



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería Mecánica

**ANÁLISIS ENERGÉTICO Y AMBIENTAL
MEDIANTE MONITORIZACIÓN DINÁMICA
DE UN DISTRICT HEATING DE BIOMASA EN
UN CAMPUS UNIVERSITARIO.**

Autora:

Juanes Mayfield, Beatriz

Director:

Rey Martínez, Fco. Javier

Codirector:

Rey Hernández, Javier María

Valladolid. Julio 2020.

Análisis energético y ambiental mediante monitorización dinámica de un District Heating de biomasa en un Campus Universitario.

Resumen:

Con el siguiente trabajo fin de grado se pretende mostrar el análisis realizado sobre la Red de Calefacción Centralizada (DH) y ACS implantada en la universidad de Valladolid en el año 2015. Para ello se ha hecho una descripción del DH de la UVa y estado del arte de las redes DH y DH&C.

A continuación se han descargado los datos de interés mediante la monitorización a través de un software llamado SCADA, con el objetivo de determinar parámetros físicos (caudales, temperaturas, etc) y datos de consumo energético (térmico y eléctrico).

Posteriormente se analizan los resultados calculando indicadores energéticos, ambientales y de coste económico, a fin de establecer la comparación entre el sistema DH y el sistema anterior con gas natural o gasóleo. Por último se analiza el impacto del campus frente a la edificación nZEB según el CTE español.

Palabras clave:

District Heating (DH), Biomasa, Eficiencia Energética, Descarbonización, Energías Renovables.

Abstract:

The following Final Degree Project (TFG) aims to show the analysis carried out on the District Heating network and Sanitary Hot Water Systems implemented at the University of Valladolid in 2015. For this purpose, a description has been made of the DH of the UVa and the state of the art of DH and DH&C networks.

Then, the data of interest have been downloaded by monitoring through a software called SCADA, in order to determine physical parameters (flow rates, temperatures, etc.) and data on energy consumption (thermal and electrical).

Subsequently, the results are analyzed calculating energy, environmental and economic cost indicators, in order to establish a comparison between the DH system and the previous system with natural gas or diesel. This analyzes the impact of the campus versus the nZEB edification according to the Spanish CTE.

Keywords:

District Heating, Biomass, Energy Efficiency, Decarbonization, Renewable Energies.

Análisis energético y ambiental mediante monitorización dinámica de un District Heating de biomasa en un Campus Universitario.

Objetivos.

El proyecto tiene por objetivo principal mostrar el ahorro energético, económico y reducción de impacto ambiental que supone la red DH de biomasa de la Universidad de Valladolid.

Para ello los puntos a seguir son:

- Realizar una revisión bibliográfica y del estado del arte de las redes DH y DH&C.
- Mostrar una descripción detallada del funcionamiento de la red DH de la Uva.
- Analizar los consumos térmicos y eléctricos de los edificios conectados a la red DH.
- Calcular y comparar distintos indicadores de calidad entre el sistema actual de calefacción y el anterior.
- Mostrar los ahorros de consumo energético, descarbonización y ahorro económico así como el impacto de rehabilitación hacia edificios nZEB del campus universitario de Valladolid según el CTE español.

Análisis energético y ambiental mediante monitorización dinámica de un District Heating de biomasa en un Campus Universitario.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1	Capítulo 1. Introducción.....	1
1.1	Cambio climático.....	1
1.2	Descarbonización en Europa. Green deal.....	2
1.3	Consumo energético actual nacional.....	5
1.4	Normativa vigente. energías renovables y eficiencia energética.....	10
1.5	La biomasa en España.....	14
2	Capítulo 2. District Heating&Cooling.....	19
2.1	Introducción a las redes de calefacción por distrito.....	19
2.2	Principales beneficios de las redes de calefacción por distrito.....	22
2.3	Objetivos 2020, 2030 y 2050 de los DH y DH&C.....	25
2.4	Evolución histórica de los DH&C.....	26
2.5	Instalaciones en España.....	28
3	Capítulo 3. Estudio del District Heating de la Universidad de Valladolid..	35
3.1	Antecedentes. Sistema de calefacción anterior.....	35
3.2	Situación actual de la red de calor en la UVA.....	39
3.3	Monitorización de datos a través del SCADA.....	61
3.3.1	Explicación del programa.....	61
3.3.2	Análisis de la depuración de datos físicos incorrectos, obtenidos a través del SCADA.....	65
4	Capítulo 4. Análisis energético, ambiental y económico del DH en la UVA mediante indicadores.....	71
4.1	Indicador de Intensidad energética IE.....	71
4.1.1	Rendimiento energético estacional de calefacción con el sistema de Gas Natural y Gasóleo.....	71
4.1.2	Rendimiento energético estacional de calefacción con el sistema.....	74
4.1.3	Indicador de consumo de energía eléctrica del sistema de bombeo hidráulico para cada edificio.....	76
4.2	Indicador de energía primaria, no renovable, renovable y total consumida.....	77
4.2.1	Análisis de edificios cercanos a consumo nulo de energía (nZEB).....	85
4.3	Indicador medioambiental IM.....	91
4.4	Indicador de costes económicos.....	95

5	Capítulo 5. Conclusiones.....	99
5.1	Posibles mejoras y líneas de investigación.....	100
6	Capítulo 6. Bibliografía.....	103
	ANEXO.....	117

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Evolución de la potencia instalada de energía eléctrica (MW). Fuente: PNIEC	8
Tabla 2. Porcentaje de energías renovables sobre consumo energía final en Escenario Tendencial. Fuente: PNIEC.....	11
Tabla 3. Porcentaje de energías renovables sobre consumo energía final en Escenario Objetivo. Fuente: PNIEC.	11
Tabla 4. Porcentaje de energías renovables en calor y frío. Fuente: PNIEC.	12
Tabla 5. Tipo de consumo, superficie y consumo anual de los edificios de la UVa. ...	36
Tabla 6. Consumo mensual de energía térmica, eléctrica y total en 2019 del edificio D12.	54
Tabla 7. Consumo energético térmico, eléctrico y total anual del año 2019 de los edificios de la UVa.....	61
Tabla 8. Valores de rendimientos de las instalaciones colectivas de gas y gas-oil. Fuente: Instituto Cerda, Cataluña.....	71
Tabla 9. Demanda térmica anual por edificios en kWh año.....	73
Tabla 10. Comparación de rendimiento estacional por edificios con GN/Gasóleo Vs Red DH.....	74
Tabla 11. Caudal anual de los edificios del Campus Miguel Delibes en el año 2019. (m ³ /año)	77
Tabla 12. Factores de emisiones de CO ₂ . Fuente: [37]	78
Tabla 13. Valores del Índice de energía primaria anterior y actual y ahorro energético de energía primaria y final.....	80
Tabla 14. Comparación de energía primaria renovable y no renovable con el sistema anterior y el actual.	82
Tabla 15. Energías renovables y no renovables de biomasa y eléctrica en la red DH.	84
Tabla 16. Índice de consumos eléctricos individual de cada edificio, final, no renovable y primaria. (kWh/m ² año).....	86
Tabla 17. Edificios nZEB con GN/Gasóleo y con la Red DH.	88
Tabla 18. Consumo de energía primaria total renovable con GN/Gasóleo y con la red DH. (kWh/m ²)	89
Tabla 19. Factores de emisiones de CO ₂ . Fuente: [37]	92
Tabla 20. Valores de emisiones de CO ₂ por metro cuadrado. (kgCO ₂ /m ² año)	94
Tabla 21. Valores de emisiones de CO ₂ . (Tn CO ₂ año).	94
Tabla 22. Precios de referencia de combustibles convencionales.	95
Tabla 23. Costes anteriores y actual total anual e cada edificio de la red DH (€/año)	98

Análisis energético y ambiental mediante monitorización dinámica de un District Heating de biomasa en un Campus Universitario.

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1. Cambio en la temperatura global observada y respuestas de los modelos a las trayectorias estilizadas de las emisiones antropógenas y del forzamiento. Fuente: IPCC.....	2
Figura 2. Trayectoria de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) según la hipótesis de 1,5 X. Comisión Europea. Fuente: “Green Deal” Comisión Europea	4
Figura 3. Emisiones de CO ₂ eq por sector. Históricas y proyección hasta 2030 emitidas en España. Fuente: PNIEC.	6
Figura 4: Aportación de las energías renovables sobre el consumo final con el conjunto de medidas previstas (%). Fuente: PNIEC.....	7
Figura 5. Objetivo acumulado de ahorro de energía final 2021-2030. Fuente: PNIEC	7
Figura 6. Mejora del autoabastecimiento energético nacional en 2030. Fuente: PNIEC.	8
Figura 7. Capacidad instalada de tecnologías renovables (MW) Fuente: PNIEC.....	9
Figura 8. Consumo de energía primaria en España. Fuente: APPA.....	9
Figura 9. Cobertura de la demanda de energía eléctrica en 2018. Fuente: APPA.....	10
Figura 10. Esquema general de un DH&C. Fuente: [22].....	20
Figura 11. Central térmica de una red DH. Fuente [23].	20
Figura 12. Ejemplo de red de distribución. Fuente: [24]	21
Figura 13. Intercambiador de una subestación de un DH. Fuente [25].	21
Figura 14. Fuentes de suministro comunes de las redes de calefacción por distrito. Fuente: [24].....	24
Figura 15. Redes censadas de DH y DH&C en España de 2013 a 2019. Fuente: ADHAC.....	28
Figura 16. Redes DH y DH&C por comunidades autónomas y porcentuales en España en 2019. Fuente: ADHAC	29
Figura 17. Potencia total instalada en MW en las redes DH y DH&C en España en 2019. Fuente: ADHAC.....	29
Figura 18. Potencia instalada en MW en las redes DH y DHC por comunidades autónomas en España en 2019. Fuente: ADHAC.....	30
Figura 19. Tipo de redes (DH, DH&C y DC) por comunidades autónomas en España en 2019. Fuente: ADHAC.	31
Figuras 20 y 21. Potencia instalada por tipo de red y por tipo de suministro. Fuente: ADHAC.....	31
Figura 22. Potencia instalada en MW por comunidad autónoma y tipo de suministro. Fuente: ADHAC.	32
Figura 23. Tipología de clientes en las redes nacionales en 2019. Fuente: ADHAC. .	32
Figura 24. Titularidad de las redes nacionales en 2019. Fuente: ADHAC.....	33
Figura 25. Energía consumida en las redes de calor y frío con distintas fuentes energéticas en España. Fuente: ADHAC.....	33
Figura 26. Evolución del indicador energético de consumo térmico de edificios de Valladolid. Fuente: [29]	37
Figura 27. Evolución del indicador energético de consumo térmico en Campus Esgueva y Avenida de Salamanca. Fuente: [29].....	37
Figura 28. Evolución del indicador energético de consumo térmico en el Campus Miguel Delibes. Fuente:[29]	38

Figura 29. Evolución del indicador energético de consumo de Residencias y Colegios Mayores. Fuente: [29].....	38
Figura 30. Central Térmica. Fuente [34]	39
Figura 31. Silo de almacenamiento del biocombustible. Fuente: [34]	40
Figura 32. Plano de Detalle de la sala de calderas de la central térmica. Fuente [34]	40
Figura 33. Depósitos de inercia. Fuente: [34].....	42
Figura 34. Tuberías pead preaisladas en obra. Fuente: [34].....	42
Figura 35. Esquema del circuito hidráulico de la central térmica del DH de la UVa. Fuente: [34].....	43
Figura 36. Características de las bombas hidráulicas de los dos anillos del circuito primario. Fuente: UVa.	44
Figura 37. Sistema de bombeo de las dos redes que abastecen al DH de la UVa. Fuente: [34].....	44
Figura 38. Esquema de la conexión de los edificios a la red de distribución. Fuente: [34].....	45
Figura 39. Consumo eléctrico mensual en el año 2019 del sistema de bombeo para ambos anillos. (kWh).....	45
Figura 40. Plano Red de distribución campus Miguel Delibes. Fuente: [25].....	46
Figura 41. Plano Red de distribución campus Esgueva. Fuente: [25]	48
Figura 42. Potencia térmica media diaria (kW) en el año 2019 del edificio D12.	49
Figura 43. Potencia térmica instantánea (kW) en el mes de noviembre de 2019 del edificio D12.	49
Figura 44. Potencia térmica instantánea (kW) en una semana de noviembre de 2019 del edificio D12.	49
Figura 45. Energía térmica acumulada (kWh) en 2019 del edificio D12.....	50
Figura 46. Medias diarias de temperaturas de ida y retorno de los circuitos primario y secundario en 2019 del edificio D12.	51
Figura 47. Temperaturas instantáneas de ida y retorno de los circuitos primario y secundario en una semana de noviembre de 2019 del edificio D12.	51
Figura 48. Temperaturas instantáneas de ida y retorno de los circuitos primario y secundario de dos días de noviembre de 2019 del edificio D12.....	51
Figura 49. Medias diarias de caudal del circuito secundario (m ³ /h) en 2019 del edificio D12.	52
Figura 50. Caudal acumulado (m ³) en 2019 del edificio D12.....	52
Figura 51. Energía eléctrica acumulada (kWh) consumida por el sistema de bombeo en 2019.	53
Figura 52. Energía total mensual en el año 2019 del edificio D12.	53
Figura 53. Energía total acumulada en el año 2019 del edificio D12.	54
Figura 54. Consumo térmico mensual en el año 2019 del edificio: Apartamentos Cardenal Mendoza. (kWh)	55
Figura 55. Consumo mensual en el año 2019 del edificio: Centro de Transferencia Tecnológica. (kWh).....	55
Figura 56. Consumo térmico mensual en el año 2019 del edificio: Aulario Miguel Delibes. (kWh)	55
Figura 57. Consumo térmico mensual en el año 2019 del edificio: IOBA (kWh).....	56

Figura 58. Consumo térmico mensual en el año 2019 del edificio: Nueva Facultad de Ciencias. (kWh).....	56
Figura 59. Consumo térmico mensual en el año 2019 del edificio: Telecomunicaciones e Informática. (kWh)	56
Figura 60. Consumo térmico mensual en el año 2019 del edificio: Quifima. (kWh) ..	56
Figura 61. Consumo térmico mensual en el año 2019 del edificio: Gimnasio Universidad. (kWh).....	57
Figura 62. Consumo térmico mensual en el año 2019 del edificio: Centro de Idiomas. (kWh).....	57
Figura 63. Consumo térmico mensual en el año 2019 del edificio: Facultad de Educ. y Trabajo Social. (kWh)	57
Figura 64. Consumo térmico mensual en el año 2019 del edificio: I+D (kWh)	57
Figura 65. Consumo térmico mensual en el año 2019 del edificio: Lucía. (kWh)	58
Figura 66. Consumo térmico mensual en el año 2019 del edificio: Servicio de Mantenimiento. (kWh)	58
Figura 67. Consumo térmico mensual en el año 2019 del edificio: E. Universitaria de Empresariales. (kWh).....	58
Figura 68. Consumo térmico mensual en el año 2019 del edificio: Facultad de Filosofía y Letras. (kWh)	59
Figura 69. Consumo térmico mensual en el año 2019 del edificio: Aulario Induva. (kWh).....	59
Figura 70. Consumo térmico mensual en el año 2019 del edificio: Alfonso VIII. (kWh)	59
Figura 71. Consumo térmico mensual en el año 2019 del edificio: IBGM. (kWh)	59
Figura 72. Consumo térmico mensual en el año 2019 del edificio: Ciencias de la Salud. (kWh)	60
Figura 73. Consumo térmico mensual en el año 2019 del edificio: Facultad de Económicas. (kWh)	60
Figura 74. Consumo térmico mensual en el año 2019 del edificio: Aulario Campus Esgueva. (kWh).....	60
Figura 75. Consumo térmico mensual en el año 2019 del edificio: Escuela de Ingenierías Industriales (kWh)	60
Figura 76. Circuito primario (calderas-depósitos de inercia).....	62
Figura 77. Redes de distribución que abastecen a los edificios conectados.....	63
Figura 78. Intercambiador de la subestación Escuela de Ingenierías industriales (E15)	63
Figura 79. Variables de los contadores eléctricos en la central.....	64
Figura 80. Evolución de la potencia instantánea de las calderas.....	65
Figura 81. Error de datos con valor cero en la subestación del edificio D12.....	66
Figura 82. Error de datos con valor cero en la subestación del D13.....	67
Figura 83. Error de datos del de caudal en la subestación del edificio D03.....	67
Figura 84. Comparación consumos energéticos de los bloques del Edificio E08: Ciencias de la Salud	69
Figura 85. Comparación de energía (kWh) obtenido por el SCADA y calculado a partir de la potencia del edificio D01.	70
Figura 86. Comparación de caudales (m ³ /h) obtenido por el SCADA y calculado del edificio D01.	70

Figura 87. Demanda térmica anual por edificios en kWh año.....	73
Figura 88. Comparación índice energético GN/Gasóleo VS Biomasa en kWh/m ² año.	75
Figura 89. Porcentaje (%) de ahorro relativo de cada edificio de la UVa.	75
Figura 90. Índice de intensidad energética eléctrica (IE eléctrico) (kWh/m ² año).....	77
Figura 91. Esquema de tipos de energía: Primaria, Final y Útil. Fuente: CTE DB-HE0	78
Figura 92. Comparación IE de energía primaria total. (kWh/m ²)	79
Figura 93. Comparación de ahorro de energía primaria y final gracias al DH (MWh).	80
Figura 94. Comparación de energía primaria no renovable por metro cuadrado	81
Figura 95. Comparación de energía primaria renovable por metro cuadrado	82
Figura 96. Comparación de energía no renovable eléctrica y biomasa por metro cuadrado.....	83
Figura 97. Comparación de energía renovable eléctrica y biomasa por metro cuadrado.....	84
Figura 98. Comparación de energía total primaria no renovable Red DH Vs GN/Gasóleo (kWh/m ² año)	87
Figura 99. Comparación de energía total primaria renovable Red DH Vs GN/Gasóleo (kWh/m ² año)	87
Figura 100. Porcentaje (%) de edificios nZEB de energía total primaria no renovable con GN/Gasóleo.....	90
Figura 101. Porcentaje (%) de edificios nZEB de energía total primaria no renovable con la Red DH.....	90
Figura 102. Porcentaje (%) de energía renovable respecto a la total (kWh) con GN/Gasóleo.....	90
Figura 103. Porcentaje (%) de energía renovable respecto a la total (kWh) con la red DH.....	90
Figura 104. Kg CO ₂ /m ² año de cada edificio de la UVa con GN/gasóleo y con la red DH.....	92
Figura 105. Kg de CO ₂ /m ² no emitidas en cada edificio de la UVa.....	93
Figura 106. Kg CO ₂ /m ² de cada edificio de la UVa con biomasa y con energía eléctrica.	93
Figura 107. Comparación de costes económicos calderas individuales Vs Red DH (€/m ² año)	96
Figura 108. Comparación de costes económicos calderas individuales Vs Red DH (€/año).....	97
Figura 109. Desglose de costes actuales con la red DH (€/ año).....	98

1 CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.

1.1 CAMBIO CLIMÁTICO.

El cambio climático es el mayor reto al que se enfrenta la sociedad actual. Según informes del IPCC se estima que las actividades humanas han causado un calentamiento global de aproximadamente 1,0C con respecto a los niveles preindustriales, con un rango probable de 0,8C a 1,2C. Si el ritmo de calentamiento global continúa al ritmo actual, es posible que el calentamiento global llegue a 1,5C entre 2030 y 2050. [\[1\]](#)

Como explican los objetivos de la Agenda 2030, nuestra vulnerabilidad al cambio climático nos debe hacer trabajar en la mitigación de los riesgos y en la adaptación al mismo. Las prioridades de actuación son reducir el impacto ambiental de las ciudades, atendiendo especialmente a la calidad del aire y a la gestión de residuos, y proteger el patrimonio cultural y natural.

Otro gran problema que supone el calentamiento global es la subida del nivel del mar debido a la dilatación térmica de los océanos y al derretimiento de los glaciares. Se prevé una elevación media del nivel del mar de entre 24 cm y 30 cm para 2065 y entre 40 cm y 63 cm para 2100. [\[2\]](#)

Para mitigar los efectos negativos del cambio climático el objetivo principal es disminuir el calentamiento global reduciendo la cantidad de gases de efecto invernadero. Naciones Unidas, en busca de un desarrollo sostenible, el 25 de septiembre de 2015, se comprometió con los 17 objetivos de desarrollo sostenible (ODS) y su cumplimiento para el año 2030. [\[3\]](#)

Especial importancia con el cambio climático tiene el ODS 13, “Acción por el clima”. En él se pretende adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos. La lucha contra el cambio climático, tanto la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero como la adaptación al cambio climático, son una prioridad en la actualidad.

El objetivo es prepararnos para afrontar los impactos del cambio climático y sentar las bases de una economía neutra en emisiones. Involucrando a todas las administraciones y a todos los actores de la sociedad civil y del mundo académico y científico.

Es necesario tomar consciencia del gran problema que supone el cambio climático y de que la mayor parte de sus efectos persistirán durante muchos siglos, a pesar de que se frenen las emisiones, debido a la inercia térmica de la Tierra.

A pesar de ello, las emisiones mundiales de dióxido de carbono (CO₂) han aumentado casi un 50% desde 1990. Entre 2000 y 2010 se produjo un incremento de las emisiones mayor que en las tres décadas anteriores. [4]

La relación que tiene la emisión de gases de efecto invernadero con el calentamiento global y el cambio climático es innegable. En un informe del IPCC [4] se plantean tres posibles escenarios futuros en cuanto al aumento de la temperatura media mundial en función de las emisiones de CO₂ equivalente, como se ve en la Figura 1.

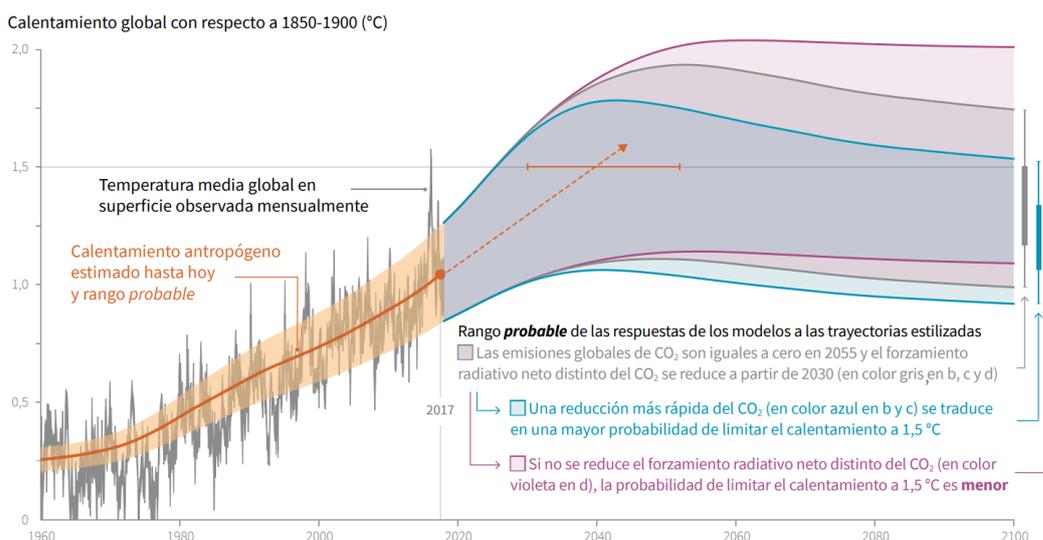


Figura 1. Cambio en la temperatura global observada y respuestas de los modelos a las trayectorias estilizadas de las emisiones antropógenas y del forzamiento. Fuente: IPCC

Buscando un desarrollo sostenible, el gran reto de la actualidad debería ser reducir rápidamente las emisiones de CO_{2eq} para limitar el aumento del calentamiento global a 1,5°C en 2100 y tener como objetivo la descarbonización de las grandes urbanizaciones y la reabsorción de los gases de efecto invernadero con idea de recuperar las concentraciones que se tenían en la época preindustrial.

1.2 DESCARBONIZACIÓN EN EUROPA. GREEN DEAL.

La alerta climática planteada por la comunidad científica ha hecho que, en el horizonte 2020- 2050, las emisiones de CO₂ se constituyan como el principal vector de transformación del sector de la energía.

La descarbonización del sistema energético es el horizonte político prioritario a lograr en el siglo XXI. Europa se ha comprometido a limitar sus emisiones de CO₂, con el objetivo de lograr un desarrollo sostenible.

Esto se ve reflejado en el Objetivo 7 de los ODS. “Energía asequible y no contaminante” [5] cuyas metas son aumentar considerablemente la proporción

de energía renovable, duplicar la tasa mundial de mejora de la eficiencia energética, aumentar la cooperación internacional para facilitar el acceso a la investigación y la tecnología relativas a la energía limpia, incluidas las fuentes renovables, la eficiencia energética y las tecnologías avanzadas y menos contaminantes de combustibles fósiles, y promover la inversión en infraestructura energética y tecnologías limpias en los próximos 10 años. En relación con esto, se busca conseguir ciudades sostenibles, incluyendo el concepto de Smart City. ⁽¹⁾

El objetivo 9 de los ODS, “Industria, innovación e infraestructura” [\[6\]](#) y el objetivo 11 “Ciudades y comunidades sostenibles” [\[7\]](#) buscan construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación.

Las ciudades del mundo ocupan solo el 3 % de la tierra, pero representan entre el 60% y el 80% del consumo de energía y el 75 % de las emisiones de carbono.

Para intentar reducir estas emisiones y lograr que en las ciudades se cumplan las normas de seguridad establecidas por la Organización Mundial de la Salud (OMS) se pretende lograr que de aquí a 2030 se modernice la infraestructura y se reconviertan las industrias para que sean sostenibles, utilizando los recursos con mayor eficacia y promoviendo la adopción de tecnologías y procesos industriales limpios y ambientalmente racionales.

La comisión Europea, emitió un comunicado el 28/11/2018 en Bruselas cuyo objetivo fue proponer y dar una visión estratégica a largo plazo de una economía próspera, moderna, competitiva y climáticamente neutra. En él, se persiguen varios objetivos entre los que se encuentran los siguientes:

- Acelerar la transición a la energía limpia, con aumento de la producción de energía renovable, la innovación y el emprendimiento en una amplia cartera de soluciones sin carbono, reforzando el liderazgo mundial de la UE;
- Apoyar las elecciones de consumo que reducen el impacto climático;
- Desarrollar el transporte terrestre sin carbono, conectado y automatizado;
- Reforzar la infraestructura y hacerla a prueba del clima; adaptarse con soluciones digitales y de ciberseguridad inteligentes a las futuras necesidades de las redes de electricidad, gas, calefacción y otras;

(1) Smart Cities o ciudades inteligentes: Aquellas ciudades en las que se aplican las tecnologías de la información y de la comunicación (TIC) con el objetivo de proveerlas de infraestructuras que garanticen un desarrollo sostenible, un incremento de la calidad de vida de los ciudadanos, una mayor eficacia de los recursos disponibles y una participación ciudadana activa. Fuente: www.fundacionendesa.org.

- Proseguir con los esfuerzos internacionales de la UE para que participen todas las demás economías importantes y emergentes, y seguir creando una dinámica positiva para mejorar las metas en relación con el clima a escala mundial; compartir conocimientos y experiencias en el desarrollo de estrategias a largo plazo y en la aplicación de políticas eficientes.

En relación con ello se propuso un posible escenario futuro, en cuanto a emisiones de GEI, acorde con los objetivos que se persiguen en el que, como se ve en la Figura 2, se pretende reducir las emisiones de MtCO_{2eq} en los distintos campos representativos en la actualidad. La reducción más significativa se produce en el campo de la energía. Se pretende que tenga emisiones prácticamente nulas a partir de 2040. Otros campos como la Industria o transporte también se ven reducidos casi en su totalidad. Además, se busca la innovación y desarrollo en tecnologías de eliminación de carbono. Es decir, no solo mejorar en lo que refiere a que Europa sea neutra en cuanto a emisiones de GEI, sino reabsorber el carbono ya existente en la atmósfera.

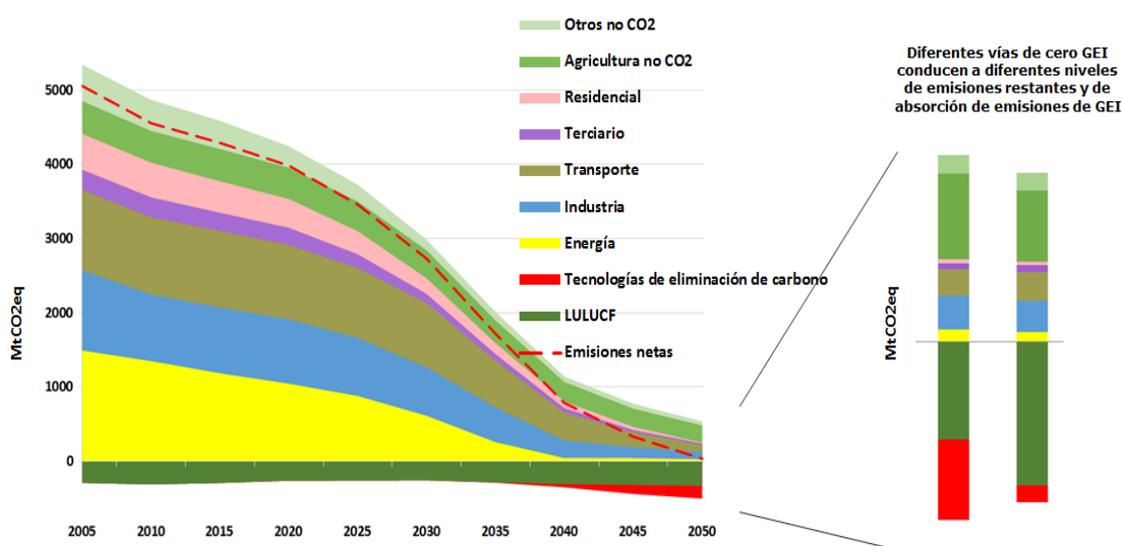


Figura 2. Trayectoria de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) según la hipótesis de 1,5 X. Comisión Europea. Fuente: "Green Deal" Comisión Europea

En diciembre de 2019 se puso en marcha el comunicado de la Comisión Europea, y se creó el compromiso europeo llamado Green Deal (Pacto Verde) [\[8\]](#) en el que se busca aumentar el bienestar y mejorar la salud de los actuales ciudadanos y de las generaciones futuras. Pretende convertirse en el primer continente climáticamente neutro en 2050, es decir, sin emisiones de gases efecto invernadero.

Los cuatro objetivos principales del Green Deal son:

- Que Europa sea climáticamente neutra de aquí a 2050;

Análisis energético y ambiental mediante monitorización dinámica de un District Heating de biomasa en un Campus Universitario.

- Proteger la vida humana, los animales y las plantas, reduciendo la contaminación;
- Ayudar a las empresas a convertirse en líderes mundiales en productos y tecnologías limpios;
- Contribuir a garantizar una transición justa e integradora.

Para ello se está trabajando en:

- Descarbonizar el sector de la energía. La producción y el uso de energía representan más del 75 % de las emisiones de gases de efecto invernadero. Se debe fomentar la integración inteligente en todos los sectores, así como fuentes renovables a la red, e interconectar los sistemas energéticos;

- Renovar los edificios, ayudar a las personas a reducir sus facturas de energía y su uso energético. El 40 % de nuestro consumo energético corresponde a los edificios y para reducirlo se deben promover las tecnologías innovadoras y las infraestructuras modernas;

- Ayudar a nuestra industria a ser innovadora y convertirse en líder mundial de la economía verde. La industria europea solo utiliza un 12 % de materiales reciclados, no obstante, se debe impulsar la eficiencia energética y el diseño ecológico de los productos en mayor medida;

- Desplegar sistemas de transporte público y privado más limpios, más baratos y más sanos. El transporte representa el 25 % de nuestras emisiones.

Centrándonos en la demanda energética que tiene Europa, es muy importante garantizar energía limpia y eficiente. Es por ello que para alcanzar los objetivos climáticos que tiene Europa, el Green Deal tiene como finalidad, en cuanto a la gestión de la energía, dar prioridad a la eficiencia energética y desarrollar un sector eléctrico basado en gran medida en fuentes renovables, un suministro energético seguro y asequible para la UE y un mercado de la energía de la UE plenamente integrado, interconectado y digitalizado. Para ello es necesario el desarrollo de sistemas BMS (Building Management System). Son sistemas de gestión y análisis de edificaciones, basado en la supervisión y control de datos que se instala en los edificios. Con este concepto, se promueve la automatización integral de inmuebles con alta tecnología, lo que permite una mayor eficiencia energética.

1.3 CONSUMO ENERGÉTICO ACTUAL NACIONAL.

Los objetivos futuros de consumo energético nacional según el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030, (PNIEC), [\[9\]](#) aprobado el 20/01/2020 son, en total coherencia con los objetivos de Unión Europea (UE), alcanzar la neutralidad climática con la reducción de al menos un 90 % de nuestras

emisiones brutas totales de GEI para 2050. Más detallado, las metas que se persiguen son:

- Lograr un 23 % de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) respecto a 1990. Proporcionalmente, es un esfuerzo de mitigación de emisiones muy superior al objetivo actual de la Unión Europea.

En la Figura 3 se muestran las emisiones de CO₂eq por sector. Históricas y proyección hasta 2030 emitidas en España.

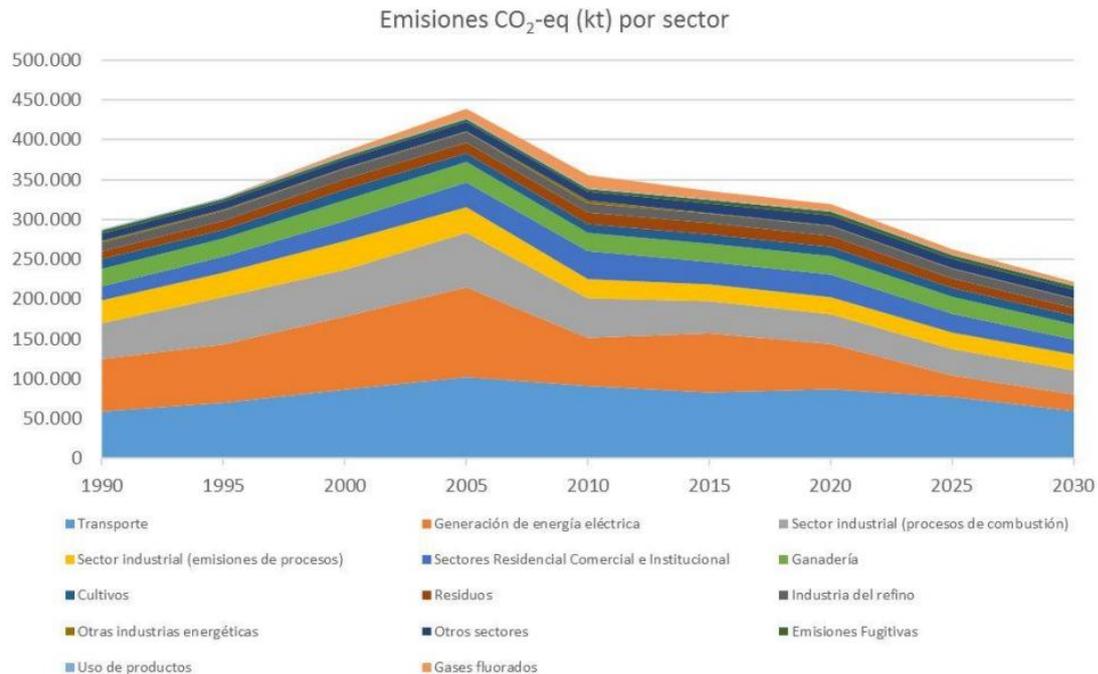


Figura 3. Emisiones de CO₂eq por sector. Históricas y proyección hasta 2030 emitidas en España. Fuente: PNIEC.

- Llegar a un 42 % de energías renovables sobre el consumo total de energía final, como se ve en la Figura 4. Esta considerable mejora se debe al desarrollo de las renovables eléctricas, renovables térmicas, y a la disminución de la cantidad de energía final gracias a los programas de ahorro y eficiencia propuestos.

Análisis energético y ambiental mediante monitorización dinámica de un District Heating de biomasa en un Campus Universitario.

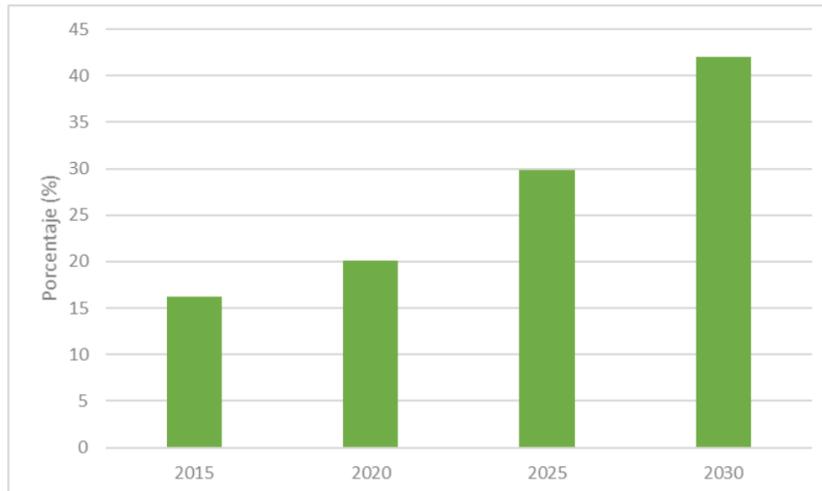


Figura 4: Aportación de las energías renovables sobre el consumo final con el conjunto de medidas previstas (%). Fuente: PNIEC

- Conseguir un 39,5 % de mejora de la eficiencia energética. En la Figura 5 se muestra el objetivo acumulado de ahorro de energía final 2021-2030, donde se reduce un 3,5 % anual hasta 2030, logrando un 39,5% de mejora.

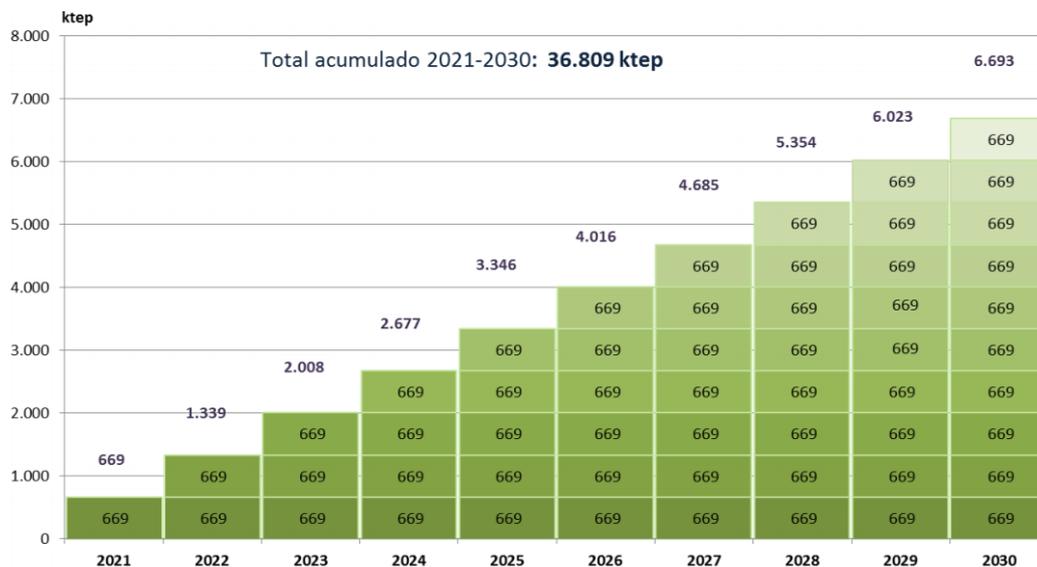


Figura 5. Objetivo acumulado de ahorro de energía final 2021-2030. Fuente: PNIEC

En cuanto a la dependencia energética se prevé mejorar 12 puntos porcentuales en esta década, pasando de un 27 % de autonomía a un 39 %, como se muestra en la Figura 6. Desde el año 2017 hasta 2030, el descenso de la importación de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas) irá disminuyendo hasta llegar a un 34 % menos que en la actualidad.



Figura 6. Mejora del autoabastecimiento energético nacional en 2030. Fuente: PNIEC.

Informes del APPA recogen que en 2008 el grado de dependencia energética llegaba al 81,3 %. Gracias a la generación de energía con energías renovables, la dependencia fue disminuyendo año tras año hasta los años 2012 y 2013, cuando la dependencia se redujo al 70,2 %. Los siguientes años se mantuvo en torno al 73 %. En 2017, debido a la fuerte sequía, la dependencia ascendió hasta el 73,9 %, cifra que se ha moderado en 2018, situándose en el 73,4 %.

[10]

- Llegar a un 74 % de energías renovables en la generación eléctrica. Tanto en la Tabla 1 como en la Figura 7 se muestran los megavatios (MW) de energía eléctrica obtenidos en 2015 a partir de distintas fuentes, así como las previsiones de lo que se conseguirá en 2020, 2025 y 2030.

Tabla 1. Evolución de la potencia instalada de energía eléctrica (MW). Fuente: PNIEC

Parque de generación del Escenario Objetivo (MW)				
Año	2015	2020*	2025*	2030*
Eólica (terrestre y marítima)	22.925	28.033	40.633	50.333
Solar fotovoltaica	4.854	9.071	21.713	39.181
Solar termoeléctrica	2.300	2.303	4.803	7.303
Hidráulica	14.104	14.109	14.359	14.609
Bombeo Mixto	2.687	2.687	2.687	2.687
Bombeo Puro	3.337	3.337	4.212	6.837
Biogás	223	211	241	241
Otras renovables	0	0	40	80
Biomasa	677	613	815	1.408
Carbón	11.311	7.897	2.165	0
Ciclo combinado	26.612	26.612	26.612	26.612
Cogeneración	6.143	5.239	4.373	3.670
Fuel y Fuel/Gas (Territorios No Peninsulares)	3.708	3.708	2.781	1.854
Residuos y otros	893	610	470	341
Nuclear	7.399	7.399	7.399	3.181
Almacenamiento	0	0	500	2.500
Total	107.173	111.829	133.802	160.837

Análisis energético y ambiental mediante monitorización dinámica de un District Heating de biomasa en un Campus Universitario.

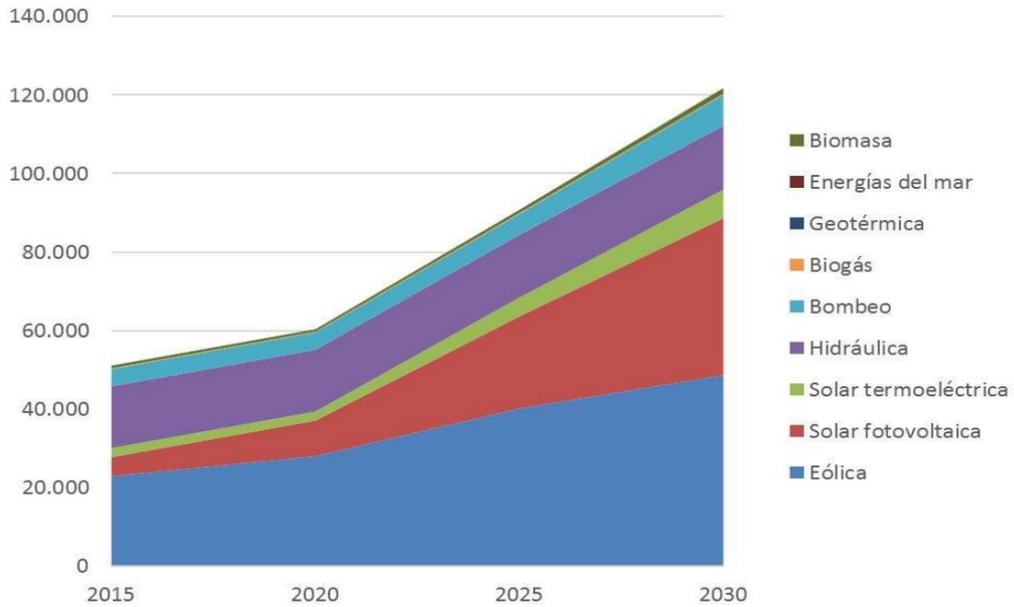


Figura 7. Capacidad instalada de tecnologías renovables (MW) Fuente: PNIEC

Tal como se muestra en la Figura 8, el último estudio del APPA realizado en 2018 indica que en España la energía renovable aumentó un 8,2 % hasta representar el 13,9 % del total de energía primaria, lo que las posiciona en tercer lugar, por detrás de los productos petrolíferos (44,9 %) y del gas natural (21,1 %). Por debajo de las renovables se situaron la nuclear con un 11,3 % de participación y el carbón con un 8,6 %.

