



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería Mecánica

**ESTUDIO DEL CONSUMO ENERGÉTICO EN
UN DISTRICT HEATING (DH) DE LA
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**

Autora: Paloma Galindo Llorente

Director: Francisco Javier Rey Martínez

Codirector: Javier María Rey Hernández

Valladolid, 2018

A mi familia, por darme esta oportunidad y llegar hasta aquí logrando mis objetivos y cumpliendo mis sueños, que, sin su apoyo incondicional no habría sido posible. Por la comprensibilidad que han tenido mis hermanos y mi madre ante mis momentos de estrés, siempre teniendo un comentario para animarme.

A mi padre, quien a pesar de su ausencia, recibí todo lo necesario para salir adelante ante cualquier situación, mi profesor de vida, quien me enseñó que nunca perdiera mi esencia y fuese fuerte ante la vida.

A mi prima Bárbara, por aguantarme tanto y haber compartido innumerables horas de estudio juntas con excusa de estar juntas fuese como fuese, siempre tirando la una de la otra.

A mis amigos/as, que a pesar de estar largas temporadas sin verles por estudiar, siempre han estado ahí apoyándome y brindándome su amistad en los reencuentros.

A mi tutor, por confiar siempre ciegamente en mí, por darme el valor que necesitaba para enfrentar este duro camino, sin él no hubiese sido posible sacar adelante este proyecto.

Gracias.

RESUMEN

Con el siguiente estudio se desea analizar el consumo energético de uno de los edificios conectado a la red de calor de distrito, District Heating, del campus Río Esgueva de la Universidad de Valladolid. El edificio objeto de estudio es la Escuela de Ingenierías Industriales.

En primer lugar se hace una introducción propia de la situación actual de España y de Europa en cuanto a las redes de calor de distrito y los objetivos a los que se quiere llegar en un futuro con estas medidas de eficiencia en los edificios.

Posteriormente, se explica en qué es, en qué consiste un District Heating y como se puede configurar de forma genérica. Una vez dicho esto se procede a analizar la instalación propia de la Escuela de Ingenierías Industriales.

Se hace una regresión lineal en la que se simula lo que gastaría la E.I.I de gas natural en el curso 2016/17 y se compara con el consumo actual, con biomasa como combustible. Se hacen también comparativas mensuales y anuales de diferentes años.

Las conclusiones de este estudio pueden servir para mejorar la eficiencia energética de la instalación District Heating, obteniendo una mejora mayor que la actual, un mayor confort para los usuarios, un ahorro económico importante y una contribución al medio ambiente reduciendo las emisiones de CO₂.

SUMMARY

With the following study wants to analyze the energetic consumption of one of the buildings connected to the District Heating, of the campus Rio Esgueva of the University of Valladolid. The building object of this study is the School of Industrial Engineering.

Firstly, there is an introduction of the current situation of Spain and Europe for the heat networks of district and the aims which it wants to come near in the future with these measures of efficiency in the buildings.

Later, it explains what it is, what a District Heating consists and the main possibilities of configure it. Then, it proceeds to analyze the installation of the School of Industrial Engineering.

It have done a linear regression in which there is simulated what would spend the E.I.I of natural gas in the academic year 2016/17 and is compared with the current consumption, with biomass as fuel. They become also comparative monthly and annual of different years.

The conclusions of this study can serve to improve the energy efficiency of the installation District Heating, obtaining better improvements than the present one, a better comfort for the users, an economic important saving and a contribution to the environment reducing the CO₂ emissions.

ÍNDICE

RESUMEN.....	5
SUMMARY	5
Capítulo 1. Introducción.....	11
1.1 Situación actual	13
1.2 Evolución de la producción de energía y grado de autoabastecimiento	15
1.3 Evolución y estructura del consumo de energía primaria	16
1.4 Evolución y estructura del consumo de energía final	18
1.5 Evolución 2010-2020 del consumo de energía primaria.....	20
1.6 Evolución 2010-2020 del consumo de energía final	22
1.7 Eficiencia energética en edificios	24
1.8 Situación actual de redes de calor y frío eficientes (DH&C)	29
Capítulo 2. District Heating (DH).....	33
2.1 Marco legislativo para redes de distrito.....	35
2.2 ¿Qué es un District Heating (DH)?.....	38
2.3 Tipos de DH	39
2.3.1 District Heating con Biomasa	39
2.3.2 District Heating con cogeneración	39
2.4 ¿Cómo está compuesto un DH?	40
2.5 Tipo de configuración de las redes.....	42
2.5.1 Según el trazado.....	42
2.5.2 Según los circuitos.....	44
2.5.3 Según los sectores abastecidos	45
2.6 Tipos de configuración de las subestaciones	45
2.6.1 Subestaciones de transmisión térmica	46
2.6.2 Ejemplo de algunas subestaciones.....	48
2.7 Beneficios de la red de calefacción centralizada	51
2.7.1 Beneficios para el promotor.....	51
2.7.2 Beneficios para los usuarios	51
2.7.3 Beneficios para el medio ambiente y la sociedad	51
Capítulo 3. Estudio del District Heating de la Universidad de Valladolid.....	53
3.1 Ubicación.....	55

3.2 Condiciones Climáticas Externas.....	57
3.3 Descripción detallada.....	60
3.3.1 Central térmica.....	60
3.3.2 Silo de almacenamiento de biocombustible.....	61
3.3.3 Sala de Calderas.....	65
3.3.4 Circuito hidráulico: central y red de calor.....	77
3.3.5 Subestaciones de intercambio.....	80
3.3.6 Sistema de automatización y control de la instalación.....	81
3.3.7 Combustible a emplear.....	82
3.4 Descripción del funcionamiento de la instalación:.....	82
3.5 Cumplimiento de R.I.T.E. Eficiencia energética.....	83
3.6 Pliego de condiciones.....	84
3.7 Planos.....	87
3.7.1 Instalación de los edificios conectados.....	87
3.7.2 Red de distribución de calor.....	88
3.7.3 Circuito hidráulico central DH.....	94
3.7.4 Esquema de la conexión a los edificios.....	95
3.7.5 Sala de calderas y silo de almacenamiento.....	96
3.8 Presupuesto (resumen parciales).....	98
Capítulo 4. Edificio objeto de estudio: Escuela de Ingenierías Industriales.....	101
4.1 Ubicación.....	103
4.2 ¿Cómo llega la red de calor a la Escuela de Ingenierías Industriales?.....	104
4.3 Funcionamiento de la Subestación de la E.I.I.....	104
4.4 Ejemplo de un día de funcionamiento de invierno en la Escuela.....	108
4.5 Consumo antiguo de gas natural.....	112
4.6 Consumo actual con la red de calor DH.....	118
4.7 Planos.....	124
Capítulo 5. Análisis comparativo de eficiencia energética.....	129
5.1 Línea Base.....	131
5.2 Ahorro Térmico.....	134
5.3 Ahorro Económico.....	134
5.4 Impacto Medio Ambiental - Emisiones de CO ₂	135
5.5 Comparativa Gráfica Térmica.....	136
5.6 Comparativa Gráfica Económica.....	142

5.7 Indicador base 100	148
Capítulo 6. Simulación de la E.I.I mediante el programa Design Builder.....	151
6.1 Introducción Design Builder (Energy Plus).....	153
6.1.1 Modelado de E.I.I	153
6.1.2 Modelado Geométrico	154
6.1.3 Modelado de envolvente térmica	156
6.1.4 Modelado del uso de cada zona.....	158
6.1.5 Modelado de las instalaciones de iluminación	160
6.1.6 Modelado de las instalaciones térmicas	161
6.1.7 Visualización.....	163
6.2 Simulación energética	165
6.3 Resultados de cálculo.....	166
6.3.1 Cálculo de cargas.....	166
6.3.2 Demandas de calefacción gas natural.....	167
6.3.3 Consumos calefacción gas natural	168
6.3.4. Comparación de los consumos de gas natural de calefacción: Design Builder Vs Reales	171
6.4 Otros parámetros de la E.I.I	175
6.4.1 Confort térmico	175
6.4.2 Emisiones CO ₂	176
6.4.3 Balance térmico.....	177
Capítulo 7. Conclusiones, trabajos futuros y posibles mejoras.....	179
7.1 Conclusiones.....	181
7.2 Fortalezas del sistema	182
7.3 Debilidades del sistema.....	183
7.4 Trabajos futuros	183
7.4.1 Instalación de contadores de tiempo de funcionamiento	183
7.4.2 Integración futura de ACS mediante energía solar térmica.....	184
7.5 Propuestas de nuevos cambios - Mejoras	185
7.5.1 District Heating con Cogeneración.....	185
7.5.2 District Heating con geotermia	189
Capítulo 8. Bibliografía.....	193
ANEXO A: IMÁGENES	197
ANEXO B: TABLAS	203

ANEXO C: GRÁFICOS.....205
ANEXO D: PLANOS.....207

Capítulo 1.

Introducción.

1.1 Situación actual

La mayor parte de nuestras vidas transcurre en los edificios, ya sea en los hogares, trabajo, escuela, Universidad o en otras actividades. Un dato referido a este estudio respecto a la distribución poblacional mundial, es que pasamos el 47% de la población dentro de los edificios, siendo un dato sacado en el año 2000 y no sólo eso sino que cada vez es más el tiempo en que la gente permanece dentro de sus hogares, zonas de trabajo, etc.

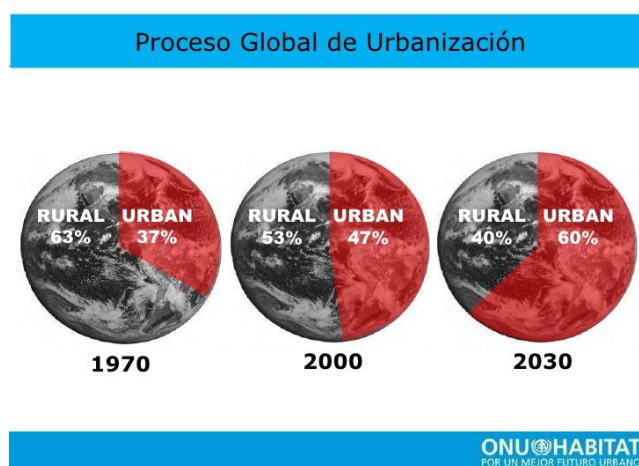


Imagen 1. Distribución Poblacional Mundial.

Por consiguiente, esto nos demuestra que el consumo de energía en los edificios cada vez es mayor que si lo comparamos con cualquier otra actividad. Por ello, es necesario mantener la calidad de vida y realizar operaciones necesarias para el mantenimiento del edificio y que éste nos proporcione una buena calidad del aire interior para nuestra salud. Los edificios están dotados de calefacción, climatización, iluminación, entre otros, pero también hacemos dentro de ellos numerosas actividades, como el uso de electrodomésticos. Los sectores residencial y terciario, es decir, viviendas y edificios utilizan alrededor de un 40% de la energía final de la Unión Europea, siendo causantes de producir elevados contaminantes como el CO₂, constituyendo uno de los gases del “efecto invernadero”. Para remediar estos enormes consumos de electricidad y combustibles, los cuales nos llevan a elevadas tasas de contaminación, se hace necesario reducir el consumo de energía, al frente de ello se encuentra la Directiva Europea que trata de mejorar la eficiencia energética de los edificios.

La *Directiva relativa a la eficiencia energética* (2012/27/UE) entró en vigor en diciembre de 2012, en la que se exige a los Estados miembros que establezcan objetivos indicativos nacionales de eficiencia energética para 2020. Los Estados miembros tienen como premisa aplicar los requisitos mínimos más estrictos para el

ahorro de energía. Los Estados miembros tienen que informar cada año sobre los avances alcanzados respecto a la eficiencia energética del país. Se espera que en 2017 haya un ahorro energético indicativo del 9% del consumo final de energía de cada Estado miembro.

La Unión Europea cada vez se mantiene más firme ante el cambio climático. En el acuerdo de Kioto alcanzado, se estableció reducir los gases de efecto invernadero hasta un 20% con respecto al año 1990. Además la UE estableció un aumento en la eficiencia energética del 20% y el uso de energías renovables. Estos objetivos se conocen como “*Objetivo 20/20/20*”.

Con las medidas adoptadas hasta ahora, se espera que este objetivo se cumpla. Se espera que en 2020 la emisión de GEI se reduzcan en un 24%, las energías renovables alcancen un 21% y que la eficiencia energética sea de alrededor un 17%.

Así se recoge en la Estrategia de Crecimiento lanzada en 2010, denominada “Europa 2020”, donde se apuesta por una economía sostenible que ofrezca empleo y mejore la productividad.

La Comisión Europea presentó a principios del 2014, un informe denominado “*2030 Framework for climate and energy policies*”. El informe es una propuesta del camino que deberá seguir la UE a partir del año 2020. Como se ha mencionado antes, la UE estableció los objetivos 20/20/20 para el año 2020 y para el 2050, se espera que las emisiones de GEI se tendrían que reducir entre un 80-95% en relación con el año 1990. El nuevo sistema debe de ser más competitivo, seguro y sostenible, promoviendo el crecimiento económico y generación de empleo.

Se espera que en el 2030 haya una reducción de los GEI en un 40% con respecto al año 1990. Que se establezca un 27% de energías renovables, pero sin entrar en objetivos nacionales, es decir, cada país adoptara la forma más adecuada para alcanzar el objetivo global. Esto supondrá un ahorro energético el 25% en el 2030, lo que económicamente supondría un ahorro entre cuarenta y setenta mil euros.

El objetivo actual del *Plan Nacional de Acción de Eficiencia Energética 2014-2020* es poder responder las exigencias de la Directiva 2012/27/EU relativo a la eficiencia energética. De acuerdo con la Directiva, España ha elaborado una estrategia a largo plazo para la renovación de los edificios residenciales y comerciales, es decir, tanto público como privado.

La estructura del Plan Nacional de Acción de eficiencia energética 2014-2020 responde fielmente a la Directiva 2012/27/UE. En este caso, España deberá indicar los ahorros de energía conseguidos nacionalmente. El informe anual será redactado de tal forma que debe indicarse en términos de nivel absoluto de consumo de energía primaria y consumo de energía final.

1.2 Evolución de la producción de energía y grado de autoabastecimiento

España desde la estructura energética se caracteriza por una alta presencia de productos petrolíferos, pero importados, por lo que tenemos una gran dependencia energética con el exterior, del orden del 80%.

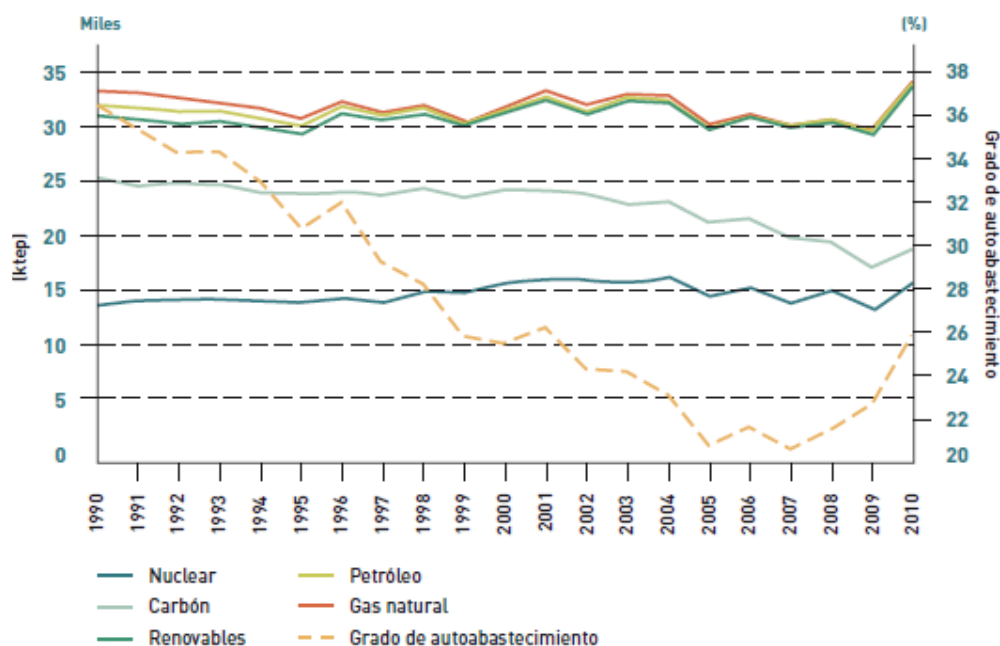


Imagen 2. Evolución de la producción interior de energía y del grado de autoabastecimiento.

Como puede apreciarse, a partir del 2005 hay un cierto cambio, ya que la planificación de energías renovables y eficiencia energética toman mayor importancia en la demanda interior, y ello causa un mayor grado de autoabastecimiento. En el año 2010 se recupera la situación que hubo once años atrás, es decir recuperando en términos absolutos un 11,8% en la producción interior de la energía, lo que lleva consigo un crecimiento de energías renovables del 137%, siendo este crecimiento más marcado en los últimos cinco años.

En el gráfico siguiente, se muestra una representación más precisa de las fuentes de energías renovables, a pesar de que nacionalmente se tenga una dependencia energética considerable.

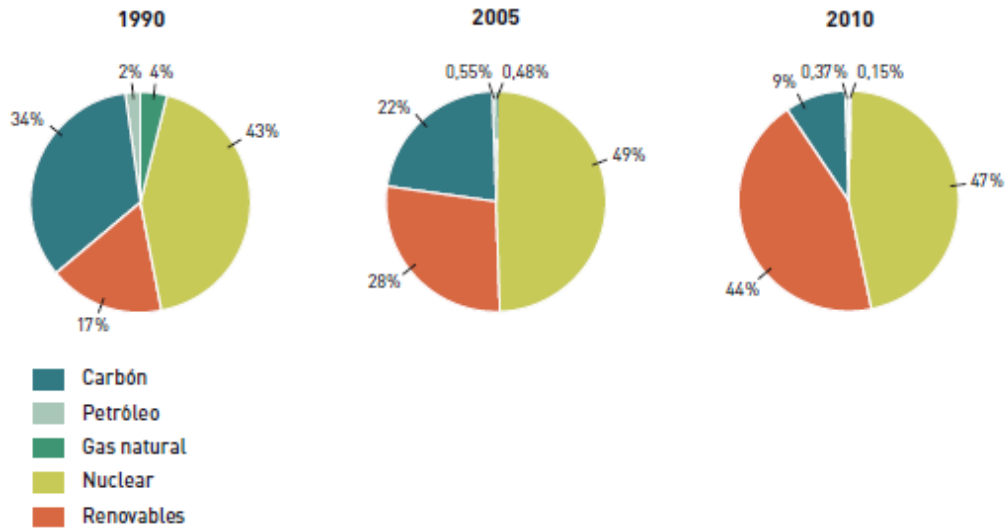


Imagen 3. Evolución de la producción interior de energía por fuentes energéticas.

1.3 Evolución y estructura del consumo de energía primaria

La demanda energética ha experimentado cuatro crisis económicas-energéticas (1973, 1979, 1993 y 2008) a nivel mundial, con carácter negativo. Es cierto que a pesar de la crisis económica de la década de los noventa tuvo una leve atenuación de la demanda energética. Posteriormente se fue ascendiendo hasta el año 2004, iniciándose aquí una nueva etapa en la evolución de la demanda energética llamada “Ahorro y Eficiencia Energética 2004-2012”. Seguidamente fue iniciada una nueva crisis en el 2008, en España repercutió mucho en el sector de la construcción, por lo que esto incidió en un descenso de la demanda energética. En consecuencia, después de pasar todo lo anterior, se toma como año de referencia el 2009, que se inicia el nuevo “Plan de Energía Renovables 2011-2020”.

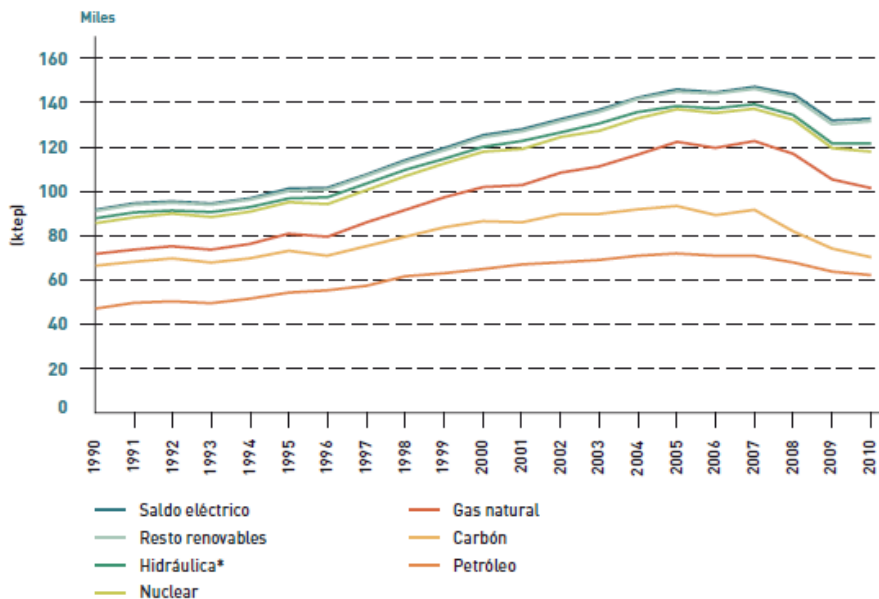


Imagen 4. Evolución del consumo de energía primaria.

La demanda nacional de energía primaria se ha ido transformando en las últimas décadas, donde en el caso de energías renovables se hacen notar bastante a partir de los 90, tomando el gas natural territorio frente al carbón y el petróleo, lo que ha incidido en una mayor diversificación del abastecimiento energético.

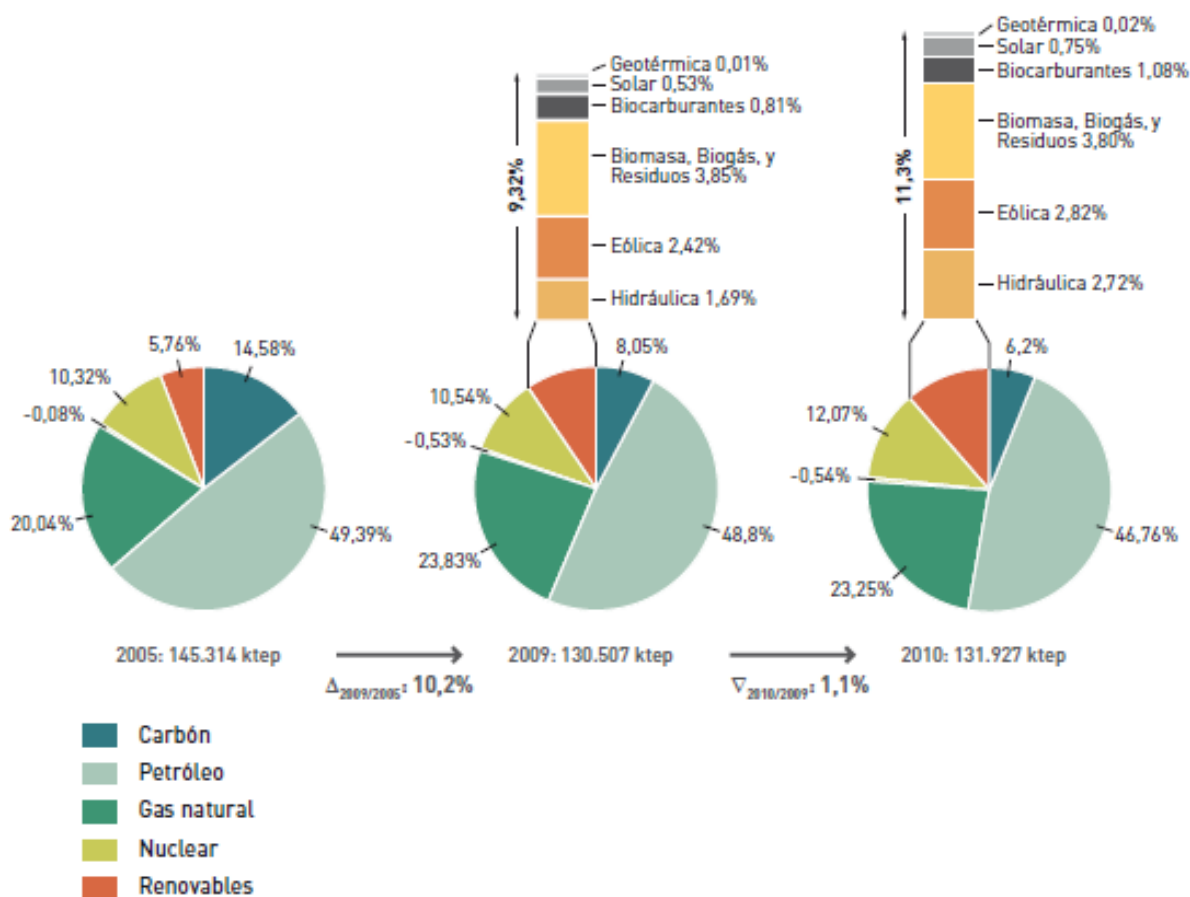


Imagen 5. Evolución de la estructura de consumo de energía primaria por fuentes energéticas.

Esto se llevó a cabo en gran parte por las innovadoras actuaciones en el sector del gas y electricidad, lo que supuso un mayor desarrollo en las infraestructuras energéticas para dar origen a una energía renovable. Como se mencionó anteriormente, en los años 2009-2010 representa cierto grado de anomalía causado por la crisis, lo que explica una caída de demanda energética. Sin embargo, a nivel global, si nos fijamos desde el año 2004, se puede considerar que ha ido manteniéndose esta demanda hasta el 2010 que se empezó a dar un fuerte salto, siendo cierto un incremento del 11,3% en la demanda de energía primaria. En estos últimos años, la geotermia y especialmente la solar termoeléctrica cobraron a tener mayor hincapié de participación, siendo no obstante, la biomasa el recurso más relevante.

1.4 Evolución y estructura del consumo de energía final

En cuanto a la energía final, ha llevado un transcurso parecido a la primaria, presentando los mismos efectos en la demanda energética por causas ajenas como la crisis.

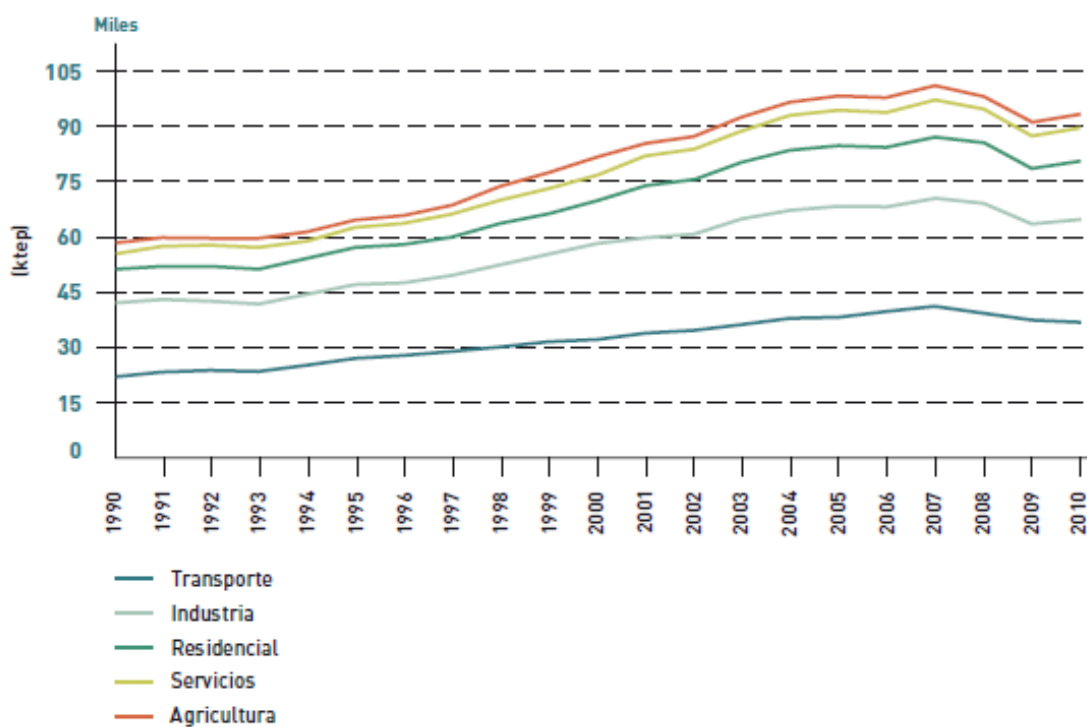


Imagen 6. Evolución del consumo final de energía por sectores.

Para una apreciación más rigurosa, en el gráfico siguiente se ve como en el sector del transporte es el de mayor consumo, con el 39,3% del consumo final, basado en productos petrolíferos, lo que esto demuestra la gran dependencia energética nacional.

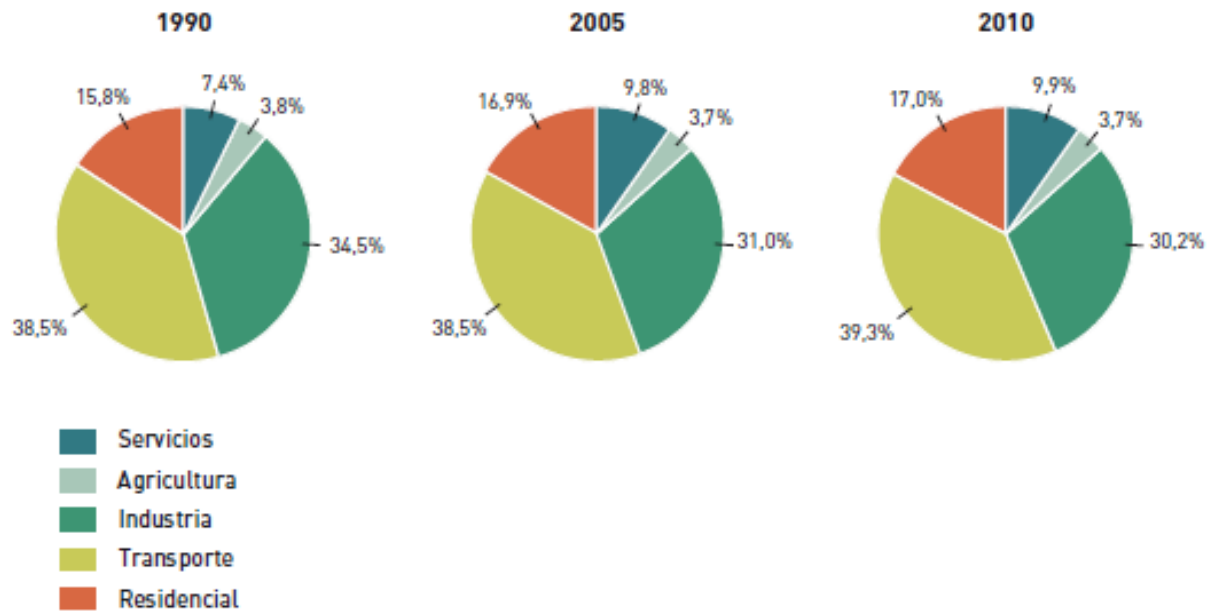


Imagen 7. Evolución de la estructura sectorial de la demanda de energía final.

En el 2010, la energía final supuso un incremento del 2,8% respecto al 2009, lo que supuso un retroceso de la demanda del 7,7%, esta demanda se ve recuperada posteriormente en todas las fuentes renovables excepto en la petrolífera, cuya demanda sigue decayendo.

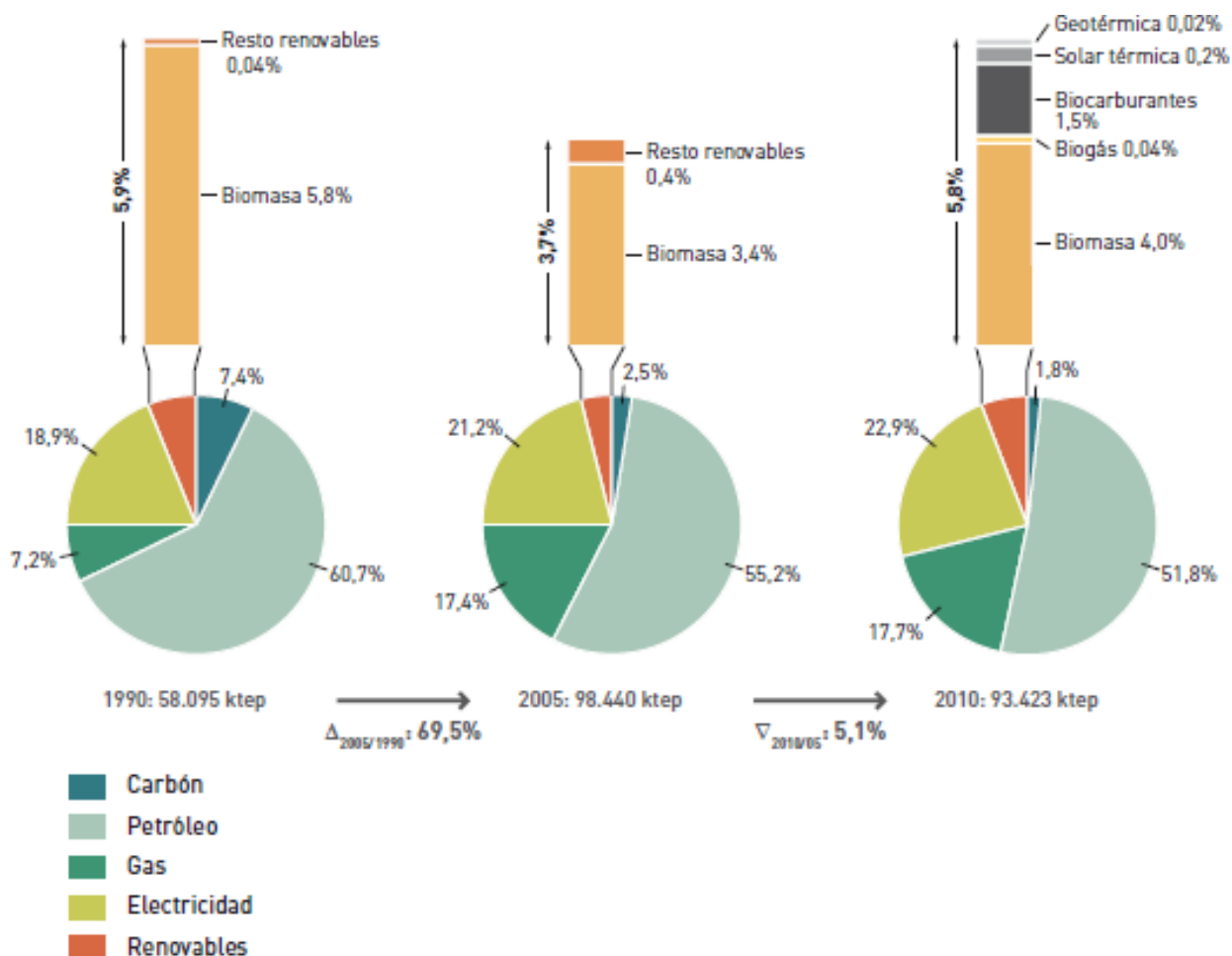


Imagen 8. Evolución de la estructura de consumo de energía final por fuentes energéticas.

