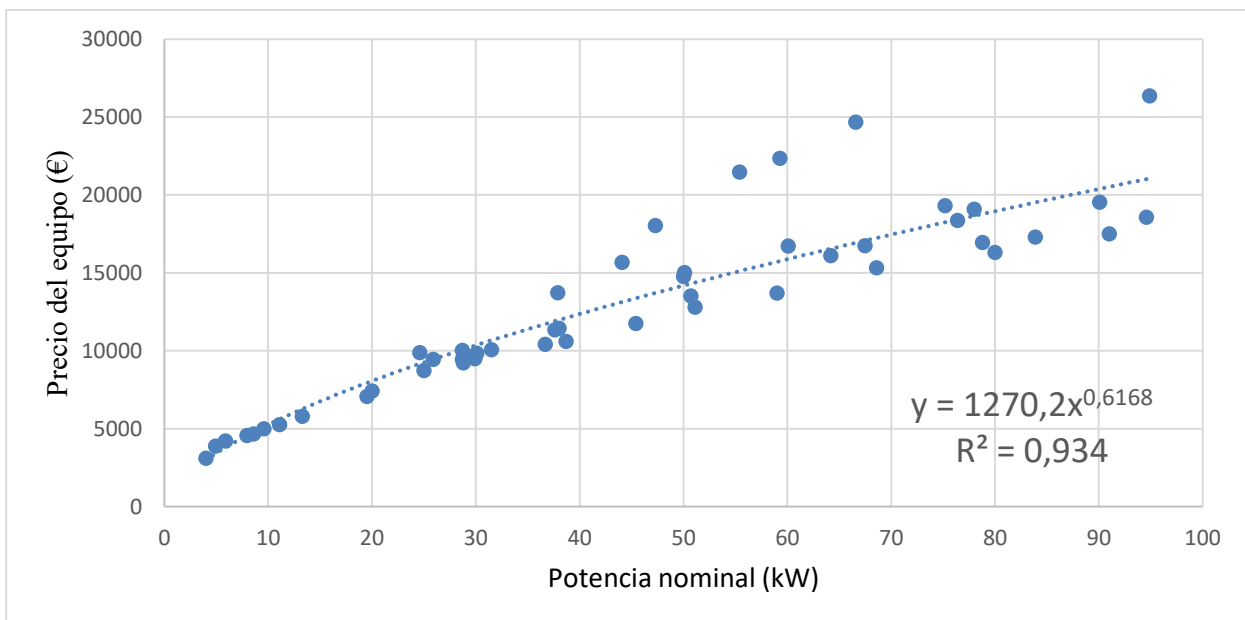


Figura 2.16: Recta de ajuste de las bombas de calor eléctricas para producción de frío.

La ley de coste del equipo resulta:

$$Coste_{equipo}[\text{€}] = 1270 * Potencia^{0.616}$$

- Factor de instalación

Para el cálculo del factor de instalación, se ha estudiado una submuestra de equipos de los que se conoce el precio unitario del equipo y el coste final, una vez instalado. De esta forma, es posible obtener un factor de instalación para cada equipo, calculándose un valor medio de factor de instalación de los equipos.

La submuestra estudiada es la siguiente:

Fabricante	Potencia	Precio Unitario		Precio total	Finstalacion	
Cype	15	Elemento	Equipo	1950,00	1950,00	1,030569231
			Material auxiliar	0,00		
			Mano de obra	20,21		
			Costes directos complementarios	39,40		
		Total		2009,61		
	33,8	Elemento	Equipo	2340,00	2340,00	1,039465812
			Material auxiliar	0,00		
			Mano de obra	44,66		
			Costes directos complementarios	47,69		
		Total		2432,35		
	46,3	Elemento	Equipo	2730,00	2730,00	1,04281685
			Material auxiliar	0,00		
			Mano de obra	61,07		
			Costes directos complementarios	55,82		
		Total		2846,89		
	65	Elemento	Equipo	3607,00	3607,00	1,044269476
			Material auxiliar	0,00		
			Mano de obra	85,81		
			Costes directos complementarios	73,87		
		Total		3766,68		
	85	Elemento	Equipo	4680,00	4680,00	1,044446581
			Material auxiliar	0,00		
			Mano de obra	112,17		
			Costes directos complementarios	95,84		
Total			4888,01			
104,7	Elemento	Equipo	5460,00	5460,00	1,045796703	
		Material auxiliar	0,00			
		Mano de obra	138,09			
		Costes directos complementarios	111,96			
	Total		5710,05			

Tabla 2.17: Submuestra de bombas de calor eléctricas para producción de frío considerada para el cálculo del factor de instalación.

Se obtiene un factor de instalación medio de:

$$F_{instalación} = 1.041$$

- Ley de costes

Se toman los siguientes factores de descuento y biomasa:

$$F_{descuento} = 0.9$$

$$F_{biomasa} = 1$$

Obteniéndose la siguiente ley de costes de las bombas de calor eléctricas para refrigeración:

$$Coste_{generacion}[\text{€}] = (1270 * Potencia^{0.616}) * 1.041 * 0.9 * 1 = 1189.86 * Potencia^{0.616}$$

- Comprobación de ajuste

Finalmente, se comprueba cómo de precisa es la ley de costes obtenida, para ello se representa el coste estimado de los equipos (sin considerar el factor instalación, ni descuento, ni biomasa) frente al coste proporcionado por el distribuidor. Se obtiene la siguiente distribución:

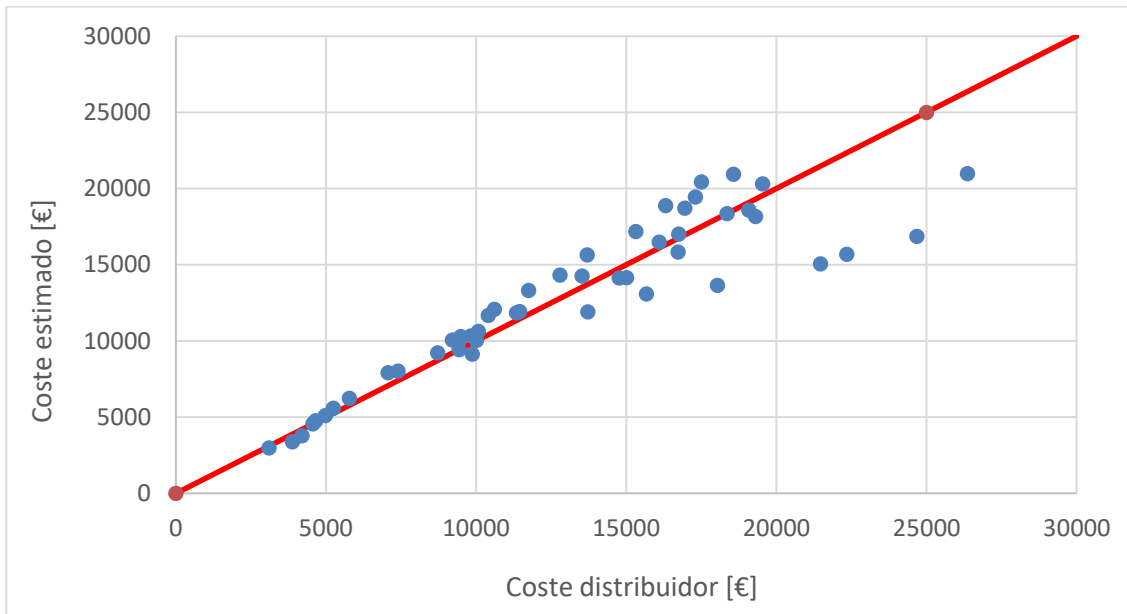


Figura 2.17: Distribución de costes estimados de las bombas de calor eléctricas para producción de frío.

Se puede observar cuántos equipos han sido subestimados (puntos por debajo de la recta diagonal) o sobreestimados (puntos por encima de la recta diagonal) en sus precios.

Además, se comprueba la desviación en los costes finales (considerando el factor de instalación, descuento y biomasa) de algunos equipos de los que se conocen los costes reales, considerada la instalación y puesta en funcionamiento:

Nombre	Modelo	Potencia nominal [kW]	Precio final (€)	Precio final estimado (€)	Diferencia (€)	Error (%)
Cype	mt42bcc120fea	19,5	7591,88	7915,26	323,38	4,3
Cype	mt42bcc120fed	28,8	10009,91	10064,44	54,53	0,5
Cype	mt42bcc120feg	50	15676,16	14137,39	-1538,77	-9,8
Cype	mt42bcc120fei	76,4	19457,81	18356,47	-1101,34	-5,7
Cype	mt42bcc120fek	94,9	27660,40	20979,72	-6680,68	-24,2

Tabla 2.18: Desviación de costes finales de las bombas de calor eléctricas para producción de frío.

▪ Para calefacción y refrigeración

El parámetro característico de la ley de costes de las bombas de calor eléctricas para producción de calor y frío es la potencia nominal de calefacción de la misma. La muestra de equipos considerados tiene las siguientes características:

Lista de fabricantes

Saunier Duval, Junkers, Ciat, Lennox,
Mitsubishi, Panasonic, Carrier, Daikin, Hitecsa
y Generador de precios de Cype

Número de equipos

84

Rango de potencia contemplado [kW]

3,3 - 81,8

- Coste de equipo

Representando el coste de los equipos frente a su potencia nominal, se obtiene la siguiente distribución y recta de ajuste:

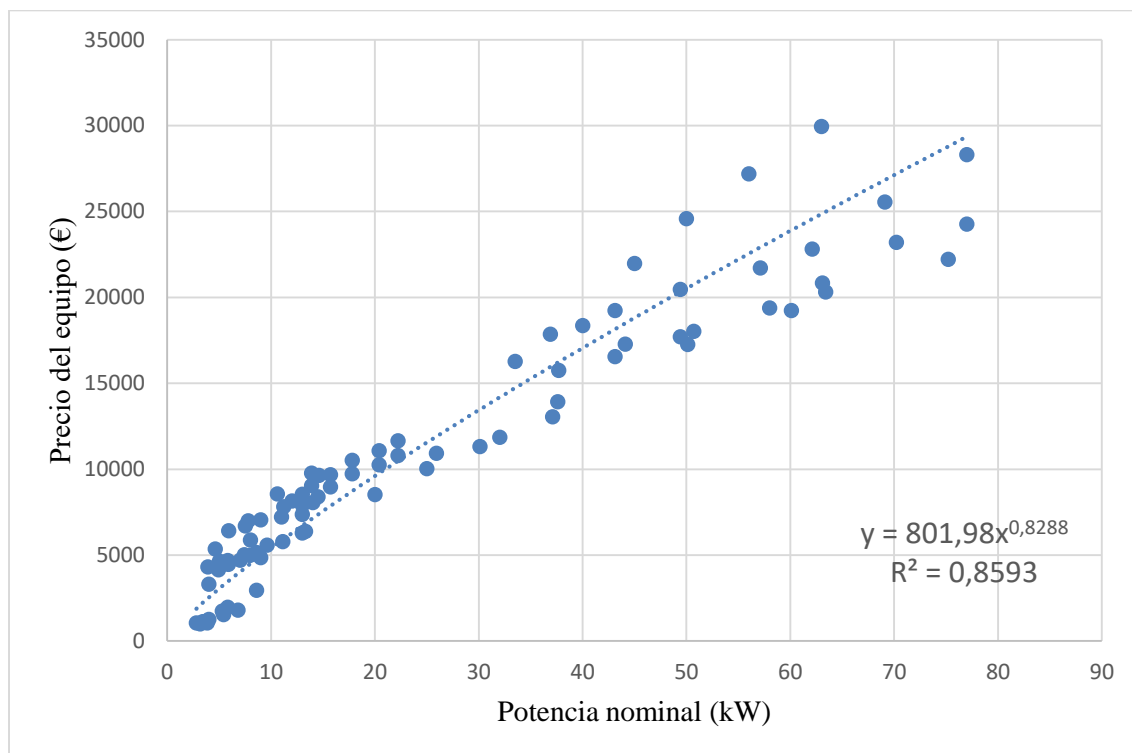


Figura 2.18: Recta de ajuste de las bombas de calor eléctricas para producción de calor y frío.

La ley de coste del equipo resulta:

$$Coste_{equipo}[\text{€}] = 801.9 * Potencia^{0.828}$$

- Factor de instalación

Para el cálculo del factor de instalación, se ha estudiado una submuestra de equipos de los que se conoce el precio unitario del equipo y el coste final, una vez instalado. De esta forma, es posible obtener un factor de instalación para cada equipo, calculándose un valor medio de factor de instalación de los equipos.

La submuestra estudiada es la siguiente:

Fabricante	Potencia (Cal/Ref)	Precio unitario		Precio total	Finstalacion	
Cype	9	Elemento	Equipo	5870,48	5902,28	1,042064703
			Material auxiliar	31,80		
			Mano de obra	95,19		
			Costes directos complementarios	119,95		
		Total		6117,42		
	11	Elemento	Equipo	7206,23	7238,03	1,0405649
			Material auxiliar	31,80		
			Mano de obra	113,49		
			Costes directos complementarios	147,03		
		Total		7498,55		
Daikin	4,6/4,31	Elemento	Equipo	5357,00	5966,12	1,148805301
			Material auxiliar	609,12		
			Mano de obra	67,36		
			Costes directos complementarios	120,67		
		Total		6154,15		
	5,9/4,87	Elemento	Equipo	6418,00	7027,12	1,129490495
			Material auxiliar	609,12		
			Mano de obra	79,81		
			Costes directos complementarios	142,14		
		Total		7249,07		
	7,8/5,35	Elemento	Equipo	6983,00	7592,12	1,122663612
			Material auxiliar	609,12		
			Mano de obra	93,72		
			Costes directos complementarios	153,72		
		Total		7839,56		
Junkers	5/5,9	Elemento	Equipo	4650,00	5445,48	1,212
			Material auxiliar	795,48		
			Mano de obra	79,81		
			Costes directos complementarios	110,51		
		Total		5635,80		
	7/6,7	Elemento	Equipo	4700,00	5495,48	1,21122766
			Material auxiliar	795,48		
			Mano de obra	85,67		
			Costes directos complementarios	111,62		
		Total		5692,77		

Junkers	9/9,3	Elemento	Equipo	4850,00	5645,48	1,209315464
			Material auxiliar	795,48		
			Mano de obra	104,70		
			Costes directos complementarios	115,00		
		Total		5865,18		
	13/11,1	Elemento	Equipo	6290,00	7085,48	1,167461049
			Material auxiliar	795,48		
			Mano de obra	113,86		
			Costes directos complementarios	143,99		
		Total		7343,33		
Panasonic	9/7	Elemento	Equipo	7047,00	7234,62	1,061993756
			Material auxiliar	187,62		
			Mano de obra	102,51		
			Costes directos complementarios	146,74		
		Total		7483,87		
	12/10	Elemento	Equipo	8146,00	8333,62	1,058162288
			Material auxiliar	187,62		
			Mano de obra	117,15		
			Costes directos complementarios	169,02		
		Total		8619,79		
Saunier Duval	10,6/7,9	Elemento	Equipo	8550,00	8558,00	1,032222222
			Material auxiliar	8,00		
			Mano de obra	94,45		
			Costes directos complementarios	173,05		
		Total		8825,50		
	14,6/10,8	Elemento	Equipo	9640,00	9648,00	1,032778008
			Material auxiliar	8,00		
			Mano de obra	112,76		
			Costes directos complementarios	195,22		
		Total		9955,98		

Tabla 2.19: Submuestra de bombas de calor eléctricas para producción de calor y frío considerada para el cálculo del factor de instalación.

Se obtiene un factor de instalación medio de:

$$F_{instalación} = 1.11$$

- Ley de costes

Se toman los siguientes factores de descuento y biomasa:

$$F_{descuento} = 0.9$$

$$F_{biomasa} = 1$$

Obteniéndose la siguiente ley de costes de las bombas de calor eléctricas para calefacción y refrigeración:

$$Coste_{generacion}[\text{€}] = (801.9 * Potencia^{0.828}) * 1.11 * 0.9 * 1 = 801,90 * Potencia^{0.828}$$

- Comprobación de ajuste

Finalmente, se comprueba cómo de precisa es la ley de costes obtenida, para ello se representa el coste estimado de los equipos (sin considerar el factor instalación, ni descuento, ni biomasa) frente al coste proporcionado por el distribuidor. Se obtiene la siguiente distribución:

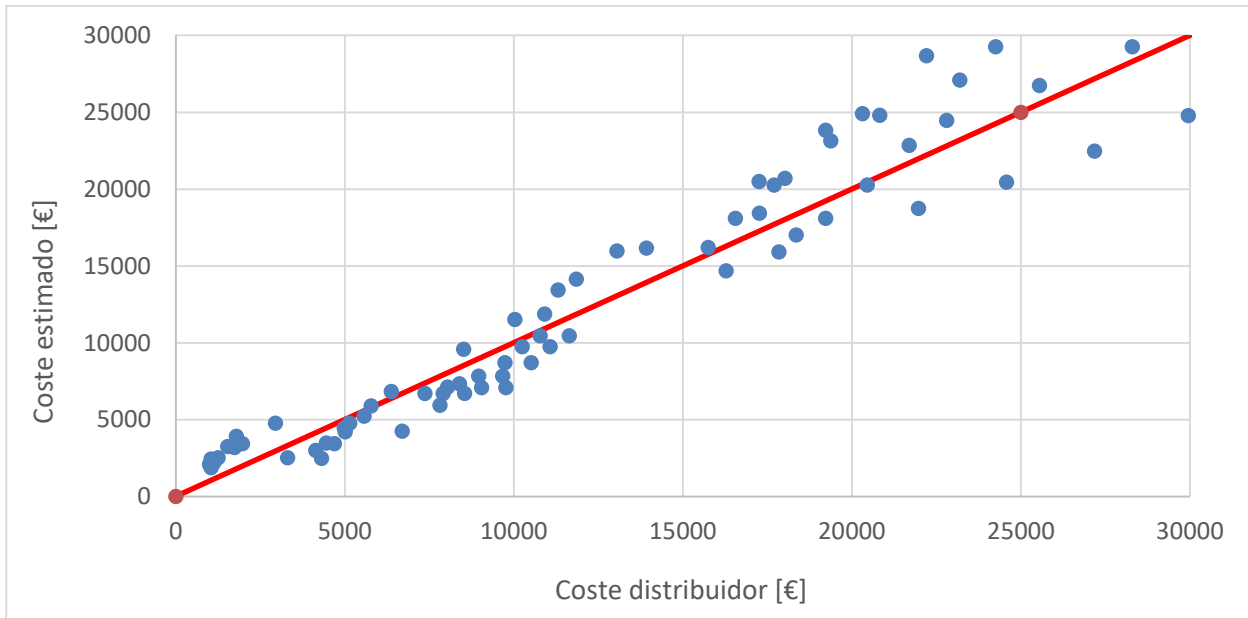


Figura 2.19: Distribución de costes estimados de las bombas de calor eléctricas para producción de calor y frío.

Se puede observar cuántos equipos han sido subestimados (puntos por debajo de la recta diagonal) o sobrestimados (puntos por encima de la recta diagonal) en sus precios.

Además, se comprueba la desviación en los costes finales (considerando el factor de instalación, descuento y biomasa) de algunos equipos de los que se conocen los costes reales, considerada la instalación y puesta en funcionamiento:

Nombre	Modelo	Potencia nominal [kW]	Precio final (€)	Precio final estimado (€)	Diferencia (€)	Error (%)
Daikin	EHSX04P30D	4,6	6154,15	2834,29	-3319,86	-54
Junkers	Hydro ACM 8-185	5	5635,80	3036,89	-2598,91	-46,1
Daikin	EHSX08P30D	5,9	7249,07	3482,95	-3766,12	-52
Junkers	Hydro ACM 8-186	7	5692,77	4012,57	-1680,20	-29,5
Daikin	EHSX08P30D	7,8	7839,56	4388,70	-3450,86	-44
Cype	mt42mhi700a	8	6117,42	4481,67	-1635,75	-26,7
Junkers	Hydro ACM 8-187	9	5865,18	4940,76	-924,42	-15,8
Panasonic	WH-ADC0309H3E5	9	4783,87	4940,76	156,89	3,3
Saunier Duval	Genia Set 11	10,6	8825,50	5657,63	-3167,87	-35,9
Cype	mt42mhi700r	11	7498,55	5833,84	-1664,71	-22,2
Panasonic	WH-ADC0309H3E6	12	8619,79	6269,65	-2350,14	-27,3
Junkers	Hydro ACM 8-188	13	7343,33	6699,25	-644,08	-8,8
Saunier Duval	Genia Set 15	14,6	9955,98	7375,06	-2580,92	-25,9

Tabla 2.20: Desviación de costes finales de las bombas de calor eléctricas para producción de calor y frío.

- **Bomba de calor a gas**

Se distinguen según sean colectivas (de tipo Roof-top) o individuales (de tipo mural)

- Colectivas

El parámetro característico es la potencia nominal de refrigeración de la misma. La muestra de equipos considerados tiene las siguientes características:

Lista de fabricantes	Aisin y Generador de precios de Cype
Número de equipos	13
Rango de potencia contemplado [kW]	25 - 210

- Coste de equipo

Representando el coste de los equipos frente a su potencia nominal, se obtiene la siguiente distribución y recta de ajuste:

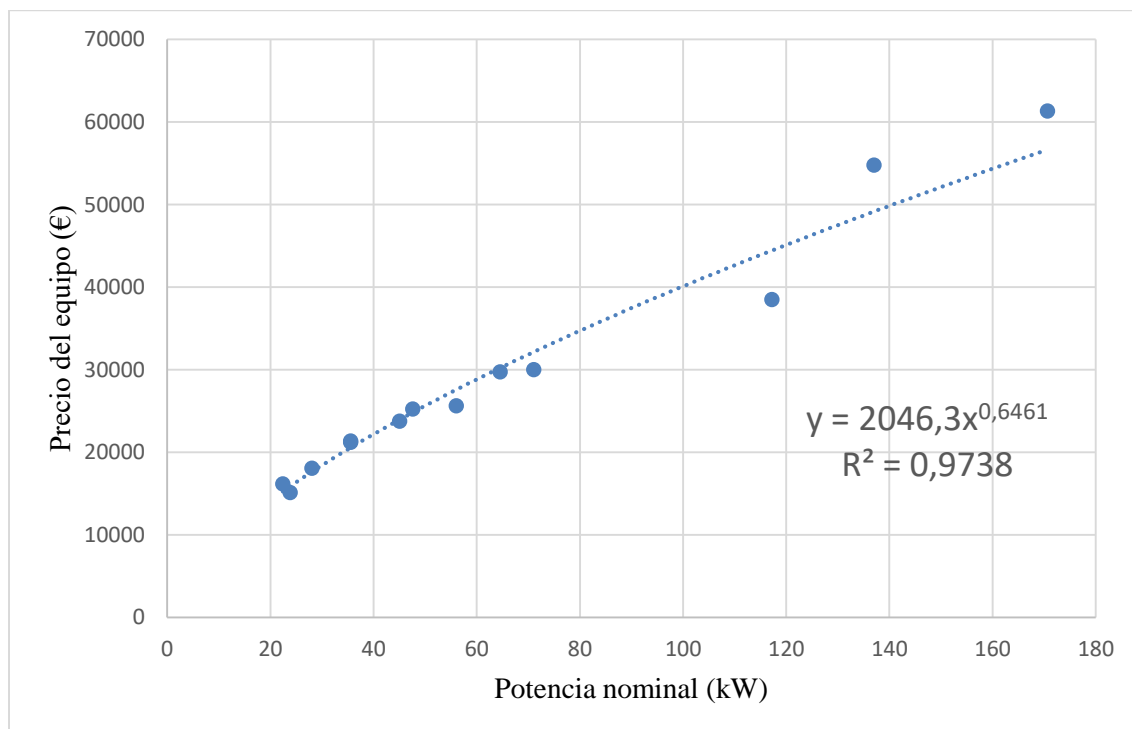


Figura 2.20: Recta de ajuste de las bombas de calor a gas colectivas.