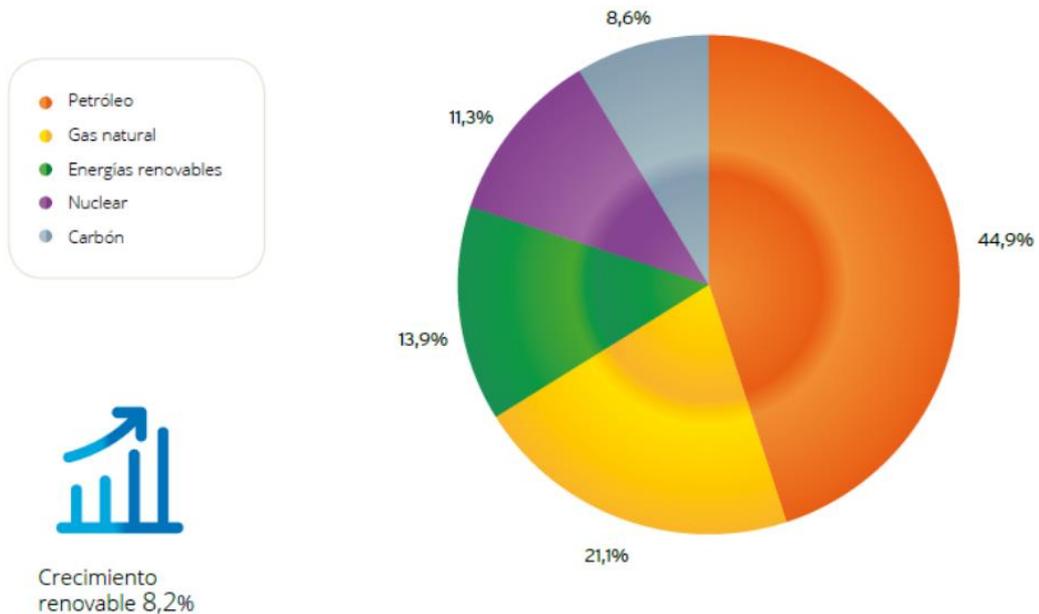


Figura 8. Consumo de energía primaria en España. Fuente: APPA

En 2018 las tecnologías renovables en su conjunto cubrieron el 37,6 % de la demanda eléctrica peninsular, 5,7 puntos porcentuales más que el alcanzado en 2017. Al igual que en los últimos años, la energía renovable con una mayor contribución a la cobertura de la demanda nacional fue la eólica con un 18,2%,

seguida de la hidráulica con el 13,3 %, la solar fotovoltaica con un 2,9 % y la solar termoeléctrica con el 1,6 %. La biomasa, el biogás, la hidroeólica y las energías marinas, agrupadas dentro de “otras renovables”, aportaron el 1,6% restante (Figura 9). Del total de la generación de electricidad a partir de energías renovables, el 70,2 % corresponde a la energía eólica, seguida de la energía solar fotovoltaica con un 14,2 %, la solar termoeléctrica con un 7 %, la minihidráulica con un 6,3 % y la biomasa con 2,3 %. Cabe destacar que en la Figura 9 no incluye el consumo por bombeo de las redes conectadas. Este es un gasto adicional que supone el tener centralizado el sistema de suministro de electricidad, así como de calefacción, ACS, etc.

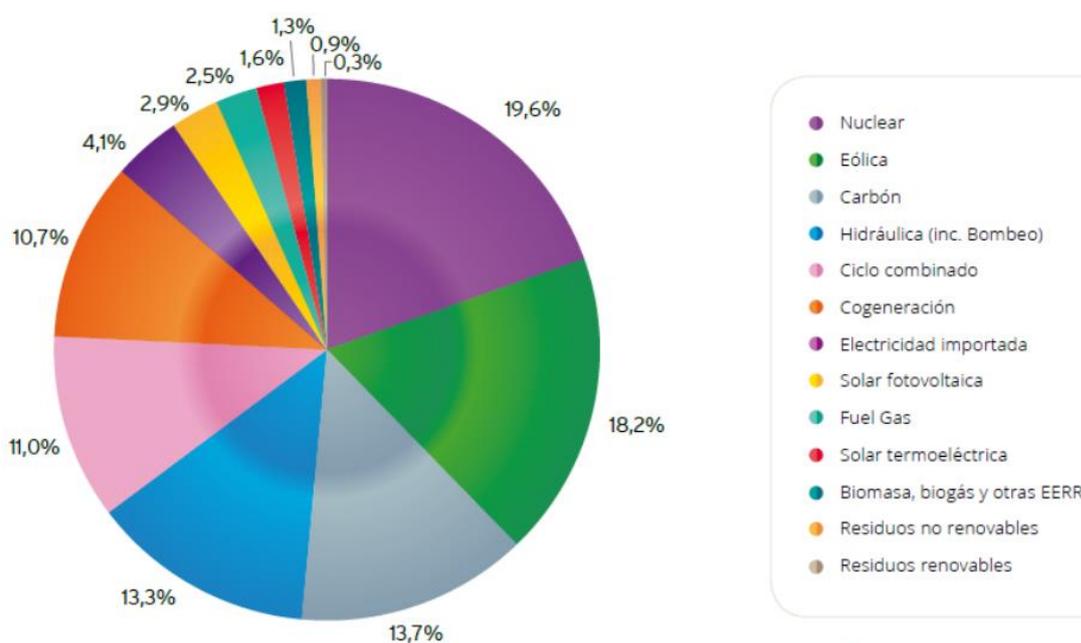


Figura 9. Cobertura de la demanda de energía eléctrica en 2018. Fuente: APPA

Como resumen, podemos decir que están aprobados planes que persiguen la mejora de eficiencia energética, crecimiento considerable de las energías renovables con el objetivo de lograr un sistema más sostenible, más limpio energéticamente, que genere el mínimo impacto económico y medioambiental posible.

1.4 NORMATIVA VIGENTE. ENERGÍAS RENOVABLES Y EFICIENCIA ENERGÉTICA.

Tal como se indica en el PNIEC [\[9\]](#) uno de los objetivos que se persigue es alcanzar el 42 % de energías renovables sobre el consumo total de energía final, de aquí a 2030. El motivo que impulsa la realización de estas medidas es la mitigación de GEI buscando la reducción de al menos un 20 % respecto a 1990. Los datos recogidos a finales de 2016 en cuanto al consumo de energías renovables sobre energía final bruta fueron del 17,3 %.

Análisis energético y ambiental mediante monitorización dinámica de un District Heating de biomasa en un Campus Universitario.

A continuación, en las Tablas 2 y 3 se muestra la tendencia actual y el escenario objetivo que se persigue en los próximos años y décadas.

Tabla 2. Porcentaje de energías renovables sobre consumo energía final en Escenario Tendencial. Fuente: PNIEC.

Porcentaje de energías renovables sobre consumo de energía final en el Escenario Tendencial							
Años		2015*	2020	2022	2025	2027	2030
Consumo de EERR de uso final (excluyendo el consumo eléctrico renovable)	Agricultura (ktep)	4.310	119	136	163	179	204
	Industria (ktep)		1.600	1.632	1.680	1.711	1.757
	Residencial (ktep)		2.732	2.603	2.410	2.384	2.345
	Servicios y otros (ktep)		242	230	212	204	192
	Transporte (ktep)	176	2.422	2.427	2.434	2.403	2.358
Energía suministrada por bombas de calor (ktep)		353	627	1.272	2.239	2.638	3.237
Generación renovable eléctrica (ktep)		8.642	10.160	10.841	11.863	12.517	13.498
Energía renovable total (ktep)		13.481	17.902	19.141	20.999	22.036	23.592
Energía final corregida con las pérdidas del sistema eléctrico, los consumos en aviación y la energía suministrada por las bombas de calor (ktep)		83.361	89.321	90.846	91.500	91.362	91.155
Porcentaje de energías renovables sobre consumo de energía final		16%	20%	21%	23%	24%	26%

* Los datos del año 2015 son reales, el resto son proyecciones realizadas por el MITECO

Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2019

Tabla 3. Porcentaje de energías renovables sobre consumo energía final en Escenario Objetivo. Fuente: PNIEC.

Porcentaje de energías renovables sobre consumo de energía final en el Escenario Objetivo							
Años		2015*	2020	2022	2025	2027	2030
Consumo de EERR de uso final (excluyendo el consumo eléctrico renovable)	Agricultura (ktep)	4.310	119	148	192	203	220
	Industria (ktep)		1.596	1.624	1.667	1.711	1.779
	Residencial (ktep)		2.640	2.623	2.598	2.709	2.876
	Servicios y otros (ktep)		241	279	337	376	435
	Transporte (ktep)	176	2.348	2.369	2.401	2.285	2.111
Energía suministrada por bombas de calor (ktep)		353	629	1.339	2.404	2.851	3.523
Generación renovable eléctrica (ktep)		8.642	10.208	12.438	15.784	18.187	21.792
Energía renovable total (ktep)		13.481	17.780	20.821	25.383	28.324	32.736
Energía final corregida con las pérdidas del sistema eléctrico, los consumos en aviación y la energía suministrada por las bombas de calor (ktep)		83.361	88.548	86.081	85.023	82.050	77.589
Porcentaje de energías renovables sobre consumo de energía final		16%	20%	24%	30%	34%	42%

* Los datos del año 2015 son reales, el resto son proyecciones realizadas por el MITECO

Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2019

La diferencia en 2030 de este porcentaje es de un 16 %. Los principales motivos de esta diferencia es que en el Escenario Tendencial, la mayor contribución al aumento del porcentaje renovable viene dado por la generación eléctrica renovable y las bombas de calor. Sin embargo en el Escenario Objetivo la contribución de la generación de energía renovable eléctrica es casi el doble, por las políticas de fomento. Además, aumenta el uso de energías renovables finales en sectores como agricultura, industria, residencial y servicios.

Con esta comparación se pretende mostrar la importante huella que puede dejar el no seguir el Plan. Tomar las medidas que se proponen supone un aumento de 16 puntos porcentuales en la presencia de renovables sobre el consumo final de energía.

A continuación se explica más en detalle la energía consumida en aplicaciones de calor y frío. Esto incluye el sector residencial, servicios e industria. En la tabla 4 se presentan los resultados en los mismos escenarios anteriores, Tendencial y Objetivo.

Tabla 4. Porcentaje de energías renovables en calor y frío. Fuente: PNIEC.

Porcentaje de energías renovables en aplicaciones de calor y frío					
	Años	2015*	2020	2025	2030
Escenario Tendencial		17%	18%	22%	25%
Escenario Objetivo		17%	18%	25%	31%

* Los datos del año 2015 son reales, el resto son proyecciones realizadas por el MITECO
Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2019

El escenario Objetivo presenta un mayor porcentaje de energías renovables. Los motivos principales son el fomento del uso de fuentes de energía como la biomasa, el biogás y la energía solar térmica. Por otro lado el mayor uso de las bombas de calor, especialmente en climatización de viviendas, puede tener un peso significativo.

Centrándonos en la normativa vigente, el documento básico de ahorro de energía (DB-HE)^[11] del CTE, será de aplicación obligatoria en las obras de nueva construcción y a las intervenciones en edificios existentes en las que se solicite licencia municipal de obras a partir del 28 de junio de 2020.

Los apartados de ahorro de energía son:

- HEO Limitación del consumo energético.
Determina el consumo de energía primaria no renovable del edificio en función de la zona geográfica y climática donde se ubique el edificio. El consumo energético se satisfará, en gran medida, mediante el uso de energía procedente de fuentes renovables. Para el cálculo se establece unas ecuaciones y tablas. Actualmente la herramienta unificada mediante software permite determinar este valor.
- HE1 Limitación y condiciones para el control de la demanda energética.
Fija las características de los cerramientos y de la envolvente térmica de los edificios. Los edificios dispondrán de una envolvente de características tales que limite adecuadamente la demanda energética necesaria para alcanzar el bienestar térmico en función del clima de la localidad, del uso del edificio y del régimen de verano y de invierno, así

como por sus características de aislamiento e inercia, permeabilidad al aire y exposición a la radiación solar, reduciendo el riesgo de aparición de humedades de condensación superficiales e intersticiales que puedan perjudicar sus características y tratando adecuadamente los puentes térmicos para limitar las pérdidas o ganancias de calor y evitar problemas higrotérmicos en los mismos.

- HE2 Condiciones de las instalaciones térmicas, RITE.
Los edificios dispondrán de instalaciones térmicas HVAC y ACS apropiadas destinadas a proporcionar el bienestar térmico de sus ocupantes, regulando el rendimiento de las mismas y de sus equipos. El Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios RITE, se aplica actualmente en el proyecto de ingeniería del edificio.
- HE3 Condiciones de las instalaciones de iluminación.
Los edificios dispondrán de instalaciones de iluminación adecuadas a las necesidades de sus usuarios y a la vez eficaces energéticamente disponiendo de un sistema de control que permita ajustar el encendido a la ocupación real de la zona, así como de un sistema de regulación que optimice el aprovechamiento de la luz natural, en las zonas que reúnan unas determinadas condiciones.
- HE4 Contribución mínima de energía renovable para cubrir la demanda de ACS.
En los edificios, con previsión de demanda de agua caliente sanitaria ACS o de climatización de piscina cubierta, sus necesidades se satisfarán, empleando en gran medida energía procedente de fuentes renovables o procesos de cogeneración renovables; bien generada en el propio edificio o bien a través de la conexión a un sistema urbano de calefacción.
- HE5 Generación mínima de energía eléctrica.
En los edificios con elevado consumo de energía eléctrica se incorporarán sistemas de generación de energía eléctrica procedente de fuentes renovables para uso propio o suministro a la red.

En relación con esto, la Directiva (UE) 2018/844 [\[12\]](#) relativa a la eficiencia energética de los edificios establece en uno de sus puntos que necesitan medidas que aumenten el número de edificios que no solo cumplan los requisitos mínimos de eficiencia energética, sino que sean más eficientes energéticamente al reducir tanto el consumo energético como las emisiones

de CO₂. A tal efecto los Estados miembros deben elaborar planes nacionales para aumentar el número de edificios de consumo de energía casi nulo.⁽²⁾

En el artículo 9 de la nueva Directiva de la Unión Europea, se habla de “Edificios de consumo de energía casi nulo”. En él se establecen dos obligaciones que se exponen a continuación.

A más tardar el 31 de diciembre de 2020, todos los edificios nuevos sean edificios de consumo de energía casi nulo (nZEB – Nearly Zero Energy Buildings) y que a partir de 31 de diciembre de 2018, es obligatorio que los edificios nuevos que estén ocupados y sean propiedad de autoridades públicas pertenezcan a esta categoría.

La importancia de este nuevo reto radica en los cambios que implicará a todos los sectores que afecte a la construcción, desde arquitectos, a promotoras, constructoras, fabricantes de materiales, sistemas y equipos. [\[13\]](#)

Además, aparte de lo referente a la construcción de nuevos edificios, se debe mencionar la restauración y rehabilitación de edificios ya existentes. El BPIE [\[14\]](#) asegura que el 97,5 % de los edificios en Europa no están incluidos en la clase A (edificios más eficientes) y el 75 % está clasificado como “ineficiente energéticamente”.

Esta clasificación de indicadores energéticos, tal como se indica en el nuevo CTE 2019, HE0 [\[11\]](#) se obtienen de la energía final consumida, no renovable y total, multiplicada por un factor de paso, función del vector energético. Es decir, se obtiene la energía primaria no renovable anual del edificio. Estos indicadores se utilizan para clasificar el edificio a fin de satisfacer las necesidades asociadas a condiciones normales de uso, en un año tipo.

1.5 LA BIOMASA EN ESPAÑA.

En relación con el desarrollo sostenible y con los planes aprobados en el PNIEC, nos centraremos en un tipo de energía: la biomasa como fuente de energía renovable que tiene mucho margen de mejora y potencial en España.

Tal como se define en el IDAE [\[15\]](#) la biomasa es el conjunto de materia orgánica de origen vegetal, animal, o residuos, que es útil para la producción de energía tanto térmica como eléctrica. La Directiva EU de energías renovables considera la biomasa como combustible renovable.

⁽²⁾ Edificio de consumo de energía casi nulo: edificio 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, incluida energía procedente de fuentes renovables producida in situ o en el entorno. Fuente: Directiva 2010/31/UE.

Su uso apoya el desarrollo sostenible y la economía del medio rural forestal. Además, en muchos casos su disponibilidad está en lugares cercanos a su lugar de aplicación con lo cual su utilización consolida la economía y el crecimiento de empleo local.

La Directiva 2018/2001/UE relativa al fomento del uso de la energía procedente de fuentes renovables, define la biomasa como “la fracción biodegradable de los productos, desechos y residuos de origen biológico procedentes de actividades agrarias (incluidas las sustancias de origen vegetal y de origen animal), de la silvicultura y de las industrias conexas, incluidas la pesca y la acuicultura, así como la fracción biodegradable de los residuos industriales y municipales”.

La biomasa es un concepto muy amplio que engloba los residuos procedentes de actividades forestales como astillas, hasta los residuos domésticos como las cascara de los frutos y los huesos de aceitunas.

Por último, conviene recordar que la movilización de biomasa no supone únicamente la obtención de un combustible renovable, con un porcentaje mínimo en cuanto a emisiones de CO₂ y competitivo en precio con los combustibles fósiles que se importan desde fuera de España, sino que también juega un papel fundamental en la mejora de la gestión de los montes y en el desarrollo socio-económico de las áreas rurales españolas. [\[16\]](#)

Todo ello, tiene gran relación con el ODS 15, “Vida de ecosistemas terrestres” donde se habla de la gestión sostenible de los bosques, la lucha contra la desertificación y de la detención de la pérdida de biodiversidad.

Dada la riqueza natural de España, la diversidad de ambientes presentes en su territorio, su posición biogeográfica y la extensión de zonas escasamente pobladas, se puede comprender que la gestión de su superficie forestal, su biodiversidad y patrimonio natural supone un reto muy relevante.

A nivel mundial, los bosques albergan a más del 80 % de todas las especies terrestres de animales, plantas e insectos. Entre 2010 y 2015, el mundo perdió 3,3 millones de hectáreas de áreas forestales. Por ello las metas a las que se pretende llegar en la Agenda 2030 es asegurar la conservación, el restablecimiento y el uso sostenible de los ecosistemas, en particular los bosques, los humedales, las montañas y las zonas áridas. Detener la deforestación, recuperar los bosques degradados y aumentar considerablemente la forestación y la reforestación a nivel mundial. [\[17\]](#)

El aprovechamiento de la biomasa tiene múltiples usos: generación eléctrica, calefacción, agua caliente sanitaria, etc. A pesar del gran potencial que esta

tecnología tiene en España, únicamente contamos con algo más de un gigavatio de potencia instalada.

La generación eléctrica con biomasa permite muy altas utilidades – de hasta 8.300 horas/año – contribuyendo con potencia firme y gestionable al mix renovable nacional. Con unos escenarios de alta descarbonización para 2030 y 2050, la biomasa será fundamental para lograr un desarrollo sostenible.

A nivel térmico, la biomasa permite disponer de calefacción y agua caliente sanitaria con un combustible competitivo y casi neutro en carbono.^[10] Según el portal de Eficiencia Energética de Endesa,^[18] el mayor consumo de biomasa en España se da en Andalucía, Galicia y en Castilla y León.

Contamos con abundantes recursos primarios en toda España, pero el desarrollo de la biomasa se encuentra en una situación de retraso con respecto a otros países de nuestro entorno (el líder europeo es Alemania); además, aún somos altamente dependientes de los combustibles fósiles. (Ver Figura 8)

España ocupa el sexto lugar en la UE en cuanto a producción de energía primaria a partir de biomasa sólida, tras Alemania, Francia, Suecia, Finlandia y Polonia. Pero, si atendemos a la producción de energía primaria a partir de biomasa sólida, en producción por habitante en la UE en 2010, España ocupa el lugar 18, con una tasa de 0,103, por debajo de la tasa del conjunto de la UE, que es de 0,158, y muy lejos de la tasa que tiene Finlandia con un 1,435.

Tal como indica Javier Díaz González, presidente de la Asociación Española de Valorización Energética de la Biomasa (Avebiom): “El progreso del sector de la biomasa “térmica” en España se encuentra en condiciones de aspirar a satisfacer el 50 % de la energía empleada en calefacción. Un objetivo que implica multiplicar por más de cuatro su peso actual (12 %) a medio plazo.”

Por lo tanto, España tiene mucho potencial aún por explotar. El porcentaje de energía renovable que se genera a partir de la bioenergía en Europa es del 60,83 % mientras que en España es del 40,45 %. El 75 % del consumo final de biomasa se destina a la producción de calor, principalmente en los ámbitos residencial e industrial.

Para lograr el objetivo de que la biomasa “térmica” aporte el 50 % de la energía nacional de calefacción es imprescindible mantener el ritmo de crecimiento en las instalaciones individuales, pero es necesario avanzar en la de grandes redes de calefacción y refrigeración (District Heating and Cooling), como la Directiva de eficiencia energética 2018/2002/EU aconseja.

Actualmente hay en España 375 redes de calor con biomasa en funcionamiento, 340 más que hace siete años, con una potencia acumulada

de 312 megavatios térmicos. Y a esa cifra hay que añadir las 78 instalaciones en fase de construcción, que elevarán la potencia acumulada a 453 megavatios térmicos. Según APPA,^[19] la potencia instalada (MW) en España a finales de 2018 se eleva a 750 MW. Avebiom,^[20] por su parte, estima que en 2020 habrá alrededor de 700 redes de calor, operativas o en fase de construcción, con una potencia acumulada superior a los 860 megavatios térmicos.

Actualmente, mientras se amplía la dependencia exterior de combustibles fósiles, solamente se importa el 4,1 % de la biomasa que consumimos. Y, por el contrario, las ventas de biomasa al exterior aumentan, situándose las de España en el 5,7 % del total, porcentaje similar al de los países bálticos.

Es decir, el sector de la biomasa podría contribuir más eficazmente, con más peso, al objetivo de conseguir una mayor independencia energética de España, relativa a los combustibles fósiles, en su gran mayoría importados.

Además, el sector de la Biomasa es generador de empleo en las áreas geográficas más desfavorecidas, como son las zonas rurales. Por lo tanto, poner en valor nuestros montes, que son la principal fuente de la biomasa para uso energético, no solo implica el impulso a una actividad industrial de extracción y transformación sostenible de la materia prima, sino que contribuye en gran medida al éxito de la lucha contra la despoblación y consolida una actividad económica no “deslocalizable” que puede garantizar el futuro de muchos pueblos y ciudades.

Análisis energético y ambiental mediante monitorización dinámica de un District Heating de biomasa en un Campus Universitario.

2 CAPÍTULO 2. DISTRICT HEATING&COOLING.

2.1 INTRODUCCIÓN A LAS REDES DE CALEFACCIÓN POR DISTRITO.

La calefacción supone en el sector de la edificación, el 50 % de energía final. En el caso de viviendas, esta cifra asciende aún más. Tomando una vivienda europea como ejemplo, el 68 % de su demanda de energía final es utilizada para satisfacer la demanda de energía térmica para calefacción y el 14 % para producir ACS. En cuanto a la producción de frío, actualmente la demanda es mucho menor que la calefacción y ACS, pero en los próximos años se estima que crecerá exponencialmente. Los comercios y edificios públicos en Europa están equipados actualmente con sistemas de refrigeración, con una estimación del 60 %. [\[21\]](#)

Es por ello que tiene especial interés para la UE el desarrollo de las redes calefacción y refrigeración por distrito (DH y DH&C), impulsando una política de eficiencia energética a través de diferentes Directivas de obligado cumplimiento por todo los países de la UE.

En la Figura 10 se muestra el esquema general de un DH&C. La central está conectada al sector industrial, residencial, sector terciario y edificios públicos. Por tanto, el sistema es capaz de aprovechar el calor residual de procesos industriales para la demanda térmica de otras subestaciones, mejorando así la eficiencia energética de la red y reduciendo el consumo de energía primaria.

Una instalación de un DH&C se compone de los siguientes subsistemas:

- La central, donde se genera el calor y/o frío. En la Figura 11 se muestra rodeada la central térmica de la red DH de la Universidad de Valladolid.
- La red de distribución de tuberías a través de las cuales se hace llegar la energía térmica desde la central hasta las subestaciones. (Ver Figura 12)
- Las subestaciones suponen la demanda de la central y tienen intercambiadores de calor, como se muestra en la Figuras 13, para cubrir la demanda de energía de cada edificio. En la Figura 11 se muestra recuadrado el campus Miguel Delibes de la Universidad de Valladolid, con todas las subestaciones que demandan la energía térmica.

Análisis energético y ambiental mediante monitorización dinámica de un District Heating de biomasa en un Campus Universitario.

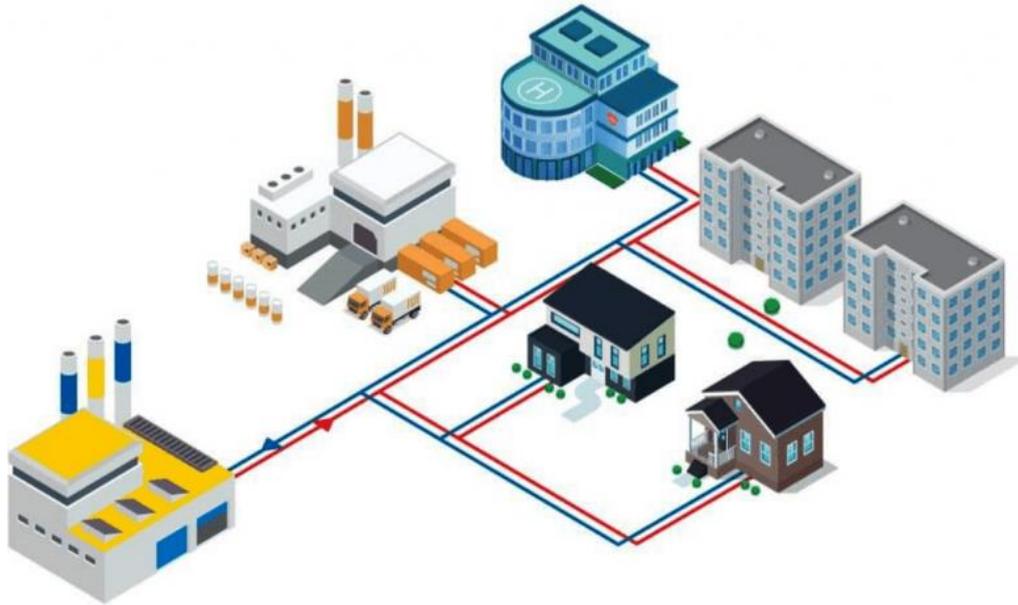


Figura 10. Esquema general de un DH&C. Fuente: [22]



Figura 11. Central térmica de una red DH. Fuente [23].

Análisis energético y ambiental mediante monitorización dinámica de un District Heating de biomasa en un Campus Universitario.

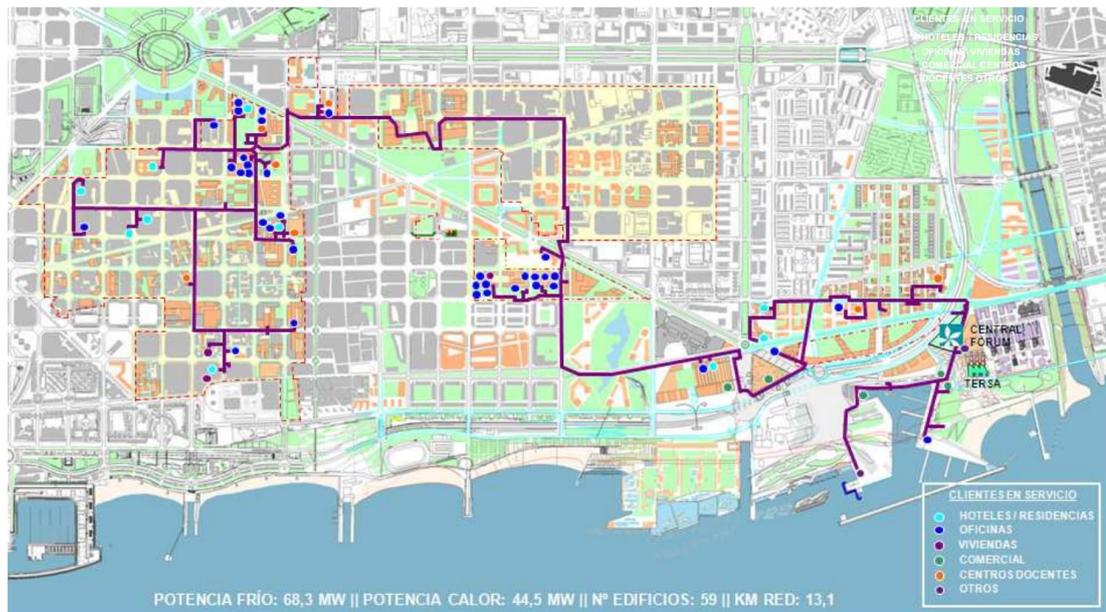


Figura 12. Ejemplo de red de distribución. Fuente: [24]



Figura 13. Intercambiador de una subestación de un DH. Fuente [25].

Este sistema de distribución de calor implica la necesidad de depósitos de inercia, que sirvan como almacenamiento térmico para equilibrar la demanda con la generación térmica tanto como sea posible. De este modo la central de generación trabaja de una manera más lineal en el punto en el que las calderas tengan su mayor rendimiento.

El uso de esos depósitos supone que la respuesta de la red no sea muy rápida pero nunca debería darse el caso de que el sistema no sea capaz de abastecer la demanda de cualquier subestación. En países como Finlandia, la media de tiempo que transcurre desde que el consumidor solicita el calor hasta que la red responde y lo entrega fue de 1 hora y 45 minutos. Esto representa una precisión de entrega del 99,98 %. Con esto se pretende mostrar que aunque los depósitos de inercia relenticen la respuesta de la red, supone una gran ventaja en cuanto a la respuesta de la demanda de energía y a la eficiencia energética.^[26]

Todas las partes del sistema están interconectadas y monitorizadas a través de un Building Management System (BMS) (ver apartado 1.2.)

Para utilizar mejor las fuentes de calor de un DH que alimentan una red, la temperatura del agua de retorno debe ser lo más baja posible. Para ello se deben utilizar válvulas de regulación de dos vías y excluir las circulaciones by-pass, que regulen la temperatura. Además, esta solución permite reducir notablemente el caudal que circula en la red, en caso de baja demanda, y por tanto los costos económicos de circulación.

2.2 PRINCIPALES BENEFICIOS DE LAS REDES DE CALEFACCIÓN POR DISTRITO.

En la Guía Básica de redes de distrito de calor y de frío que ofrece el IDAE ^[24], se señalan los beneficios que se obtiene para todas las entidades que forman parte de la instalación, gestión y uso de las redes de calor y frío.

Las ventajas que pueden hallar las empresas en la explotación de un negocio basado en las redes de distrito son las siguientes:

- Es un negocio emergente en este país con un elevado potencial de mercado que debe recibir el apoyo de las políticas tanto locales y nacionales, como internacionales.
- Aporta un valor añadido a las viviendas y edificios comerciales de las zonas afectadas y dan un sello de calidad medioambiental.
- Tiene una perspectiva de viabilidad a largo plazo para las empresas explotadoras.
- Para empresas tradicionales del sector de la calefacción o del sector eléctrico es un canal para diversificar los servicios que ofrecen.

Las ventajas para los promotores inmobiliarios de los edificios que se conecten a una red pueden resumirse en:

- Economías de construcción: ahorro en instalaciones interiores de los edificios ya que no hace falta tener máquinas de producción.
- Más espacio útil comercializable puesto que las dimensiones de la sala técnica son mucho más reducidas.

- Mejor estética de los edificios ya que no se incluyen ni torres de refrigeración ni chimeneas.
- Edificio con más valor añadido, puede conseguir una mejor calificación energética.

Los usuarios se benefician con la conexión de sus edificios/viviendas a los sistemas de climatización centralizada, por los motivos siguientes:

- Ahorro del espacio dedicado a los aparatos de generación de calefacción y refrigeración; la reducción del espacio utilizado para la instalación puede llegar a un 90 % en cada edificio.
- Acceso a una fuente de energía de coste económico competitivo.
- Reducción de la inversión en aparatos, mantenimiento y renovación.
- Externalización y reducción de la gestión. En general, una gestión unificada permite optimizar los procesos.
- Reducción del personal de mantenimiento.
- Más seguridad de abastecimiento.
- Reducción del nivel de vibraciones y de ruidos.
- Eliminación de riesgos sanitarios (legionelosis).
- La red puede adaptarse más rápidamente a nueva normativa o tecnología eficiente.

Se puede destacar la importancia que se da en todos los casos al sello de calidad medioambiental y a la mejora de la tecnología en cuanto a eficiencia energética que suponen las redes de calor y de frío.

Hay instituciones como DH&C+, Euroheat and Power, [\[21\],\[26\],\[27\]](#) (centro europeo de investigación e innovación en calefacción y refrigeración de distrito) cuyo objetivo es promover y desarrollar los DH y DH&C. En informes realizados en 2011 y 2012 se definen las ventajas que supone el desarrollo e implantación de sistemas de calefacción urbana:

- Uso de fuentes de energía local y renovable. Para las redes de calor y frío se puede utilizar una amplia variedad de fuentes de energía que a nivel individual resultan menos eficientes y rentables. Un ejemplo de esto son los residuos de madera, de paja, huesos de aceitunas, así como los residuos urbanos biodegradables e incluso lodos de las depuradoras. La mayoría de las energías renovables, incluidos los biocombustibles, la energía geotérmica, solar y eólica, pueden utilizarse de manera más efectiva cuando se integran en las redes de calefacción urbana. En la Figura 14 se muestra cuáles son las principales fuentes de suministro a las redes de calefacción por distrito.

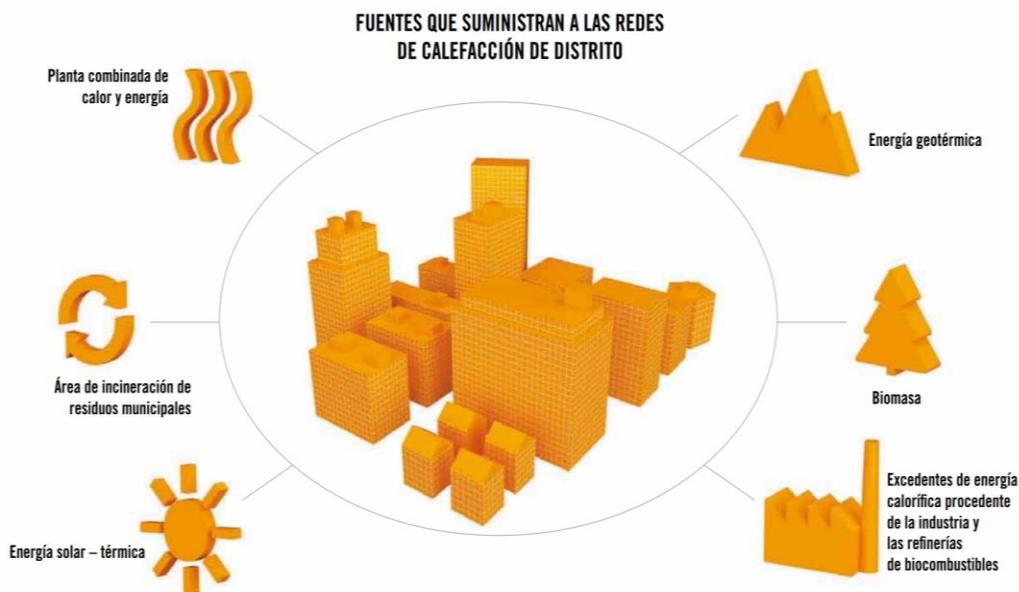


Figura 14. Fuentes de suministro comunes de las redes de calefacción por distrito. Fuente: [24]

- Prevención y control local de la contaminación. Esto es debido a la sustitución de las calderas individuales por las chimeneas centralizadas. Contaminantes como dióxido de azufre u óxidos de nitrógeno pueden ser tratados con mayor eficacia en las instalaciones centrales de producción. Por esta misma razón la existencia de un único local de producción de calor, centralizado, permite la inversión en mecanismos de reducción y prevención de contaminantes, lo que resulta mucho más sostenible, mejorando la calidad del aire y eficiente a nivel económico.
- Mayor seguridad energética. En la unión europea se registró en 2011 que el 54 % de todas las fuentes de energía primaria se importaban desde fuera de su territorio. Si continuamos a este ritmo de aumento de demanda energética, se estima que esta cifra aumentará hasta alcanzar un 70 % en 2030. Es por ello que los sistemas de calefacción y refrigeración centralizados suponen una solución muy beneficiosa para muchos países y ciudades europeos al cambiar a combustibles alternativos y poder ser más independientes energéticamente.
- Combustible flexible y sostenible. La calefacción y refrigeración urbana permite una combinación energética altamente flexible. Es decir, logra la integración de nuevos combustibles y fuentes de energía con una mínima reestructuración de la red. Para los clientes no se requieren medidas de adaptación cuando se realiza un cambio de fuente de energía.

- Cogeneración (CHP⁽³⁾-combined heat and power). Los sistemas de calefacción por distrito que además generan electricidad, reciben el nombre de centrales de cogeneración. Estos sistemas son los más eficientes que existen en la actualidad pudiendo llegar a eficiencias mayores del 90 % lo que implica un menor consumo de combustible y menores emisiones de GEI.

Por contra, la principal desventaja de la implantación de DH o DH&C es la obra civil que hay que llevar a cabo para su puesta en marcha. Depende del sistema de calefacción que se tenga en cada subestación particular, la conversión a un sistema centralizado puede ser complicado, costoso y que necesite una planificación cuidadosa. No obstante, la amortización suele ser rápida y razonable debido a la facilidad de uso y mantenimiento una vez que está en funcionamiento.

2.3 OBJETIVOS 2020, 2030 Y 2050 DE LOS DH Y DH&C.

En estudios hechos por Euroheat and Power,^{[21]. [27]} se prevé que a partir de este año 2020 se produzca una aceleración del desarrollo del sector de DH y DH&C con el objetivo de lograr una transición hacia una eficiencia de energía, gestión energética y uso de los recursos más sostenible. Esta evolución será posible si se valorizan de mejor modo los recursos locales como las energías renovables y el calor residual de procesos industriales como el refinado de combustibles fósiles y biocombustibles. Esto es especialmente interesante, porque el hecho de poder aprovechar el calor residual generado en un proceso industrial, para calefactar otro edificio que tenga demanda de calor supone una mejora de la eficiencia energética que podría subir hasta un 45 %, o incluso se llega a contemplar cifras de un 90 % en un futuro cercano. Además con el sistema DH&C se puede reducir en gran medida la energía primaria utilizada y aprovechar varios tipos de energías renovables (biomasa, energía geotérmica, energía térmica solar) Por otra parte, también es necesario que los sistemas de las redes térmicas evolucionen para dar soluciones más flexibles.

En 2011 se registró que las tasas más altas de crecimiento de los DH y DH&C fueron en Austria e Italia. En ciudades como Copenhague, Helsinki, Varsovia, Vilna, Riga, hasta el 90% de la demanda de calor residencial se satisfacía con estas redes de calor. En estas ciudades el 86% del calor demandado se obtiene

⁽³⁾ CHP: La cogeneración es el procedimiento mediante el cual se obtiene simultáneamente energía eléctrica y energía térmica útil. Si además se produce frío se llama trigeneración. Si además de esto se capturan las emisiones de dióxido de carbono, recibe el nombre de cuatrigeneración.

a partir de una combinación de calor recuperado de otros focos térmicos, energías renovables y recursos a partir de residuos urbanos.

Los objetivos para el año 2020 en relación con el desarrollo de redes de calefacción y refrigeración por distrito son:

- Una reducción del 9,3 % de todas las emisiones europeas de CO₂.
- Una reducción de 40 a 50 millones de toneladas anuales de CO₂.
- Una disminución del consumo de energía primaria con 2,14 EJ (595 TWh) por año.
- Integrar edificios de bajo consumo de energía en redes existentes de calefacción y facilitar la transición a redes de DH y DH&C de cuarta generación.

Para 2030 se prevé que el porcentaje de ahorro de energía primaria gracias a las redes de calor y frío en Europa sea de un 2,6 % y que el porcentaje de consumo de los DH&C de las energías renovables sea del 25 %.

El principal objetivo, es que para 2030 las redes de calefacción y refrigeración sean una pieza imprescindible y principal de las ciudades inteligentes (Smart Cities). Esta es la solución más sostenible para cubrir la demanda energética térmica de las ciudades y/o conjuntos urbanos.

Otro objetivo es hacer uso de toda la electricidad producida a través de los sistemas de calefacción y refrigeración por distrito. Y en relación con esto, se pretende optimizar al máximo posible el potencial de las energías renovables.

Siguiendo con la evolución, para 2050 el objetivo es haber desarrollado y tener completamente integradas soluciones energéticas neutras en cuanto a emisiones de carbono a través de redes a nivel regional. Para llegar a ello se debe desarrollar una infraestructura energética que contemple la instalación de redes de calor y frío justo con otras redes básicas como los Smart Grid de electricidad, agua potable, tuberías de alcantarillado, etc.

2.4 EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS DH&C.

A nivel histórico, la primera generación de sistemas de calefacción urbana utilizaba como fluido caloportador el vapor de agua. Estos sistemas empezaron a desarrollarse en los EE.UU. a finales del siglo XIX. Hasta 1930 casi todos los sistemas de calefacción centralizados utilizaron esta tecnología tanto en EE.UU. como en Europa.

La segunda generación de los DH utilizaba agua caliente a presión, en su mayoría a más de 100C, como fluido caloportador.

Cuarenta años más tarde, en la década de 1970, se desarrolló una mejora muy eficiente que consiste en que la temperatura del fluido portador de calor, que

sigue siendo agua, se suministre a una temperatura menor de 100C. Además el uso de mejores materiales aislantes y el desarrollo de materiales prefabricados han disminuido la necesidad de mano de obra y por tanto, facilitado la expansión de los DH y DH&C.

Hoy en día las redes de calor están diseñadas en general para temperaturas de impulsión mayores de 70C. La introducción de redes de calor de baja temperatura hace que aumente considerablemente la eficiencia ya que cuanto menor sea el salto térmico, menores serán las pérdidas y menor será el coste del cliente.

Continuando con esta evolución, la cuarta generación de las redes de calor consiste en lograr un rango de temperaturas muy bajo, llamadas también de “low exergy”. El uso flexible de distintos materiales permite obtener soluciones más ecológicas y que se adapten mejor a la demanda de cada edificio.^[27]

Finalmente, el objetivo de desarrollo que se debe perseguir en el modo de operación de los DH&C es llegar a la quinta generación de calefacción y refrigeración por distrito. (5GDH&C) ^[28]

Este sistema de abastecimiento está descentralizado, es bidireccional, es decir, sirve para refrigerar y calefactar distintos edificios simultáneamente. La temperatura de operación es baja para calefacción y alta para reeferigeración, lo que supone un aprovechamiento de la eficiencia energética muy elevado. Además, si se busca el aprovechamiento del calor residual de otras fuentes de energía como por ejemplo la energía geotérmica, la eficiencia se eleva aún más.

Este tipo de centrales ya se dan en los Países Bajos, y son el referente al que debemos llegar en cuanto a desarrollo de sistemas de calefacción por distrito. En Bochum (Alemania), Brunssum (Países Bajos), París (Francia), Glasgow, y Nottingham (Reino Unido) se están desarrollando sistemas de mejora de esta tecnología punta con el fin de mejorar la gestión de este tipo de sistemas.

Una solución especialmente interesante que tiene potencial de desarrollo es la implantación de suelo radiante en edificios modernos. Este es un mecanismo de calefacción muy eficiente ya que las temperaturas de operación no superan los 45C y las temperaturas de retorno son a baja temperatura. En relación con esto, los materiales de construcción tienen una vida útil más larga gracias a las bajas temperaturas de operación.

Además es un sistema que genera gran confort térmico. El clima interior es estable y agradable. Es especialmente interesante el suelo radiante en edificios que estén en su mayor tiempo ocupados, por la gran inercia térmica de la superficie.

2.5 INSTALACIONES EN ESPAÑA.

En relación a Europa, España no está tan avanzada como otros países de la UE. Esto implica que en los próximos años habrá un gran desarrollo de esta tecnología.

En 2019, tal como indica ADHAC,^[29] se registraron en España 414 redes. Se estima que la longitud de tuberías que se ha necesitado para las redes es superior a 740 km, llegando a abastecer a más de 5340 edificios y ahorrando aproximadamente 30.3493 Tn de CO₂ y un 78% en consumo de combustibles fósiles. A partir del Figura 15 se calcula que desde 2013 hasta 2019 el número de redes se ha multiplicado por tres.