El buen transcurso de las energías renovables fue impulsado por el sector de transporte y edificios, ligado también con el sector residencial. Es de esperar el descenso de demanda que causó la crisis en el 2009, siendo un descenso del 12,5%, por lo que afectó muy negativamente a la industria de la construcción, el cual es el principal motor de nuestra economía.

1.5 Evolución 2010-2020 del consumo de energía primaria

A partir del 2010, la demanda energética comienza a cambiar de forma considerable, dando un gran salto, incrementándose en un 25,7%, el crecimiento es progresivo con una tasa media de un 2,3%.

ktep	2005	2010	2015	2020
Carbón	21.183	8.271	10.536	10.046
Petróleo	71.765	62.358	61.046	62.199
Gas Natural	29.116	31.003	44.190	52.341
Nuclear	14.995	16.102	14.490	14.490
Energías Renovables	8.371	14.910	20.593	27.878
Saldo electr. (limp.-Exp.)	-116	-717	-966	-1.032
Total energía primaria	145.314	131.927	149.889	165.921

Tabla 1. Escenario de referencia: consumo de energía primaria. Fuente: IDAE.

La evolución que sigue la demanda primaria a partir del 2010 es progresiva debido a las medidas tomadas de eficiencia energética en el marco del *Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia 2008-2012*.

Nota: en lo que respecta al uso del carbón y su aportación a la generación eléctrica y al suministro de energía primaria consignado en los cuadros de planificación energética, se ha supuesto que será compatible y conforme al marco europeo en la materia.

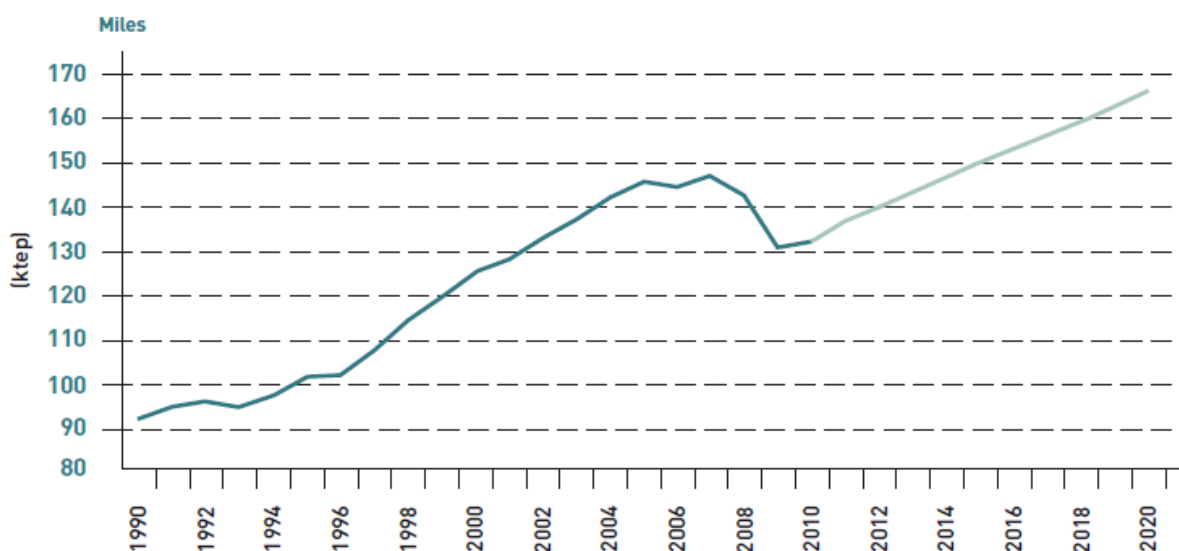


Imagen 9. Escenario de referencia: evolución del consumo de energía primaria.

Destacan las energías renovables, las cuales llegan a incrementarse hasta un 87% en el año 2020. Quien le sigue es el gas natural, desplazando al petróleo y el carbón.

Esto hace muy gratificante la contribución a la demanda primaria ya que desde un 11,3% en 2010, supone un 16,8% en 2020.

1.6 Evolución 2010-2020 del consumo de energía final

Se puede ver un claro incremento de consumo de energía final y esto es debido a la falta de nuevas actuaciones de eficiencia energética a partir del año 2010, lo que conlleva a tener una demanda final de energía en el año 2020 superior a 114 Mtep sin considerar los consumos no energéticos.

ktep	2005	2010	2015	2020
Carbón	2.424	1.693	2.163	2.134
Petróleo	54.376	48.371	48.258	49.369
Gas Natural	17.145	16.573	21.152	23.254
Electricidad	20.836	21.410	25.661	30.920
Energías Renovables	3.678	5.375	6.675	8.070
Total usos energéticos	98.458	93.423	103.908	113.748
Usos no energéticos	7.842	6.416	6.865	6.865
Prod. petrolíferos	7.362	5.941	6.415	6.415
Gas natural	480	475	450	450
Total usos finales	106.300	99.938	110.773	120.613

Tabla 2. Consumo de energía final. Fuente IDAE.

Nota: en lo que respecta al uso del carbón y su aportación a la generación eléctrica y al suministro de energía primaria consignado en los cuadros de planificación energética, se ha supuesto que será compatible y conforme al marco europeo en la materia.

Es obvio, que la demanda de energía final es afectada por la crisis, lo que se aprecia a partir del año 2010.

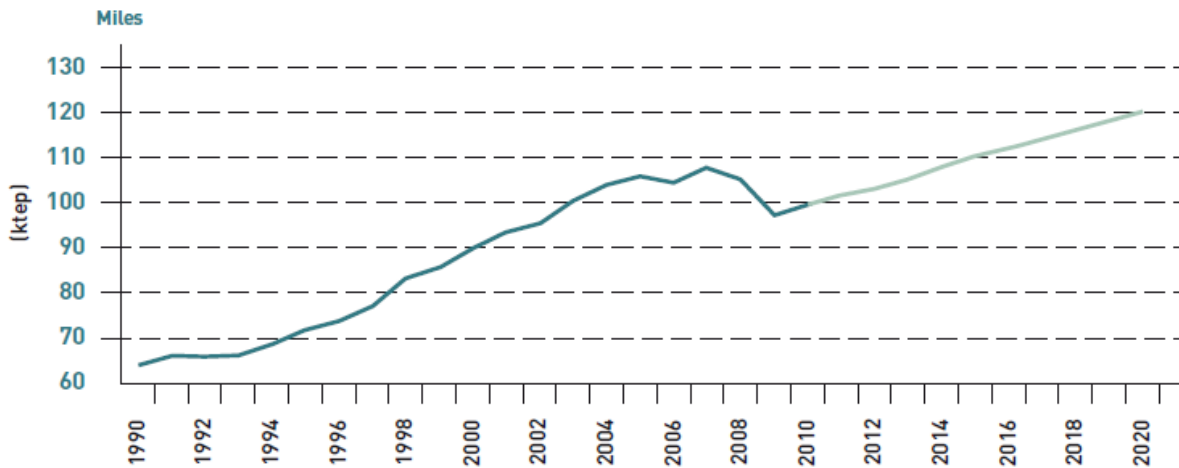


Imagen 10. Evolución del consumo de energía final.

Sigue en cabeza que el crecimiento de consumo de energía final de la demanda sean las energías renovables, y la electricidad. Seguido por el gas natural, lo que conduce a una menos participación de los consumos petrolíferos de la demanda de energía final. El carbón sigue estando muy presente debido a su uso en determinados procesos industriales como el siderúrgico.

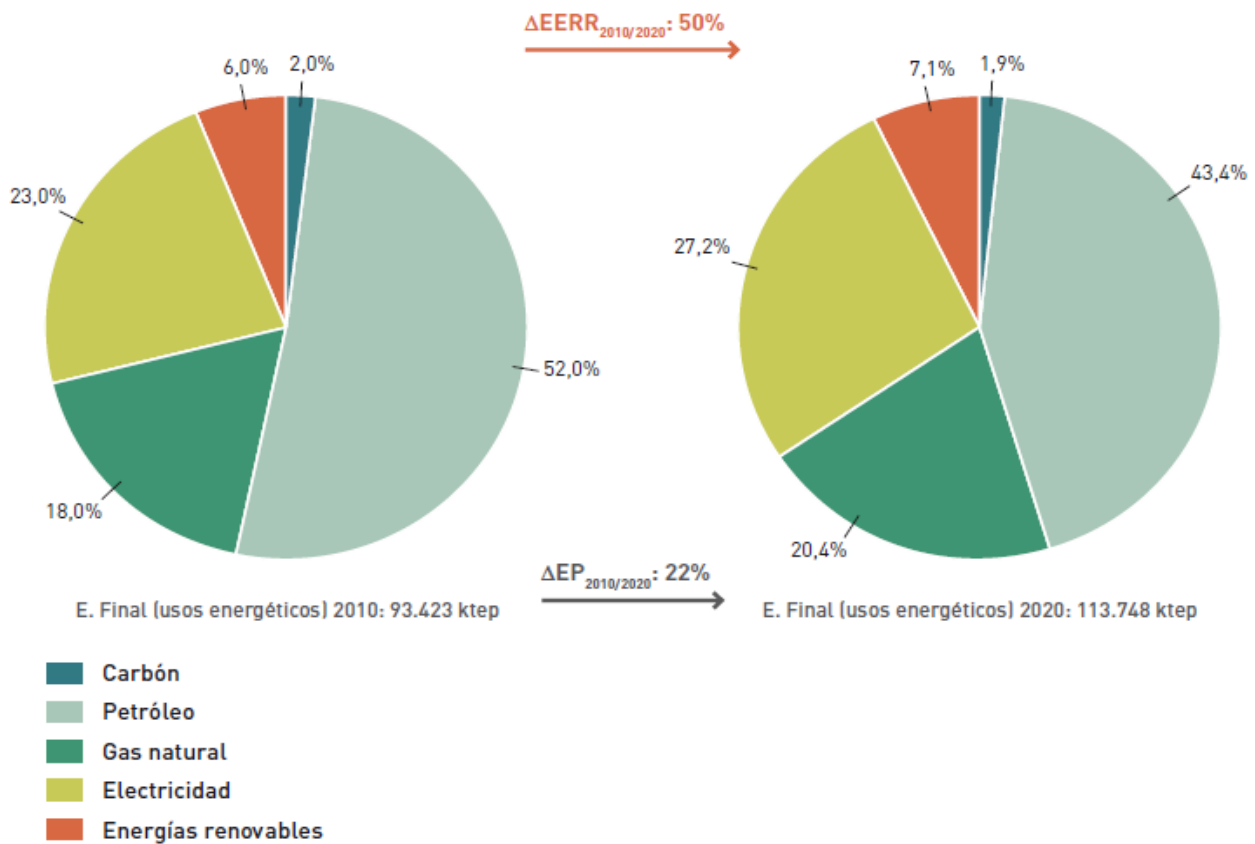


Imagen 11. Evolución de la estructura del consumo de energía final (usos energéticos). Fuente IDAE.

1.7 Eficiencia energética en edificios

En el sector de la **edificación**, las medidas adicionales a partir del 2009 van dirigidas a los edificios existentes y a los nuevos edificios, y no sólo tomando parte la envolvente térmica de éstos sino también las instalaciones de consumo energético, como la calefacción, refrigeración, iluminación, etc. Y el equipamiento de consumo de energía como los electrodomésticos.

Para los edificios existentes, el propio *Plan de Acción 2008-2012* señalaba la dificultad de implantar el reajuste energético y más aún cuando la crisis incidió, pues se hizo aún más complicada, pero cabía esperar consecuencias positivas en años posteriores sobre la creación de empleo. La rehabilitación energética se basa en:

- Rehabilitación energética de la envolvente térmica.
- Mejora de la eficiencia energética de las instalaciones de iluminación interior.
- Mejora de la eficiencia energética de las instalaciones térmicas existentes (calefacción, climatización y ACS).
- Renovación de electrodomésticos.
- Integración de energías renovables.

La aprobación de la Ley de Economía Sostenible y del Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética 2011-2020, aumentará el nivel de exigencia con la implantación de la certificación energética de edificios, de forma que cualquier edificio que no cumpla con los requisitos llevados a cabo por esta Ley, tiene como obligación la reforma de los mismos. La renovación del sector de la edificación especialmente la no residencial, se verá facilitada por los avances energéticos del mercado, también haciendo hincapié en el cambio del modelo de contratación de servicios energéticos para llevar a cabo un ahorro y eficiencia energética.

El sector de la edificación, tiene un gran peso sobre el consumo energético por ello tiene gran importancia tenerle en el punto de mira. En base a la estrategia de renovación de edificios de la Directiva 2012/27/UE relativa a la eficiencia energética, el Ministerio de Fomento ha elaborado una “Estrategia Española para la Rehabilitación Energética en el Sector de la Edificación”.

Es una estrategia a largo plazo cuyo cometido tiene mejorar el rendimiento energético del sector de la edificación, teniendo en cuenta el tipo de edificio y la zona climática donde éste se encuentre. Esta estrategia por tanto, tiende a mover importantes inversiones, las cuales son capaces de generar empleo siendo favorable para los propietarios a la hora de consumo y beneficioso para los profesionales y empresas de contratación para la realización de estas obras. Lo que conlleva nuevas oportunidades para este sector, ya que fue el más perjudicado por la crisis del 2008.

En resumen, la Estrategia tiene como cometido conseguir un mayor potencial para las empresas del sector de la construcción y de servicios energéticos, incluso también para los propietarios de las viviendas o edificios.

Medidas legislativas enfocadas a la mejora de la eficiencia energética de los edificios:

- El Código Técnico de la Edificación (CTE), la cual propone el ahorro de energía mediante la energía solar y energías renovables en los edificios, siendo aplicados a los edificios de nueva construcción y rehabilitación de los existentes.
 - Documento DB HE0: Limitación del consumo energético.
 - Documento DB HE1: Limitación de la demanda energética de calefacción y refrigeración.
 - Documento DB HE3: Eficiencia energética de las instalaciones de iluminación.
 - Documento DB HE4: Integración de energías renovables (solar térmica).
 - Documento DB HE5: Integración de energías renovables (solar fotovoltaica).

La Directiva 2010/31/UE establece que antes del 31 de diciembre de 2020, todos los nuevos edificios tengan un consumo energético casi nulo, y que antes de que termine el 2018, los edificios nuevos que estén ocupados y sean de autoridades públicas sean también edificios de consumo de energía casi nulo, nZEB. “nearly zero energy building”.

- Real Decreto 1027/2007, aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), actualizado mediante el Real Decreto 238/2013.
- Real Decreto 235/2013, aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios, debido a esto, se pusieron a disposición de todos los ciudadanos programas informáticos de calificación energética, como HULC, “Herramienta unificada Lider-Calener” (método general para edificios nuevos y existentes), y como métodos simplificados están CE3, CE3X y CERMA, siendo estos dos últimos para edificios existentes.

Además, fue aprobada la Ley 8/2013, de rehabilitación, regeneración y renovación urbana.

Planes de eficiencia energética en los edificios públicos de las Comunidades Autónomas: Todas las comunidades autónomas están en marcha realizando métodos de implantación de eficiencia energética en sus correspondientes edificios. Se pueden agrupar en tres grandes bloques: la realización de un plan de eficiencia energética en edificios públicos, la implantación de un sistema de gestión energética y contratos de rendimiento energético para financiar las renovaciones. Cada comunidad autónoma tiene un cometido, ya que esto depende de la zona climática, la industria que pueda tener, los recursos que puede adquirir, etc.

En cuanto a Castilla y León, se ha definido el “*Plan de Energía de Castilla y León hasta el 2020*”, el cual tiene como objetivo optimizar los suministros de energía eléctrica y gas natural, emprender auditorías energéticas e incorporar medidas de ahorro a través de contratar servicios energéticos.

Actuaciones de eficiencia energética para cualquier edificio:

1. Informe de Evaluación de los Edificios: regulado por la Ley 8/2013, de rehabilitación, regeneración y renovación urbana del Ministerio de Fomento, en la que los propietarios tendrán que acreditar el grado de eficiencia energética a través del certificado de eficiencia energética y el estado de conservación del edificio.
En este informe de Evaluación, el cual es obligatorio, deben disponer de un certificado de eficiencia energética los edificios de viviendas residenciales colectivos con una antigüedad superior de 50 años, en un plazo máximo de cinco años.
2. Programa de fomento de la rehabilitación de edificios de viviendas: el Real Decreto 233/2013, por el que se regula el Plan Estatal de fomento de alquiler de viviendas, rehabilitación de edificios, y la regeneración y renovación urbana para mejorar la eficiencia energética. Entre las actuaciones que pueden ser subvencionables de este programa, tenemos la mejora de la envolvente térmica, la instalación de sistemas de calefacción y refrigeración, producción de ACS y ventilación, se debe llegar a conseguir una reducción de la demanda energética anual tanto de calefacción como de refrigeración del 30% sobre la situación previa de partida para poder ser subvencionables.

Por consiguiente, el desarrollo llevado a cabo de las distintas fuentes de energías renovables en el campo de energía térmica, como biomasa, energía solar térmica, y para bombas de calor, geotermia, aerotermia y acuotermia, constituyen en su funcionamiento instalaciones muy eficientes, capaces de abastecer las necesidades

de calefacción, refrigeración y producción de agua caliente sanitaria. Todos estos avances abren muchas puertas en el sector de la edificación.

La Directiva 2009/28/CE, el sector de la edificación representa un modelo para implantar ciertas medidas para conseguir la eficiencia energética en los mismos y el uso de energías renovables. Por ello, como se ha mencionado anteriormente, el sector de la edificación cobra un papel muy importante ya que es un sector dónde hay mucho consumo. Para ello, los Estados miembros de la Unión Europea tienen como cometido conseguir:

- Instalación de equipos tanto de electricidad como de calor y frío a partir de energías renovables.
- Establecer que en el sector de la construcción haya medidas apropiadas para aumentar el uso de energía procedente de energías renovables.

La contribución total de energías renovables establecida por el Plan de Energías Renovables 2011-2020 para calefacción y refrigeración se prevé una disminución de alrededor de unos 1.000 ktep. En cuanto al sector de la biomasa, el consumo en el sector doméstico en el año 2020 alcanzará un total de 2.430 ktep, aumentando en un 12% respecto al año 2010.

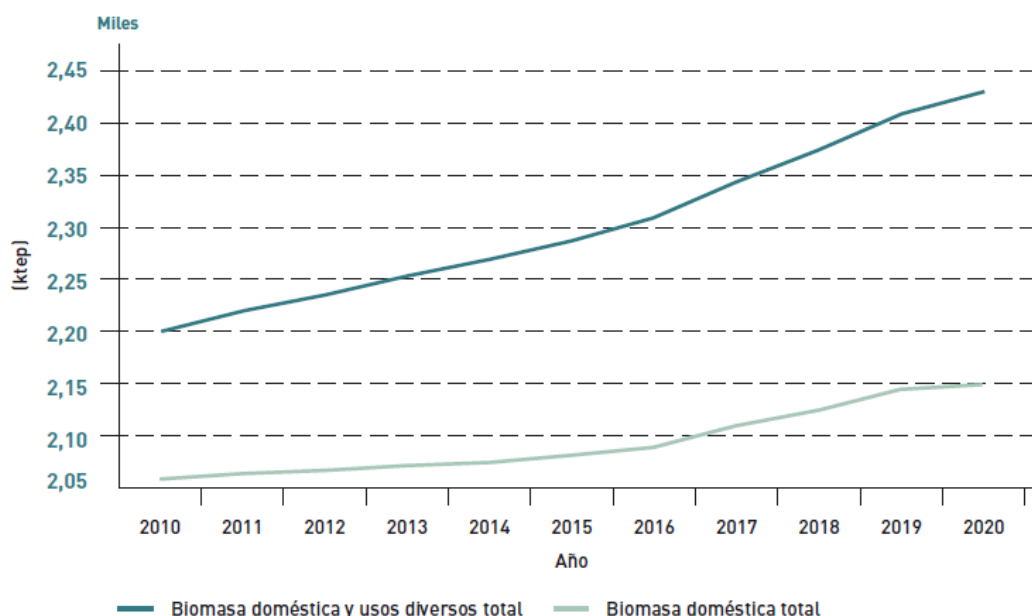


Imagen 12. Previsión de evolución de la biomasa térmica en edificios.

La contribución de energía solar térmica, se espera 644 ktep producidos por los 10.000.000 m² previstos para el 2020, lo que supone un incremento aproximado de 7.600.000 m² de servicio mediante energía solar térmica, siendo el principal responsable el sector de la edificación, derivado del cumplimiento del Código Técnico de la Edificación (CTE).

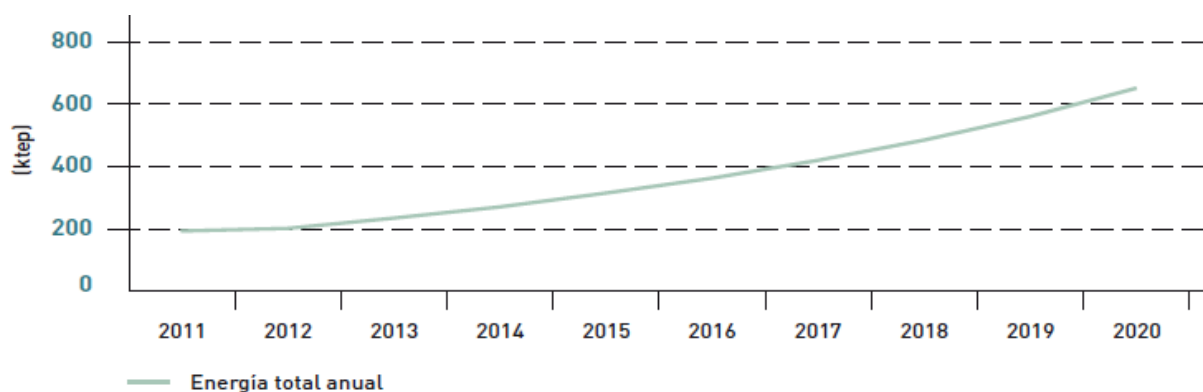


Imagen 13. Contribución de la energía solar térmica en edificios.

Basándonos en la geotermia para usos térmicos, para el año 2020 se prevé en 50 ktep, tomando parte de los proyectos de calefacción de distrito y bombas de calor geotérmicas, las cuales cada vez toman mayor importancia en estos últimos años.

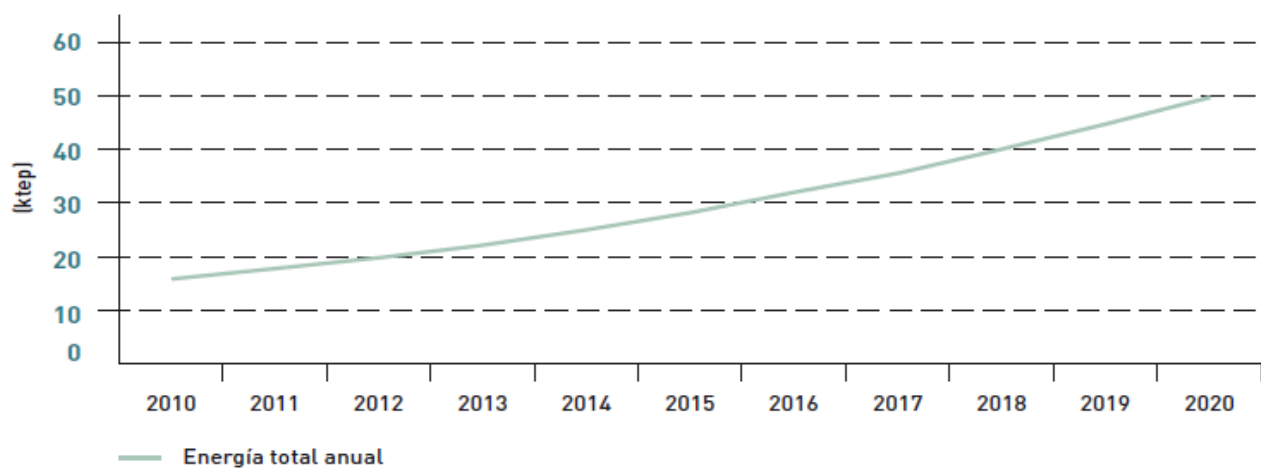


Imagen 14. Contribución de la geotermia para usos térmicos en edificios.

En la aerotermia, se estima en 10,3 ktep en el año 2020, cuyas bombas de calor que cumplan los requisitos de la Directiva Europea 2009/28/CE considerándose renovables. Este campo se centra en el sector residencial, sin considerar el sector terciario e industrial.

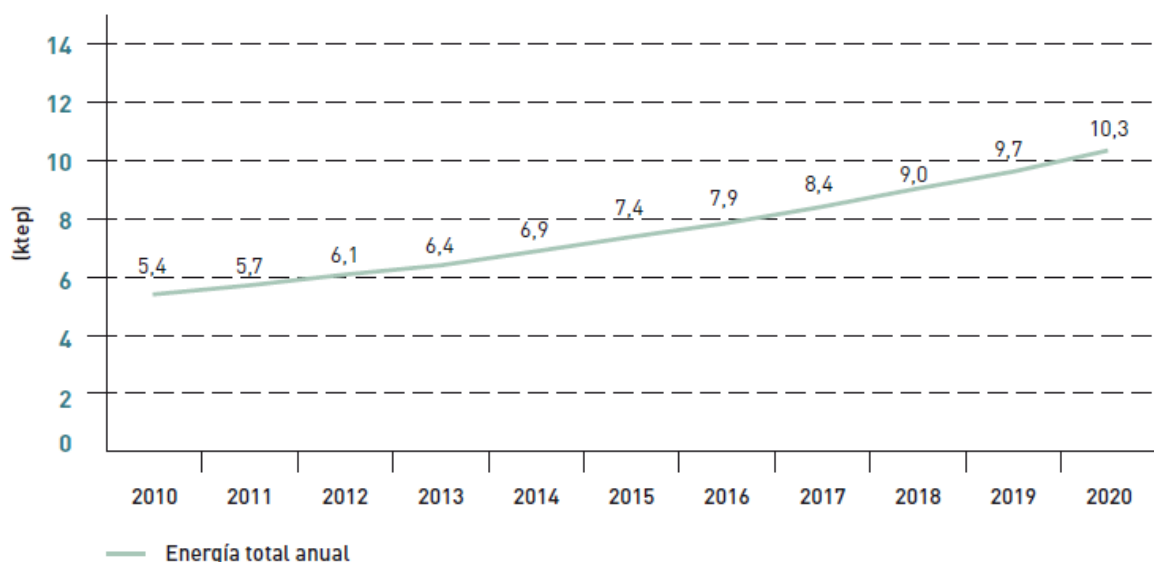


Imagen 15. Contribución de la aerotermia para usos térmicos en edificios.

1.8 Situación actual de redes de calor y frío eficientes (DH&C)

En España, la participación de este tipo de redes de calefacción es escasa, por lo que el abastecimiento a los edificios e industrias es insignificante hoy en día.

Hace 40 años, el sistema a seguir en cuanto al suministro de ACS y calefacción era disponer de una instalación térmica centralizada en los distintos edificios de viviendas. Actualmente este método se está dejando atrás, lo que ahora se convierte en un uso exclusivo, es decir, que los bloques residenciales o urbanizaciones de viviendas unifamiliares, dispongan de equipos de generación individuales para cada vivienda, pero es cierto que más recientemente aún, para introducir el uso de la biomasa se han instalado de forma singular redes de hasta 15 MW, sin ir más lejos, la red de Valladolid, suministra calor a diversos edificios de la Universidad de Valladolid, del Ayuntamiento y del gobierno Regional.

La Administración General del Estado está poniendo en marcha programas de financiación de pequeñas redes de calor y frío controladas por empresas de servicios energéticos, siendo aplicable para proyectos de biomasa, solar y geotermia. También se está llevando a cabo la aplicación de redes de climatización que combinan calor y frío, es decir, completando sus horas de trabajo en modo calefacción en invierno y produciendo frío en verano. Se espera llegar hasta 250 MW de potencia térmica en una sola red en el año 2020. Así pues, se conseguiría una contribución de energías renovables para calefacción y/o refrigeración urbana de hasta 38,6 ktep en el año 2020.

A finales de 2011, con el convenio entre el IDAE y la Asociación de empresas de redes de calor y frío (ADHAC) se empezó a fomentar la idea de implantar redes urbanas de calefacción y refrigeración en España. Como consecuencia se han identificado 306 redes censadas en el año 2016, estas redes tienen longitudes de más de 550 km.

En cuanto a la distribución de estas redes, hacen servicio a viviendas, industria y sector terciario, la mayor parte están en uso para el sector terciario, exactamente un 68,71%, seguida por el sector residencial (22,66%) y siendo el sector industrial al que menos distribuya con un 8,63%.

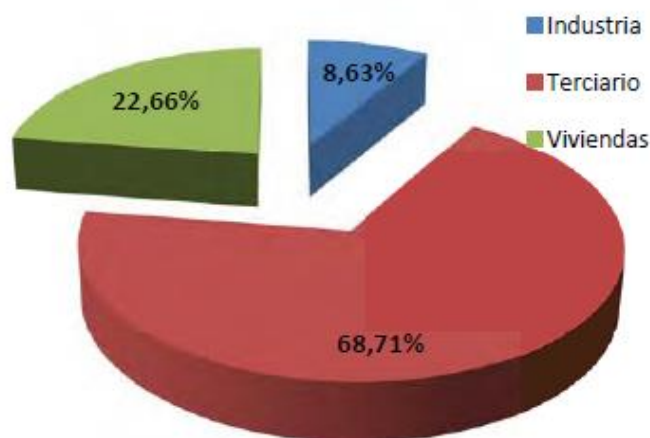


Imagen 16. Distribución de redes de calor y frío por sectores. Fuente: Asociación de Empresas de Redes de Calor y Frío (ADHAC).

Esta premisa será lograda a través de diversas reformas en los edificios e instalaciones de los mismos que usan energía. Obviamente también hay que considerar el comportamiento de los ciudadanos con respecto al gasto de energía dentro de los edificios, ya que el cambio climático es debido al mal uso que estamos dando a la energía, por lo que tenemos como misión utilizar la electricidad y los combustibles de forma eficaz y responsable. El uso adecuado de la calefacción, la climatización, el agua caliente sanitaria, etc. son de buen camino para conseguir este ahorro energético y ello conlleva a un ahorro económico.

Por consiguiente, debemos informarnos sobre nuevos equipos, técnicas, instalaciones que nos proporcionen un buen rendimiento para nuestro sistema. Estar informados de que las energías renovables como la solar, biomasa y la geotermia de baja temperatura, pueden sustituir al gasóleo y el gas natural en viviendas y edificios. Las viviendas residenciales podrían ahorrar apreciables cantidades de energía realizando ciertas actuaciones para mejorar su eficiencia energética. Al realizar estas mejoras de ahorro energético se disminuyen también los gastos económicos, eléctricos y de combustible, obteniendo una mejora para el medio ambiente.

Estudio del Consumo Energético en un District Heating (DH) de la Universidad de Valladolid

Con estas acciones prácticas se contribuye a la reducción del impacto sobre el cambio climático y la formación y crecimiento de empresas dedicadas a estos servicios, con la consecuente creación de empleo.

Capítulo 2. District Heating (DH).

2.1 Marco legislativo para redes de distrito

El número de redes de calor sigue aumentando en España, según el “Censo de Redes de Calor y Frío 2016” elaborado por la Asociación de Redes de Calor y Frío y presentado recientemente en el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, IDAE.

El nuevo Real Decreto 56/2016, de 12 de febrero de 2016 traspone la Directiva 2012/27, siendo de interés los artículos 4 y 7 referidos a redes de distrito.

Artículo 4- “Mejora de la eficiencia energética a través de redes de calefacción y frío” como una de las actuaciones dentro del Plan Estratégico para la Rehabilitación Energética de Edificios.

Artículo 7- “Mejora de la eficiencia energética a través de redes de calefacción y frío” incluida en la tabla preliminar de actuación a ejecutar dentro del sistema de obligaciones de eficiencia energética.

Todo esto se lleva a cabo para conseguir los objetivos de la estrategia europea 20/20/20.

En España se ha publicado en el 2016 el censo de redes de calor y frío por la Asociación de Empresas de Redes de Calor y Frío (ADHAC), por lo que podemos apreciar un incremento significativo en estos últimos años.

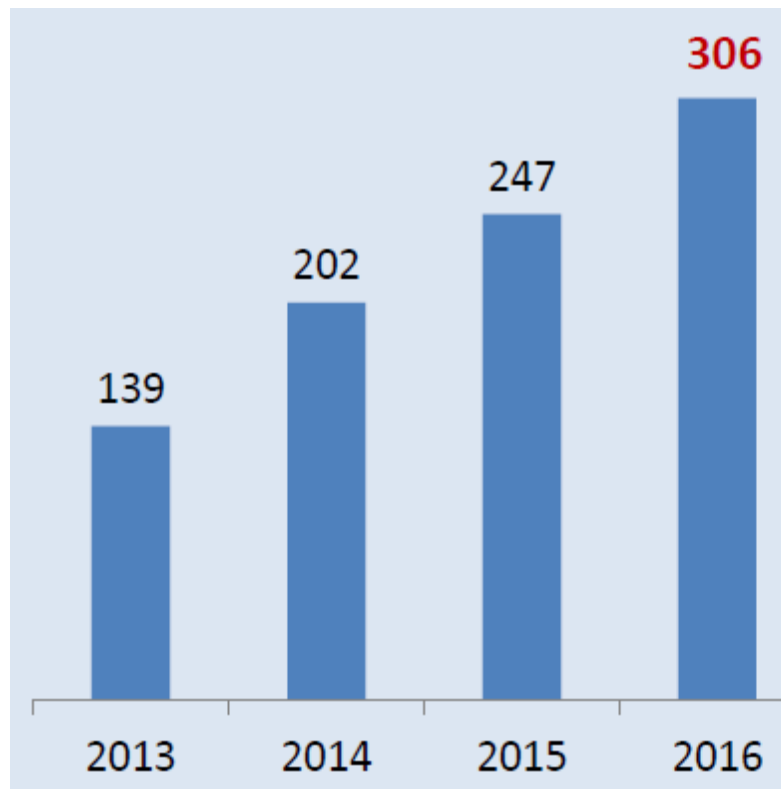


Imagen 17. Evolución del censo. Fuente: ADHAC.