La ley de coste del equipo resulta:

$$Coste_{equipo} [€] = 2046.3 * Potencia^{0.646}$$

- Factor de instalación

Para el cálculo del factor de instalación, se ha estudiado una submuestra de equipos de los que se conoce el precio unitario del equipo y el coste final, una vez instalado. De esta forma, es posible obtener un factor de instalación para cada equipo, calculándose un valor medio de factor de instalación de los equipos.

La submuestra estudiada es la siguiente:

Fabricante	Potencia	Precio unitario			Precio total	Instalacion
Cype	33,8	Elemento	Equipo	15112,50	15112,50	1,023143093
			Material auxiliar	0,00		
			Mano de obra	46,57		
			Costes directos complementarios	303,18		
		Total		15462,25		
	59,2	Elemento	Equipo	21352,50	21352,50	1,023329821
			Material auxiliar	0,00		
			Mano de obra	69,71		
			Costes directos complementarios	428,44		
		Total		21850,65		
	98,8	Elemento	Equipo	29737,50	29737,50	1,024339639
			Material auxiliar	0,00		
			Mano de obra	126,52		
			Costes directos complementarios	597,28		
		Total		30461,30		
	130	Elemento	Equipo	38512,50	38512,50	1,024785979
			Material auxiliar	0,00		
			Mano de obra	180,71		
			Costes directos complementarios	773,86		
		Total		39467,07		
	170	Elemento	Equipo	54795,00	54795,00	1,026346017
			Material auxiliar	0,00		
			Mano de obra	340,91		
			Costes directos complementarios	1102,72		
Total			56238,63			
209,4	Elemento	Equipo	61327,50	61327,50	1,027063226	
		Material auxiliar	0,00			
		Mano de obra	424,68			
		Costes directos complementarios	1235,04			
	Total		62987,22			

Tabla 2.21: Submuestra de bombas de calor a gas colectivas considerada para el cálculo del factor de instalación.

Se obtiene un factor de instalación medio de:

$$F_{instalación} = 1.025$$

- Ley de costes

Se toman los siguientes factores de descuento y biomasa:

$$F_{descuento} = 0.9$$

$$F_{biomasa} = 1$$

Obteniéndose la siguiente ley de costes de las bombas de calor a gas colectivas:

$$Coste_{generacion} [€] = (2046.3 * Potencia^{0.646}) * 1.025 * 0.9 * 1 = 1887.71 * Potencia^{0.646}$$

- Comprobación de ajuste

Finalmente, se comprueba cómo de precisa es la ley de costes obtenida, para ello se representa el coste estimado de los equipos (sin considerar el factor instalación, ni descuento, ni biomasa) frente al coste proporcionado por el distribuidor. Se obtiene la siguiente distribución:

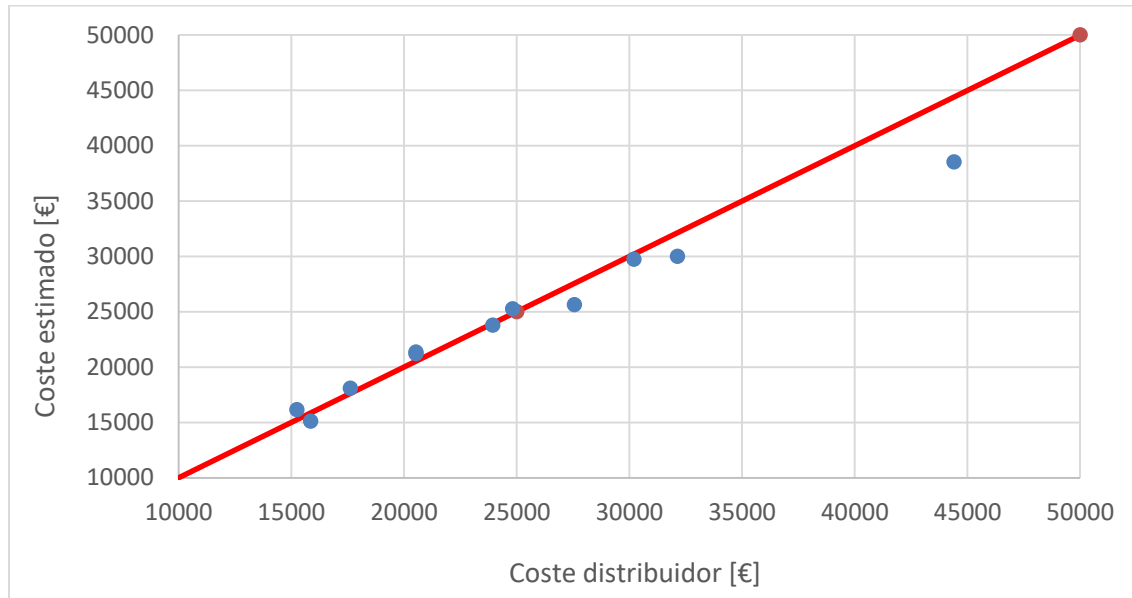


Figura 2.21: Distribución de costes estimados de las bombas de calor a gas colectivas.

Se puede observar cuántos equipos han sido subestimados (puntos por debajo de la recta diagonal) o sobreestimados (puntos por encima de la recta diagonal) en sus precios.

Además, se comprueba la desviación en los costes finales (considerando el factor de instalación, descuento y biomasa) de algunos equipos de los que se conocen los costes reales, considerada la instalación y puesta en funcionamiento:

Nombre	Modelo	Potencia nominal [kW]	Precio final final (€)	Precio final estimado (€)	Desviación (€)	Error (%)
Cype	mt42tnc010a	23,8	15112,50	14628,64	-483,86	-3,2
Cype	mt42tnc010b	35,5	21352,50	18940,12	-2412,38	-11,3
Cype	mt42tnc010c	47,6	25852,85	22891,24	-2961,61	-11,4
Cype	mt42tnc010d	64,5	30461,30	27855,49	-2605,81	-8,6
Cype	mt42tnc010e	117,2	39467,07	40969,67	1502,60	3,8
Cype	mt42tnc010f	137	56238,63	45316,54	-10922,09	-19,4
Cype	mt42tnc010g	170,6	62987,22	52214,81	-10772,41	-17,1

Tabla 2.22: Desviación de costes finales de las bombas de calor a gas colectivas.

- Individuales

El parámetro característico es la potencia nominal de calefacción de la misma. La muestra de equipos considerados tiene las siguientes características:

Lista de fabricantes	Generador de precios de Cype
Número de equipos	6
Rango de potencia contemplado [kW]	15 - 105

- Coste de equipo

Representando el coste de los equipos frente a su potencia nominal, se obtiene la siguiente distribución y recta de ajuste:

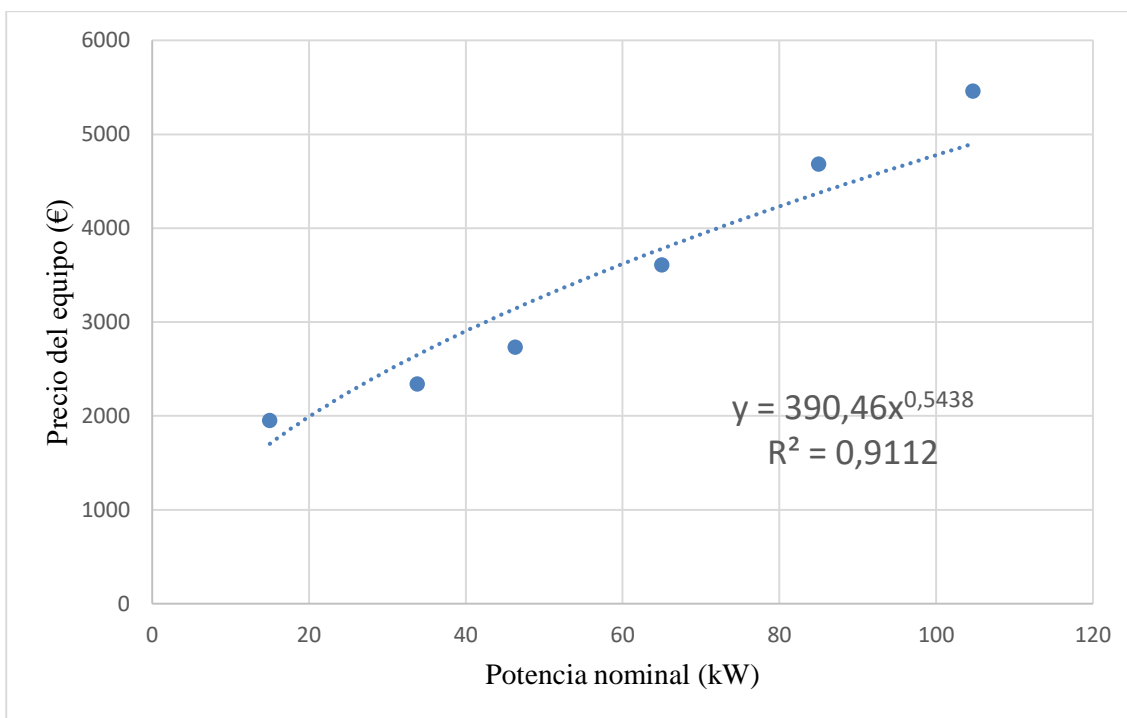


Figura 2.22: Recta de ajuste de las bombas de calor a gas individuales.

La ley de coste del equipo resulta:

$$Coste_{equipo}[\text{€}] = 390.4 * Potencia^{0.543}$$

- Factor de instalación

Para el cálculo del factor de instalación, se ha estudiado una submuestra de equipos de los que se conoce el precio unitario del equipo y el coste final, una vez instalado. De esta forma, es posible obtener un factor de instalación para cada equipo, calculándose un valor medio de factor de instalación de los equipos.

La submuestra estudiada es la siguiente:

Fabricante	Potencia	Precio unitario			Precio total	Finstalacion
Cype	15	Elemento	Equipo	1950,00	1950,00	1,030569231
			Material auxiliar	0,00		
			Mano de obra	20,21		
			Costes directos complementarios	39,40		
		Total		2009,61		
	33,8	Elemento	Equipo	2340,00	2340,00	1,039465812
			Material auxiliar	0,00		
			Mano de obra	44,66		
			Costes directos complementarios	47,69		
		Total		2432,35		
	46,3	Elemento	Equipo	2730,00	2730,00	1,04281685
			Material auxiliar	0,00		
			Mano de obra	61,07		
			Costes directos complementarios	55,82		
		Total		2846,89		
	65	Elemento	Equipo	3607,00	3607,00	1,044269476
			Material auxiliar	0,00		
			Mano de obra	85,81		
			Costes directos complementarios	73,87		
		Total		3766,68		
	85	Elemento	Equipo	4680,00	4680,00	1,044446581
			Material auxiliar	0,00		
			Mano de obra	112,17		
			Costes directos complementarios	95,84		
Total			4888,01			
104,7	Elemento	Equipo	5460,00	5460,00	1,045796703	
		Material auxiliar	0,00			
		Mano de obra	424,68			
		Costes directos complementarios	1235,04			
	Total		5710,05			

Tabla 2.23: Submuestra de bombas de calor a gas individuales considerada para el cálculo del factor de instalación.

Se obtiene un factor de instalación medio de:

$$F_{instalación} = 1.04$$

- Ley de costes

Se toman los siguientes factores de descuento y biomasa:

$$F_{descuento} = 0.9$$

$$F_{biomasa} = 1$$

Obteniéndose la siguiente ley de costes de las bombas de calor a gas individuales:

$$Coste_{generacion} [€] = (390.46 * Potencia^{0.5438}) * 1.04 * 0.9 * 1 = 365.47 * Potencia^{0.5438}$$

- Comprobación de ajuste

Finalmente, se comprueba la desviación en los costes finales (considerando el factor de instalación, descuento y biomasa) de algunos equipos de los que se conocen los costes reales, considerada la instalación y puesta en funcionamiento:

Nombre	Modelo	Potencia nominal [kW]	Precio final (€)	Precio final estimado (€)	Desviación (€)	Error (%)
Cype	mt42tnc050a	15	2009,61	1593,71	-415,90	-20,7
Cype	mt42tnc050c	33,8	2432,35	2479,00	46,65	1,9
Cype	mt42tnc050d	46,3	2846,89	2941,67	94,78	3,3
Cype	mt42tnc050e	65	3767,18	3537,64	-229,54	-6,1
Cype	mt42tnc050f	85	4888,01	4093,26	-794,75	-16,3
Cype	mt42tnc050g	104,7	5710,05	4584,57	-1125,48	-19,8

Tabla 2.24: Desviación de costes finales de las bombas de calor a gas individuales.

- **Solar térmica**

El parámetro característico de esta ley de costes es la superficie de captación.

Se distinguen los captadores planos de los de tubos de vacío.

- Captadores planos

La muestra de equipos considerados tiene las siguientes características:

Lista de fabricantes	Buderus, Termicol, Viessmann, Baxi, Wolf, Junkers, Saunier Duval, Vaillant, Lumelco y Generador de precios de Cype
Número de equipos	62
Área de captación media [m ²]	2.68
Precio por metro cuadrado medio [€/m ²]	310.48

- Coste de equipo

Dada la semejanza en el precio por metro cuadrado de los equipos, el coste de los mismos se considera como el valor medio, resultando:

$$Coste_{equipo}[\text{€}] = 310.48 * \text{Área}$$

- Factor de instalación

Para el cálculo del factor de instalación, se ha estudiado una submuestra de equipos de los que se conoce el precio unitario del equipo y el coste final, una vez instalado. De esta forma, es posible obtener un factor de instalación para cada equipo, calculándose un valor medio de factor de instalación de los equipos.

La submuestra estudiada es la siguiente:

Fabricante	Área	Precio unitario	Precio /m ²	Precio estimado	Precio final	Finstalacion
Cype	2,1	391	186,19	652,01	1700,43	2,607989473
Junkers	2,426	795	327,70	753,22	2364,02	3,13853315
Lumelco	2,58	590	228,68	801,04	1880,54	2,347627779
Saunier Duval	2,35	605	257,45	729,63	1976,42	2,708805035
Vaillant	2,35	620	263,83	729,63	2233,00	3,060463688

Tabla 2.25: Submuestra de captadores planos considerados para el cálculo del factor de instalación.

Se obtiene un factor de instalación medio de:

$$F_{instalación} = 2.77$$

- Ley de costes

Se toman los siguientes factores de descuento y biomasa:

$$F_{descuento} = 0.9$$

$$F_{biomasa} = 1$$

Obteniéndose la siguiente ley de costes de los captadores:

$$Coste_{generacion}[\text{€}] = (310.48 * \text{Área}) * 2.77 * 0.9 * 1 = 774.03 * \text{Área}$$

- Comprobación de ajuste

Finalmente, se comprueba la desviación en los costes finales (considerando el factor de instalación, descuento y biomasa) de algunos equipos de los que se conocen los costes reales, considerada la instalación y puesta en funcionamiento:

Fabricante	Área	Precio final	Precio final estimado	Desviación (€)	Error(%)
Cype	2,1	1700,43	1625,46	-74,97	-4,4
Junkers	2,426	2364,02	1877,80	-486,22	-20,6
Lumelco	2,58	1880,54	1997,00	116,46	6,2
Saunier Duval	2,35	1976,42	1818,97	-157,45	-7,9
Vaillant	2,35	2233,00	1818,97	-414,03	-18,5

Tabla 2.26: Desviación de costes finales de los captadores planos.

▪ Tubos de vacío

La muestra de equipos considerados tiene las siguientes características:

Lista de fabricantes	Junkers, Vaillant, Lumelco y Generador de precios de Cype
Número de equipos	7
Área de captación media [m ²]	2.25
Precio por metro cuadrado medio [€/m ²]	820.93

- Coste de equipo

Dada la semejanza en el precio por metro cuadrado de los equipos, el coste de los mismos se considera como el valor medio, resultando:

$$Coste_{equipo}[\text{€}] = 801.07 * \text{Área}$$

- Factor de instalación

Para el cálculo del factor de instalación, se ha estudiado una submuestra de equipos de los que se conoce el precio unitario del equipo y el coste final, una vez instalado. De esta forma, es posible obtener un factor de instalación para cada equipo, calculándose un valor medio de factor de instalación de los equipos.

La submuestra estudiada es la siguiente:

Fabricante	Área	Precio unitario	Precio /m ²	Precio estimado	Precio final	Finstalacion
Cype	1,125	821	729,78	901,20	2653,81	2,944739189
Junkers	0,98	630	642,86	785,05	2185,91	2,78442634
	0,46	490	1065,22	368,49	1900,31	5,156988398
Vaillant	1	770	770,00	801,07	2671,6	3,335039385
	2	1595	797,50	1602,14	4375,00	2,730722658

Tabla 2.27: Submuestra de captadores de tubo de vacío considerada para el cálculo del factor de instalación.

Se obtiene un factor de instalación medio de:

$$F_{instalación} = 3.39$$

- Ley de costes

Se toman los siguientes factores de descuento y biomasa:

$$F_{descuento} = 0.9$$

$$F_{biomasa} = 1$$

Obteniéndose la siguiente ley de costes de los tubos de vacío:

$$Coste_{generacion}[\text{€}] = (801.07 * \text{Área}) * 3.39 * 0.9 * 1 = 2444.07 * \text{Área}$$

- Comprobación de ajuste

Finalmente, se comprueba la desviación en los costes finales (considerando el factor de instalación, descuento y biomasa) de algunos equipos de los que se conocen los costes reales, considerada la instalación y puesta en funcionamiento:

Fabricante	Área (m ²)	Precio final (€)	Precio final estimado (€)	Desviación (€)	Error (%)
Cype	1,125	2653,81	2749,57	95,76	3,6
Junkers	0,98	2185,91	2395,18	209,27	9,6
	0,46	1900,31	1124,27	-776,04	-40,8
Vaillant	1	2671,6	2444,07	-227,54	-8,5
	2	4375,00	4888,13	513,13	11,7

Tabla 2.28: Desviación de costes finales de los captadores de tubos de vacío.

2.3.2.- Coste de las Unidades Terminales

El coste de las unidades terminales se obtiene de forma análoga a los equipos generadores, según la siguiente expresión:

$$Coste_{UT}[\text{€}] = Coste_{equipo} * F_{instalación} * F_{descuento}$$

Donde:

$Coste_{equipo}$: es el precio unitario de los equipos y se detalla a continuación

$F_{instalación}$: Es un valor porcentual del precio unitario del equipo que representa el incremento de coste debido a la instalación. Es variable según el equipo estudiado.

$F_{descuento}$: Es igual a 0.9 (esto es un 10% de descuento sobre el P.V.P.

A continuación, se describirá el coste de las unidades terminales, detallándose los diferentes términos de la expresión para cada una.

- **Radiadores**

Para determinar esta ley se ha seguido el mismo criterio que en la ley de los termos eléctricos, se divide la ley según el número de dormitorios de la vivienda y se toma la suposición de que existe un radiador en cada dormitorio y otro más en el salón. De esta forma se supone que en una vivienda se colocan (n+1) radiadores, siendo n el número de dormitorios. Así, se toman los datos de la tabla 2.23.

Numero de dormitorios	Número de UT	Superficie de la vivienda (m ²)
0 o 1 dormitorios	2	49
2 dormitorios	3	75
3 o más dormitorios	5	136

Tabla 2.29: Valores considerados para el desarrollo de las leyes de costes

Para establecer la ley se ha estudiado la siguiente muestra de equipos.

Fabricante	Potencia (kW)	Precio unitario (€)	Precio final (€)	Finstalacion
Cype	0,52	70,2	129,12	1,839316
	0,69	71,4	130,27	1,82451
	0,79	85,4	144,6	1,693208
	0,49	107,64	167,24	1,553698
	0,69	77,22	136,21	1,763921
	0,89	102,96	162,47	1,577991
	0,79	94,8	154,14	1,625949
	0,95	124,34	185,29	1,490188
	0,53	89,1	148,33	1,664759
	0,72	95,82	155,18	1,619495
	0,82	110,76	170,42	1,538642
	0,24	36	90,95	2,526389
	0,32	40,8	95,85	2,349265

Fabricante	Potencia (kW)	Precio unitario (€)	Precio final (€)	Finstalacion
Cype	0,39	49,2	104,42	2,122358
	0,26	39,6	94,63	2,389646
	0,34	40,8	95,85	2,349265
	0,44	49,2	104,42	2,122358
	0,55	56,4	111,76	1,98156
	0,66	62,4	117,88	1,889103
	0,27	82,5	138,38	1,677333
	0,35	61,2	116,66	1,906209
	0,42	70,38	126,02	1,790566
	0,54	83,34	139,24	1,670746
	0,44	104,7	161,03	1,538013
	0,68	102,3	158,58	1,550147
	0,6	128,1	184,9	1,443404
	0,71	150,36	207,6	1,380686
	0,36	66,6	122,17	1,834384

Tabla 2.30: Muestra considerada en el estudio de radiadores

- Ley de costes

De la muestra considerada se obtienen los siguientes valores medios:

$$Precio_{medio} = 80.48€$$

$$F_{instalación} = 1.81$$

Además, se toma el siguiente factor de descuento:

$$F_{descuento} = 0.9$$

El coste del equipo se calcula en función del número de UT empleadas y el área de la vivienda:

$$Coste_{equipo} [€/m^2] = Precio_{medio} * N_{UT} / Área$$

Así, la ley de costes resulta:

$$Coste_{UT} [€/m^2] = Coste_{equipo} * F_{instalación} * F_{descuento}$$

Para una vivienda de 0 o 1 dormitorio:

$$N_{UT} = 2$$

$$Área = 49$$

$$Coste_{UT} [€/m^2] = 80,48 * 2/49 * 1.81 * 0.9 = 5.35$$

- Para una vivienda de 2 dormitorios:

$$N_{UT} = 3$$

$$Área = 75$$

$$Coste_{UT} [€/m^2] = 80,48 * 3/75 * 1.81 * 0.9 = 6.48$$

- Para una vivienda de 3 o más dormitorio:

$$N_{UT} = 5$$

$$\text{Área} = 136$$

$$\text{Coste}_{UT}[\text{€/m}^2] = 80,48 * 5/136 * 1.81 * 0.9 = 4.82$$

- **Fancoil**

Para la determinar esta ley se ha seguido un procedimiento análogo al de los radiadores, empleándose los mismos valores de la tabla 2.23.

Todos los equipos considerados son fancoil murales, ya que son los más habituales. La muestra considerada tiene las siguientes características.

Fabricante	Potencia (kW)	Precio unitario (€)	Precio final (€)	Finstalacion
Cype	2	473,85	698,96	1,475066
	2,5	499,2	724,81	1,451943
	4,4	705,9	954,31	1,351905
Daikin	2,43	337	595,87	1,76816
	2,7	363	632,81	1,743278
	3,31	368	661,47	1,797473
	4,54	512	855,89	1,67166
	5,28	517	889,56	1,720619
Saunier Duval	2,5	445	593,03	1,332652
	3,5	465	627,58	1,349634
	4,5	525	693,29	1,320552
Vaillant	2,5	450	601,84	1,337422
	3,5	470	636,39	1,354021
	4,5	530	702,11	1,324736

Tabla 2.31: Muestra considerada en el estudio de fancoil

- Ley de costes

De la muestra considerada se obtienen los siguientes valores medios:

$$\text{Precio}_{\text{medio}} = 475,78\text{€}$$

$$F_{\text{instalación}} = 1,50$$

Además, se toman el siguiente factor de descuento:

$$F_{\text{descuento}} = 0.9$$

El coste del equipo se calcula en función del número de UT empleadas y el área de la vivienda:

$$\text{Coste}_{\text{equipo}}[\text{€/m}^2] = \text{Precio}_{\text{medio}} * N_{UT} / \text{Área}$$

Así, La ley resulta:

$$\text{Coste}_{UT}[\text{€/m}^2] = \text{Coste}_{\text{equipo}} * F_{\text{instalación}} * F_{\text{descuento}}$$

Para una vivienda de 0 o 1 dormitorios:

$$N_{UT} = 2$$

$$\text{Área} = 49$$

$$\text{Coste}_{UT}[\text{€/m}^2] = 475,78 * 2/49 * 1.50 * 0.9 = 32.37$$

- Para una vivienda de 2 dormitorios:

$$N_{UT} = 3$$

$$\text{Área} = 75$$

$$\text{Coste}_{UT}[\text{€/m}^2] = 475,78 * 3/75 * 1.50 * 0.9 = 31.72$$

- Para una vivienda de 3 o más dormitorio:

$$N_{UT} = 5$$

$$\text{Área} = 136$$

$$\text{Coste}_{UT}[\text{€/m}^2] = 475,78 * 5/136 * 1.50 * 0.9 = 29.15$$

- **Split**

Para la determinar esta ley se ha seguido un procedimiento análogo al de los radiadores y fancoil, empleándose los mismos valores de la tabla 2.23.