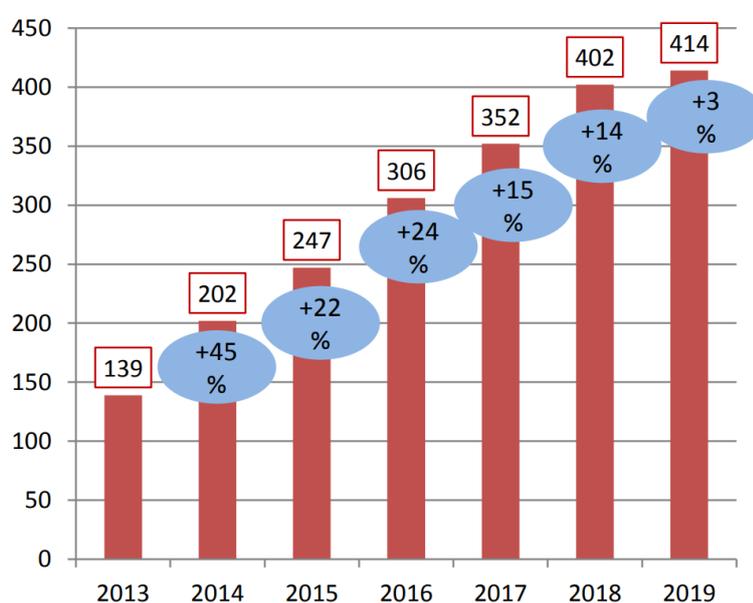


Figura 15. Redes censadas de DH y DH&C en España de 2013 a 2019. Fuente: ADHAC.

En la Figura 16 se muestra el número de redes de DH y DH&C por comunidades autónomas registrados en 2019 así como la distribución porcentual de redes. Como se observa, el mayor número de redes se concentra en Cataluña y Castilla y León, llegando entre ambas a un 47,4 % del total de redes nacionales.

Análisis energético y ambiental mediante monitorización dinámica de un District Heating de biomasa en un Campus Universitario.

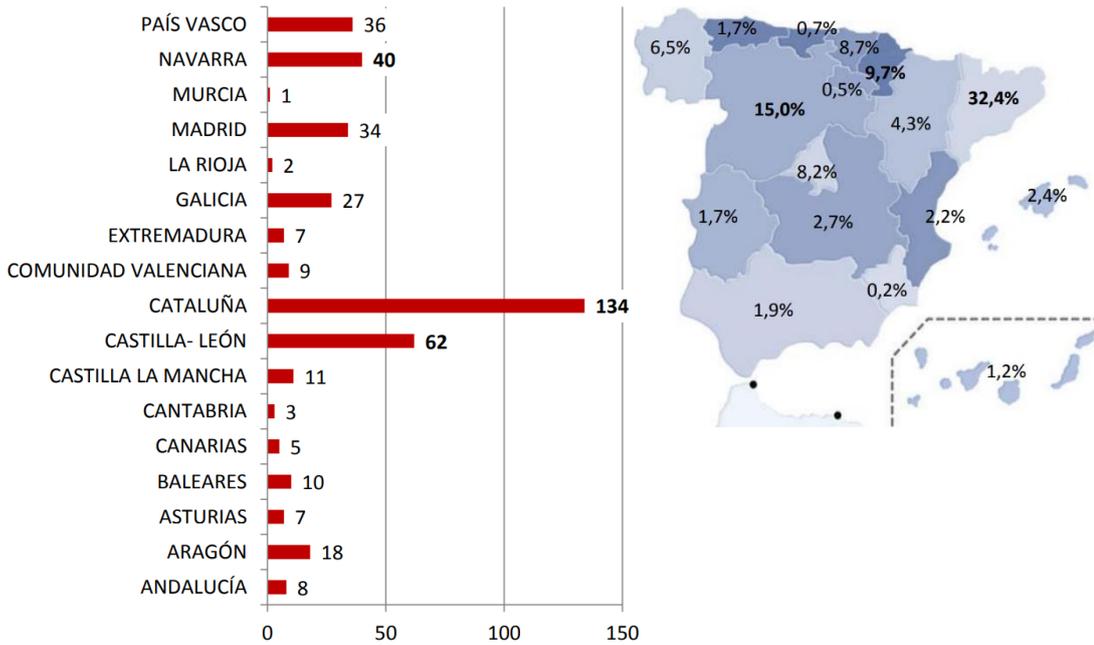


Figura 16. Redes DH y DH&C por comunidades autónomas y porcentuales en España en 2019. Fuente: ADHAC

En la Figura 17 se muestra la potencia instalada en las centrales de las redes DH y DH&C. Se estima que en 2019 hay 1576 MW instalados. Los núcleos son Cataluña, Madrid y Castilla y León, representando entre los tres un 68,1 % de la potencia total nacional instalada. Las 20 redes con mayor potencia instalada suponen más del 60 % de la potencia total instalada a nivel nacional.

El aumento de potencia instalada desde 2013 hasta 2019 es del 184 %. En la Figura 18 se muestra la distribución por comunidades autónomas de la potencia total instalada.

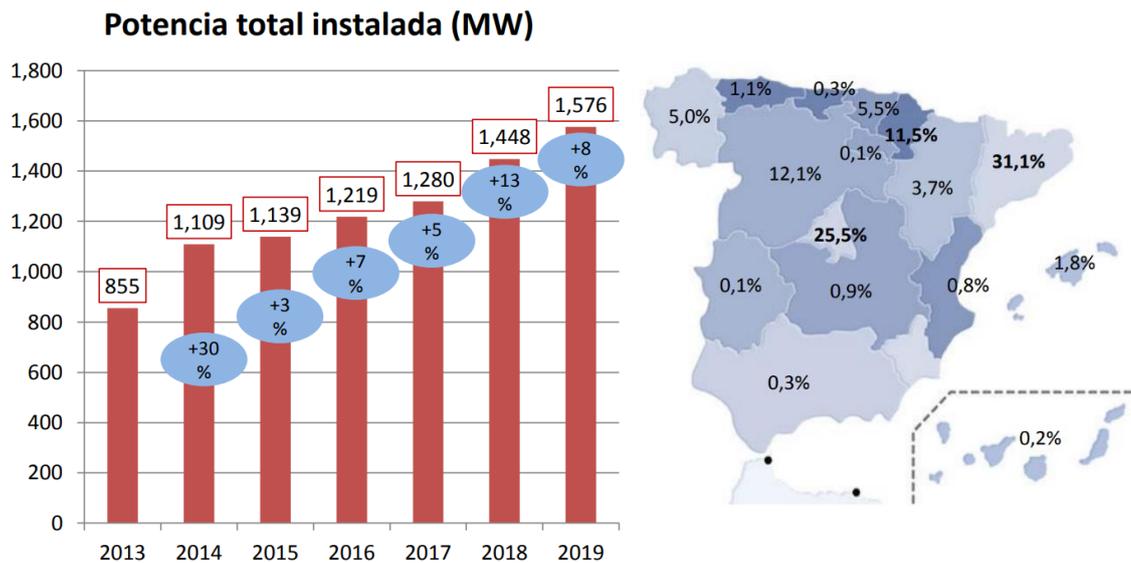


Figura 17. Potencia total instalada en MW en las redes DH y DH&C en España en 2019. Fuente: ADHAC.

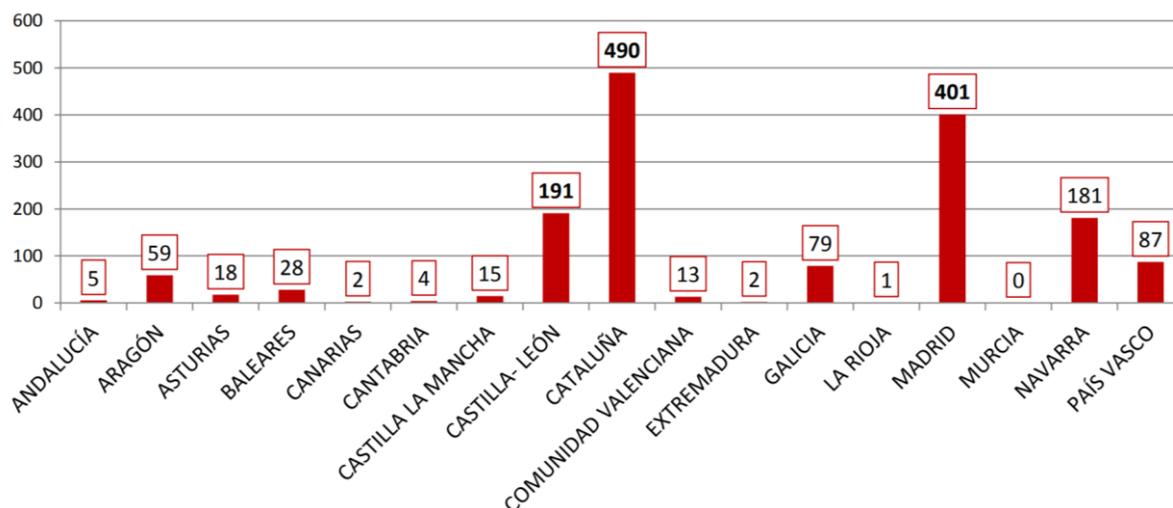


Figura 18. Potencia instalada en MW en las redes DH y DHC por comunidades autónomas en España en 2019. Fuente: ADHAC.

A continuación se muestra la distribución de las redes en cuanto a generación de calor, frío, o ambas. Como se observa en la Figura 19, la mayoría de redes suministra únicamente calor (el 90% de las redes instaladas en España), el 8,7% son de calor y frío (DH&C) y tan solo un 1% es de frío, no obstante se estima que los porcentajes de redes de frío y de calor y frío crecerán en los próximos años.

En cuanto a la potencia instalada en los distintos tipos de redes en España, en las Figuras 20 y 21 se muestran los megavatios destinados a cada tipo de red y el porcentaje que supone del total. Las redes de Calor y Frío (DH&C) son las que mayor potencia instalada tienen, llegando a un total de 829 MW. Le siguen de cerca las redes de calor, con 740 MW y tan solo 7 MW están destinados a redes de generación de frío.

En cuanto al uso de la potencia total instalada, el 75% va destinado a la generación de calor y un 25% a la generación de frío.

Si nos fijamos en la distribución de generación de calor y frío por comunidades autónomas de la Figura 22, vemos que Canarias, Baleares y Cataluña son las que más porcentaje de generación de frío tienen.

Análisis energético y ambiental mediante monitorización dinámica de un District Heating de biomasa en un Campus Universitario.

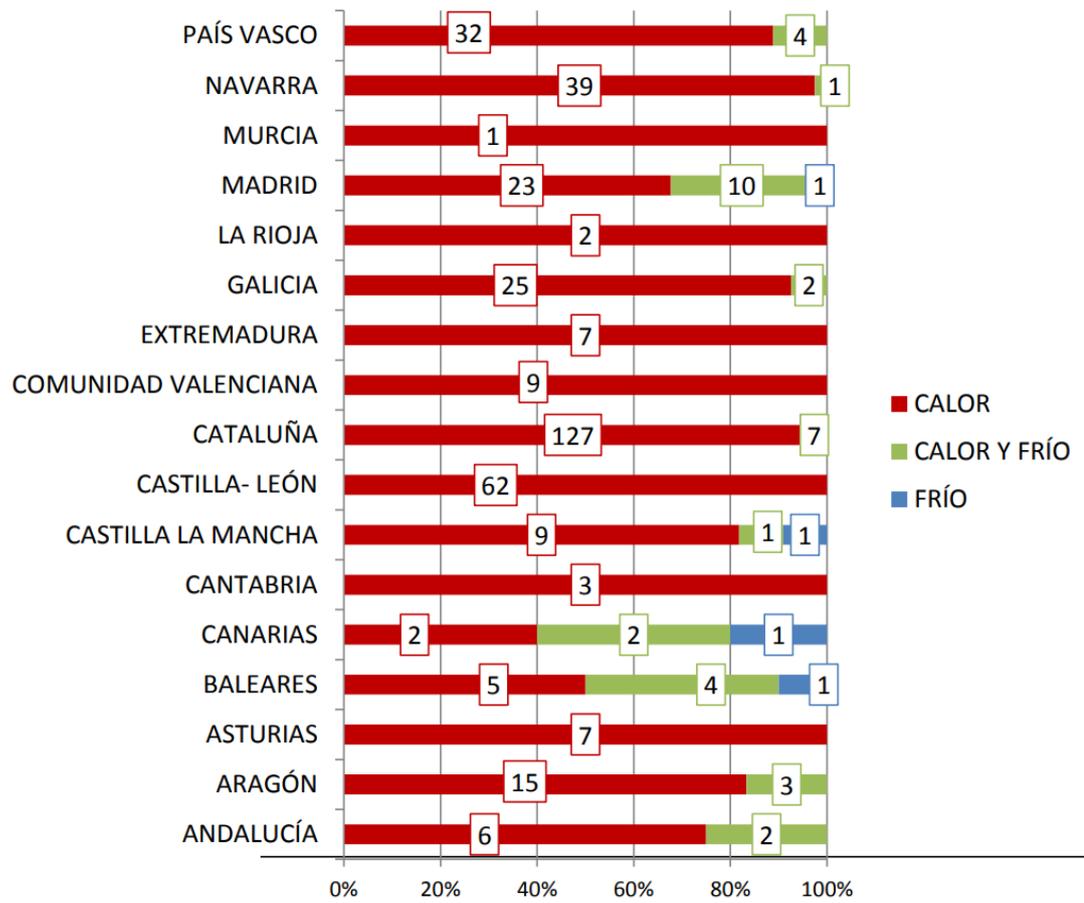
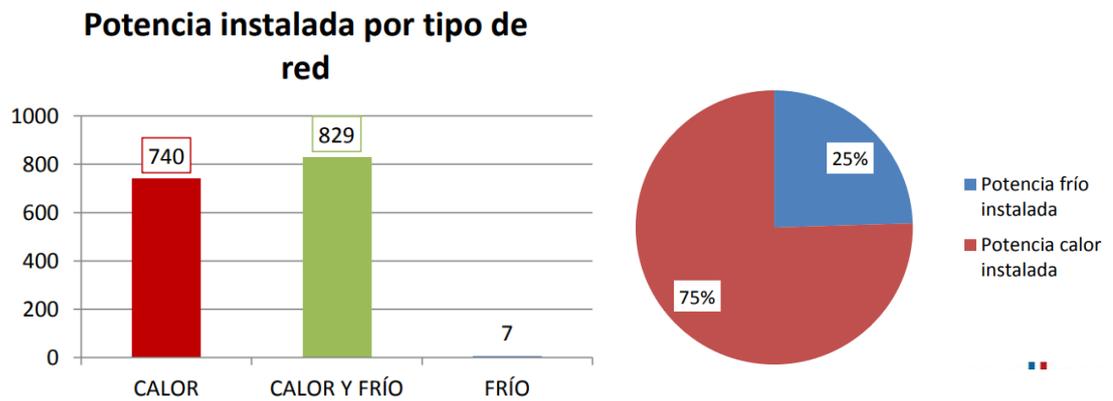


Figura 19. Tipo de redes (DH, DH&C y DC) por comunidades autónomas en España en 2017. Fuente: ADHAC.



Figuras 20 y 21. Potencia instalada por tipo de red y por tipo de suministro. Fuente: ADHAC.

Análisis energético y ambiental mediante monitorización dinámica de un District Heating de biomasa en un Campus Universitario.

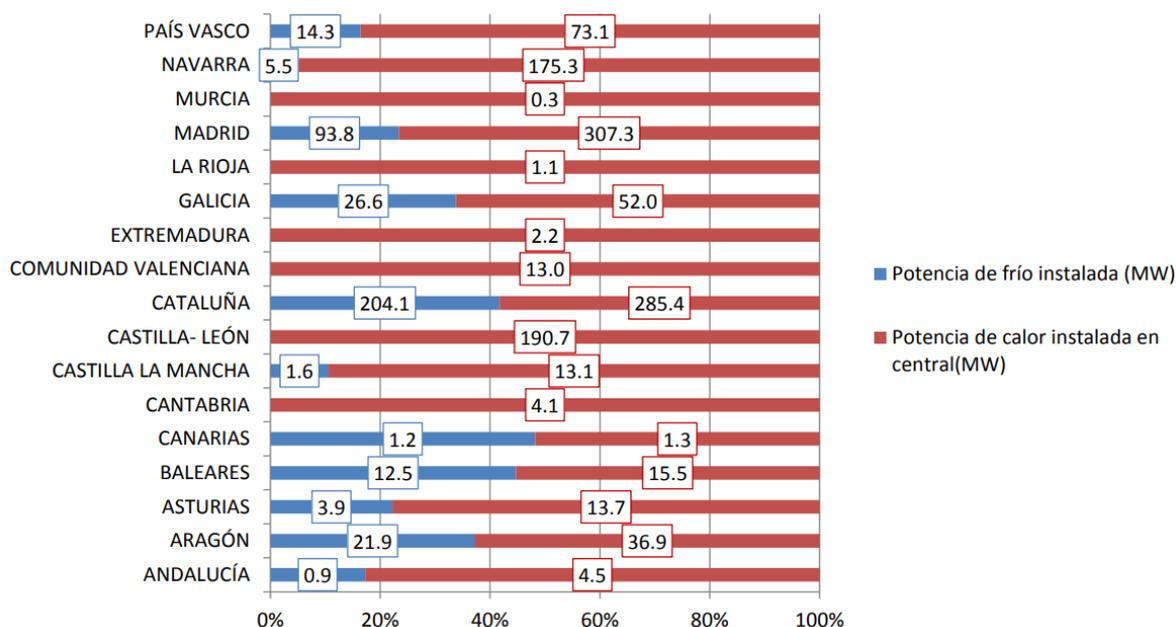


Figura 22. Potencia instalada en MW por comunidad autónoma y tipo de suministro. Fuente: ADHAC.

A partir de la Figura 23 y 24 se puede hacer la observación de que el sector terciario abarca el 69 % de las instalaciones centralizadas de DH o DH&C, suponiendo el 48 % de la potencia total instalada nacional. El sector industrial abarca el 8 % de las instalaciones y consume el 22 % de la potencia total. Por último, el sector residencial supone el 23 % restante de las instalaciones de calefacción y/o refrigeración por distrito, consumiendo el 30 % de la potencia. Podemos observar que el sector industrial es el que tiene las instalaciones de mayor potencia instalada, al contrario del sector residencial, que tiene el mayor número de redes para su uso, pero en proporción, consumen menos potencia.



Figura 23. Tipología de clientes en las redes nacionales en 2019. Fuente: ADHAC.

En cuanto a la titularidad de las redes censadas, el 53 % pertenecen a instituciones públicas, el 44 % a instituciones privadas y solo un 3 % a instituciones mixtas. Sin embargo en cuanto a la potencia que consumen, la

distribución está muy equilibrada, prácticamente un 33 % para cada tipo (privada, pública y mixta)



Figura 24. Titularidad de las redes nacionales en 2019. Fuente: ADHAC.

Por último, en la Figura 25 se muestran las distintas fuentes que abastecen a las redes en el año 2019. La mayor parte de las redes, el 75 %, se abastecen a partir de biomasa. Aproximadamente el 80 % de las redes incluyen energías renovables en la generación de energía.

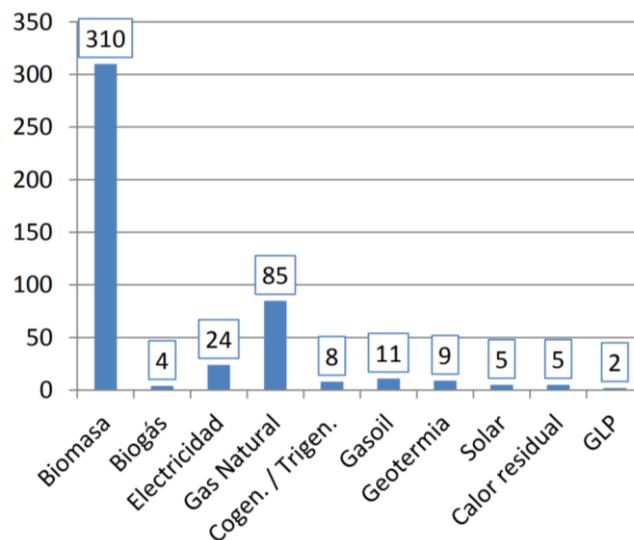


Figura 25. Energía consumida en las redes de calor y frío con distintas fuentes energéticas en España. Fuente: ADHAC.

Por último se exponen algunos ejemplos más detallados de redes en España:

En Madrid existe una instalación de 400 kW de potencia y varios cientos de metros de tuberías que dan servicio a varios edificios municipales y particulares, en el ayuntamiento de El Atazar. También encontramos la red más antigua de España que aún se mantiene en funcionamiento. Se encuentra en la Ciudad Universitaria de Madrid y su central térmica da servicio a muchas facultades de la actual Universidad Complutense de Madrid.

Otros ejemplos son instalaciones de alrededor de 15 MW y más de 10 km de red, como las que ya están en funcionamiento en las ciudades de Soria y Móstoles o en la Universidad de Valladolid. [\[16\]](#) La red más grande en la actualidad se encuentra en Soria, con 18 MW de potencia y 28 km de tuberías. La central térmica situada detrás de El Mirón, en la capital de Soria. [\[30\]](#)

En Valladolid entró en funcionamiento en 2015 una red de calor de biomasa para dar servicio de calefacción y ACS a 27 edificios pertenecientes a la UVA. En la central se tenía una potencia de 14 kW y 11,3 km de red. Posteriormente, en 2019 se amplió y se añadió una cuarta caldera a la central llegando a proporcionar 19,1 MW de potencia, y más de 12 km de longitud de tuberías, con el objetivo de abastecer la mayor parte de la demanda térmica del clínico y la conexión de otros 3 edificios de la UVA: --Palacio de congresos Conde Ansúrez, la Biblioteca Reina Sofía y la Casa del Estudiante--, la infraestructura dará servicio a un total de 39 edificios públicos. [\[31\]](#)

3 CAPÍTULO 3. ESTUDIO DEL DISTRICT HEATING DE LA UNIVERSIDAD DE VALLADOLID.

3.1 ANTECEDENTES. SISTEMA DE CALEFACCIÓN ANTERIOR.

Actualmente la Universidad de Valladolid se abastece con una red de calefacción por distrito, DH. Esta red se implantó en 2015. Hasta entonces los distintos edificios de la universidad de Valladolid tenían calderas de gas natural (GN) o gasóleo individuales para la demanda de calefacción y ACS.

En la tabla 5 se muestra el tipo de suministro de cada edificio estudiado, así como la energía consumida de media anual, obtenida a partir del documento “Estudio de la evolución de los consumos energéticos en las instalaciones de la universidad de Valladolid.” [\[32\]](#)

Del edificio Centro de Transferencia Tecnológica (D03) no se tiene datos de consumos energéticos en el informe mencionado. Por este motivo se excluye de los futuros cálculos.

Se ha decidido no tener en cuenta la Escuela de Ingenierías Industriales (Sede Mergelina) (E4_1) debido a la demanda irregular, y cada vez menor, de calefacción.

El edificio Aulario Induva E04_2 entró en funcionamiento en el año 2018, con lo cual no existen registros de los consumos anteriores.

El Edificio Colegio F.M. Santa Cruz (E06) no se incluye en esta tabla porque durante la mayor parte del año 2019 la centralita no estuvo conectada al sistema de captura de datos.

Por tanto, del campus Miguel Delibes se analizan 11 de 13 edificios conectados en la actualidad, y del Campus Esgueva se analizan 12 de 15 edificios pertenecientes a la UVa conectados a la red. Representando un 82 % de los edificios universitarios analizados conectados a la red DH.

Tabla 5. Tipo de consumo, superficie y consumo anual de los edificios de la UVa.

	Combustible utilizado	Superficie (m ²)	Consumo anual GN/Gasóleo (kWh-año)
-CAMPUS UNIVERSITARIO MIGUEL DELIBES			
Apartamentos Cardenal Mendoza (D1 y D2)	Gas Natural	15.490	1.549.071
Aulario Miguel Delibes (D4)	Gas Natural	3.984	1.015.556
Edificio IOBA (D5)	Gas Natural	3.702	129.578
Nueva Facultad de Ciencias (D6)	Gas Natural	17.220	1.205.405
Telecomunicaciones e Informática (D7)	Gas Natural	27.245	1.362.224
Edificio Quifima (D8)	Gas Natural	5.049	530.161
Gimnasio Universidad (D9)	Gas Natural	1.724	370.740
Centro de Idiomas (D10)	Gas Natural	4.966	248.304
Facultad de Educación y Trabajo Social (D11)	Gas Natural	13.407	737.401
Edificio de I + D (D12)	Gas Natural	7.033	351.666
-CAMPUS UNIVERSITARIO RÍO ESGUEVA			
Edificio del Servicio de Mantenimiento (E1)	Gasóleo	1.546	92.774
Escuela Universitaria de Empresariales (E2)	Gasóleo	9.852	492.608
Facultad de Filosofía y Letras (E3)	Gas Natural	19.540	1.230.938
Edificio Alfonso VII (E5)	Gasóleo	23.864,52	1.909.162
Edificio IBGM (E7)	Gas Natural	3.415	273.246
Facultad de Ciencias de la Salud (E8) (anatomía - E8_1, cuerpo central - E8_2, zona derecha - E8_3, zona izquierda - E8_4)	Gas Natural	28.987	2.318.964
Facultad de Económicas (E13)	Gas Natural	14.876	1.561.970
Aulario Campus Esgueva (E14)	Gasóleo	6.362	413.526
Edificio E. I. Industriales (E15)	Gas Natural	16.692	1.669.157

A continuación se muestra la evolución anual de consumo de energía térmica final por metro cuadrado del edificio (kWh año/m²) de diferentes edificios de la UVa. (Figuras: 26, 27, 28, 29). De estas figuras se ha obtenido la media de consumo de energía térmica final en kWh año, para calcular la demanda media de cada edificio de estudio entre los años 2006 y 2013. En la Tabla 5 se muestran estos valores.

Análisis energético y ambiental mediante monitorización dinámica de un District Heating de biomasa en un Campus Universitario.

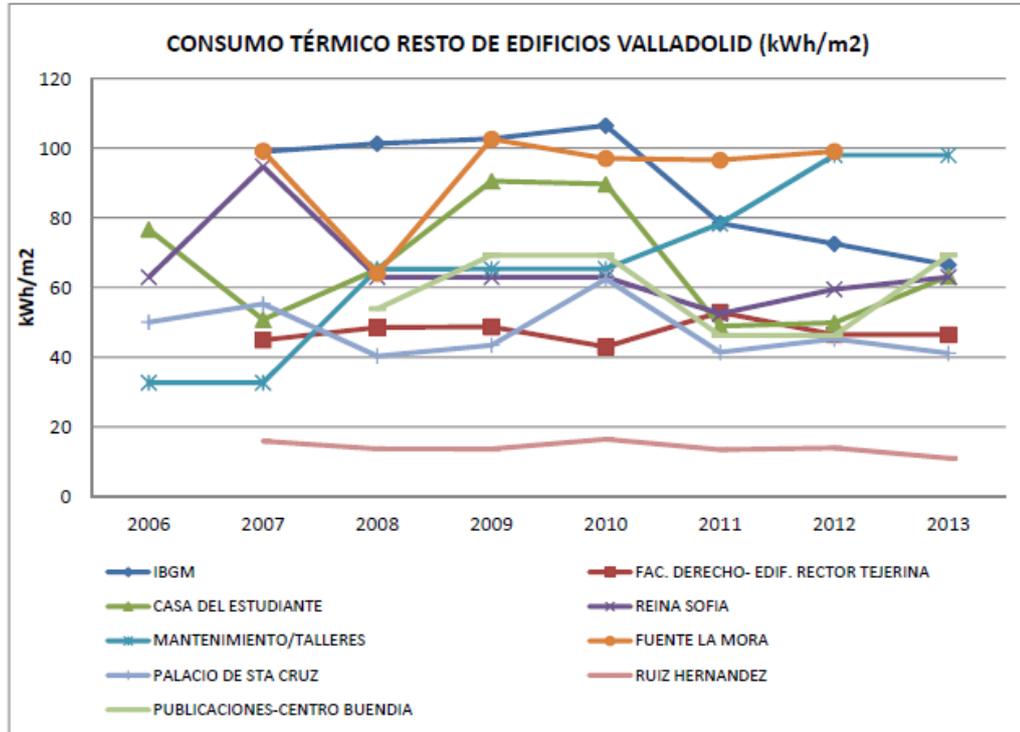


Figura 26. Evolución del indicador energético de consumo térmico de edificios de Valladolid. Fuente: [29]

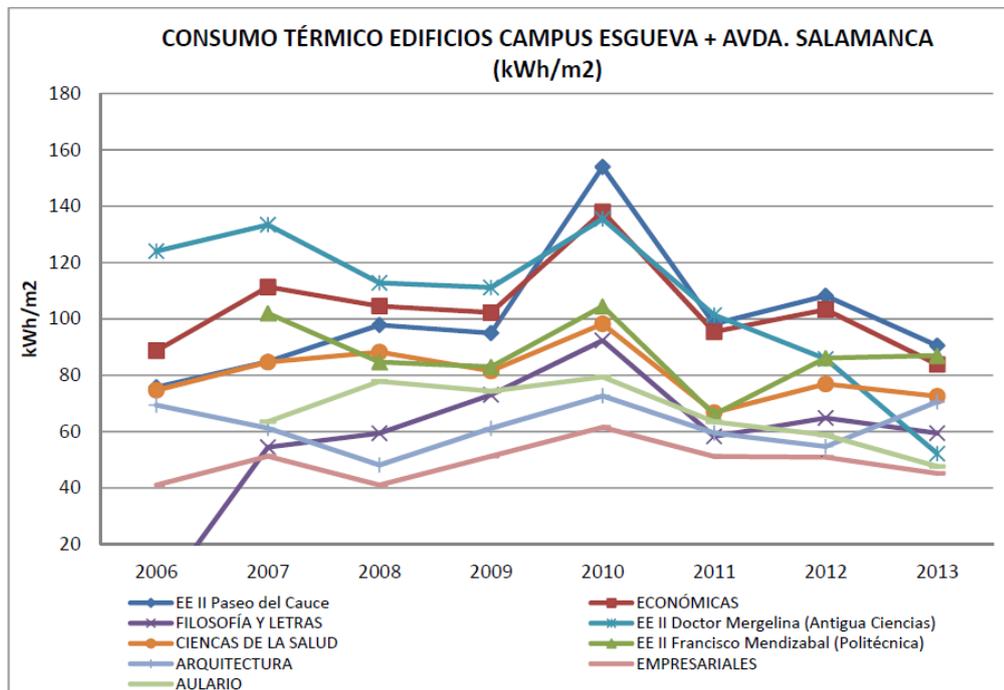


Figura 27. Evolución del indicador energético de consumo térmico en Campus Esgueva y Avenida de Salamanca. Fuente: [29]

Análisis energético y ambiental mediante monitorización dinámica de un District Heating de biomasa en un Campus Universitario.

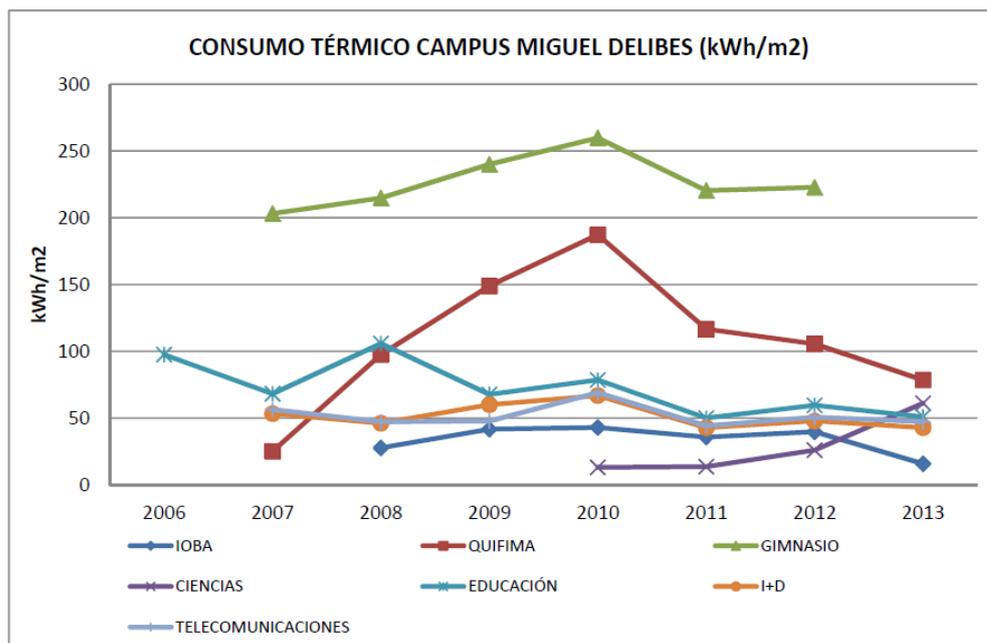


Figura 28. Evolución del indicador energético de consumo térmico en el Campus Miguel Delibes. Fuente:[29]

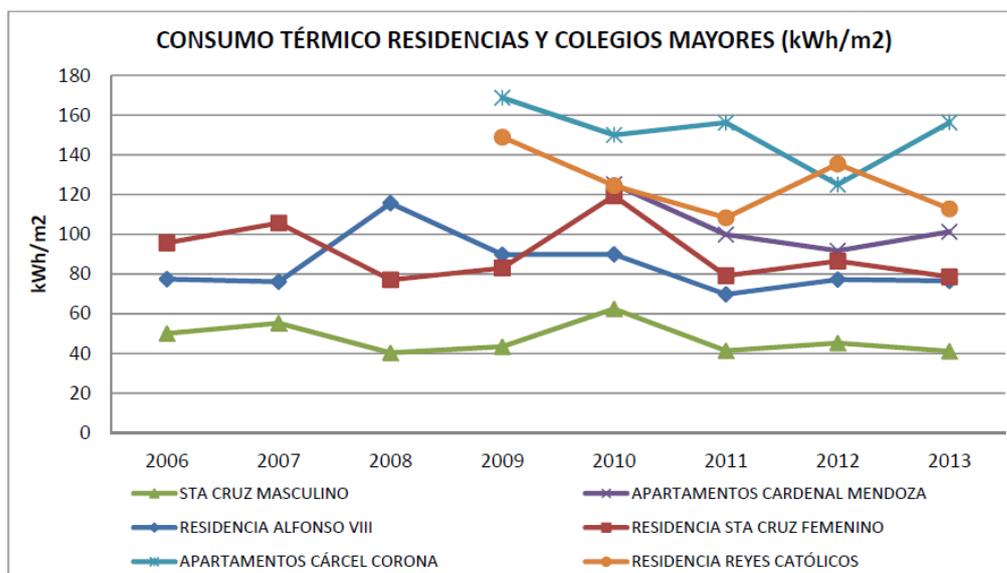


Figura 29. Evolución del indicador energético de consumo de Residencias y Colegios Mayores. Fuente: [29]

La antigüedad de los edificios es un aspecto a tener en cuenta debido a que los niveles de aislamiento en años anteriores son menores que los que exige la normativa actual. Por lo tanto, habitualmente los edificios más antiguos tienen una demanda térmica mayor.^[32]

En el caso de los edificios que se va a estudiar, se da la situación en algunos casos, de que las calderas tenían muchos años de funcionamiento y el rendimiento era menor al 70%.

3.2 SITUACIÓN ACTUAL DE LA RED DE CALOR EN LA UVA.

Hoy en día la calefacción de la universidad de Valladolid se abastece mediante una red de calor centralizada, a través de un DH. De este modo se evita el uso de calderas individuales en cada edificio que componen los diferentes Campus de Valladolid. Esta nueva configuración energética para la UVA, se enmarca dentro de la política de “ahorro, sostenibilidad y eficiencia energética”, ya aprobada por la Universidad en el año 2017 a través de la oficina de Calidad Ambiental y Sostenibilidad, cuyo director era el Dr. Fco. Javier Rey Martínez.

Actualmente, esta institución es un “referente” en Campus Universitarios españoles. Incrementa el uso de energía renovable al emplear biomasa y aumenta la sostenibilidad tanto en eficiencia energética como ambiental debido a la descarbonización.^[33]

La central térmica de generación del DH, se encuentra en el extremo norte del Campus Miguel Delibes. Es una edificación modular de dos naves adosadas que suman una superficie de 1.400 m². Una nave corresponde a la sala de calderas y la otra al silo-almacén del biocombustible, como se muestra en las Figuras 30 y 31.

Inicialmente, la central térmica disponía de tres calderas de 4,7 MW de potencia cada una. En la ampliación que se hizo en 2019 para atender la demanda del hospital clínico universitario de Valladolid, se instaló una cuarta caldera de biomasa con tecnología de parrilla móvil de 5 MW de potencia, anexa a los equipos iniciales, en un espacio que se dejó previsto. En la Figura 32 se observa el plano de detalle de la central térmica.



Figura 30. Central Térmica. Fuente [34]

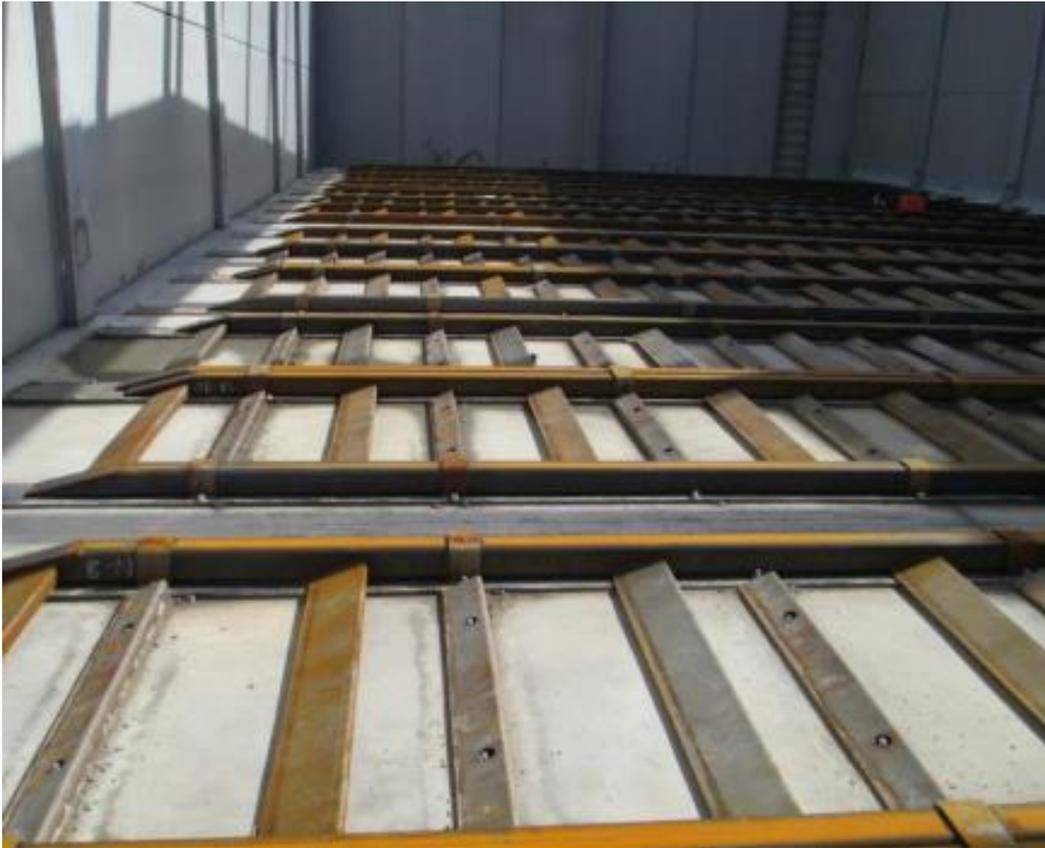


Figura 31. Silo de almacenamiento del biocombustible. Fuente: [34]

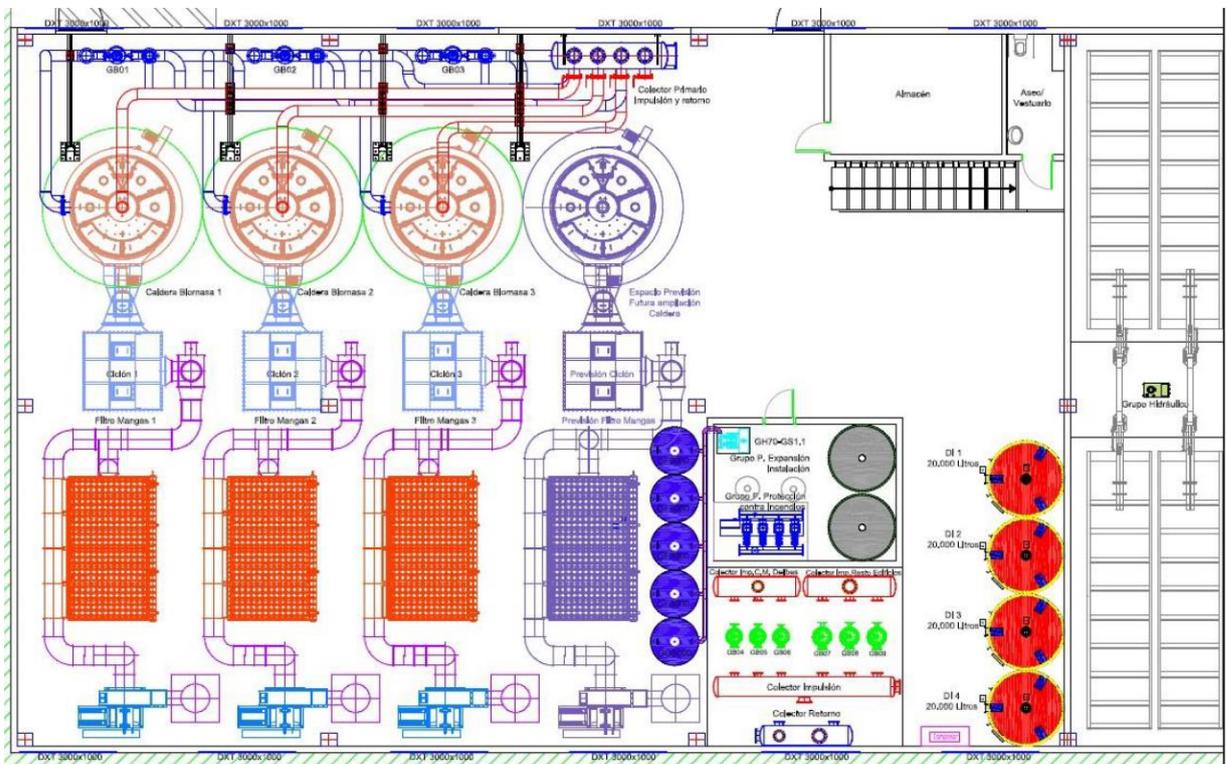


Figura 32. Plano de Detalle de la sala de calderas de la central térmica. Fuente [34]

Tras la ampliación, la sala de generación de calor, la central térmica llega a tener una potencia total instalada de 19,1 MW aumentando la capacidad de distribución de energía térmica de la red y asegurando suministrar la demanda térmica de los edificios universitarios conectados.

El biocombustible que se utiliza el DH de la UVa, como materia prima para producir la energía térmica demandada son astillas de madera, obtenido de los residuos forestales en Castilla y León en zonas próximas a Valladolid. El rango de granulometría de las astillas de G50 a G100 y con humedad entre el 20 % y el 40 %. La instalación hasta 2018 consumía anualmente 7.600 toneladas de astilla forestal, a los que hay que sumar otras 4.400 toneladas para atender la demanda térmica del Hospital Clínico Universitario, resultando un consumo total anual tras la ampliación de 11.000 toneladas. [\[31\]](#)

Obtener la biomasa a partir de astilla forestal que se encuentra en las proximidades del punto de consumo, supone la reducción de los costes de producción del combustible y por tanto reducción del coste económico. Además de este modo se aprovechan los recursos locales y se colabora con el desarrollo económico del municipio.

El caso de la red DH de la universidad de Valladolid, el tipo de astilla utilizado pertenece al grupo de astillas de clase 2, según la clasificación de GreenHeiss. Esta es la astilla procedente de tratamientos silvícolas, agrícola y forestales. Se utiliza en instalaciones de media a muy alta potencia, como es el caso de esta red de calefacción. Para conseguir astillas de calidad es necesario dejar secar la materia prima de forma natural o artificial hasta una humedad inferior al 45%

En la central térmica de generación de calor, la energía calorífica se acumula en dos depósitos de inercia de 40.000 l cada uno para garantizar el abastecimiento de la demanda en casos puntuales en los que sea muy elevada, consiguiendo así una respuesta lo más rápida posible de la red. (Ver Figura 33)

La red de distribución de tuberías está formada por tuberías LOGSTOR, de acero pre-aislado con una espuma rígida de poliuretano (PUR) y por una envolvente de polietileno de alta densidad (PEAD) con el objetivo de minimizar las pérdidas térmicas. La espuma PUR está adherida a los otros dos elementos formando un único material compuesto. Este tipo de tuberías es comúnmente usado para instalaciones industriales, redes urbanas, etc. La tubería tiene dos hilos de cobre que junto con la unidad analógica conforma el sistema de detección de fugas, permitiendo la detección de humedad en el aislamiento, tanto por una rotura del servicio o del envolvente con un margen de error del ± 2 %. Se muestra una imagen de estas tuberías en la Figura 34. [\[34\]](#)

Análisis energético y ambiental mediante monitorización dinámica de un District Heating de biomasa en un Campus Universitario.