En realidad, en el 2016 han sido localizadas 330 redes, de las cuales 306 son redes censadas, comprenden más de 550 kilómetros de red y proporcionan energía a 4.030 edificios. Lo que hace referencia a un ahorro de 180.000 toneladas de CO₂ al año y un ahorro medio del 82% en consumo de combustibles fósiles.

Respecto a la distribución de Comunidades Autónomas, Cataluña es la que mayor número de redes tiene, 103 exactamente. Seguida por Castilla y León, con una disposición de 44 redes.

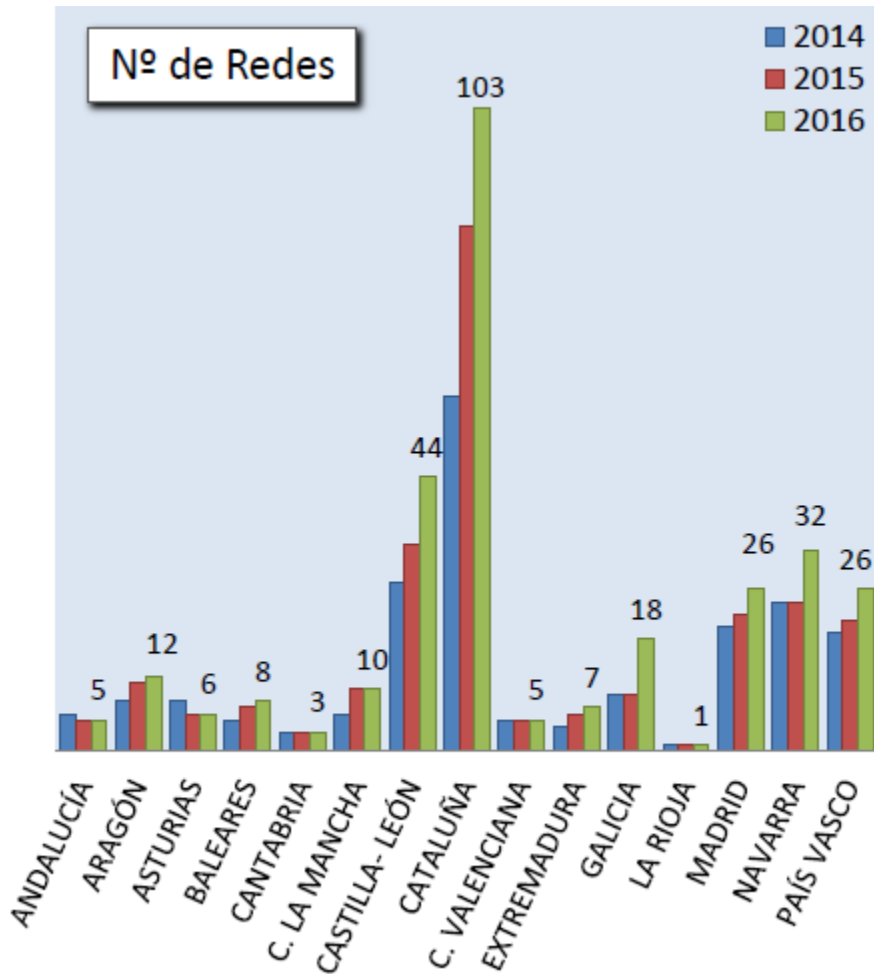


Imagen 18. Evolución de las redes en España. Fuente ADHAC.

Esto hace que Cataluña tenga un 33,7% del total de redes españolas, mientras que Castilla y León comprenden un 14,4%.

En cuanto al tipo de suministro, destaca la red de sólo Calor, siendo coherente por el tipo de clima del que dispone el sistema español. Hay 227 redes de calor, 3 de Frío y 26 mixtas, es decir, combinan calor y frío.

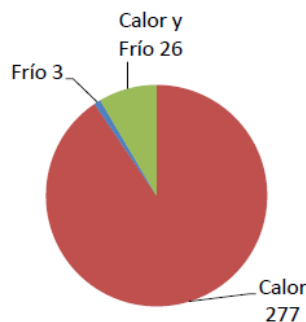


Imagen 19. Distribución de tipos de redes. Fuente: ADHAC.

Estas 306 redes instaladas comprenden un total de 1.219 MW instalados, en las que las redes de Calor y Frío son las que mayor potencia instalada tienen. Las redes de

calor cubren 494,3 MW instalados del total, 6,9 MW de frío y 717,8 MW de Calor y frío (mixtas). En términos absolutos hay una clasificación del 73% de calor y 27% de frío, cubriendo el calor el mayor porcentaje de suministro.

Por otro lado, 225 instalaciones son redes renovables, lo cual significa el 74% de éstas, de las cuales 218 son de biomasa, 2 de biogás, 2 de geotermia, 2 de calor residual y una de biomasa/fotovoltaica. Por lo que 81 redes de son de energías no renovables, las cuales comprenden un 26% del total.

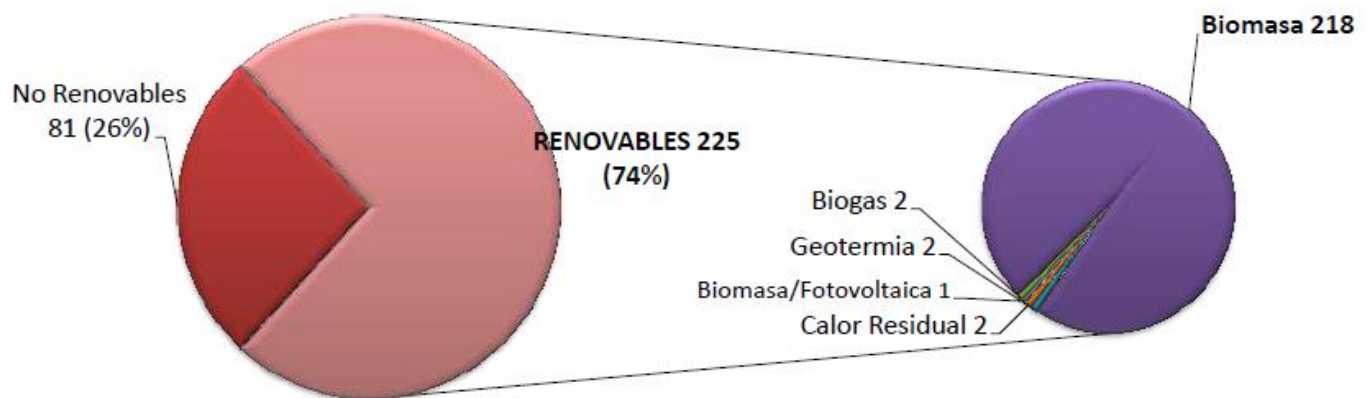


Imagen 20. Distribución de las redes según el tipo de suministro. Fuente ADHAC.

2.2 ¿Qué es un District Heating (DH)?

Una red de calefacción urbana, en inglés denominada *District Heating (DH)*, es un sistema que suministra energía térmica en forma de calor para el uso de calefacción y ACS, también sirve para suministrar frío para refrigeración, que en este caso se denominaría *District Cooling (DC)* y si fuese una red mixta, en la que pudiese suministrar tanto frío como calor, estaríamos hablando de un *District Heating and Cooling (DH&C)*.

El suministro es a través de una red de dobles tuberías aisladas subterráneas desde la central térmica, la cual es la central dónde se produce el calor hasta los edificios, conjunto de edificios o viviendas que se quieran abastecer. De modo que se evita el uso de calderas individuales en cada punto de abastecimiento.

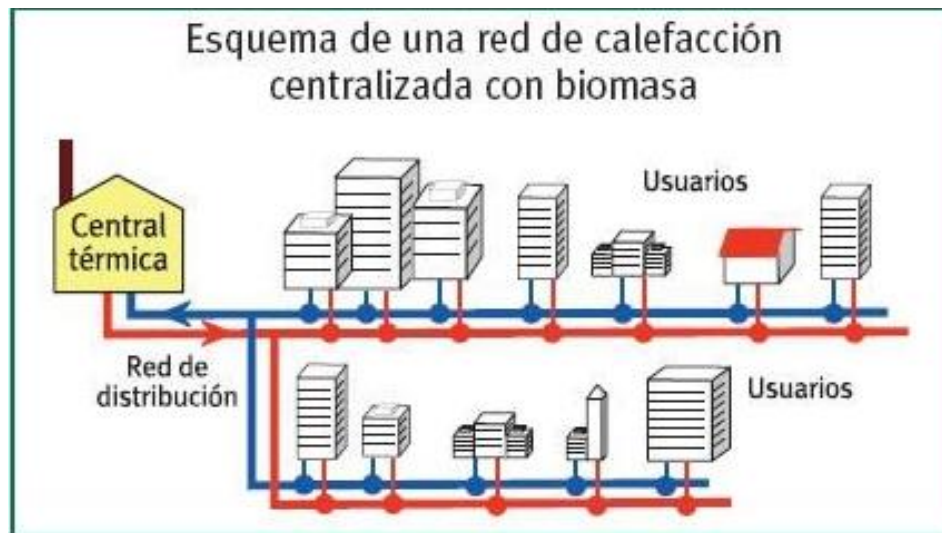


Imagen 21. Esquema de una red de calefacción centralizada con biomasa. Fuente Agenbur.

2.3 Tipos de DH

2.3.1 District Heating con Biomasa

La biomasa es materia orgánica que se utiliza como fuente de energía, y abarca tanto como madera prensada, como astillas, huesos de aceitunas, cascaras de frutos secos, residuos forestales, biocarburantes, etc.

El carbono de la biomasa es captado de las plantas durante su crecimiento procedente de la atmósfera. Por ello, la combustión de la biomasa tiene un balance neutro de dióxido de carbono, a diferencia de los combustibles como el gas o el gasoil, los cuales alteran la atmósfera y empeoran el medio ambiente.

Las redes de distrito son claves para el uso de la biomasa. Las calderas de biomasa llegan a conseguir rendimiento de hasta un 95%, trabajando en un amplio rango de potencias y contando con sistemas de alimentación continua y tienen automatizado el sistema de alimentación del combustible a las calderas, la limpieza y la compactación de las cenizas.

2.3.2 District Heating con cogeneración

La cogeneración (combined Heat and Power) es la tecnología de producción energética más eficiente que existe. Consiste en la producción simultánea de calor y electricidad.

El rendimiento de una planta de producción eléctrica es de alrededor del 40%, siendo un 60% de éste, energía expulsada a la atmosfera en forma de calor. Con la cogeneración se aprovecha el calor residual para varios usos, como ACS y calefacción, adquiriendo rendimientos mayores que un 80%.

Debido a sus tamaño, producción y uso, las redes de distrito son idóneas para la cogeneración. Los usuarios pueden usar la electricidad generada para consumirla o bien venderla a la Red Eléctrica.

El beneficio esencial para el usuario es la obtención de electricidad a mejor precio, consiguiendo mayor seguridad en el suministro.

2.4 ¿Cómo está compuesto un DH?

El sistema District Heating consta de los siguientes componentes:

- La central térmica.
- La red de distribución de tuberías.
- Las subestaciones de transmisión térmica en los edificios.

La *central térmica* varía en función de la generación, así como de la fuente energética que utilice. Esta central de generación puede producir calor o frío en la que se realiza de manera centralizada, de esta manera pueden eliminarse los equipos individuales en los puntos de consumo. La central térmica funciona de un modo automatizado, en función de la demanda que se requiera. Las variaciones de demanda son detectadas por un sistema de control digital situados en la central y en cada una de las subestaciones térmicas de los edificios a suministrar. La central térmica debe estar ubicada en una construcción exclusiva para su uso. La planta térmica tiene que contener todos los elementos necesarios con la maquinaria requerida para la correcta generación de calor, junto con los grupos de bombeo adecuados para la impulsión del fluido calo-portador hasta los distintos puntos de consumo.

La *red de distribución de tuberías* hace posible la distribución de la energía térmica formada principalmente por tubos aislados con el objetivo de minimizar las pérdidas térmicas. Mediante agua se transporta la energía hasta los puntos de consumo cediendo de esta manera el calor, es decir, enfriamiento del fluido, para el caso de redes de calefacción, (o bien absorbiendo calor, es decir, calentando el fluido, para el caso de refrigeración). La red también dispone de un circuito de retorno a la misma central. Las tuberías son subterráneas y siguen el trazado de las calles hasta llegar al lugar de abastecimiento. Si la red de distribución fuese para un sistema mixto, es

decir, que combinara tanto calefacción como refrigeración, constaría de cuatro tubos.



Imagen 22. Tuberías pre-aisladas para una red de distrito. Fuente ADHAC.

Las *subestaciones* tienen como misión la transferencia térmica entre la red de distribución y los edificios o viviendas. La subestación está en la planta baja del edificio conectada a la red de distribución permitiendo la transferencia de calor a través de un intercambiador de calor entre la red primaria y secundaria. La subestación tendrá un equipo de regulación y control para el correcto funcionamiento, así también consta de un contador de medición de energía térmica para la facturación del consumo del edificio. Dependiendo del tipo de subestación, pueden también disponer de equipos de intercambios de temperatura o de almacenamiento. En función de la demanda requerida, la subestación variará su tamaño según la potencia que se necesite.



Imagen 23. Subestación en el sótano de un edificio. Fuente ICESA.

2.5 Tipo de configuración de las redes

Las redes de distrito se pueden clasificar de diferentes modos, siguiendo sus características.

Si nos centramos en la forma en la que la central de generación debe conectarse a cada punto de consumo, para llevar a cabo este tipo de abastecimiento puede configurarse de distintas maneras. Dependerá esencialmente en:

- Demanda térmica que deberá abastecer el sistema DH&C.
- Geometría de la red de distribución, diseño de la tubería, conexiones y estaciones de bombeo.
- Funcionamiento de la red en función del caudal y las temperaturas de impulsión o retorno.

También, los circuitos de un sistema dependerán en cierto modo del sector al cual tenga que abastecer. Si contamos con una red que sólo abastece calefacción y agua caliente sanitaria o una red que sólo ofrezca distribución de frío para satisfacer las necesidades de aire acondicionado, en ambos casos la red constaría de dos tubos, uno de impulsión y otro de retorno. En cambio si el sistema ofrece tanto frío como calor, en este caso la red sería de cuatro tubos, dos destinados a calefacción y ACS y otros dos para frío.

Las redes de distrito se pueden clasificar según:

- El trazado.
- Los circuitos.
- Los sectores abastecidos.

2.5.1 Según el trazado

La red de distribución puede configurarse de tres maneras diferentes según el trazado que tenga.

- Trazado ramificado: Cada parcela se conecta a una única central generadora mediante una única vía de suministro. Son redes simples pero difíciles de ampliar y de baja capacidad de respuesta ante una avería.
- Trazado en malla: el consumidor está conectado a la central mediante varias vías alternativas. En caso de tener varias centrales próximas, puede conectarse a más de una, es un trazado complejo y de coste más elevado

aunque es una red mucho más fiable. Esta red sería para casos en los que el suministro sea muy estricto o en el cual las redes sean muy grandes.

- Trazado en anillo: es una solución de trazado ramificado en la que el punto final de la red también puede estar conectado con el inicio por cuestiones de seguridad en el suministro. Sería una solución mixta a los dos tipos anteriores.

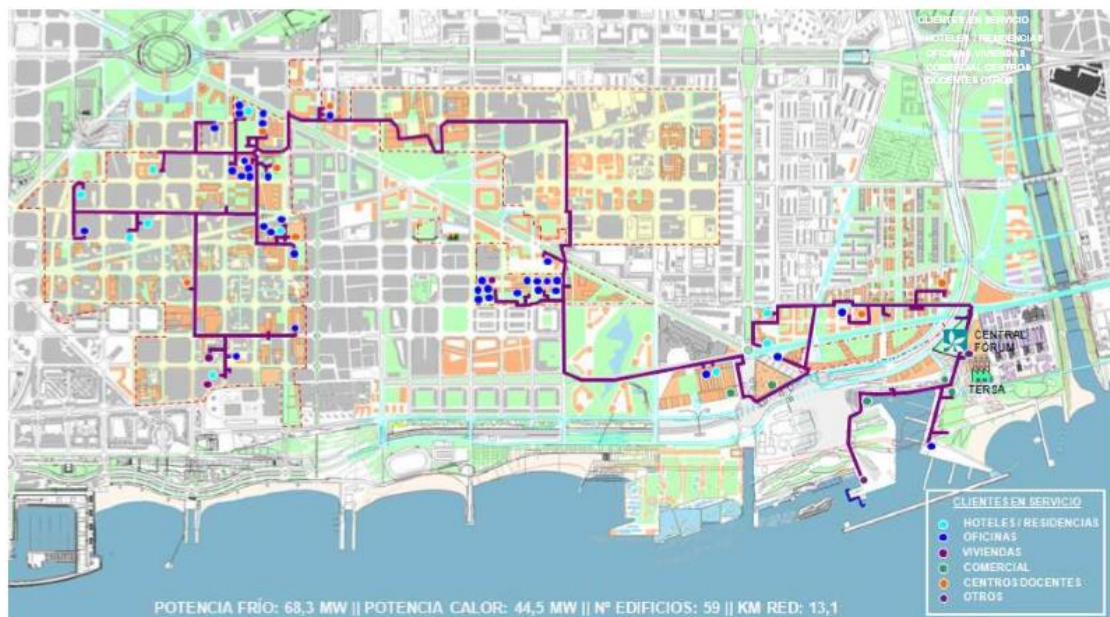


Imagen 24. Ejemplo de red con trazado ramificado. Fuente DISTRICLIMA.

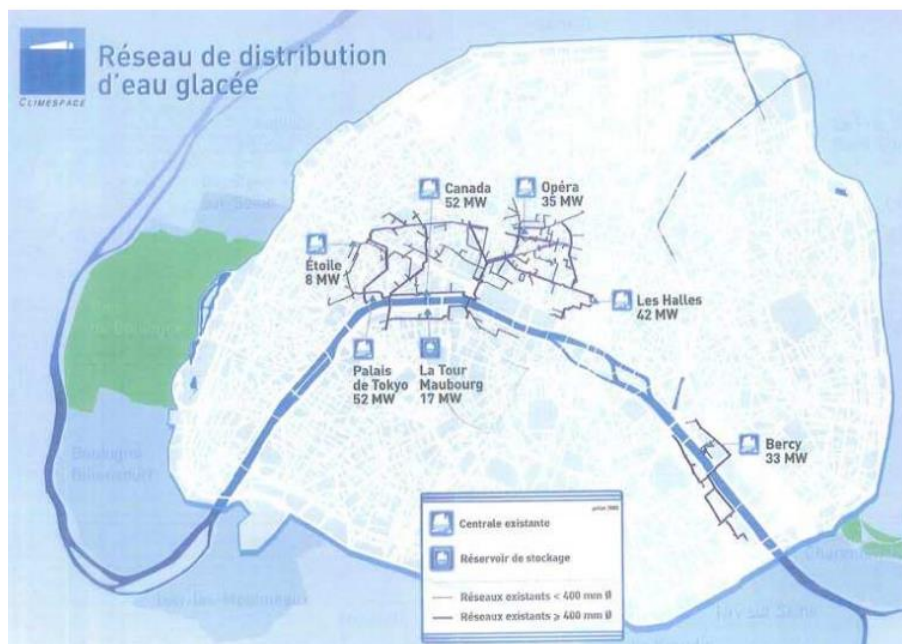


Imagen 25. Ejemplo de red con trazado en malla. Fuente DISTRICLIMA.



Imagen 26. Ejemplo de red con trazado en anillo. Fuente UVA.

2.5.2 Según los circuitos

Una vez elegida la forma de trazado de la red, la energía puede distribuirse según la cantidad de tuberías que lleguen al punto de consumo.

- Sistemas de dos tubos: una tubería de impulsión hacia el punto de consumo y otra de retorno a la central de generación. Estos sistemas solo sirven para un solo uso, calor o frío.
- Sistemas de tres tubos: en este sistema, dos tubos serían de impulsión, una tubería llevaría agua fría y otra agua caliente, y la tercera y última sería de retorno de las dos anteriores. Este sistema tiene la ventaja de que disminuye los gastos de inversión inicial de las tuberías. De todos modos son sistemas muy poco utilizados ya que disminuye considerablemente la eficiencia energética debido a la mezcla del fluido caliente y frío en la tubería de retorno a la central de generación.
- Sistemas de cuatro tubos: son sistemas destinados para cuando se quiere abastecer simultáneamente las demandas de calefacción y refrigeración, generándose ambos tipos de energía en la misma red, la cual sería una red DH&C, que es la red más habitual. De este modo, habría una tubería de impulsión y otra de retorno, tanto para calefacción como para refrigeración.

Es un sistema de elevada inversión inicial pero es mucho más flexible que los anteriores.

2.5.3 Según los sectores abastecidos

Se distinguen dos grandes sectores:

- Residencial y comercial: las redes de distrito pueden abastecer a viviendas y a edificios comerciales o del sector terciario. Es preciso tener en cuenta que las viviendas, si se contratan individualmente, representan una gran cantidad de puntos de consumo, lo que complicaría la facturación. Una solución sería el suministro a comunidades de vecinos. Para una población dispersa, este caso puede ser un inconveniente en cuanto a rentabilidad económica de la red, ya que es más eficiente la intensidad de consumo por unidad de superficie de suelo, es decir, áreas urbanas con mucha concentración de población.
- Industrial: hay redes de distrito ubicadas por ejemplo en polígonos para poder abastecer estos puntos de consumo. Una de las diferencias respecto al otro tipo de redes de distribución son las temperaturas de operación, ya que son más altas y también que el fluido calo-portador podría ser vapor o incluso CO₂.

2.6 Tipos de configuración de las subestaciones

Existen dos tipos de configuración según el circuito secundario de toda la red.

Se encuentran los *sistemas directos*, dónde el fluido entra directamente en los radiadores de sus puntos de consumo. Los sistemas directos de DH funcionan con temperaturas de alimentación (tf) y de retorno (tr) en el rango de $tf/tr = 85/65^{\circ}\text{C}$ a $tf/tr = 68/34^{\circ}\text{C}$.

Y los *sistemas indirectos*, dónde el agua del District Heating no se utiliza directamente, sino que tiene que pasar por un intercambiador de calor antes de entrar el fluido en el radiador de la zona para calefactar. Estos sistemas a diferencia de los sistemas directos, pueden trabajar a temperaturas más altas, en algunos casos hasta $140/75^{\circ}\text{C}$. Cuanto mayor sea la temperatura entre la alimentación y la de retorno, menor será el caudal requerido. En la siguiente gráfica se aprecia los diferentes tamaños de tuberías cuando se opera con distintas temperaturas.

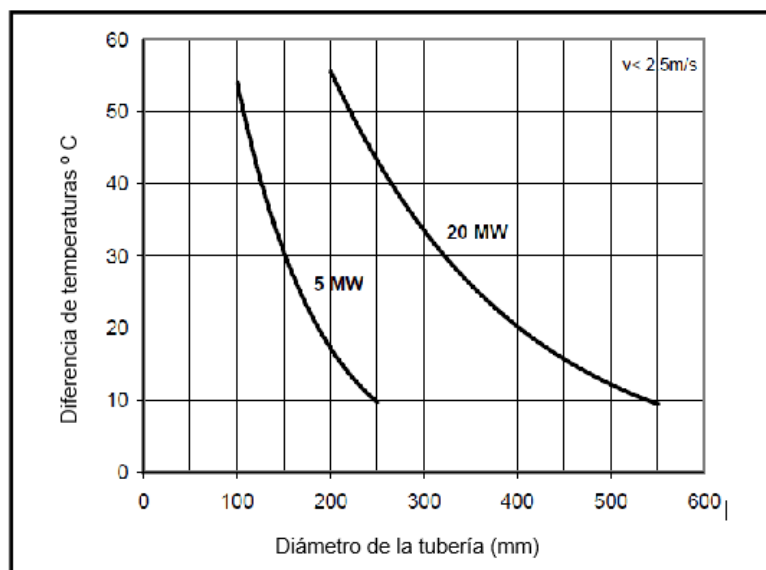


Imagen 27. Comparación entre el diámetro de la tubería y la diferencia de temperaturas.

Siempre se tratará de conseguir una temperatura de retorno lo más baja posible para minimizar el bombeo.

2.6.1 Subestaciones de transmisión térmica

Las subestaciones son pequeñas instalaciones colocadas en el sótano del consumidor. Este tipo de configuración permite un mejor control de fugas, quedando restringido el proceso en un sistema primario, que es la red comprendida desde la central hasta las subestaciones, y un sistema secundario, que comprende desde las subestaciones hasta la vivienda o edificio de cada propietario.

Todos los edificios se conectan a la red en paralelo, teniendo las mismas condiciones de suministro. En el intercambio de calor no se produce intercambio de fluido ni de presión, mediante el cual se cede calor a los terminales para el servicio de calefacción y ACS. El uso de intercambiadores de calor además de reducir los costes, también reduce la disposición de espacio y las pérdidas permanentes de los tanques de agua caliente.

El agua caliente sanitaria generada en los intercambiadores de calor significa que el agua se puede producir de manera instantánea y constante. Por ello no es frecuente tener tanques de almacenamiento de agua caliente, ya que habría que tener en cuenta la generación de bacterias en dichos tanques de agua. Lo que se suele hacer es que el agua caliente sanitaria se realice a través de un sistema de distribución separado para este propósito, suministrando de esta forma, el agua directamente a los grifos de los edificios.

La instalación tiene sistemas propios de control y medida de consumo, ofreciendo:

- *Regulación automática:* cómo funciona de modo automatizado, son los consumos de los usuarios los que, mediante la alteración de las condiciones de la red, regulan el funcionamiento de la central térmica. El regulador mantiene constante la temperatura en la red.
- *Control individual:* se instala un programador termostático convencional, entonces cada usuario puede poner las condiciones necesarias para su confort.
- *Facturación individual:* como hay mediciones de los consumos de cada usuario, el sistema permite la facturación individual de casa usuario.

Como bien se ha mencionado, en las subestaciones se entrega la energía del DH&C desde la red de distribución a la instalación interior del cliente. Por lo que sustituye las calderas convencionales, y está formada por los elementos de intercambio de energía (intercambiadores), sistema de medición de la energía entregada, elementos de control, accesorios y válvulas.

Según las necesidades a abastecer hay dos tipos de subestaciones, tanto para calor como para frío.

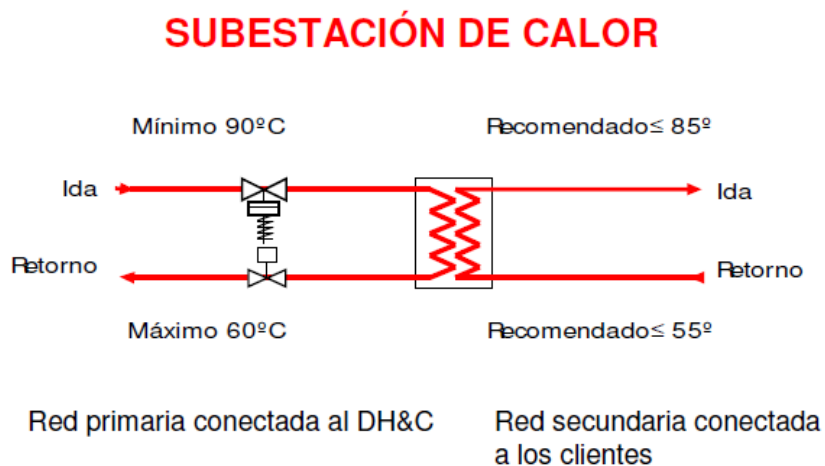


Imagen 28. Ejemplo de esquema de principio de una subestación de calor. Fuente ADHAC.

Como se aprecia en la imagen, en la subestación de calor, en la red primaria, la tubería de impulsión deberá como mínimo de llevar el fluido calo-portador a 90 °C, y tener un máximo de 60 °C en la tubería de retorno. En cuanto a la red secundaria, la red conectada a los usuarios, lo recomendado es una temperatura menor de 85 °C y en la tubería de retorno, una temperatura menos de 55 °C.

SUBESTACIÓN DE FRÍO

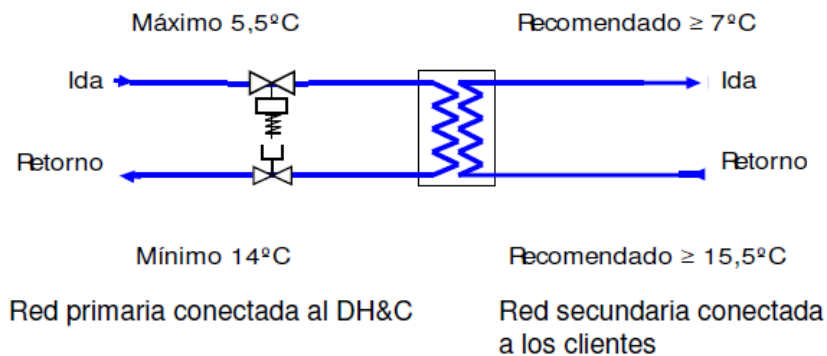


Imagen 29. Ejemplo de esquema de principio de una subestación de frío. Fuente ADHAC.

Para subestación de frío, en la red primaria, la tubería de impulsión deberá como máximo de llevar el fluido calo-portador a 5,5 °C, y tener un mínimo de 14 °C en la tubería de retorno. En cuanto a la red secundaria, la red conectada a los usuarios, lo recomendado es una temperatura mayor de 7 °C y en la tubería de retorno, una temperatura mayor de 15,5 °C.

2.6.2 Ejemplo de algunas subestaciones

La siguiente subestación tiene separados los circuitos de calefacción y ACS.

Este tipo de subestación mejora el salto térmico en el circuito primario. Se puede apreciar la simplicidad térmica, el ahorro de espacio y las facilidades de intervención en cuestión de mantenimiento.

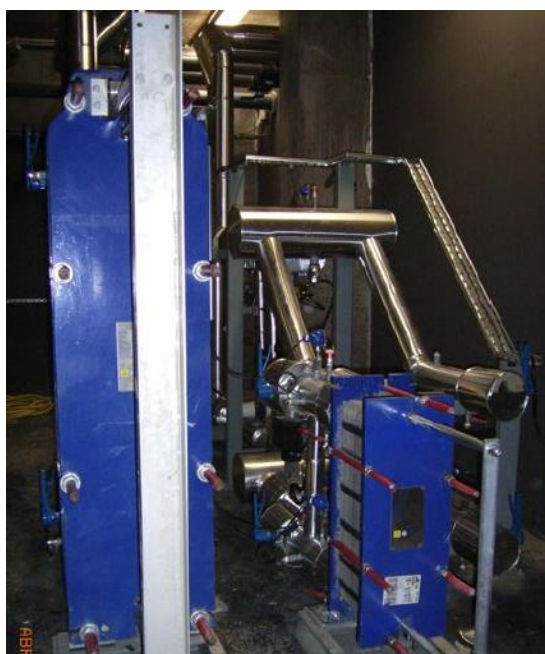


Imagen 30. Subestación de calor con separación de circuitos de calefacción y ACS. Fuente ADHAC.

También puede haber subestaciones con aislamiento térmico en la válvula.



Imagen 31. Subestación de calor con aislamiento térmico en la valvulería. Fuente ADHAC.

En la siguiente subestación se aprecia el aislamiento térmico en los intercambiadores:



Imagen 32. Subestación de calor con aislamiento térmico en el intercambiador de calor. Fuente ADHAC.

Desde el punto de la red más próximo a la vivienda se tiende una acometida. Una vez en la vivienda se ubica una subestación de transmisión térmica, formada por un sistema de intercambio de calor, sin intercambio de fluido ni de presión. A través de este intercambiador se cede el calor a la red de calefacción existente en la vivienda y agua caliente sanitaria. En estas subestaciones se encuentra un contador de energía mediante el cual se realizará la medición del consumo para realizar su posterior facturación.

Esta subestación para una vivienda tiene unas medidas aproximadas de 75 cm de largo por 55 cm de ancho y 30 cm de profundidad.



Imagen 33. Subestación de calor para una vivienda. Fuente ADHAC.

Para concluir, las subestaciones de un DH cubren una potencia de transmisión térmica de hasta varios megavatios. Disponen de varios componentes imprescindibles para la conexión del sistema del consumidor a su red de calefacción de distrito.

Los sistemas se fabrican en función de los requisitos de la red. El uso de subcomponentes normalizados garantiza:

- Alto grado de eficiencia.
- Un diseño compacto.
- Elevada calidad.
- El cumplimiento de las especificaciones.
- Unos parámetros determinados de temperatura y presión.
- Una baja vibración y un diseño con aislamiento acústico.

Los sistemas generalmente son montados en un bastidor, pudiéndose elegir entre el montaje en el suelo o en la pared. En ambos casos, se garantiza el acceso frontal a todos los componentes y al sistema de control para conseguir facilidad de uso y mantenimiento.

Las subestaciones grandes que disponen de varios subcomponentes para el lado secundario, como distribuidores de circuitos de calefacción o sistemas de preparación de agua caliente sanitaria, se suministran en módulos instalados en varios bastidores.

Ventajas del suministro de componentes ensamblados:

- Facilidad del montaje in situ.
- Conector integrado para el equipo de medición, control y regulación.
- Subestaciones con cableado eléctrico.
- Seguridad.
- Gran capacidad de transmisión en espacios reducidos.

2.7 Beneficios de la red de calefacción centralizada

2.7.1 Beneficios para el promotor

- Reducción del coste de ejecución de obra civil.
- Reducción del coste de ejecución de las instalaciones, ya que aprovecha la economía de una central térmica frente a varias salas de calderas o varias calderas individuales.
- Disminuye el tiempo de instalación y montaje.
- Se dispone de más superficie útil.
- Aumenta el valor añadido del producto.
- Permite obtener subvenciones dentro de los programas de Eficiencia Energética y Energías Renovables.

2.7.2 Beneficios para los usuarios

- Reduce el coste de explotación y mantenimiento de la instalación.
- Reduce la potencia instalada por vivienda y el combustible consumido por vivienda.
- Se evitan los problemas asociados al bajo rendimiento en calderas antiguas.
- No es necesario el almacenamiento de combustible en el edificio, con los cargos que conlleva se seguridad, suciedad y espacio.
- Reduce el ruido de las instalaciones en los edificios.
- Reducción de posibles averías.
- Disponibilidad de mayor potencia.