Todos los equipos considerados son Split de pared aire-aire, ya que son los más habituales. La muestra considerada tiene las siguientes características.

Fabricante	Potencia (kW)	Precio unitario (€)	Precio final (€)	Finstalacion
Cype	2	920,78	1013,88	1,10111
	2,5	966,6	1060,62	1,097269
Saunier Duval	2,7	543,9	629,46	1,157308
	3,5	573,9	660,06	1,150131
	5,3	1043,9	1139,46	1,091541
Toshiba	1,5	715,9	804,9	1,124319
	2	728,9	818,16	1,122458
	2,5	753,9	843,66	1,119061
	3,3	840,9	932,4	1,108812
	4,6	1348,9	1450,56	1,075365
Vaillant	2,7	608,9	695,76	1,142651
	3,5	638,9	726,36	1,136892
	5,3	1123,9	1221,06	1,086449
	2,6	528,9	614,61	1,162053
	3,5	553,9	639,6	1,154721
	5,3	1023,9	1119,06	1,092939

Tabla 2.32: Muestra considerada en el estudio de Split

- Ley de costes

De la muestra considerada se obtienen los siguientes valores medios:

$$Precio_{medio} = 807,25€$$

$$F_{instalación} = 1,06$$

Además, se toman el siguiente factor de descuento:

$$F_{descuento} = 0.9$$

El coste del equipo se calcula en función del número de UT empleadas y el área de la vivienda:

$$Coste_{equipo} [€/m^2] = Precio_{medio} * N_{UT} / Área$$

Así, La ley resulta:

$$Coste_{UT} [€/m^2] = Coste_{equipo} * F_{instalación} * F_{descuento}$$

- Para una vivienda de 0 o 1 dormitorios:

$$N_{UT} = 2$$

$$Área = 49$$

$$Coste_{UT} [€/m^2] = 807.25 * 2/49 * 1.06 * 0.9 = 31.43$$

- Para una vivienda de 2 dormitorios:

$$N_{UT} = 3$$

$$Área = 75$$

$$Coste_{UT} [€/m^2] = 807.25 * 3/75 * 1.06 * 0.9 = 30.81$$

- Para una vivienda de 3 o más dormitorio:

$$N_{UT} = 5$$

$$Área = 136$$

$$Coste_{UT} [€/m^2] = 807.25 * 5/136 * 1.06 * 0.9 = 28.31$$

- **Suelo radiante**

Para esta ley se ha tomado el precio por metro cuadrado medio de los sistemas de calefacción y refrigeración por suelo radiante más comunes en el mercado. Todos los tipos de suelo radiante cuentan con capa de mortero y se han considerado diferente paso de tubos.

La muestra considerada tiene las siguientes características.

Lista de fabricantes	Uponor, ALB, Ferco, Fittings estandar, Orkli, Polytherm, Saunier Duval, Schlüter Systems, Comap y Tiemme
Número de equipos	129
Espesor de panel [mm]	8 - 30
Paso de los tubos [cm]	5 - 30

- Ley de costes

De la muestra considerada se obtiene:

$$Precio_{medio} = 41,73€/m^2$$

$$F_{instalación} = 1,80$$

Además, se toman los siguientes factores de descuento y biomasa:

$$F_{descuento} = 0,9$$

La ley resulta:

$$Coste_{UT} [€/m^2] = Precio_{medio} * F_{instalación} * F_{descuento} = 41.73 * 1.80 * 0.9 = 67.60$$

3 APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO

3.1.- Dimensionado de las instalaciones

3.1.1.- Equipos generadores de calor y frío

Finalmente, se demuestra la utilidad de las leyes elaboradas mediante la comparativa de costes de las diferentes instalaciones planteadas evaluadas en una serie de edificios.

Para ello se considerarán 5 bloques de viviendas, 5 viviendas en bloques y 5 viviendas unifamiliares aisladas, cada una con las demandas punta de calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria, según las diferentes zonas climáticas de invierno y verano. Los valores tomados son los siguientes:

Edificio	Area (m2)	Puntas Calefacción [kW]				
		A	B	C	D	E
Bloque aislada este	1675	25	50	63	75	88
Bloque aislada sur	1675	25	50	63	75	88
Bloque entremedianera Norte	1236	19	37	46	56	65
Bloque entremedianera Sur	1236	19	37	46	56	65
Bloque Manzana	6107	92	183	229	275	321
Piso - Bloque aislada este	63	1	2	2	3	3
Piso - Bloque aislada sur	63	1	2	2	3	3
Piso - Bloque entremedianera Norte	85	1	3	3	4	4
Piso - Bloque entremedianera Sur	85	1	3	3	4	4
Piso - Bloque Manzana	90	1	3	3	4	5
Unif Aislada Este	102	2	4	5	6	7
Unif Aislada Sur	102	2	4	5	6	7
Unif entremedianera este	100	2	4	5	6	7
unif entremedianera Sur	100	2	4	5	6	7
unif pareada este	100	2	4	5	6	7

Figura 3.1: Demandas punta de calefacción

Edificio	Area (m2)	Puntas Refrigeración [kW]			
		1	2	3	4
Bloque aislada este	1675	17	33	67	100
Bloque aislada sur	1675	17	33	67	100
Bloque entremedianera Norte	1236	12	25	49	74
Bloque entremedianera Sur	1236	12	25	49	74
Bloque Manzana	6107	61	122	244	366
Piso - Bloque aislada este	63	1	1	3	4
Piso - Bloque aislada sur	63	1	1	3	4
Piso - Bloque entremedianera Norte	85	1	2	3	5
Piso - Bloque entremedianera Sur	85	1	2	3	5
Piso - Bloque Manzana	90	1	2	4	5
Unif Aislada Este	102	2	3	5	8
Unif Aislada Sur	102	2	3	5	8
Unif entremedianera este	100	1	3	4	7
unif entremedianera Sur	100	1	3	4	7
unif pareada este	100	1	3	4	7

Figura 3.2: Demandas punta de refrigeración

Edificio	Area (m2)	Puntas ACS [kW]				
		A	B	C	D	E
Bloque aislada este	1675	63	66	69	71	73
Bloque aislada sur	1675	63	66	69	71	73
Bloque entremedianera Norte	1236	47	49	51	53	54
Bloque entremedianera Sur	1236	47	49	51	53	54
Bloque Manzana	6107	206	215	223	232	236
Piso - Bloque aislada este	63	4	4	5	5	5
Piso - Bloque aislada sur	63	4	4	5	5	5
Piso - Bloque entremedianera Norte	85	4	4	5	5	5
Piso - Bloque entremedianera Sur	85	4	4	5	5	5
Piso - Bloque Manzana	90	4	4	5	5	5
Unif Aislada Este	102	4	4	5	5	5
Unif Aislada Sur	102	4	4	5	5	5
Unif entremedianera este	100	4	4	5	5	5
unif entremedianera Sur	100	4	4	5	5	5
unif pareada este	100	4	4	5	5	5

Figura 3.3: Demandas punta de ACS

Los valores de potencias punta de calefacción y refrigeración se han calculado mediante simulación detallada de los edificios en la Herramienta Unificada Lider-Calener. Las potencias de ACS se describen a continuación.

3.1.2.- Instalación solar térmica

Para el dimensionado de la instalación solar, se toman las indicaciones del DB HE del CTE y las siguientes hipótesis:

- Una ocupación de 33,33 m²/persona
- Para el cálculo de la demanda punta, se ha considerado que el 15% del consumo diario se consume durante 10 minutos a la temperatura de reposición mínima, según la tabla 3.4.

Temperatura de reposición mínima [°C]											
A3	A4	B3	B4	C1	C2	C3	C4	D1	D2	D3	E1
12.00	12.00	10.00	11.00	10.00	9.00	8.00	9.00	9.00	6.00	8.00	5.00

Figura 3.4: Temperatura de reposición mínima

Con esto, se tienen los siguientes datos para el cálculo de la demanda de ACS:

Edificio	Area	Personas	l/día	nº viv	factor de simultaneidad	Demanda final l/día
Bloque aislada este	1675	50	1400	18	0.9	1260
bloque aislada sur	1675	50	1400	18	0.9	1260
Bloque entremedianera Norte	1236	37	1036	13	0.9	932
Bloque entremedianera Sur	1236	37	1036	13	0.9	932
Bloque Manzana	6107	183	5124	67	0.8	4099
Piso - Bloque aislada este	63	3	84	1	1.0	84
Piso - Bloque aislada sur	63	3	84	1	1.0	84
Piso - Bloque entremedianera Norte	85	3	84	1	1.0	84
Piso - Bloque entremedianera Sur	85	3	84	1	1.0	84
Piso - Bloque Manzana	90	3	84	1	1.0	84
Unif Aislada Este	102	3	84	1	1.0	84
Unif Aislada Sur	102	3	84	1	1.0	84
Unif entremedianera este	100	3	84	1	1.0	84
unif entremedianera Sur	100	3	84	1	1.0	84
unif pareada este	100	3	84	1	1.0	84

Figura 3.5: Datos referentes a la demanda de ACS

Así, las potencias punta de ACS, resultan:

Edificio	Area	Potencia punta Diseño ACS [kW]											
		A3	A4	B3	B4	C1	C2	C3	C4	D1	D2	D3	E1
Bloque aislada este	1675	63	63	66	65	66	67	69	67	67	71	69	73
bloque aislada sur	1675	63	63	66	65	66	67	69	67	67	71	69	73
Bloque entremedianera Norte	1236	47	47	49	48	49	50	51	50	50	53	51	54
Bloque entremedianera Sur	1236	47	47	49	48	49	50	51	50	50	53	51	54
Bloque Manzana	6107	206	206	215	210	215	219	223	219	219	232	223	236
Piso - Bloque aislada este	63	4	4	4	4	4	4	5	4	4	5	5	5
Piso - Bloque aislada sur	63	4	4	4	4	4	4	5	4	4	5	5	5
Piso - Bloque entremedianera Norte	85	4	4	4	4	4	4	5	4	4	5	5	5
Piso - Bloque entremedianera Sur	85	4	4	4	4	4	4	5	4	4	5	5	5
Piso - Bloque Manzana	90	4	4	4	4	4	4	5	4	4	5	5	5
Unif Aislada Este	102	4	4	4	4	4	4	5	4	4	5	5	5
Unif Aislada Sur	102	4	4	4	4	4	4	5	4	4	5	5	5
Unif entremedianera este	100	4	4	4	4	4	4	5	4	4	5	5	5
unif entremedianera Sur	100	4	4	4	4	4	4	5	4	4	5	5	5
unif pareada este	100	4	4	4	4	4	4	5	4	4	5	5	5

Figura 3.6: Potencias punta de ACS

Por último, se calculan los metros cuadrados necesarios para cubrir el 60% y el 70% de la demanda de ACS, haciéndose uso del método f-chart^[32]. Para ello, se ha elegido un panel de propiedades medias, con un tamaño de 2,3 m² y se ha decidido implementar un volumen de captación diaria.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

Edificio	Area	m2 Solar Térmica para cobertura 50%											
		A3	A4	B3	B4	C1	C2	C3	C4	D1	D2	D3	E1
Bloque aislada este	1675	11.6	11.6	11.6	11.6	18.6	13.9	11.6	11.6	16.3	13.9	13.9	13.9
bloque aislada sur	1675	11.6	11.6	11.6	11.6	18.6	13.9	11.6	11.6	16.3	13.9	13.9	13.9
Bloque entremedianera Norte	1236	9.3	9.3	9.3	9.3	13.9	11.6	9.3	9.3	13.9	11.6	11.6	11.6
Bloque entremedianera Sur	1236	9.3	9.3	9.3	9.3	13.9	11.6	9.3	9.3	13.9	11.6	11.6	11.6
Bloque Manzana	6107	32.5	32.5	34.9	32.5	51.1	39.5	34.9	34.9	46.5	39.5	37.2	41.8
Unif Aislada Este	102	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	4.7	2.3	2.3	2.3
Unif Aislada Sur	102	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	4.7	2.3	2.3	2.3
Unif entremedianera este	100	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	4.7	2.3	2.3	2.3
unif entremedianera Sur	100	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	4.7	2.3	2.3	2.3
unif pareada este	100	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	4.7	2.3	2.3	2.3

Edificio	Area	m2 Solar Térmica para cobertura 70%											
		A3	A4	B3	B4	C1	C2	C3	C4	D1	D2	D3	E1
Bloque aislada este	1675	16.3	16.3	18.6	16.3	25.6	18.6	18.6	18.6	23.2	20.9	18.6	20.9
bloque aislada sur	1675	16.3	16.3	18.6	16.3	25.6	18.6	18.6	18.6	23.2	20.9	18.6	20.9
Bloque entremedianera Norte	1236	13.9	13.9	13.9	13.9	20.9	16.3	13.9	13.9	18.6	16.3	16.3	16.3
Bloque entremedianera Sur	1236	13.9	13.9	13.9	13.9	20.9	16.3	13.9	13.9	18.6	16.3	16.3	16.3
Bloque Manzana	6107	48.8	48.8	53.4	48.8	74.4	58.1	51.1	51.1	67.4	58.1	55.8	62.7
Unif Aislada Este	102	2.3	2.3	2.3	2.3	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7
Unif Aislada Sur	102	2.3	2.3	2.3	2.3	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7
Unif entremedianera este	100	2.3	2.3	2.3	2.3	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7
unif entremedianera Sur	100	2.3	2.3	2.3	2.3	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7
unif pareada este	100	2.3	2.3	2.3	2.3	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7

Figura 3.7: Superficie de captación requerida para una cobertura del 50% y del 70%

4 RESULTADOS

Finalmente, se ha elaborado una herramienta excel que permita obtener el coste final de una instalación en concreto de forma rápida.

Introduciendo la tipología del edificio, los elementos que componen la instalación, la superficie de la vivienda y las potencias punta de diseño, se calcula el coste total de la instalación planteada en el edificio de estudio para las diferentes zonas climáticas.

Así, con esta herramienta es posible comparar la validez económica de una propuesta en cada zona climática y estimar si cumple o no los requisitos económicos del proyecto.

Para la validación se han analizado 570 combinaciones de instalaciones y tipologías de edificios, comparándose el coste final obtenido por la aplicación de las leyes de costes desarrolladas en este trabajo con el coste proporcionado por la herramienta NORBA, de Nedgia. A continuación, se presentan una serie de casos: Dos instalaciones individuales, dos instalaciones colectivas y dos instalaciones mixtas. Se muestran los costes de dichas instalaciones para cada tipología de edificio y zona climática compatibles con la misma. Se resaltan en verde el coste obtenido por la aplicación de las leyes de costes y en naranja, los costes obtenidos por Nedgia

- Instalación individual en clima cálido
 - Calefacción: -
 - UT calefacción: -
 - Refrigeración: Bomba de calor eléctrica
 - UT refrigeración: Fancoil
 - ACS 1: Solar térmica
 - ACS 2: Caldera de condensación

	Coste final de la instalación (€)							
	A3		A4		B3		B4	
Unif. aislada este	8.341	9.340,3	9.468	10.654,5	8.360	9.340,3	9.487	10.654,5
Unif. Aislada sur	8.341	9.340,3	9.468	10.654,5	8.360	9.340,3	9.487	10.654,6
Unif. Entremedianera este	8.220	9.157,6	9.330	10.452,3	8.239	9.157,6	9.348	10.452,3
Unif. Entremedianera sur	8.220	9.157,6	9.330	10.452,3	8.239	9.157,6	9.348	10.452,3
Unif. Pareada este	8.220	9.157,6	9.330	10.452,3	8.239	9.157,6	9.348	10.452,3

Tabla 4.1: Costes finales de la instalación I.5 en viviendas unifamiliares.

- Instalación individual en clima frío
 - Calefacción: Caldera de condensación
 - UT calefacción: Radiadores
 - Refrigeración: -
 - UT refrigeración: -
 - ACS 1: Solar térmica
 - ACS 2: Caldera de condensación

	Coste final de la instalación (€)															
	C1		C2		C3		C4		D1		D2		D3		E1	
Unif. aislada este	2.898	2.336	2.898	2.336	2.870	2.336	2.898	2.336	4.860	2.336	3.003	2.336	3.003	2.336	3.104	2.336
Unif. Aislada sur	2.898	2.336	2.898	2.336	2.870	2.336	2.898	2.336	4.860	2.336	3.003	2.336	3.003	2.336	3.104	2.336
Unif. Entremedianera este	2.873	2.291	2.873	2.291	2.851	2.291	2.873	2.291	4.833	2.291	2.975	2.291	2.975	2.291	3.074	2.291
Unif. Entremedianera sur	2.873	2.291	2.873	2.291	2.851	2.291	2.873	2.291	4.833	2.291	2.975	2.291	2.975	2.291	3.074	2.291
Unif. Pareada este	2.873	2.291	2.873	2.291	2.851	2.291	2.873	2.291	4.833	2.291	2.975	2.291	2.975	2.291	3.074	2.291

Tabla 4.2: Costes finales de la instalación I.1 en viviendas unifamiliares.

- Instalación colectiva en clima cálido
 - Calefacción: Bomba de calor eléctrica
 - UT calefacción: Split
 - Refrigeración: Bomba de calor eléctrica
 - UT refrigeración: Split
 - ACS 1: Solar térmica
 - ACS 2: Caldera de condensación

	Coste final de la instalación (€)							
	A3		A4		B3		B4	
Bloque aislado este	87.717	78.398	98.115	105.447	87.902	78.599	98.300	105.648
Bloque aislado sur	87.717	78.398	98.115	105.447	87.902	78.599	98.300	105.648
Bloque entremedianera este	66.545	61.769	74.632	83.161	66.688	61.919	74.776	83.311
Bloque entremedianera sur	66.545	61.769	74.632	83.161	66.688	61.919	74.776	83.311
Bloque manzana	288.399	215.412	318.751	288.930	290.759	216.054	319.254	289.571

Tabla 4.3: Costes finales de la instalación C.16 en viviendas plurifamiliares.

- Instalación colectiva en clima frío
 - Calefacción: Caldera de biomasa
 - UT calefacción: Suelo radiante
 - Refrigeración: -
 - UT refrigeración: -
 - ACS 1: Caldera de biomasa
 - ACS 2: -

	Coste final de la instalación (€)							
	C1		C2		C3		C4	
Bloque aislado este	132.492	122.984	132.492	122.984	132.492	122.984	132.492	122.984
Bloque aislado sur	132.492	122.984	132.492	122.984	132.492	122.984	132.492	122.984
Bloque entremedianera este	95.887	88.597	95.887	88.597	95.887	88.597	95.887	88.597
Bloque entremedianera sur	95.887	88.597	95.887	88.597	95.887	88.597	95.887	88.597
Bloque manzana	470.517	486.405	470.517	486.405	470.517	486.405	470.517	486.405

Tabla 4.4.a: Costes finales de la instalación C.10 en viviendas plurifamiliares.

	Coste final de la instalación (€)							
	D1		D2		D3		E1	
Bloque aislado este	134.205	129.010	134.205	129.010	134.205	129.010	137.367	137.498
Bloque aislado sur	134.205	129.010	134.205	129.010	134.205	129.010	137.367	137.498
Bloque entremedianera este	96.951	92.537	96.951	92.537	96.951	92.537	101.893	98.183
Bloque entremedianera sur	96.951	92.537	96.951	92.537	96.951	92.537	101.893	98.183
Bloque manzana	480.932	545.568	480.932	545.568	480.932	545.568	491.191	593.803

Tabla 4.4.b: Costes finales de la instalación C.10 en viviendas plurifamiliares.

- Instalación colectiva e individual en clima cálido
 - Calefacción: Caldera de biomasa
 - UT calefacción: Fancoil
 - Refrigeración: Bomba de calor eléctrica
 - UT refrigeración: Fancoil
 - ACS 1: Caldera de biomasa
 - ACS 2: -

	Coste final de la instalación (€)							
	A3		A4		B3		B4	
Bloque aislado este	82.606	131.111	87.106	136.023	83.284	132.758	87.784	137.670
Bloque aislado sur	82.606	131.111	87.106	136.023	83.284	132.758	87.784	137.670
Bloque entremedianera este	60.644	96.484	64.377	100.590	61.078	97.583	64.810	101.689
Bloque entremedianera sur	60.644	96.484	64.377	100.590	61.078	97.583	64.810	101.689
Bloque manzana	265.639	486.814	275.623	497.363	267.623	494.845	277.607	505.394
Bloque aislado este (1 viv)	5.383	9.450	5.979	10.158	5.431	9.558	6.292	10.265
Bloque aislado sur (1 viv)	5.383	9.450	5.979	10.158	5.431	9.558	6.028	10.265
Bloque entremedianera este (1 viv)	6.288	11.056	7.006	11.901	6.337	11.164	7.054	12.008
Bloque entremedianera sur (1 viv)	6.288	11.056	7.006	11.901	6.337	11.164	7.054	12.008
Bloque manzana (1 viv)	6.525	11.413	7.268	12.287	6.573	11.521	7.316	12.394
Unif. aislada este	7.311	12.533	8.438	13.847	7.360	12.640	8.487	13.954
Unif. Aislada sur	7.311	12.533	8.438	13.847	7.360	12.640	8.487	13.954
Unif. Entremedianera este	7.190	12.350	8.300	13.645	7.239	12.458	8.348	13.752
Unif. Entremedianera sur	7.190	12.350	8.300	13.645	7.239	12.458	8.348	13.752
Unif. Pareada este	7.190	12.350	8.300	13.645	7.239	12.458	8.348	13.752

Tabla 4.5: Costes finales de la instalación B en viviendas unifamiliares y plurifamiliares.

- Instalación colectiva e individual en clima frío
 - Calefacción: -
 - UT calefacción: -
 - Refrigeración: Bomba de calor eléctrica
 - UT refrigeración: Fancoil
 - ACS 1: Solar térmica
 - ACS 2: Caldera de condensación

	Coste final de la instalación (€)							
	C1		C2		C3		C4	
Bloque aislado este	75.599	97.037	75.557	101.086	79.289	107.184	83.789	112.096
Bloque aislado sur	75.599	97.037	75.557	101.086	79.289	107.184	83.789	112.096
Bloque entremedianera este	56.759	72.438	57.962	75.822	60.753	80.919	64.486	85.025
Bloque entremedianera sur	56.759	72.438	57.962	75.822	60.753	80.919	64.486	85.025
Bloque manzana	247.830	339.441	246.831	348.136	255.499	361.232	265.483	371.781
Bloque aislado este (1 viv)	3.462	4.797	3.939	5.380	4.670	6.258	5.266	6.965
Bloque aislado sur (1 viv)	3.462	4.797	3.939	5.380	4.670	6.258	5.266	6.965
Bloque entremedianera este (1 viv)	4.123	6.120	4.696	6.816	5.575	7.864	6.293	8.708
Bloque entremedianera sur (1 viv)	4.123	6.120	4.696	6.816	5.575	7.864	6.293	8.708
Bloque manzana (1 viv)	4.307	6.417	4.901	7.137	5.811	8.221	6.555	9.094
Unif. aislada este	6.880	7.559	7.705	8.546	8.379	9.340	9.506	10.654
Unif. Aislada sur	6.880	7.559	7.705	8.546	8.379	9.340	9.506	10.654
Unif. Entremedianera este	6.782	7.403	7.594	8.375	8.257	9.158	9.367	10.452
Unif. Entremedianera sur	6.782	7.403	7.594	8.375	8.257	9.158	9.367	10.452
Unif. Pareada este	6.782	7.403	7.594	8.375	8.257	9.158	9.367	10.452

Tabla 4.6.a: Costes finales de la instalación A en viviendas unifamiliares y plurifamiliares.