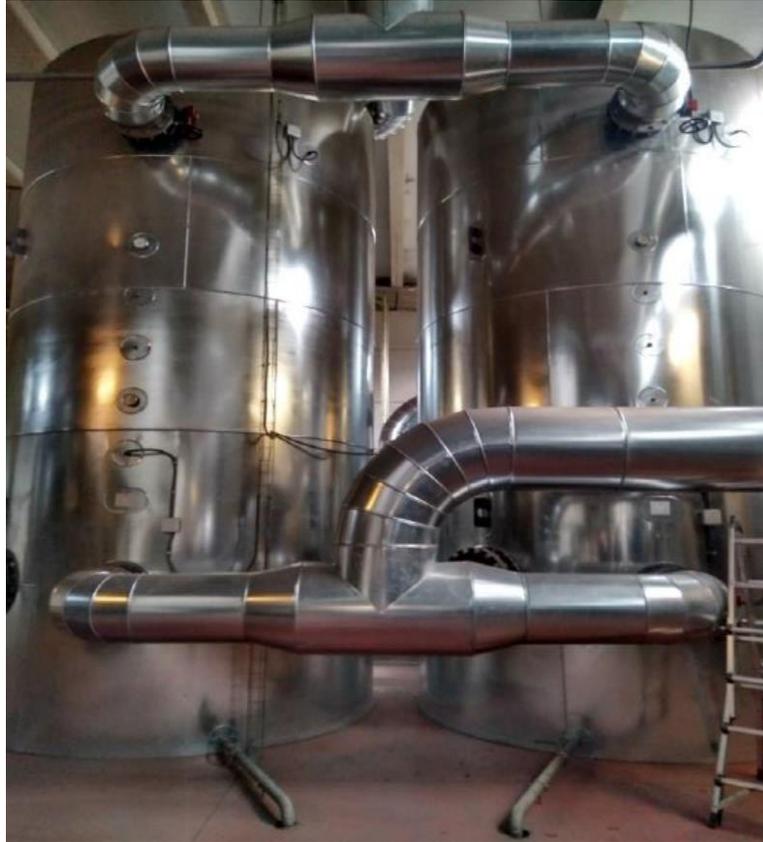


Figura 33. Depósitos de inercia. Fuente: [34]



Figura 34. Tuberías pead preaisladas en obra. Fuente: [34]

El esquema del circuito hidráulico se muestra en la Figura 35. En él se puede apreciar como el agua que sale de las cuatro calderas se recoge en un colector

y se almacena en los depósitos de acumulación térmica. De aquí se une de nuevo en un colector y posteriormente se divide en dos circuitos, que corresponden a los dos anillos de distribución de la red DH. Cada uno de ellos dispone de tres bombas de caudal variable, en paralelo cuyas características técnicas se muestran en la Figura 36. El funcionamiento habitual del sistema de bombeo es que funcionen dos bombas hidráulicas en paralelo y la tercera está en reserva. Cada cierto número de horas de funcionamiento se intercambian las bombas hidráulicas, consiguiendo así que el desgaste sea uniforme. En caso de que la demanda energética sea pequeña, con solo una bomba hidráulica es suficiente para abastecer toda la red. Todas las bombas hidráulicas tienen un variador que permite impulsar al caudal necesario para abastecer la demanda. Este sistema logra reducir la potencia eléctrica consumida por las bombas considerablemente. Las temperaturas de impulsión no superaran los 95C en ningún caso, aunque la red puede soportar temperaturas de hasta 150C. [34]

En la Figura 37 se muestra la disposición real del sistema de bombeo hidráulico de ambos anillos. (Red del Campus Río Esgueva y red del campus Miguel Delibes.)

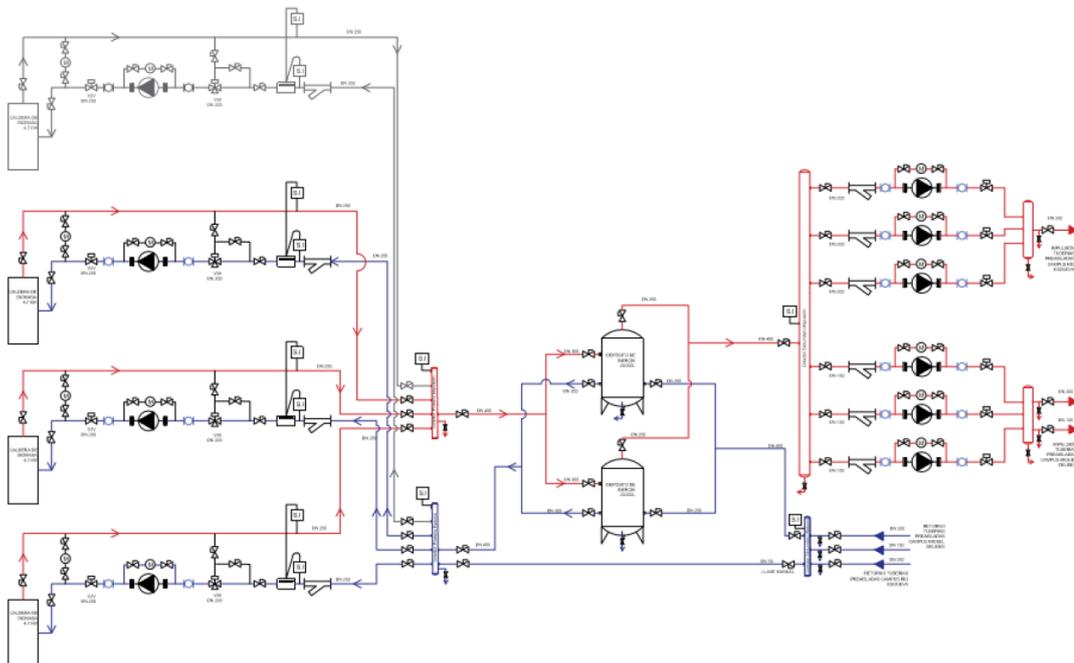


Figura 35. Esquema del circuito hidráulico de la central térmica del DH de la UVA. Fuente: [34]

Análisis energético y ambiental mediante monitorización dinámica de un District Heating de biomasa en un Campus Universitario.

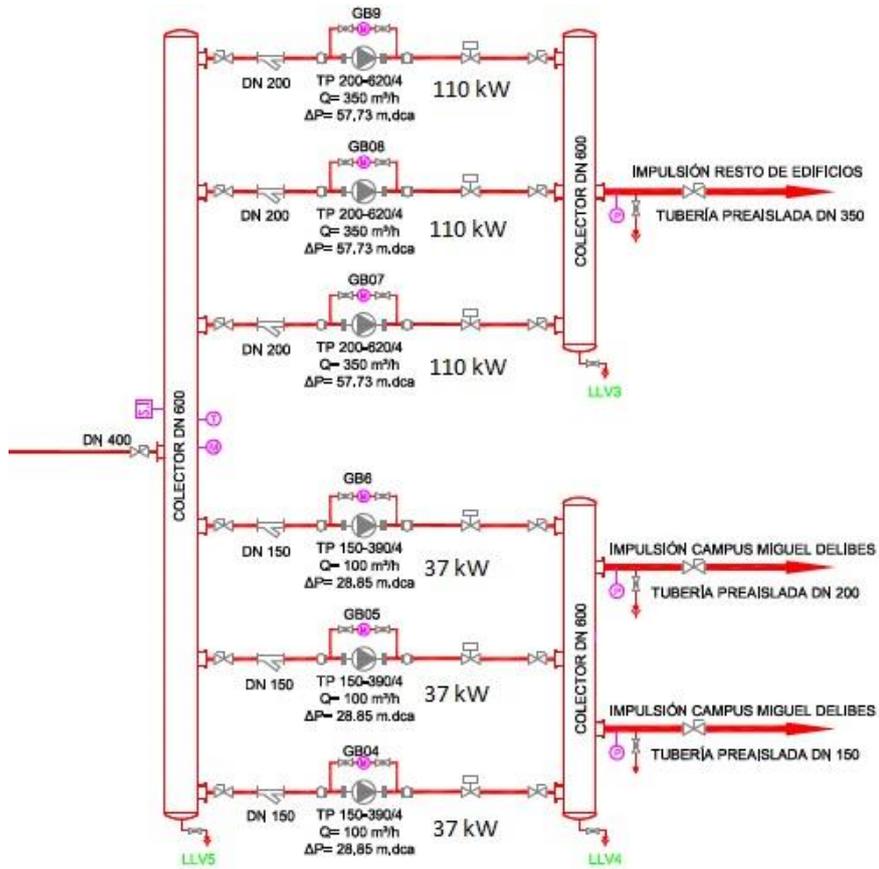


Figura 36. Características de las bombas hidráulicas de los dos anillos del circuito primario. Fuente: UVa.



Figura 37. Sistema de bombeo de las dos redes que abastecen al DH de la UVa. Fuente: [34]

Análisis energético y ambiental mediante monitorización dinámica de un District Heating de biomasa en un Campus Universitario.

En la Figura 38 se observa cual es la conexión de los edificios al anillo correspondiente. Como se aprecia, es una conexión ramificada de cierta complejidad debido a la extensa longitud de la red.

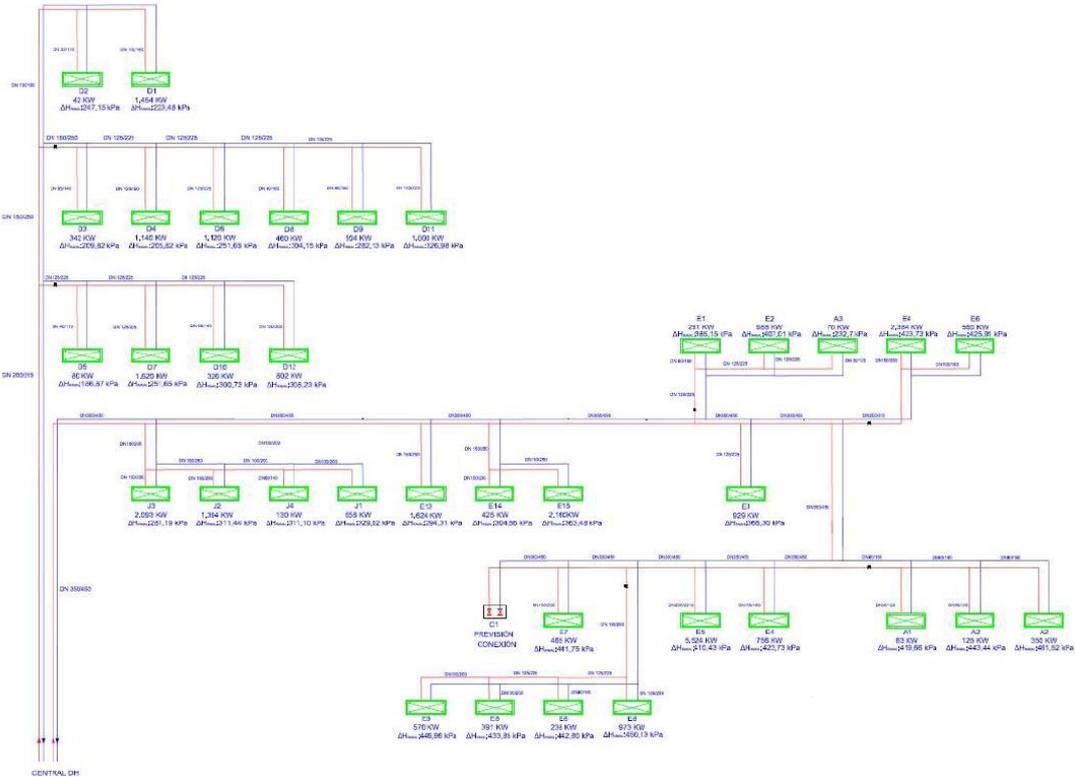


Figura 38. Esquema de la conexión de los edificios a la red de distribución. Fuente: [34]

La Figura 39 muestra el consumo de energía eléctrica mensual durante el año 2019 del sistema de bombeo en los dos anillos que componen el DH de la UVA. El bajo consumo de energía en verano se debe a los edificios que consumen ACS y al Hospital Clínico Universitario. La cantidad total de energía eléctrica consumida es de 196.850 MWh-año.

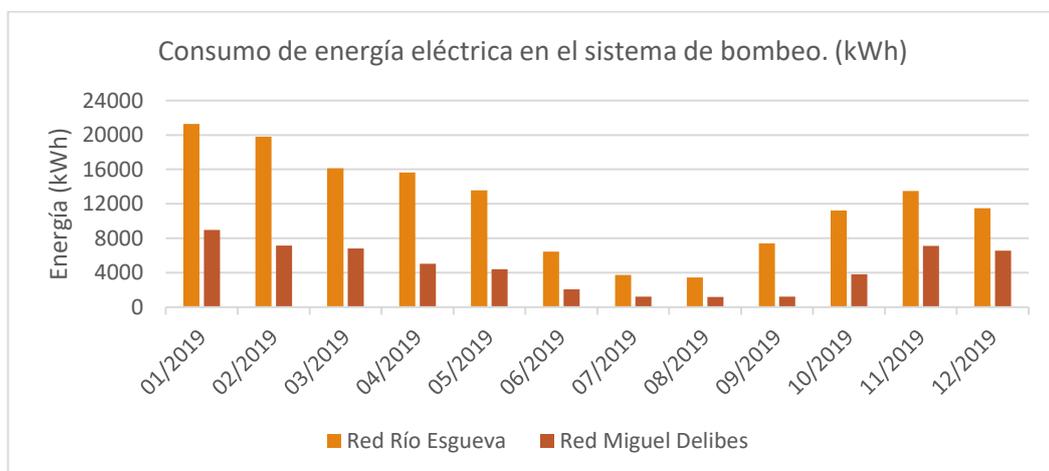


Figura 39. Consumo eléctrico mensual en el año 2019 del sistema de bombeo para ambos anillos. (kWh)

El anillo que alimenta el campus Miguel Delibes utiliza tres bombas hidráulicas gemelas en paralelo, con una potencia de 37 kW, capaces de impulsar un caudal de 100m³/h cada una. Los 13 edificios universitarios que componen el Campus Miguel Delibes se muestran en la Figura 40 así como la conexión con el anillo de distribución. Sus correspondientes abreviaturas son las siguientes:

- Apartamentos Cardenal Mendoza (D1 y D2)
- Centro de Transferencia Tecnológica (D3)
- Aulario Miguel Delibes (D4)
- Edificio IOBA (D5)
- Nueva Facultad de Ciencia (D6)
- Telecomunicaciones e Informática (D7)
- Edificio Quifima (D8)
- Gimnasio Universidad (D9)
- Centro de Idiomas (D10)
- Edificio de Facultad de Educación y Trabajo Social (D11)
- Edificio de I+D (D12)
- Edificio Lucía (D13)

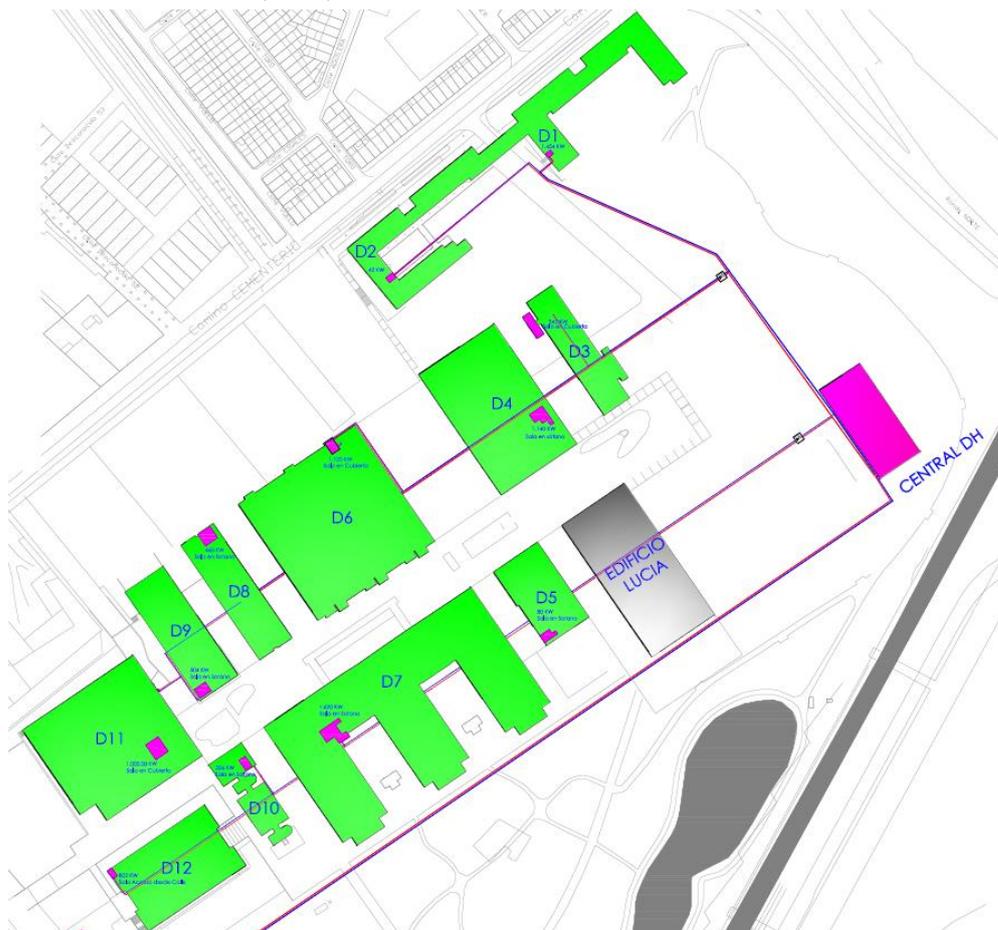


Figura 40. Plano Red de distribución campus Miguel Delibes. Fuente: [25]

Para el Campus Río Esgueva (segundo anillo de la red) se utilizan otras tres bombas gemelas en paralelo, con una potencia de 110 kW, capaces de impulsar un caudal de 350 m³/h cada una. Esta red abastece la demanda de energía térmica al Campus Río Esgueva compuesto por 23 edificios, algunos de ellos no son propiedad de la UVA, 3 pertenecen al ayuntamiento, 4 pertenecen a la Junta de Castilla y León y al hospital clínico universitario. En la Figura 41 se muestra el plano de ubicación, junto con el nombre de todos los edificios que están conectados a la red del Río Esgueva.

Campus Universitario Río Esgueva:

- Edificio de Servicio de Mantenimiento (E1)
- Escuela Universitaria de Empresariales (E2)
- Facultad de Filosofía y Letras (E3)
- Edificio Induva (E4_1)
- Escuela de Ingenierías Industriales (Sede Mergelina) (E4_2)
- Edificio Alfonso VII (E5)
- Edificio Colegio F.M. Santa Cruz (E6)
- Edificio IBGM (E7)
- Facultad de Ciencias de la Salud (E8)
 - Zona de anatomía (E8/1)
 - Zona de cuerpo central (E8/2)
 - Zona derecha (E8/3)
 - Zona izquierda (E8/4)
- Facultad de Económicas (E13)
- Aulario Campus Esgueva (E14)
- Escuela de Ingenierías Industriales (Sede Paseo del Cauce) (E15)

Edificios del Ayuntamiento:

- Polideportivo Miriam Blasco (A1)
- Colegio García Lorca (A2)
- Centro Cívico (A3)

Edificios de la Junta de Castilla y León (Deportes):

- Residencia Río Esgueva (J1)
- Centro de Atletismo de alto rendimiento Río Esgueva (J2)
- Piscinas Climatizadas Río Esgueva (J3)
- Pabellón Polideportivo Río Esgueva (J4)

Edificios de la Junta de Castilla y León (Sanidad):

- Hospital Clínico Universitario (C1)

Además, este año se pretende conectar a la red DH otros tres edificios más, dos de los cuales pertenecen a la UVA: Palacio de congresos Conde Ansúrez, la Biblioteca Reina Sofía y la Casa del Estudiante. Dando servicio así, a 26 edificios públicos.

Para abastecer al clínico, se amplió un nuevo ramal de tuberías preaisladas, desde el Instituto de Biología y Genética Molecular (IBGM) hasta la sala de calderas del hospital. Allí se ha instalado una nueva subestación de intercambio térmico de hasta 8 MW de potencia para desacoplar hidráulicamente los circuitos y realizar la entrega de energía térmica en las condiciones de potencia y temperatura demandadas por el hospital. [31]

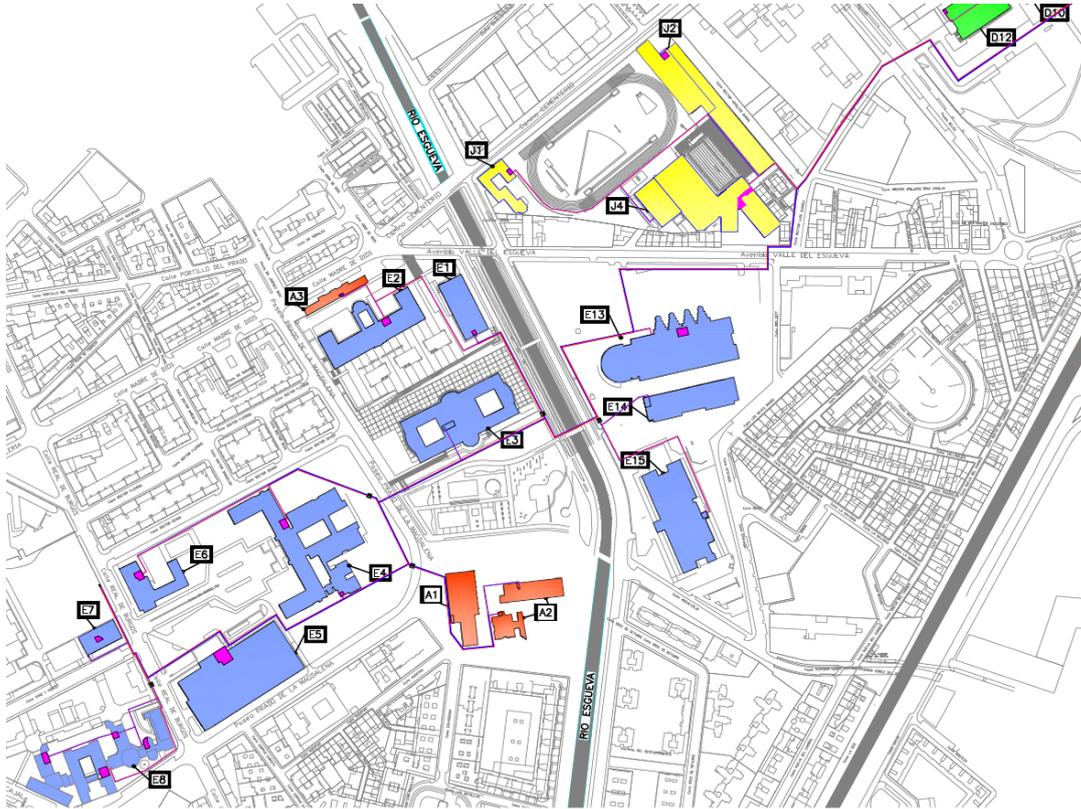


Figura 41. Plano Red de distribución campus Esgueva. Fuente: [25]

En las siguientes figuras se muestran los datos obtenidos de las variables de interés (caudales, temperaturas, energía y potencia) del edificio D12 (I+D) con el objetivo de visualizar el funcionamiento de uno de los edificios conectados a la red DH.

En la Figura 42 se muestra la potencia térmica media diaria (kW) a lo largo de todo el año de estudio, 2019. En los meses de verano la demanda térmica es nula. Para visualizar mejor los detalles del consumo de potencia térmica, en la Figura 43 se muestra el mes de noviembre de 2019 en periodos de 10 minutos. Se puede apreciar que durante los fines de semana el consumo es nulo. En los picos de consumo los valores aumentan considerablemente respecto a las medias diarias, pasando de ser 120 kW de media diaria, a picos de 700 kW.

Se muestra en la Figura 44 el detalle de una semana de noviembre, del día 18 al 24. En ella se puede apreciar con mayor claridad que los picos de consumo se producen a primera hora del día, cuando el sistema se pone en marcha. Este

edificio tiene demanda de energía térmica desde las 6:00, hora a la que se arranca el sistema de calefacción, hasta las 20:00. Desde las 7:00 hasta las 20:00 el consumo es aproximadamente 200 kW de manera constante.

Por último la Figura 45 muestra la evolución de la energía térmica consumida acumulada en kilovatios hora. Los meses en los que más rápido crece la curva son los meses de más frío: noviembre, diciembre, enero y febrero.

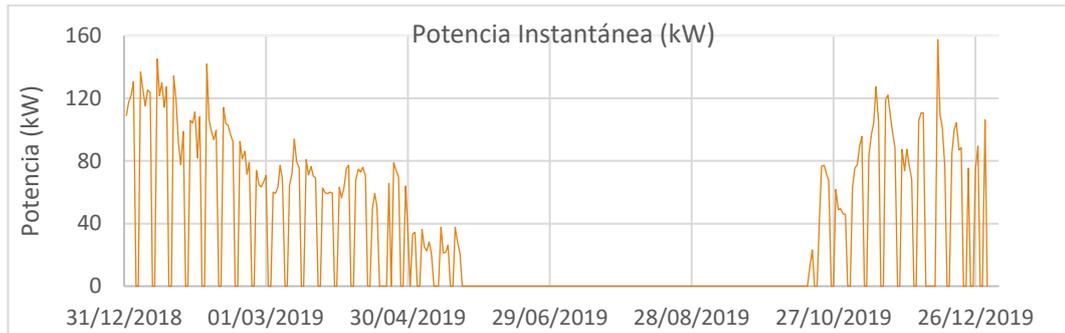


Figura 42. Potencia térmica media diaria (kW) en el año 2019 del edificio D12.

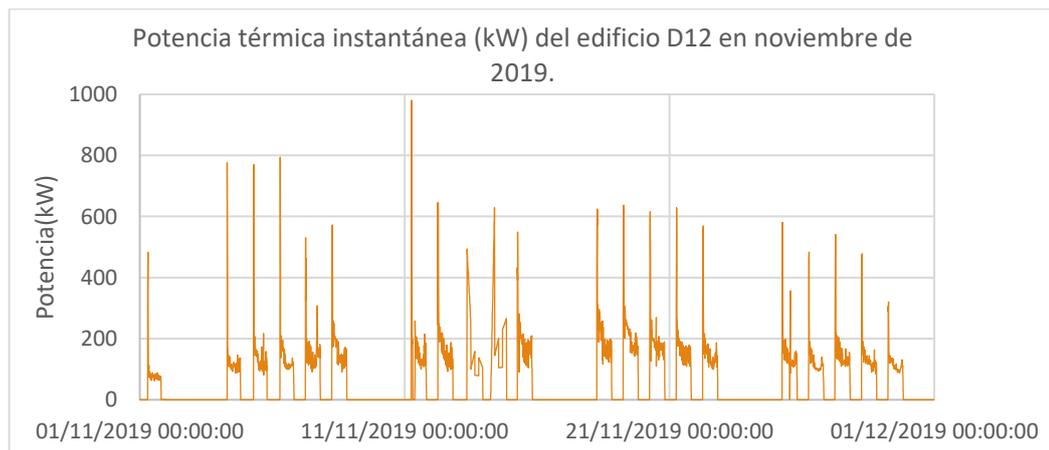


Figura 43. Potencia térmica instantánea (kW) en el mes de noviembre de 2019 del edificio D12.

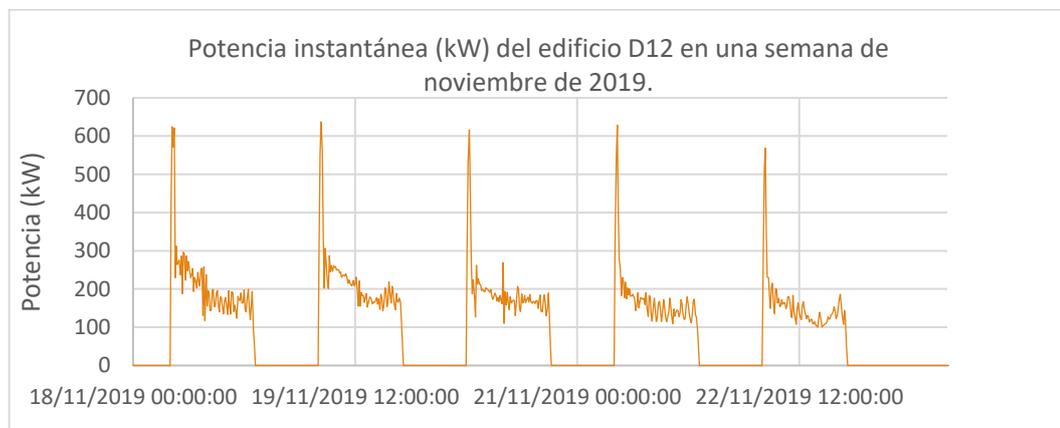


Figura 44. Potencia térmica instantánea (kW) en una semana de noviembre de 2019 del edificio D12.

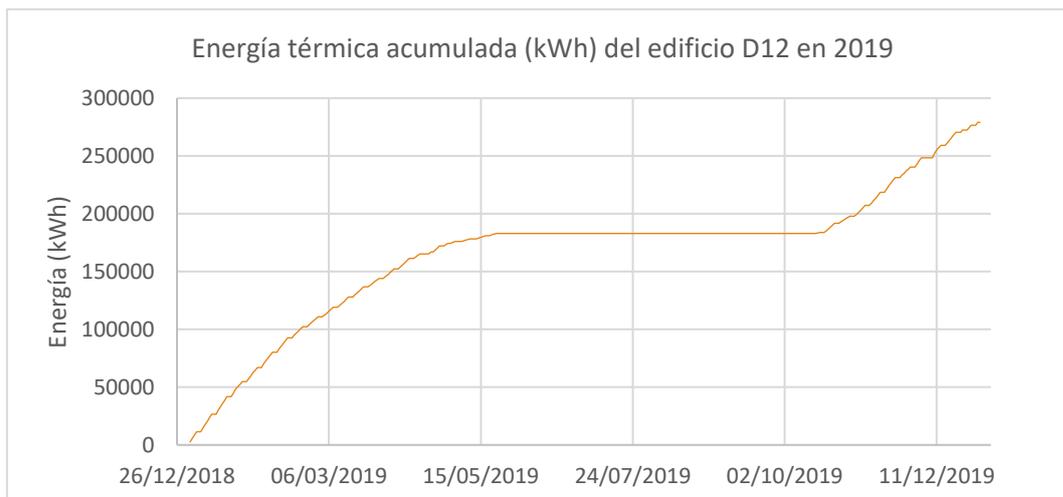


Figura 45. Energía térmica acumulada (kWh) en 2019 del edificio D12.

Otro dato de interés son las temperaturas de ida y retorno de los circuitos primario (anillo de distribución) y secundario (circuito del propio edificio). En la Figura 46 se aprecia que durante los meses de verano, al no haber demanda térmica, todas las temperaturas son muy próximas, en torno a 20C. Mientras que en el resto del año la franja de temperaturas de operación es entre 60C y 90C.

En la Figura 47 se muestran estas temperaturas durante la semana del 18 al 24 de noviembre, en intervalos de 10 minutos. Como se aprecia, los saltos térmicos del circuito primario son mayores (en torno a 30C) que los del circuito secundario (en torno a 5C). Para observar los detalles, en la Figura 48 se muestran dos días, 19 y 20 del mes de noviembre. Corresponden a un martes y miércoles porque se ha considerado que el lunes es menos representativo ya que la inercia térmica del fin de semana, con el sistema apagado, influye y distorsiona los valores reales.

En esta última figura se observa que en los periodos nocturnos, el salto térmico del circuito primario es nulo, manteniéndose la red a una temperatura de 85C. Sin embargo se observa que el salto térmico del circuito secundario es de 10C. Esto no es una incoherencia ya que el caudal que circula por la subestación es nulo en los periodos nocturnos. Con lo cual, el consumo energético es nulo.

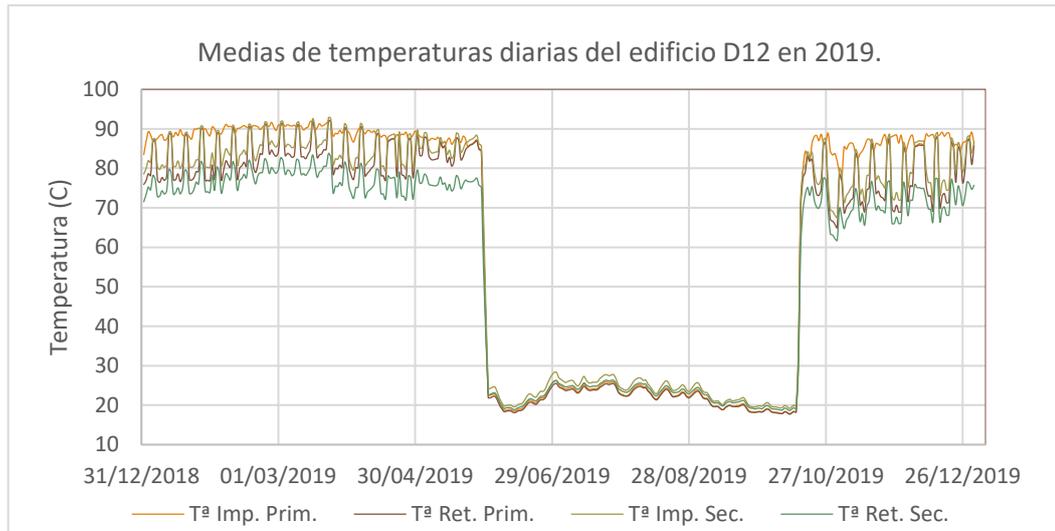


Figura 46. Medias diarias de temperaturas de ida y retorno de los circuitos primario y secundario en 2019 del edificio D12.

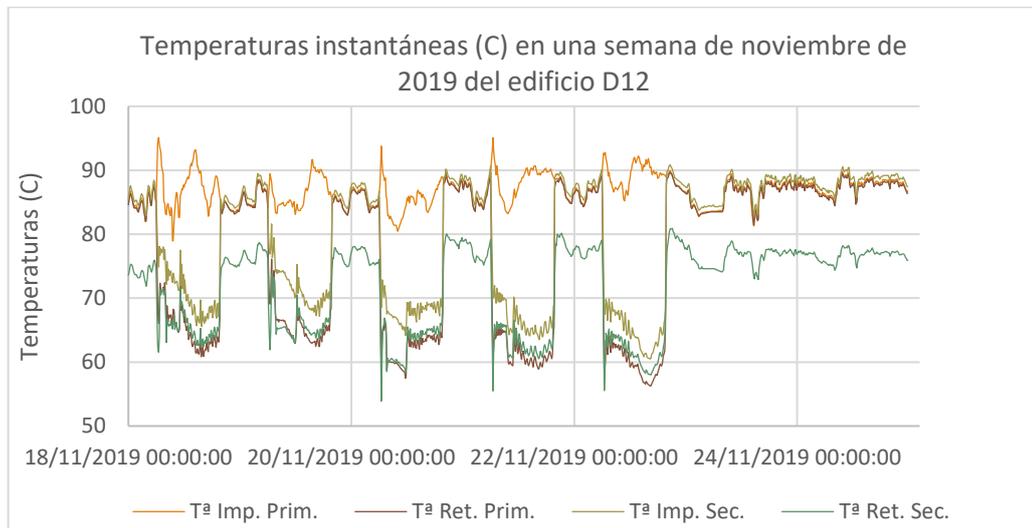


Figura 47. Temperaturas instantáneas de ida y retorno de los circuitos primario y secundario en una semana de noviembre de 2019 del edificio D12.

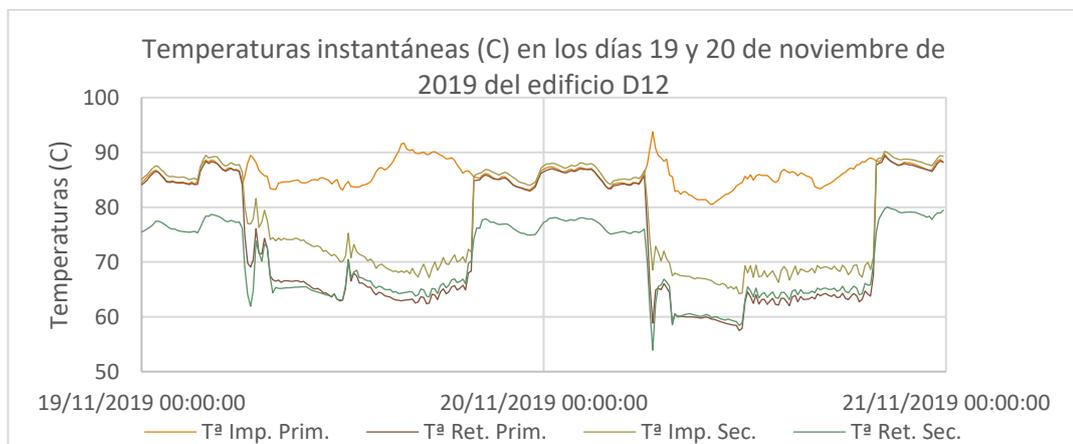


Figura 48. Temperaturas instantáneas de ida y retorno de los circuitos primario y secundario de dos días de noviembre de 2019 del edificio D12.

Se ha analizado el caudal que circula por el circuito secundario del edificio D12, como ejemplo de edificio conectado a la red DH.

En la Figura 49 se muestran las medias diarias de caudal en m^3/h durante todo el año 2019. Existe una relación directa entre el caudal y la potencia, por lo tanto, en los meses de verano en los que no hay demanda térmica, el caudal que circula por esta subestación es nulo. En la Figura 50 se muestra el caudal acumulado, en m^3 , que ha circulado por el circuito secundario. Como se observa, este valor llega a ser de $30.808 m^3$



Figura 49. Medias diarias de caudal del circuito secundario (m^3/h) en 2019 del edificio D12.

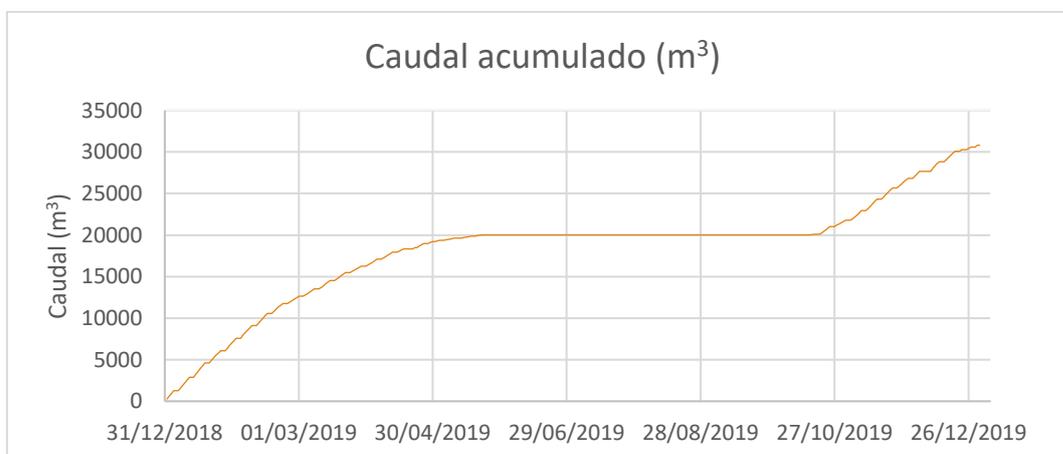


Figura 50. Caudal acumulado (m^3) en 2019 del edificio D12.

En cuanto a la energía eléctrica consumida en la central por el sistema de bombeo de ambas redes, en la Figura 51 se muestra la energía acumulada correspondiente a la red que abastece al campus Miguel Delibes en color marrón, la red que abastece al campus Río Esgueva en color anaranjado y la suma de ambas en color rojizo.

Se aprecia que el consumo del anillo de la Red Esgueva es mucho mayor que la Red Miguel Delibes. Esto se debe a que la longitud de la primera red es mucho mayor además de abastecer a un número mayor de edificios.

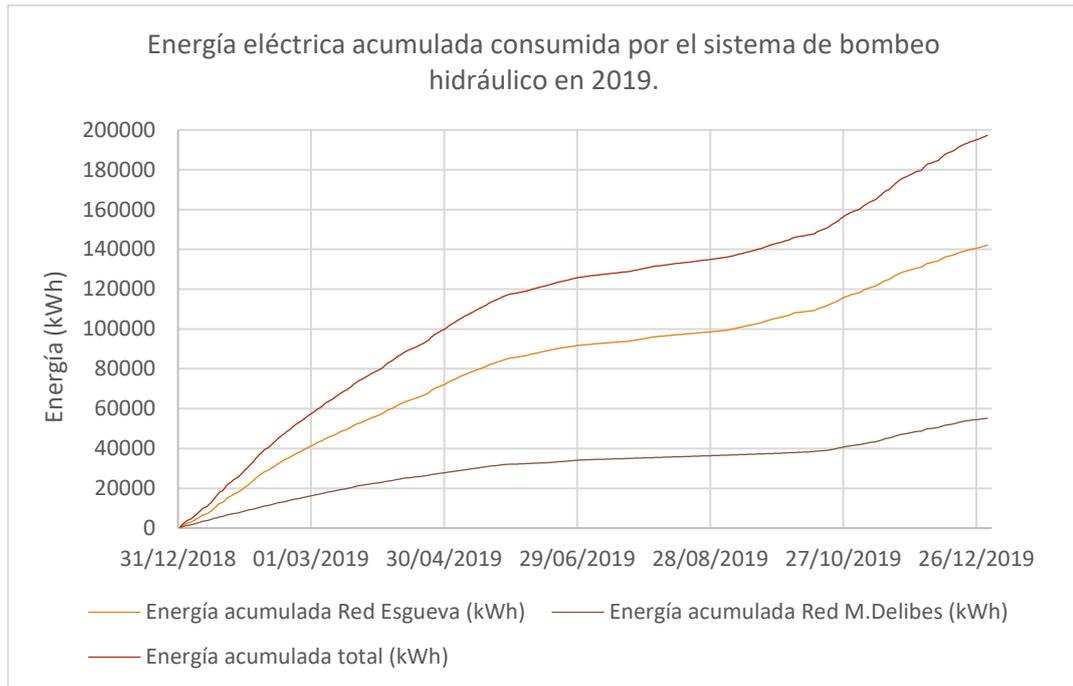


Figura 51. Energía eléctrica acumulada (kWh) consumida por el sistema de bombeo en 2019.

En el capítulo siguiente se muestra en detalle la relación entre consumos de energía térmica y eléctrica de todos los edificios de la red DH. A continuación, en la Figura 52 se muestra el edificio D12 como ejemplo de las proporciones de ambos consumos, de manera mensual.

La energía eléctrica correspondiente a este edificio en relación a la energía térmica consumida es mínima. Se adjunta en la tabla 6 los valores numéricos para poder apreciarlos mejor. En todos los casos, la energía eléctrica es de dos órdenes de magnitud menor a la energía térmica consumida.

En la Figura 53 se muestra la energía total acumulada del edificio D12 en el año 2019. La tendencia que sigue es muy similar a la energía térmica, ya que la gran mayoría de la energía total corresponde a la energía térmica.

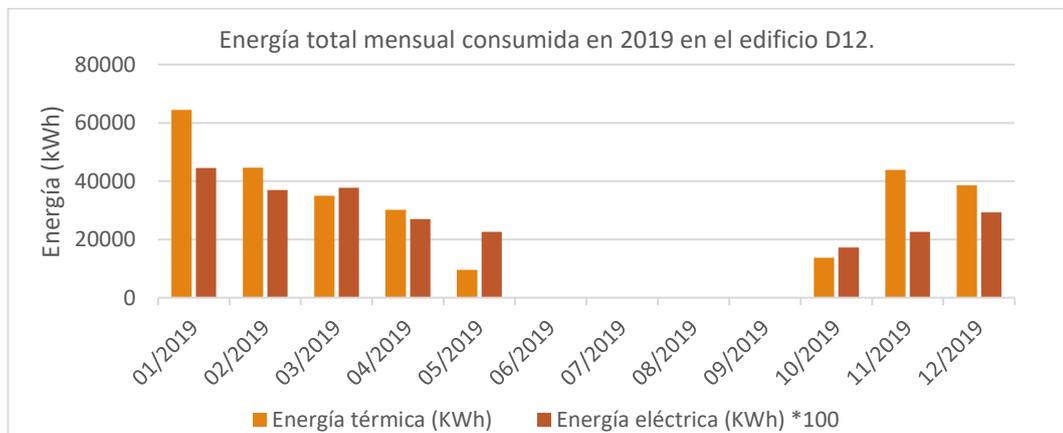


Figura 52. Energía total mensual en el año 2019 del edificio D12.