2.7.3 Beneficios para el medio ambiente y la sociedad

- Mejora la eficiencia energética de la instalación.
- Reduce las emisiones de CO₂ y gases de efecto invernadero.
- Posibilita el uso de biomasa, que es un tipo de energía renovable.
- Posibilita la cogeneración.
- Reducción del consumo global de agua y de productos químicos.
- Generación de empleo.

Capítulo 3.

Estudio del District Heating de la Universidad de Valladolid.

3.1 Ubicación

La Central Térmica es una edificación modular de dos naves adosadas de 1.400 m². En una nave se encuentran las calderas y en la otra es el silo almacén del biocombustible. El silo dispone de sistemas automáticos de movimiento y transporte, desde los camiones de transporte hasta los sistemas de alimentación de la sala de calderas.

La Planta se ubica en el extremo norte del Campus Miguel Delibes de la Universidad de Valladolid.

Los edificios conectados a la red de distrito comprenden 23 edificios de dos campus diferentes de la universidad de Valladolid, 3 edificios del ayuntamiento de Valladolid, 4 de la Junta de Castilla y León y el Hospital clínico Universitario, lo que comprenden un total de 31 edificios conectados a la red de distrito.

Dentro del *Campus Universitario Miguel Delibes* se encuentran:

- Apartamentos Cardenal Mendoza (D1 y D2): disponen de dos salas de calderas de gas natural con una potencia total de 1.595,35 kW.
- Centro de Transferencia Tecnológica (D3): disponen de tres calderas de gas natural con una potencia total de 348 kW. La producción de ACS se realiza de forma central y se distribuye mediante la red de recirculación, teniendo ayuda por parte de la energía solar térmica.
- Aulario Miguel Delibes (D4): tiene dos calderas con una potencia total de 1.140 kW.
- Edificio IOBA (D5): tiene dos calderas que utilizan gas natural teniendo una potencia total de 81,40 kW.
- Nueva Facultad de Ciencia (D6): consta de dos calderas de gas natural con una potencia total de 1.162,79 kW.
- Telecomunicaciones e Informática (D7): consta de tres equipos de combustión de gas natural con una potencia total de 1.953,49 kW.
- Edificio Quifima (D8): consta con dos equipos de gas natural con una potencia total de 465,12kW, el cual sólo tiene calefacción.
- Gimnasio Universidad (D9): dispone de cuatro equipos iguales de gas natural para proporcionar calefacción y ACS, tienen una potencia total de 506,98 kW.
- Centro de Idiomas (D10): tiene sólo un equipo de combustión de gas con una potencia de 325,98 kW de calefacción.
- Edificio de Facultad de Educación y Trabajo Social (D11): tiene dos calderas de gas natural con una potencia total de 1.000 kW para calefacción.

- Edificio de I+D (D12): consta de dos equipos de gas natural con una potencia total de 802,33 kW para calefacción.

Dentro del *campus Universitario Río Esgueva* se encuentran:

- Edificio de Servicio de Mantenimiento (E1): tiene una caldera de gasóleo con una potencia de 290,70 kW para calefacción.
- Escuela Universitaria de Empresariales (E2): consta de tres calderas de gasóleo cuya potencia total es de 988,37 kW para el uso de calefacción.
- Facultad de Filosofía y letras (E3): tiene dos calderas de gas iguales con una potencia conjunta de 930,23 kW para calefacción.
- Escuela de Ingenierías Industriales (Sede Mergelina) (E4): consta de dos salas de calderas para funciones diferentes. En la sala (E4/1) hay dos calderas de gasóleo con una potencia total de 2.383,72 kW para calefacción. En la otra sala, (E4/2) hay una calderas de gasóleo con potencia de 755,82 kW para calefacción.
- Edificio Alfonso VII (E5): dispone de dos calderas de gasóleo de 2.325 kW para calefacción, y un tercer equipo de 300 kW para la generación de ACS.
- Edificio Colegio F.M. Santa Cruz (E6): tiene dos equipos de gas con una potencia total de 716,28 kW tanto para calefacción como para ACS.
- Edificio IBGM (E7): tiene dos calderas de gas natural con una potencia total de 465,12 kW tanto para calefacción como para ACS.
- Facultad de Ciencias de la Salud (E8): consta de cuatro calderas para cuatro zonas.

Zona de anatomía (E8/1) tiene dos calderas de gas natural para calefacción y ACS, cada caldera tiene una potencia de 265 y 75 kW respectivamente.

Zona de cuerpo central (E8/2) tiene dos equipos de gas natural para calefacción, cada caldera tiene una potencia de 265 y 705 kW respectivamente.

Zona derecha (E8/3) tiene dos equipos de gas natural para calefacción con una potencia total de 570 kW.

Zona izquierda (E8/4) tiene dos equipos de gas natural para calefacción y ACS, cada caldera tiene una potencia de 265 y 175 kW respectivamente.
- Facultad de Económicas (E13): tiene dos calderas de gas natural con una potencia total de 1.604,65 kW para calefacción.
- Aulario Campus Esgueva (E14): tiene dos calderas de gasóleo para calefacción con una potencia de 406,97 kW.
- Edificio Escuela de Ingenierías Industriales (Sede Paseo del Cauce) (E15): tiene dos calderas de gas natural para calefacción con una potencia total de 666 kW.

Edificios del Ayuntamiento

- Polideportivo Miriam Blasco (A1): tiene dos calderas de gas natural con una potencia total de 70 kW tanto para calefacción como para ACS.
- Colegio García Lorca (A2): consta de dos calderas de gasóleo para calefacción con una potencia total de 475 kW.
- Centro Cívico (A3): tiene una sola caldera para abastecer calefacción con una potencia de 70 kW.

Edificios de la Junta de Castilla y León (Deportes)

- Residencia Río Esgueva (J1): tiene tres calderas de gas natural con servicio de calefacción y ACS, con una potencia total de 617,40 kW.
- Centro de Atletismo de Alto Rendimiento (J2): tiene dos calderas iguales de gas natural con servicio de calefacción y ACS, con una potencia total de 1.541,80 kW.
- Piscinas Climatizadas Río Esgueva (J3): tiene tres calderas iguales de gas natural con servicio de calefacción y ACS, con una potencia total de 2.093,10 kW.
- Pabellón Polideportivo Río Esgueva (J4): dispone de un sistema de climatización eléctrico para dar servicio de calefacción y ACS. La potencia de la instalación es de 130 kW.

Edificios de la Junta de Castilla y León (Sanidad)

- Hospital Clínico Universitario (C1): Ha tenido que ser necesario instalar una nueva caldera en la central térmica de 4,7 MW para poder abastecer el Hospital Clínico Universitario, el cual entró en funcionamiento con la red en Septiembre de 2017.

3.2 Condiciones Climáticas Externas

El District Heating se establece en la provincia de Valladolid, tiene una altitud sobre el nivel del mar de 735 metros y una latitud de 41°39'00''.

Las condiciones de calefacción son las siguientes:

TSMIN (°C)	TS_99,6(°C)	TS_99(°C)	OMDC(°C)	HUMcoin(%)
-10,8	-4,1	-2,8	10,5	89

Tabla 3. Condiciones de proyecto para calefacción. Temperatura seca exterior mínima. Fuente IDAE.

TSMIN: temperatura seca (°C) mínima registrada en la localidad.

TS (99,6%): temperatura seca (°C) de la localidad con un percentil del 99,6%.

TS (99%): temperatura seca (°C) de la localidad con un percentil del 99%.

OMDC: oscilación media diaria (°C) (máxima-mínima diaria) de los días en los que alguna de sus horas está dentro del nivel percentil del 99%.

HUMcoin: Humedad relativa media coincidente (%) (Se da a la vez que se tiene el nivel percentil del 99% en temperatura seca).

Las condiciones de refrigeración son las siguientes:

TSMAX (°C)	TS_0,4(°C)	THC_0,4(°C)	TS_1(°C)	THC_1(°C)	TS_2(°C)	THC_2(°C)
39,5	34,8	19,7	33,2	19,3	31,4	19,0

Tabla 4. Condiciones de proyecto para Refrigeración. Temperatura seca exterior máxima. Fuente IDAE.

TH_0,4(°C)	TSC_0,4(°C)	TH_1(°C)	TSC_1(°C)	TH_2(°C)	TSC_2(°C)
20,6	33,4	20,0	32,4	19,3	32,0

Tabla 5. Condiciones de proyecto para Refrigeración. Temperatura húmeda exterior máxima. Fuente IDAE.

TSMAX: temperatura seca (°C) máxima registrada en la localidad.

TS (0,4%): temperatura seca (°C) de la localidad con un percentil del 0,4%.

THC (0,4%): temperatura húmeda coincidente (°C) en el mismo instante que se tiene una temperatura seca con el nivel percentil del 0,4%.

TS (1%): temperatura seca (°C) de la localidad con un percentil del 1%.

THC (1%): temperatura húmeda coincidente (°C) en el mismo instante que se tiene una temperatura seca con el nivel percentil del 1%.

TS (2%): temperatura seca (°C) de la localidad con un percentil del 2%.

THC (2%): temperatura húmeda coincidente (°C) en el mismo instante que se tiene una temperatura seca con el nivel percentil del 2%.

THC (0,4%): temperatura húmeda coincidente (°C) en el mismo instante que se tiene una temperatura seca con el nivel percentil del 0,4%.

TSC (0,4%): temperatura seca coincidente (°C) cuando se tiene una temperatura húmeda con el nivel percentil del 0,4%.

TH (1%): temperatura húmeda (°C) de la localidad con percentil del 1%.

TSC (1%): temperatura seca coincidente (°C) cuando se tiene una temperatura húmeda con el nivel percentil del 1%.

TH (2%): temperatura húmeda (OC) de la localidad con un percentil del 2%.

TSC (2%): temperatura seca coincidente (°C) cuando se tiene una temperatura húmeda con el nivel percentil del 2%.

En cuanto a los valores medios mensuales de Valladolid se pueden ver en la siguiente tabla:

Mes	TA (°C)	TA SOL(°C)	RADH(kWh/m ² día)	TTERR(°C)
Enero	3,8	4,9	1,7	4,4
Febrero	5,3	7,2	2,9	5,4
Marzo	8,8	10,9	4,0	9,2
Abril	10,5	12,7	5,2	12,8
Mayo	14,9	16,9	6,3	18,1
Junio	20,4	23,0	7,5	25,9
Julio	22,1	24,5	7,3	27,6
Agosto	21,8	24,2	6,3	27,1
Septiembre	18,0	20,7	4,9	22,3
Octubre	13,0	15,1	3,0	15,4
Noviembre	7,1	8,9	1,9	8,9
Diciembre	4,2	5,6	1,5	5,2

Tabla 6. Valores medios mensuales. Fuente IDAE.

TA: temperatura seca media mensual (°C).

TASOL: temperatura seca media mensual durante las horas de sol (°C).

RADH: radiación media diaria sobre superficie horizontal en forma mensual (kWh/m²).

TTERR: temperatura media mensual del terreno (°C) a una profundidad de 20 cm.

Y por último, en la siguiente imagen se representa la roseta de vientos, dónde se representa la velocidad media, la cual es de 2,31 m/s.

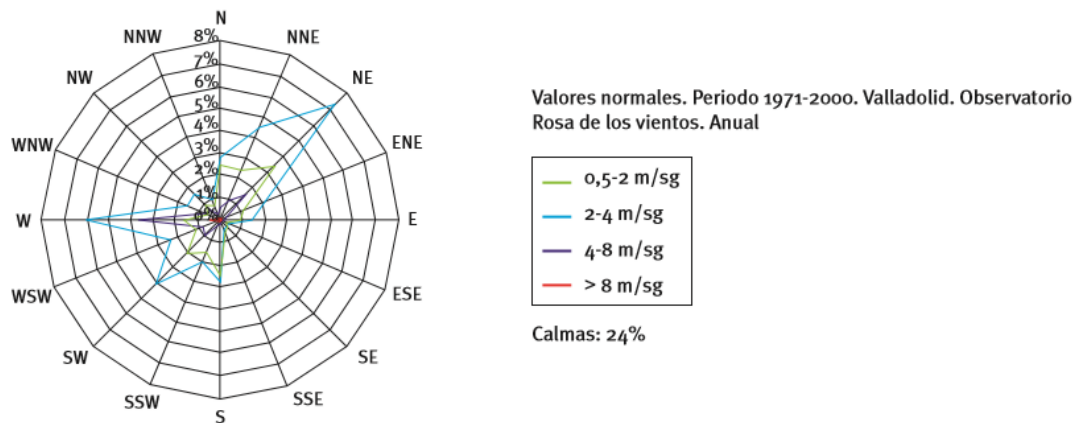


Imagen 34. Roseta de Vientos. Fuente IDAE.

3.3 Descripción detallada

3.3.1 Central térmica

La central se encuentra en el campus Universitario Miguel Delibes, que comprende dos naves adosadas de 1.400 m² de superficie total, una de ellas comprende el silo de almacenamiento del biocombustible y la otra es la sala de calderas.



Imagen 35. Ubicación de la central térmica.



Imagen 36. Central Térmica.

La central térmica tiene una potencia de 14,1 MW suministrados por tres calderas, las cuales se alimentan de astilla forestal, el cual es un recurso autóctono que permite convertir un residuo forestal en un recurso. El suministro de combustible se lleva a cabo a través de la empresa Somacyl (Sociedad Pública de Infraestructuras y Medio Ambiente de Castilla y León) con astilla procedente de Castilla y León. En septiembre de 2017 entró en funcionamiento una cuarta caldera de 4,7 MW a mayores para poder abastecer al Hospital Clínico Universitario. Por lo que la Central Térmica cuenta a día de hoy con casi 20 MW de potencia térmica.

3.3.2 Silo de almacenamiento de biocombustible

El silo tiene un volumen de 1.800 m³ y cuenta con dos sistemas independientes de piso móvil de manera que se pueden cargar con el biocombustible de forma independiente. Cada sistema móvil ocupa la mitad del silo y está compuesto cada uno con rastrillos de 2x9 metros accionados por un cilindro hidráulico. El funcionamiento de cada uno de ellos es independiente, lo que permite un funcionamiento óptimo total del silo, de esta manera se evita malformaciones llamadas cuevas, que es causado muy comúnmente por este tipo de combustible y esto se explica porque la astilla es capaz de formar paredes enteras verticales sin que

se desprenda ya que la astilla se transporta con camiones de piso móvil. Con el movimiento alternativo de los cilindros, se alimenta el sistema mediante las cintas transportadoras las cuales se sitúan en las dos mitades del silo, lo que permite el correcto funcionamiento de la instalación. Se cuenta con 14 líneas de piso móvil agrupadas en dos sectores contando con una capacidad aproximada de 540 Tm de astilla.



Imagen 37. Silo de almacenamiento del biocombustible.

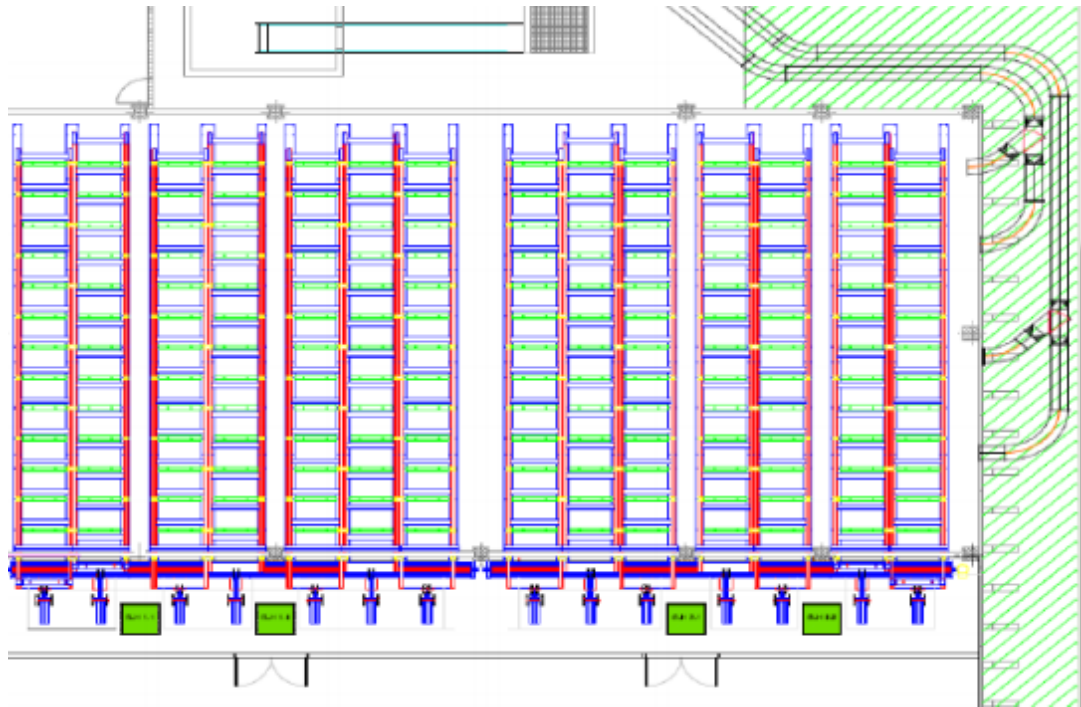


Imagen 38. Representación de las 14 líneas de piso móvil del silo de almacenamiento del biocombustible.

Para el llenado del silo se cuenta con dos líneas de llenado neumático con cribadora. La velocidad de carga es de 20 Tm/hora.



Imagen 39. Descarga de biocombustible al silo de almacenamiento.



Imagen 40. Descarga de biocombustible al silo de almacenamiento (2).

Los camiones tendrán un espacio delimitado para la descarga.

El silo se llena de una forma eficiente dónde se consigue una carga de material uniforme y bien repartido, ello se consigue con la ayuda de una turbina de astillas. Consiste en una tolva de 4x3 metros de acero, la cual deja caer el material a dos cintas transportadoras, que son accionadas por motores diferentes, que conducen el material a dos válvulas rotativas. Este sistema es semi-subterráneo por lo que favorece la descarga de los camiones evitándoles difíciles maniobras.

Cada cinta transportadora tiene un sistema de impulsión, cuenta con una turbina de impulsión de aire de 15 CV cada cinta, lo que crea una corriente de aire inyectando el biocombustible en el silo. Se cuenta con una válvula de seguridad rotativa que impide que el aire retroceda.

En la siguiente imagen se puede ver un sistema de piso móvil con cinta transportadora, dónde se aprecia la cinta y los pisos móviles de extracción.



Imagen 41. Sistema de piso móvil con cinta transportadora.

Este sistema permite aprovechar todo el combustible destinado al silo de almacenamiento, evitando de esta manera pérdidas en el tornillo sinfín (no extrae el material que se queda en las esquinas). Las cintas transportadoras estarán distribuidas para que el sistema en todo momento disponga de duplicidad, es decir, que al menos una caldera siempre esté en funcionamiento. Se abastece a las calderas de forma continua a través de la banda que está entre sus tambores.

3.3.3 Sala de Calderas

La alimentación se realiza mediante un sistema independiente de los pisos móviles. Está compuesto por dos particiones de sistema de pistones en piso móvil que arrastra el combustible hacia dos cintas transportadoras cerradas que a su vez estarán fijadas a otras dos cintas en contacto con varios depósitos intermedios. Las calderas serán las encargadas de regular las cintas finales de alimentación según el combustible que se necesite en cada momento.

La alimentación de la sala de calderas principalmente se basa en:

- Dos líneas independientes de alimentación.
- Dosificador con removedor.
- Tres tornillos sinfín de alimentación a calderas.

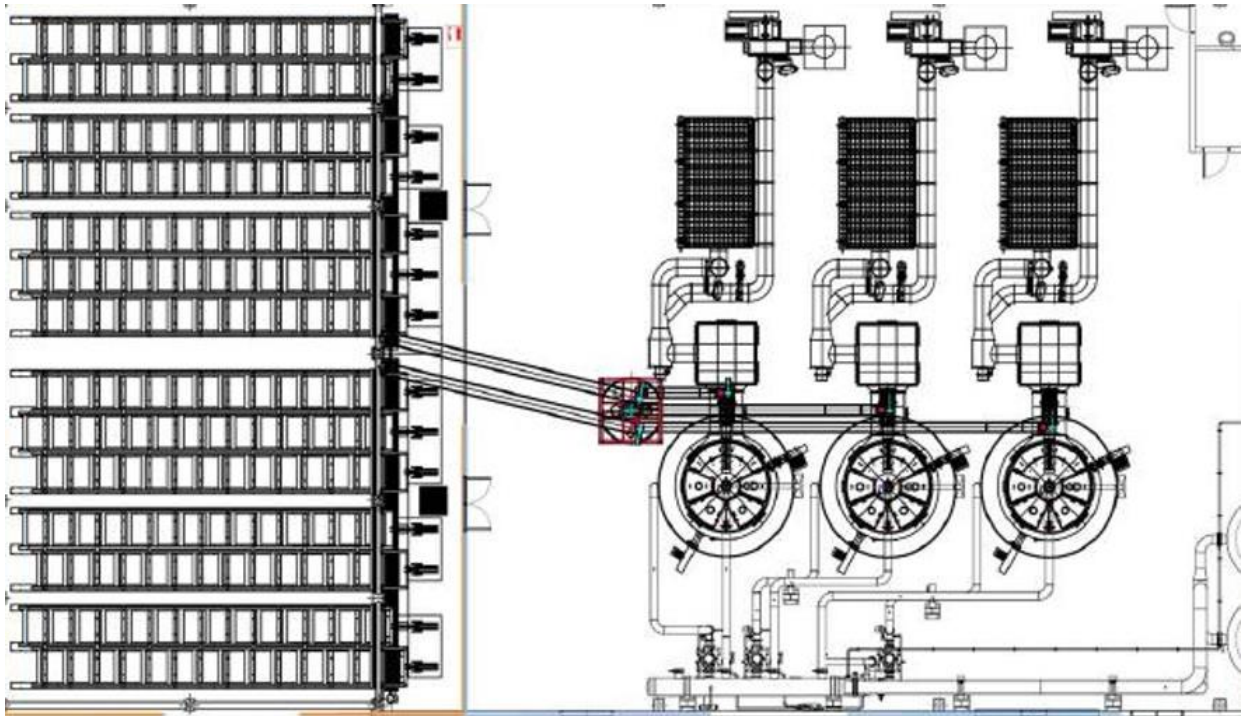


Imagen 42. Sistema de alimentación a la sala de calderas.

La sala de calderas cuenta con tres calderas de 4,7 MW de potencia nominal cada una de ellas, lo que proporcionan un total de 14,1 MW de potencia térmica. Cada equipo cuenta con un sistema multi-ciclónico de filtrado y con un sistema de filtro de mangas, de esta manera se asegura una instalación eficiente. El rendimiento mínimo es del 86%, es decir, cede una potencia útil de 12.000 kW.

En abril de 2017 se instaló una nueva caldera, la cual entrará en funcionamiento en septiembre de 2017 para poder abastecer al Hospital Clínico de Valladolid. Esta nueva caldera, desde la fase de proyecto de la central se contaba con su futura incorporación, y por ello se dejó el espacio necesario en la sala de calderas, tiene 4,7 MW de potencia térmica. Por lo tanto la central térmica a día de hoy cuenta con casi 20 MW de potencia térmica.



Imagen 43. Caldera - sistema multi-ciclónico- filtro de mangas.

Las calderas son equipos VENTIL CVT4000P. Disponen de sistema de combustión vibrante móvil para la combustión y eliminación de cenizas generadas durante la misma. La caldera tipo VENTIL está concebida para la combustión de biomasa forestal. Es una caldera de tipo pirotubular de tres pasos de gases de tiro forzado. La combustión es optimizada a través de dispositivos de control permanentes, de esta manera, es más fácil el control de la misma, ya que esta automatizada.

Las calderas son los equipos principales de la producción de energía calorífica utilizando combustibles con un PCI mínimo de 2.100 Kcal/h, contando con una alimentación a la cámara de combustión automática mediante cintas transportadoras. Estas calderas tienen una presión máxima de trabajo de 3 Kg/cm². El rendimiento de las mismas es del 86% como mínimo, pudiendo llegar hasta un 92%. Cada caldera tiene 5 metros de altura y 3,8 metros de diámetro.

En la siguiente tabla se muestran las características de las calderas tipo VENTIL:

Modelo		CVT 300	CVT 500	CVT 750	CVT 1000	CVT 1250	CVT 1500	CVT 2000	CVT 3000	CVT 4000
Potencia	kW	350	580	870	1160	1450	1740	2320	3480	4640
Peso líquido	kg	3300	3400	6010	7430	7900	8760	108000	12000	29500
Vol. de agua	dm ³	1200	2000	2400	4800	5400	5700	6250	8000	15000
Dimensiones										
A B C D E q	mm	2600	3000	3200	3900	3900	3900	3900	4200	5100
	mm	1600	2200	2400	2700	2800	2800	2900	3000	3800
	mm	1380	2100	2200	2300	2500	2500	2600	2900	3800
	mm	500	660	660	660	660	660	660	660	660
	mm	460	520	520	520	520	520	520	520	520
	DN	65	80	100	100	125	125	150	250	250
Salida de gases										
F G	mm	400	630	650	650	800	800	800	800	1200
	mm	210	210	230	300	300	350	350	350	350
Altura hogar caldera	mm	4500	4500	4800	5500	5500	5500	5500	6000	8000

Tabla 7. Características tipo VENTIL. Fuente: catálogo calderas de la empresa VENTIL.

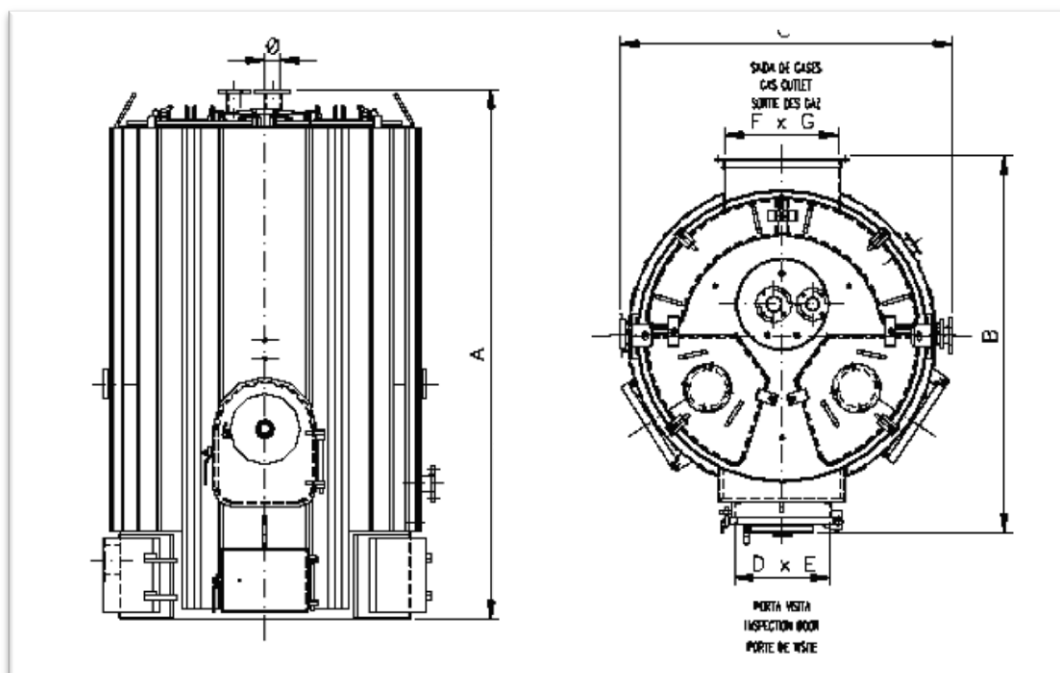


Imagen 44. Vistas de la caldera de agua caliente.

Este tipo de calderas de biomasa, están condicionadas por las características del combustible, nuestras calderas son alimentadas con astilla de madera limpia, cuenta con un poder calorífico superior (PCS) de 20,0 MJ/kg y un poder calorífico inferior (PCI) de 18,7 MJ/kg. La astilla tiene una humedad máxima del 50% y desempeñan un valor máximo de cenizas del 0,7%.

Características	Unidad	CVT 4000P	
Potencia nominal	MW	4,7	
	Kcal/h	4.042.000	
Exceso de aire	%	100	150
Rendimiento	%	86-89	84-88
Caudal de gases de combustión (para diferentes temperaturas de salida)	m ³ /h	150°C: 23.200 200°C: 27.300	150°C: 29.150 200°C: 34.500
Tenor de oxígeno, gases secos	%	10,6	12,7
Tenor de humedad, gases húmedos	5	11,5	9,4

Tabla 8. Características Técnicas de la caldera.

Las calderas tienen un termostato de seguridad (TS), de modo que si la caldera sobrepasa los 100 °C el sistema se desconecta. Ésta deberá estar por debajo de los 75 °C para poder desbloquear el termostato de seguridad siendo el reajuste de la misma manual.

Cámara de combustión: esta revestida con hormigón refractario que permite en condiciones ideales la mezcla de combustible con el aire de combustión con una temperatura de combustión estabilizada. La parrilla es de acero especial teniendo orificios que permiten la entrada de aire primario. Las paredes de hormigón protegen el interior metálico del cuerpo de la caldera permitiendo que las altas temperaturas de trabajo faciliten una mejor combustión. Se queman los desperdicios de madera, con una valor máximo de cenizas del 4%, pero siempre no excediendo el 50% de la humedad. La cámara de combustión está compuesta por:

- Una estructura metálica de soporte de la parrilla
- Revestimiento de hormigón refractario.
- Tubos de admisión del aire primario, secundario y terciario.
- Puerta principal.

Intercambiador vertical para combustibles sólidos: el intercambiador es de tipo vertical, tiene tres pasos de humos, el cual está apoyado en la cámara de combustión, por lo que se garantiza la máxima transmisión de calor por radiación. Los gases son enfriados a su paso en los tubos de humos, colocados verticalmente alrededor del intercambiador, lo que permite un elevado rendimiento.

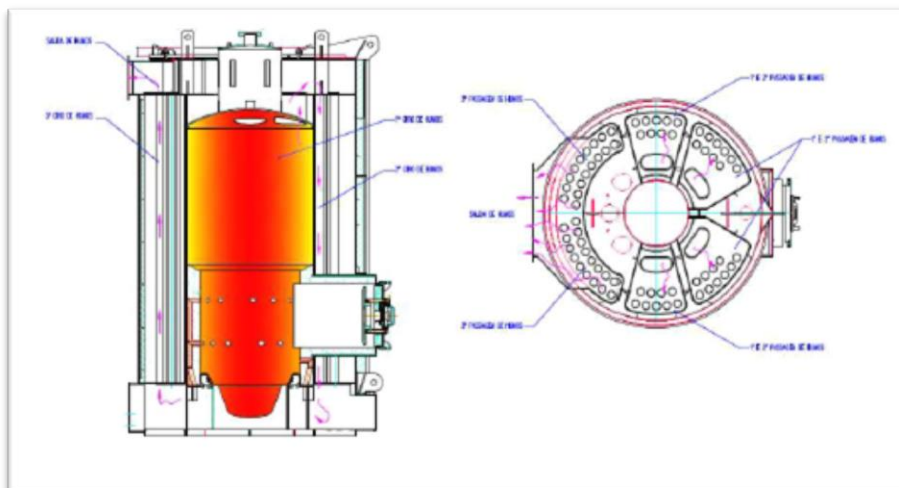


Imagen 45. Intercambiador vertical.

Depurador de humos Ventil: el depurador de humos multi-ciclónico de alto rendimiento está compuesto por tres partes: salida de gases, cuerpo separador y

tolva con cubo de recogido de cenizas. El cuerpo separador está formado por varias unidades ciclónicas, cada una de ellas compuesta por una parte superior de impacto y una inferior de salida de partículas separadas. Tiene una única entrada y está conectada a la salida de la caldera. La salida, siendo única, está situada en la aspiración del ventilador.

Los ciclones son adecuados para separar partículas de gran tamaño, es decir, mayores de $5\ \mu\text{m}$, este sistema de limpieza de aire no cubre los requisitos mínimos legales, pero se utiliza para reducir la cantidad de polvo que entra al sistema final de depuración.

La eficiencia del ciclón disminuye con la viscosidad del gas, la densidad del gas y las áreas de entrada y salida del gas, aumentando su eficiencia con el tamaño de la partícula, la densidad de la partícula y el pulimento de la superficie de la pared interior del ciclón.



Imagen 46. Depurador de humos- sistema multiciclónico.

Filtro de mangas: Este sistema está compuesto por una estructura metálica cerrada, donde en su interior se encuentra el elemento filtrante textil en posición vertical de fibra de vidrio. Se coloca sobre una cámara teniendo en su parte inferior una tolva de recogida de partículas. El aire con partículas sólidas es forzado a pasar por una tela. La filtración se produce como resultado de la formación de una capa de polvo primaria en la superficie del textil, de la manga y una parte posterior acumulación de partículas de polvo. Una vez formada la primera capa de polvo, la penetración es muy baja y la filtración se produce por filtración superficial. La filtración es llevada a cabo hasta que la caída de presión se hace tan importante que se requiere una limpieza del filtro de mangas. Los filtros de mangas son altamente eficaces, con ellos se

cumple la normativa de calidad de aire, ya que pueden llegar a filtrar partículas de hasta $0,01 \mu\text{m}$.

El sistema tiene de un mecanismo anti-incendios, el cual si detecta un chipa, puede actuar ante ella evitando que entre en el sistema de filtrado.

Finalmente el gas limpio se lleva hacia la chimenea.



Imagen 47. Filtro de mangas.

Ventilador de tiro forzado Ventil: el ventilador de tiro forzado tiene un alto rendimiento, tiene como función aspirar los gases de humo y conducirlo hacia la chimenea, por lo que se crea una depresión en la cámara de combustión obligando admitir el aire necesario automáticamente para la combustión. Está protegido de condensaciones y aísla el sonido gracias a su aislamiento. La depresión puede ser corregida en la admisión con una válvula de mariposa instalada en el conducto de humos, de esta manera se controlaría en función de la combustión que se necesite. El ventilador se coloca en la parte superior del depurador de humos, para evitar las fugas y economizar el aire necesario a la instalación.

Sistema de insuflación de aire: este sistema está compuesto por ventiladores centrífugos, registros de caudal motorizados y un colector de insuflación.



Imagen 48. Sistema de insuflación de aire.

Sistema de alimentación automático: recibe el combustible del silo y se conduce hasta las calderas. Está compuesto por una cinta transportadora y un sistema de detección de incendios.