	Coste final de la instalación (€)							
	D1		D2		D3		E1	
Bloque aislado este	74.001	97.238	75.740	101.287	81.252	107.385	72.235	97.338
Bloque aislado sur	74.001	97.238	75.740	101.287	81.252	107.385	72.235	97.338
Bloque entremedianera este	56.901	72.588	58.104	75.972	62.675	81.068	55.191	72.662
Bloque entremedianera sur	56.901	72.588	58.104	75.972	62.675	81.068	55.191	72.662
Bloque manzana	244.766	340.082	247.327	348.777	257.776	361.873	241.375	340.402
Bloque aislado este (1 viv)	3.481	4.797	3.957	5.380	4.688	6.258	3.490	4.797
Bloque aislado sur (1 viv)	3.481	4.797	3.957	5.380	4.688	6.258	3.490	4.797
Bloque entremedianera este (1 viv)	4.141	6.120	4.715	6.816	5.594	7.864	4.151	6.120
Bloque entremedianera sur (1 viv)	4.141	6.120	4.715	6.816	5.594	7.864	4.151	6.120
Bloque manzana (1 viv)	4.326	6.417	4.920	7.137	5.830	8.221	4.335	6.417
Unif. aislada este	8.756	7.559	7.723	8.546	8.397	9.340	6.908	7.559
Unif. Aislada sur	8.756	7.559	7.723	8.546	8.397	9.340	6.908	7.559
Unif. Entremedianera este	8.658	7.403	7.613	8.375	8.276	9.158	6.809	7.403
Unif. Entremedianera sur	8.658	7.403	7.613	8.375	8.276	9.158	6.809	7.403
Unif. Pareada este	8.658	7.403	7.613	8.375	8.276	9.158	6.809	7.403

Tabla 4.6.b: Costes finales de la instalación A en viviendas unifamiliares y plurifamiliares.

5 CONCLUSIONES

La determinación de las instalaciones más óptimas y económicas para un proyecto en concreto y que, a la vez, cumpla los estándares impuestos por el Código Técnico, tiene una gran importancia y reduce el tiempo empleado en el análisis de posibles soluciones.

Las leyes de costes elaboradas proporcionan una estimación actualizada de los equipos comerciales más comunes en la actualidad, así como de sus costes de instalación. Estas leyes de costes han sido validadas, comparándose con los precios ofertados por los distintos fabricantes y con el generador de precios de Cype, demostrándose que los valores obtenidos son un reflejo del mercado actual.

De cara a futuros trabajos, sería interesante realizar una actualización de los precios de los equipos considerados, actualizados al mercado del momento y con las prestaciones actuales, además de la adición de nuevos equipos o instalaciones que se desarrollen o cuyo uso se intensifique. También resultaría de interés el desarrollo de una aplicación informática a partir de la base de datos y las leyes desarrolladas que permita la aplicación del procedimiento de forma cómoda y sencilla.

REFERENCIAS

- [1]: BP. Statistical Review of World Energy (2019). Disponible en:
<https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>
- [2]: Katrin Heinsoo, Indrek Melts & Tiiu Kull. (2015). “Agricultural Bioenergy Production”.
- [3]: Edwin Berry. (2017). “*Why human CO2 does not change climate*”.
- [4]: Masahiro Watanabe, Hideo Shiogama, Hiroaki Tatebe, Michiya Hayashi, Masayoshi Ishii & Masahide Kimoto. (2014). “*Contribution of natural decadal variability to global warming acceleration and hiatus*”.
- [5]: Henri Drake, Tristan H. Abbott & Megan J. Lickley. (2019). “*Assessing Climate Model Projections of Anthropogenic Warming Patterns*”.
- [6]: Yukiko Imada, Masahiro Watanabe, Hiroaki Kawase, Hideo Shiogama & Miki Arai. (2019). “*The July 2018 high temperature event in Japan could not have happened without human-induced global warming*”.
- [7]: International Panel on Climate Change (2020). Disponible en:
<https://www.ipcc.ch/about/>
- [8]: International Panel on Climate Change. “*Global Warming of 1.5°C*” (2018). Disponible en:
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/IPCC-Special-Report-1.5-SPM_es.pdf
- [9]: Parlamento Europeo y el Consejo Europeo. “Directiva 2010/31/UE de 19 de mayo de 2010 relativa a la eficiencia energética en los edificios.” Disponible en:
<https://www.boe.es/doue/2010/153/L00013-00035.pdf>
- [10]: Buildings Performance Institute Europe (BPIE). “*Nearly Zero Energy Buildings definitions across Europe*.” Disponible en:
http://bpie.eu/uploads/lib/document/attachment/128/BPIE_factsheet_nZEB_definitions_across_Europe.pdf
- [11]: Código Técnico de la Edificación. (2015). Disponible en:
<https://www.codigotecnico.org/index.php/menu-que-cte/menu-presentacion.html>
- [12]: Código Técnico de la Edificación. Documento Básico Ahorro Energético. (2019). Disponible en:
<https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/ahorroEnergia/DBHE.pdf>
- [13]: Kenneth M. Guthrie. (1969). “*Process plant estimating, evaluation and control*”.
- [14]: A. Pikulik & H.E. Díaz. (1977). “*Cost estimating for major process equipment*”.
- [15]: J.M. Douglas. (1988). “*Conceptual design of chemical processes*”.
- [16]: Caloryfrío. (2018). Disponible en:
<https://www.caloryfrio.com/calefaccion/calderas/calderas-de-biomasa-ventajas-y-funcionamiento.html>
- [17]: Caloryfrío. (2015). Disponible en:
<https://www.caloryfrio.com/calefaccion/calderas/funcionamiento-calderas-de-condensacion.html>
- [18]: Efenergia. (2018). Disponible en:
<https://www.efenergia.com/instalaciones-eficiencia-energetica/termicas/bombas-de-calor/#Tipos de bomba de calor>

- [19]: gasNatural. (2011). Disponible en:
<http://www.acpnavarra.com/Administracion/Archivos/GD/1873/Articulo%20Gas%20Natural-%20ACP%20sept%2011.pdf>
- [20]: Instalaciones térmicas y certificación energética. (2013). Disponible en:
<http://instalaciones-termicas.blogspot.com/2013/10/fancoils-o-ventiloconvectores.html>
- [21]: Actitud ecológica. (2013). Disponible en:
<https://actitudecologica.com/calefaccion/radiadores/>
- [22]: Euronics. (2014). Disponible en:
<https://www.euronics.es/blog/diferencia-entre-split-y-multisplit/>
- [23]: Acoiny clima. (2019). Disponible en:
<https://www.acoinyclima.com/informacion/tecnologia/item/tipos-de-split>
- [24]: Juan Carlos Tortosa. (2017). *“Proyecto de ejecución. Edificio de 4 viviendas y garajes”*.
- [25]: Jame Díaz. (2019). *“Certificado Técnico de vivienda unifamiliar para reconocimiento de situación de asimilado a fuera de ordenación”*.
- [26]: Blas J. Soriano. (2019). *“Certificado de Eficiencia Energética de vivienda unifamiliar, en Chiclana de la Frontera”*.
- [27]: Blas J. Soriano. (2020). *“Certificado de Eficiencia Energética de vivienda individual en bloque de viviendas, en Conil de la Frontera”*.
- [28]: Blas J. Soriano. (2019). *“Certificado de Eficiencia Energética de 21 viviendas unifamiliares, en Jerez de la Frontera”*.
- [29]: Blas J. Soriano. (2019). *“Certificado de Eficiencia Energética de vivienda unifamiliar, en Conil de la Frontera”*.
- [30]: Fotocasa (2020). Disponible en:
<https://www.fotocasa.es/>
- [31]: Idealista (2020). Disponible en:
<https://www.idealista.com/>
- [32]: Duffie, J.A. & Beckman, W.A. (1980). *“Solar Engineering of Thermal Processes”*.

A continuación se detallan los diagramas de principio de las diferentes instalaciones consideradas:

- **Instalación I1**
 - **Caldera de condensación**
Calefacción (60 °C Radiadores)
ACS (60 °C)
 - **Captador Solar**
ACS (60 °C)

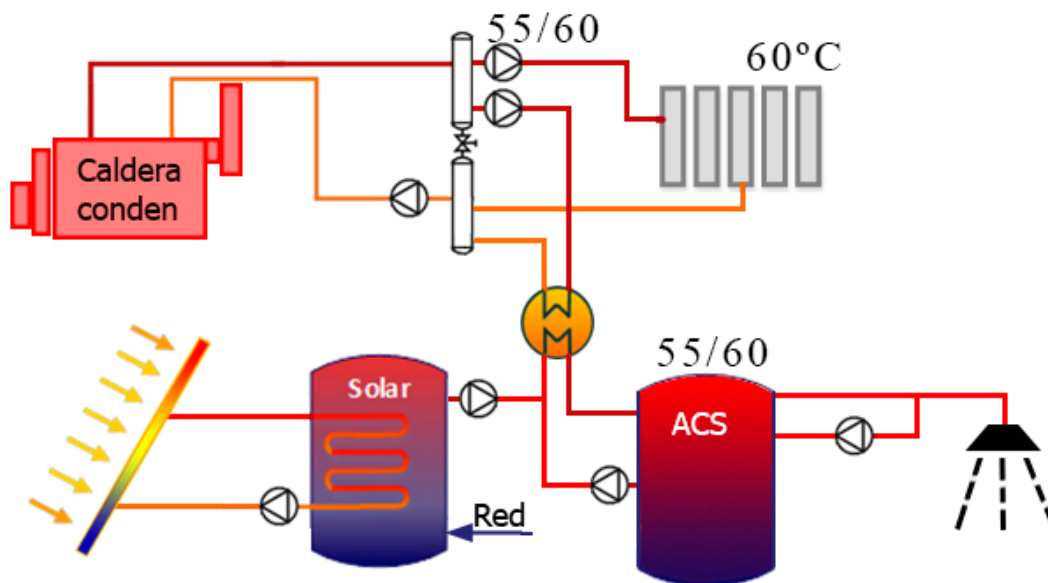


Figura A.1: Instalación I1. Fuente: Elaboración propia.

- **Instalación I2**

- **Caldera de condensación**

Calefacción (60 °C Radiadores)

ACS (60 °C)

- **Captador Solar**

ACS (60 °C)

- **Enfriadora eléctrica**

Refrigeración (7 °C Fancoil)

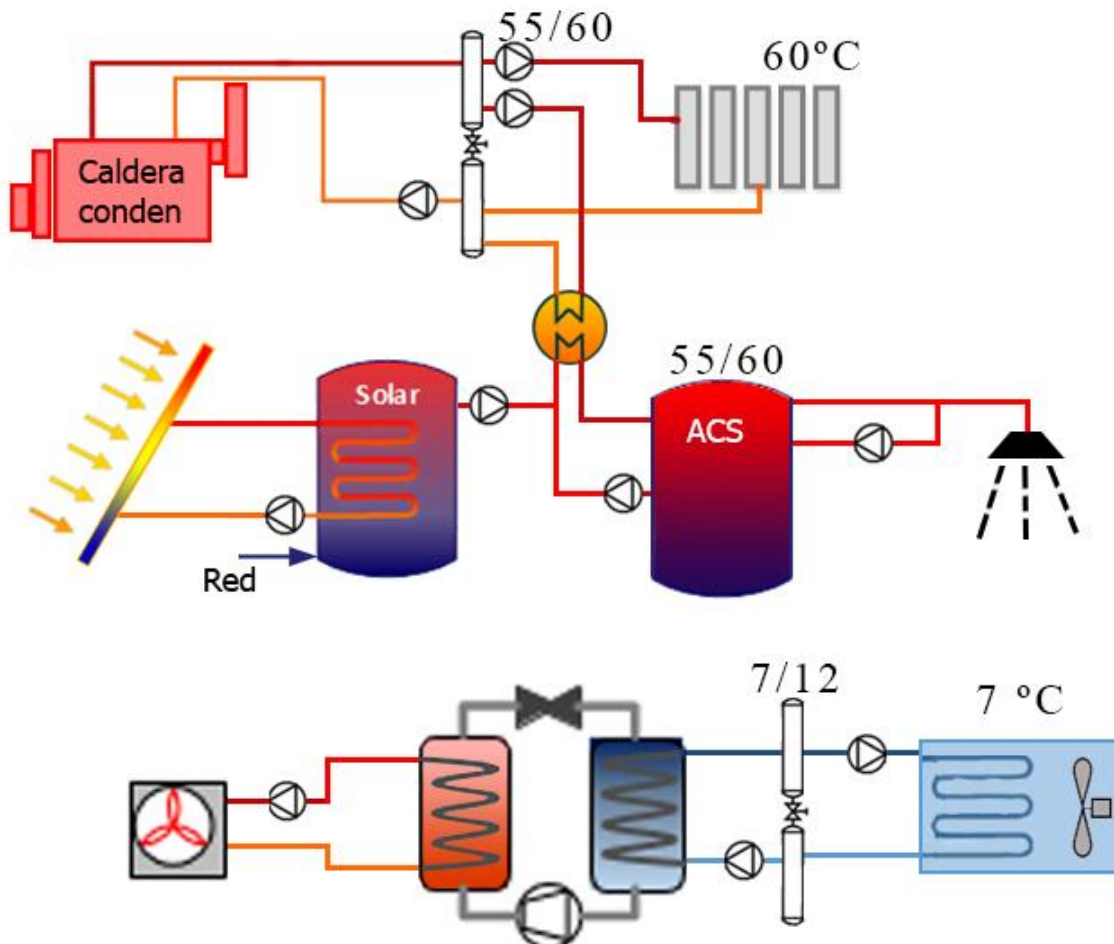


Figura A.2: Instalación I2. Fuente: Elaboración propia.

- **Instalación I3**

- **Caldera de condensación**

Calefacción (40 °C Suelo radiante)

ACS (60 °C)

- **Captador Solar**

ACS (60 °C)

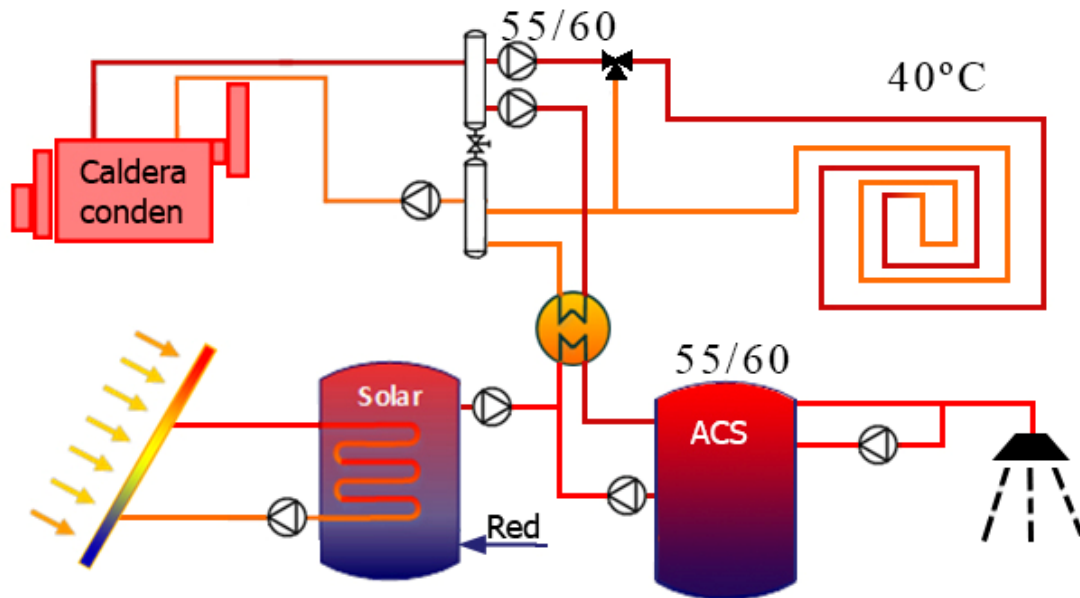


Figura A.3: Instalación I3. Fuente: Elaboración propia.

- **Instalación I4**
- **Caldera de condensación**
ACS (60 °C)
- **Captador Solar**
ACS (60 °C)

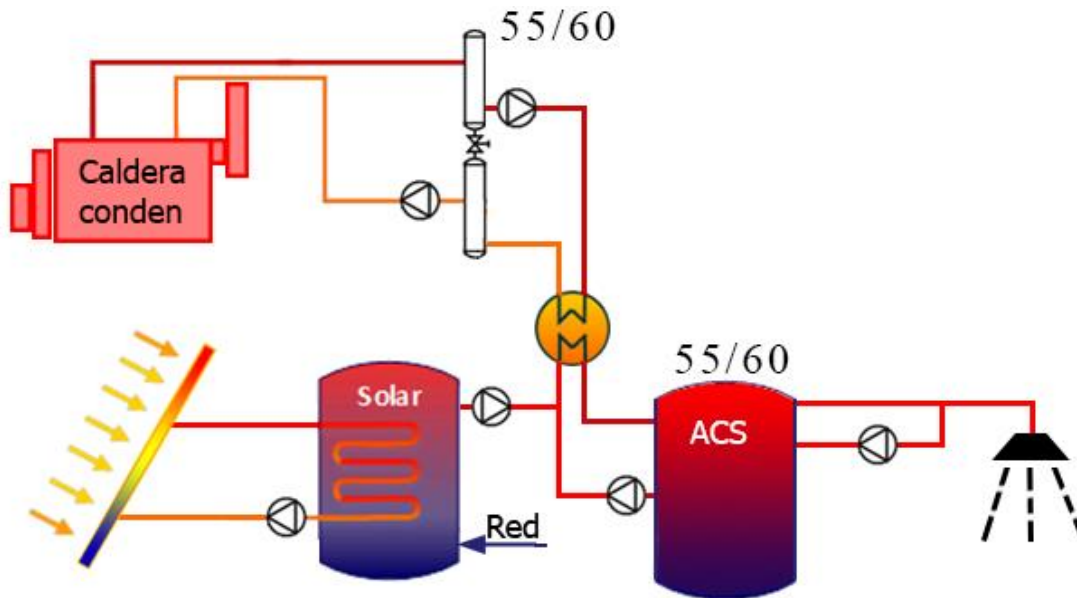


Figura A.4: Instalación I4. Fuente: Elaboración propia.

- **Instalación I5**
- **Caldera de condensación**
ACS (60 °C)
- **Captador Solar**
ACS (60 °C)
- **Enfriadora eléctrica**
Refrigeración (7 °C Fancoil)

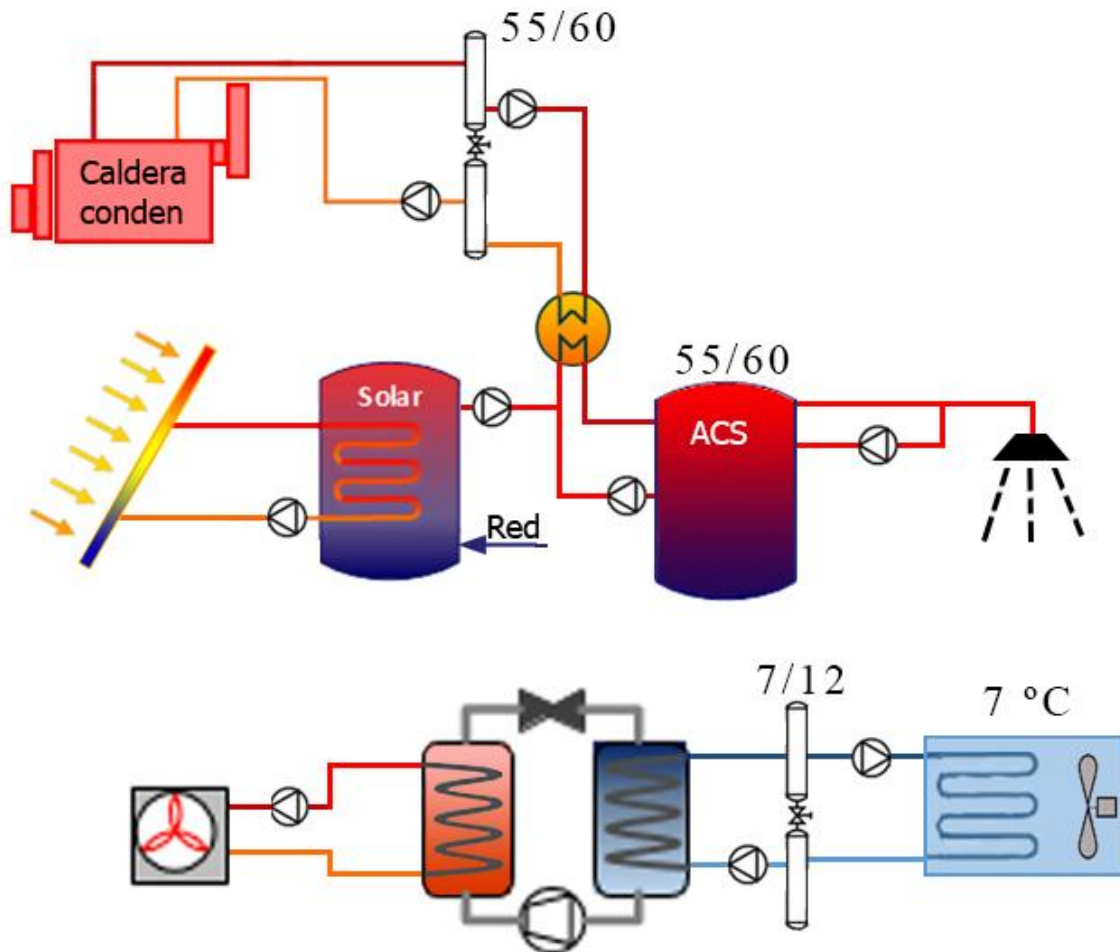


Figura A.5: Instalación I5. Fuente: Elaboración propia.

- **Instalación I6**
- **Bomba de calor eléctrica**
Calefacción (45 °C Split)
Refrigeración (7 °C Split)
- **Captador Solar**
ACS (60 °C)
- **Caldera de condensación**
ACS (60 °C)

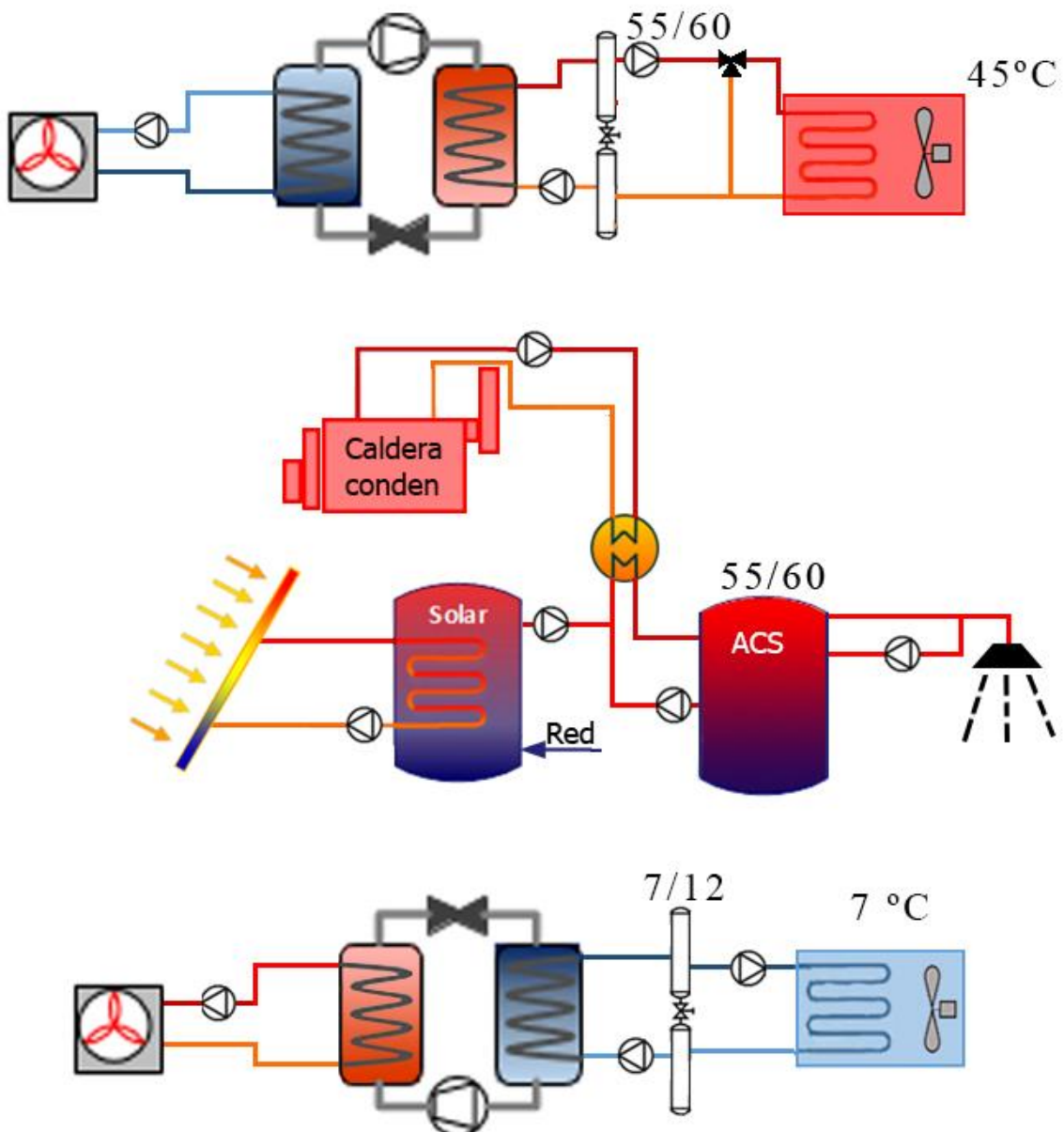


Figura A.6: Instalación I6. Fuente: Elaboración propia.