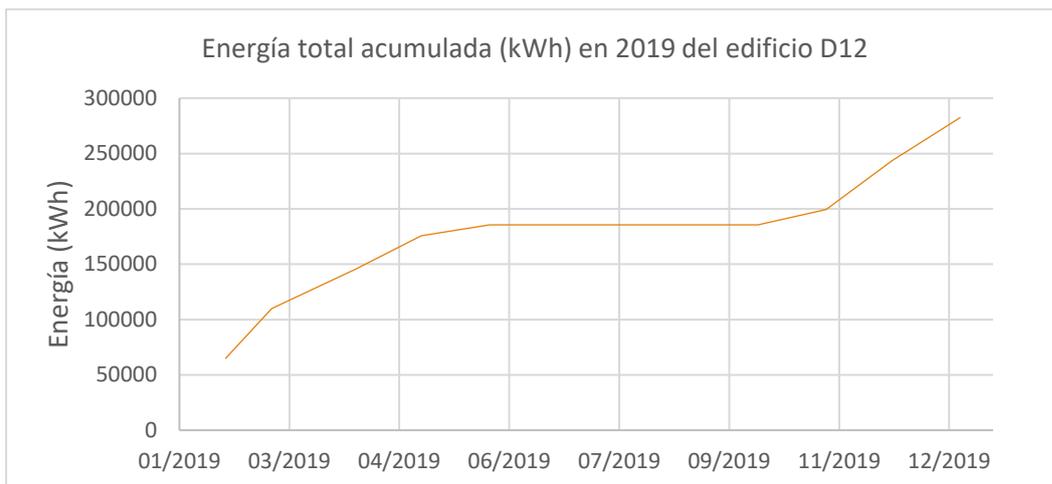


Figura 53. Energía total acumulada en el año 2019 del edificio D12.

Tabla 6. Consumo mensual de energía térmica, eléctrica y total en 2019 del edificio D12.

Edificio D12	Consumo de energía térmica mensual (KWh)	Consumo de energía eléctrica mensual (kWh)	Consumo de energía total (kWh)	Porcentaje de energía térmica frente al total. (%)
01/2019	64.480	445	64.925	99,31
02/2019	44.640	369	45.009	99,18
03/2019	35.020	377	35.397	98,93
04/2019	30.190	270	30.460	99,11
05/2019	9.600	226	9.826	97,70
06/2019	0	0	0	-
07/2019	0	0	0	-
08/2019	0	0	0	-
09/2019	0	0	0	-
10/2019	13.750	172	13.922	98,76
11/2019	43.810	226	44.036	99,49
12/2019	38.570	293	38.863	99,25
Total kWh-año	280.060	2.378	282.438	

En las siguientes figuras (desde la Figura 54 hasta la Figura 75) se muestra la evolución de los consumos térmicos mensuales (en kWh) para cada edificio perteneciente a la UVa conectado a la red DH durante el año 2019, obtenidos mediante la monitorización y control SCADA. En la tabla 7, se muestran los consumos térmicos anuales en kWh de cada edificio.

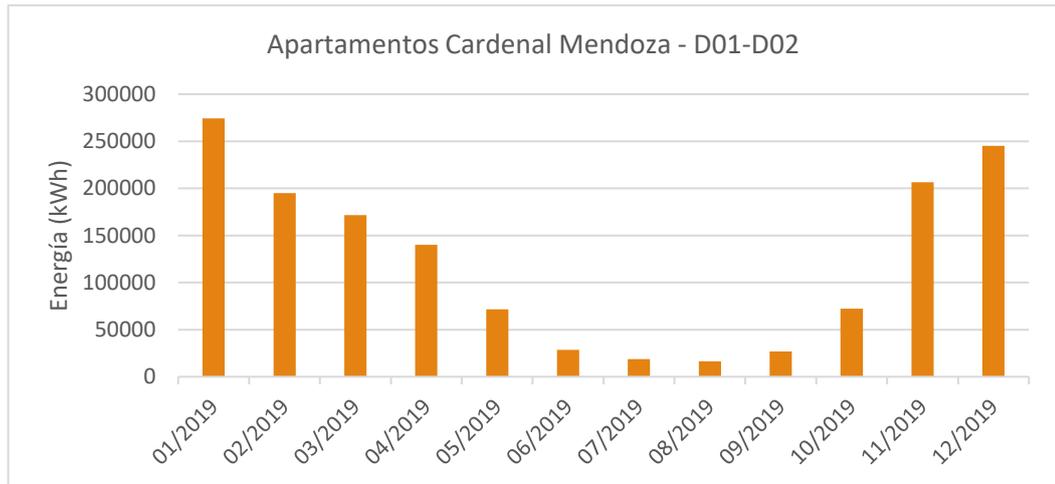


Figura 54. Consumo térmico mensual en el año 2019 del edificio: Apartamentos Cardenal Mendoza. (kWh)

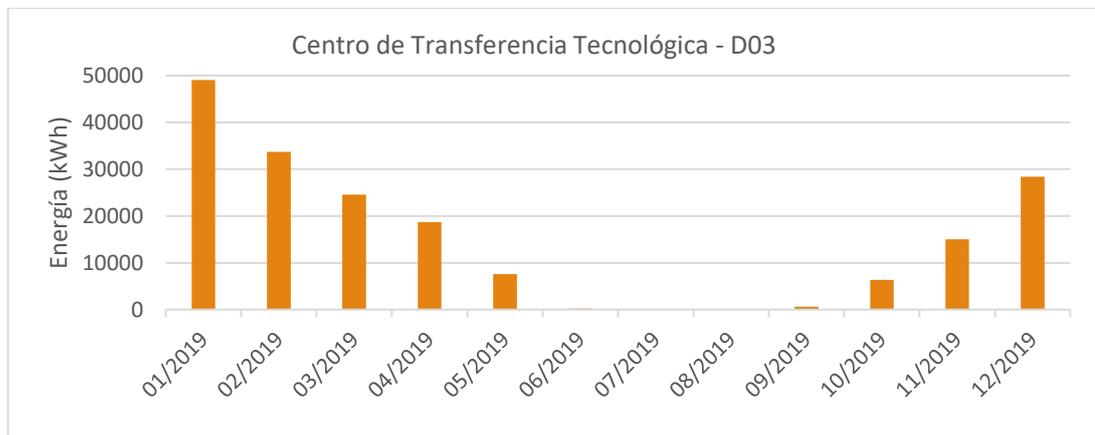


Figura 55. Consumo mensual en el año 2019 del edificio: Centro de Transferencia Tecnológica. (kWh)

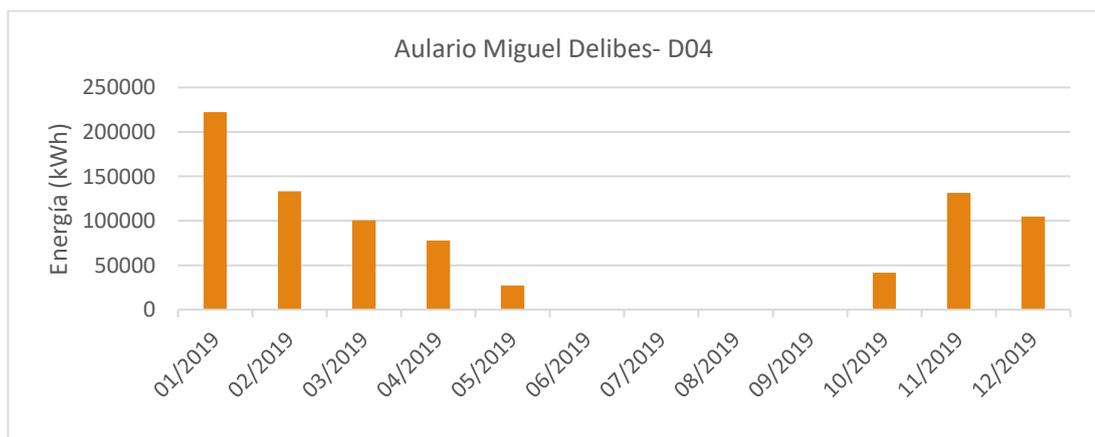


Figura 56. Consumo térmico mensual en el año 2019 del edificio: Aulario Miguel Delibes. (kWh)

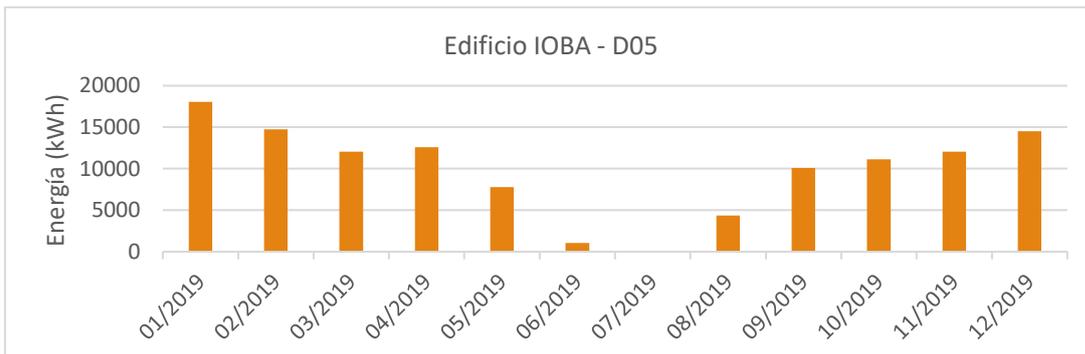


Figura 57. Consumo térmico mensual en el año 2019 del edificio: IOBA (kWh)

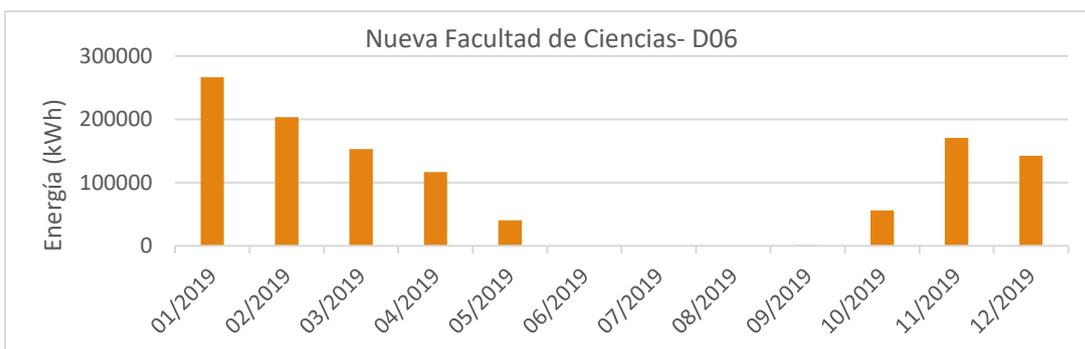


Figura 58. Consumo térmico mensual en el año 2019 del edificio: Nueva Facultad de Ciencias. (kWh)

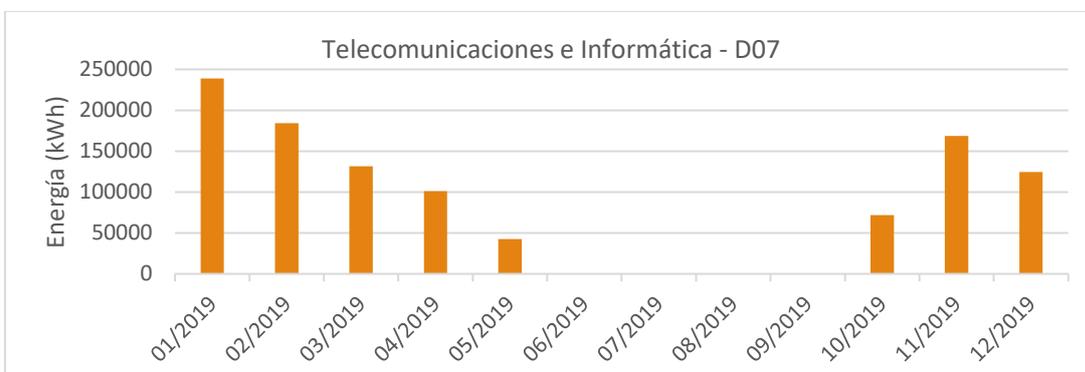


Figura 59. Consumo térmico mensual en el año 2019 del edificio: Telecomunicaciones e Informática. (kWh)

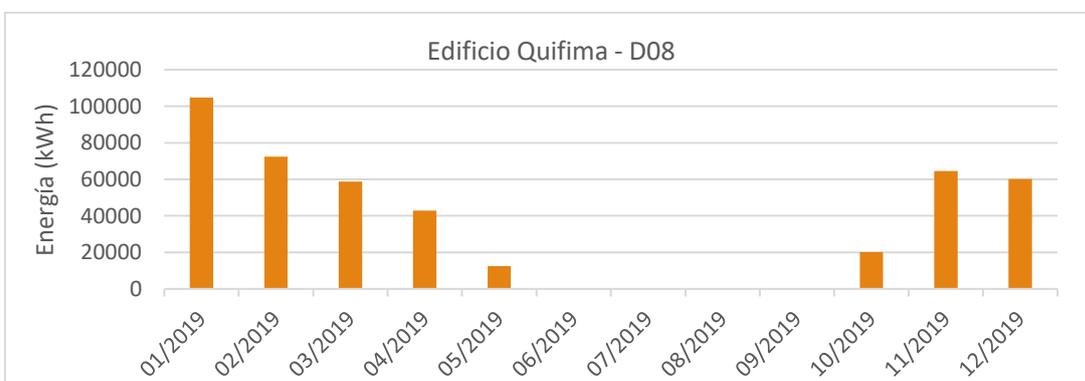


Figura 60. Consumo térmico mensual en el año 2019 del edificio: Quifima. (kWh)

Análisis energético y ambiental mediante monitorización dinámica de un District Heating de biomasa en un Campus Universitario.

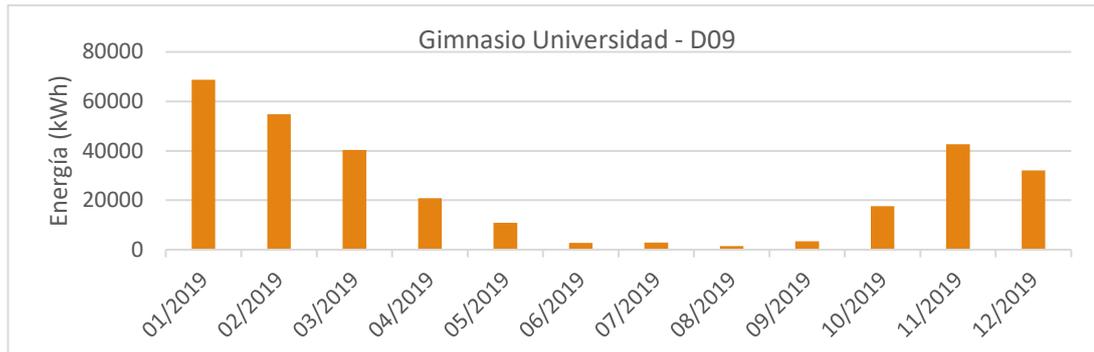


Figura 61. Consumo térmico mensual en el año 2019 del edificio: Gimnasio Universidad. (kWh)

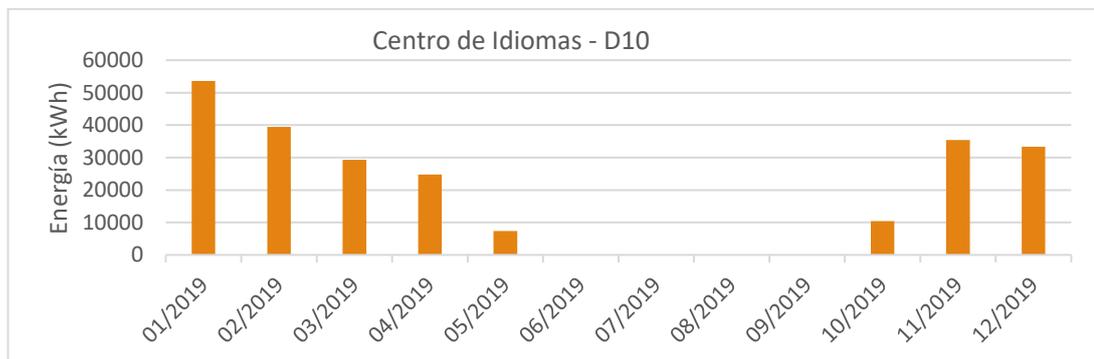


Figura 62. Consumo térmico mensual en el año 2019 del edificio: Centro de Idiomas. (kWh)

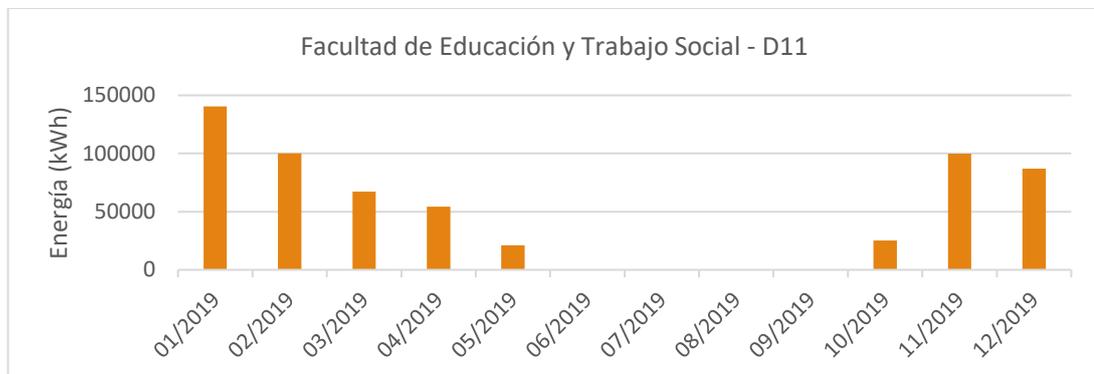


Figura 63. Consumo térmico mensual en el año 2019 del edificio: Facultad de Educ. y Trabajo Social. (kWh)

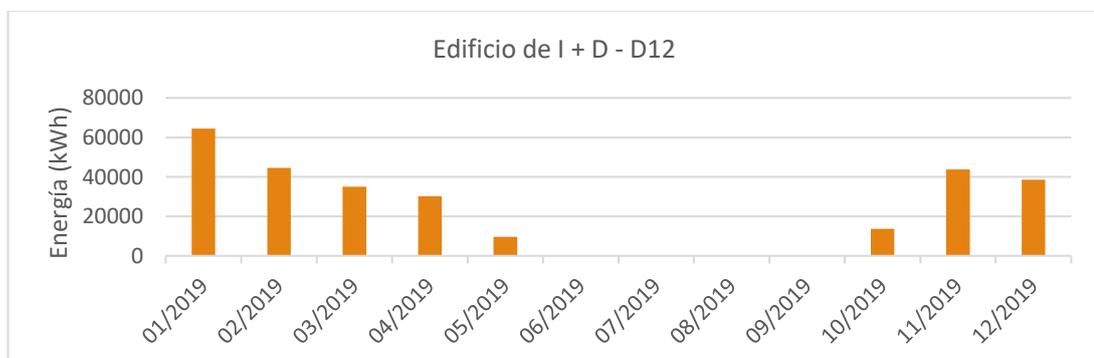


Figura 64. Consumo térmico mensual en el año 2019 del edificio: I+D (kWh)

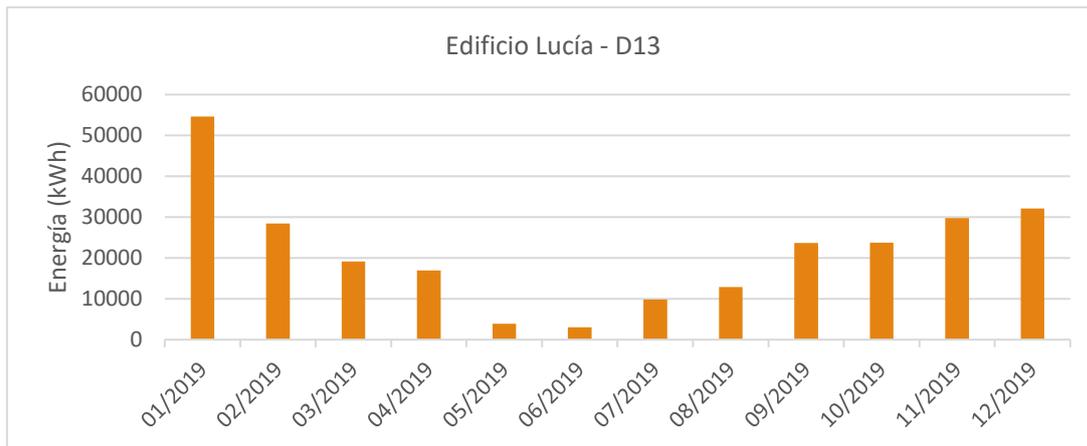


Figura 65. Consumo térmico mensual en el año 2019 del edificio: Lucía. (kWh)

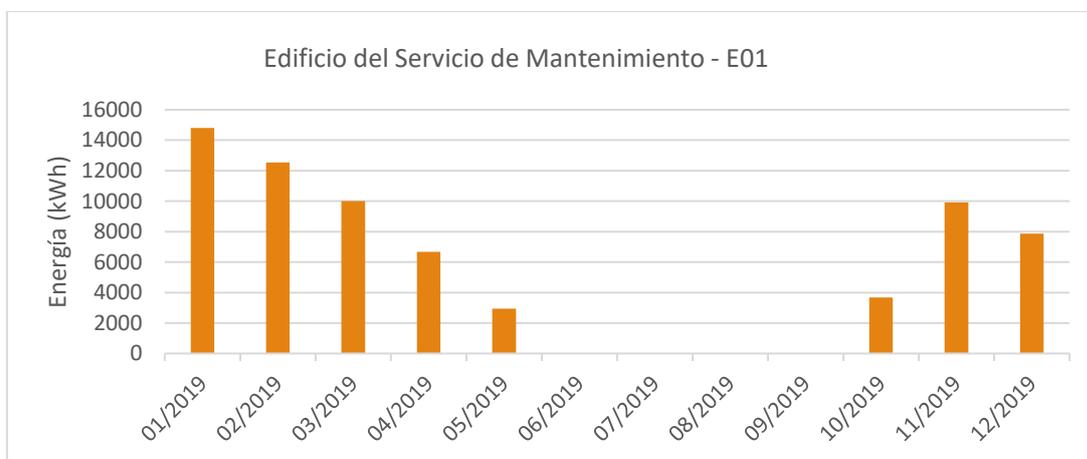


Figura 66. Consumo térmico mensual en el año 2019 del edificio: Servicio de Mantenimiento. (kWh)

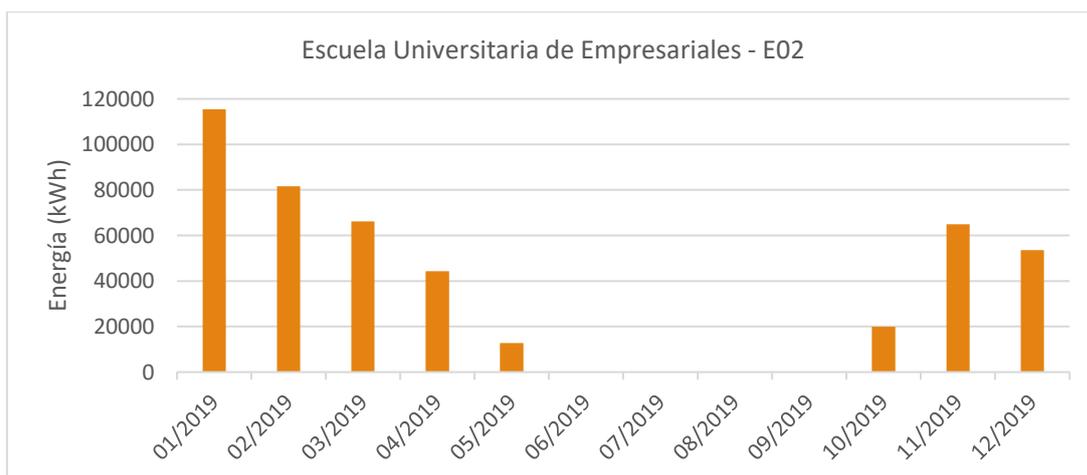


Figura 67. Consumo térmico mensual en el año 2019 del edificio: E. Universitaria de Empresariales. (kWh)

Análisis energético y ambiental mediante monitorización dinámica de un District Heating de biomasa en un Campus Universitario.

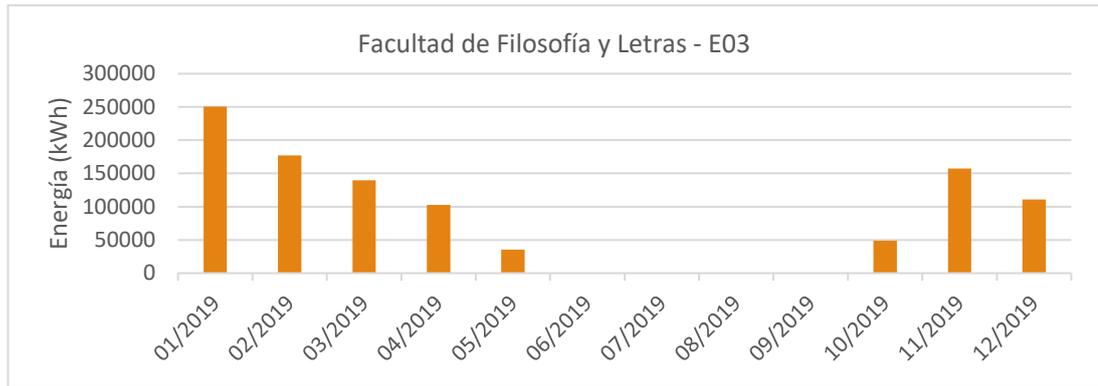


Figura 68. Consumo térmico mensual en el año 2019 del edificio: Facultad de Filosofía y Letras. (kWh)

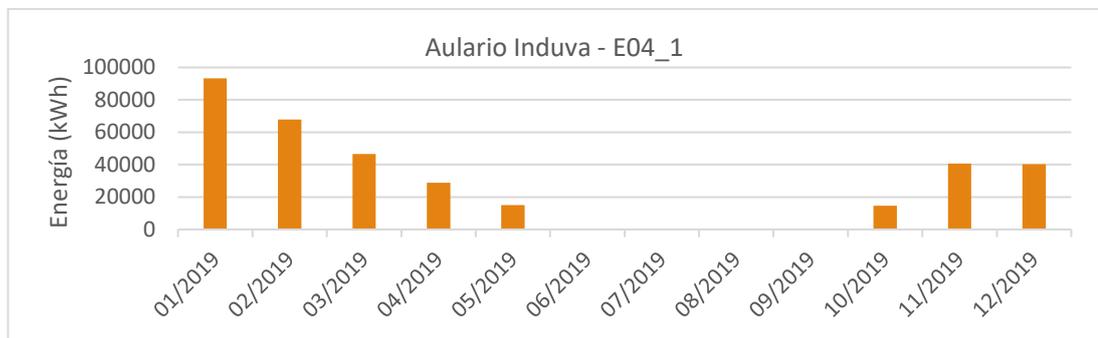


Figura 69. Consumo térmico mensual en el año 2019 del edificio: Aulario Induva. (kWh)

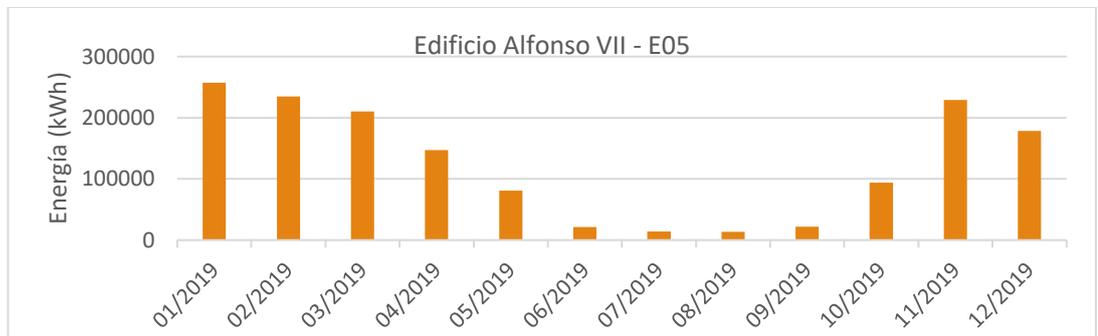


Figura 70. Consumo térmico mensual en el año 2019 del edificio: Alfonso VIII. (kWh)

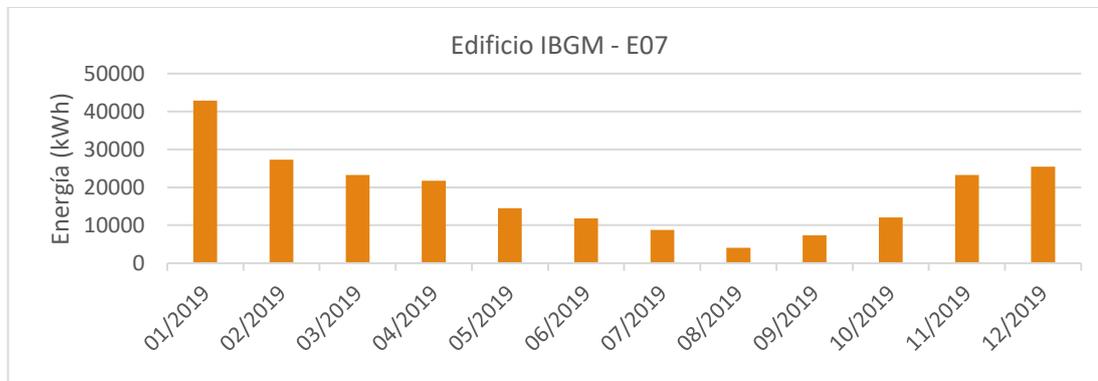


Figura 71. Consumo térmico mensual en el año 2019 del edificio: IBGM. (kWh)

Análisis energético y ambiental mediante monitorización dinámica de un District Heating de biomasa en un Campus Universitario.

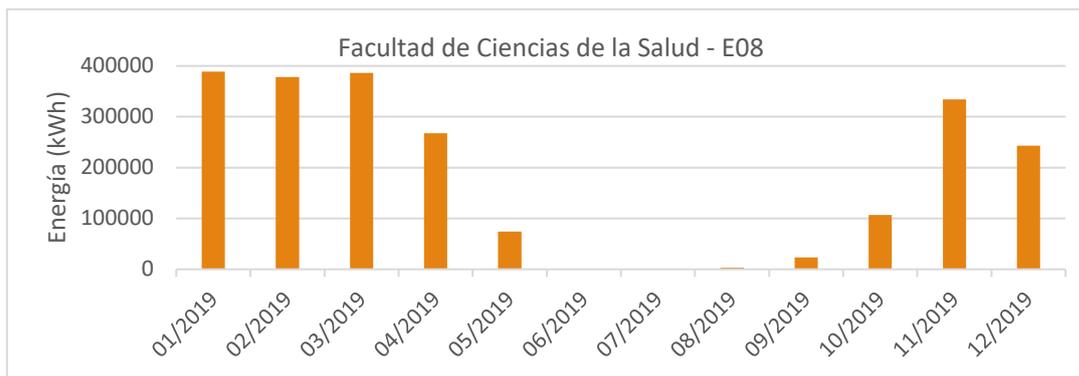


Figura 72. Consumo térmico mensual en el año 2019 del edificio: Ciencias de la Salud. (kWh)

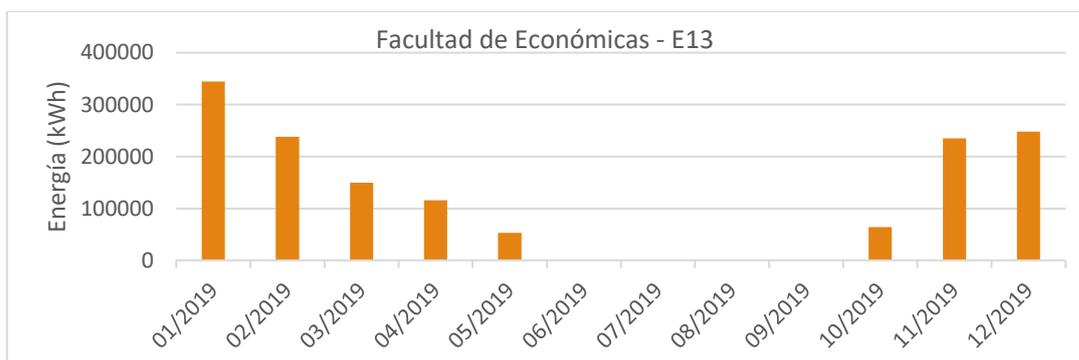


Figura 73. Consumo térmico mensual en el año 2019 del edificio: Facultad de Económicas. (kWh)

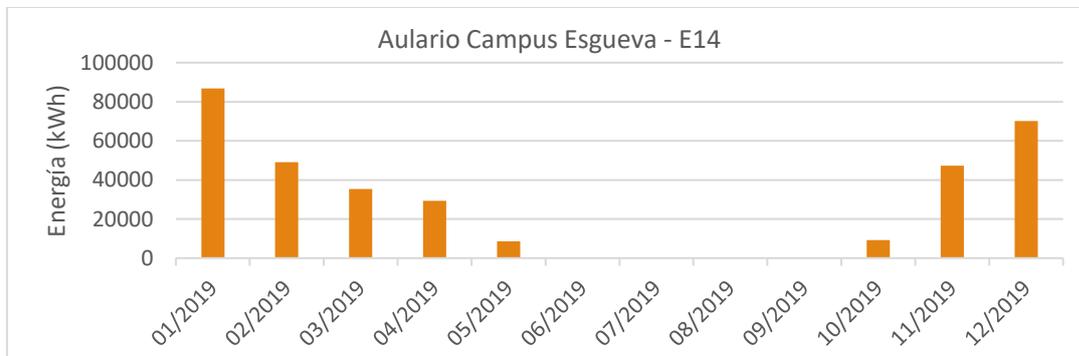


Figura 74. Consumo térmico mensual en el año 2019 del edificio: Aulario Campus Esgueva. (kWh)

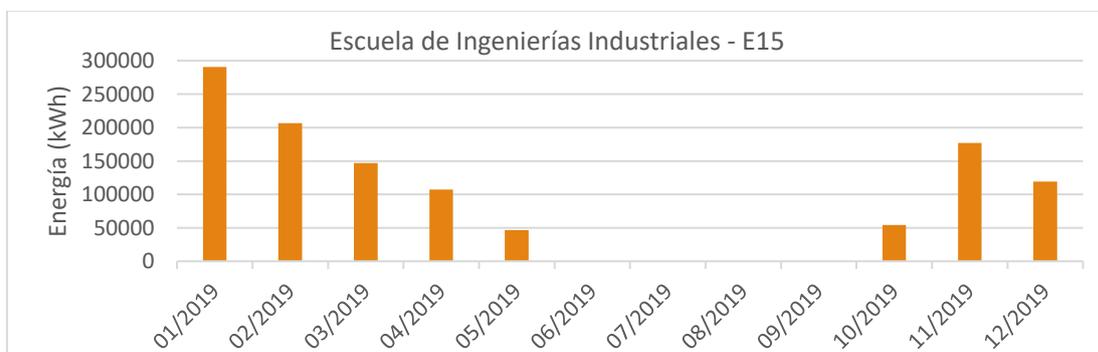


Figura 75. Consumo térmico mensual en el año 2019 del edificio: Escuela de Ingenierías Industriales (kWh)

Análisis energético y ambiental mediante monitorización dinámica de un District Heating de biomasa en un Campus Universitario.

Tabla 7. Consumo energético térmico, eléctrico y total anual del año 2019 de los edificios de la UVa.

EDIFICIO	Consumo térmico (kWh año)	Consumo eléctrico (kWh año)	Consumo total (kWh año)
-CAMPUS UNIVERSITARIO MIGUEL DELIBES			
Apartamentos Cardenal Mendoza	1.467.259	19.498	1.486.757
Centro de Transferencia Tecnológica	184.238	151	184.389
Aulario Miguel Delibes	839.143	1.284	840.427
Edificio IOBA	118.405	8.142	126.547
Nueva Facultad de Ciencias	1.150.111	1.553	1.151.664
Telecomunicaciones e Informática	1.063.220	7.073	1.070.293
Edificio Quifima	436.091	5.980	442.071
Gimnasio Universidad	298.147	1.012	299.159
Centro de Idiomas	233.597	3.168	236.765
Facultad de Educación y Trabajo Social	595.380	497	595.877
Edificio de I + D	280.060	4.211	284.271
Edificio Lucía	257.903	1.830	259.733
-CAMPUS UNIVERSITARIO RÍO ESGUEVA			
Edificio del Servicio de Mantenimiento	68.448	98	68.546
Escuela Universitaria de Empresariales	458.630	3.156	461.786
Facultad de Filosofía y Letras	1.022.700	4.887	1.027.587
Aulario Induva	347.918	867	348.785
Edificio Alfonso VII	1.503.032	21.917	1.524.949
Edificio IBGM	222.378	4.326	226.704
Facultad de Ciencias de la Salud	2.206.401	16.813	2.223.214
Facultad de Económicas	1.448.713	16.583	1.465.296
Aulario Campus Esgueva	335.623	2.205	337.828
Edificio E. I. Industriales	1.148.909	12.987	1.161.896

3.3 MONITORIZACIÓN DE DATOS A TRAVÉS DEL SCADA.

3.3.1 Explicación del programa.

El DH de la Uva se gestiona a través de una metodología Building Management System (BMS). La monitorización y control se lleva a cabo mediante un software llamado SCADA. (Supervisory Control And Data Acquisition / Supervisión,

Análisis energético y ambiental mediante monitorización dinámica de un District Heating de biomasa en un Campus Universitario.

Control y Adquisición de Datos). A través del software se han descargado todos los datos de temperaturas de impulsión y retorno tanto de los circuitos primarios (red de distribución) como de los secundarios (cada subestación), potencias, caudales, energía térmica acumulada, energía eléctrica acumulada en los sistemas de bombeo, entre otras variables.

El SCADA permite controlar y supervisar procesos industriales a distancia. Facilita retroalimentación en tiempo real con los dispositivos de campo (sensores y actuadores), y controla el proceso automáticamente. Además, suministra toda la información que se genera en el proceso productivo y permite su gestión e intervención.

Los datos de la central Térmica y de las subestaciones de cada edificio de la UVA pertenecientes al DH se han descargado durante todo el año 2019 con intervalos aproximados de 10 minutos para tener un seguimiento lo más preciso posible de la evolución del consumo energético de cada edificio universitario.

En la Figura 76 se muestra la interfaz donde se muestran los datos a tiempo real del circuito primario de la central térmica, correspondientes a las calderas de biomasa. En esta imagen solo se ven tres calderas, aunque los datos de la cuarta también aparecen en un recuadro en la parte izquierda de la imagen. En la Figura 77 se muestra la interfaz que ofrece el programa en la pestaña del circuito secundario de la central térmica del DH, es decir, las redes de impulsión de la Red Miguel Delibes y de la Red Río Esgueva. En ella aparecen las temperaturas de ambos depósitos de inercia, presiones y temperaturas de impulsión y retorno de ambas redes.

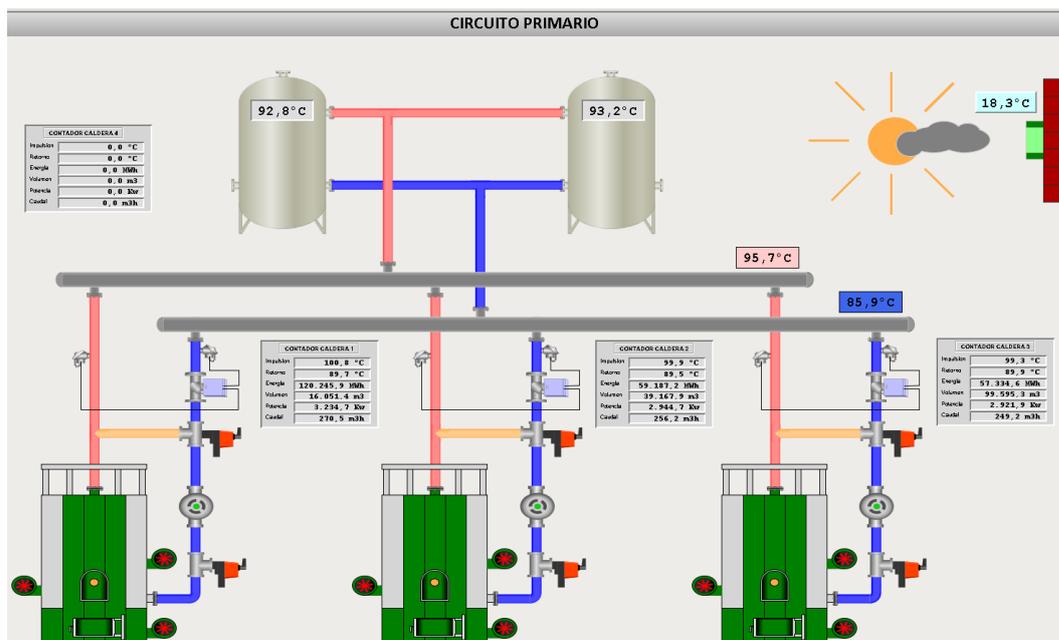


Figura 76. Circuito primario (calderas-depósitos de inercia)

Análisis energético y ambiental mediante monitorización dinámica de un District Heating de biomasa en un Campus Universitario.

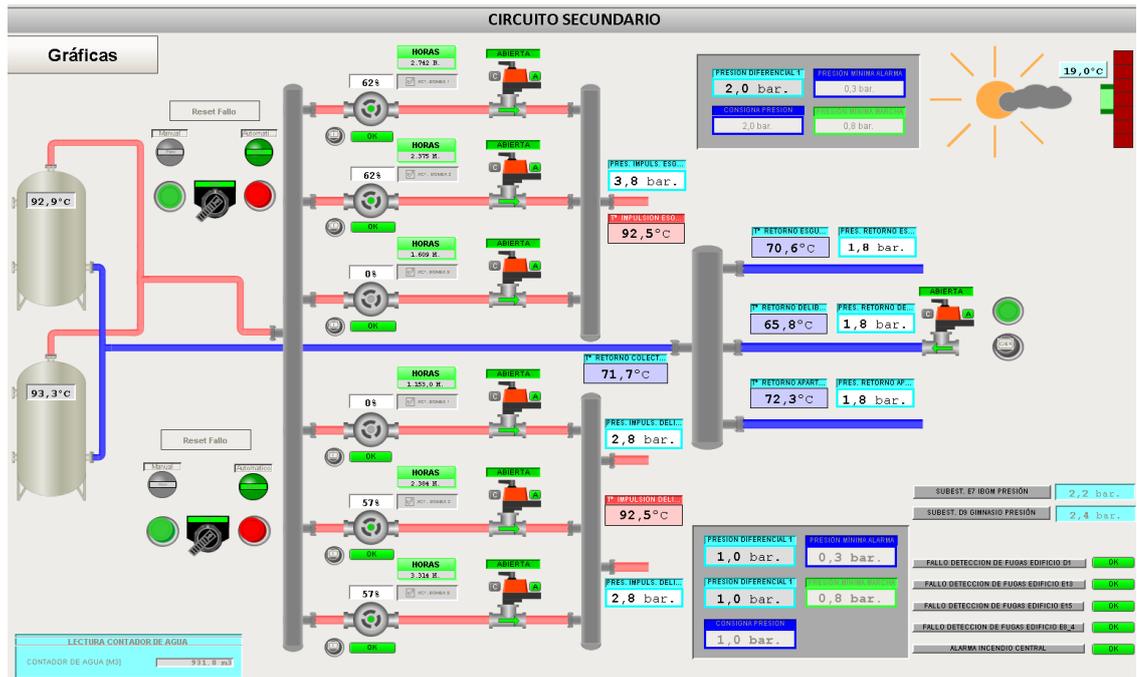


Figura 77. Redes de distribución que abastecen a los edificios conectados.

Por último, en la Figura 78 muestra el intercambiador del edificio E15, similar a todas las subestaciones de cada edificio con las temperaturas de impulsión y de retorno de un día cualquiera.