Chimenea: ésta evacua los gases de humo a la atmósfera. Está aislada en lana y chapa inoxidable en su interior. Como es una chimenea aislada, las condensaciones son mínimas. Tiene una altura de 13 metros y un diámetro de 900 mm.



Imagen 49. Chimenea.

Cuadro de mando de regulación automática para la caldera, equipado con variadores de frecuencia: este sistema es básicamente una pantalla digital donde tiene un mando de control en el que se registra el funcionamiento en cada instante, también este cuadro de regulación automática o control está dotado de un sistema de

seguridad, que cuando el sistema no funciona con las condiciones programadas, genera las alarmas necesarias de cada uno de los equipos.

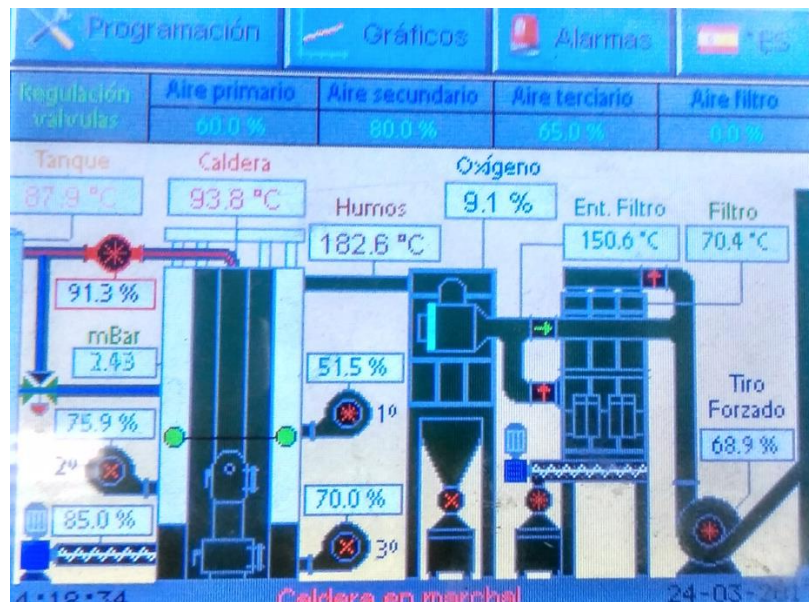


Imagen 50. Cuadro de mando de una de las calderas.

Este cuadro de mando de una de las calderas que se encuentra en funcionamiento, las variables no son constantes, aunque el sistema de control lo mantiene lo más constante posible. Se aprecia que la temperatura de la caldera en su interior en particular el día de la toma de la foto, es de 93,8 °C. También se aprecia cuanto está trabajando cada sistema de insuflación de aire, el ventilador de tiro forzado y las temperaturas de la entrada al filtro de mangas como la temperatura de los humos.

Sistema de elevación de temperatura de retorno: está compuesto por una bomba con variador de frecuencia de circuito primario entre caldera y los depósitos de inercia, un sistema de válvula de tres vías y una programación en el cuadro de mando de cada caldera.

Sistema de extracción de cenizas: el cual se ejecutará a través de unos conductos enterrados sobre la cota cero de la sala de calderas, que tendrán acceso desde un panel superior mediante una tapa y por las que transcurrirá un tornillo sinfín de 150 mm de diámetro, el cual dispondrá de tres zonas de recogida a través de unas válvulas rotativas en la caldera, el multi-ciclón y el filtro de mangas. Con la incorporación de la nueva caldera, será necesario aumentar este sistema de forma que también extraiga las cenizas de esta cuarta caldera.

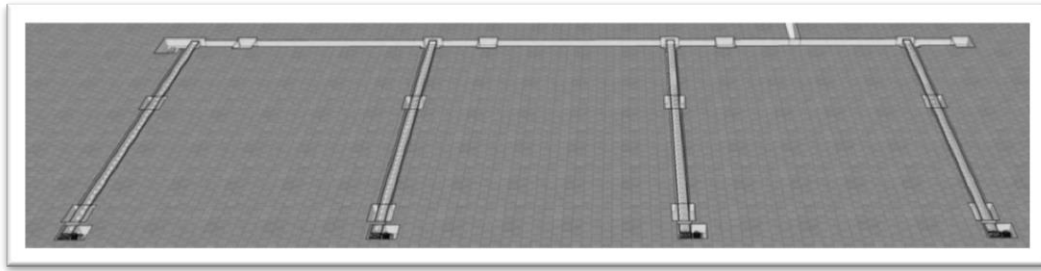


Imagen 51. Sistema de extracción de cenizas.

Los cuatro accesos actualmente se unirán en un tornillo sinfín por cada caldera, seguido de otro tornillo, el cual los unificará, de esta manera se transportarán las cenizas de todas las calderas a un contenedor estanco en el exterior del edificio.

Las cenizas no son peligrosas y la mayor parte de las veces son utilizadas como fertilizantes. Las cenizas producidas en la caldera y en el cajón del ciclón se depositarán en los cajones, sin posibilidad de emisión de polvo a la atmósfera. Las cenizas son consideradas residuos inocuos, ya que en su análisis elemental aparecen como residuos óxido de silicio y óxido de potasio, los cuales no son peligrosos y además no producen lixiviados, por lo que se pueden utilizar como fertilizantes.

Depósitos de inercia: la instalación cuenta con dos depósitos de inercia de 40.000L cada uno, sirven de acumulador de energía cuando las calderas están apagadas, dando una respuesta rápida a la red cuando ésta demande energía.



Imagen 52. Depósitos de inercia.

Sistema de bombeo: hay dos sistemas:

- *Sistema de bombeo de circuito primario de cada caldera*: se tiene una bomba circuladora que dispone de un variador de frecuencia para evitar encendidos y paradas bruscas que originan golpes de Ariete o defectos en otros componentes, además permite que la bomba se adapte al caudal demandado de la caldera. Los sistemas de bombeo son tres bombas con variador de frecuencia como se ha dicho antes.



Imagen 53. Sistema de bombeo del circuito primario de cada caldera.

- *Sistema de bombeo de la red del DH*: se disponen de tres bombas en paralelo para el campus Miguel Delibes (primer anillo de la red) y otras tres bombas en paralelo para el ramal de los restantes edificios, procedentes del campus Río Esgueva (segundo anillo de la red). Todas las bombas pueden variar la potencia en función de la demanda necesaria de la red.



Imagen 54. Sistema de bombeo circuito secundario de la red del DH.

3.3.4 Circuito hidráulico: central y red de calor

Cada caldera tiene un circuito primario independiente que se conecta a un colector común a todas ellas. Este colector está conectado a los depósitos de inercia, que están conectados de manera que tanto una caldera como todas pueden calentar tanto un depósito como todos. Los depósitos se unen a través del sistema de retorno invertido, de esta manera se mejora el equilibrio del circuito y tras pasar por el colector común donde están las bombas de la red de distribución el circuito pasa a comunicarse con la red del District Heating enterrada.

Nota: ver plano 8: CIRCUITO HIDRÁULICO CENTRAL DH.

Las tuberías enterradas portadoras de agua, son tuberías de acero pre-aislada, diseñada específicamente para el transporte eficiente de fluidos.



Imagen 55. Tubería de acero pre-aislada portadora de agua.

La tubería LOGSTOR, es una tubería de acero pre-aislado con una espuma rígida de poliuretano (PUR) y por una envolvente de polietileno de alta densidad (PEAD). 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. Además se puede instalar tanto en zonas subterráneas como aéreas.

En el District Heating de la Universidad de Valladolid, la instalación cuenta con 11,30 km de tubería. Las condiciones de trabajo en continuo pueden llegar hasta 140 °C durante 30 años, con picos de 150 °C, aunque este DH no trabajará con temperaturas superiores a 90°C.

La tubería tiene dos hilos de cobre que junto con la unidad analógica o digital conforman 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 $\pm 2\%$.

En la siguiente imagen, se aprecia el tamaño de las tuberías cuando las estuvieron instalando antes de ser enterradas.



Imagen 56. Tuberías del DH en la zanja antes de ser cubiertas.

En cuanto a la disposición típica de la zanja fue la siguiente:

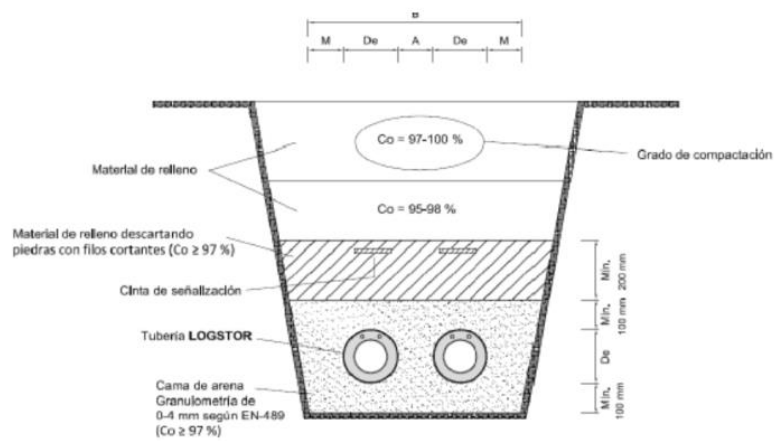


Imagen 57. Disposición típica de la zanja.

La profundidad desde la cota cero del terreno hasta la parte superior del envolvente oscilara entre 0,80 y 1,20 metros.

3.3.5 Subestaciones de intercambio

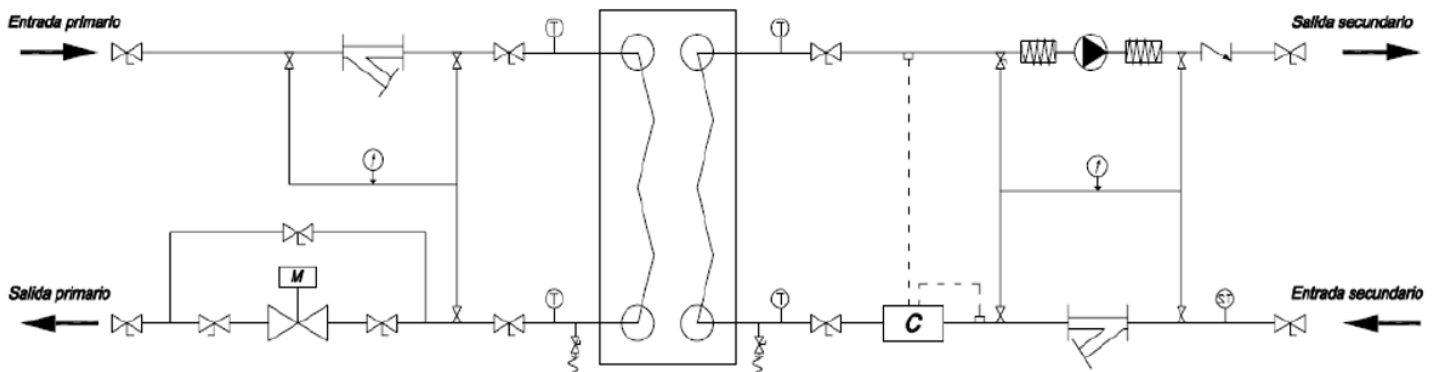


Imagen 58. Esquema principal de los intercambiadores.

Los intercambiadores son de placas y las condiciones de diseño son 90 °C/70 °C en red y 80 °C/65 °C en circuito de edificio conectado.

Una subestación cuenta principalmente con el intercambiador de placas, una válvula de control y el contador de energía térmica, siendo apto para los sistemas de control de climatización existentes en los edificios.



Imagen 59. Subestación.

3.3.6 Sistema de automatización y control de la instalación

La programación y control de la instalación es abierta, por lo que se pueden almacenar datos, analizar repeticiones de errores, etc.

Cuando aumente la demanda energética de la red de distrito: siempre y cuando haya demanda en los edificios conectados a la red, comenzarán a funcionar las bombas de los circuitos de las instalaciones interiores lo que provocará un descenso en la temperatura de retorno al lado secundario de la subestación. Cuando se detecta este descenso, el sistema de control manda la orden de apertura a la válvula motorizada del lado primario de la subestación permitiendo de esta manera la circulación del agua y el intercambio de calor hacia el edificio. A medida que las válvulas de control vayan dejando pasar el agua, la presión diferencial en los circuitos irá disminuyendo. Este cambio es detectado por las bombas de los circuitos secundarios cuyo controlador se encarga de mandar la orden de aumentar las revoluciones de giro de la bomba, por lo que se aumentaría el caudal de paso, la potencia térmica y se restauraría la presión diferencial. En salto térmico en el circuito secundario se conservará. Cuando estén en funcionamiento las bombas del circuito secundario, la temperatura de retorno empezará a disminuir en el colector de la central. Este cambio de nuevo será detectado por el sistema de control y mandará la orden de arranque a las bombas de circuito primario. Gracias a las bombas del circuito primario, la caldera detecta el flujo, por lo que arrancarían el sistema de control de las calderas. El sistema de control de la red de calor estará integrado con los sistemas de control locales de los distintos edificios, dando prioridad siempre a la producción térmica mediante las subestaciones. Las calderas propias de cada edificio, antiguas instalaciones individuales, quedarán en modo de reserva, es decir, por si hubiese un fallo y la red no pudiese abastecer al edificio correspondiente.

Cuando disminuya la demanda energética de la red de distrito: cuando la demanda de los edificios disminuya, se irán desconectando los grupos de bombeo de las instalaciones interiores, provocando que la temperatura en el lado secundario de la subestación aumente. Cuando este aumento es detectado, el sistema de control de la subestación manda la orden de cierre de la válvula de control motorizada reduciendo de esta manera el caudal de paso. Las válvulas de control se irán cerrando, entonces aumentara la presión diferencial entre los circuitos, este aumento es detectado por las bombas de caudal variable, por lo que manda la orden reducir las revoluciones de giro, provocando una disminución de caudal y restaurándose la presión diferencial. Mientras el caudal vaya disminuyendo en el circuito secundario, aumentará la temperatura de retorno a las calderas de biomasa, este aumento de temperatura será detectado por el sistema de gestión que dará orden para ir disminuyendo la

potencia del sistema de control de las calderas. Una vez paradas las calderas, el sistema de control ordenara la detención del grupo de bombeo del circuito primario.

3.3.7 Combustible a emplear

El combustible es astilla de madera, con un rango de granulometría de G50 a G100 y con humedad entre 20% y el 40%, nunca superior al 50%. Las calderas y lo que las componen, el almacén de biomasa y los sistemas de trasiego de manutención están preparados técnicamente para este tipo de biomasa con estos rangos de humedad. El combustible aproximado del biocombustible es de 7.886 Tn/año.

3.4 Descripción del funcionamiento de la instalación:

- *Instalación de biomasa:* La astilla es extraída a partir del sistema de piso móvil para caer sobre la cinta transportadora a través de los cilindros con 20.000 Kg de fuerza. La doble cinta transportadora alimenta unos depósitos individuales para cada una de las calderas con ayuda de una válvula rotativa con paletas de goma para evitar posibles atascos, siendo la función de la válvula depositar el material sobre unos empujadores hidráulicos, los cuales introducen la biomasa en el quemador.
- *Instalación hidráulica:* el sistema de las calderas tiene un circuito primario que mueve la energía térmica hasta un colector propio de este circuito primario, unificando la energía de las tres calderas. El circuito primario de cada caldera consta de un sistema de bombeo y un sistema de elevación de temperatura, además de los accesorios correspondientes a la caldera para su correcto funcionamiento como filtros, manguitos, válvulas, etc. El cometido del sistema de elevación de temperatura de retorno es controlar que no trasiegue agua a través del intercambiador pirotubular de la caldera por debajo de 50 °C. esto se consigue debido a que el agua en contacto con los pirotubos, hace condensar parte de ellos, que quedan depositados en las paredes de los pirotubos pudiendo ser agresivos con el espesor de los mismos y fomentando su corrosión. La válvula motorizada de tres vías es la encargada de mantener la temperatura de retorno del agua por encima de los 50 °C, la cual desvía una pequeña cantidad de caudal de impulsión de vuelta al retorno. Cuando la temperatura de impulsión y retorno son correctas, la energía es dirigida hacia el colector primario, que está conectado a los depósitos de inercia. Los depósitos de inercia son los que hacen eficiente el funcionamiento de la biomasa ya que acumulan inercia térmica que responde rápidamente ante las

demandas ya que el encendido de este tipo de calderas es lento, por lo que se puede abastecer durante el tiempo en que las calderas se pongan en funcionamiento o en alcanzar el máximo de temperatura. También, cuando las calderas son apagadas, ya que una caldera de biomasa necesita quemar todo el biocombustible que deposita en su interior, lo que ocurre para que sea un proceso rápido, es generar una inercia térmica que tiene que ser acumulada o cedida en algún lugar, por lo que los depósitos de inercia son los encargados en resolver este inciso. Las bombas circuladoras de la red de distrito succionaran caudal de los depósitos de inercia, las cuales hacen llegar a todos los edificios las condiciones demandadas de caudal necesarias. Finalmente, a la llegada de cada edificio pasa por la subestación, que hace el intercambio térmico a través del intercambiador de placas.

3.5 Cumplimiento de R.I.T.E. Eficiencia energética

Calderas: Al tener un gran volumen de agua, tienen mucha inercia, entonces tienen un rendimiento que se ajustara a un aprovechamiento óptimo de la potencia térmica aislada. Tienen potencia suficiente para abastecer a los edificios conectados. Se llega a alcanzar una temperatura interior en cada habitación de 21 °C a 23 °C.

Condiciones de funcionamiento: La combustión que se lleva a cabo es una mezcla de oxígeno y combustible, siendo el oxígeno el obtenido en la admisión del aire de combustión. La caldera Ventil consta de Sonda Lambda de control de oxígeno, por lo que regula la cantidad de material y el aire secundario superior. La sonda envía el valor de oxígeno que se encuentra en los humos de combustión al panel de control. Si el valor actual es inferior al valor programado el aporte de combustible se reduce automáticamente. De esta manera se optimiza la combustión y se detecta pequeñas variaciones del combustible. Por lo tanto, cada vez que se llena el silo no es necesario volver a configurar la combustión. Esta caldera está programada para realizar la combustión en depresión, minimizando los riesgos de retorno de llama si hubiese una apertura de la puerta principal estando la caldera en funcionamiento.

La depresión se consigue gracias al ventilador de tiro forzado de los humos. La cantidad de aire de combustión se regula mediante una válvula reguladora de los humos en función de la depresión deseada. Las admisiones de aire ocurren en diferentes momentos de la combustión, por lo que se puede diferenciar entre aire primario y aire secundario.

La instalación debe trabajar con la mayor suavidad posible, y si se modifica algún parámetro es necesario que la combustión se reequilibre en no más de 5 minutos,

después de este tiempo se podrán juzgar las modificaciones efectuadas para las posibles modificaciones, siendo los elementos a regular el aire total, aire primario y el secundario, y el combustible.

El aire total se modifica gracias a una válvula de mariposa de regulación, que se encuentra junto al ventilador de tiro forzado.

El aire primario se regula con el posicionamiento de la rejilla colocada en el interior de la puerta del cenicero, por debajo de la puerta principal.

El aire secundario se regula cerrando o abriendo las aberturas que se disponen para ello, en la puerta principal y en el cuerpo de la caldera.

Y finalmente, el combustible que se va introduciendo automáticamente en la caldera mediante la cinta de alimentación, se puede dosificar a través del control temporizador de funcionamiento de la cinta intermedia. Se empieza por aumentar de forma gradual y muy lentamente la cantidad de combustible. Se tiene que tener en cuenta que la forma en la que se alimenta las calderas con el combustible tiene que ser acorde con una regulación del aire de combustión determinada, para garantizar humos incoloros, una combustión en calma y un nivel correcto de combustible en la cámara de combustión. Si se siguen estos pasos se tiene que conseguir un factor de utilización entre el 60 y el 100% de la capacidad nominal de la caldera.

Depuración de humos: primero se realiza una separación ciclónica en un depurador multiciclónico. Las calderas tienen un sistema que permite mantener la depresión, por lo que la instalación se encuentra en funcionamiento, la válvula de mariposa funciona de forma modulante (se abre o cierra para mantener esta depresión requerida en el interior de la caldera). Cuando la instalación se detiene debido a que no se ha alcanzado la temperatura deseada, la válvula se abre totalmente para provocar un tiro natural con una cierta depresión. Finalmente, se pasa por el sistema de filtrado, el cual dispone de filtros de mangas, que están especialmente diseñados para el material a filtrar y limitan las emisiones a 50 mg/Nm^3 .

3.6 Pliego de condiciones

Manufactura: las tuberías se cortarán con las dimensiones establecidas y se irán colocando en su respectivo sitio sin forzarlas. Se instalarán de manera que se puedan dilatar y contraer sin adquirir ningún daño para la tubería. Las conexiones de las tuberías al equipo estarán de acuerdo con los detalles de los planos o se ejecutará según lo dicte el Director Técnico.

Soldadura: la instalación será soldada sólo por soldadores expertos. Todos los cambios de dirección e intersecciones de tuberías soldadas se efectuarán con herramientas específicas de soldadura. No se permitirá soldar las tuberías las tuberías a inglete para formar codos, entallarlas para formar téns ni procedimiento similar. Cuando lo dicte el Director Técnico se cortará un cupón de ensayo por cada 12cm y se realizara el correspondiente ensayo.

Soportes y suspensores: las tuberías tienen que ir firmemente soportadas. Los tendidos verticales van soportados por abrazaderas o collarines de acero forjado al nivel de cada piso y a intervalos no superiores a 2 metros. Todos los suspensores deben tener provistos tensores o de otros medios de ajuste.

Los anclajes de tuberías poseen collarines de acero con orejetas y pernos para su amordazado y para la fijación de las riostras de anclaje, de modo que las riostras de anclaje se instalaren de modo más eficaz para conseguir en arriostamiento correspondiente.

Columnas verticales: se dispone de una clave de ida y otra de retorno con grifos, con el cometido de aislar cada una separadamente en casos de conveniencia y estando todas ellas conectadas a una tubería que se una con la tubería maestra de desagüe.

Calderas y elementos auxiliares: la caldera de agua caliente se instalara según las características indicadas en los planos y de modo que se logren las tolerancias de acuerdo con el fabricante. Deberán ser de chapa o acero, o en su defecto de hierro fundido por elementos. Como rendimiento normal no se trasegara más de 8.000 cl/hora por m².

Permitirá su aplicación por acoplamientos de nuevos elementos e ira provista de regulador automático de combustión, termómetro, válvula de seguridad, llaves de paso de ida y retorno y su quemador correspondiente.

Servicio de calderas: el fabricante de la caldera facilitará los servicios correspondientes de un ingeniero especializado para la puesta en marcha e instrucción en el funcionamiento de la caldera.

Vaso de expansión: será cerrado, de tipo interior y membrana, con capacidad de 500 litros e indicador de nivel y desagüe con llave. Se instalara con sus palomillas.

Chimeneas: serán de doble pared de acero inoxidable con aislamiento intermedio de lana de roca, debiendo cumplir las exigencias por el reglamento. Se sujetarán a los muros con abrazaderas inoxidables, distanciadas un metro. Será absolutamente necesario módulos de limpieza, de toma de muestras y piezas especiales como codos o téns.

Aislamiento: La tubería maestra horizontal de ida y retorno se aislara con coquillas de un material aislante adecuado.

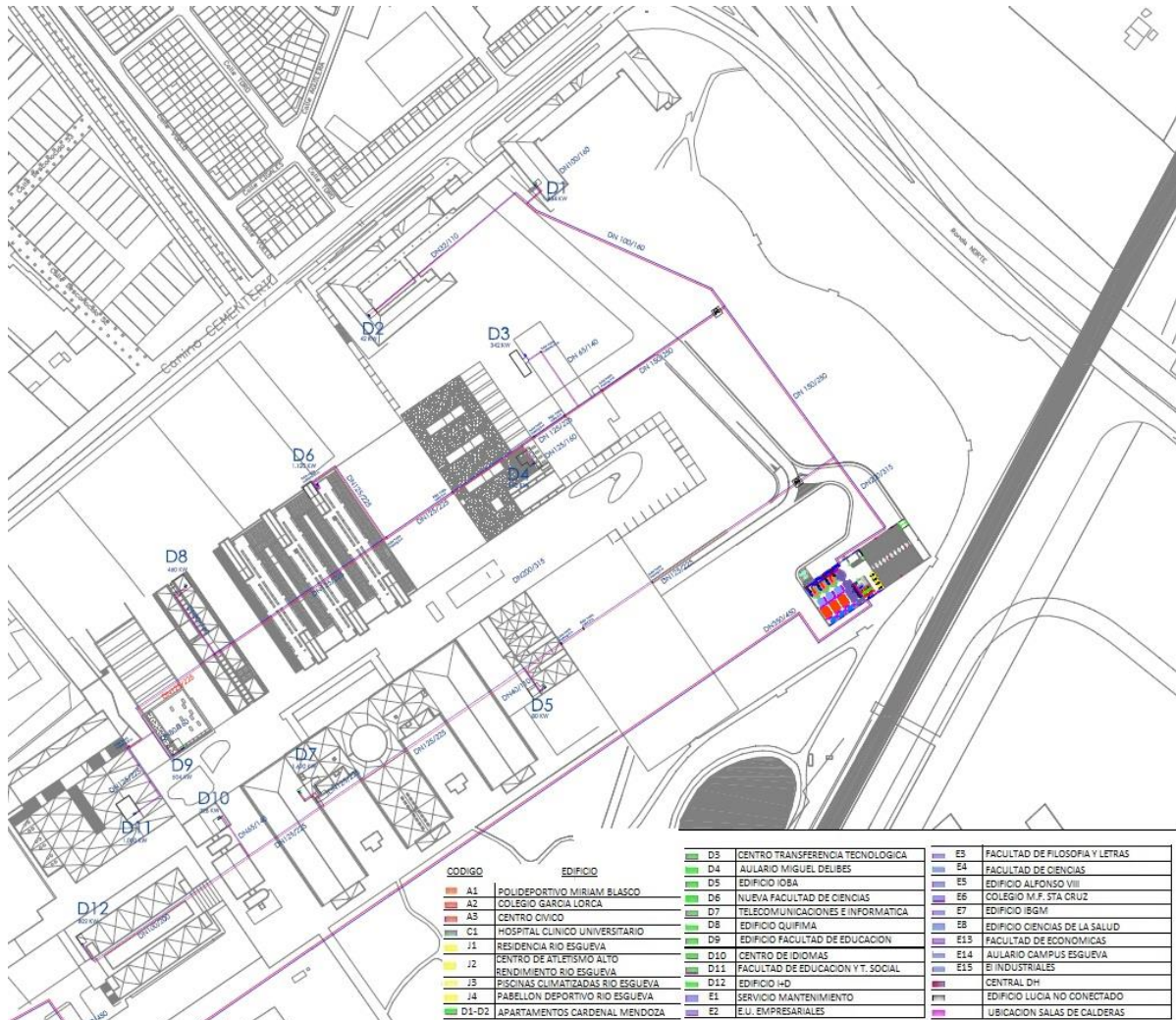
3.7 Planos

3.7.1 Instalación de los edificios conectados



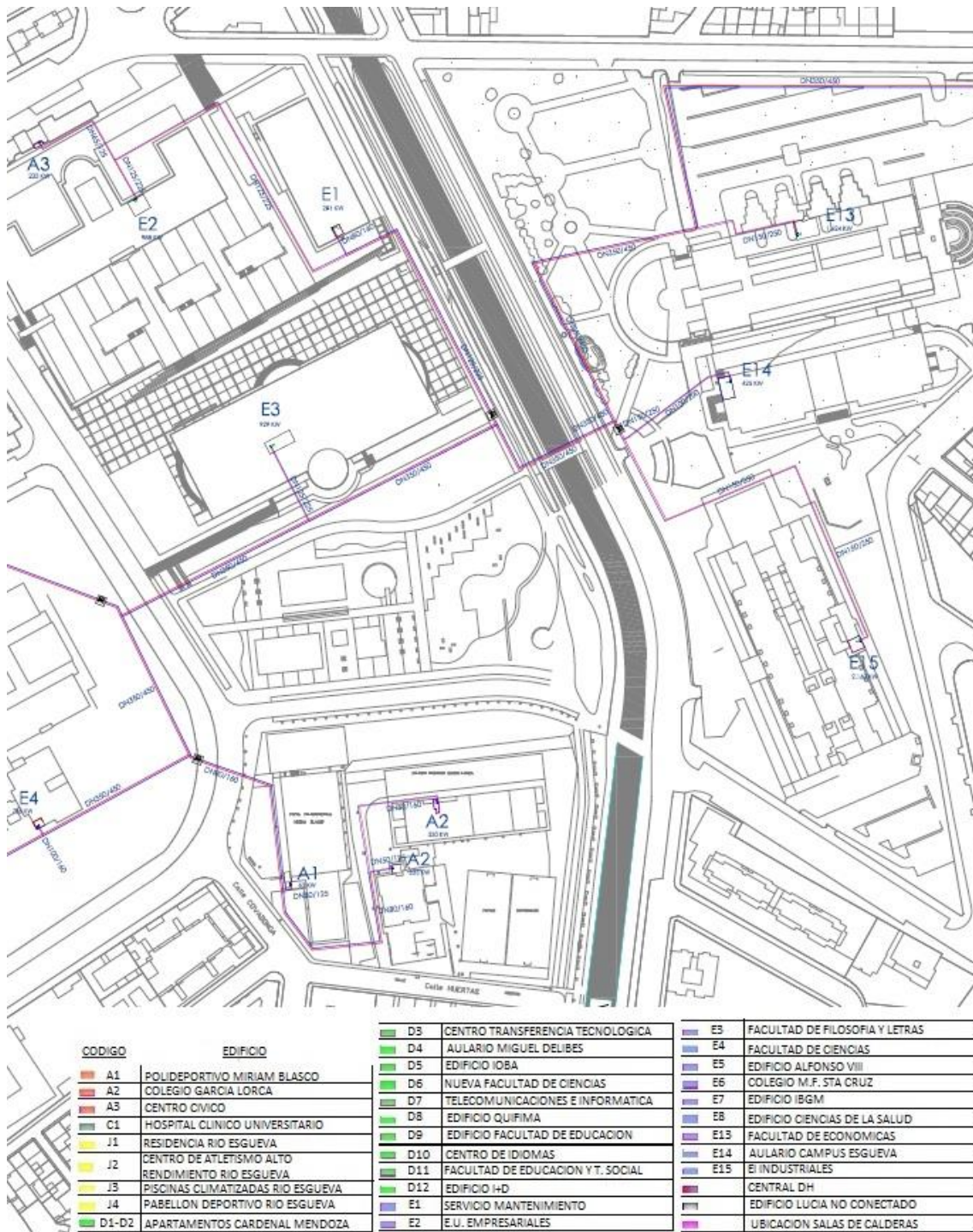
Plano- Imagen 1. Situación de los edificios.

Estudio del Consumo Energético en un District Heating (DH) de la Universidad de Valladolid

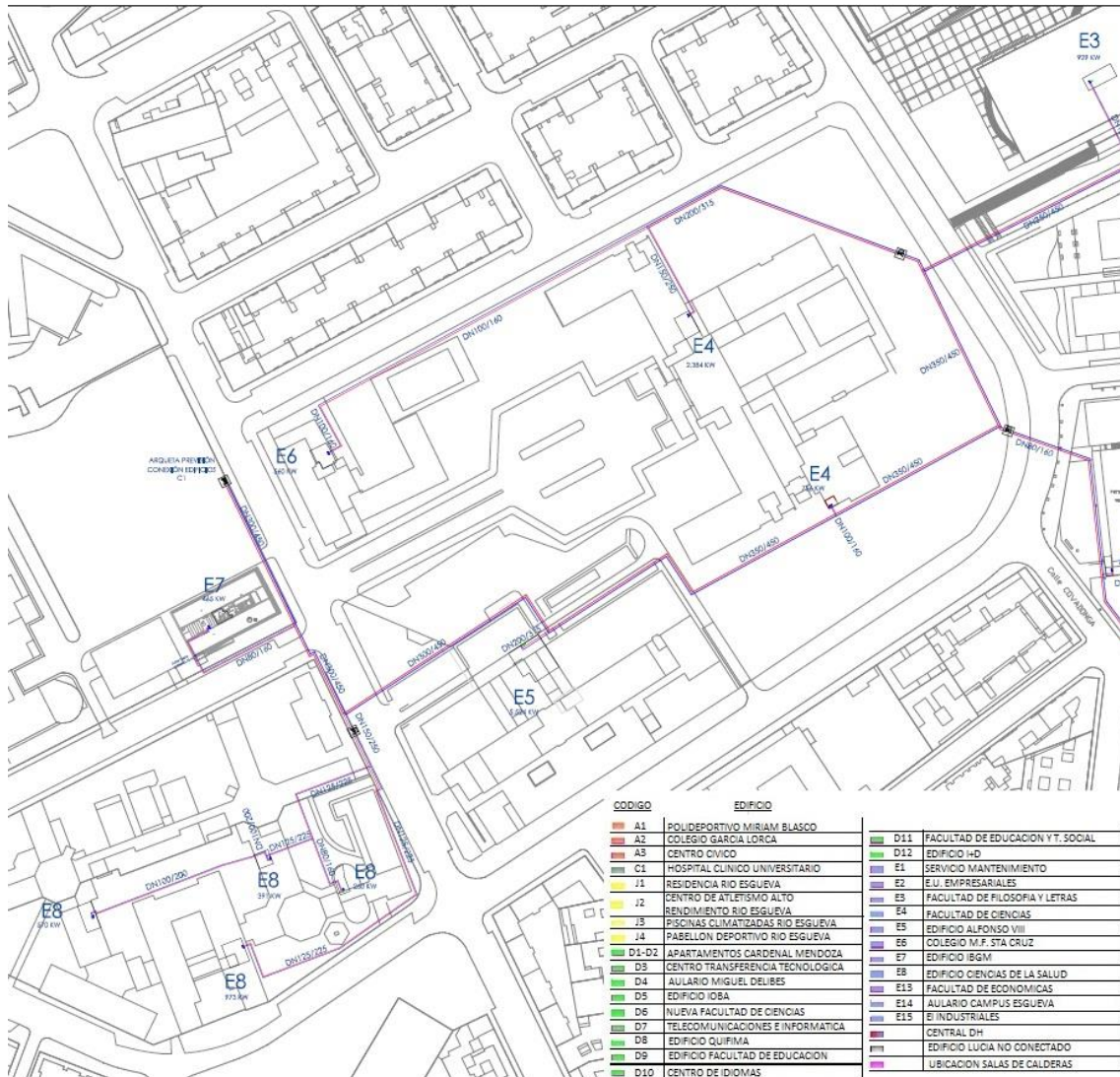


Plano-Imagen 4. Detalle conexión de la red de tuberías con los edificios (1).