- **Instalación I7**
- **Bomba de calor eléctrica**
 - Calefacción (45 °C Fancoil)
 - Refrigeración (7 °C Fancoil)
 - ACS (60 °C)
- **Efecto Joule**
 - ACS (60 °C)

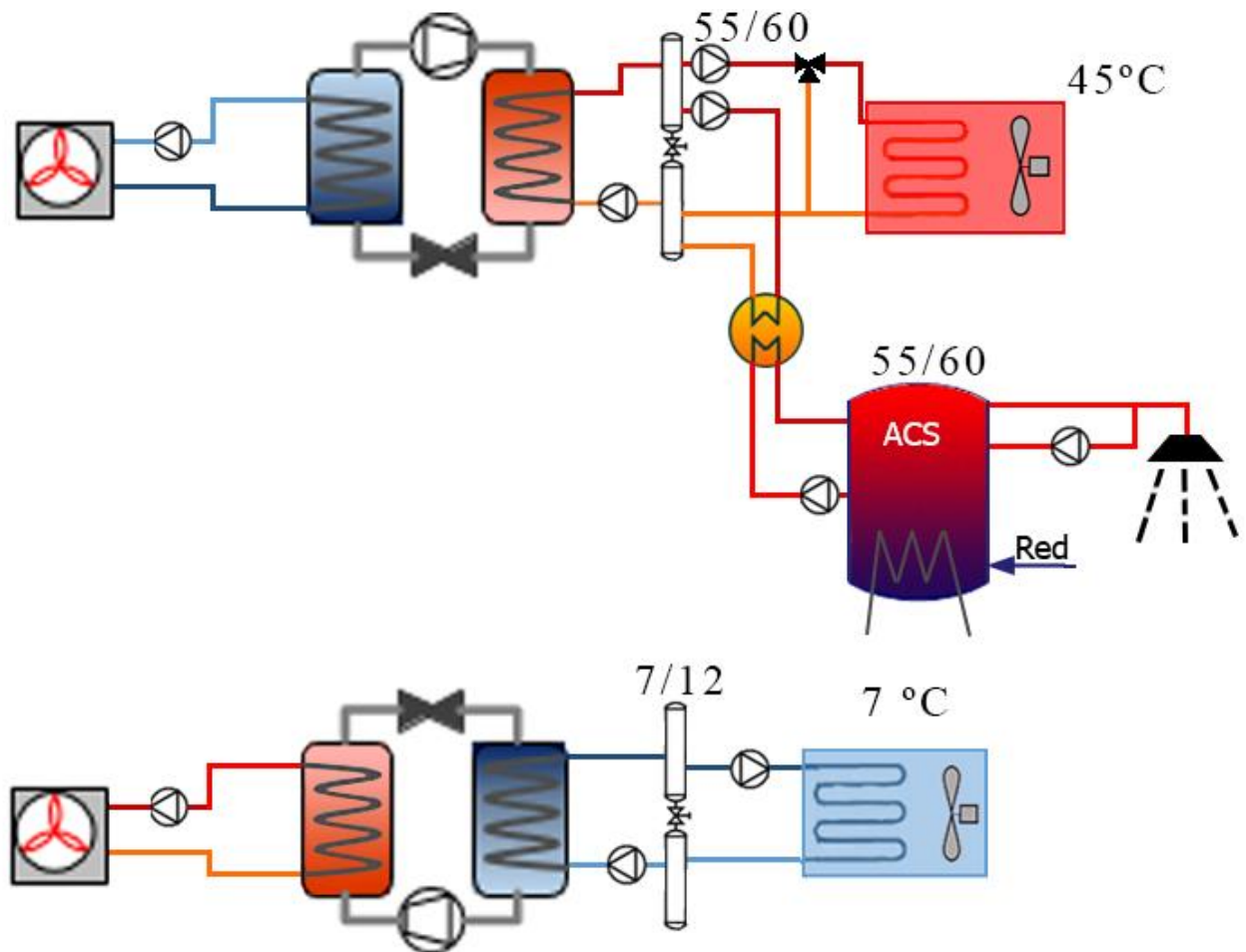


Figura A.7: Instalación I7. Fuente: Elaboración propia.

- **Instalación I8**

- **Bomba de calor eléctrica**

Calefacción (40 °C Suelo radiante)

Refrigeración (17 °C Suelo radiante)

ACS (60 °C)

- **Eefcto Joule**

ACS (60 °C)

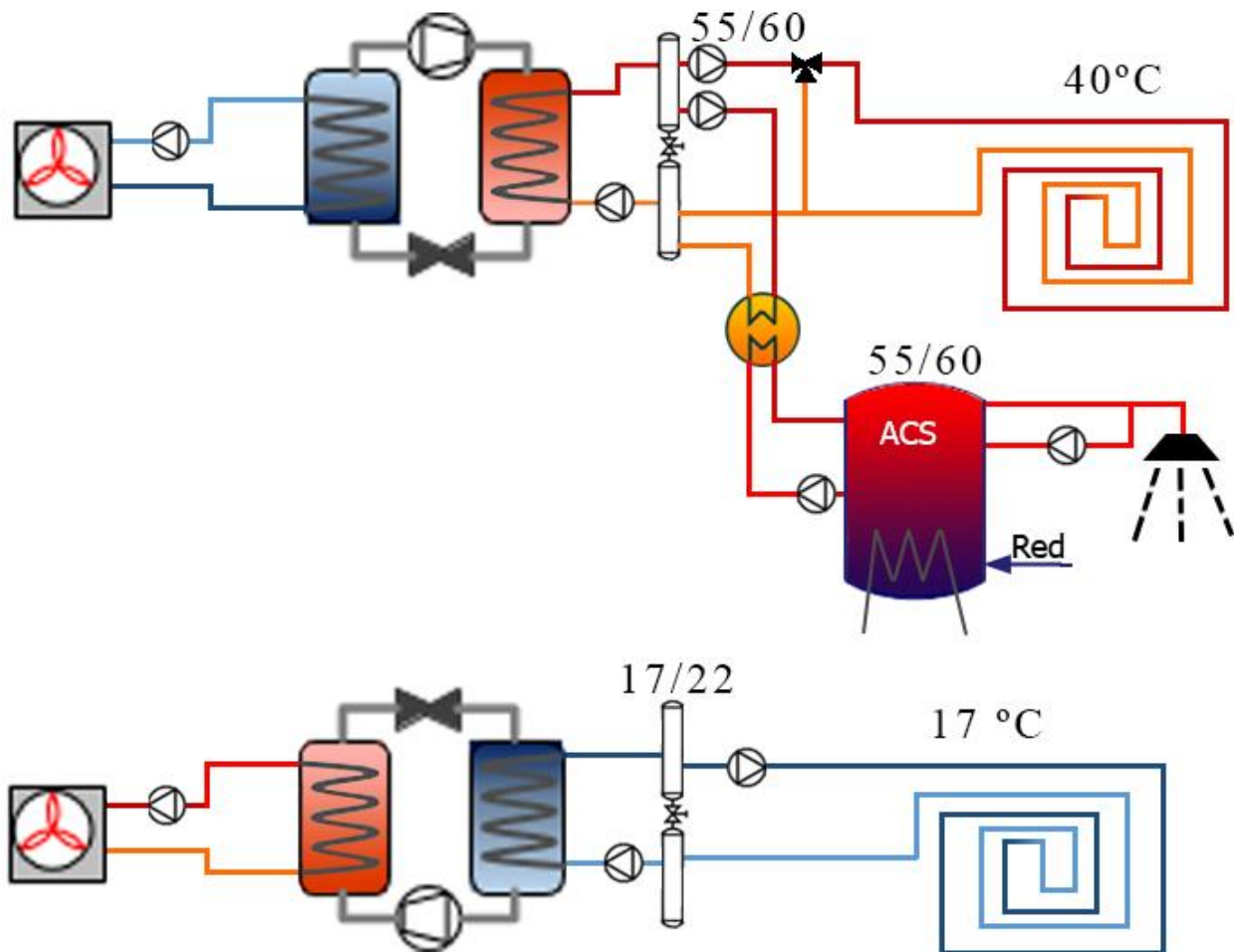


Figura A.8: Instalación I8. Fuente: Elaboración propia.

- **Instalación I9**

- **Captador solar**

ACS (60 °C)

- **Efecto Joule**

ACS (60 °C)

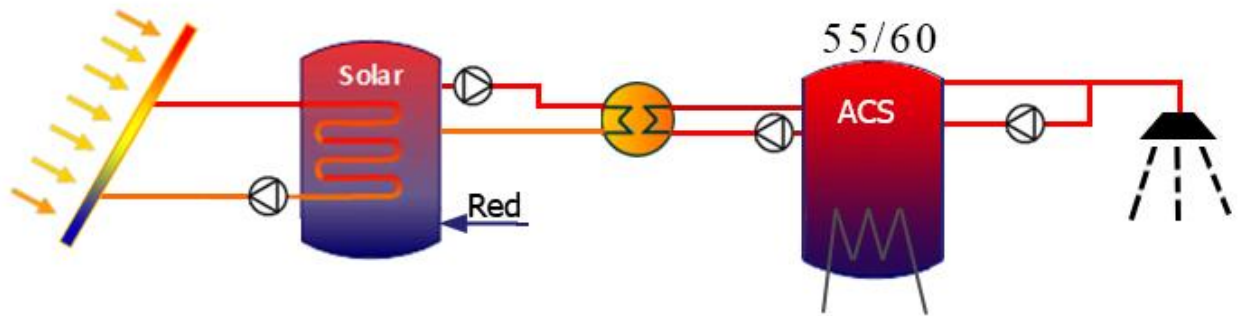


Figura A.9: Instalación I9. Fuente: Elaboración propia.

- **Instalación I10**
- **Bomba de calor eléctrica**
ACS (60 °C)
- **Efecto Joule**
ACS (60 °C)

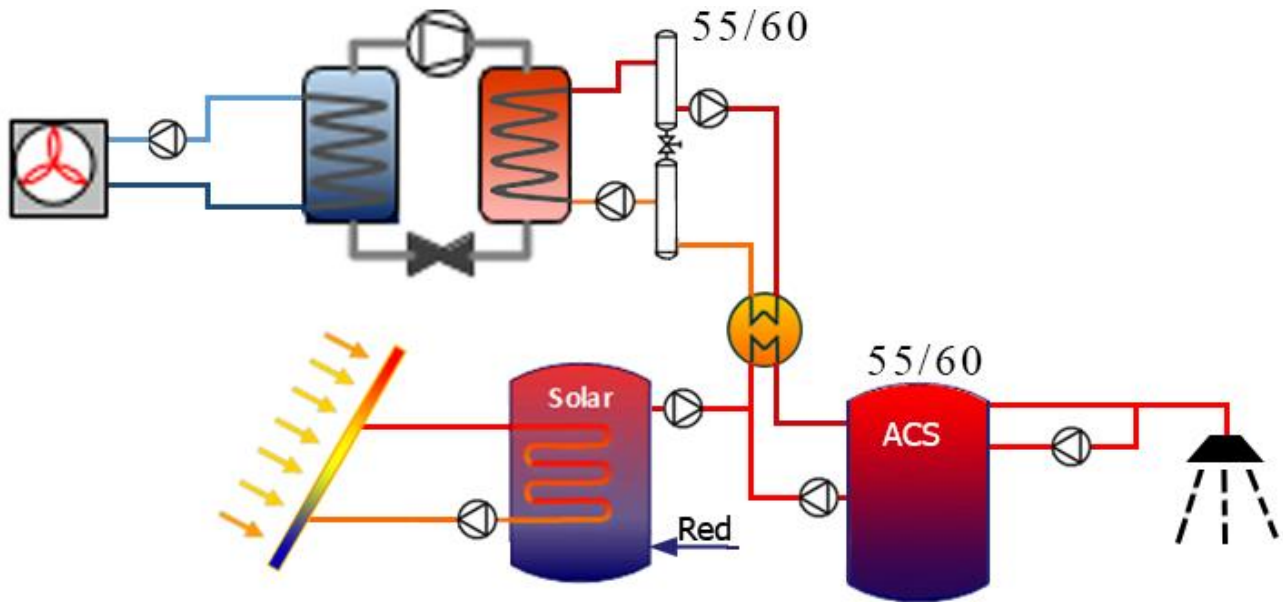


Figura A.10: Instalación I10. Fuente: Elaboración propia.

- **Instalación I11**

- **Bomba de calor eléctrica**

Calefacción (45 °C Split)

Refrigeración (7 °C Split)

ACS (60 °C)

- **Efecto Joule**

ACS (60 °C)

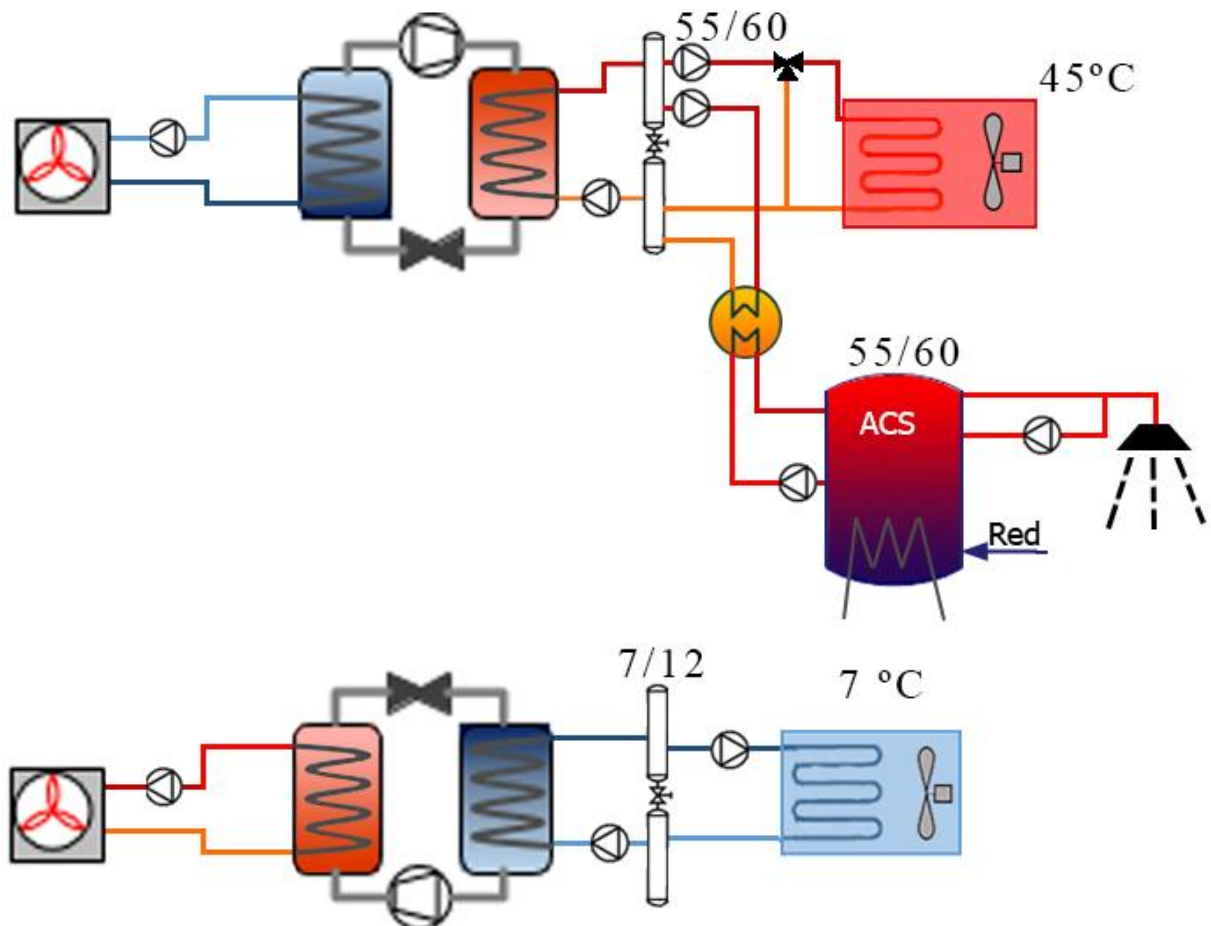


Figura A.11: Instalación I11. Fuente: Elaboración propia.

- **Instalación I12**
- **Caldera de biomasa**
ACS (60 °C)

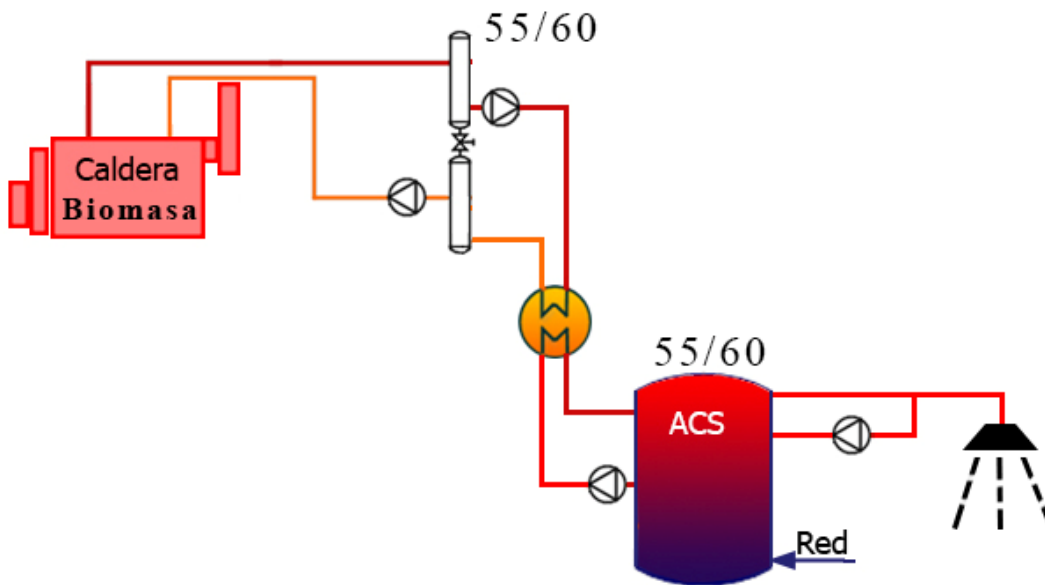


Figura A.12: Instalación I12. Fuente: Elaboración propia.

- **Instalación I13**

- **Caldera de biomasa**

Calefacción (45 °C Fancoil)

ACS (60 °C)

- **Bomba de calor eléctrica**

Refrigeración (7 °C Fancoil)

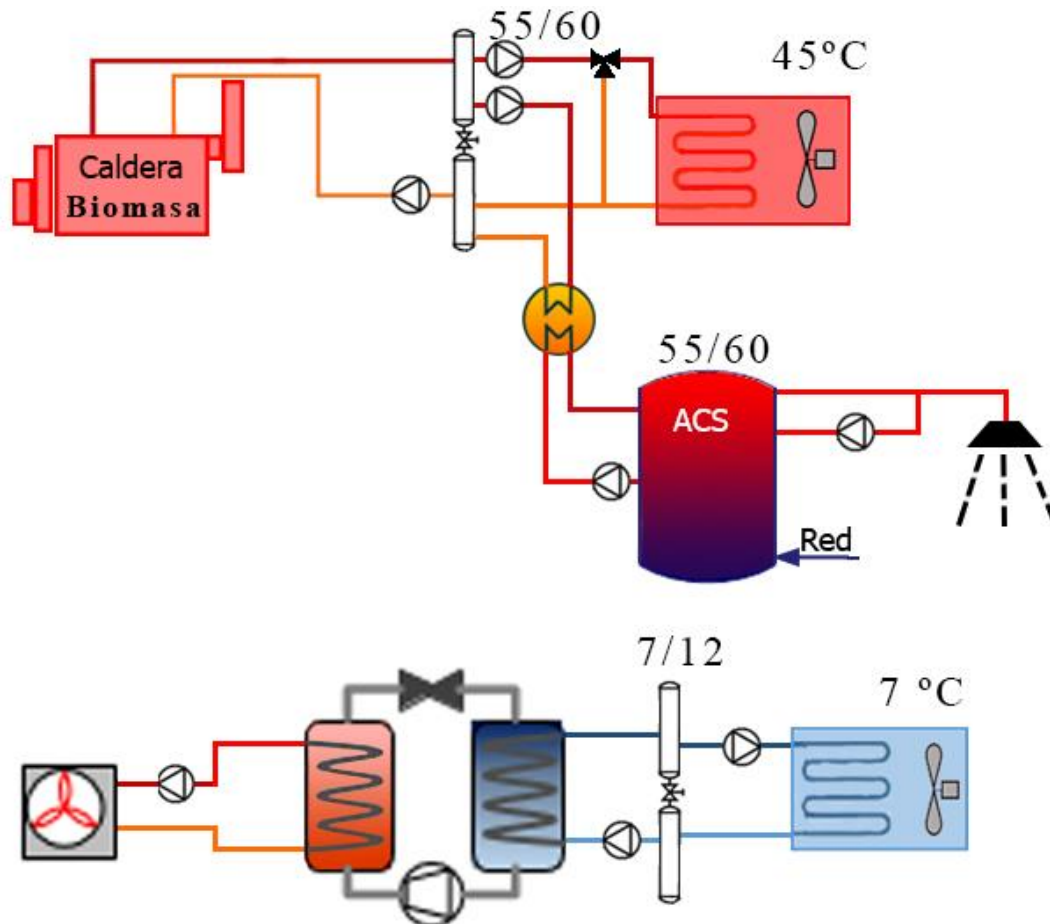


Figura A.13: Instalación I13. Fuente: Elaboración propia.