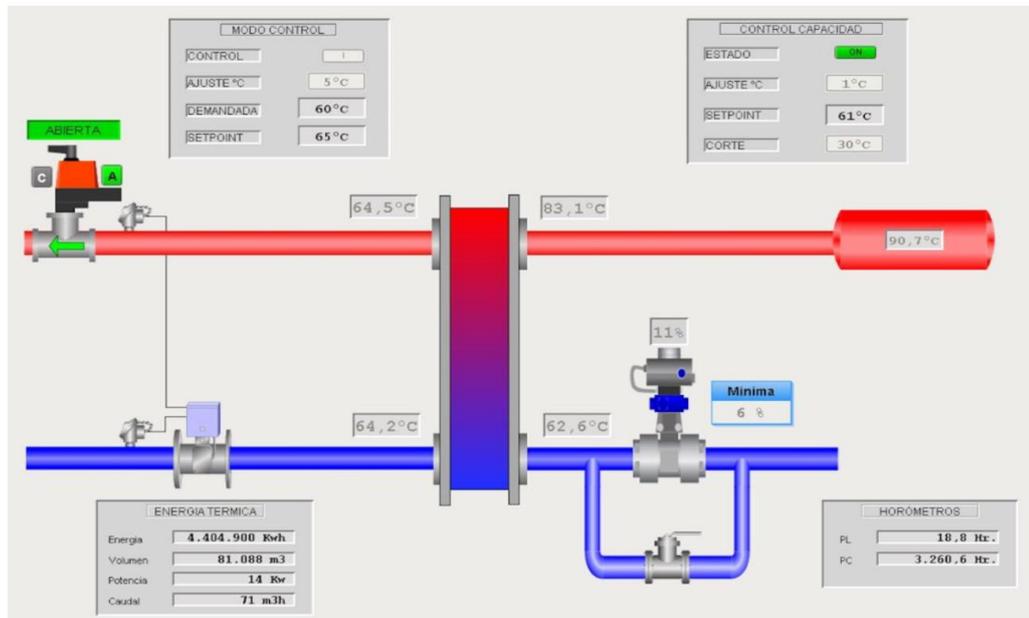


Figura 78. Intercambiador de la subestación Escuela de Ingenierías industriales (E15)

La monitorización de los consumos eléctricos de la central térmica del DH, permite que se puedan descargar los datos de la potencia eléctrica y corriente eléctrica instantánea de cada línea, así como los datos totales, la tensión de

cada línea y la energía activa y reactiva de las redes Esgueva y Miguel Delibes, cuadro de control, calderas tres y cuatro, suelo móvil y cuadro de descarga.

En la Figura 79 se muestra la interfaz que ofrece el programa para visualizar los datos eléctricos a tiempo real. De igual modo que para las variables térmicas de cada subestación, se han descargado los datos con intervalos aproximados de 10 minutos con el fin de obtener un seguimiento más preciso.

	RED ESGUEVA	RED M. DELIBES	CUADRO CONTROL	CALDERA 4	CALDERA 3
ENERGIA ACTIVA	75.723 kWh	34.580 kWh	8.091 kWh	152.456 kWh	19.185 kWh
ENERGIA REACTIVA	0 kWh	0 kWh	18.324 kWh	119.437 kWh	17.125 kWh
POTENCIA INSTANTANEA TOTAL	15,56 kW	6,8 kW	0,2 kW	68,7 kW	18,5 kW
POTENCIA INSTANTANEA L1	5,2 kW	2,3 kW	0 kW	23,7 kW	6,3 kW
POTENCIA INSTANTANEA L2	5,2 kW	2,3 kW	0 kW	22,5 kW	6 kW
POTENCIA INSTANTANEA L3	5,2 kW	2,3 kW	0,1 kW	22,5 kW	6,2 kW
CORRIENTE INSTANTANEA TOTAL	92,95 A	46,51 A	1,87 A	344,37 A	110,39 A
CORRIENTE INSTANTANEA L1	30,8 A	15,52 A	0,66 A	117,51 A	37,8 A
CORRIENTE INSTANTANEA L2	30,94 A	15,55 A	0,65 A	112,16 A	35,85 A
CORRIENTE INSTANTANEA L3	31,2 A	15,44 A	0,56 A	114,7 A	36,73 A
TENSION L1	233,5 V	233,8 V	234,2 V	234,5 V	234,5 V
TENSION L2	233,5 V	233,8 V	234,2 V	234,1 V	234,1 V
TENSION L3	234,2 V	234,4 V	234,8 V	233,8 V	233,9 V

Figura 79. Variables de los contadores eléctricos en la central.

Actualmente están monitorizados todos los datos relativos a consumos de energía térmica en la central de generación de calor como son las temperaturas de impulsión y retorno de cada caldera, el caudal y potencia instantánea, la energía acumulada, la temperatura de inercia y de la caldera, la temperatura de oxígeno, de filtro y de humos. Además, se almacena el estado de la bomba hidráulica (on/off) a partir de lo que se puede saber si la caldera está funcionando o no.

En la Figura 80 se observa como en diferentes intervalos una de las calderas se desconecta y mientras siguen operando con las tres calderas restantes. Como se aprecia, la caldera número cuatro es capaz de proporcionar las mayores potencias ya que tiene una potencia nominal de 5 MW mientras que las, tres restantes tienen una potencia nominal algo menor, de 4,7 MW.

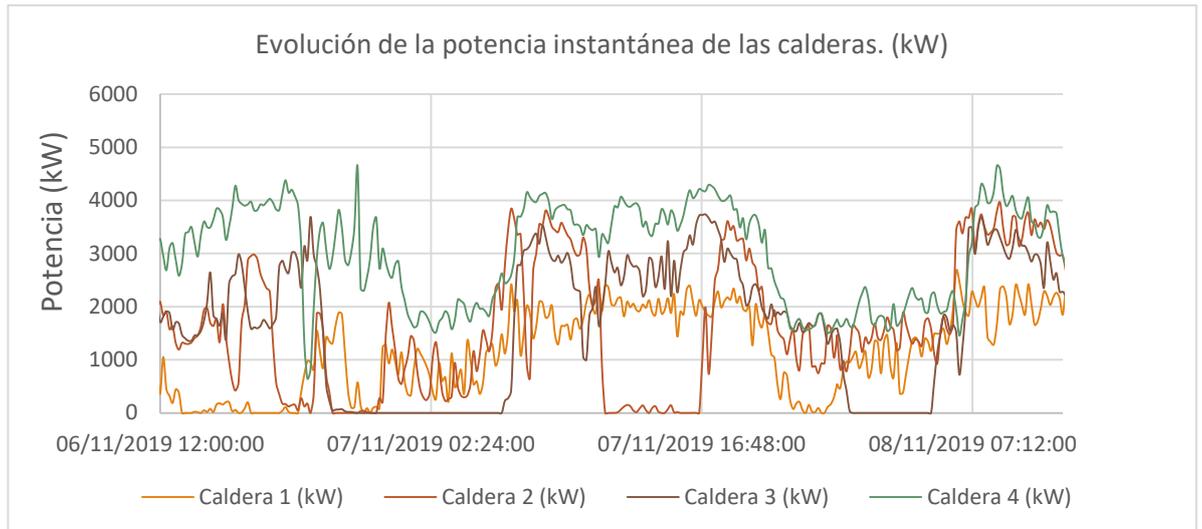


Figura 80. Evolución de la potencia instantánea de las calderas.

3.3.2 Análisis de la depuración de datos físicos incorrectos, obtenidos a través del SCADA.

Al descargar los datos en Excel del SCADA, no aparecen las unidades en las que se están midiendo las distintas variables. A partir de diferentes cálculos, se ha verificado que el caudal se mide en metros cúbicos por hora, la energía térmica y eléctrica acumulada se mide en kilovatios hora, la potencia en kilovatios, y la temperatura en grados centígrados.

Además, en los múltiples datos adquiridos del SCADA, se observan fallos que se han tenido que corregir a través de distintas macros programadas en Excel y se exponen a continuación:

- 1.- Los valores de temperaturas (C) que ofrece el SCADA están multiplicados por 10. Con lo cual hay que dividir todos los datos de temperaturas entre 10.
- 2.- En las subestaciones de cada edificio, en momentos y días diferentes, el sistema deja de almacenar datos reales durante periodos de tiempo variables y al descargar los datos en Excel se observa que no existen valores acumulados, sustituyéndolos el programa por ceros (Ver Figuras 81 y 82). Esto se ha tenido que corregir eliminando todas las filas a las que afecte este fallo para que no se distorsionen las medias de las variables de estudio.

En la Figura 81 se observa que el dos de agosto a las 8:41 hay un fallo que afecta no solo a esa fila sino a las dos siguientes. El valor de energía térmica es acumulativo, con lo cual hasta que este valor no sea igual o mayor que el dato final anterior los datos adquiridos no son fiables y se han eliminado. Del mismo modo vemos que pocos minutos después vuelve a darse el mismo tipo de error habiendo varias filas seguidas con ceros.

Otro ejemplo se muestra en la Figura 82. El catorce de febrero en el edificio D13 se produce el mismo error. En este caso tarda más tiempo, 2,5 horas, en llegar a valores coherentes. Se dan casos en los que este tiempo llega a ser de más de 24 horas.

Para intentar acercarnos lo más posible a los datos reales, a partir de una macro en Excel se han interpolado los datos obtenidos del SCADA habiendo corregido previamente los datos erróneos enumerados.

3.- Otro fallo, que se repite frecuentemente en la mayoría de edificios, es que el dato del caudal, en ocasiones, se dispara a valores de órdenes de magnitud mayores a los posibles. Los edificios en los que se ha tenido que corregir el caudal son: D03, D04, D05, D08, D11, D12, E03, E06, E07, E04_1, E08_4, E13, E14.

Como se ve en la Figura 83, el uno de abril a las 11:11 el caudal se incrementa fuertemente respecto a la potencia térmica. Se ha comprobado que este valor de caudal no es coherente porque en esta figura se ve sombreado en verde la relación entre potencia y caudal habitual. Este mismo día se ha sombreado en rojo las filas en las que el caudal es muy elevado y la potencia consumida nula.

Todos los fallos de este tipo se han eliminado manualmente utilizando filtros en Excel.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	D12 - Fecha/Hora	T°_Imp_Prim	T°_Ret_Prim	T°_Imp_Sec	T°_Ret_Sec	T°_Demanda	PInst (W)	Qinst (m ³ /h)	Energia (KWh)
39	02/08/2019 3:05	229	226	244	237	200	0	0	1061300
40	02/08/2019 3:53	230	226	244	237	200	0	0	1061300
41	02/08/2019 4:41	228	226	245	237	200	0	0	1061300
42	02/08/2019 5:29	229	226	245	237	200	0	0	1061300
43	02/08/2019 5:29	229	226	247	237	200	0	0	1061300
44	02/08/2019 6:17	229	226	245	237	200	0	0	1061300
45	02/08/2019 7:05	229	226	246	237	200	0	0	1061300
46	02/08/2019 7:53	229	226	246	237	200	0	0	1061300
47	02/08/2019 8:41	0	0	0	0	0	0	0	0
48	02/08/2019 9:29	74	73	81	79	67	0	0	353767
49	02/08/2019 10:17	149	147	163	157	133	0	0	707533
50	02/08/2019 11:05	223	220	244	236	200	0	0	1061300
51	02/08/2019 11:05	0	0	0	0	0	0	0	0
52	02/08/2019 11:53	0	0	0	0	0	0	0	0
53	02/08/2019 12:41	0	0	0	0	0	0	0	0
54	02/08/2019 13:29	0	0	0	0	0	0	0	0
55	02/08/2019 14:17	0	0	0	0	0	0	0	0
56	02/08/2019 14:17	229	226	244	236	200	0	0	1061300
57	02/08/2019 15:05	229	226	243	236	200	0	0	1061300
58	02/08/2019 15:53	229	226	243	237	200	0	0	1061300
59	02/08/2019 16:41	230	226	244	237	200	0	0	1061300
60	02/08/2019 17:29	230	227	244	237	200	0	0	1061300
61	02/08/2019 18:17	230	227	244	237	200	0	0	1061300
62	02/08/2019 18:17	230	227	245	237	200	0	0	1061300
63	02/08/2019 19:05	230	227	246	238	200	0	0	1061300
64	02/08/2019 19:53	231	227	246	238	200	0	0	1061300
65	02/08/2019 20:41	231	228	247	238	200	0	0	1061300
66	02/08/2019 21:29	232	228	248	239	200	0	0	1061300
67	02/08/2019 22:17	232	229	248	240	200	0	0	1061300
68	02/08/2019 23:05	233	229	249	240	200	0	0	1061300
69	02/08/2019 23:53	233	230	250	241	200	0	0	1061300
70	03/08/2019 0:41	234	230	250	241	200	0	0	1061300
71	03/08/2019 1:29	234	231	251	241	200	0	0	1061300
72	03/08/2019 2:17	235	231	251	242	200	0	0	1061300

Figura 81. Error de datos con valor cero en la subestación del edificio D12.

Análisis energético y ambiental mediante monitorización dinámica de un District Heating de biomasa en un Campus Universitario.

1	D13 - Fecha/Hora	Tª_Imp_Prim	Tª_Ret_Prim	Tª_Imp_Sec	Tª_Ret_Sec	Tª_Demanda	Plnst (W)	Qinst (m³/h)	Energía (KWh)
220	14/02/2019 10:52	902	768	851	768	807	101	10	293120
221	14/02/2019 11:01	894	778	856	784	807	86	10	293140
222	14/02/2019 11:11	898	752	828	752	807	93	10	293150
223	14/02/2019 11:20	902	785	855	797	807	74	10	293170
224	14/02/2019 11:30	898	780	858	793	807	80	10	293180
225	14/02/2019 11:40	907	765	850	773	803	102	10	293200
226	14/02/2019 11:49	904	780	868	796	807	88	10	293210
227	14/02/2019 11:59	904	780	868	796	807	88	10	293210
228	14/02/2019 12:08	0	0	0	0	0	0	0	0
229	14/02/2019 12:18	56	42	47	44	45	3	1	18333
230	14/02/2019 12:28	112	85	94	88	89	6	1	36665
231	14/02/2019 12:37	167	127	141	132	134	10	2	54998
232	14/02/2019 12:47	223	170	188	176	179	13	3	73330
233	14/02/2019 12:56	279	212	234	220	223	16	3	91663
234	14/02/2019 13:06	335	255	281	264	268	19	4	109995
235	14/02/2019 13:16	391	297	328	308	312	22	4	128328
236	14/02/2019 13:25	447	340	375	353	357	26	5	146660
237	14/02/2019 13:35	502	382	422	397	402	29	6	164993
238	14/02/2019 13:44	558	424	469	441	446	32	6	183325
239	14/02/2019 13:54	614	467	516	485	491	35	7	201658
240	14/02/2019 14:04	670	509	563	529	536	38	8	219990
241	14/02/2019 14:13	726	552	609	573	580	41	8	238323
242	14/02/2019 14:23	781	594	656	617	625	45	9	256655
243	14/02/2019 14:32	837	637	703	661	669	48	9	274988
244	14/02/2019 14:42	893	679	750	705	714	51	10	293320
245	14/02/2019 14:51	895	747	797	785	714	14	10	293330
246	14/02/2019 15:01	892	751	796	783	714	16	10	293330
247	14/02/2019 15:11	888	716	752	734	714	22	10	293330

Figura 82. Error de datos con valor cero en la subestación del D13.

1	D03 - Fecha/Hora	Tª_Imp_Prim	Tª_Ret_Prim	Tª_Imp_Sec	Tª_Ret_Sec	Tª_Demanda	Plnst (W)	Qinst (m³/h)	Energía (KWh)
2	01/04/2019 10:23	902	910	905	709	744	1	0	909662
3	01/04/2019 10:33	893	873	759	831	744	1	0	909662
4	01/04/2019 10:42	889	896	813	761	744	1	0	909662
5	01/04/2019 10:52	885	886	903	703	744	1	0	909663
6	01/04/2019 11:02	885	884	902	714	744	1	0	909663
7	01/04/2019 11:11	884	833	640	852	744	21	1500	909663
8	01/04/2019 11:21	886	886	881	730	744	0	0	909663
9	01/04/2019 11:30	882	882	896	738	744	0	0	909663
10	01/04/2019 11:40	884	884	902	708	744	0	0	909663
11	01/04/2019 11:50	882	882	901	718	744	0	0	909663
12	01/04/2019 11:59	879	880	899	724	744	0	0	909664
13	01/04/2019 12:09	882	883	898	726	744	0	0	909664
14									
15	01/04/2019 18:33	896	900	898	743	744	0	0	909667
16	01/04/2019 18:42	891	895	897	745	744	0	0	909667
17	01/04/2019 18:52	891	895	897	745	744	0	0	909667
18	01/04/2019 20:37	878	844	868	767	745	0	1445	909671
19	01/04/2019 20:47	877	861	879	753	745	0	1445	909671
20	01/04/2019 20:57	877	878	889	738	744	0	1445	909671
21	01/04/2019 21:06	876	876	886	747	602	0	1445	909671
22	01/04/2019 21:16	875	873	882	746	602	0	1445	909671
23	01/04/2019 21:25	880	876	883	749	602	0	1445	909671
24	01/04/2019 21:35	877	874	884	752	602	0	1445	909671
25	01/04/2019 21:45	874	873	882	752	602	0	1445	909672
26	01/04/2019 21:54	874	871	879	753	602	0	1445	909672
27	01/04/2019 22:04	874	873	881	753	602	0	1445	909672
28	01/04/2019 22:13	880	875	883	755	602	0	1445	909672
29	01/04/2019 22:23	879	880	887	761	602	0	0	909672
30	01/04/2019 22:33	869	868	878	754	602	0	0	909672
31	01/04/2019 22:42	868	866	872	751	602	0	0	909672
32	01/04/2019 22:52	880	874	880	756	602	0	0	909672
33									
34	02/04/2019 4:47	875	874	880	762	602	0	0	909675
35	02/04/2019 4:57	873	873	877	760	602	0	0	909675
36	02/04/2019 5:06	873	871	878	759	602	0	0	909675
37	02/04/2019 5:16	899	751	787	686	744	144	12	909691
38	02/04/2019 5:25	898	780	816	738	744	110	12	909712
39	02/04/2019 5:35	908	728	779	727	744	75	12	909726
40	02/04/2019 5:44	898	754	799	736	744	92	12	909740
41	02/04/2019 5:54	900	680	728	693	602	49	12	909749
42	02/04/2019 6:04	913	668	720	681	602	55	12	909759

Figura 83. Error de datos del de caudal en la subestación del edificio D03.

4.- En la central, las variables de la caldera número cuatro, no están calibrados o no existe acumulación de datos desde el 20 de enero hasta el 18 de marzo.

Este fallo no afecta a nuestro estudio ya que no se utilizan los datos de las calderas en el mismo. Debido a esto, no se puede obtener un cómputo total de la energía térmica en todos los meses del periodo de calefacción, solamente en octubre, noviembre y diciembre de 2019.

5.- El edificio E06, solo registra los datos de los meses: marzo, abril, mayo, la primera quincena de junio, dos días de octubre, cuatro de noviembre y el mes entero de diciembre. El resto del tiempo los datos que se han almacenado son nulos. Por esta razón no se tiene en cuenta este edificio para posteriores cálculos.

6.- El edificio E07, no se registran datos desde los últimos días de agosto y durante todo el mes de septiembre. En este caso lo que se ha hecho es comparar mes a mes los consumos energéticos de este edificio con el E05. Al comprobar que las relaciones de consumos térmicos se mantenían más o menos constantes, se ha hecho la media y así se ha supuesto el consumo energético durante el mes de septiembre del edificio E07.

El edificio E08_3, los datos de los primeros días de enero muestran unas temperaturas de impulsión y retorno del circuito secundario de 388C, debido a que la sonda de temperatura no estaba calibrada. Además, hasta el 3 de octubre, los valores de potencia, energía, caudal y temperaturas del circuito secundario, almacenan valores nulos. En este caso la manera de proceder ha sido comparar los gastos energéticos de los meses de octubre, noviembre y diciembre del edificio E08_3 con los restantes bloques de la facultad de ciencias de la salud. Se observa en la Figura 84 que la curva que más se aproxima al edificio que se estudia es el E08_2, que es aproximadamente un 1,44 % mayor en todos los meses. Por lo tanto, se ha supuesto que el consumo energético desde enero hasta septiembre es un 1,44 % menor que el del edificio E08_2.

En este caso se ha decidido proceder de este modo en vez de eliminar este edificio del estudio porque hay cuatro edificios que forman la facultad de ciencias de la salud, y se ha preferido incluir, de manera aproximada, los gastos de este edificio ya que los datos de los otros tres bloques de edificios, sí se tienen registrados de manera correcta.

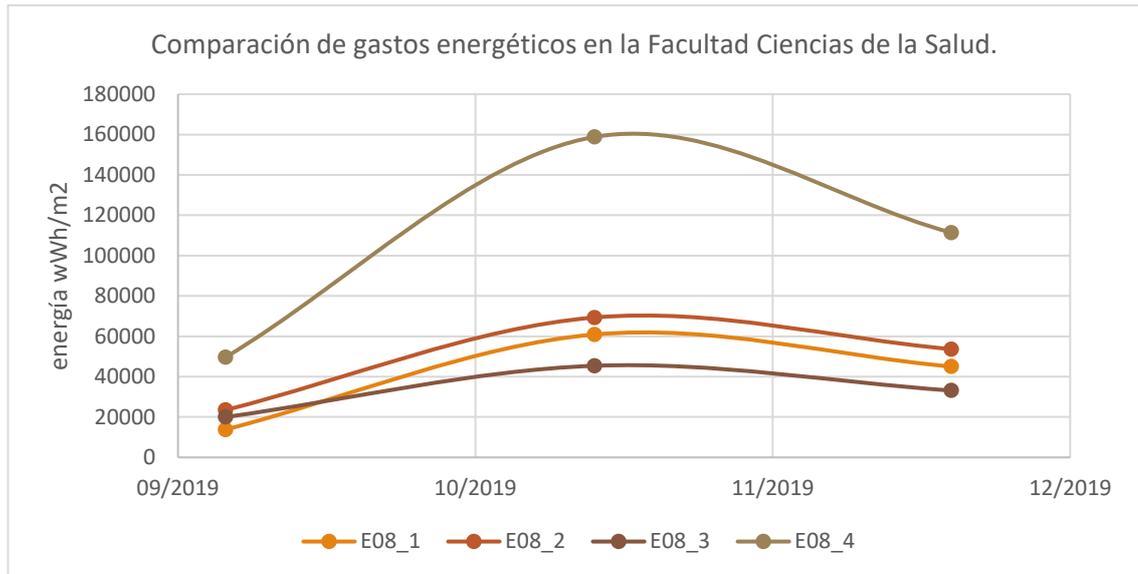


Figura 84. Comparación consumos energéticos de los bloques del Edificio E08: Ciencias de la Salud

8.- Los datos obtenidos en el edificio D05 muestran que las temperaturas de impulsión del circuito primario (red de distribución) hasta el 21 de mayo no están calibrados. Aparecen unas temperaturas medias mensuales de 210C. Estas, se han corregido a partir de las temperaturas de retorno del circuito primario, y de los saltos térmicos que se tienen en el resto de meses, que son correctos. En los meses noviembre y diciembre, este salto era de 17C así que suponiendo saltos similares desde enero hasta mayo, se ha trabajado con temperaturas de impulsión en torno a 90C.

9.- A continuación se exponen las relaciones entre las variables que se almacenan en el SCADA.

A partir, de la potencia térmica instantánea, y sabiendo el intervalo de tiempo, se calcula la energía térmica instantánea, este valor corresponde casi al 100% con el valor de energía que proporciona el SCADA. Se muestra en la Figura 85, el edificio D01 como ejemplo, pero la relación entre estos valores en todos los edificios es similar. Sin embargo, si a partir del valor de la potencia térmica se calcula el caudal que corresponde a partir de la ecuación 1, suponiendo que el salto térmico que ofrece el SCADA es correcto, este valor del caudal es menor que el que ofrece el SCADA, aunque se observa que sigue la misma tendencia. (Ver Figura 86). De nuevo se ha tomado como ejemplo el edificio D01 pero esta tendencia se sigue en aproximadamente en todos los edificios.

$$W = \Delta T \cdot c_p \cdot \rho \cdot Q \quad \text{Ec. 1.}$$

Con esto se concluye que no existe una correlación precisa entre los datos físicos que ofrece el programa del SCADA. Por consiguiente, el criterio a seguir ha sido suponer para los cálculos de los indicadores, que los valores correctos

son la energía térmica (kWh) y las temperaturas del agua (C), concluyendo que la calibración de los caudalímetros no es precisa, y por tanto tampoco las medidas de los caudales de agua. Por este motivo los valores de los caudales en cada subestación se han calculado a partir de los datos que se han supuesto correctos: energía y temperaturas del agua de impulsión y retorno de cada subestación.

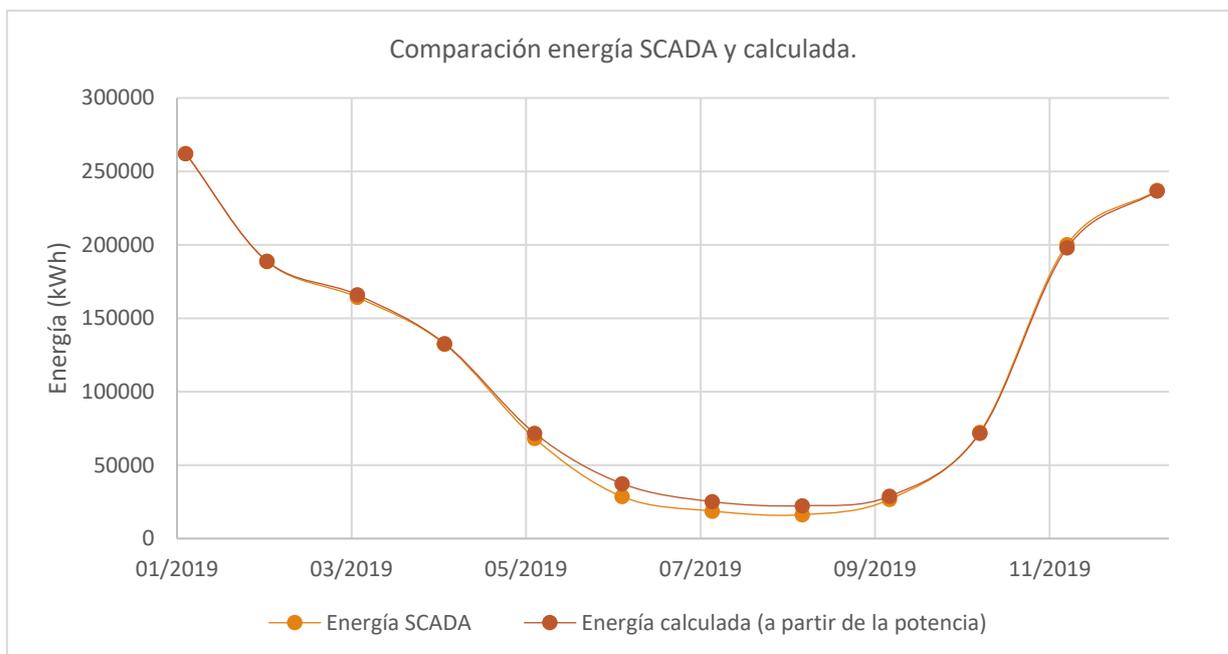


Figura 85. Comparación de energía (kWh) obtenido por el SCADA y calculado a partir de la potencia del edificio D01.

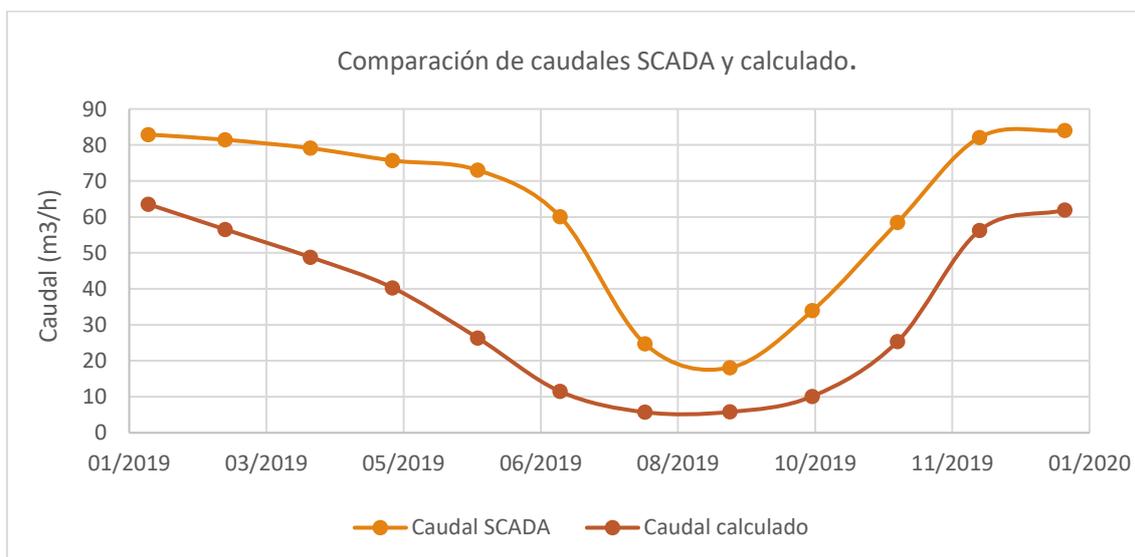


Figura 86. Comparación de caudales (m³/h) obtenido por el SCADA y calculado del edificio D01.

4 CAPÍTULO 4. ANÁLISIS ENERGÉTICO, AMBIENTAL Y ECONÓMICO DEL DH EN LA UVA MEDIANTE INDICADORES.

4.1 INDICADOR DE INTENSIDAD ENERGÉTICA IE.

La intensidad energética, IE es un indicador de calidad energético a partir del cual se clasifican los edificios según su eficiencia energética, como aparece en el nuevo CTE DB-HE de diciembre 2019. Se define como el cociente entre la cantidad de energía que consume un edificio (KWh) y la superficie útil del mismo (m^2), por tanto, el valor de IE tiene unidades de kWh/m^2 .

4.1.1 Rendimiento energético estacional de calefacción con el sistema de Gas Natural y Gasóleo.

De la publicación “Estudio de la evolución de los consumos energéticos en las instalaciones de la universidad de Valladolid.”^[32], se han obtenido las superficies de cada edificio universitario, que se muestran en la [Tabla 5](#) (ver apartado [3.1.](#))

Se han supuesto unos rendimientos estacionales⁽⁴⁾ de las calderas individuales de gas natural y de gasóleo, a partir de los estudios del instituto Cerda, Cataluña reflejados en una tabla del libro “Eficiencia energética de los edificios. Certificación energética”^[35] que se muestran en la tabla 8.

Tabla 8. Valores de rendimientos de las instalaciones colectivas de gas y gas-oil. Fuente: Instituto Cerda, Cataluña.

INSTALACIONES COLECTIVAS A GAS-OIL				
	η_g	η_d	η_r	η
Calefacción				
➤ Caldera	0,88	0,95	0,95	0,79
Agua Caliente Sanitaria				
➤ Caldera	0,88	0,88	0,95	0,74

⁽⁴⁾ El rendimiento estacional o ratio de eficiencia energética estacional (SEER - Seasonal Energy Efficiency Ratio), se define como el coeficiente medio obtenido durante una temporada de calefacción.

INSTALACIONES COLECTIVAS A GAS				
	η_g	η_a	η_r	η
Calefacción				
➤ Caldera con quemador atmosférico	0,88	0,95	0,95	0,79
➤ Caldera con quemador con aire forzado	0,90	0,95	0,95	0,81
➤ Caldera de recuperación	0,95	0,95	0,95	0,85
➤ Caldera de condensación	1,00	0,95	0,95	0,90
➤ Bomba de calor a gas con recuperación	1,60	0,95	0,95	1,44
➤ Bomba de calor a gas sin recuperación	1,40	0,95	0,95	1,26
➤ Máquina de absorción	0,90	0,95	0,95	0,81
Agua Caliente Sanitaria				
➤ Caldera con quemador atmosférico	0,83	0,88	0,95	0,70
➤ Caldera con quemador con aire forzado	0,85	0,88	0,95	0,71
➤ Caldera de recuperación	0,90	0,88	0,95	0,75
➤ Caldera de condensación	1,00	0,88	0,95	0,84

A partir de la ecuación 2, y de los rendimientos de generación (η_g), transporte (η_d) y utilización (η_r), se obtienen los rendimientos estacionales de las calderas de GN y de gasóleo. En el caso de las calderas de GN se obtiene un valor de $\eta_{estacional}$ de 0,81. En el caso de las calderas de gasóleo, el valor obtenido es $\eta_{estacional}$ de 0,79.

$$\eta_{estacional\ GN} = \eta_g \cdot \eta_d \cdot \eta_r \quad \text{Ec. 2.}$$

La ecuación 3 muestra la relación entre el consumo de energía térmica de cada edificio y su demanda:

$$consumo = \frac{demanda}{\eta_{estacional}} \quad \text{Ec. 3.}$$

Siendo el consumo, la cantidad de energía necesaria para abastecer la demanda energética del edificio. (Ver Anexo)

En la Figura 87 y Tabla 9 se muestra la demanda calculada media anual. Esta demanda se supondrá constante en el tiempo, ya que solo depende de los edificios, suponiendo que la temperatura exterior no varía significativamente, y los edificios no han sufrido ninguna reforma arquitectónica relevante.

Análisis energético y ambiental mediante monitorización dinámica de un District Heating de biomasa en un Campus Universitario.

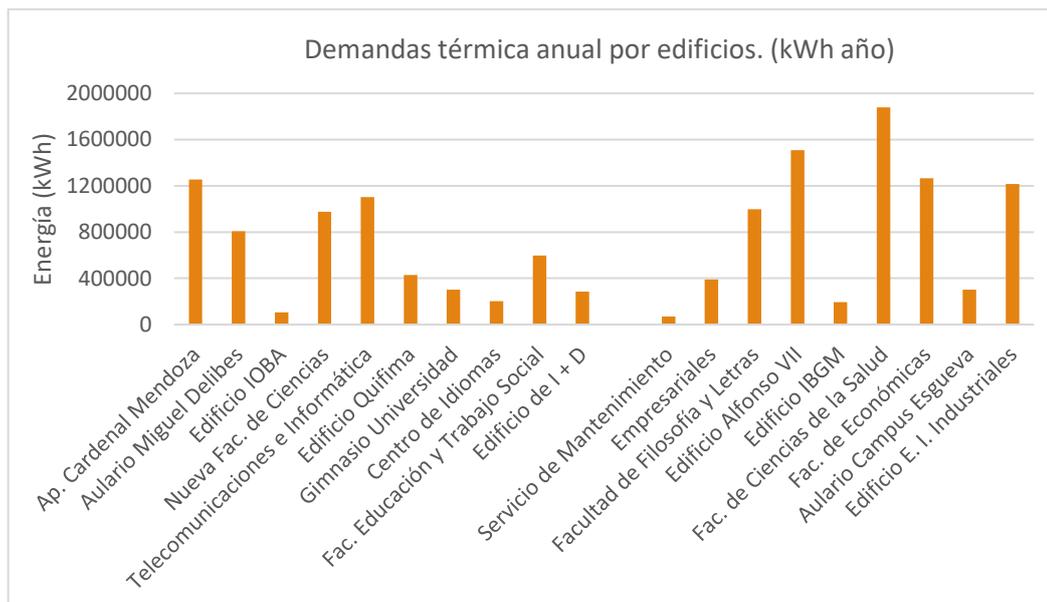


Figura 87. Demanda térmica anual por edificios en kWh año.

Tabla 9. Demanda térmica anual por edificios en kWh año.

	Demanda de energía térmica (kWh-año)
CAMPUS UNIVERSITARIO MIGUEL DELIBES	
Apartamentos Cardenal Mendoza	1.254.747
Aulario Miguel Delibes	806.823
Edificio IOBA	104.958
Nueva Facultad de Ciencias	976.378
Telecomunicaciones e Informática	1.103.401
Edificio Quifima	429.431
Gimnasio Universidad	300.299
Centro de Idiomas	201.126
Facultad de Educación y Trabajo Social	597.295
Edificio de I + D	284.849
CAMPUS UNIVERSITARIO RÍO ESGUEVA	
Edificio del Servicio de Mantenimiento	69.627
Escuela Universitaria de Empresariales	389.160
Facultad de Filosofía y Letras	997.060
Edificio Alfonso VII	1.508.238
Edificio IBGM	193.663
Facultad de Ciencias de la Salud	1.878.361
Facultad de Económicas	1.265.195
Aulario Campus Esgueva	301.556
Edificio E. I. Industriales	1.216.815

4.1.2 Rendimiento energético estacional de calefacción con el sistema.

Aplicando la ecuación 3, sabiendo los consumos térmicos de cada edificio con la red DH y suponiendo la demanda térmica constante, se pueden calcular los rendimientos estacionales de la red DH para cada edificio.

En la Tabla 10 se muestra el valor de los rendimientos estacionales anteriores y actuales para cada edificio. Cabe destacar que para calcular el rendimiento estacional actual no se ha tenido en cuenta el consumo eléctrico del sistema de bombeo. Únicamente se ha contabilizado el consumo térmico. Se han supuesto unos rendimientos de generación (0,96) y de transporte (0,98) debido a las posibles pérdidas en las calderas de generación y en los depósitos de inercia, así como en la red de distribución. Por tanto el rendimiento que se calcula corresponde al de los intercambiadores, cuyo valor se encuentra en torno al 90 %

En cuanto a los consumos de energía térmica final, se muestra en la Figura 88 el índice energético (IE) que expresa la energía térmica final consumida en kWh por metro cuadrado y año para cada edificio con GN/Gasóleo y con el nuevo DH. Y en la Figura 89 se observa el índice de reducción de energía final en porcentaje (%) a partir de la ecuación 4. [\[36\]](#)

$$DG = \frac{\text{Gasto GN (kWh)} - \text{Gasto biomasa (kWh)}}{\text{Gasto GN (kWh)}} \cdot 100 \quad \text{Ec. 4.}$$

Tabla 10. Comparación de rendimiento estacional por edificios con GN/Gasóleo Vs Red DH

	Rendimiento estacional con GN/Gasóleo	Rendimiento estacional con la red DH
CAMPUS UNIVERSITARIO MIGUEL DELIBES		
Ap. Cardenal Mendoza	0,81	0,80
Aulario Miguel Delibes	0,81	0,90
Edificio IOBA	0,81	0,83
Nueva Fac. de Ciencias	0,81	0,80
Telecomunicaciones e Informática	0,81	0,93
Edificio Quifima	0,81	0,93
Gimnasio Universidad	0,81	0,95
Centro de Idiomas	0,81	0,81
Fac. Educación y Trabajo Social	0,81	0,94
Edificio de I + D	0,81	0,96

Análisis energético y ambiental mediante monitorización dinámica de un District Heating de biomasa en un Campus Universitario.

	Rendimiento estacional con GN/Gasóleo	Rendimiento estacional con la red DH
CAMPUS UNIVERSITARIO RÍO ESGUEVA		
Servicio de Mantenimiento	0,79	0,96
Empresariales	0,79	0,80
Facultad de Filosofía y Letras	0,81	0,92
Edificio Alfonso VII	0,79	0,94
Edificio IBGM	0,81	0,85
Fac. de Ciencias de la Salud	0,81	0,80
Fac. de Económicas	0,81	0,82
Aulario Campus Esgueva	0,79	0,84
Edificio E. I. Industriales	0,81	0,95

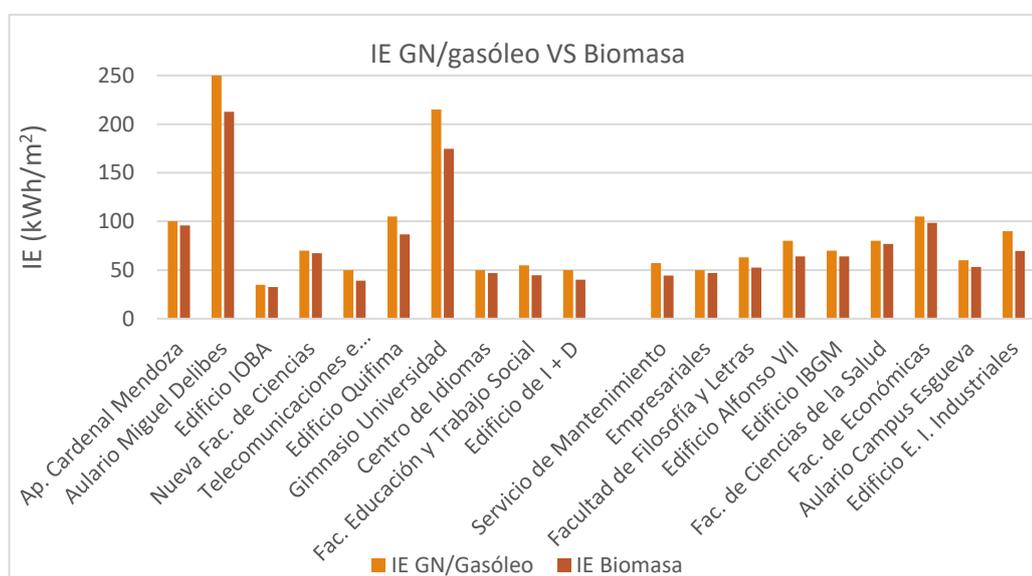


Figura 88. Comparación índice energético GN/Gasóleo VS Biomasa en kWh/m² año.

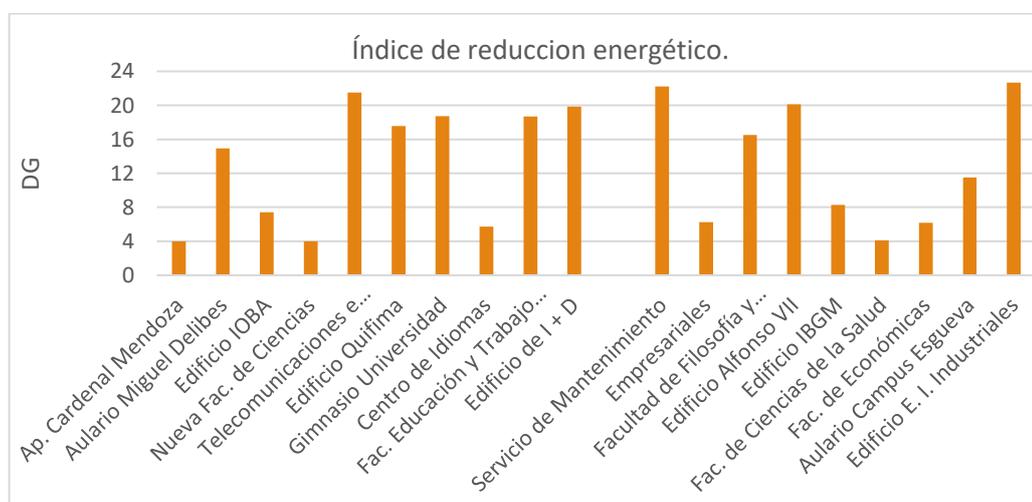


Figura 89. Porcentaje (%) de ahorro relativo de cada edificio de la UVa.

4.1.3 Indicador de consumo de energía eléctrica del sistema de bombeo hidráulico para cada edificio.

Para hacer un estudio energético total, no solo de la energía térmica consumida, es necesario conocer qué porcentaje de la energía eléctrica consumida en el sistema de bombeo de los anillos de distribución corresponde a cada edificio.

Los datos de los consumos eléctricos mensuales los tenemos en la Figura 39. La manera de proceder será calcular la relación entre la potencia eléctrica de las bombas hidráulicas consumida por cada metro cúbico de caudal que es movido.

Es conocido el caudal que circula por cada subestación universitaria, sin embargo, de los edificios no universitarios conectados a la red Esgueva no tenemos datos. Por lo tanto, se ha calculado la relación entre la potencia consumida por el sistema de bombeo y el caudal de la red del campus Miguel Delibes. El caudal que circula por el anillo se ha calculado a partir del caudal que circula en cada subestación, que es el conocido. Suponiendo una eficiencia media en todos los intercambiadores igual a 0,9, a partir de la ecuación 5, sabiendo las potencias (ecuación 1) se obtiene el caudal del circuito primario.

$$W_{\text{primario}} \cdot \varepsilon = W_{\text{secundario}} \quad \text{Ec. 5.}$$

Se tienen sondas para medir todas las variables, excepto el caudal de primario. Sin más que despejar de estas ecuaciones, obtenemos el caudal de primario correspondiente a un edificio. Sumando los caudales de cada edificio de la red Miguel Delibes, tenemos el caudal que circula por el anillo de distribución.

Una vez calculada la relación entre la potencia eléctrica de las bombas hidráulicas y el caudal del anillo, suponemos este valor constante para cada edificio conectado a la red DH. Hay que tener en cuenta que esta relación no será exactamente igual en la red que abastece al campus Río Esgueva ya que esta red es mucho más grande, tiene mayor longitud y por tanto más pérdida de carga. No obstante, debido a la imposibilidad de calcular esta relación entre potencia consumida por las bombas y caudal anual, por la falta de datos de algunos edificios, se va a suponer constante.