Estudio del Consumo Energético en un District Heating (DH) de la Universidad de Valladolid

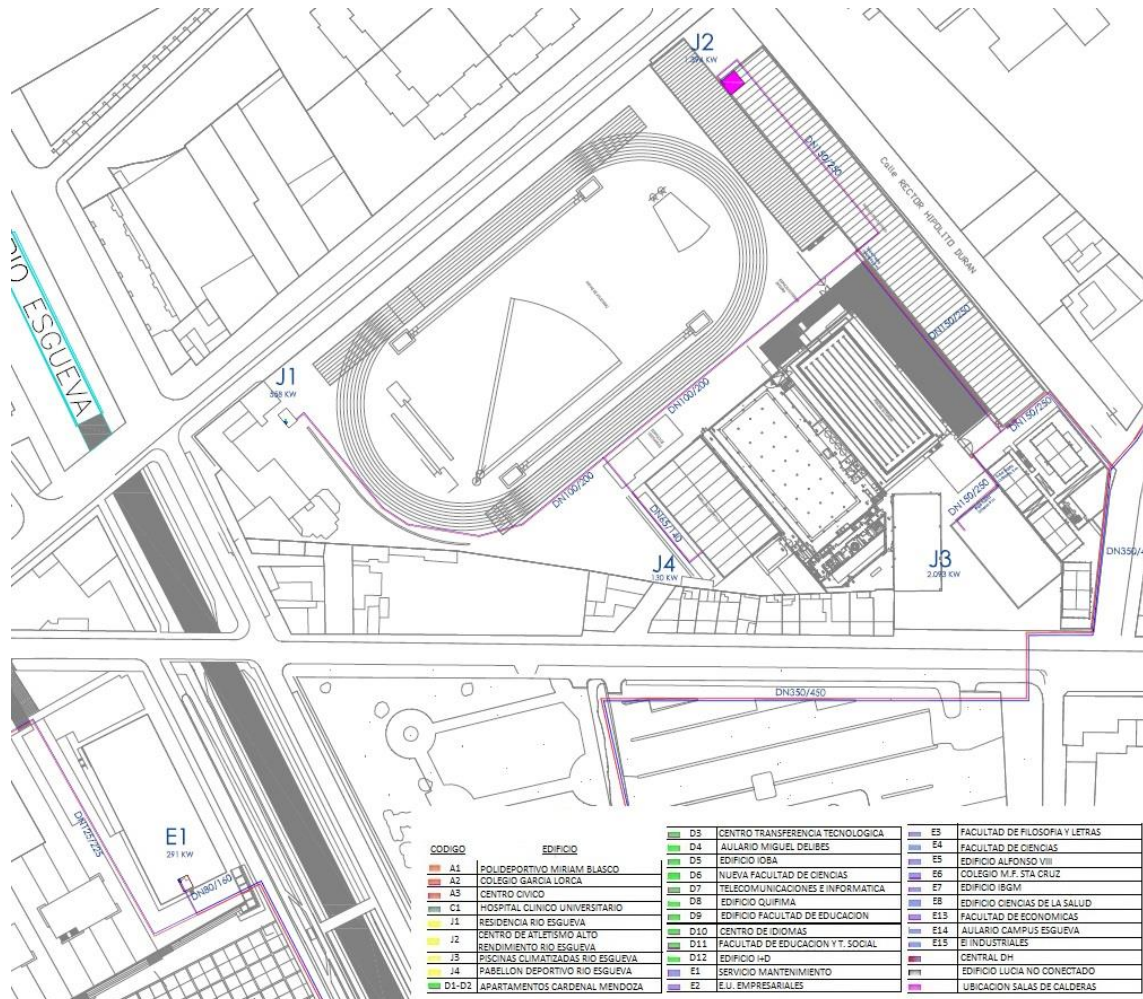


Plano-Imagen 5. Detalle conexión de la red de tuberías con los edificios (2).



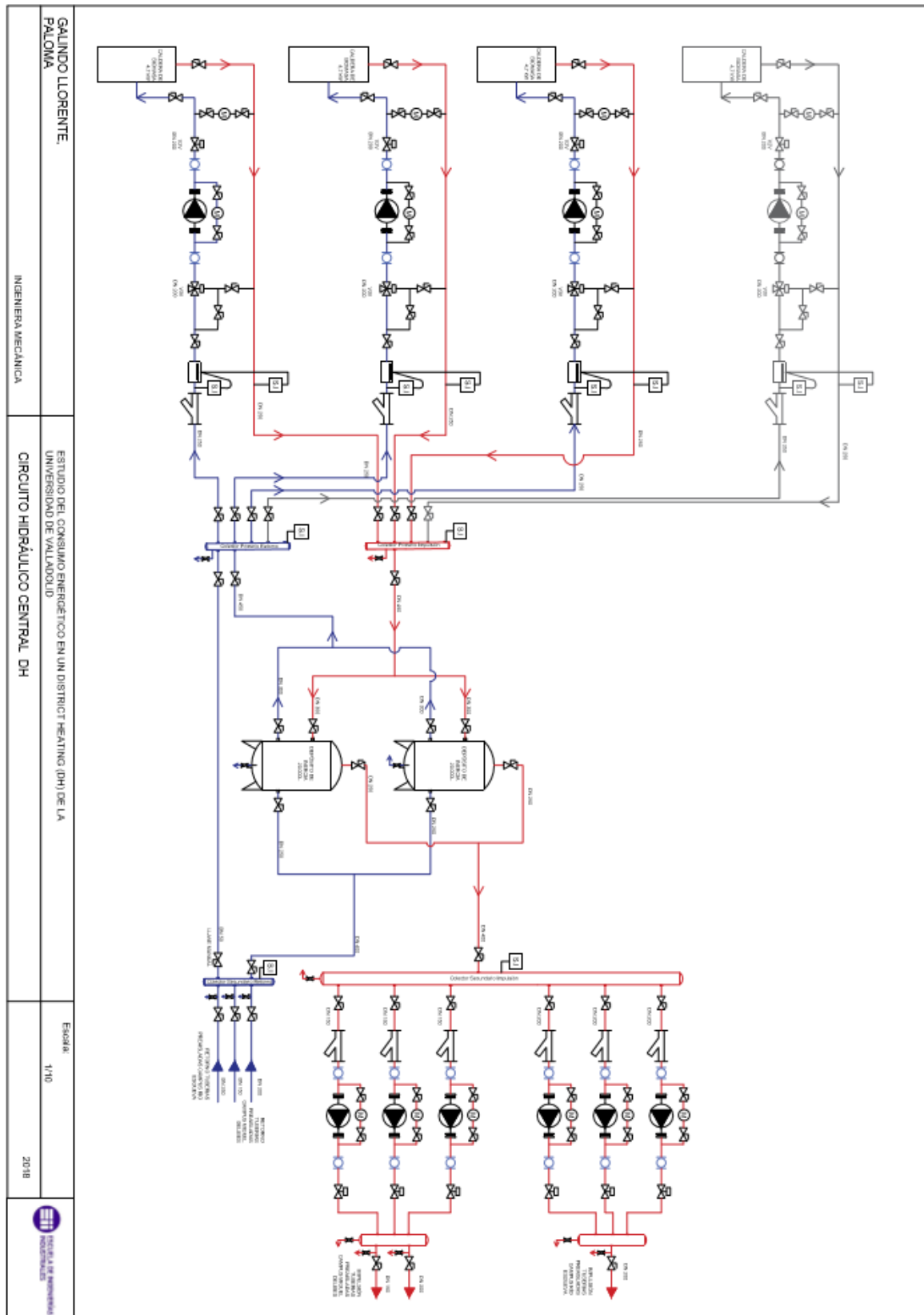
Plano-Imagen 6. Detalle conexión de la red de tuberías con los edificios (3).

Estudio del Consumo Energético en un District Heating (DH) de la Universidad de Valladolid



Plano-Imagen 7. Detalle conexión de la red de tuberías con los edificios (4).

3.7.3 Circuito hidráulico central DH

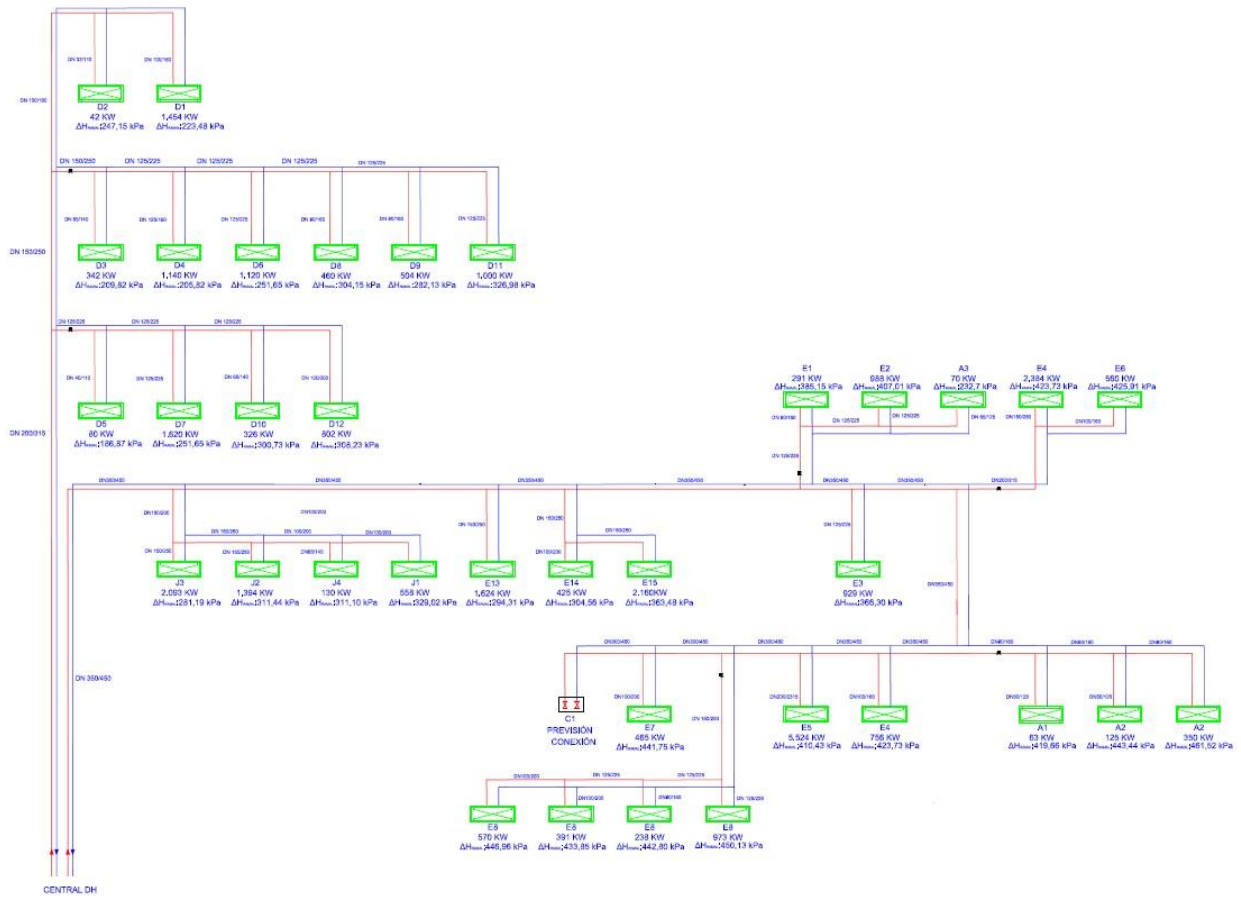


Plano 8. Circuito hidráulico central DH.

GALINDO LORENTE, PALOMA
 INGENIERA MECÁNICA
 ESTUDIO DEL CONSUMO ENERGÉTICO EN UN DISTRICT HEATING (DH) DE LA UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
 CIRCUITO HIDRÁULICO CENTRAL DH
 Escala: 1/10
 2018

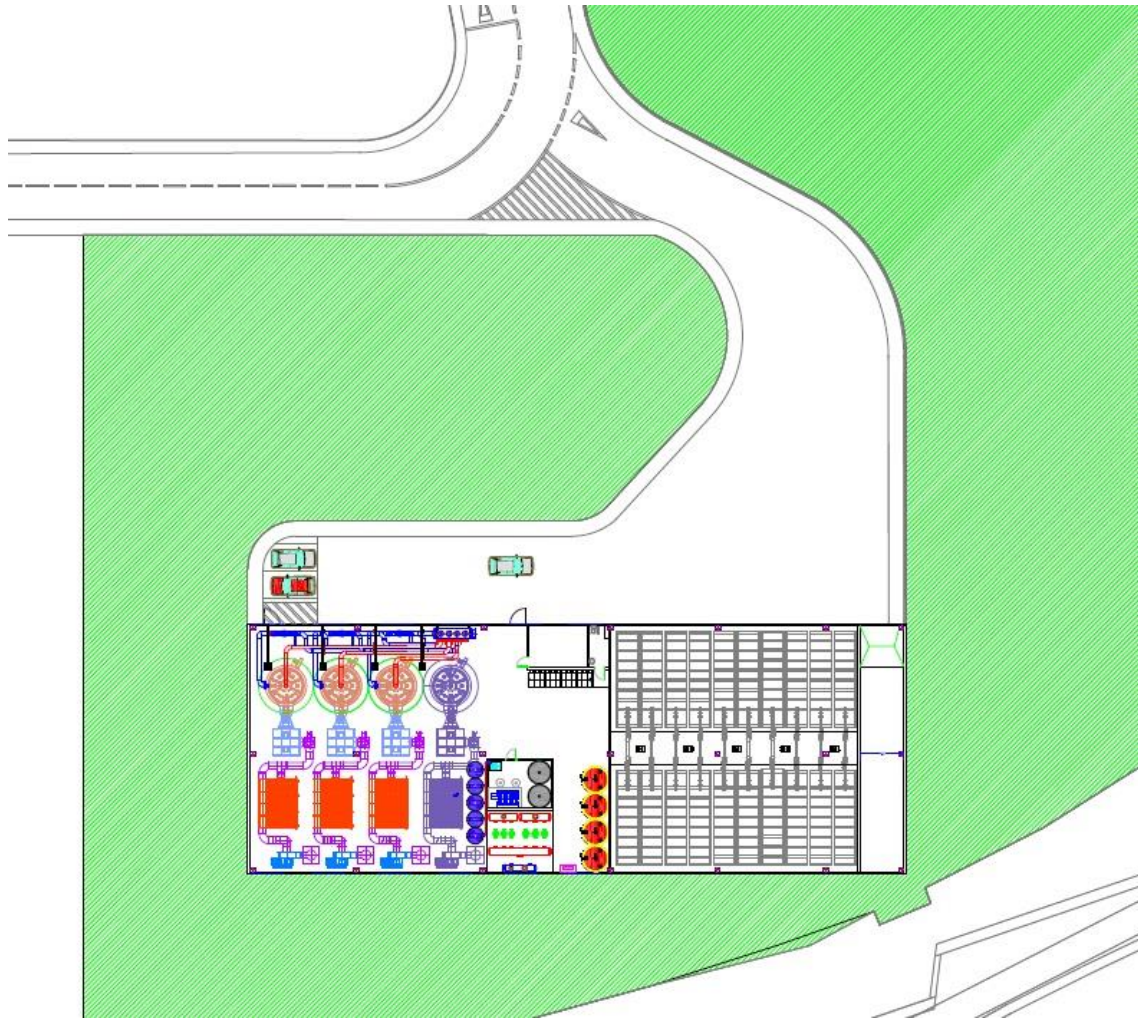


3.7.4 Esquema de la conexión a los edificios



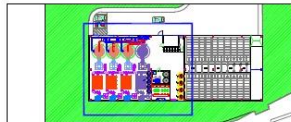
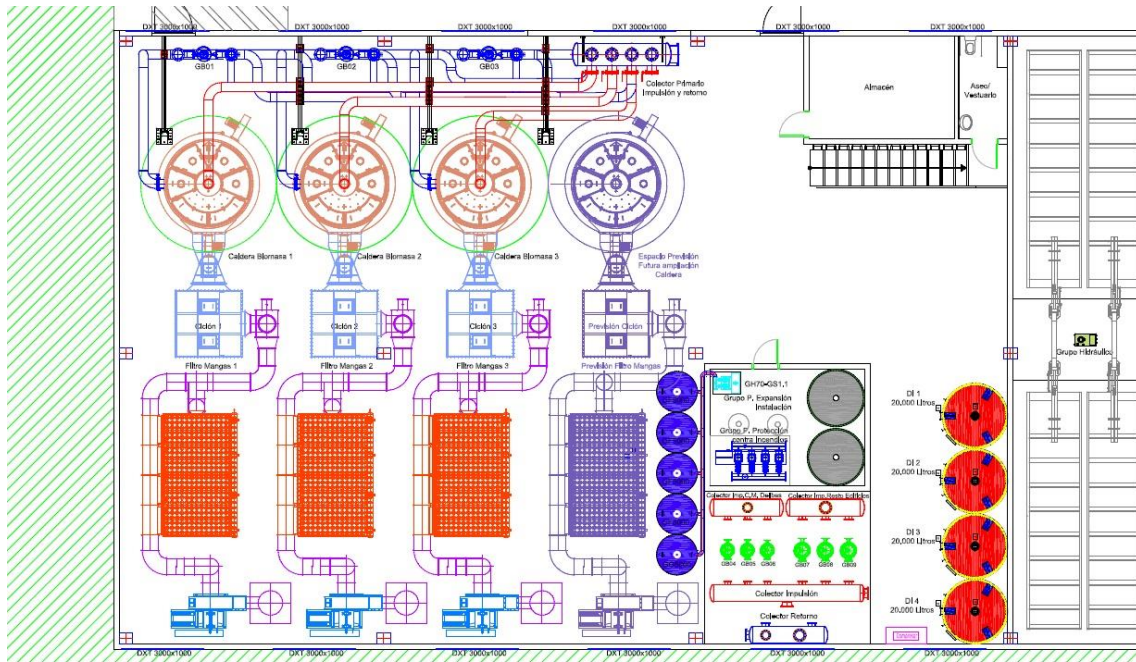
Plano-Imagen 9. Esquema general de la conexión a los edificios.

3.7.5 Sala de calderas y silo de almacenamiento

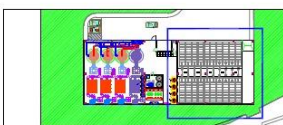
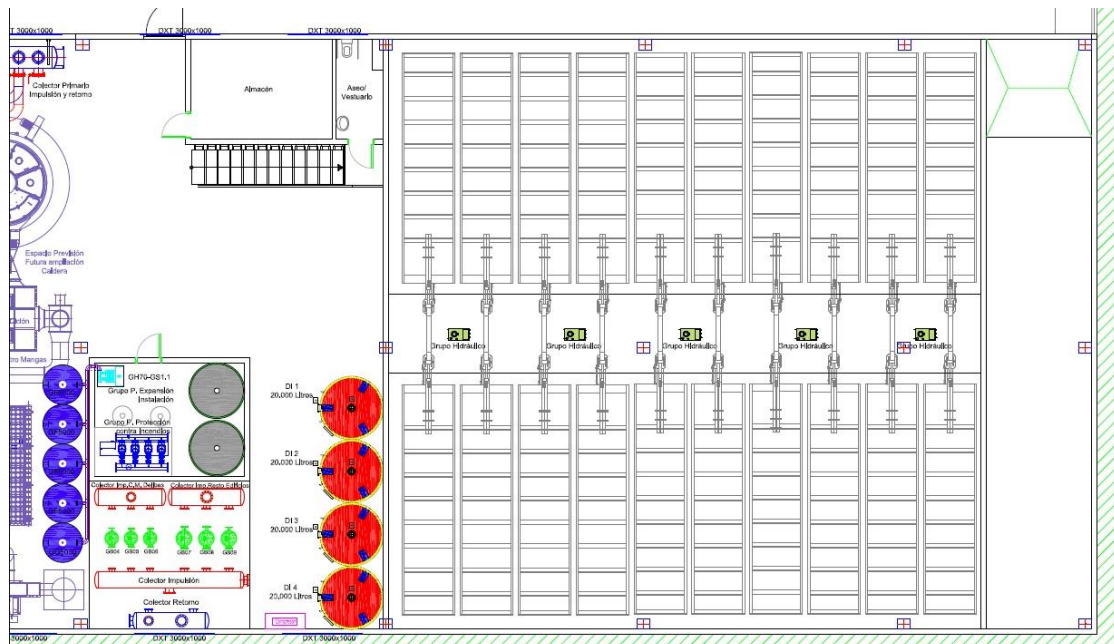


Plano-Imagen 10. Plano general de la sala de calderas y el silo de biomasa.

Estudio del Consumo Energético en un District Heating (DH) de la Universidad de Valladolid



Plano-Imagen 11. Detalle sala de calderas.



Plano-Imagen 12. Detalle silo de biomasa.

3.8 Presupuesto (resumen parciales)

CAPITULO %	RESUMEN	EUROS

--		
1)	RED DE DISTRIBUCIÓN Y SUBESTACIONES DE INTERCAMBIO.....	1.765.507, 89
	(42,02%)	
-01.01	-RED DISTRIBUCIÓN CALOR TUBERÍA PREAISLADA.....	772.248,31
-01.02	-MONTAJE RED DE DISTRIBUCIÓN-AISLAMIENTO SOLDADURAS....	
	379.764,06
-01.03	-SUBESTACIONES DE INTERCAMBIO.....	613.495,52
2)	OBRA CIVIL	630.087,75
	(15,00%)	
-02.01	-EDIFICIO CENTRAL DH.....	329.976,95
-02.01.01	--URBANIZACIÓN.....	74.328,69
-02.01.02	--MOVIMIENTO DE TIERRAS.....	19.765,16
-02.01.03	--CIMENTACIONES.....	50.575,41
-02.01.04	--ESTRUCTURA.....	96.366,75
-02.01.05	--CUBIERTA.....	33.182,50
-02.01.06	--CERRAMIENTOS Y DIVISIONES.....	4.626,85
-02.01.07	--PAVIMENTOS Y REVESTIMIENTOS.....	4.014,53
-02.01.08	--CARPINTERÍA.....	7.117,06
-02.02	-ZANJAS RED DISTRIBUCIÓN.....	300.110,80
--02.02.01	--ZANJAS RED DE CALOR CAMPUS MIGUEL DELIBES.....	57.971,18
--02.02.02	--ZANJAS RED RESTO DE EDIFICIOS.....	242.139,62
3)	EQUIPOS MECÁNICOS.....	1.430.129,22
	(34,04%)	
-03.01	-SISTEMA DE BOMBEO.....	23.407,77
-03.02	-CIRCUITO HIDRÁULICO SALA CALDERAS.....	180.387,35

-03.03 -EXTINCIÓN DE INCENDIOS.....	14.514,33
-03.04 -CALDERAS DE BIOMASA.....	671.168,31
-03.05 -SISTEMA DE TRANSPORTE DE BIOMASA Y PISO MOVIL.....	394.527,04
-03.06 -SISTEMA DE DESCARGA BIOMASA.....	21.751,88
-03.07 -SISTEMA RECOGIDA DE CENIZAS.....	12.195,65
-03.08 -AISLAMIENTO Y CALORIFUGADO SALA.....	23.682,39
-03.09 -INSTALACIÓN DE FONTANERÍA.....	19.389,26
-03.10 -SISTEMA DE EXPANSIÓN.....	60.687,98
-03.11 -INSTALACIÓN SANEAMIENTO.....	8.417,26
4) EQUIPOS ELÉCTRICOS.....	119.140,83
(2,84%)	
-04.01 -INST. ELÉCTRICA CENTRAL DE BIOMASA.....	67.885,46
--04.01.01 --CABLEADO.....	41.074,64
--04.01.02 --CANALIZACIONES.....	5.799,83
--04.01.03 --ILUMINACIÓN.....	5.354,57
--04.01.04 --CUADRO ELÉCTRICO.....	15.656,42
-04.02 -LÍNEA M.T. Y CENTRO DE TRANSFORMACIÓN.....	51.255,37
--04.02.01 --OBRA CIVIL.....	8.993,56
--04.02.02 --APARAMENTA ALTA TENSIÓN.....	19.838,71
--04.02.03 --TRANSFORMADORES.....	13.823,65
--04.02.04 --EQUIPOS DE BAJA TENSIÓN.....	5.683,63
--04.02.05 --SISTEMA DE PUESTA A TIERRA.....	1.996,48
--04.02.06 --VARIOS.....	919,34
5) INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL.....	90.921,19
(2,16%)	
6) GESTIÓN DE RESIDUOS.....	17.340,58
(0,41%)	
7) SEGURIDAD Y SALUD.....	25.855,42
(0,62%)	

8) INGENIERÍA.....98.300,00
(2,34%)

9) CONTROL DE CALIDAD.....24.397,80
(0,58%)

--

TOTAL EJECUCIÓN MATERIAL 4.201.680,68

13,00 % Gastos generales..... 546.218,48

6,00 % Beneficio Industrial.....252.100,84

SUMA DE G.G y B.I 798.319,32

TOTAL PRESUPUESTO CONTRATA 5.000.000

TOTAL PRESUPUESTO GENERAL 5.000.000

Asciende el presupuesto general a CINCO MILLONES DE EUROS (más IVA). La ampliación de 2017 respecto a la conexión del Hospital clínico universitario, se le añade una cuantía a este presupuesto de SISCIENTOS CUARENTA Y SIETE MIL OCHOCIENTOS DIEZ EUROS.

Con un periodo de explotación de 15 años.

Capítulo 4.

Edificio objeto de estudio: Escuela de Ingenierías Industriales.

4.1 Ubicación

La escuela de Ingenierías Industriales se encuentra en el Campus Río Esgueva.

Sede Paseo del Cauce, c/ Paseo del Cauce n/ 59.

La escuela tiene una orientación: $41^{\circ}39'26''\text{N}$ $4^{\circ}42'37''\text{O}$.

C.P/ 47011 Valladolid.



Imagen 60. Situación Escuela de Ingenierías Industriales respecto a la central térmica.

La Escuela de Ingenierías Industriales (EII) de la Universidad de Valladolid es el resultado de la unificación de la antigua Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales (ETSII), la antigua Escuela Universitaria Politécnica (EUP) y las instalaciones de los Departamentos de Ingeniería Química y Tecnología del Medio Ambiente e Ingeniería de Sistemas y Automática de la Facultad de Ciencias (en la actualidad edificio mixto FFCC y EII), todos ellos pertenecientes a la Universidad de Valladolid.

El Centro de Ingenierías Industriales (EII) fue autorizado por la Consejería de Educación de la Junta de Castilla y León (acuerdo 11/2009, de 23 de Enero 2009, BOCyL nº18, pág. 2356, de 28 de enero de 2009). Junto a la creación de la Escuela de Ingenierías Industriales, el acuerdo autoriza la supresión de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales (ETSII) y de la Escuela Universitaria Politécnica (EUP).

El nuevo Centro de Ingenierías Industriales (EII) de la UVa ha entrado en funcionamiento en el curso 2009-2010. Actualmente la Escuela de Ingenierías Industriales tiene una superficie útil de 16.691,4 m². Superficie a tener en cuenta en los cálculos del estudio de este proyecto.

4.2 ¿Cómo llega la red de calor a la Escuela de Ingenierías Industriales?

Desde la central térmica sale la red de tuberías por la carretera circunvalación, pasando por el Paseo de Belén, por la calle Rector Luis Suárez y por la avenida Valle de Esgueva, terminado el trayecto en Paseo del Cauce dónde se encuentra la Escuela de Ingenierías Industriales.

Este trayecto es fiel al seguimiento de uno de los anillos que compone el sistema District Heating del campus Río Esgueva.

Nota: Ver plano 13: RED DE CALOR DESDE LA CENTRAL TÉRMICA HASTA LA EII.

4.3 Funcionamiento de la Subestación de la E.I.I.

La transferencia térmica entre la red de distribución y la Escuela de Ingenierías Industriales se realiza a través de una subestación formada por un intercambiador y los elementos que regulan y controlan que el funcionamiento sea el idóneo.

Las acometidas son las tuberías de conexión entre la red y la subestación del edificio, entrando en el edificio subterráneamente. Una vez que llegan las tuberías, tanto la de impulsión como la de retorno, al cuarto de calderas de la escuela, que es dónde se ubica la subestación térmica, ésta se encarga de adecuar la presión y temperatura de la red de distribución a las condiciones necesarias para el consumo del edificio, garantizando unos saltos de temperatura para una buena eficiencia del sistema.



Imagen 61. Conexión entre circuito primario y secundario a través de la Subestación de la E.I.I.

La conexión establecida es indirecta, puesto que la transferencia de calor se debe a un intercambiador de calor, en este caso de placas, de forma que tenemos dos circuitos claramente independizados, el circuito primario, desde la central térmica hasta la subestación con intercambiador de calor, y el secundario, desde la subestación con intercambiador de calor hasta los puntos de abastecimiento del edificio.

Nota: ver plano 14: ESQUEMA DE PRINCIPIO: SUBESTACIÓN EII.

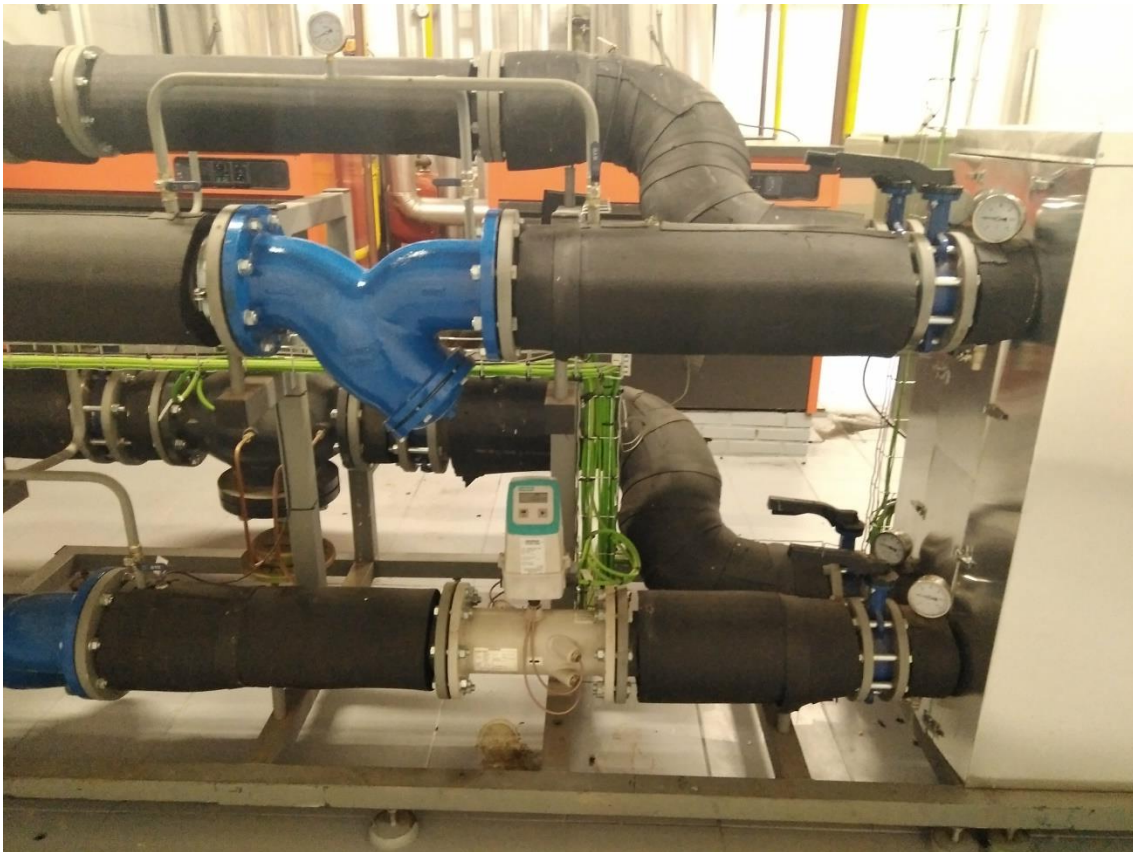


Imagen 62. Subestación de la E.I.I (1).



Imagen 63. Subestación de la E.I.I (2).

El intercambiador de calor está aislado térmicamente por ello, no se aprecia a simple vista que es un intercambiador de placas.

Como se aprecia en las imágenes, el funcionamiento es el siguiente:

La red de calor llega a la escuela, dirigiéndose tanto la tubería de impulsión como la de retorno a la sala de calderas, se conecta la tubería de impulsión con un filtro por sistemas de seguridad, pasando previamente por una válvula para su posible regulación. Después del filtro se coloca nuevamente otra válvula llegando finalmente al intercambiador de calor. El intercambiador regula la temperatura de tal forma que la tubería de impulsión del circuito secundario parte del intercambiador hacia una bomba de impulsión con sus respectivos filtros y antirretornos para el adecuado funcionamiento del fluido impulsado hacia la sala de bombeo, la cual distribuye el fluido a las diferentes zonas del edificio.

Una vez abastecido las necesidades del edificio, el fluido pasando por la sala de bombeo de la escuela, retorna nuevamente a la sala de calderas, dirigiéndose al intercambiador de calor, pasando previamente por un filtro por seguridad y por un contador térmico, de esta forma se tiene controlado el consumo térmico de la escuela.

Finalmente al pasar el fluido por el intercambiador de calor, es dirigido por la tubería de retorno del circuito primario, haciéndole pasar por una válvula de dos vías motorizada y así saliendo de la sala de calderas hacia la central térmica.

Nota: ver plano 15: Esquema de principio: Circuito hidráulico EII con DH.

Toda la subestación está controlada con manómetros de presión y temperatura para su correcto funcionamiento.