- **Instalación I14**

- **Caldera de biomasa**

Calefacción (40 °C Suelo radiante)

ACS (60 °C)

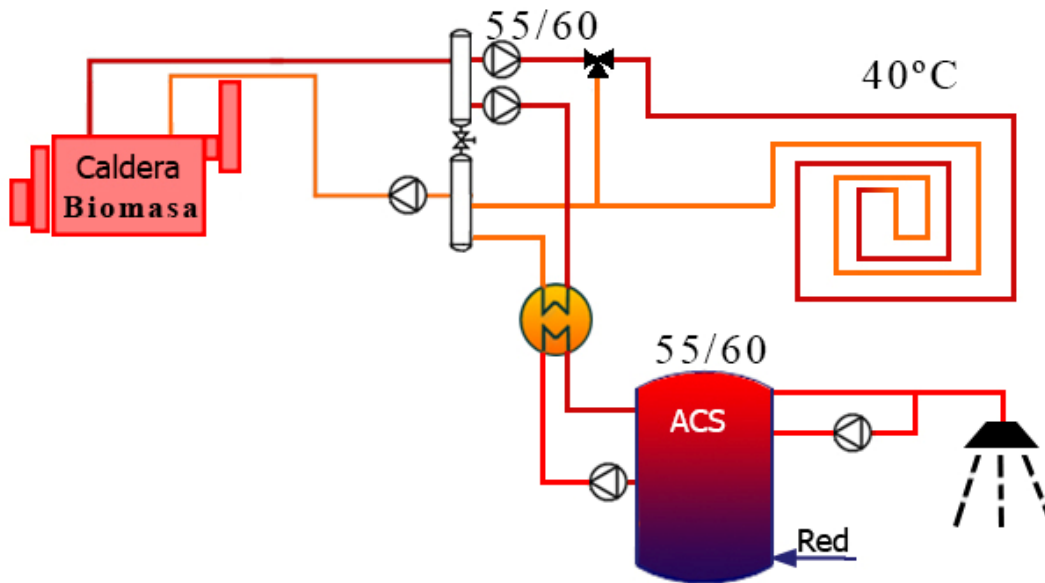


Figura A.14: Instalación I14. Fuente: Elaboración propia.

- **Instalación I15**

- **Caldera de biomasa**

Calefacción (60 °C Radiadores)

ACS (60 °C)

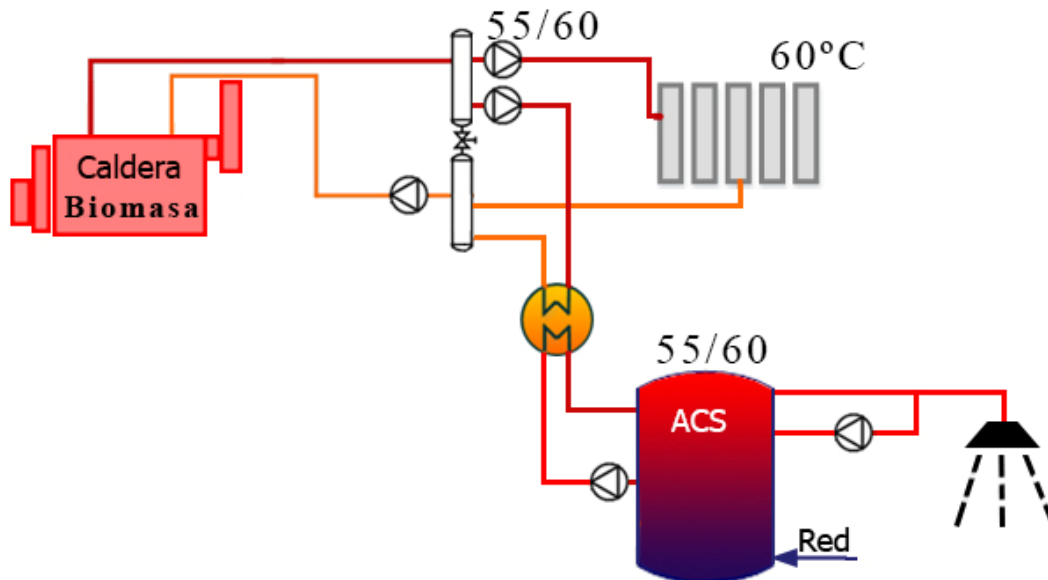


Figura A.15: Instalación I15. Fuente: Elaboración propia.

- **Instalación C1**
- **Caldera de condensación**
Calefacción (45 °C Fancoil)
ACS (60 °C)
- **Captador Solar**
ACS (60 °C)
- **Enfriadora eléctrica**
Refrigeración (7 °C Fancoil)

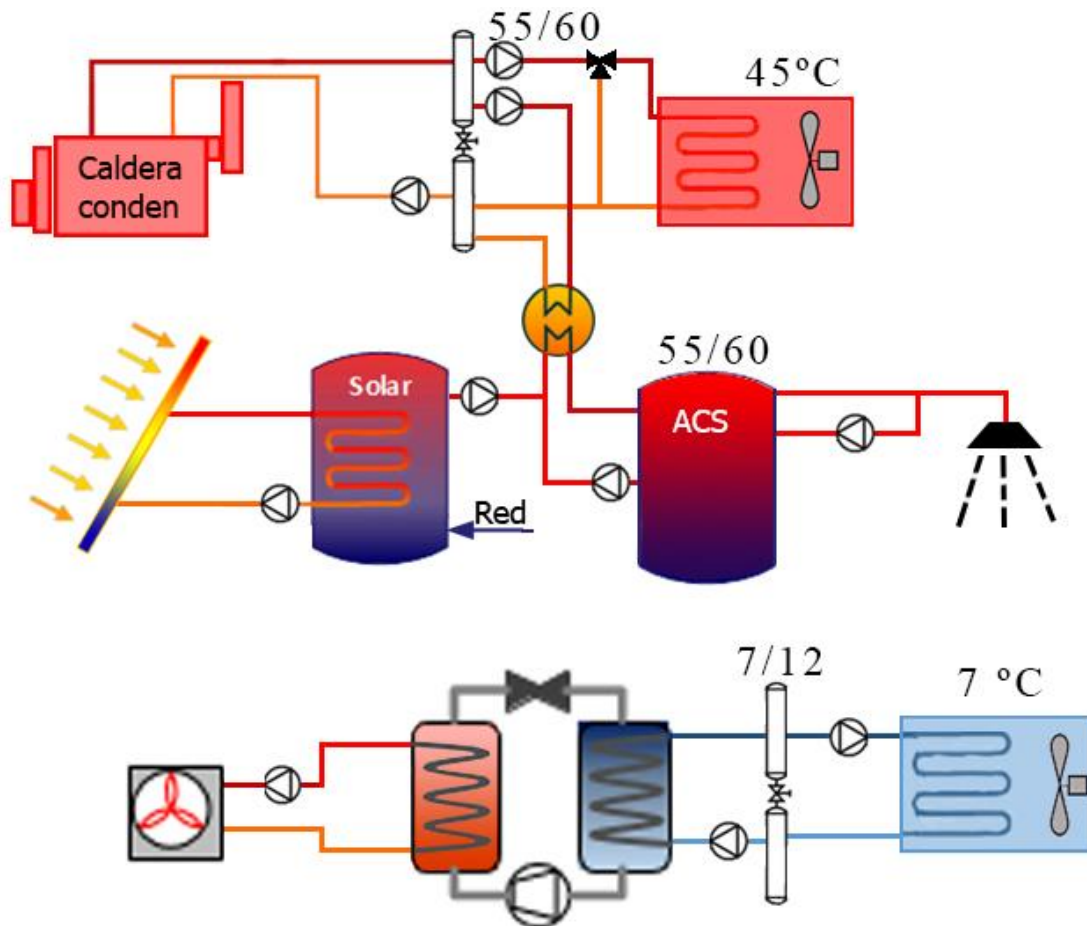


Figura A.16: Instalación C1. Fuente: Elaboración propia.

- **Instalación C3**

- **Caldera de condensación**

Calefacción (40 °C Suelo radiante)

ACS (60 °C)

- **Captador Solar**

ACS (60 °C)

- **Enfriadora eléctrica**

Refrigeración (17 °C Suelo radiante)

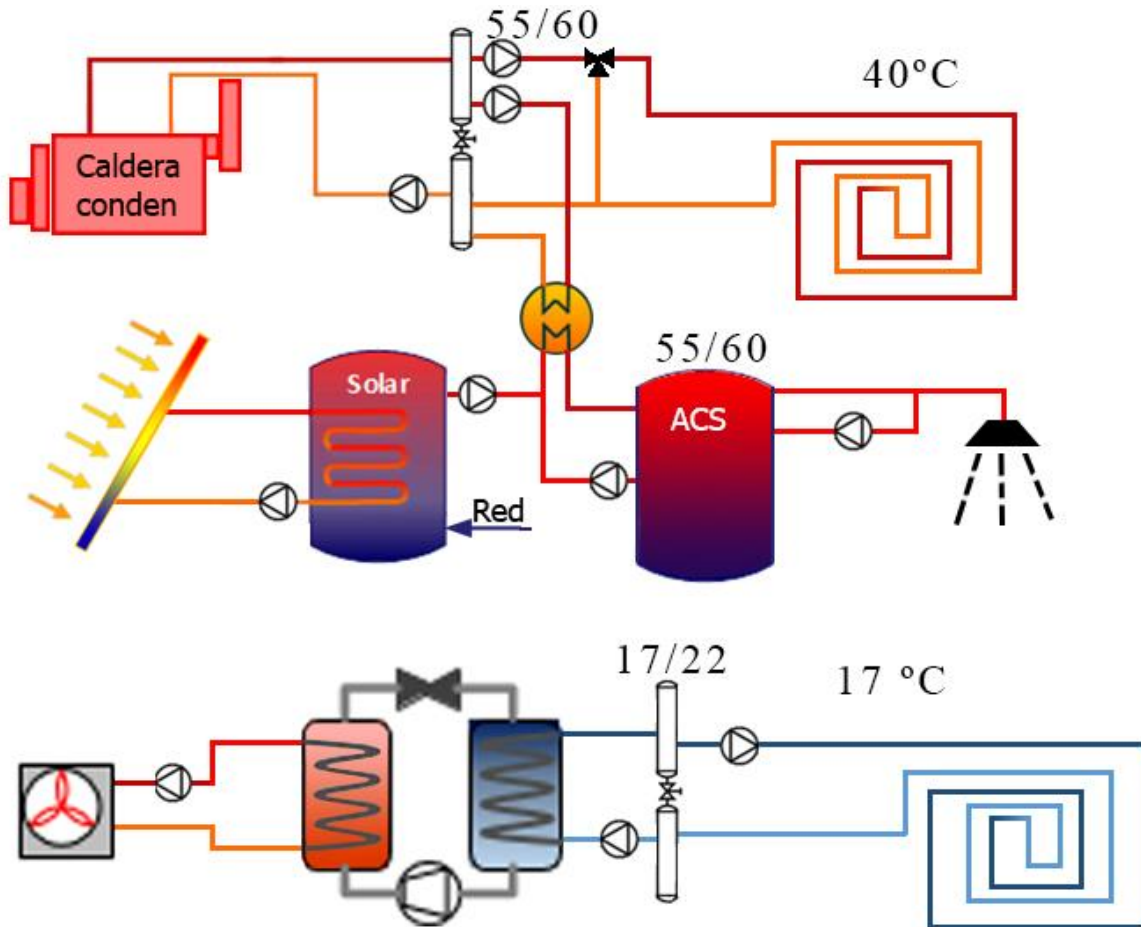


Figura A.18: Instalación C3. Fuente: Elaboración propia.

- **Instalación C4**

- **Caldera de condensación**

Calefacción (40 °C Suelo radiante)

ACS (60 °C)

- **Captador Solar**

ACS (60 °C)

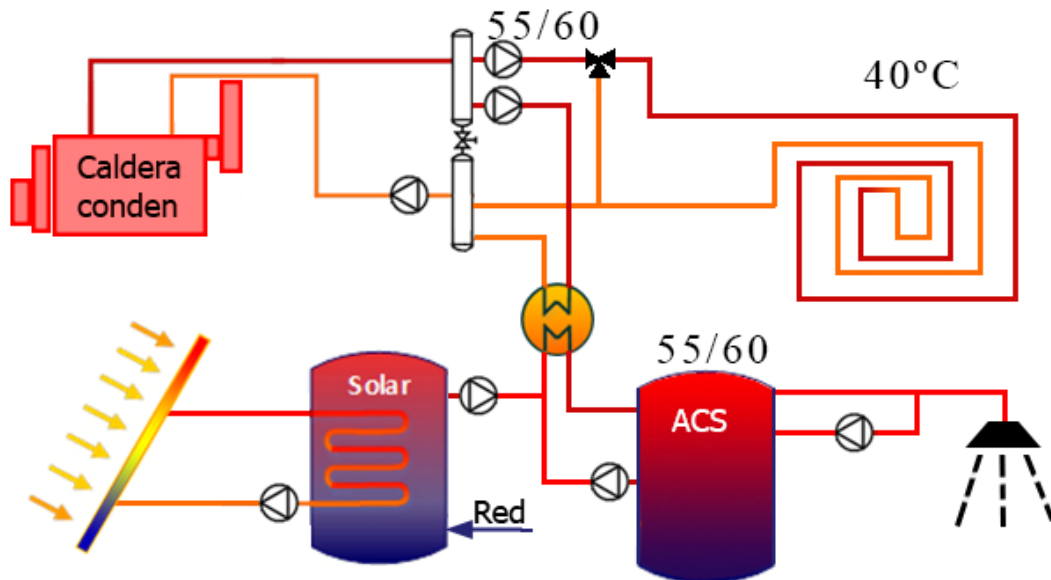


Figura A.19: Instalación C4. Fuente: Elaboración propia.

- **Instalación C5**

- **Bomba de calor a gas**

Calefacción (40 °C Suelo radiante)

ACS (60 °C)

Refrigeración (17 °C Suelo radiante)

- **Caldera de condensación**

ACS (60 °C)

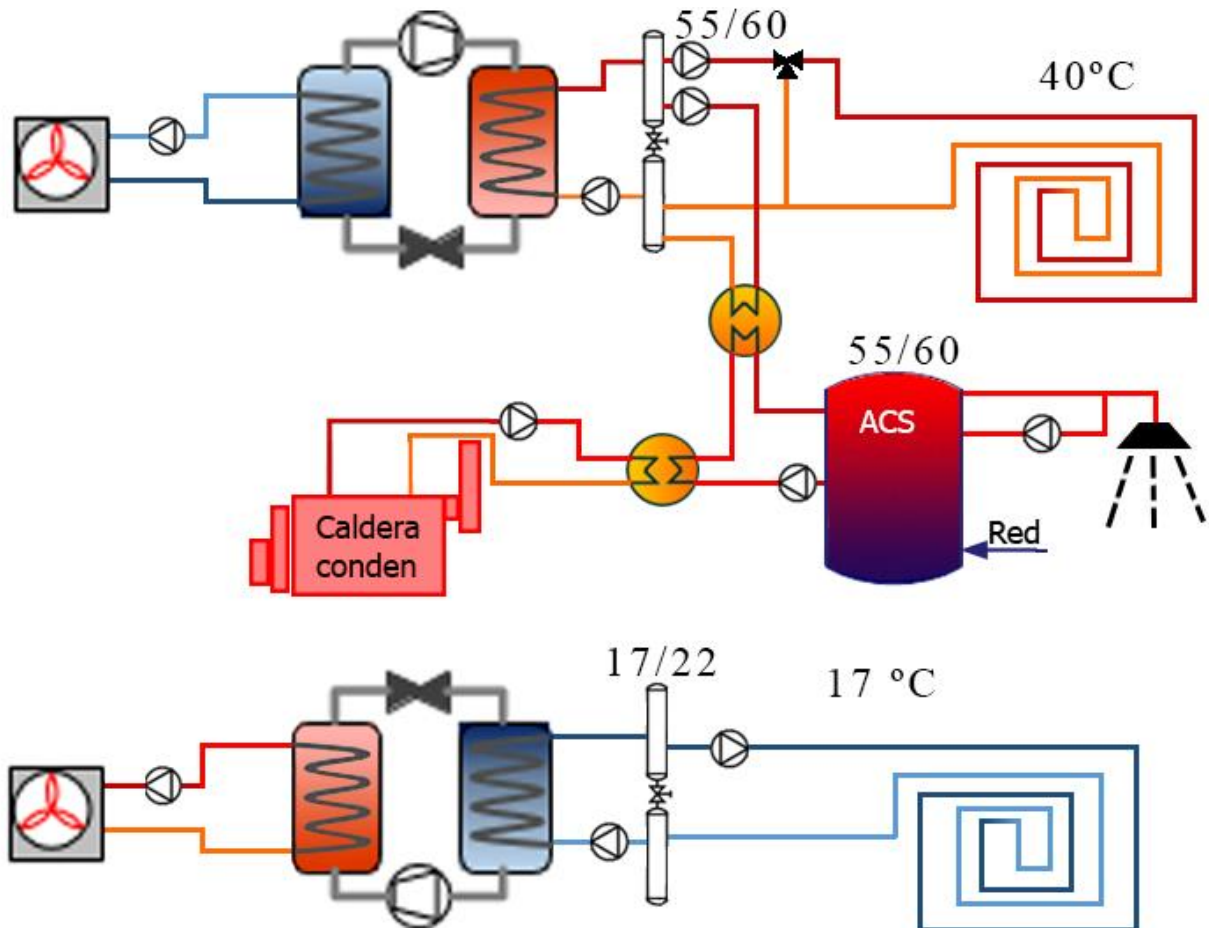


Figura A.20: Instalación C5. Fuente: Elaboración propia.

- **Instalación C6**
- **Bomba de calor eléctrica**
Calefacción (45 °C Fancoil)
ACS (60 °C)
- **Efecto Joule**
ACS (60 °C)

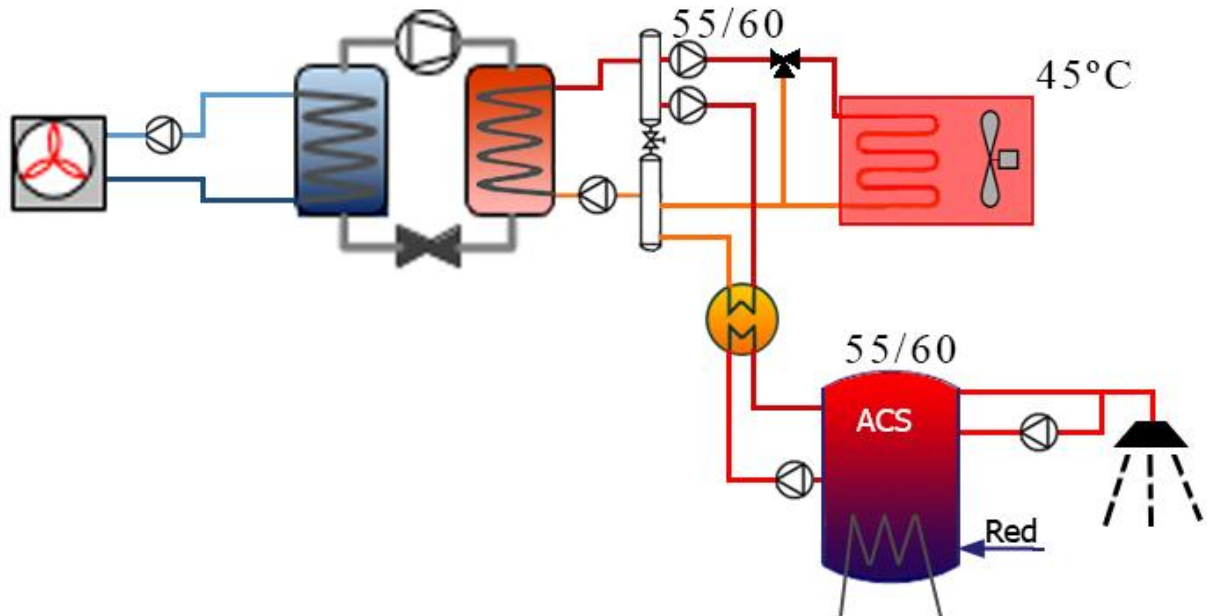


Figura A.21: Instalación C6. Fuente: Elaboración propia.

- **Instalación C7**
- **Bomba de calor eléctrica**
Calefacción (45 °C Fancoil)
ACS (60 °C)
Refrigeración (7 °C Fancoil)
- **Efecto Joule**
ACS (60 °C)

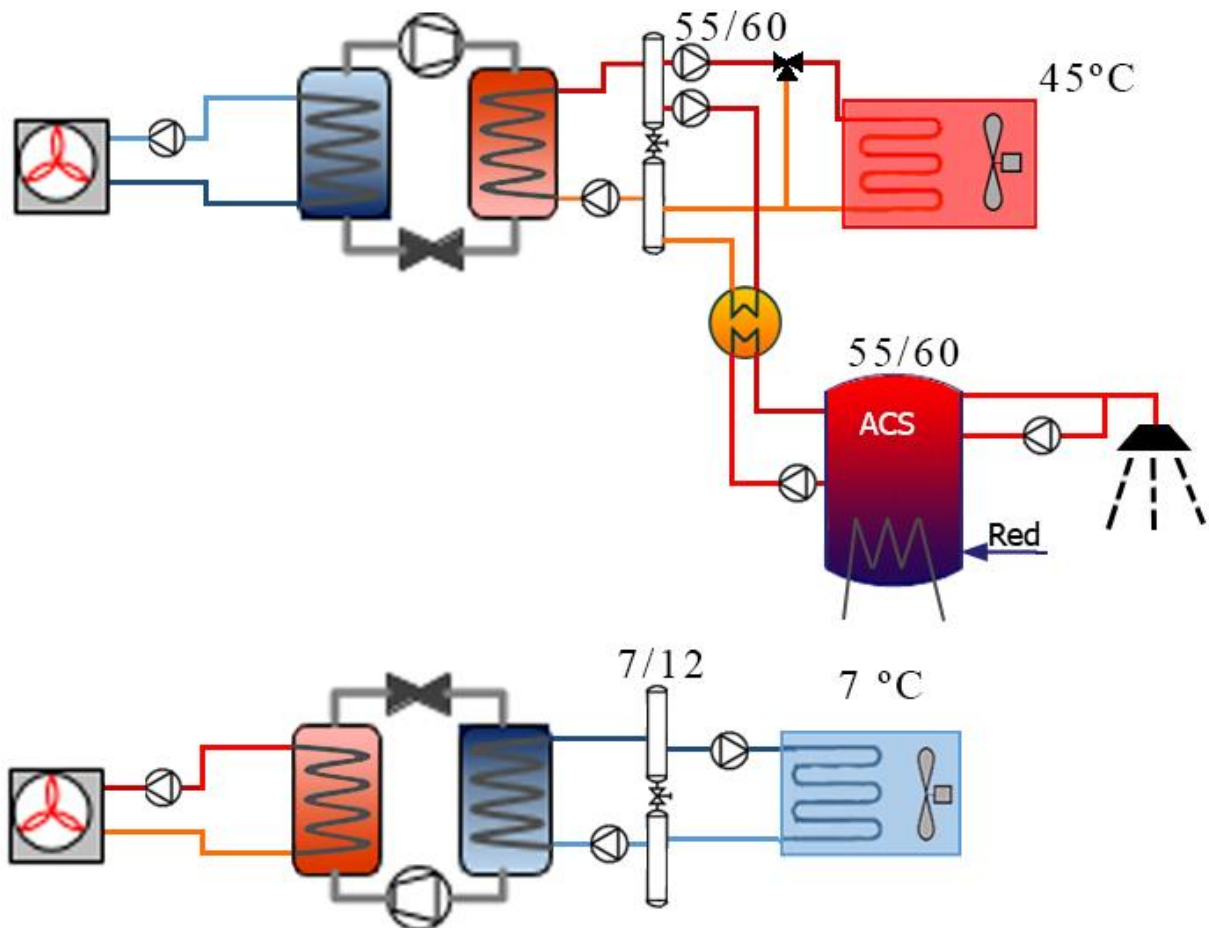


Figura A.22: Instalación C7. Fuente: Elaboración propia.