De este modo, sabiendo el caudal anual que circula por cada edificio, podemos estimar el valor de la potencia eléctrica correspondiente a cada uno de los mismos debido al transporte del agua.

En la Tabla 11 se muestra el valor del caudal anual de cada edificio de la red Miguel Delibes. A partir del valor total del caudal (1153,7 m³/año) y de la potencia consumida por el sistema de bombeo en ese mismo año (76,6 kW) se obtiene que el valor de la relación entre ambos es de 0,664 kW/ m³.

Análisis energético y ambiental mediante monitorización dinámica de un District Heating de biomasa en un Campus Universitario.

Tabla 11. Caudal anual de los edificios del Campus Miguel Delibes en el año 2019. (m³/año)

Edificio	Caudal anual (m ³ /año)
D1	405
D2	3
D3	27
D4	169
D5	32
D6	147
D7	124
D8	21
D9	66
D10	10
D11	87
D12	38
D13	24

Si se divide el consumo de energía eléctrica anual de cada edificio por la superficie de cada uno, obtenemos el IE eléctrico anual para cada edificio como se muestra en la Figura 90.

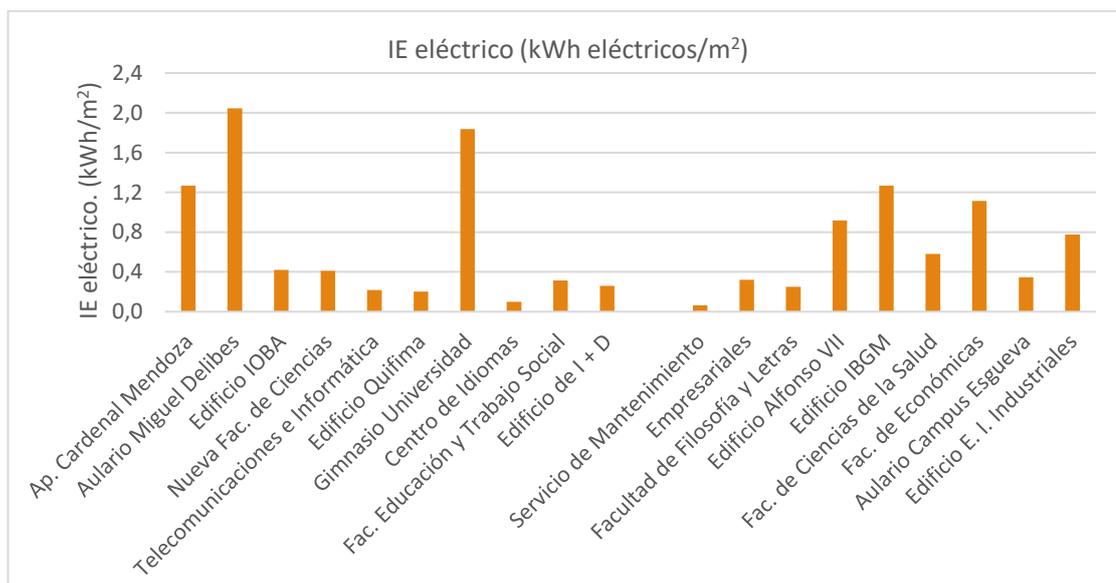


Figura 90. Índice de intensidad energética eléctrica (IE eléctrico) (kWh/m² año)

4.2 INDICADOR DE ENERGÍA PRIMARIA, NO RENOVABLE, RENOVABLE Y TOTAL CONSUMIDA.

El indicador de energía térmica primaria total, renovable y no renovable es un indicador de calidad energética, que, al igual que el indicador de intensidad energética, se define como el cociente entre la cantidad de energía que consume un edificio (kWh) y la superficie útil del mismo (m²). En este caso, se

debe multiplicar la energía final que consume el edificio por un factor de conversión, para obtener la energía primaria, a partir de la Tabla 12.^[37] Este factor de paso contabiliza las pérdidas energéticas por transformación, transporte y distribución, como se observa en la Figura 91.

La energía primaria se define en el nuevo CTE BD-HE0 como la energía suministrada a un edificio procedente de fuentes renovables y no renovables, que no ha sufrido ningún proceso de conversión o transformación, por lo tanto, el valor de energía primaria siempre será mayor al de energía final.

Sabiendo si el consumo anterior era a base de GN o gasóleo y teniendo contabilizados los consumos actuales de energía térmica a partir de biomasa y los consumos de energía eléctrica debido al sistema de bombeo, podemos comparar los consumos de energía primaria total en cada edificio, en la situaciones anterior y actual con la red DH.

Tabla 12. Factores de emisiones de CO₂. Fuente: [37]

Factores de conversión de energía final a primaria					
	Fuente	Valores aprobados			Valores previos (****)
		kWh E.primaria renovable /kWh E. final	kWh E.primaria no renovable /kWh E. final	kWh E.primaria total /kWh E. final	kWh E.primaria /kWh E. final
Electricidad convencional Nacional	(*)	0,396	2,007	2,403	
Electricidad convencional peninsular	(**)	0,414	1,954	2,368	2,61
Electricidad convencional extrapeninsular	(**)	0,075	2,937	3,011	3,35
Electricidad convencional Baleares	(**)	0,082	2,968	3,049	
Electricidad convencional Canarias	(**)	0,070	2,924	2,994	
Electricidad convencional Ceuta y Melilla	(**)	0,072	2,718	2,790	
Gasóleo calefacción	(***)	0,003	1,179	1,182	1,08
GLP	(***)	0,003	1,201	1,204	1,08
Gas natural	(***)	0,005	1,190	1,195	1,01
Carbón	(***)	0,002	1,082	1,084	1,00
Biomasa no densificada	(***)	1,003	0,034	1,037	
Biomasa densificada (pelets)	(***)	1,028	0,085	1,113	

$$\text{Energía primaria} = \text{Energía final} + \text{Pérdidas en transformación} + \text{Pérdidas en transporte}$$



Figura 91. Esquema de tipos de energía: Primaria, Final y Útil. Fuente: CTE DB-HE0

En la Figura 92 se muestra la comparación de indicadores de energía primaria calculados a partir de las siguientes expresiones: ⁽⁵⁾

IE primaria GN/gasóleo = IE final · factor de conversión.

IE primaria red DH = IE final térmico · factor de conversión + IE eléctrico · factor de conversión.

En la Figura 93 se muestra el ahorro de energía final y primaria total, comparando ambos sistemas de calefacción.

Al ser la energía primaria consumida mayor que la energía final, la suma del ahorro de energía primaria de todos edificios de estudio llega a tener un valor de 4.756 MW anual mientras que el ahorro de energía final con el cambio de sistema de calefacción es de 2.180 MW anual. Esta diferencia de valores se debe a que el factor de paso a energía primaria de la biomasa es menor que en el caso de Gas Natural o Gasóleo.

En la Tabla 13 se muestran los valores numéricos representados en las Figuras 92 y 93, correspondientes al índice de energía primaria anterior y actual así como el ahorro total de cada edificio.

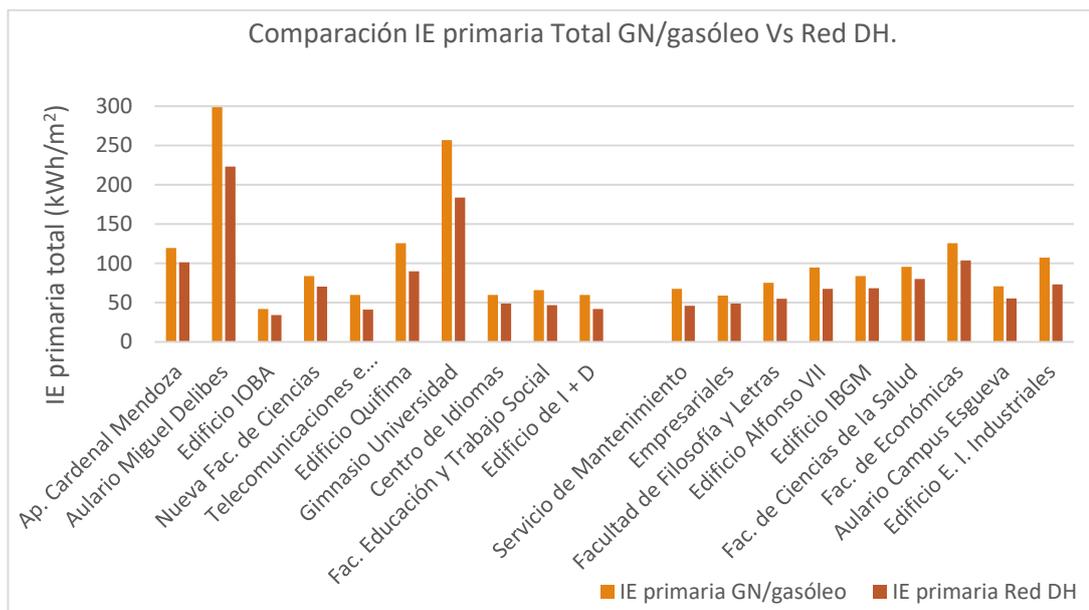


Figura 92. Comparación IE de energía primaria total. (kWh/m²)

⁽⁵⁾ Se considera que los consumos eléctricos referente a iluminación y consumos propios de cada edificio, se mantiene constante en el sistema anterior y el actual ya que los edificios no han sufrido reformas arquitectónicas. Con lo cual solo se tiene en cuenta el consumo eléctrico del sistema de bombeo de la red DH.

Análisis energético y ambiental mediante monitorización dinámica de un District Heating de biomasa en un Campus Universitario.

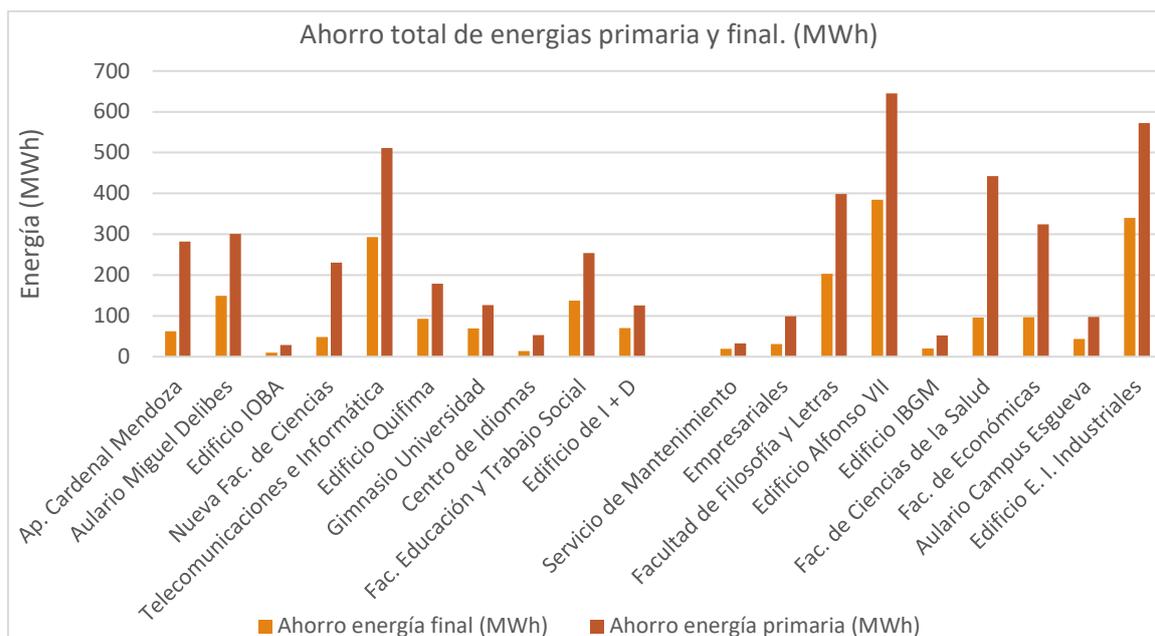


Figura 93. Comparación de ahorro de energía primaria y final gracias al DH (MWh).

Tabla 13. Valores del Índice de energía primaria anterior y actual y ahorro energético de energía primaria y final.

	IE primaria GN/gasóleo	IE primaria Red DH	Ahorro energía final (MWh)	Ahorro energía primaria (MWh)
CAMPUS UNIVERSITARIO MIGUEL DELIBES				
Ap. Cardenal Mendoza	119,5	101,3	62,2	282,4
Aulario Miguel Delibes	298,8	223,3	148,8	300,6
Edificio IOBA	41,8	34,2	9,6	28,3
Nueva Fac. de Ciencias	83,7	70,2	48,2	230,8
Teleco. e Informática	59,8	41,0	293,0	510,9
Edificio Quifima	125,5	90,0	93,1	178,9
Gimnasio Universidad	256,9	183,7	69,4	126,2
Centro de Idiomas	59,8	49,0	14,2	53,3
Fac. Educación y T. Social	65,7	46,8	137,8	253,7
Edificio de I + D	59,8	41,9	69,8	125,4
CAMPUS UNIVERSITARIO RÍO ESGUEVA				
Servicio de Mantenimiento	67,4	46,1	19,6	33,0
Empresariales	59,1	49,0	30,8	99,1
Facultad de Filosofía y Letras	75,3	54,9	203,4	398,7
Edificio Alfonso VII	94,6	67,5	384,2	645,3
Edificio IBGM	83,7	68,3	19,8	52,4
Fac. de Ciencias de la Salud	95,6	80,3	95,7	442,7
Fac. de Económicas	125,5	103,7	96,7	324,4
Aulario Campus Esgueva	70,9	55,5	43,9	97,8
Edificio E. I. Industriales	107,6	73,2	340,3	572,6

Del mismo modo, se puede comparar el consumo de energía primaria no renovable en cada caso. Pese a estar utilizando la biomasa como fuente de energía y considerarse renovable, existe un factor de paso a energía primaria no renovable de 0,034 que corresponde al consumo de energía en la generación de astillas y el transporte hasta el punto de consumo.

Como se observa en la Figura 94, gran porcentaje del consumo energético con el sistema anterior corresponde a energía no renovable, mientras que en la actualidad este valor está muy reducido. Cabe destacar que gran parte del consumo no renovable en la actualidad se debe al consumo eléctrico del sistema de bombeo. Se añade en la Figura 95 el indicador energético correspondiente, dividiendo cada valor entre la superficie de cada edificio.

Por el contrario, si hacemos el estudio de la energía primaria renovable en cada caso, observamos que el indicador energético renovable con el sistema anterior es de dos órdenes de magnitud menor al indicador con el sistema actual.

En la Tabla 14 se muestran los valores numéricos para analizar los datos de un modo más detallado.

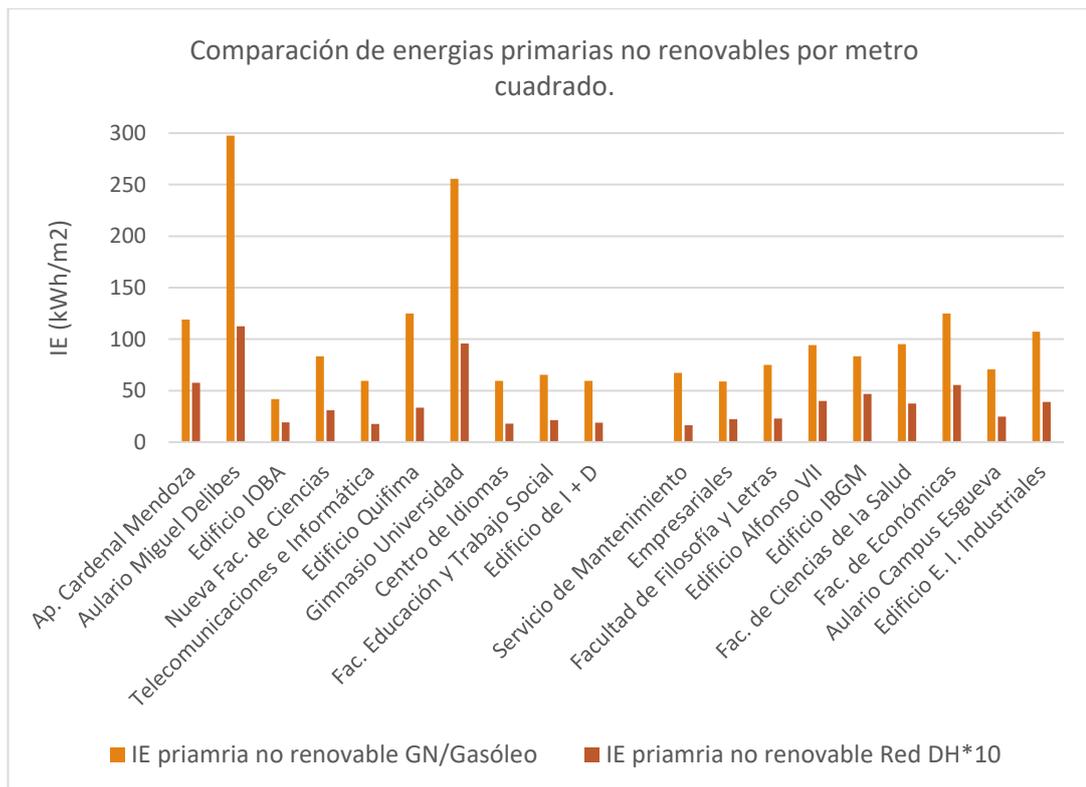


Figura 94. Comparación de energía primaria no renovable por metro cuadrado

Análisis energético y ambiental mediante monitorización dinámica de un District Heating de biomasa en un Campus Universitario.

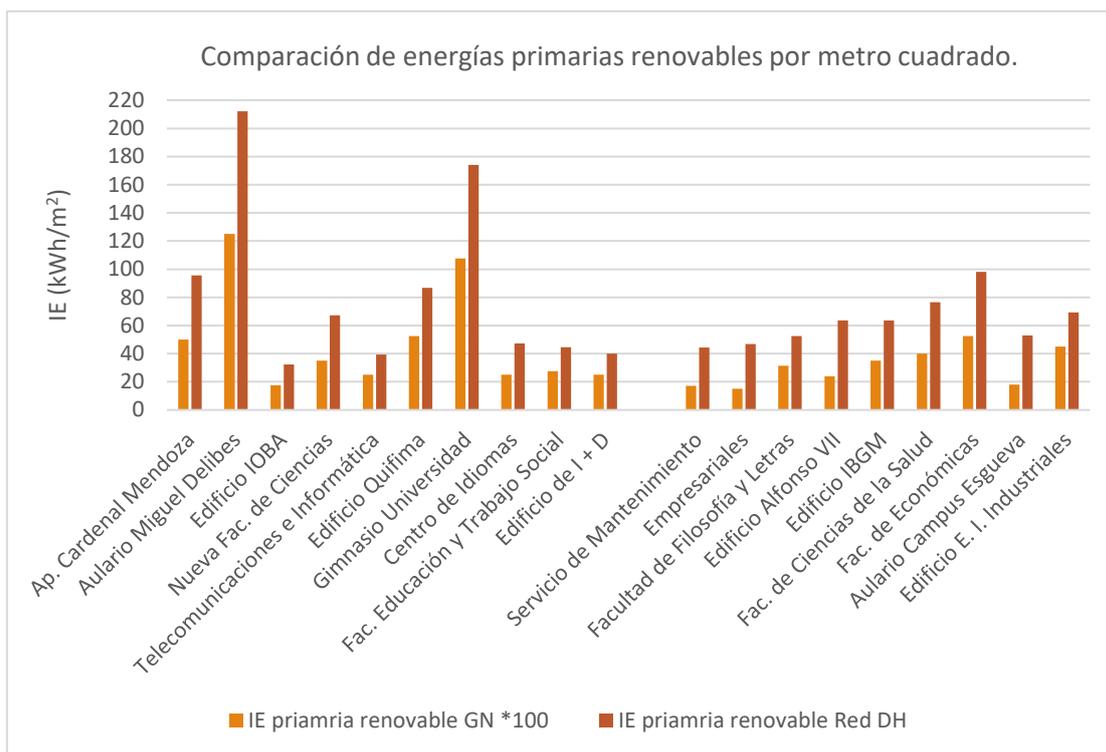


Figura 95. Comparación de energía primaria renovable por metro cuadrado

Tabla 14. Comparación de energía primaria renovable y no renovable con el sistema anterior y el actual.

	IE Primaria renovable GN (kWh/m²)	IE Primaria renovable Red DH (kWh/m²)	IE Primaria no renovable GN (kWh/m²)	IE Primaria no renovable Red DH (kWh/m²)
CAMPUS UNIVERSITARIO MIGUEL DELIBES				
Ap. Cardenal Mendoza	0,50	95,51	119,00	5,77
Aulario Miguel Delibes	1,25	212,05	297,50	11,26
Edificio IOBA	0,18	32,24	41,65	1,93
Nueva Fac. de Ciencias	0,35	67,15	83,30	3,10
Telecomunicaciones e Informática	0,25	39,23	59,50	1,77
Edificio Quifima	0,53	86,71	124,95	3,34
Gimnasio Universidad	1,08	174,15	255,85	9,57
Centro de Idiomas	0,25	47,22	59,50	1,80
Fac. Educación y Trabajo Social	0,28	44,66	65,45	2,14
Edificio de I + D	0,25	40,04	59,50	1,88

Análisis energético y ambiental mediante monitorización dinámica de un District Heating de biomasa en un Campus Universitario.

	IE Primaria renovable GN (kWh/m ²)	IE Primaria renovable Red DH (kWh/m ²)	IE Primaria no renovable GN (kWh/m ²)	IE Primaria no renovable Red DH (kWh/m ²)
CAMPUS UNIVERSITARIO RÍO ESGUEVA				
Servicio de Mantenimiento	0,17	44,43	67,20	1,63
Empresariales	0,15	46,82	58,95	2,23
Facultad de Filosofía y Letras	0,32	52,60	74,97	2,28
Edificio Alfonso VII	0,24	63,53	94,32	3,98
Edificio IBGM	0,35	63,64	83,30	4,68
Fac. de Ciencias de la Salud	0,40	76,57	95,20	3,75
Fac. de Económicas	0,53	98,12	124,95	5,55
Aulario Campus Esgueva	0,18	53,05	70,74	2,49
Edificio E. I. Industriales	0,45	69,35	107,10	3,90

Con el objetivo de tener un estudio más completo del consumo energético (térmico y eléctrico) correspondiente a los edificios universitarios conectados a la red DH durante el año 2019, en las Figuras 96 y 97 así como en la Tabla 15 se muestran los consumos de energía renovable y no renovable.

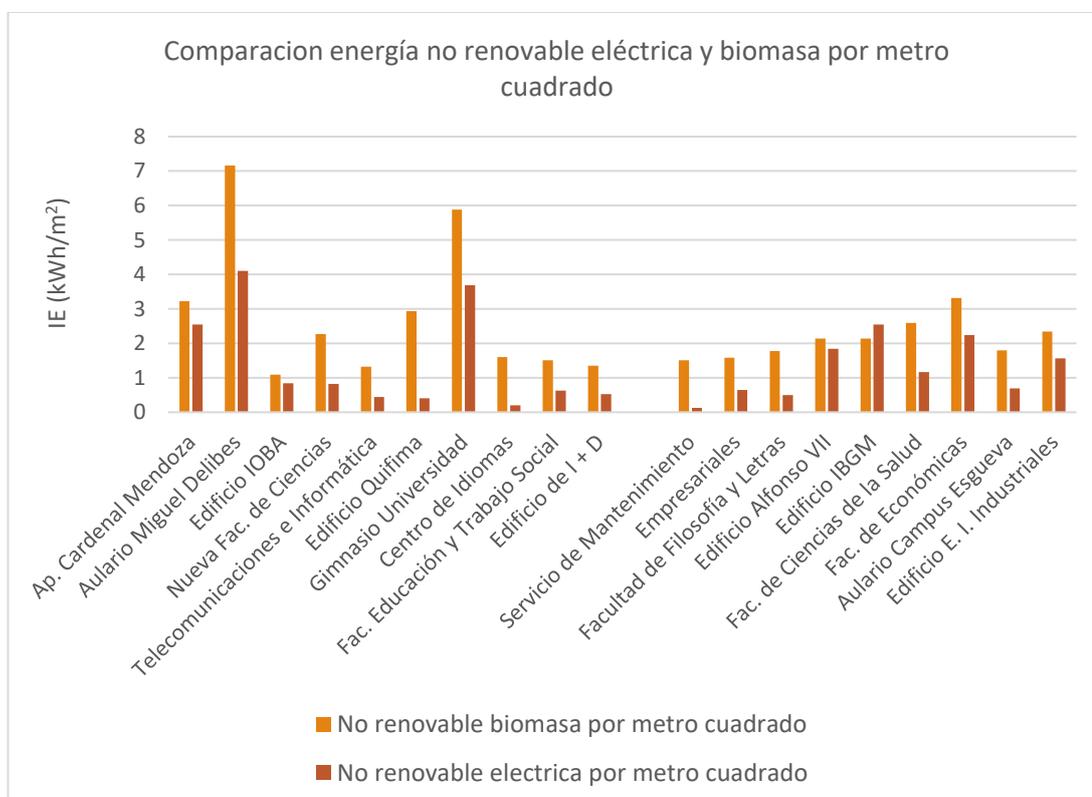


Figura 96. Comparación de energía no renovable eléctrica y biomasa por metro cuadrado.

Análisis energético y ambiental mediante monitorización dinámica de un District Heating de biomasa en un Campus Universitario.

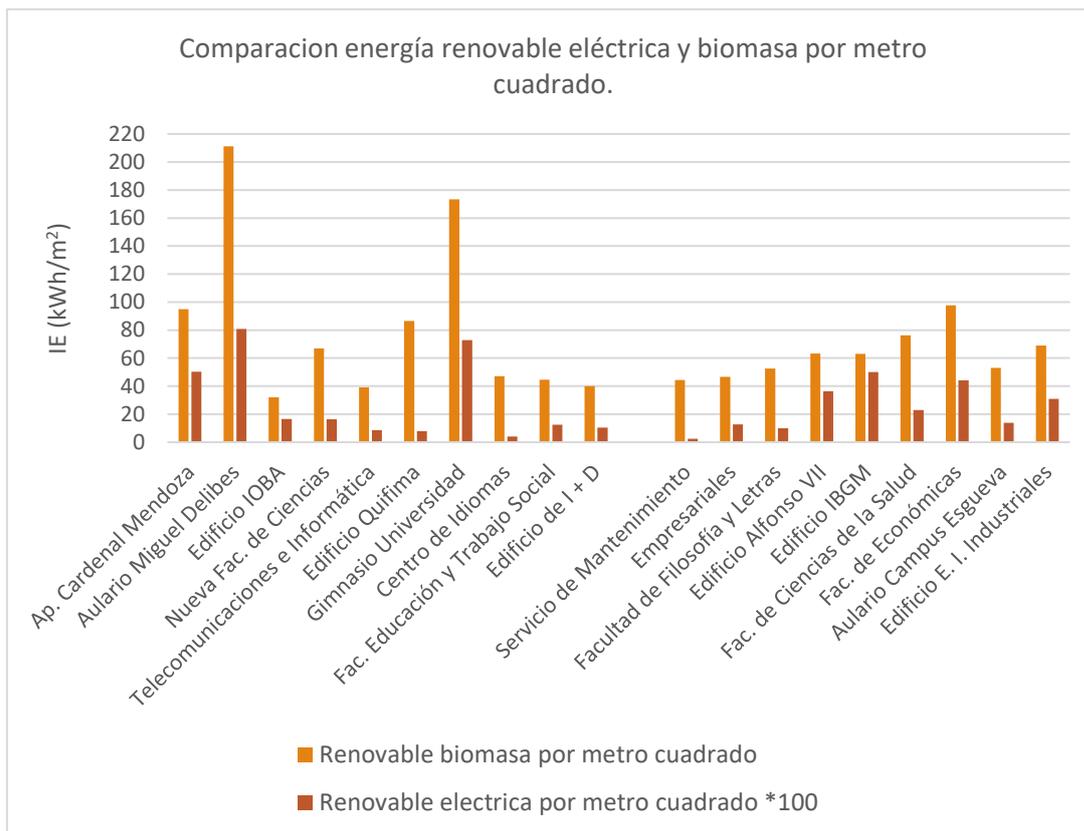


Figura 97. Comparación de energía renovable eléctrica y biomasa por metro cuadrado.

Tabla 15. Energías renovables y no renovables de biomasa y eléctrica en la red DH.

	Renovable biomasa/m ²	Renovable eléctrica/m ²	No renovable biomasa/m ²	No renovable eléctrica/m ²
CAMPUS UNIVERSITARIO MIGUEL DELIBES				
Ap. Cardenal Mendoza	95,0	0,5	3,2	2,5
Aulario Miguel Delibes	211,2	0,8	7,2	4,1
Edificio IOBA	32,1	0,2	1,1	0,8
Nueva Fac. de Ciencias	67,0	0,2	2,3	0,8
Telecomunicaciones e Informática	39,1	0,1	1,3	0,4
Edificio Quifima	86,6	0,1	2,9	0,4
Gimnasio Universidad	173,4	0,7	5,9	3,7
Centro de Idiomas	47,2	0,0	1,6	0,2
Fac. Educación y Trabajo Social	44,5	0,1	1,5	0,6
Edificio de I + D	39,9	0,1	1,4	0,5

Análisis energético y ambiental mediante monitorización dinámica de un District Heating de biomasa en un Campus Universitario.

	Renovable biomasa/m ²	Renovable eléctrica/m ²	No renovable biomasa/m ²	No renovable eléctrica/m ²
CAMPUS UNIVERSITARIO RÍO ESGUEVA				
Servicio de Mantenimiento	44,4	0,0	1,5	0,1
Empresariales	46,7	0,1	1,6	0,6
Facultad de Filosofía y Letras	52,5	0,1	1,8	0,5
Edificio Alfonso VII	63,2	0,4	2,1	1,8
Edificio IBGM	63,1	0,5	2,1	2,5
Fac. de Ciencias de la Salud	76,3	0,2	2,6	1,2
Fac. de Económicas	97,7	0,4	3,3	2,2
Aulario Campus Esgueva	52,9	0,1	1,8	0,7
Edificio E. I. Industriales	69,0	0,3	2,3	1,6

4.2.1 Análisis de edificios cercanos a consumo nulo de energía (nZEB).

A continuación, se realiza un estudio de la energía primaria consumida en cada edificio en su totalidad. Para ello se tiene en cuenta tanto el consumo energético debido a calefacción como el debido a las instalaciones del propio edificio como iluminación, ventilación, etc.

A partir del documento “Estudio de la Evolución de los Consumos Energéticos en las Instalaciones de la Universidad de Valladolid” [\[32\]](#), se han obtenido los valores del consumo eléctrico de los edificios entre los años 2007 y 2013. Para realizar el estudio, se hace la hipótesis de que el consumo eléctrico se mantiene constante a lo largo del tiempo. Es decir, que el consumo eléctrico en la actualidad es el mismo que el obtenido a partir del documento mencionado.

En la Tabla 16 se muestra el valor medio de consumo eléctrico final de cada edificio, el consumo de energía eléctrica primaria no renovable y total. Los factores de paso se obtienen a partir de la Tabla 12.

Tabla 16. Índice de consumos eléctricos individual de cada edificio, final, no renovable y primaria. (kWh/m² año)

	Índice de consumo eléctrico (kWh/m ² año)	Índice de energía primaria eléctrica no renovable. (kWh/m ² año)	Índice de energía primaria eléctrica renovable (kWh/m ² año)
CAMPUS UNIVERSITARIO MIGUEL DELIBES			
Ap. Cardenal Mendoza	15	30	6
Aulario Miguel Delibes	60	120	24
Edificio IOBA	30	60	12
Nueva Fac. de Ciencias	48	96	19
Telecomunicaciones e Informática	52	104	21
Edificio Quifima	48	96	19
Gimnasio Universidad	80	161	24
Centro de Idiomas	30	60	12
Fac. Educación y Trabajo Social	40	80	16
Edificio de I + D	40	80	16
CAMPUS UNIVERSITARIO RÍO ESGUEVA			
Servicio de Mantenimiento	33	66	13
Empresariales	35	70	14
Facultad de Filosofía y Letras	47	94	19
Edificio Alfonso VII	55	110	22
Edificio IBGM	80	161	32
Fac. de Ciencias de la Salud	44	88	17
Fac. de Económicas	38	76	15
Aulario Campus Esgueva	38	76	15
Edificio E. I. Industriales	65	130	26

A partir de estos valores se puede calcular el consumo de energía total de cada edificio (consumo térmico y consumo eléctrico). En las Figuras 98 y 99 se muestra la comparación de la energía no renovable y renovable total de cada edificio con el sistema de calefacción anterior y con el sistema actual. Como se observa, estos índices de intensidad energética son mucho más elevados que si tenemos en cuenta únicamente el consumo de calefacción.

Según el nuevo CTE DB-HE0 de diciembre de 2019 se considera un edificio nZEB si tiene un consumo de energía primaria no renovable inferior a 120 kWh/m² año para la zona climática D2 y considerando carga interna alta. Otro posible indicador es que la energía primaria renovable consumida sea mayor del 40 %.

Con ello, en la Tabla 17 se muestran los edificios que cumplen que su IE de energía final total es menor de 120 kWh/m². Se han incluido en la tabla los edificios D13 (Edificio Lucía) y E041 (Edificio Induva) porque se tiene la certeza de que son edificios nZEB, aunque no se tengan en cuenta en más apartados de este estudio. Se tienen 17 edificios nZEB en la actualidad, mientras que anteriormente se tenían únicamente 2.

En la Tabla 18 se muestra el IE renovable con el sistema anterior y actual. Se observa, con el sistema anterior no se llegaba a consumir un 10 % de energía renovable mientras que en la actualidad este valor es del casi 50 %.

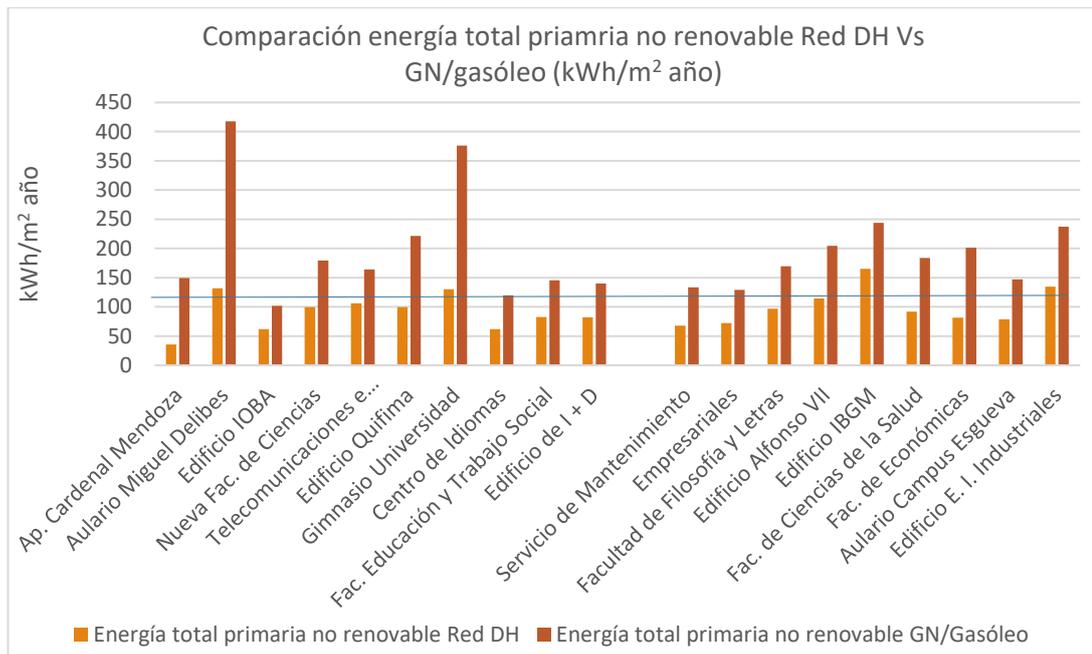


Figura 98. Comparación de energía total primaria no renovable Red DH Vs GN/Gasóleo (kWh/m² año)

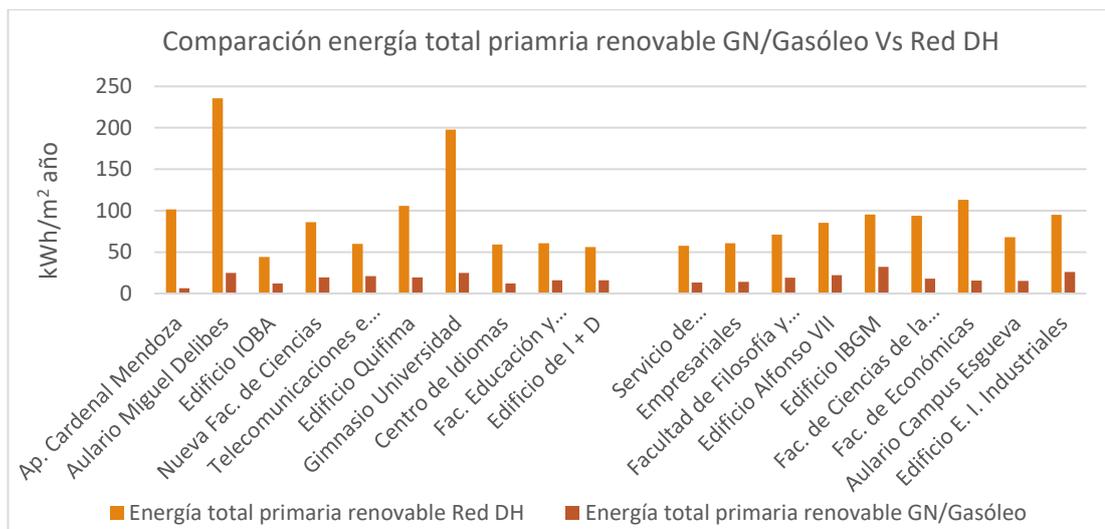


Figura 99. Comparación de energía total primaria renovable Red DH Vs GN/Gasóleo (kWh/m² año)

Análisis energético y ambiental mediante monitorización dinámica de un District Heating de biomasa en un Campus Universitario.

Tabla 17. Edificios nZEB con GN/Gasóleo y con la Red DH.

	IE no renovable menor de 120 kwh/m ² para ser nZEB con Red DH	IE no renovable menor de 120 kwh/m ² para ser nZEB con GN/Gasóleo
CAMPUS UNIVERSITARIO MIGUEL DELIBES		
Ap. Cardenal Mendoza	Sí	No
Aulario Miguel Delibes	No	No
Edificio IOBA	Sí	Sí
Nueva Fac. de Ciencias	Sí	No
Telecomunicaciones e Informática	Sí	No
Edificio Quifima	Sí	No
Gimnasio Universidad	No	No
Centro de Idiomas	Sí	Sí
Fac. Educación y Trabajo Social	Sí	No
Edificio de I + D	Sí	No
Edificio Lucía	Sí	-
CAMPUS UNIVERSITARIO RÍO ESGUEVA		
Servicio de Mantenimiento	Sí	No
Empresariales	Sí	No
Facultad de Filosofía y Letras	Sí	No
Edificio induva	Sí	-
Edificio Alfonso VII	Sí	No
Edificio IBGM	No	No
Fac. de Ciencias de la Salud	Sí	No
Fac. de Económicas	Sí	No
Aulario Campus Esgueva	Sí	No
Edificio E. I. Industriales	No	No
Total edificios nZEB	17	2

Análisis energético y ambiental mediante monitorización dinámica de un District Heating de biomasa en un Campus Universitario.

Tabla 18. Consumo de energía primaria total renovable con GN/Gasóleo y con la red DH. (kWh/m²)

	Energía total primaria renovable con GN/Gasóleo (kWh/m ²)	Energía total primaria renovable con Red DH (kWh/m ²)
CAMPUS UNIVERSITARIO MIGUEL DELIBES		
Ap. Cardenal Mendoza	6	101
Aulario Miguel Delibes	25	236
Edificio IOBA	12	44
Nueva Fac. de Ciencias	19	86
Telecomunicaciones e Informática	21	60
Edificio Quifima	20	106
Gimnasio Universidad	25	198
Centro de Idiomas	12	59
Fac. Educación y Trabajo Social	16	61
Edificio de I + D	16	56
CAMPUS UNIVERSITARIO RÍO ESGUEVA		
Servicio de Mantenimiento	13	57
Empresariales	14	61
Facultad de Filosofía y Letras	19	71
Edificio Alfonso VII	22	85
Edificio IBGM	32	95
Fac. de Ciencias de la Salud	18	94
Fac. de Económicas	16	113
Aulario Campus Esgueva	15	68
Edificio E. I. Industriales	26	95
Total energía primaria renovable	437	1.747
Porcentaje del total consumido	8,66%	49,32%

Por último, en las Figuras 100, 101, 102 y 103 se muestran los porcentajes de edificios nZEB anteriormente y en la actualidad, así como el porcentaje de consumo de energía renovable con ambos sistemas.

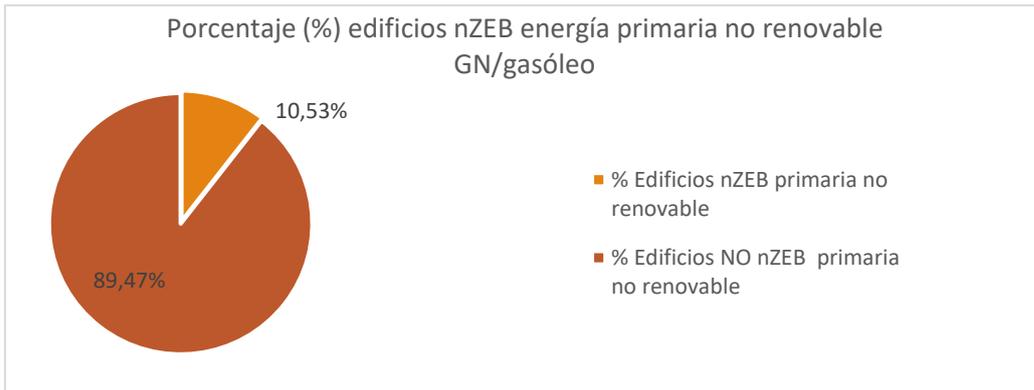


Figura 100. Porcentaje (%) de edificios nZEB de energía total primaria no renovable con GN/Gasóleo.

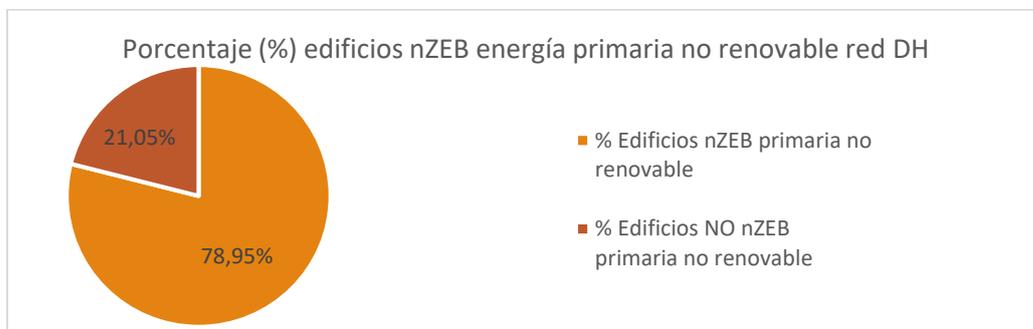


Figura 101. Porcentaje (%) de edificios nZEB de energía total primaria no renovable con la Red DH.

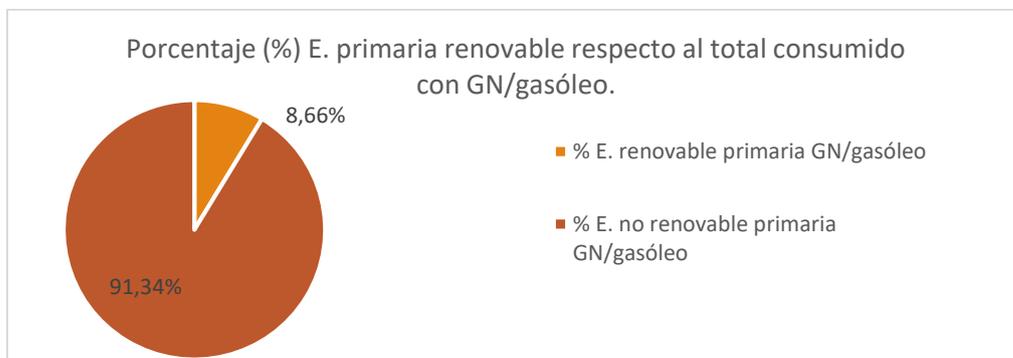


Figura 102. Porcentaje (%) de energía renovable respecto a la total (kWh) con GN/Gasóleo.