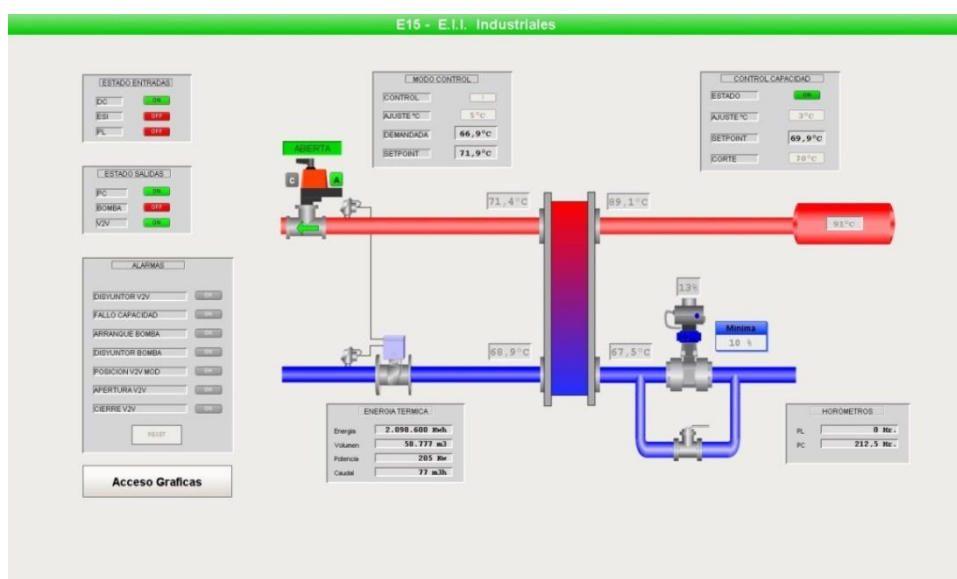


Imagen 64. Scada subestación de la E.I.I.

Las temperaturas tanto de impulsión como de retorno de la instalación deben de estar en todo momento controladas para su correcto funcionamiento, ya que la instalación está diseñada de modo que la temperatura llegue al intercambiador de calor desde la central térmica, en torno a 90°C y la temperatura a la salida del intercambiador en la tubería de retorno hacia la central sea en torno a 70°C.

Por ello, se cuenta con softwares informáticos para visualizar y controlar en cualquier momento el funcionamiento de la instalación y así detectar rápidamente cualquier posible fallo y visualizar el punto exacto dónde existiese el problema.

4.4 Ejemplo de un día de funcionamiento de invierno en la Escuela

La escuela es abastecida por la red de calor DH, teniendo como modo de seguridad dos calderas de gas natural, que en caso de fallo de la instalación o posible avería, entrarían en funcionamiento.



Imagen 65. Calderas de gas natural de la E.I.I.

Este ejemplo se basa en el día 24 de marzo de 2017, en el que hacía una temperatura exterior de 14,3°C.

Las calderas del DH están automatizadas según las demandas de la red y en este día la caldera dispuesta a abastecer la Escuela de Ingenierías Industriales fue la caldera número 2.

En la siguiente imagen se muestra el cuadro de mando de regulación automática de la caldera dos, en el que se muestra la temperatura de la caldera, de los humos y los

porcentajes de funcionamiento de los diferentes ventiladores de los que dispone la caldera. También se señala la presión a la que está sometida la caldera.



Imagen 66. Cuadro de mando de la caldera 2.

La temperatura del agua caliente en la impulsión está en torno a 90°C. Según el Scada de la subestación de la Escuela, la temperatura a la que llega al intercambiador de calor de la subestación es de 89,1°C, por lo que se puede ver hay unas pérdidas en la instalación de 1,9°C, ya que en ese día la temperatura de partida desde la central es de 91°C, lo que resulta bastante eficaz después de recorrer el agua casi 2km hasta llegar a la escuela, al pasar por el intercambiador, sale hacia la sala de bombeo de la Escuela con una temperatura de 71,4°C.

En este día la temperatura demandada fue de 66,9°C para poder abastecer a todo el edificio, aun así se tiene un margen de seguridad de 5°C por encima, es decir se requiere una temperatura de 71,9 °C.

Para el control de capacidad se parte de la temperatura demandada (66,9°C) con un margen de seguridad de 3°C, por lo que la temperatura quedaría en 69,9°C, como la temperatura de corte es de 70°C, se dispone de un estado OK ya que no se supera dicha temperatura.

Tanto como 71,4°C es menor que 71,9°C y 68,9°C es menor que 69,9°C, la cual esta última es lo esperado, la instalación contará con un perfecto funcionamiento según la demanda de la Escuela, si no fuese así, saltaría una alarma y no se podría llegar a abastecer el edificio, como la temperatura de llegada es de 89,1 °C no hay problema.

En caso contrario de que no se pudiese abastecer la Escuela con el DH, entrarían en funcionamiento las calderas de gas natural.

En la parte izquierda de la imagen se puede observar los diferentes pilotos de alarmas que puede haber.

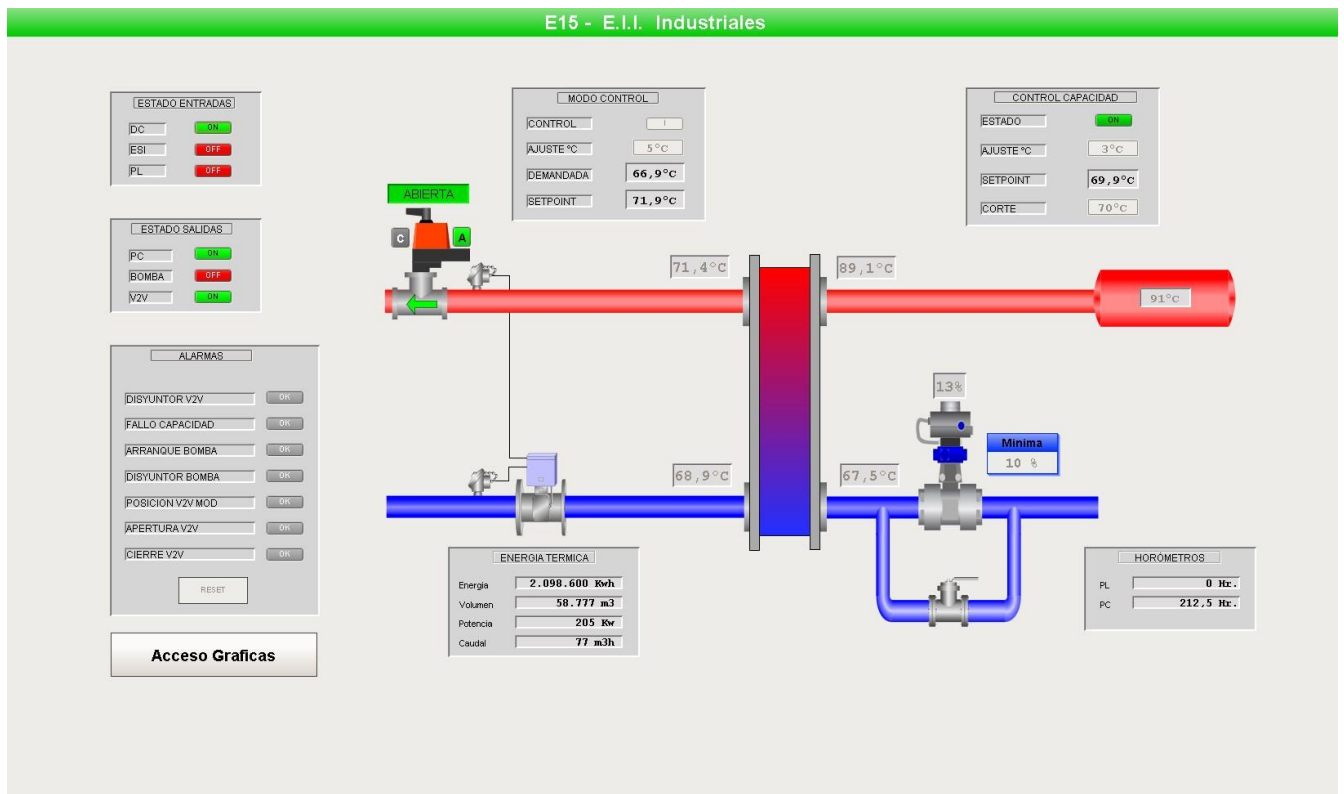


Imagen 67. Scada subestación de la E.I.I (2).

En este día la energía térmica requerida fue de 2.098.600 kWh, con una potencia de 205 kW, trasegándose pues un caudal de 77 m³/h.

La temperatura de retorno tiene que estar en torno a 70 °C, pues así lo requiere la programación de dicha instalación.

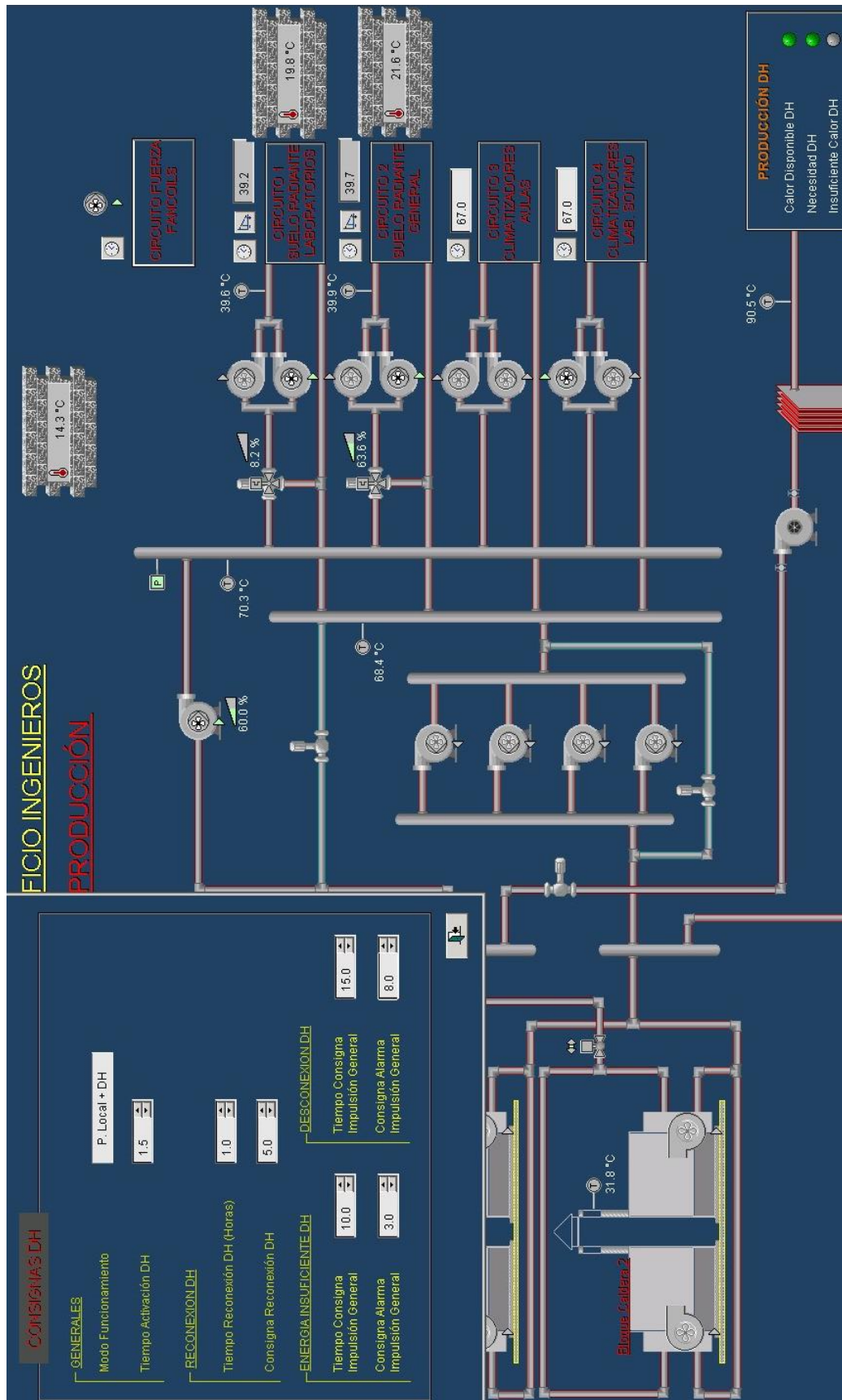


Imagen 68. Scada de la E.I.I.

La red del DH abastece a la Escuela según demande durante hora y media, teniendo un tiempo de reconexión de una hora. La temperatura demandada dependerá de la temperatura exterior, requiriendo más calor los días de más frío, siempre con el modo de funcionamiento del sistema de calderas propio de la Escuela y la red de calor DH.

En caso de fallo de la red DH, en particular la Escuela de Ingenierías Industriales esta automatizada de la siguiente forma:

Si no se puede abastecer a la Escuela, hay un tiempo de consigna de impulsión general de 10 minutos, transcurridos estos 10 minutos sin poder abastecer la energía requerida, saltaría la alarma, la cual tiene un tiempo de consigna de 3 minutos. Por lo que pasados los 15 minutos sin poderse abastecer a la Escuela, la red de calor DH se desconectaría automáticamente.

El circuito hidráulico mostrado en el Scada, el cual hace referencia a la sala de bombeo de la Escuela de Ingenierías Industriales, se muestra la temperatura que se hace llegar a los circuitos de suelo radiante de la misma.

Nota: ver plano 16: Esquema de principio: Circuito hidráulico EII con Calderas GN.

4.5 Consumo antiguo de gas natural

Año 2014

	Gas - 2014			
	Euros	Euros/m ²	KWh	KWh/m ²
Enero	15.684,21	0,94	258.821	15,51
Febrero	16.754,62	1,00	276.638	16,57
Marzo	12.682,19	0,76	208.852	12,51
Abril	7.107,55	0,43	116.325	6,97
Mayo	1.265,47	0,08	18.881	1,13
Junio	135,13	0,01	0	0,00
Julio	135,13	0,01	0	0,02
Agosto	135,13	0,01	0	0,00
Septiembre	135,13	0,01	0	0,00
Octubre	198,88	0,01	993	0,06
Noviembre	10.637,21	0,64	173.818	10,41
Diciembre	10.701,12	0,64	174875	10,48

Tabla 9. Consumo gas natural 2014.

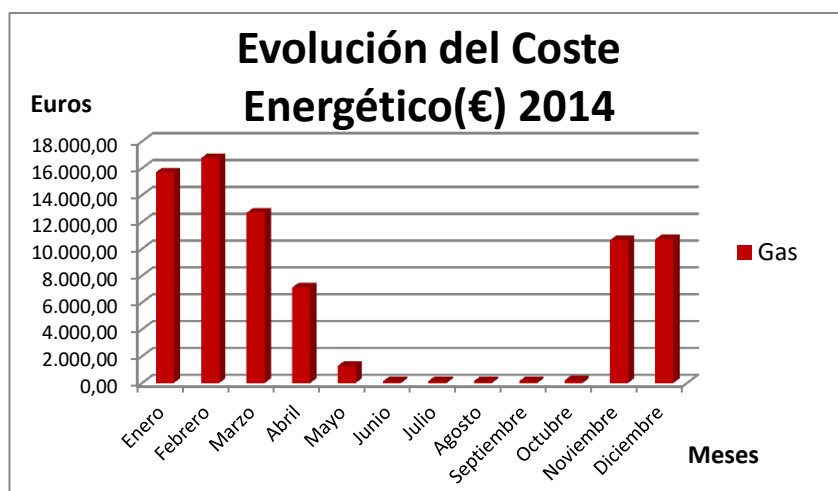


Gráfico 1. Evolución del Coste Energético (€) 2014.

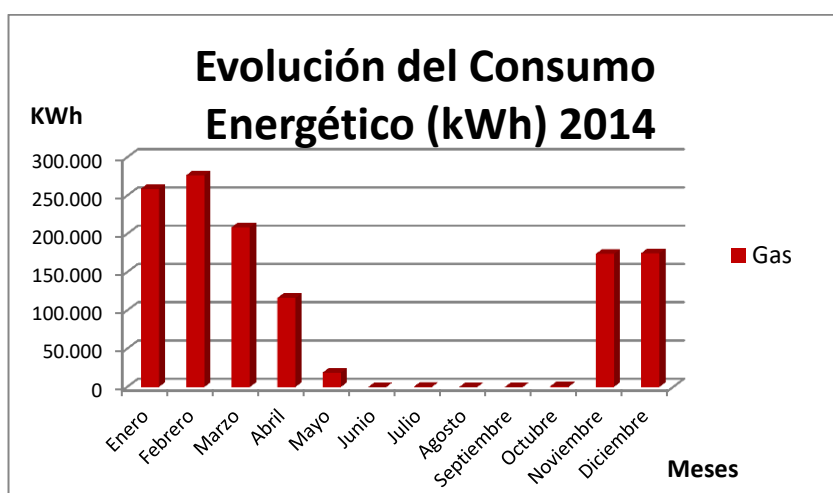


Gráfico 2. Evolución del Consumo Energético (kWh) 2014.

Año 2015

	Gas - 2015			
	Euros	Euros/m ²	KWh	KWh/m ²
Enero	22492,18	1,35	377448	22,61
Febrero	21289,07	1,28	360.341	21,59
Marzo	14459,23	0,87	243.979	14,62
Abril	5421,08	0,32	95.293	5,71
Mayo	1882,58	0,11	31520	1,89
Junio	137,42	0,01	0	0,00
Julio	137,42	0,01	0	0,00
Agosto	137,42	0,01	0	0,00
Septiembre	137,42	0,01	0	0,00
Octubre	450,62	0,03	5905	0,35
Noviembre	852,36	0,05	13498	0,81
Diciembre	333,56	0,02	3703	0,22

Tabla 10. Consumo gas natural 2015.

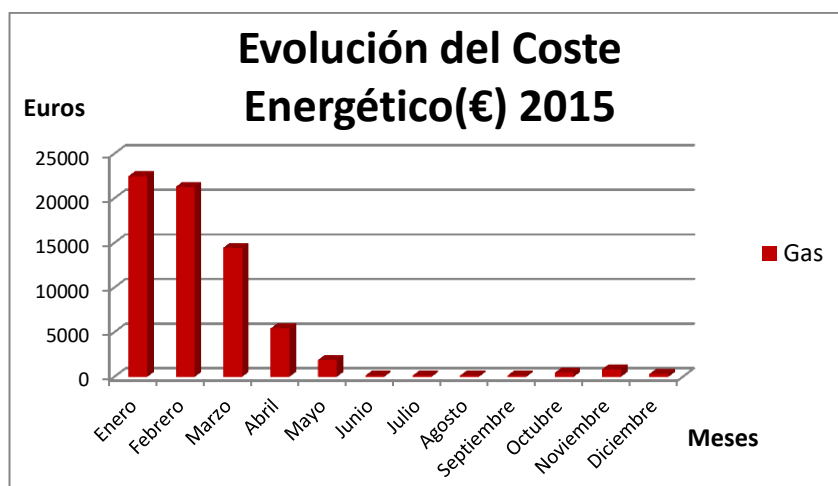


Gráfico 3. Evolución del Coste Energético (€) 2015.

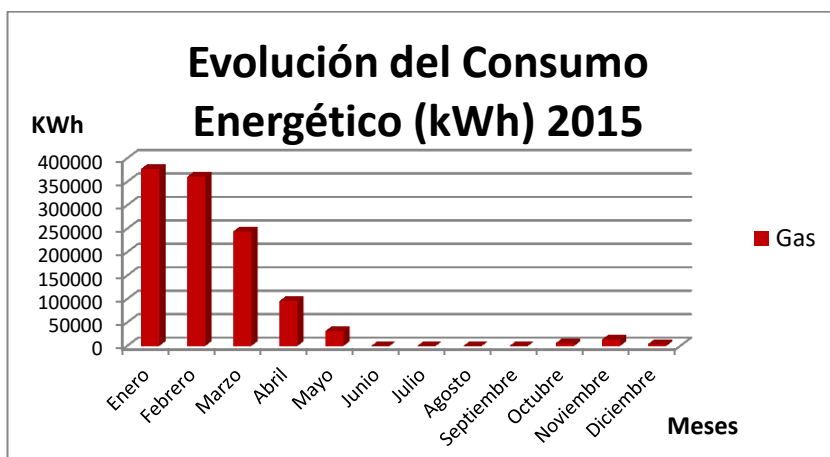


Gráfico 4. Evolución del Consumo Energético (kWh) 2015.

Año 2016

	Gas - 2016			
	Euros	Euros/m ²	KWh	KWh/m ²
Enero	1845,7	0,11	33617	2,01
Febrero	252,09	0,02	2294	0,14
Marzo	751,88	0,05	12292	0,74
Abril	720,34	0,04	12395	0,74
Mayo	269,26	0,02	2912	0,17
Junio	136,54	0,01	0	0,00
Julio	136,54	0,01	0	0,00
Agosto	136,54	0,01	0	0,00
Septiembre	163,29	0,01	574	0,03
Octubre	692,99	0,04	11345	0,68
Noviembre	574,22	0,03	8908	0,53
Diciembre	302,57	0,02	3379	0,20

Tabla 11. Consumo gas natural 2016.

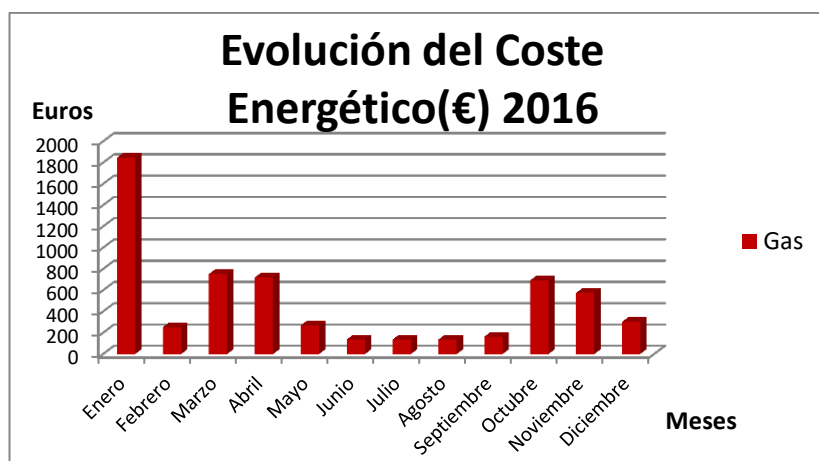


Gráfico 5. Evolución del Coste Energético (€) 2016.

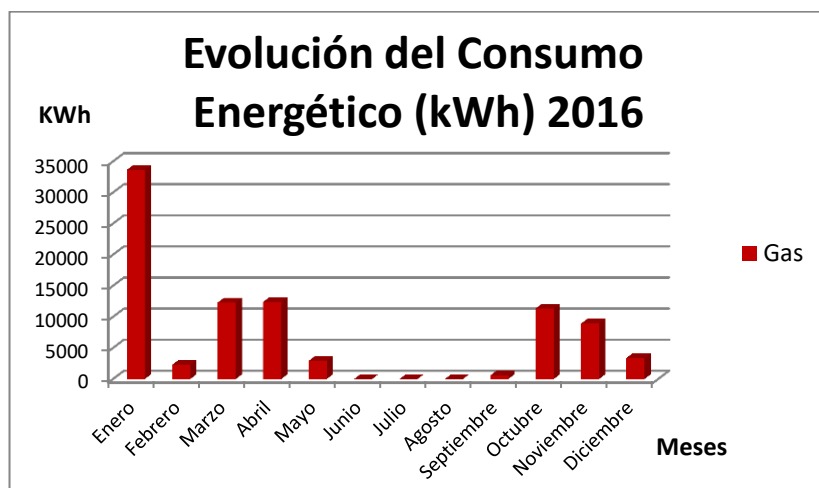


Gráfico 6. Evolución del Consumo Energético (kWh) 2016.

Año 2017

	Gas - 2017			
	Euros	Euros/m ²	KWh	KWh/m ²
Enero	260,61	0,02	2834	0,17
Febrero	108,66	0,01	0	0,00
Marzo	148,50	0,01	851	0,05
Abril	325,05	0,02	5184	0,31
Mayo	300,78	0,02	4587	0,27
Junio	108,66	0,01	0	0,00
Julio	108,66	0,01	0	0,00
Agosto	108,66	0,01	0	0,00

Tabla 12. Consumo gas natural 2017.

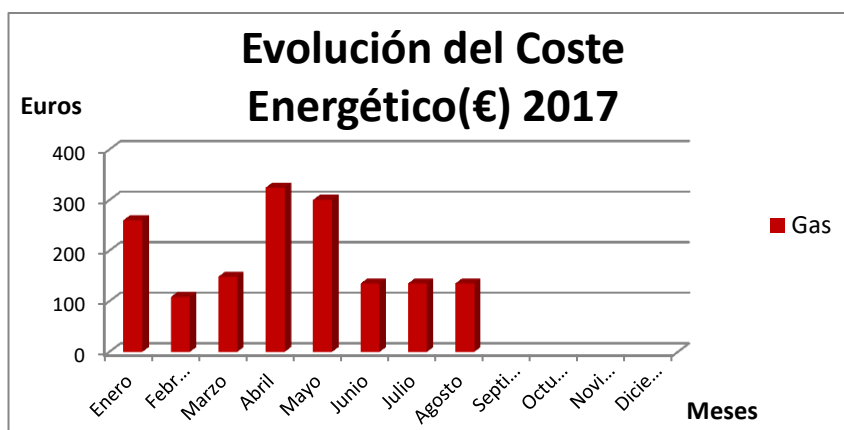


Gráfico 7. Evolución del Coste Energético (€) 2017.

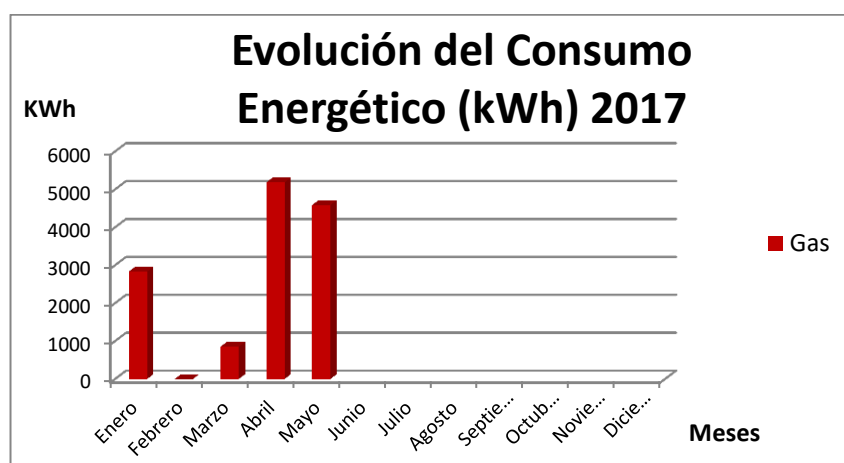


Gráfico 8. Evolución del Consumo Energético (kWh) 2017.

Estas tablas muestran simplemente, el gasto mes a mes de gas natural de la Escuela de Ingenierías industriales. Hay que tener dos consideraciones importantes; la primera sería que en los meses donde no hay consumo energético ya que la escuela no cuenta con gasto de calefacción, que son Junio, Julio, Agosto y en algunos años Septiembre, el gasto económico no es nulo, hay que pagar una tasa por la contratación de este servicio. Como se aprecia en las tablas en 2014 fue de 135,13€, en 2015 de 137,42€, en 2016 de 136,54€ y en 2017 ha sido de 108,66€. Y la segunda consideración importante sería que a partir de Septiembre de 2015, el gasto tanto energético como económico ha disminuido gracias al suministro de la red de calor DH.

Resumen anual:

	Gas			
	Euros	Euros/m ²	KWh	KWh/m ²
2006	50872,59	3,05	1264550,43	75,76
2007	52765,03	3,16	1415661	84,81
2008	66022,49	3,96	1632630	97,81
2009	70794,61	4,24	1585339	94,98
2010	111797,16	6,70	2569220	153,92
2011	82972,13	4,97	1639719	98,24
2012	106557,95	6,38	1805694	108,18
2013	95578,848	5,73	1510476	90,49
2014	75587,13	4,53	1229459	73,66
2015	67730,36	4,06	1131687	67,80
2016	5981,96	0,36	87716	5,26
2017	1469,58	0,09	13456	0,81

Tabla 13. Consumo gas natural anual.

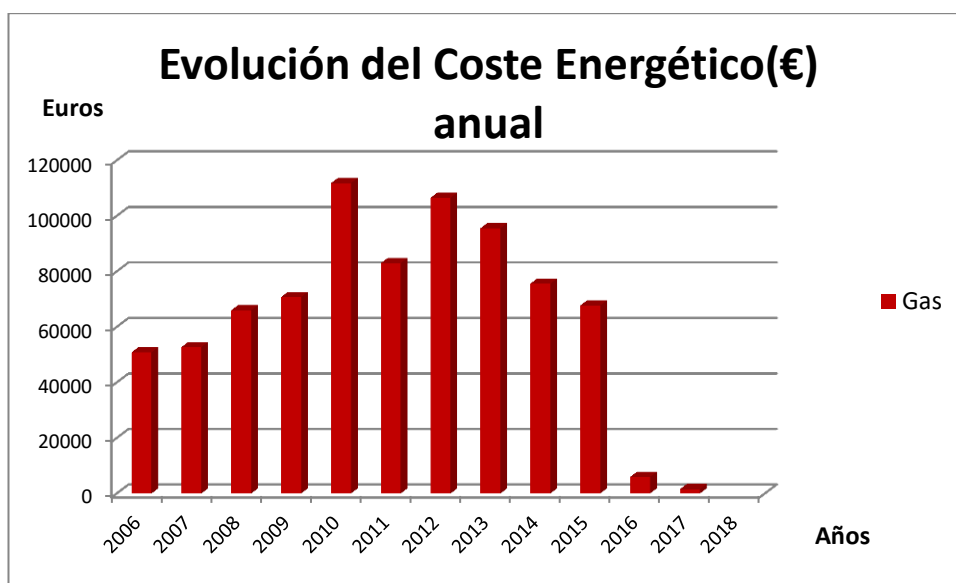


Gráfico 9. Evolución del Coste Energético (€) anual.

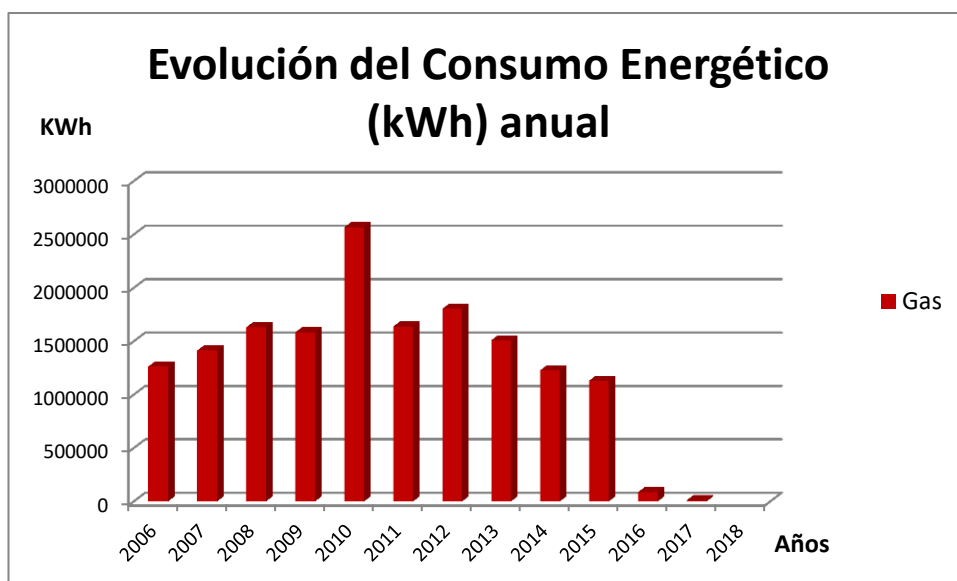


Gráfico 10. Evolución del Consumo Energético (kWh) anual.

A la vista queda como se aprecia una importante disminución económica y de gasto energético en cuanto a gas natural en estos dos últimos años.

4.6 Consumo actual con la red de calor DH

La entrada en funcionamiento del DH fue en el año 2015/2016, siendo el segundo año de funcionamiento de la red DH (2016/2017) objeto principal de estudio de este proyecto.

Año 2015

	Biomasa - 2015			
	Euros	Euros/m ²	KWh	KWh/m ²
Septiembre	0	0	0	0
Octubre	4276,75	0,26	53000	3,18
Noviembre	13936,54	0,83	173200	10,38
Diciembre	10146,64	0,61	126100	7,55

Tabla 14. Consumo biomasa 2015.

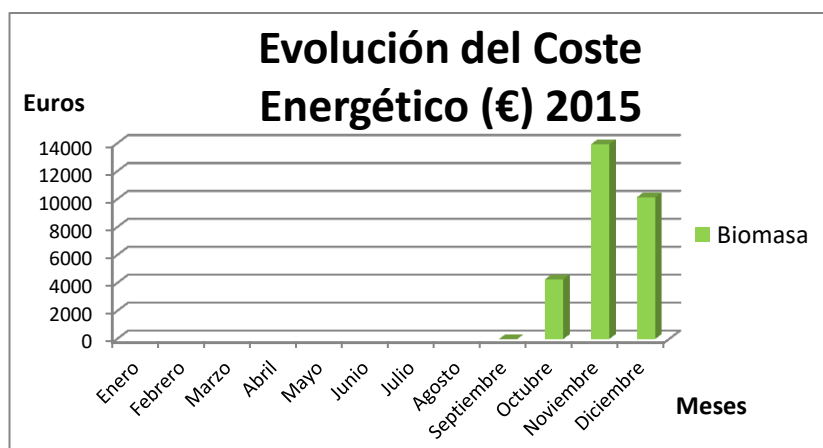


Gráfico 11. Evolución del Coste Energético (€) 2015.

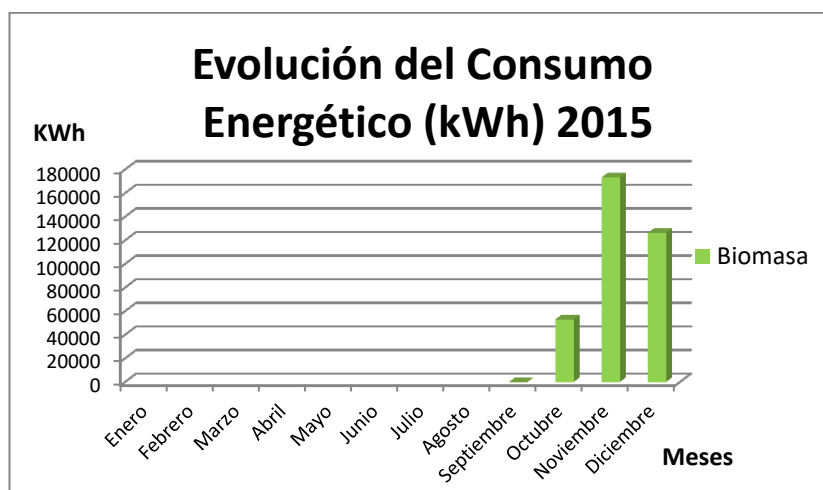


Gráfico 12. Evolución del Consumo Energético (kWh) 2015.