- **Instalación C9**

- **Bomba de calor eléctrica**

Calefacción (40 °C Suelo radiante)

ACS (60 °C)

Refrigeración (17 °C Suelo radiante)

- **Efecto Joule**

ACS (60 °C)

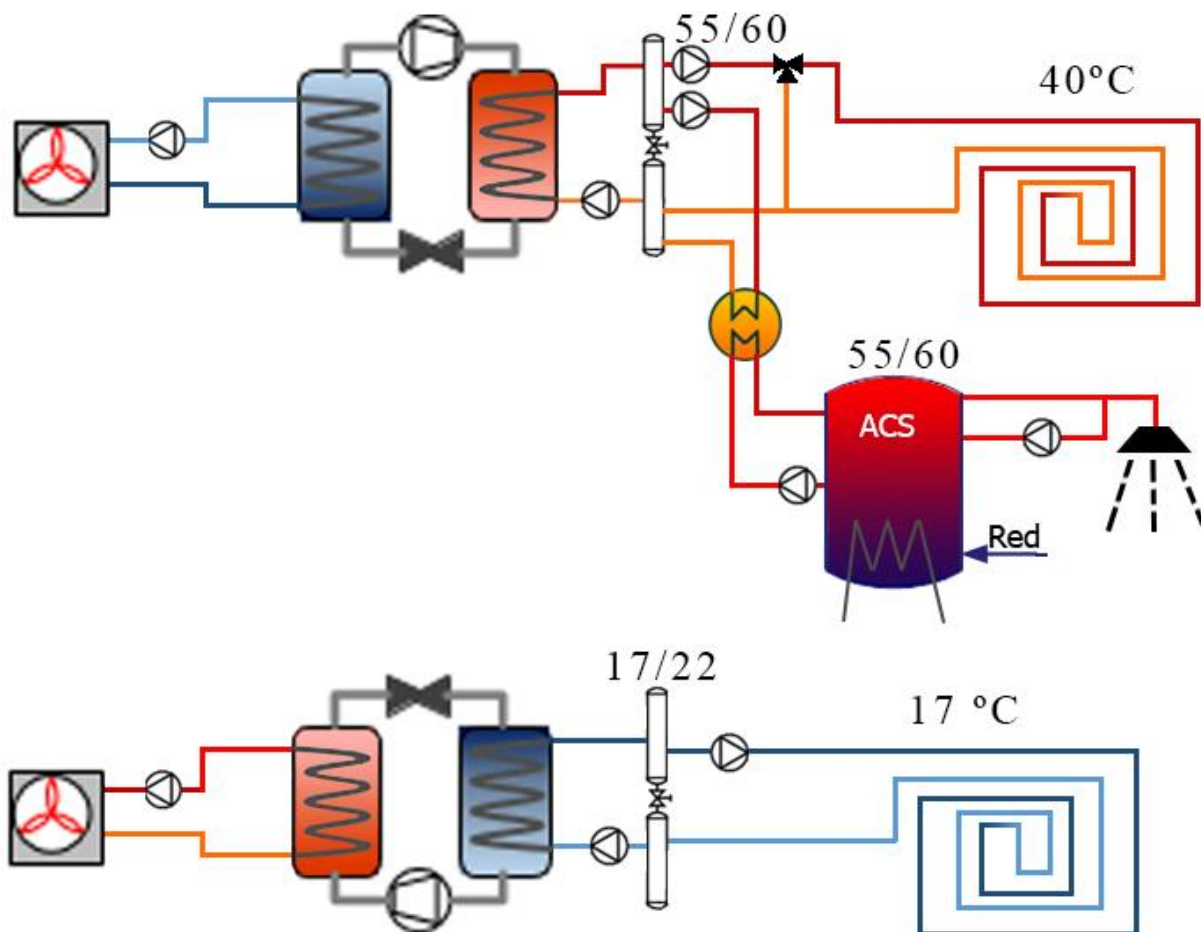


Figura A.24: Instalación C9. Fuente: Elaboración propia.

- **Instalación C10**

- **Caldera de biomasa**

Calefacción (40 °C Suelo radiante)

ACS (60 °C)

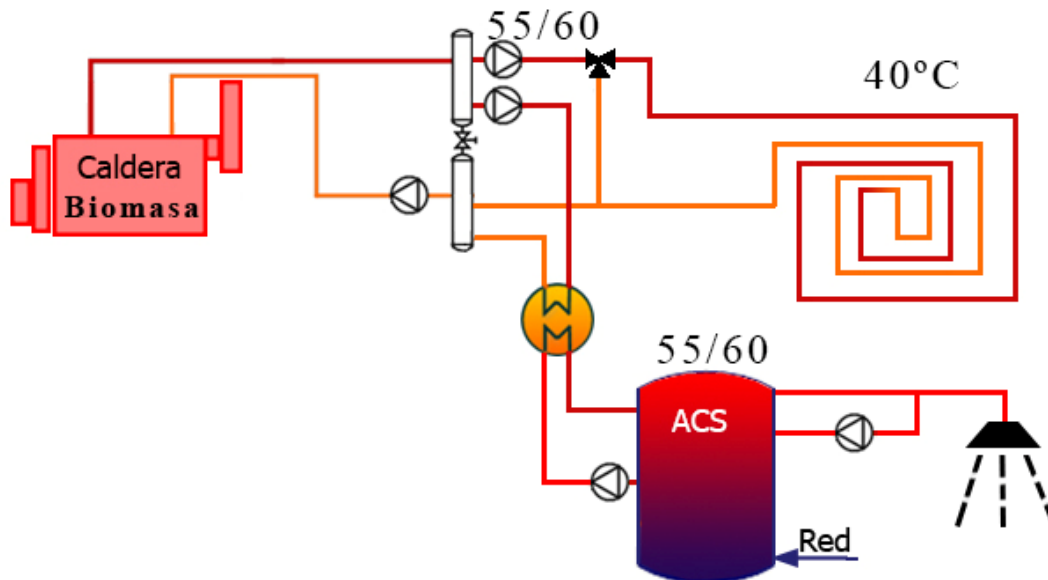


Figura A.25: Instalación C10. Fuente: Elaboración propia.

- **Instalación C11**

- **Caldera de biomasa**

Calefacción (40 °C Suelo radiante)

ACS (60 °C)

- **Enfriadora eléctrica**

Refrigeración (17 °C Suelo radiante)

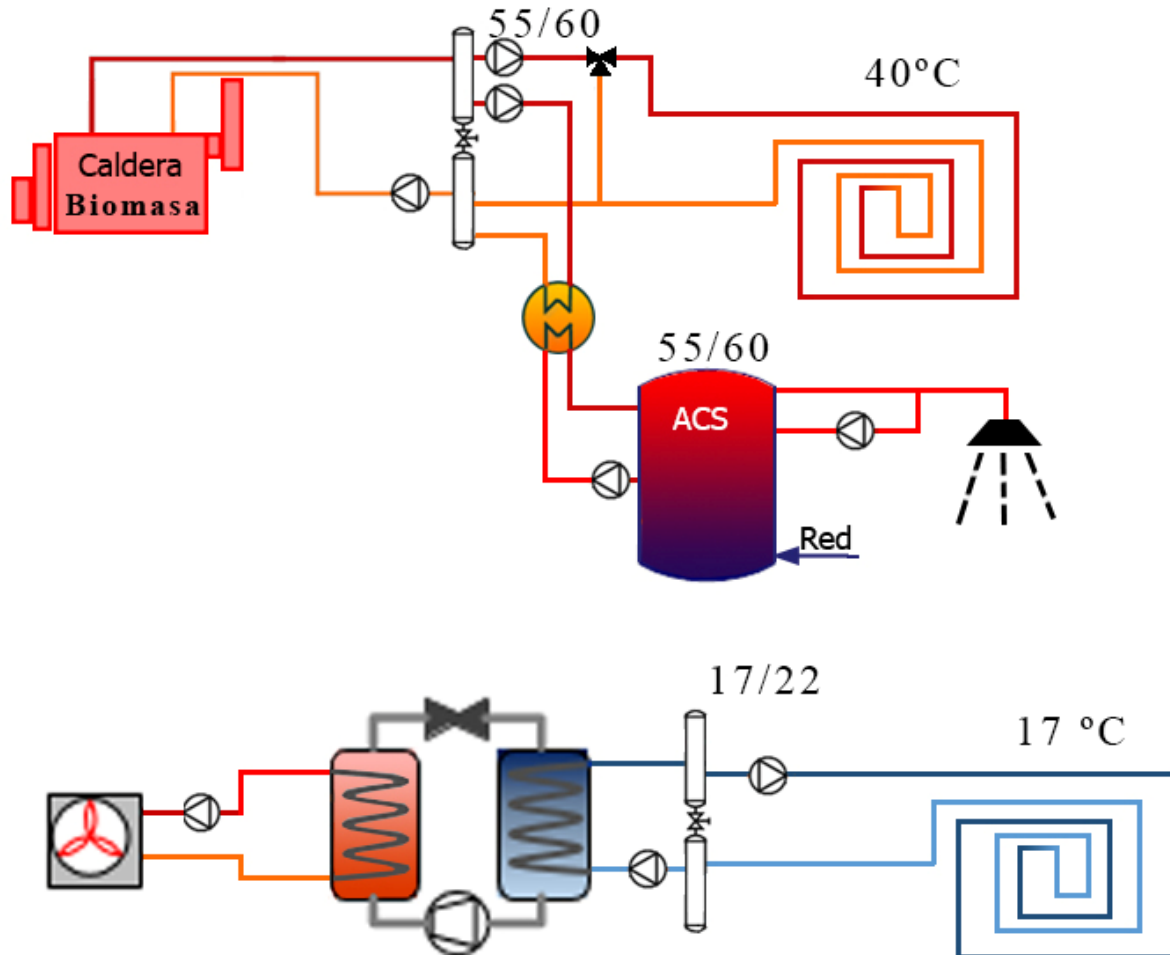


Figura A.26: Instalación C11. Fuente: Elaboración propia.

- **Instalación C12**

- **Caldera de biomasa**

Calefacción (60 °C Radiadores)

ACS (60 °C)

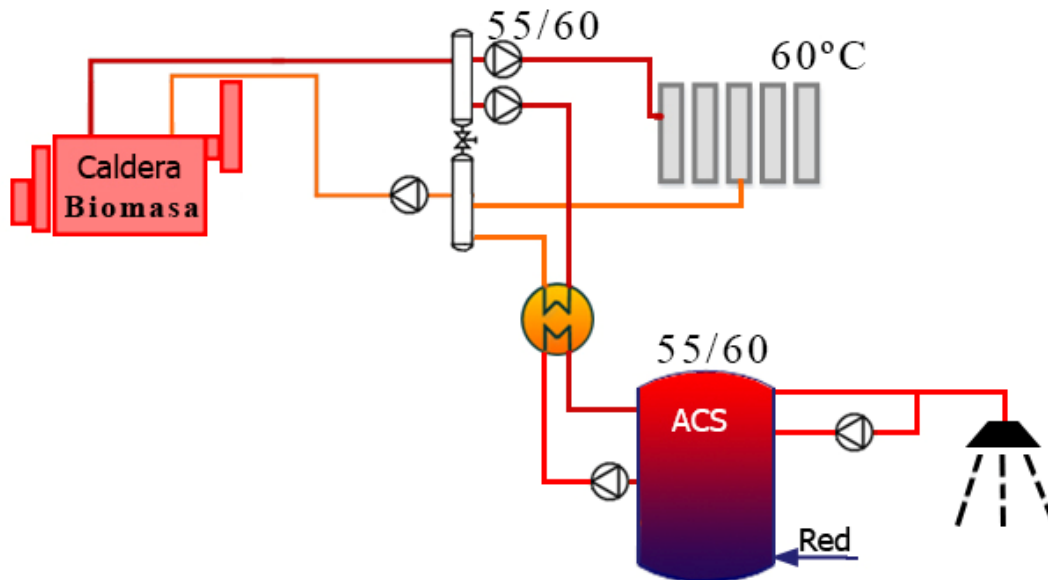


Figura A.27: Instalación C12. Fuente: Elaboración propia.

- **Instalación C13**
- **Caldera de biomasa**
Calefacción (60 °C Radiadores)
ACS (60 °C)
- **Enfriadora eléctrica**
Refrigeración (7 °C Fancoil)

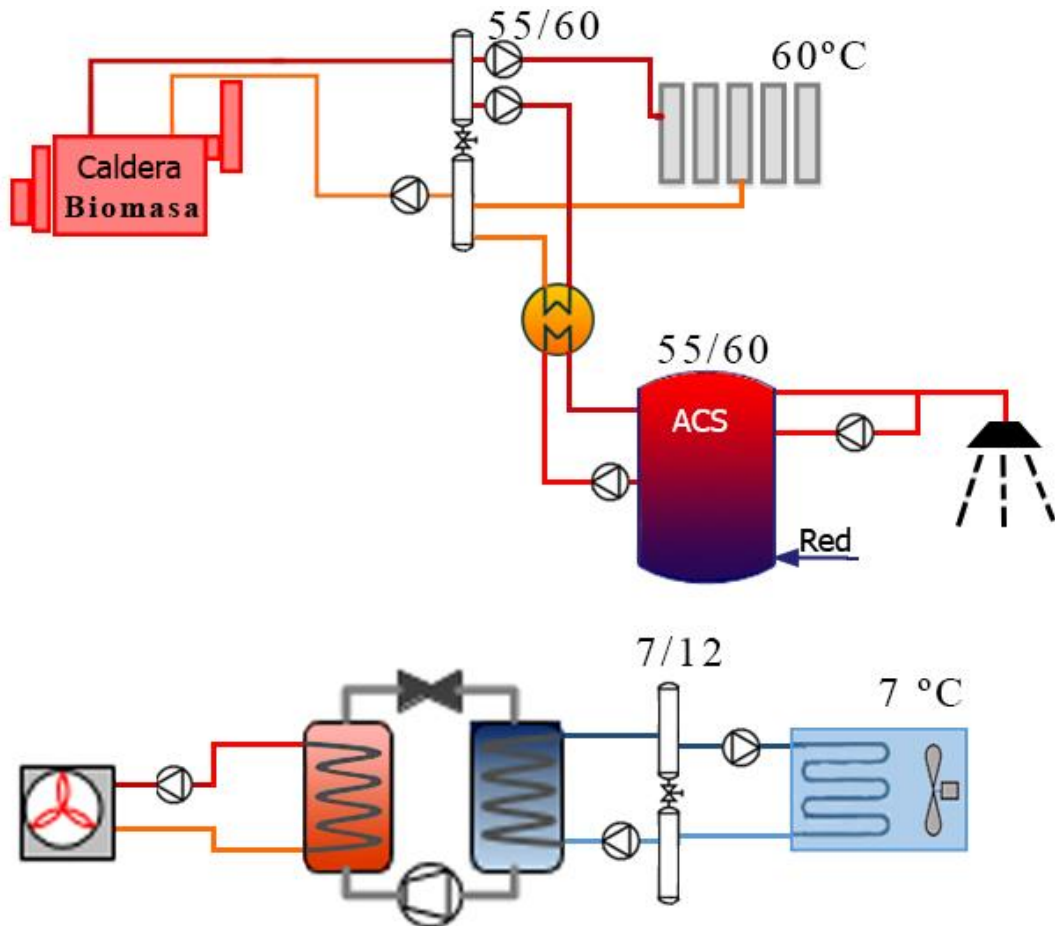


Figura A.28: Instalación C13. Fuente: Elaboración propia.

- **Instalación C14**

- **Caldera de condensación**

ACS (60 °C)

- **Captador solar**

ACS (60 °C)

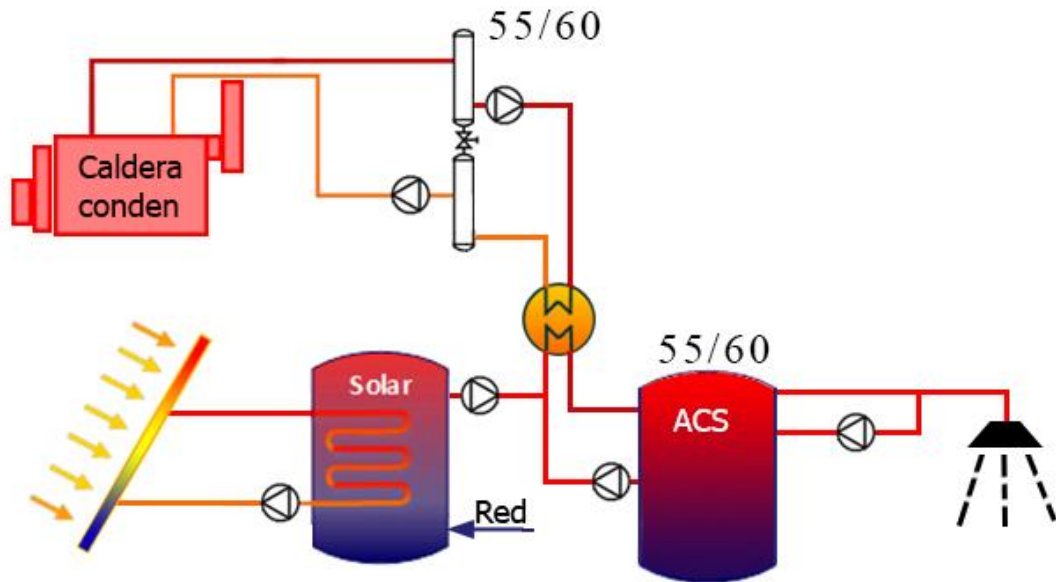


Figura A.29: Instalación C14. Fuente: Elaboración propia.

- **Instalación C15**
- **Bomba de calor a gas**
Calefacción (45 °C Fancoil)
ACS (60 °C)
Refrigeración (7 °C Fancoil)
- **Caldera de condensación**
ACS (60 °C)

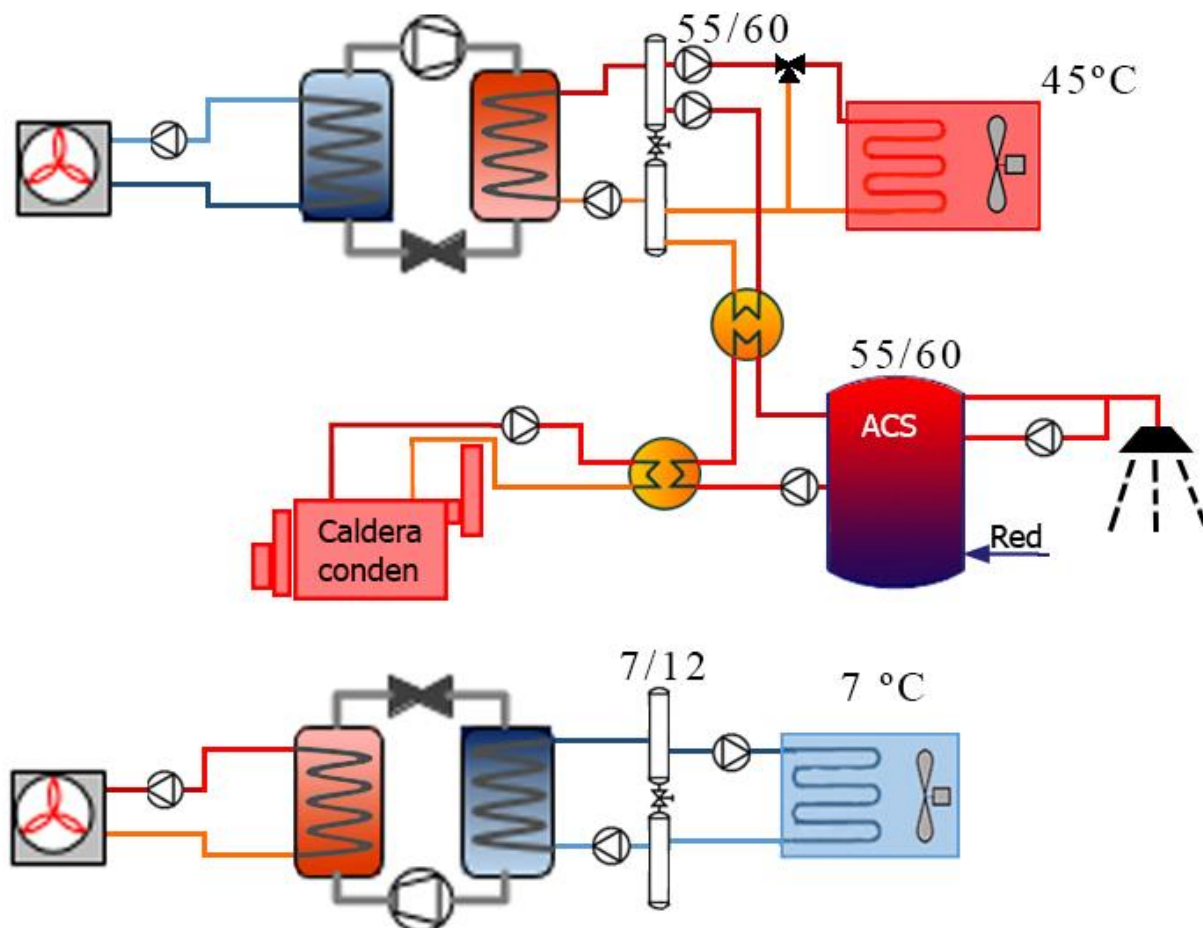


Figura A.30: Instalación C15. Fuente: Elaboración propia.

- **Instalación C16**

- **Bomba de calor eléctrica**

Calefacción (45 °C Split)

Refrigeración (7 °C Split)

- **Captador solar**

ACS (60 °C)

- **Calentador a gas**

ACS (60 °C)

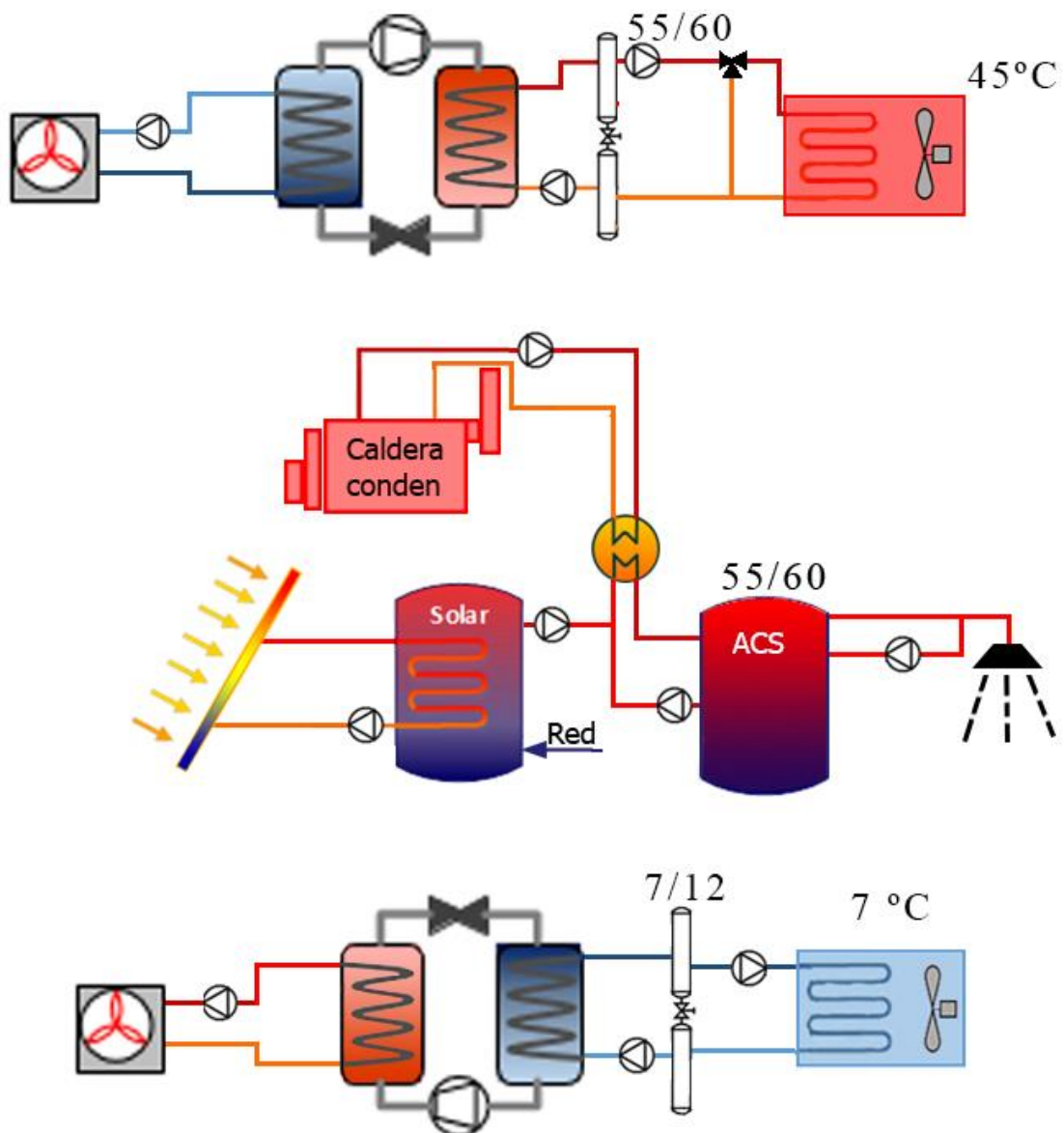


Figura A.31: Instalación C16. Fuente: Elaboración propia.