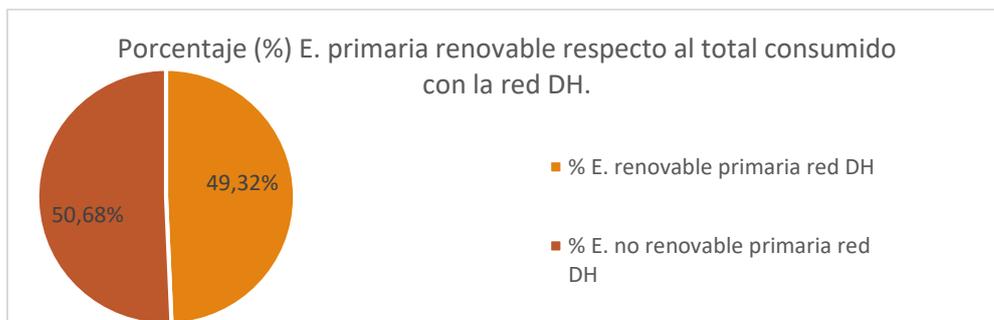


Figura 103. Porcentaje (%) de energía renovable respecto a la total (kWh) con la red DH.

Tras estos resultados se observa que el porcentaje de edificios nZEB de energía primaria no renovable anteriormente era del 10,53 %, con solo dos edificios entre los diecinueve que se están estudiando. Mientras que en la actualidad este valor asciende a 78,95 %, obteniéndose un total de 15 edificios que cumplen que el consumo de energía primaria no renovable inferior a 120 kWh/m² año. El porcentaje de rehabilitación a edificios nZEB gracias a la red DH es del 68,42 %, incluyendo 13 edificios en esta clasificación y consiguiendo con ello lograr un campus universitario mucho más sostenible y renovable.

Otro beneficio que se puede destacar del uso de la red DH es el gran aumento en el uso de energías primarias renovables. Como se ve en las Figuras 102 y 103, anteriormente solo el 8,66 % de la energía consumida era renovable, mientras que en la actualidad este porcentaje aumenta a casi un 50 %. En ambos casos en porcentaje se calcula sobre la cantidad total de energía consumida con su sistema de calefacción respectivo. Se aprecia que el porcentaje de renovable aumenta en el caso de GN y disminuye en el caso de la red DH. Esto se debe a que el porcentaje de renovable de la energía eléctrica es mayor que en el gas natural o el gasóleo, por tanto al tener contabilizado este gasto energético, el porcentaje total de energía renovable aumenta. Al contrario que en el caso de la red DH actual, que el porcentaje de renovable pasa de ser del 99,75 % a un 49,32 %.

No obstante se aprecia la gran mejora de este tipo de energía con la introducción de la red DH aumentando el porcentaje de renovable en un 40,66% respectivo a su consumo de energía final total.

4.3 INDICADOR MEDIOAMBIENTAL IM.

El indicador medioambiental, es un indicador de calidad energético que se define como la cantidad de kilogramos de CO₂ emitidos por cada metro cuadrado de superficie útil del edificio (m²). Tiene unidades, por tanto, de (kgCO₂/m²).

Del mismo modo que en casos anteriores, debemos multiplicar los valores de energía final consumida en cada edificio por un factor de conversión para obtener las emisiones de CO₂ correspondientes.

Estos factores de conversión se muestran en la Tabla 19. A partir de las expresiones anteriores, teniendo en cuenta los consumos de GN/gasóleo y el consumo tanto térmico como eléctrico en la actualidad, podemos representar las emisiones de CO₂, así como el ahorro de toneladas emitidas. Estos valores se muestran en las Figuras 104 y 105.

Se observa que la disminución de emisiones de GEI es bastante elevada si comparamos ambos sistemas de calefacción. Anteriormente se emitían 4.336

TnCO₂ año y en la actualidad este valor se reduce a 317 TnCO₂ año. La reducción de CO₂ emitido es de 4020Tn año, que equivale a un 92,7 %. Este alto valor de descarbonización, hace de la universidad de Valladolid un campus sostenible.

Tabla 19. Factores de emisiones de CO₂. Fuente: [37]

Factores de emisiones de CO ₂			
	Fuente	Valores aprobados	Valores previos (****)
		kg CO ₂ /kWh E. final	kg CO ₂ /kWh E. final
Electricidad convencional Nacional	(*)	0,357	
Electricidad convencional peninsular	(**)	0,331	0,649
Electricidad convencional extrapeninsular	(**)	0,833	0,981
Electricidad convencional Baleares	(**)	0,932	
Electricidad convencional Canarias	(**)	0,776	
Electricidad convencional Ceuta y Melilla	(**)	0,721	
Gasóleo calefacción	(***)	0,311	0,287
GLP	(***)	0,254	0,244
Gas natural	(***)	0,252	0,204
Carbón	(***)	0,472	0,347
Biomasa no densificada	(***)	0,018	neutro
Biomasa densificada (pelets)	(***)	0,018	neutro

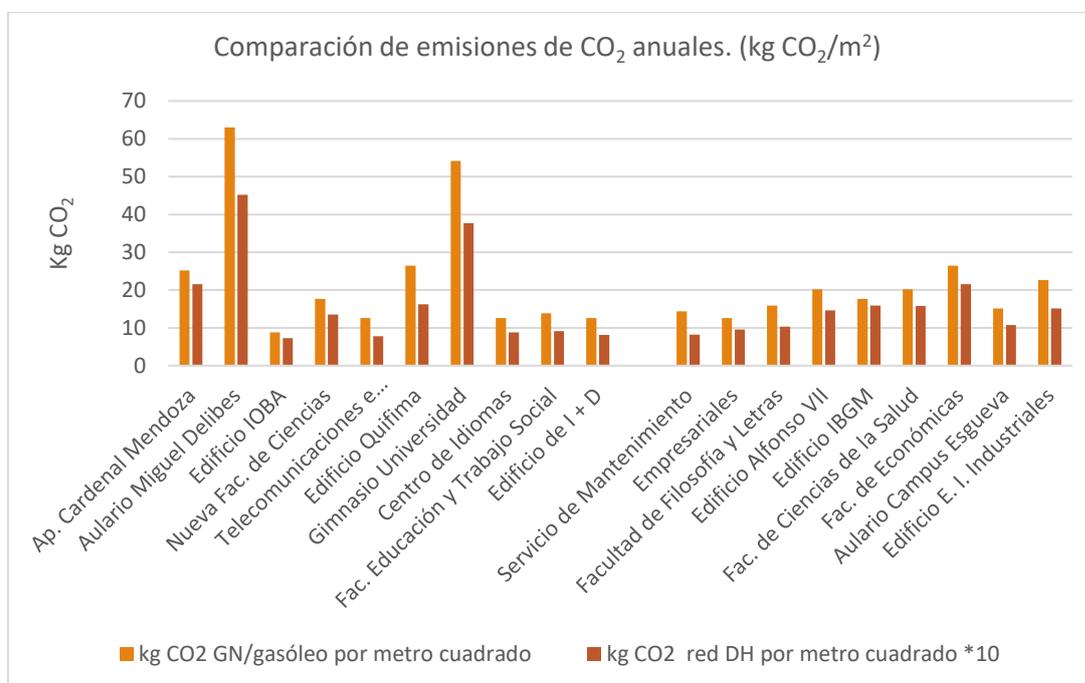


Figura 104. Kg CO₂/m² año de cada edificio de la UVA con GN/gasóleo y con la red DH.

Análisis energético y ambiental mediante monitorización dinámica de un District Heating de biomasa en un Campus Universitario.

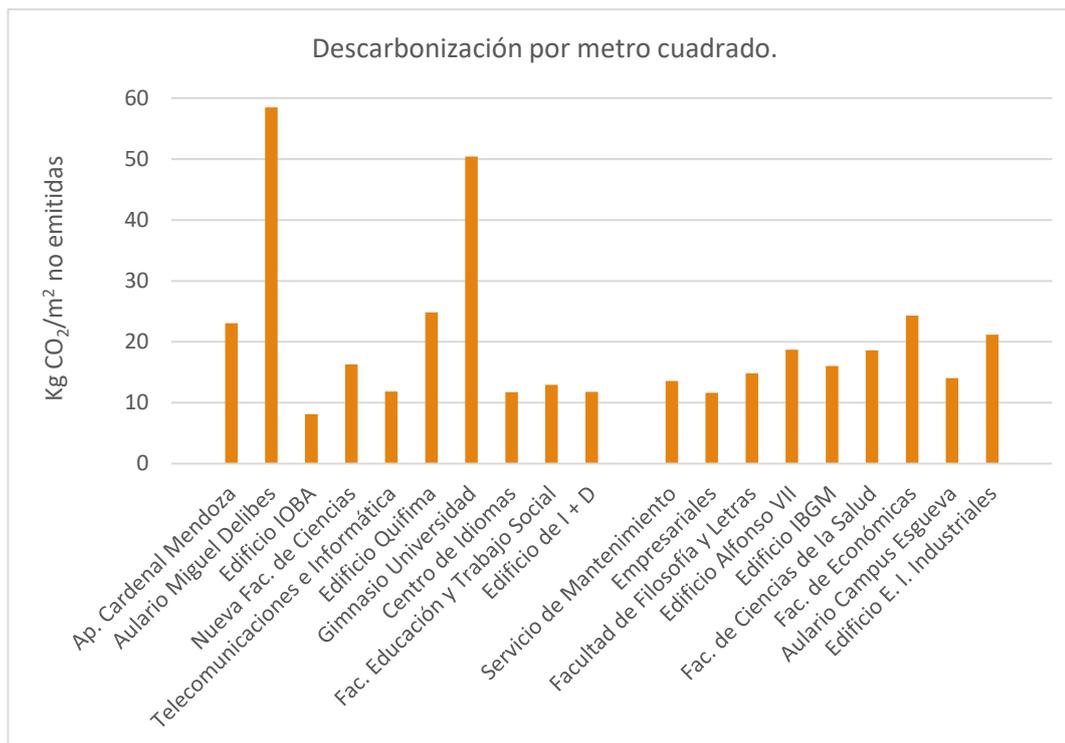


Figura 105. Kg de CO₂/m² no emitidas en cada edificio de la UVA.

En la Figura 106 se muestra los kilogramos de CO₂ con el sistema DH, diferenciando las emisiones debidas a la biomasa y al consumo eléctrico, con el fin de tener un análisis más detallado de las emisiones producidas con el sistema actual.

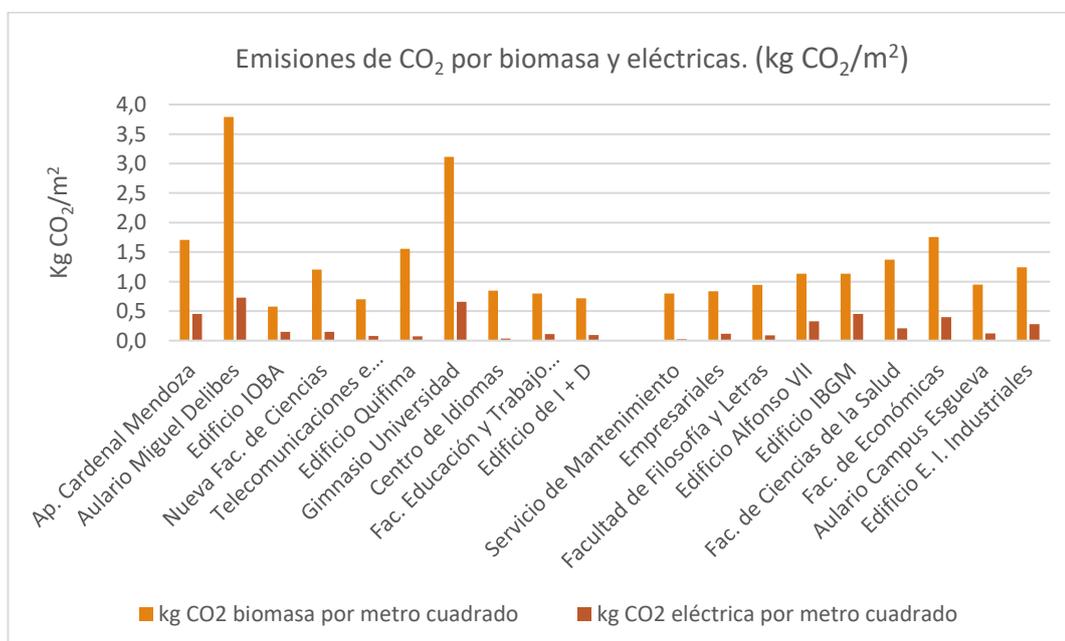


Figura 106. Kg CO₂/m² de cada edificio de la UVA con biomasa y con energía eléctrica.

En las tablas 20 y 21 se muestran los valores representado en las gráficas anteriores, relativas a la superficie de cada edificio y los valores de emisiones

Análisis energético y ambiental mediante monitorización dinámica de un District Heating de biomasa en un Campus Universitario.

totales, con intención de visualizar las toneladas totales emitidas, y la descarbonización en toneladas.

Tabla 20. Valores de emisiones de CO₂ por metro cuadrado. (kgCO₂/m² año)

	kg CO ₂ /m ² GN/gasóleo	kg CO ₂ /m ² Red DH	Descarbonización/m ²	kg CO ₂ /m ² biomasa	kg CO ₂ /m ² eléctrica
CAMPUS UNIVERSITARIO MIGUEL DELIBES					
D1 y D2	25,2	2,2	23,0	1,7	0,5
D4	63,0	4,5	58,5	3,8	0,7
D5	8,8	0,7	8,1	0,6	0,1
D6	17,6	1,3	16,3	1,2	0,1
D7	12,6	0,8	11,8	0,7	0,1
D8	26,5	1,6	24,8	1,6	0,1
D9	54,2	3,8	50,4	3,1	0,7
D10	12,6	0,9	11,7	0,8	0,0
D11	13,9	0,9	12,9	0,8	0,1
D12	12,6	0,8	11,8	0,7	0,1
CAMPUS UNIVERSITARIO RÍO ESGUEVA					
E1	14,4	0,8	13,5	0,8	0,0
E2	12,6	1,0	11,6	0,8	0,1
E3	15,9	1,0	14,8	0,9	0,1
E5	20,2	1,5	18,7	1,1	0,3
E7	17,6	1,6	16,1	1,1	0,5
E8	20,2	1,6	18,6	1,4	0,2
E13	26,5	2,2	24,3	1,8	0,4
E14	15,1	1,1	14,0	0,9	0,1
E15	22,7	1,5	21,2	1,2	0,3

Tabla 21. Valores de emisiones de CO₂. (Tn CO₂ año).

	Tn CO ₂ GN/Gasoleo	Tn CO ₂ Red DH	Descarbonización	Tn CO ₂ biomasa	Tn CO ₂ eléctrica
CAMPUS UNIVERSITARIO MIGUEL DELIBES					
D1 y D2	390,4	33,4	356,9	26,4	7,0
D4	251,0	18,0	233,0	15,1	2,9
D5	32,7	2,7	30,0	2,1	0,6
D6	303,8	23,2	280,5	20,7	2,5
D7	343,3	21,3	322,0	19,1	2,1
D8	133,6	8,2	125,4	7,8	0,4
D9	93,4	6,5	86,9	5,4	1,1
D10	62,6	4,4	58,2	4,2	0,2
D11	185,8	12,2	173,6	10,7	1,5
D12	88,6	5,7	82,9	5,0	0,7

Análisis energético y ambiental mediante monitorización dinámica de un District Heating de biomasa en un Campus Universitario.

	Tn CO ₂ GN/Gasoleo	Tn CO ₂ Red DH	Descarbonización	Tn CO ₂ biomasa	Tn CO ₂ eléctrica
CAMPUS UNIVERSITARIO RÍO ESGUEVA					
E1	22,2	1,3	20,9	1,2	0,04
E2	124,1	9,4	114,8	8,3	1,1
E3	310,2	20,2	290,0	18,4	1,7
E5	481,1	34,9	446,2	27,1	7,8
E7	60,3	5,4	54,8	3,9	1,5
E8	584,4	45,7	538,7	39,7	6,0
E13	393,6	32,0	361,6	26,1	5,9
E14	96,2	6,8	89,4	6,0	0,8
E15	378,6	25,3	353,2	20,7	4,6
Total Tn CO₂	4336	317	4019	268	49

4.4 INDICADOR DE COSTES ECONÓMICOS.

A continuación se realiza un estudio de costes económicos a partir de los costes energéticos registrados en el documento: “Estudio de la Evolución de los Consumos Energéticos en las Instalaciones de la Universidad de Valladolid”^[32] y del precio estimado de la biomasa y electricidad obtenidos a partir del informe “Climatización Urbana en las Ciudades Españolas”^[38]

En la tabla 22 se observan los precios de referencia (diciembre 2011) de combustibles convencionales.

Tabla 22. Precios de referencia de combustibles convencionales.

COMBUSTIBLES	€/kWh
Gas natural	0,080
Gas propano	0,094
Gasóleo	0,119
Electricidad	0,121
Biomasa forestal	0,027

A partir de dichos documentos, se obtiene que con el sistema de calderas individuales, el coste anual tomaba un valor de 884.400 euros al año, mientras que con el sistema actual, se paga un total de 756.708 euros al año. Hay que tener en cuenta que en ambos casos el coste será un poco mayor ya que en este estudio hay edificios que no se están estudiando por distintos motivos, como se explicó en apartados anteriores.

En la Figura 107 se muestra el coste económico anterior y actual en cada edificio por unidad de superficie. En varios edificios se da el caso de que el índice de coste actual es mayor que con el sistema anterior. Esto se debe a que para calcular el coste actual se ha tenido en cuenta el precio de la inversión inicial de los equipos y mantenimiento (1.500.000 €) y la obra civil (5.647.810€). [34] Este valor se ha dividido entre el número de edificios pertenecientes a la UVA y entre los años en que se debe pagar esta cantidad. De este modo se obtiene de media que a cada edificio le corresponde un pago anual de 17.019 €. Como el consumo energético no es uniforme en todos los edificios, se tiene que en los edificios que menos consumen (IOBA, IBGM, Servicio de mantenimiento, etc.) el consumo actual obtenido es mayor que el anterior. No obstante si solo tenemos en cuenta los consumos energéticos de la biomasa y la parte eléctrica, se tiene que en todos los edificios el coste económico es mucho menor en la actualidad que con el sistema de calefacción anterior.

En la Figura 108 se muestran los costes económicos totales de cada edificio con ambos sistemas de calefacción. Como se observa, el coste actual en casi todos los casos es menor, llegando a ahorrarse un total de 128.692 €/año, y suponiendo un ahorro anual del 14,53 % respecto a la factura anterior.

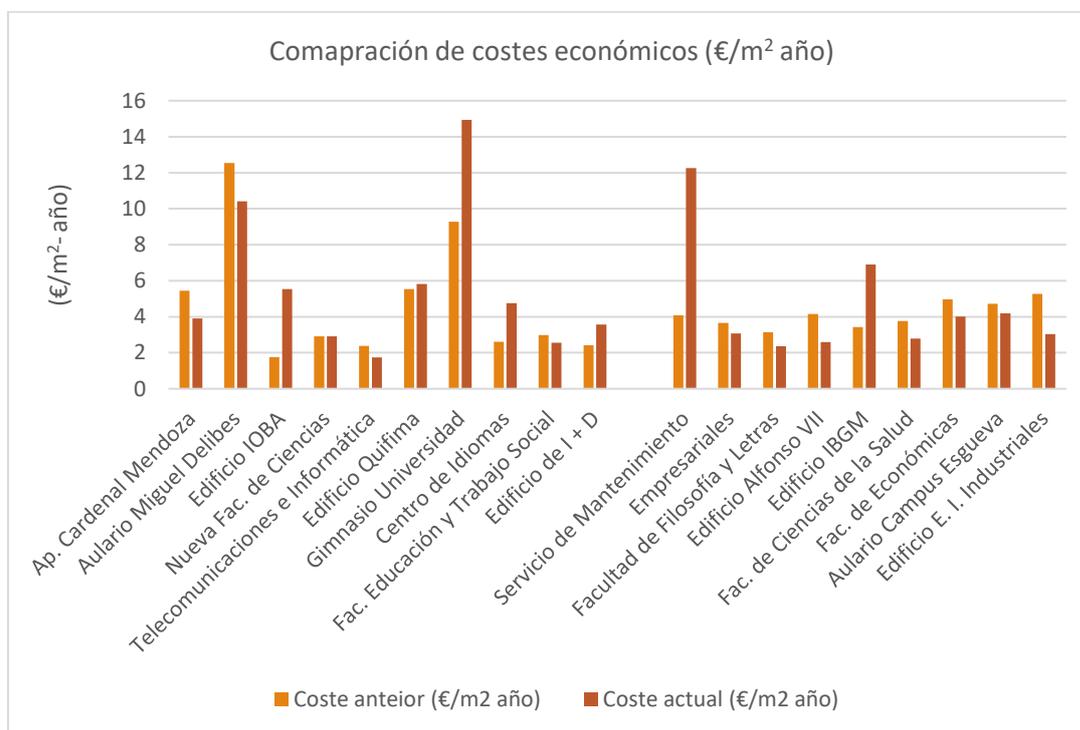


Figura 107. Comparación de costes económicos calderas individuales Vs Red DH (€/m² año)

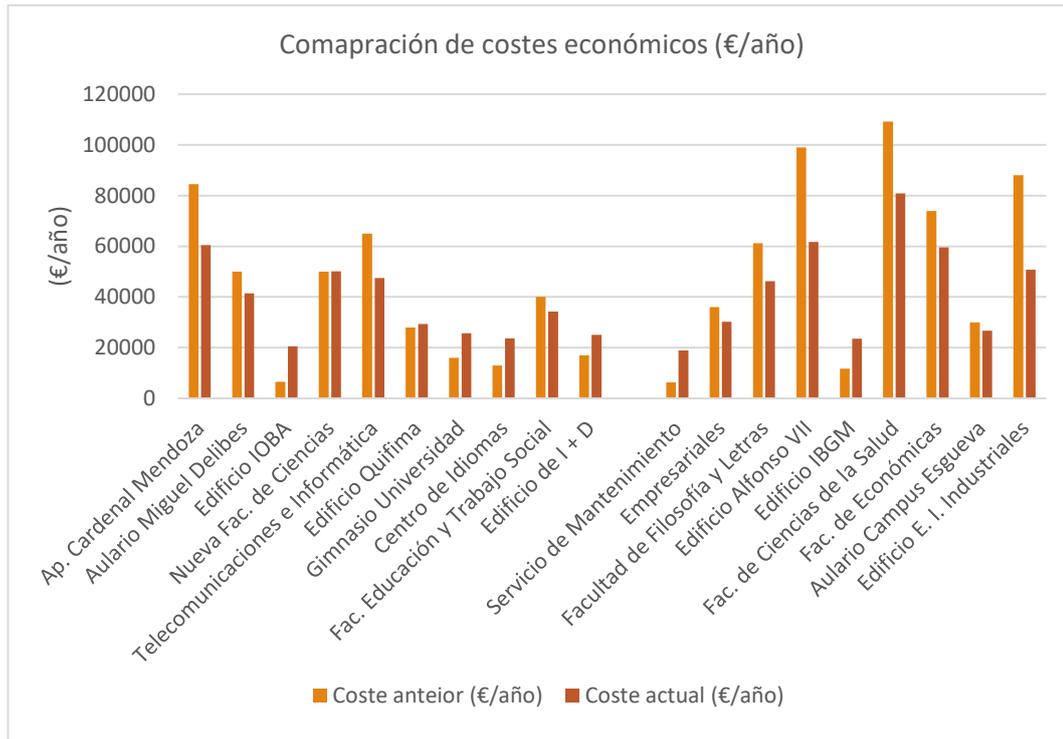


Figura 108. Comparación de costes económicos calderas individuales Vs Red DH (€/año).

En la Figura 109 se muestra desglosado el coste económico total anual debido a la energía eléctrica ⁽⁶⁾, biomasa y contrato de la UVa. Se observa que la biomasa supone la mayor parte del coste anual de calefacción. Como se ha explicado anteriormente, el coste de contrato se supone constante para todos los edificios, suponiendo la gran parte del gasto económico para algunos edificios.

La Tabla 23 muestra el resumen de costes mencionados del sistema de calefacción anterior, la red actual total, y el gasto desglosado de biomasa y energía eléctrica. El coste de la cantidad que hay que pagar por inversión y mantenimiento no se ha incluido ya que es un valor constante para cada edificio de valor 17.019 €.

⁽⁶⁾ La energía eléctrica que se tiene en cuenta es únicamente la correspondiente a la consumida por el sistema de distribución de calor compuesta por las bombas hidráulicas. El coste debido a la electricidad consumida por cada edificio individual (iluminación, ventilación, etc) se supone constante y no se tiene en cuenta para este estudio.

Análisis energético y ambiental mediante monitorización dinámica de un District Heating de biomasa en un Campus Universitario.

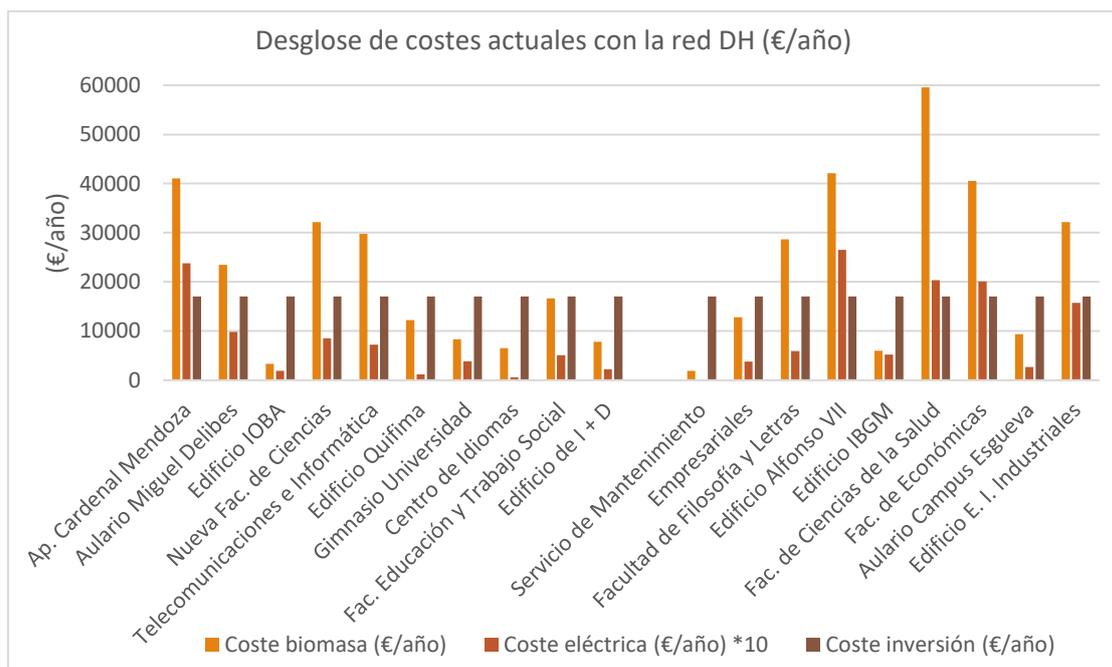


Figura 109. Desglose de costes actuales con la red DH (€/ año)

Tabla 23. Costes anteriores y actual total anual e cada edificio de la red DH (€/año)

	Coste anterior total (€/año)	Coste actual total (€/año)	Coste biomasa (€/año)	Coste eléctrica (€/año)
CAMPUS UNIVERSITARIO MIGUEL DELIBES				
Ap. Cardenal Mendoza	84.500	60.479	41.083	23.775
Aulario Miguel Delibes	50.000	41.500	23.496	9.851
Edificio IOBA	6.500	20.522	3.315	1.879
Nueva Fac. de Ciencias	50.000	50.078	32.203	8.559
Telecomunicaciones e Informática	65.000	47.512	29.770	7.236
Edificio Quifima	28.000	29.352	12.211	1.225
Gimnasio Universidad	16.000	25.750	8.348	3.833
Centro de Idiomas	13.000	23.619	6.541	601
Fac. Educación y Trabajo Social	40.000	34.199	16.671	5.096
Edificio de I + D	17.000	25.082	7.842	2.214
CAMPUS UNIVERSITARIO RÍO ESGUEVA				
Servicio de Mantenimiento	6.300	18.947	1.917	119
Empresariales	36.000	30.242	12.842	3.819
Facultad de Filosofía y Letras	61.250	46.245	28.636	5.913
Edificio Alfonso VII	99.000	61.755	42.085	26.520
Edificio IBGM	11.700	23.562	6.020	5.234
Fac. de Ciencias de la Salud	109.200	80.832	59.573	20.344
Fac. de Económicas	73.950	59.589	40.564	20.065
Aulario Campus Esgueva	30.000	26.683	9.397	2.668
Edificio E. I. Industriales	88.000	50.759	32.169	15.714
Total	885.400	756.708	414.682	164.667

5 CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES.

El objetivo principal de este trabajo es mostrar los beneficios que supone el sistema centralizado de calefacción en la red DH en el Campus Universitario de Valladolid.

Se debe tener en cuenta que en los análisis realizados en este trabajo fin de grado falta por estudiar los edificios D3, E6, E04_1, E04_2, y D13. Con lo cual los valores de ahorro energético, emisiones de CO₂ y ahorro económico, son mayores que los que se muestran a continuación.

En primer lugar, se puede destacar la importancia que tiene el uso de la biomasa como fuente de energía renovable, reduciendo casi completamente el consumo de combustibles fósiles. Persiguiendo los objetivos de las ODS y del Green Deal, la Universidad de Valladolid ayuda a la conservación y uso sostenible de ecosistemas en un territorio como es Valladolid al tomar como fuente energética la biomasa, recuperando los bosques y aumentando la reforestación. Del mismo modo se colabora en el proceso de descarbonización y aprovechamiento de residuos forestales como es la astilla no densificada.

Gracias al sistema DH se consigue una gran rehabilitación de los edificios hacia nZEB. Con este sistema, en el campus universitario de Valladolid se supera el objetivo fijado en el PNIEC para 2030 de lograr un 42 % de energías renovables sobre el consumo de energía final.

Los resultados numéricos que se han obtenido de este estudio son los siguientes:

- Un gasto de energía final anual de 15.025 MWh, de los cuales 14.889 MWh son de consumo de energía térmica y 136 MWh son de consumo eléctrico debido al sistema de bombeo de la red.
- Una mejora media del rendimiento, considerando la demanda constante en el tiempo del 93 %.
- Un gasto de energía renovable primaria de 14.987 MWh año, lo que supone un 95,06 % sobre el gasto de energía final primaria.
- Con el sistema DH se logra un consumo casi nulo de energía primaria no renovable llegando a 779 MWh año, lo que supone el restante 0,05% del total de energía primaria.

En cuanto a las reducciones de consumos energéticos en comparación con el sistema de calefacción anterior, la red DH ha logrado:

- Una reducción del 12,67 % del consumo de energía final y un 23,17 % en el consumo de energía primaria total. Esto supone un ahorro de 2.180 MWh año de energía final y 4.756 MWh año de energía primaria.
- Una reducción del 96,19 % en el consumo de energía primaria no renovable que corresponde a un ahorro de 19.663 MWh año. En cuanto a la energía primaria renovable, su uso ha aumentado en un 94,7 %, que corresponde a un aumento de consumo de 14.907 MWh año.

A partir del estudio de impacto de mejora en edificios nZEB en el campus universitario de Valladolid, se puede decir que ha sufrido una rehabilitación que lo convierte en un campus sostenible energéticamente, logrando que el 79 % de los edificios estudiados sean nZEB. Además, más del 40 % de la energía final consumida es renovable lo cual es otro indicador de que es un campus nZEB según el nuevo CTE de 2019.

En cuanto a las emisiones de Gases de Efecto Invernadero, gracias a la rehabilitación del sistema de calefacción, nos acercamos mucho más a ser neutros en emisiones de CO₂. En la actualidad se emiten 317 Tn de CO₂ anuales, suponiendo esto, una reducción del 92,69 % con respecto al sistema anterior.

El coste económico, con el nuevo sistema DH supone un ahorro económico de 128.692 € anual, suponiendo un ahorro del 14,53 %. Para este cálculo se ha tenido en cuenta el coste de obra civil y mantenimiento, que se terminará de pagar en 15 años. A partir de este momento el ahorro será superior al que se muestra en este estudio. Además, los costes por mantenimiento de las calderas se eliminan ya que se trata de un sistema centralizado.

Otras conclusiones que se pueden extraer del trabajo son:

Gracias a los depósitos de inercia situados en la central térmica se garantiza la continuidad de suministro de calefacción, proporcionando un mayor confort térmico. Debido a que la generación de calor se produce en un lugar alejado a las subestaciones, todos los problemas de vibraciones o riesgos sanitarios quedan minimizados.

Gracias a la monitorización del sistema (BMS) es sencillo y rápido comprobar donde hay fallos en el sistema.

5.1 POSIBLES MEJORAS Y LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.

Se pueden destacar propuestas de mejoras del sistema de calefacción DH de la universidad de Valladolid así como posibles futuras líneas de investigación.

El objetivo de toda instalación debe ser dirigirse hacia la mayor eficiencia posible, con el menor consumo energético y reducir al máximo el gasto de energía no renovable. Además se debe buscar la emisión neutra de GEI. Para ello, posibles mejoras del sistema son:

- Obtener energía a partir de la solar térmica de acumulación de calor.
- Ampliar la central para lograr una central de cogeneración. Si la electricidad se obtuviese a partir de biomasa (cogeneración) se ahorrarían 12.700 €/año además de lograr un mayor beneficio de ahorro e impacto ambiental.
- Implementar más sensores de medida, en bombas hidráulicas para obtener el caudal de primario en cada edificio así como los saltos de presión.
- Modificar el SCADA corrigiendo y verificando los errores mencionados en el apartado 3.3.2.

Respecto a las líneas de investigación para continuar el estudio y mejora de la monitorización y análisis en el Campus de la Universidad de Valladolid, se puede realizar estudios sobre los siguientes temas:

- Realizar un estudio en profundidad del programa SCADA en el análisis de los parámetros de medida.
- Estudio de la acumulación térmica de los depósitos de inercia.

Análisis energético y ambiental mediante monitorización dinámica de un District Heating de biomasa en un Campus Universitario.

6 CAPÍTULO 6. BIBLIOGRAFÍA.

- [1] - Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, IPCC “Calentamiento global de 1,5 °C”- ISBN 978-92-9169-351-1, 2019. Sitio web: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/IPCC-Special-Report-1.5-SPM_es.pdf
- [2] – Ministerio para la transición ecológica. Gobierno de España. Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/proyectos-clima/default.aspx> (Fecha de última consulta: 25 de marzo de 2020)
- [3] – Agenda 2030. Gobierno de España. Disponible en: <https://www.agenda2030.gob.es/objetivos> (Fecha de última consulta: 25 de marzo de 2020)
- [4]- Objetivo 13, Acción por el Clima. Agenda 2030. Gobierno de España. Disponible en: <https://www.agenda2030.gob.es/es/objetivos/objetivo-13-accion-por-el-clima> (Fecha de última consulta: 25 de marzo de 2020)
- [5] - Objetivo 7, Energía asequible y no Contaminante. Agenda 2030. Gobierno de España. Disponible en: <https://www.agenda2030.gob.es/es/objetivos/objetivo-7-energia-asequible-y-no-contaminante> (Fecha de última consulta: 25 de marzo de 2020)
- [6] - Objetivo 9, Industria, Innovación e Infraestructura. Agenda 2030. Gobierno de España. Disponible en: <https://www.agenda2030.gob.es/es/objetivos/objetivo-9-industria-innovacion-e-infraestructura> (Fecha de última consulta: 25 de marzo de 2020)
- [7] – Objetivo 11, Ciudades y Comunidades Sostenibles. Agenda 2030. Gobierno de España. Disponible en: <https://www.agenda2030.gob.es/es/objetivos/objetivo-11-ciudades-y-comunidades-sostenibles> (Fecha de última consulta: 25 de marzo de 2020)
- [8] – “Green Deal” Comisión Europea. Diciembre de 2019. Sitio web: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/es/fs_19_6714 (Fecha de última consulta: 25 de marzo de 2020)
- [9] - Ministerio para la transición ecológica. Gobierno de España. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/images/es/pniec_2021-2030_documentosintetico_borradoractualizado_tcm30-506492.pdf (Fecha de última consulta: 5 de marzo de 2020)
- [10] – “Energías renovables” – APPA. Disponible en: <https://www.appa.es/energias-renovables/> (Fecha de última consulta: 25 de marzo de 2020)

[11] – Documento Básico, Ahorro de Energía, Código Técnico de la Edificación. (DB-HE) CTE, 20 diciembre 2019. Disponible en: <https://www.codigotecnico.org/index.php/menu-ahorro-energia.html> (Fecha de última consulta: 25 de marzo de 2020)

[12] - Directiva (UE) 2018/844 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A32018L0844>

[13] - Consejo Superior de Colegios de Arquitectos de España. Disponible en: <https://www.cscae.com/index.php/conoce-cscae/area-tecnica/todas-las-noticias43/3543-edificios-de-consumo-de-energia-casi-nulo-nzeb-un-gran-reto-del-sector-de-la-construccion-en-europa> (Fecha de última consulta: 25 de marzo de 2020)

[14] - Buildings Performance Institute Europe (BPIE), “NEARLY ZERO ENERGY BUILDINGS DEFINITIONS ACROSS EUROPE”, 1040 Brussels, 2015. Disponible en: http://bpie.eu/uploads/lib/document/attachment/128/BPIE_factsheet_nZEB_definitions_across_Europe.pdf

[15] - IDAE, “Escala de calificación energética para edificios de nueva construcción”. Madera, 8 e-28004-Madrid, mayo de 2009. Disponible en: https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_CALENER_07_Escala_Calif_Energetica_A2009_A_5c0316ea.pdf (Fecha de última consulta: 25 de marzo de 2020)

[16] - IDAE, Disponible en: <https://www.idae.es/tecnologias/energias-renovables/uso-termico/biomasa> (Fecha de última consulta: 25 de marzo de 2020)

[17] - Objetivo 15, Vida de Ecosistemas Terrestres. Agenda 2030. Gobierno de España. Disponible en: <https://www.agenda2030.gob.es/es/objetivos/objetivo-15-vida-de-ecosistemas-terrestres> (Fecha de última consulta: 25 de marzo de 2020)

[18] - "La Biomasa en España", Twenergy. 4 de diciembre de 2019. Disponible en <https://twenergy.com/ecologia-y-reciclaje/curiosidades/la-biomasa-en-espana/> (Fecha de última consulta: 25 de marzo de 2020)

[19] - APPA, “Estudio del Impacto Macroeconómico de las Energías Renovables en España”. Asociación de Empresas de Energías Renovables - APPA Renovables, 2018. Disponible en: https://www.appa.es/wp-content/uploads/2019/10/Estudio_del_impacto_Macroeconomico_de_las_e

[nergias renovables en Espa%C3%B1a 2018 vff.pdf](#) (Fecha de última consulta: 25 de marzo de 2020)

[20] - Diaz González, J. Avebiom. “Energías Renovables”. 9 de enero de 2019. Disponible en: <https://www.energias-renovables.com/biomasa/la-biomasa-aspira-a-representar-el-50-20190109> (Fecha de última consulta: 25 de marzo de 2020)

[21] - DHC+ Technology Platform, “District Heating and Cooling. A vision towards 2020 – 2030 – 2050”. Colophon. March 2012. 1150 Brussels.

[22] – European Copper Institute, “Support for renewable district heating in Slovenia”. 12 de junio de 2019. Disponible en: <https://www.solarthermalworld.org/news/support-renewable-district-heating-slovenia> (Fecha de última consulta: 10 de abril de 2020)

[23] – Google Maps. Disponible en: <https://www.google.es/maps/@41.6638754,-4.7062064,17z?hl=es>

[24] - AIGUASOL Sistemes Avançats d’Energia Solar Tèrmica S.C.C.L., Institut Català d’Energia. Generalitat de Catalunya. “GUÍA BÁSICA DE REDES DE DISTRITO DE CALOR Y DE FRÍO”. Abril 2011. Disponible en: https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_20110502_Guia_Basica_Netes_de_Calor_y_de_Frío_ES_5e18b14a.pdf (Fecha de última consulta: 25 de marzo de 2020)

[25] - López Martín, D; Rey Martínez, Fco. J. “Monitorización del district heating del campus de la universidad de Valladolid”. Valladolid, 2019.

[26] - Euroheat & Power. “District Heating in Buildings”. Avenue de Tervuren 300, 1150 Brussels, 2011.

[27] - DHC+ Technology Platform. “District Heating and Cooling. STRATEGIC RESEARCH AGENDA.” Colophon. March 2012. Avenue de Tervuren 300. 1150 Brussels.

[28] –Advances in Geosciences. “5th generation district heating and cooling systems as a solution for renewable urban thermal energy supply” Adv. Geosci., 49, 129–136, 2019.

[29] - ADHAC “Asociación de Empresas de Redes de Calor y Frío ADHAC”, ADHAC es miembro de la Junta Directiva de Euroheat & Power (www. euroheat.org).

[30] - <https://bioenergyinternational.es/el-district-heating-urbano-con-biomasa-mas-extenso-de-espana/>

[31] - Bioenergy International. “El district heating urbano con biomasa más extenso de España.” Disponible en: <https://www.europapress.es/castilla-y-leon/noticia-red-calor-biomasa-uva-atendera-90-ciento-energia-demandada-hospital-clinico-20190227185751.html> (Fecha de última consulta: 25 de marzo de 2020)

[32] - Oficina de Calidad Ambiental y Sostenibilidad de la Universidad de Valladolid. Vicerrectorado de Patrimonio e Infraestructuras. “Estudio de la Evolución de los Consumos Energéticos en las Instalaciones de la Universidad de Valladolid” Febrero 2014.

[33] El día de Valladolid. “El 90% de la energía del Clínico llega de una red de biomasa” Disponible en: <https://www.eldiadevalladolid.com/Noticia/ZE28C519A-9345-9F95-6BE20E636197D2D4/201902/El-90-de-la-energia-del-Clinico-llega-de-una-red-de-biomasa> (Fecha de última consulta: 24 de abril de 2020)

[34] - Galindo Llorente P.; Rey Martínez, Fco. J.; Rey Hernández, J.M. “Estudio del consumo energético en un District Heating (DH) de la Universidad de Valladolid”. Valladolid, 2018.

[35] – Rey Martínez, Fco. J.; Velasco Gómez, E. “Certificación energética en Edificios”, Ed. Thomson. 2006.

[36] – Chdewa, T. journal of thermal analysis and calorimery. “Experimental evaluation of calculated energy saving in schools” 2018-2019.

[37] – Ministerio de Industria, Energía y Turismo, y Ministerio de Fomento. “Factores de emisión de CO₂ y coeficientes de paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector de edificios en España.” España, 2014.

[38] - Federación Española de Municipios y Provincias; Red Española de Ciudades por el Clima. “Climatización Urbana en las Ciudades Españolas”. Madrid

Anexo.

$$W = \Delta T \cdot cp \cdot \rho \cdot Q \quad \text{Ec. 1.}$$

Donde:

W: Potencia calorífica del fluido [W]

ΔT : Incremento de temperatura. [C]

Cp: calor específico del fluido. [J/KgC] En este trabajo se toma como valor medio y constante 4180 J/KgC

ρ : Densidad del fluido. [Kg/m³]

Q: Caudal instantáneo. [m³/s]

$$\eta_{\text{estacional GN}} = \eta_g \cdot \eta_d \cdot \eta_r \quad \text{Ec. 2.}$$

Donde:

$\eta_{\text{estacional}}$: Rendimiento medio estacional de la instalación colectiva correspondiente.

η_g : Rendimiento de generación.

η_d : Rendimiento de transporte hasta el punto de consumo.

η_r : Rendimiento de regulación y control.

$$\text{consumo} = \frac{\text{demanda}}{\text{rendimiento estacional}} \quad \text{Ec. 3.}$$

Donde el consumo es la energía final que llega al punto de abastecimiento. La demanda es la energía útil que se requiere para mantener la temperatura de consigna solicitada. Está minorada por las pérdidas en el intercambio. Por tanto el rendimiento estacional se define como la eficiencia con la que el consumo cede su energía a la demanda, contabilizando así las pérdidas en el punto de intercambio.

$$DG = \frac{\text{Gasto GN (kWh)} - \text{Gasto biomasa (kWh)}}{\text{Gasto GN (kWh)}} \cdot 100 \quad \text{Ec. 4.}$$

Donde:

DG: Índice de reducción energético. [-]

Gasto GN/ Gasto biomasa: Consumo energético [kWh]

$$W_{\text{primario}} \cdot \varepsilon = W_{\text{secundario}} \quad \text{Ec. 5.}$$

Donde:

ε : Eficiencia del intercambiador. [-]

W_{primario} : Potencia térmica que transporta el fluido del circuito primario, es decir, de la red de distribución. [W]

$W_{\text{secundario}}$: Potencia térmica que adquiere el fluido del circuito secundario. [W]

Análisis energético y ambiental mediante monitorización dinámica de un District Heating de biomasa en un Campus Universitario.