- **Instalación C17**
- **Bomba de calor eléctrica**
ACS (60 °C)
Refrigeración (7 °C Split)
- **Efecto Joule**
ACS (60 °C)

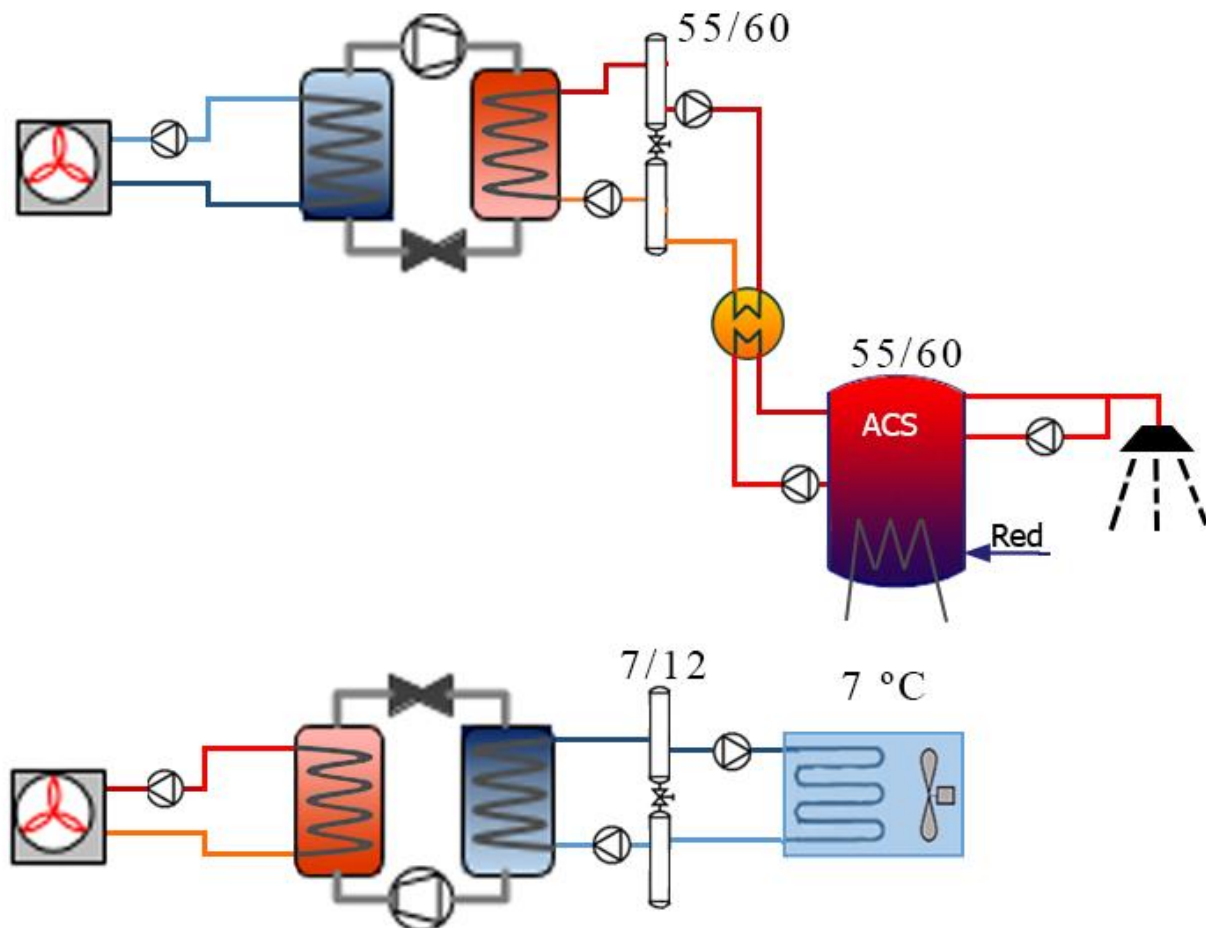


Figura A.32: Instalación C17. Fuente: Elaboración propia.

- **Instalación C18**

- **Bomba de calor eléctrica**

Calefacción (45 °C Fancoil)

ACS (60 °C)

Refrigeración (7 °C Fancoil)

- **Efecto Joule**

ACS (60 °C)

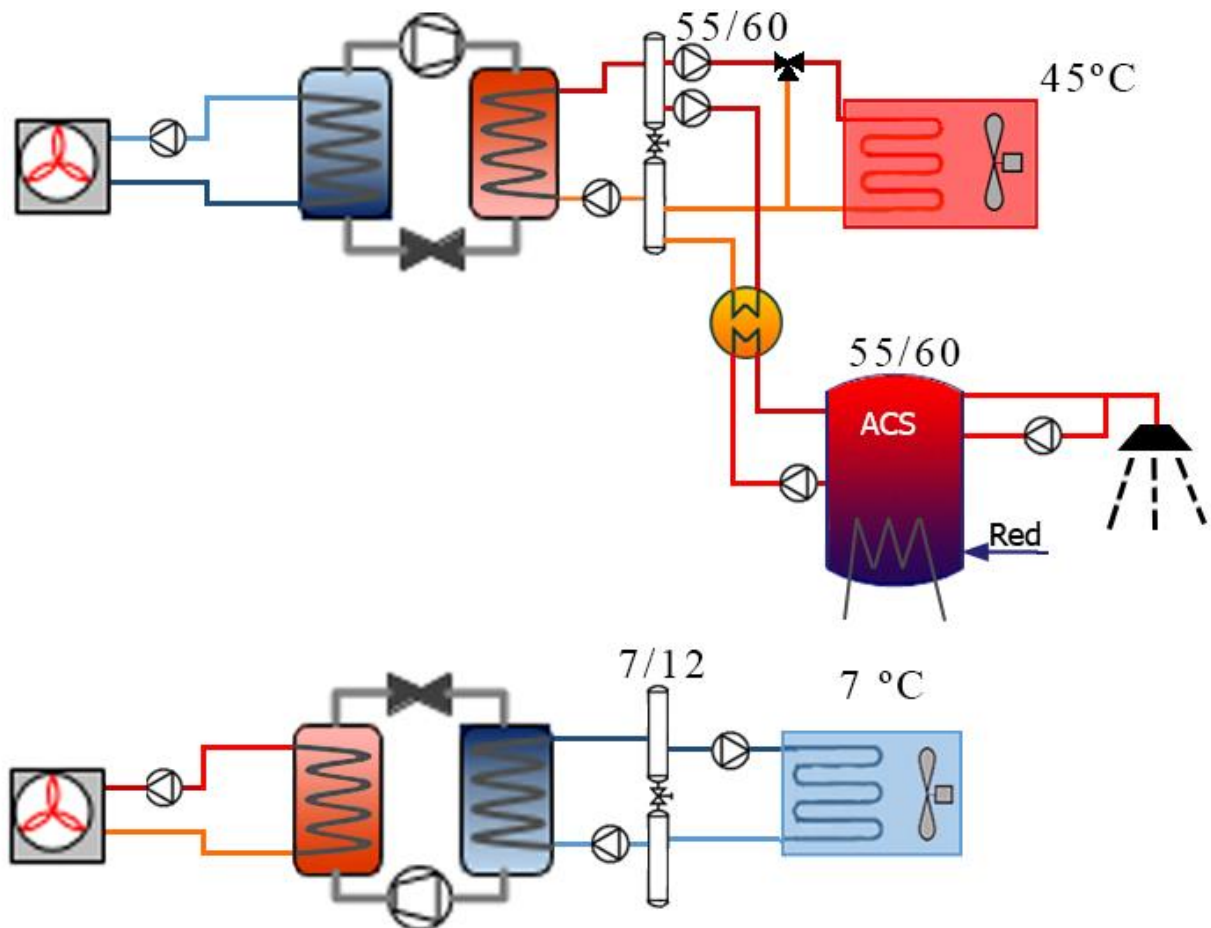


Figura A.33: Instalación C18. Fuente: Elaboración propia.

- **Instalación C19**
- **Caldera de biomasa**
Calefacción (45 °C Radiadores)
ACS (60 °C)
- **Enfriadora eléctrica**
Refrigeración (7 °C Fancoil)

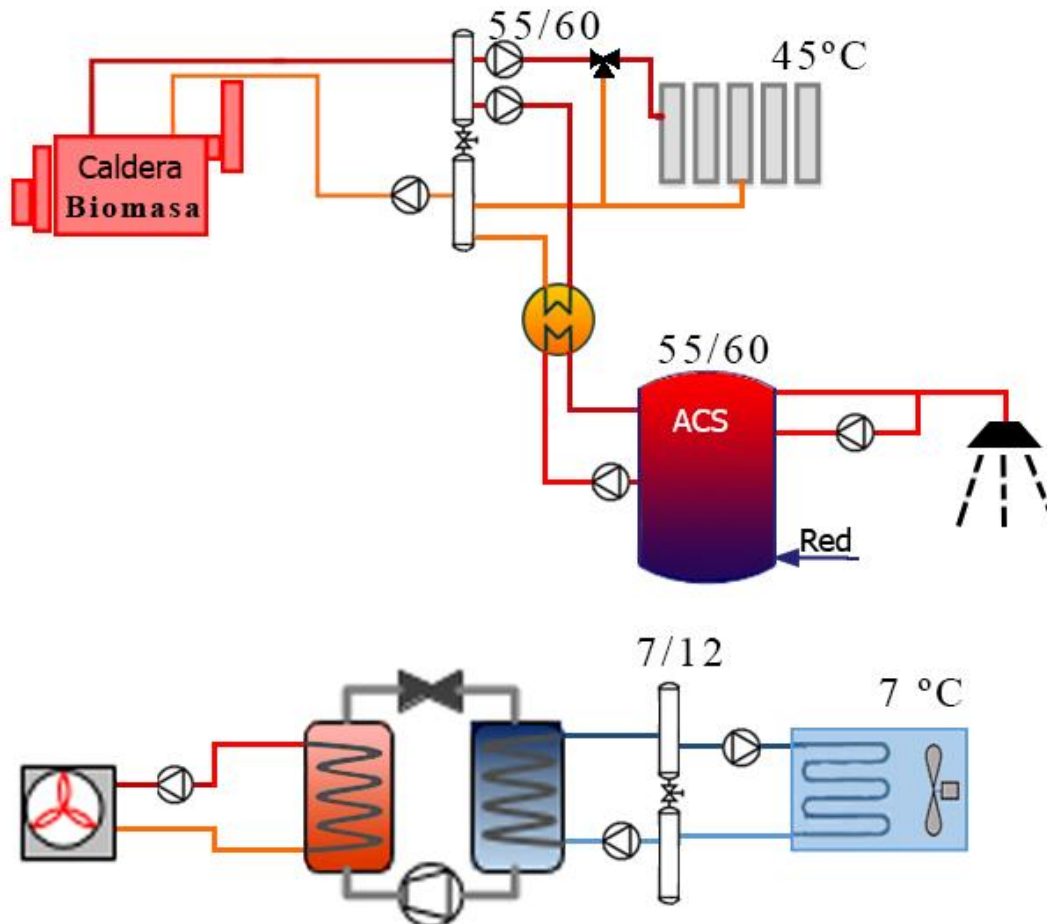


Figura A.34: Instalación C19. Fuente: Elaboración propia.

- **Instalación C20**

- **Caldera de biomasa**

Calefacción (45 °C Fancoil)

ACS (60 °C)

- **Enfriadora eléctrica**

Refrigeración (7 °C Fancoil)

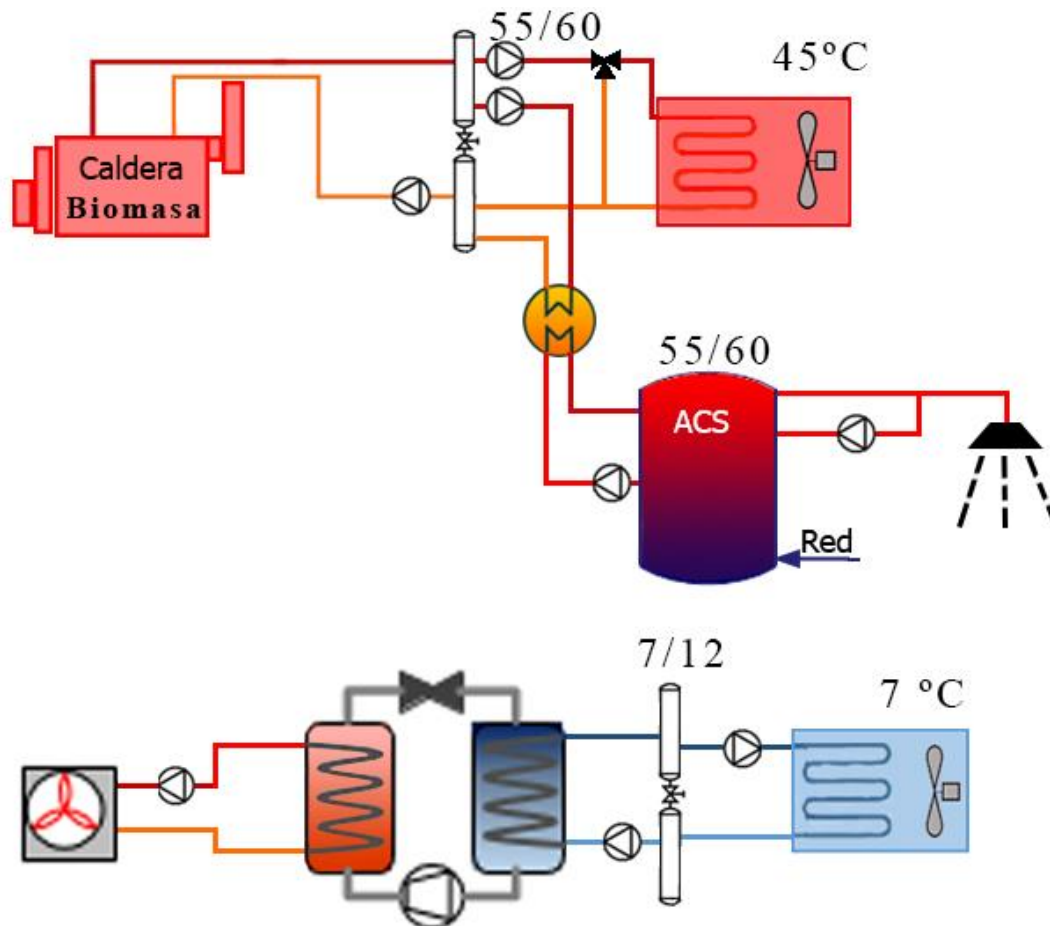


Figura A.35: Instalación C20. Fuente: Elaboración propia.

- **Instalación C21**
- **Caldera de biomasa**
ACS (60 °C)

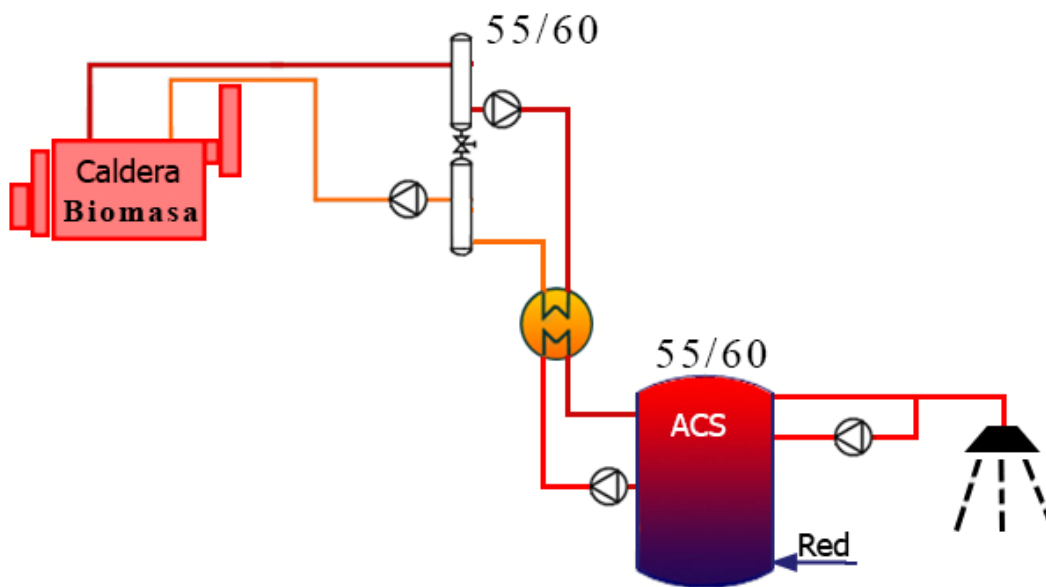


Figura A.36: Instalación C21. Fuente: Elaboración propia.

- **Instalación A**
- **Caldera de condensación**
ACS (60 °C)
- **Captador solar**
ACS (60 °C)
- **Enfriadora eléctrica**
Refrigeración (7 °C Fancoil)

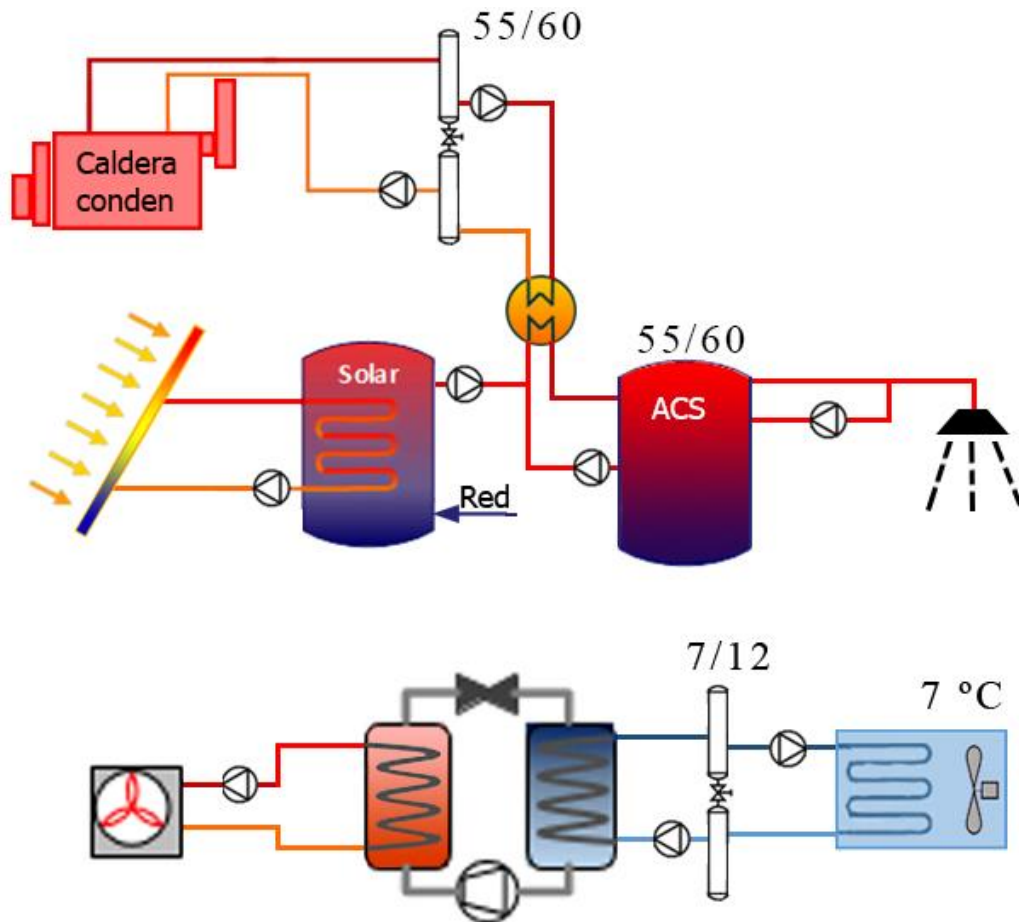


Figura A.37: Instalación A. Fuente: Elaboración propia.

- **Instalación B**

- **Caldera de biomasa**

Calefacción (45 °C Fancoil)

ACS (60 °C)

- **Enfriadora eléctrica**

Refrigeración (7 °C Fancoil)

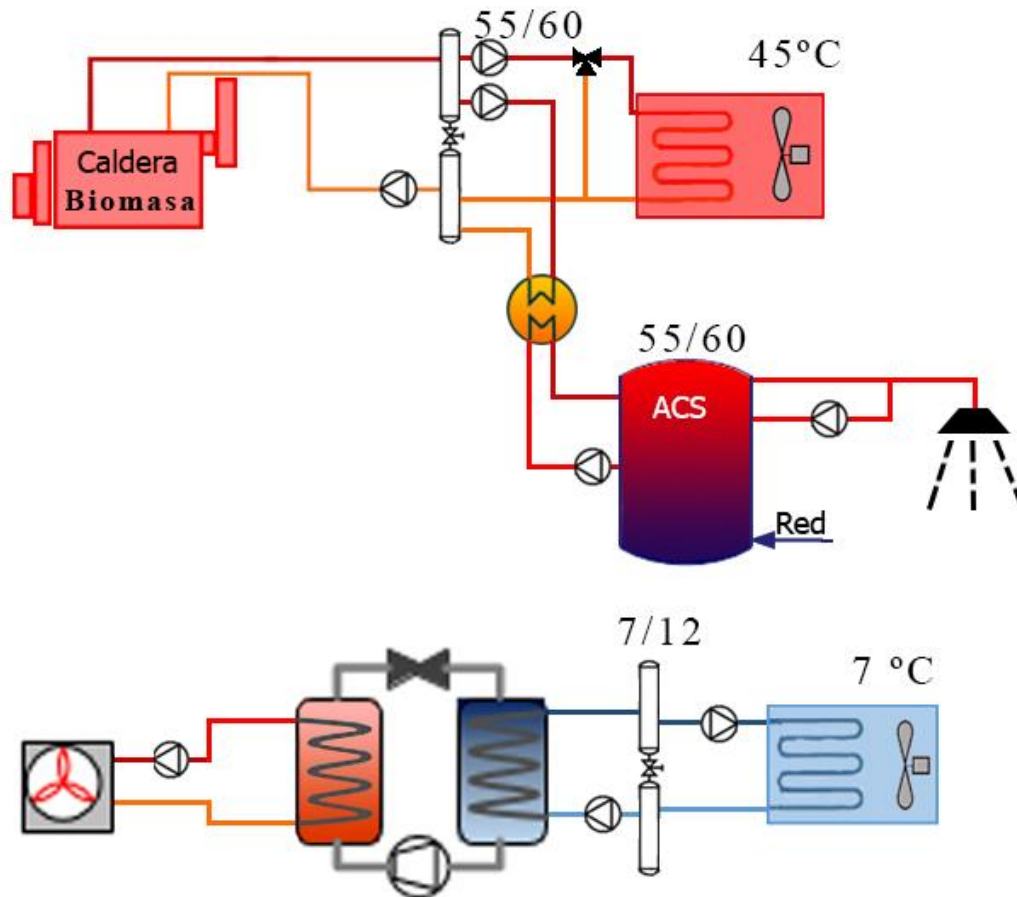


Figura A.38: Instalación B. Fuente: Elaboración propia.