Año 2016

	Biomasa - 2016			
	Euros	Euros/m ²	KWh	KWh/m ²
Enero	13477,89	0,81	167500	10,04
Febrero	18056,35	1,08	224400	13,44
Marzo	13252,58	0,79	164700	9,87
Abril	10194,91	0,61	126700	7,59
Mayo	1520,79	0,09	18900	1,13
Junio	0	0,00	0	0,00
Julio	0	0,00	0	0,00
Agosto	0	0,00	0	0,00
Septiembre	0	0,00	0	0,00
Octubre	2309,34	0,14	28700	1,72
Noviembre	14974,54	0,90	186100	11,15
Diciembre	14274,49	0,86	177400	10,63

Tabla 15. Consumo biomasa 2016.

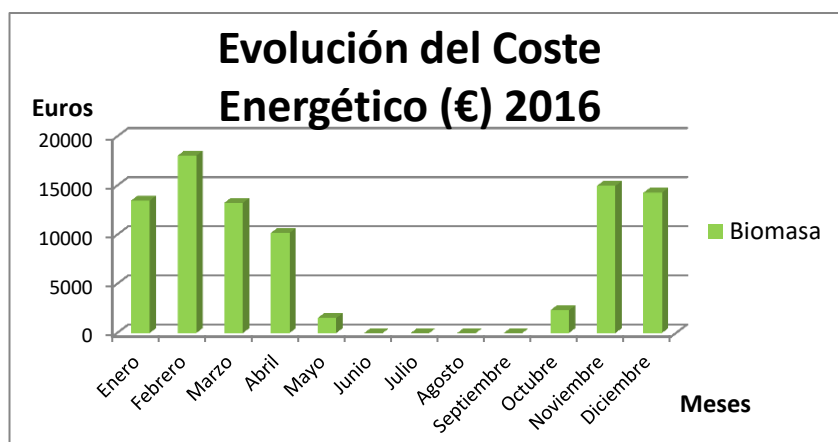


Gráfico 13. Evolución del Coste Energético (€) 2016.

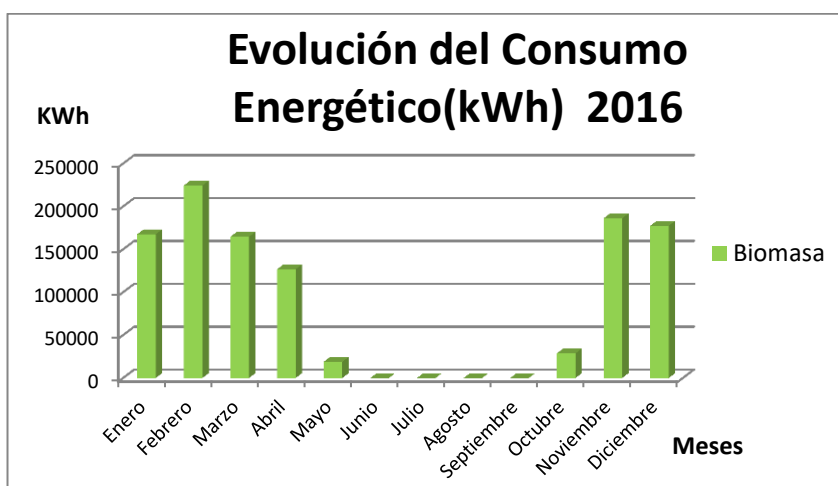


Gráfico 14. Evolución del Consumo Energético (kWh) 2016.

Año 2017

	Biomasa - 2017			
	Euros	Euros/m ²	KWh	KWh/m ²
Enero	23445,41	1,40	283300	16,97
Febrero	17016,28	1,02	205600	12,32
Marzo	14053,33	0,84	169800	10,17
Abril	4452,70	0,27	53800	3,22
Mayo	1142,14	0,07	13800	0,83
Junio	0	0,00	0	0,00
Julio	0	0,00	0	0,00
Agosto	0	0,00	0	0,00

Tabla 16. Consumo biomasa 2017.

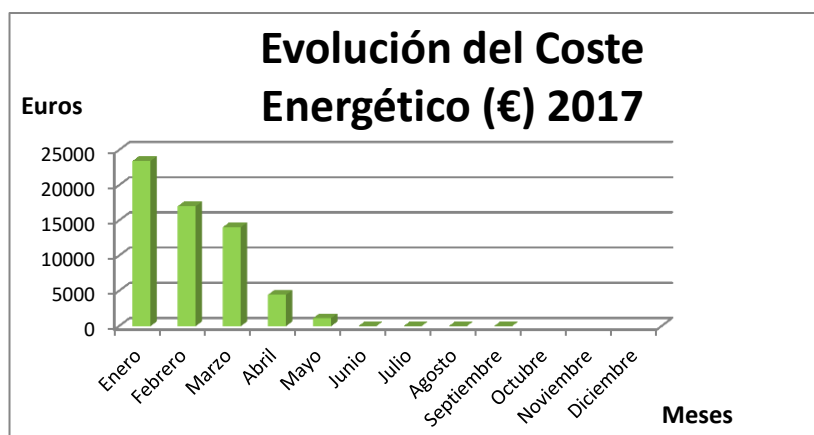


Gráfico 15. Evolución del Coste Energético (€) 2017.

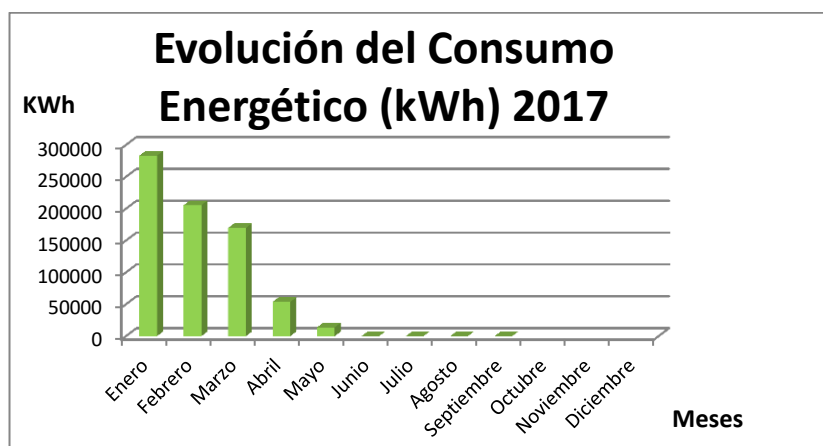


Gráfico 16. Evolución del Consumo Energético (kWh) 2017.

Resumen anual:

	Biomasa			
	Euros	Euros/m ²	KWh	KWh/m ²
2015	28359,93	1,70	352300	21,11
2016	88060,89	5,28	1094400	65,57
2017	60109,86	3,60	726300	43,51

Tabla 17. Consumo biomasa anual.

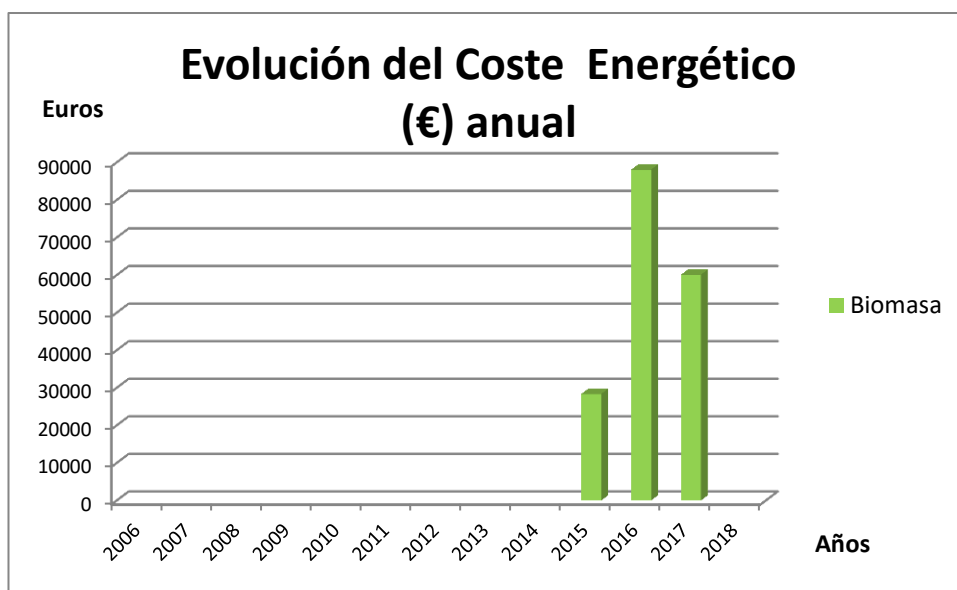


Gráfico 17. Evolución del Coste Energético (€) anual.

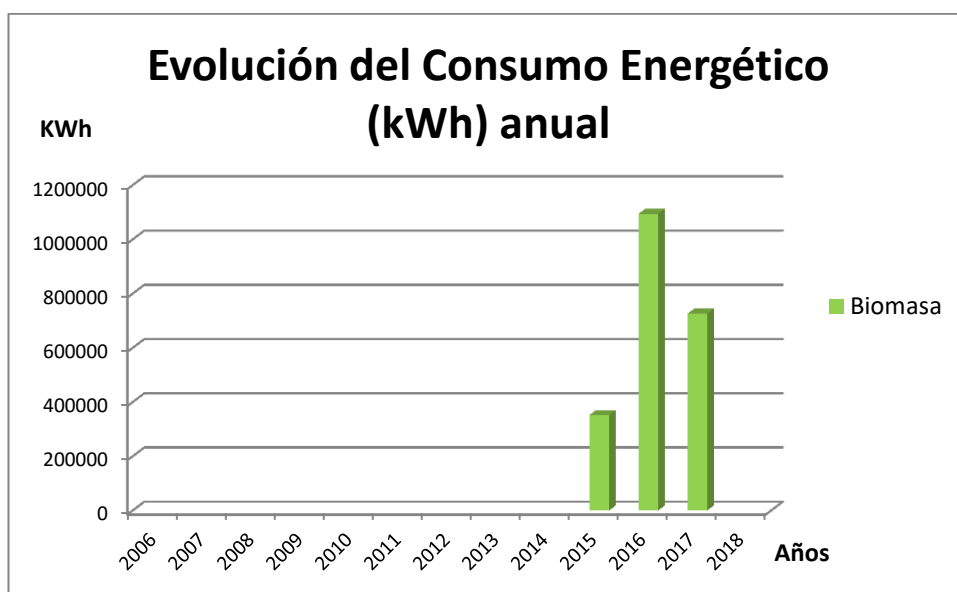


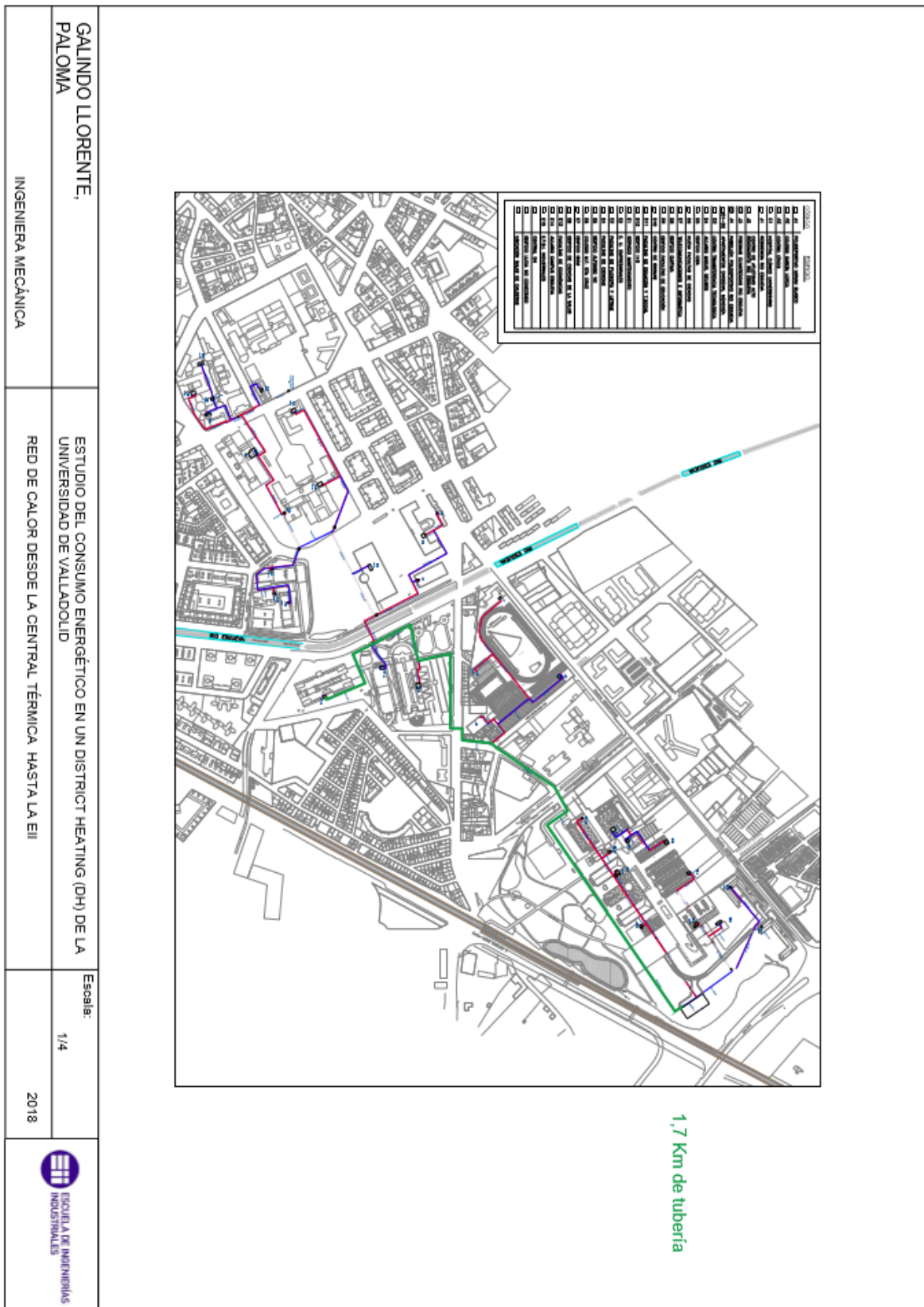
Gráfico 18. Evolución del Consumo Energético (kWh) anual.

A partir de Septiembre de 2015, con la entrada de funcionamiento de la red de calor DH, se comienza a usar un combustible de biomasa, de ahí el hecho de un aumento de consumo de biomasa y una disminución de gas natural en estos últimos años.

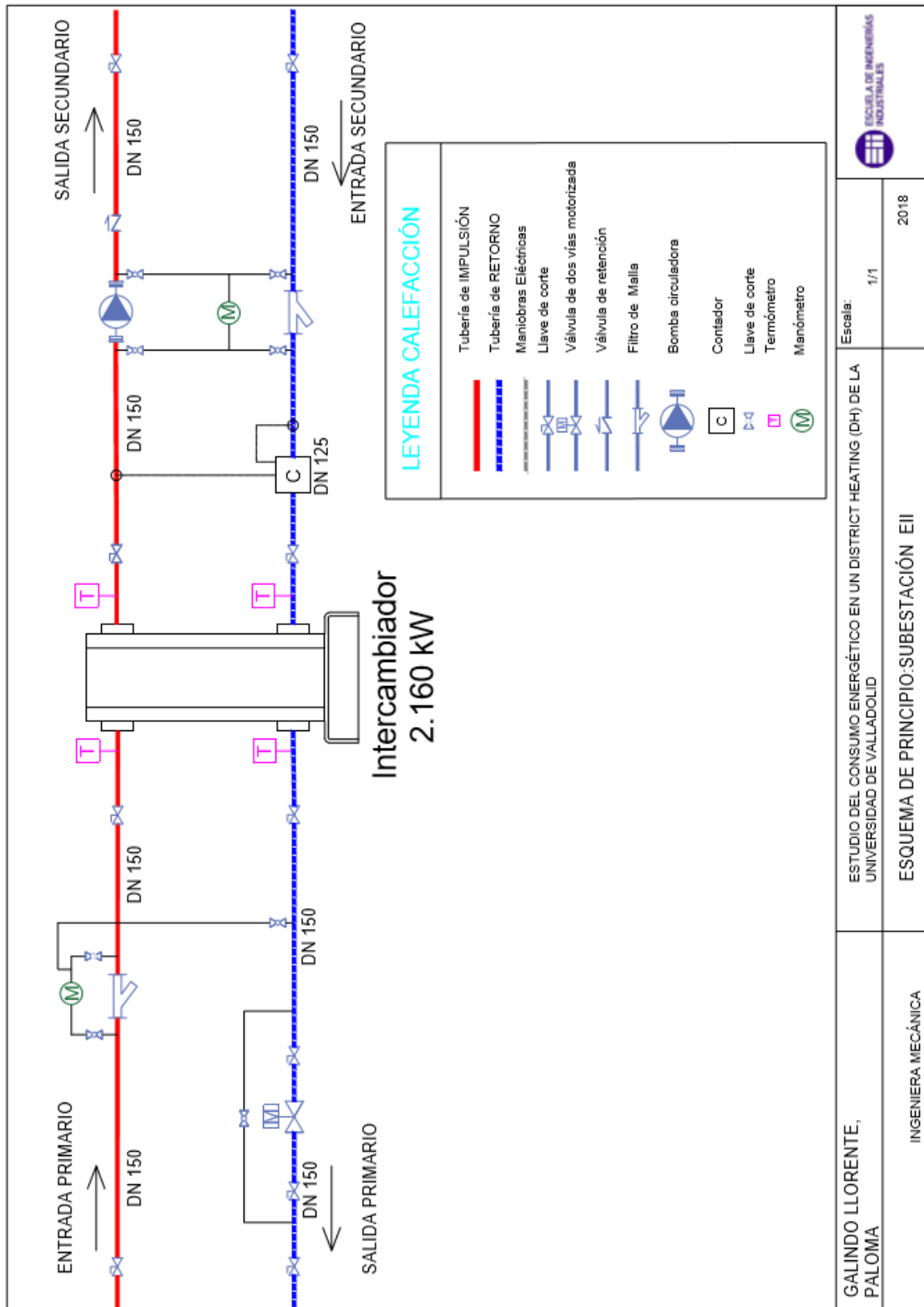
Como se ha dicho antes el coste tanto económico como energético a día de hoy es menor, pero, ¿Cuánto menor?

Cada invierno es diferente, la temperatura diaria de cada año cambia, como también cambia el coste de contratación del servicio de gas natural, entre otras cosas, entonces para poder hacer una comparativa precisa se deberían tener las mismas condiciones con ambos sistemas, es decir, partir de un mismo año y comparar los consumos por un lado de gas natural y por otro de biomasa, con sus correspondientes costes económicos que conlleven.

4.7 Planos

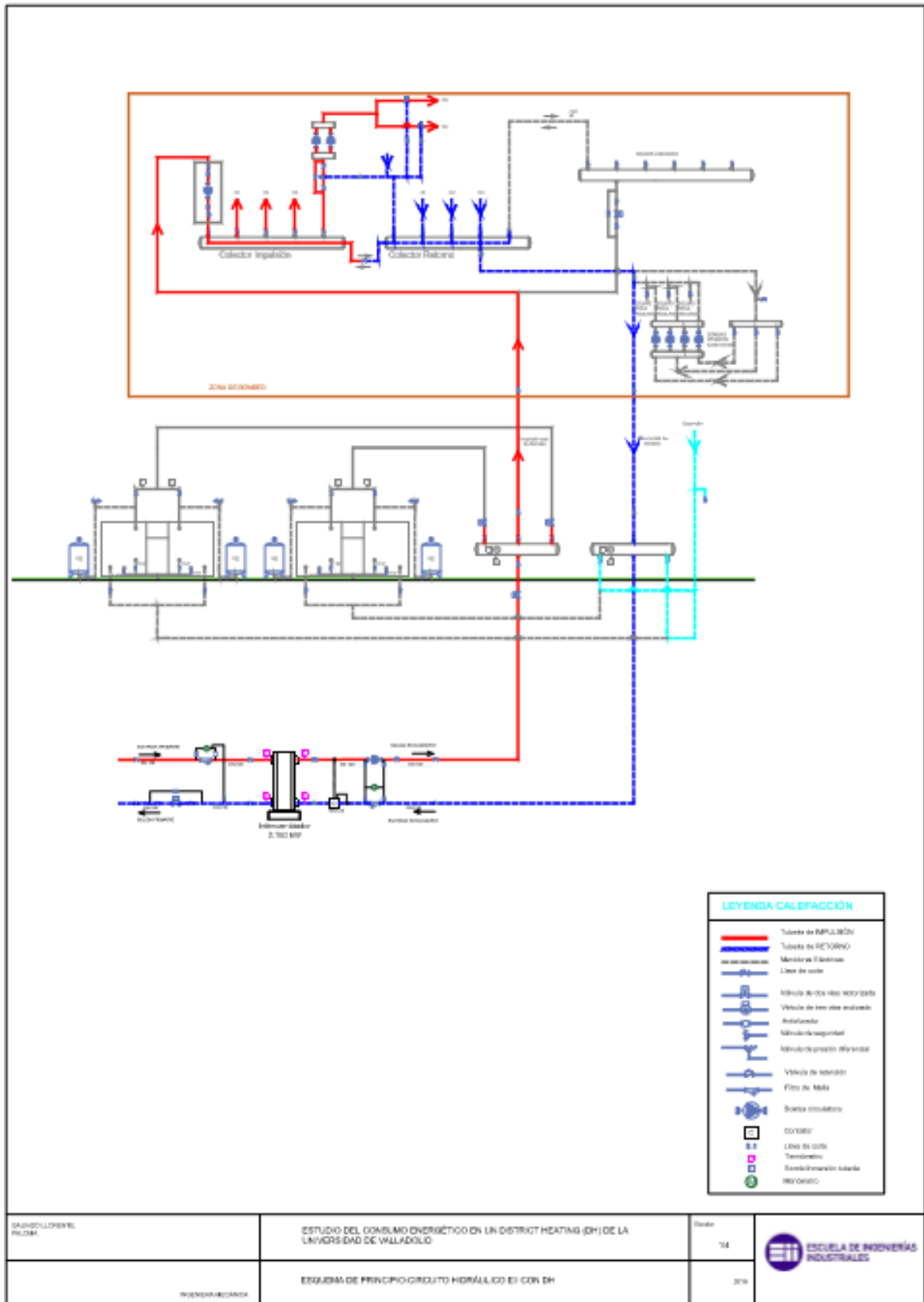


Plano 13. Red de calor desde la central térmica hasta la EI.

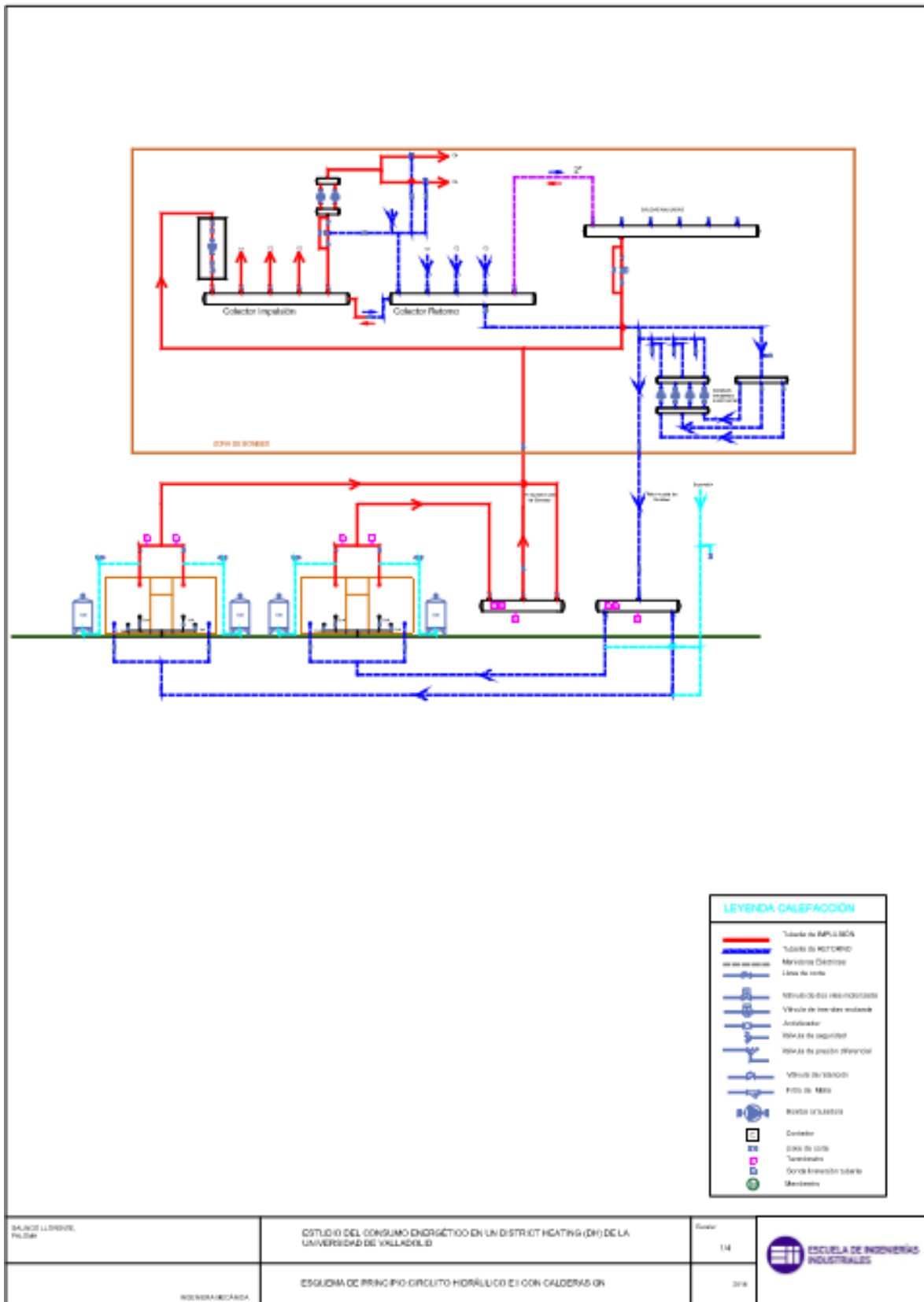


GALINDO LLORENTE, PALOMA	ESTUDIO DEL CONSUMO ENERGÉTICO EN UN DISTRICT HEATING (DH) DE LA UNIVERSIDAD DE VALLADOLID		Escalas: 1/1	ESCUOLA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES
	INGENIERA MECÁNICA	ESQUEMA DE PRINCIPIO: SUBESTACIÓN EII	2018	

Plano 14. Esquema de principio: Subestación EII.



Plano 15. Esquema de principio: Circuito hidráulico EII con DH.



Plano 16. Esquema de principio: Circuito hidráulico EI con Calderas GN.

Capítulo 5.

Análisis

comparativo de

eficiencia

energética.

Como se ha dicho en el capítulo anterior, cada invierno es diferente, la temperatura diaria de cada año varía, para poder hacer una comparativa precisa y exacta se necesitaría simular ambos sistemas de calefacción en las mismas condiciones climáticas.

Para ello es necesario crear una línea base que simule un sistema a partir de otro, en este caso, se simulará el consumo tanto energético como económico y ambiental del sistema de calefacción de gas natural del curso 2016/2017, partiendo como año de referencia el curso 2014/2015, es decir, de Septiembre de 2014 hasta Mayo de 2015, el cual el sistema de calefacción con el que se cuenta en ese año es solo el abastecido por las calderas de gas natural. De este modo se podrá comparar tanto el sistema de solo gas natural frente al actual de biomasa para el año 2016/2017.

5.1 Línea Base

El objetivo de un estudio de línea base es proporcionar información y evaluar el progreso y eficacia de una actividad partiendo de una actividad precedente.

Los datos de partida para construir la línea base son los consumos del curso 2014/2015 sacados de facturas reales y de sus respectivos grados día de ese periodo de tiempo, seleccionando los días de cada mes lectivos, es decir, los días que funciona realmente el sistema de calefacción de la Escuela.

El sistema de calefacción de gas natural del curso 2014/2015 comienza en Octubre y finaliza en Mayo.

	oct-14	nov-14	dic-14	ene-15	feb-15	mar-15	abr-15	may-15	Total
Grados Día	29	138,1	137,4	227,8	238,6	166,6	59,3	43,3	
Consumos Térmico GN(kWh)	993	173.818	174.875	377.448	360.341	243.979	95.293	31.520	1.458.267
Euros(€)	198,88	10.637,21	10.701,12	22.492,18	21.289,07	14.459,23	5.421,08	1.882,58	87.081,35
Euros/m ²	0,01	0,64	0,64	1,35	1,28	0,87	0,32	0,11	
Euros/kWh	0,2003	0,0612	0,0612	0,0596	0,0591	0,0593	0,0569	0,0597	

Tabla 18. Datos de partida para la línea base.

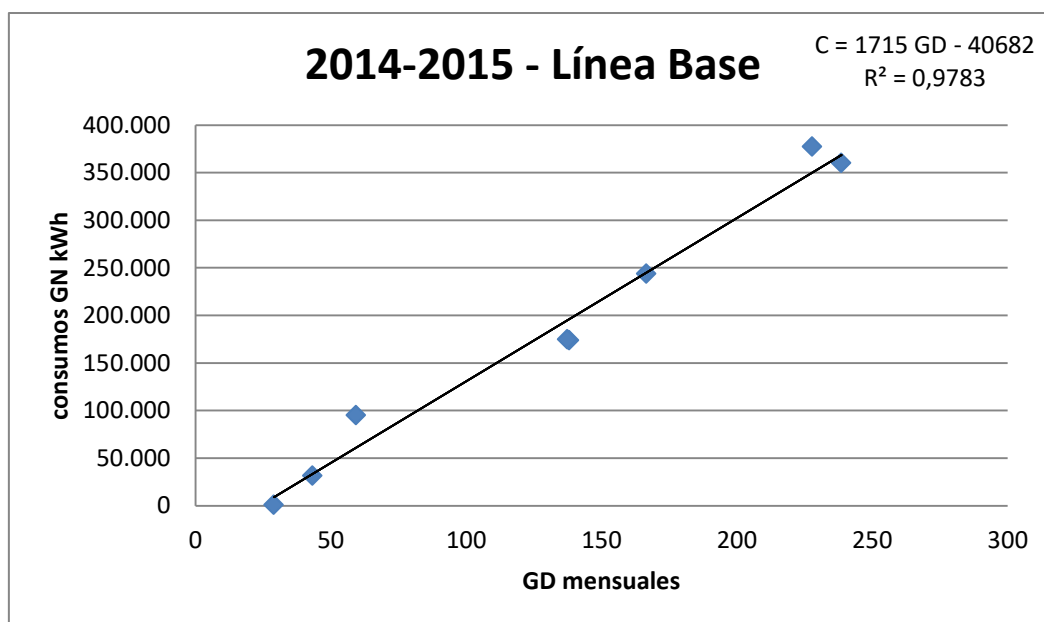


Gráfico 19. Línea de Regresión - Línea Base.

Los grados día son sacados de un software informático tomándose la estación climática propia de Valladolid.

Tanto el consumo térmico como el económico son sacados de facturas reales mensuales de la Escuela.

Para sacar los Euros por metro cuadrado de la tabla, se divide cada gasto económico mensual por $16.691,4 \text{ m}^2$ ya que corresponde al área de la Escuela.

Como se aprecia en el gráfico la línea base no comienza en el punto (0,0) y eso se debe a los gastos de no – calefacción.

La línea base tiene una buena regresión lineal, por lo que se espera tener una aproximación muy buena en la simulación.

Uno de los motivos por los que la regresión no es uno, es porque se han tomado todos los días lectivos de Octubre y de Mayo y por su correspondiente consumo no pueden haber trabajado las calderas de gas natural todo el mes. Se debería partir del día exacto de Octubre en el que comenzaría a funcionar y el día exacto en el que finalizaría en Mayo, aun así al ser la regresión bastante buena, el error experimental será mínimo.

Los datos simulados se compararán con el año de funcionamiento real 2016/2017, el cual dispuso del funcionamiento con DH y, en caso de fallo como se ha explicado anteriormente, del sistema de calefacción de calderas de gas natural.

AÑO REAL 16/17	oct-16	nov-16	dic-16	ene-17	feb-17	mar-17	abr-17	may-17	total
GN(kWh)	11.345	8.908	3.379	2.834	0	851	5.184	4.587	37.088
Euros	692,99	574,22	302,57	260,61	108,66	148,5	325,05	300,78	2.713,38
Euros/kWh - GN	0,06	0,06	0,09	0,09	0,00	0,17	0,06	0,07	
BIOMASA (kWh)	28.700	186.100	177.400	283.300	205.600	169.800	53.800	13.800	1.118.500
Euros	2.309,34	14.974,54	14.274,49	23.445,41	17.016,28	14.053,33	4.452,7	1.142,14	91.668,23
Euros/kWh - BIOMASA	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	
Euros/kWh -TOTALES	0,14	0,15	0,17	0,17	0,08	0,26	0,15	0,15	

Tabla 19. Datos térmicos y económicos año 2016/17.

Como se aprecia en la tabla, todos los meses tienen algo de consumo de gas natural, debido a que el sistema DH en días puntuales no ha podido abastecer a la Escuela según sus necesidades, excepto el mes de Febrero que funcionó el DH en su totalidad.

Es conveniente destacar que a pesar de que el consumo de gas natural de Febrero sea nulo, al tener dado de alta el sistema de calefacción, hay que pagar una tasa fija a la empresa de contratación, la cual varía según el año o tipo de contrato, en Febrero de 2017 fue de 108,66€.

Para realizar “la simulación” del consumo de gas natural, es decir, como si en el año 2016/2017 sólo hubiese habido calderas de gas natural como sistema de calefacción de la Escuela de Ingenierías Industriales, se procede de la siguiente manera:

Se toma la ecuación lineal de la línea base, $C = 1.715 \text{ GD} - 40.682$, donde “C” es el consumo y “GD” son los grados día. De este modo, se podrá obtener el consumo mes a mes sustituyendo en esta ecuación, ya que los grados días son nuevamente sacados del software informático propios de la estación climática de Valladolid del año 2016/2017, tomando los días lectivos de funcionamiento del sistema de calefacción de la Escuela.

Por lo tanto,

SIMULACIÓN	oct-16	nov-16	dic-16	ene-17	feb-17	mar-17	abr-17	may-17
GD	63,2	190,6	145,1	203,3	179,7	152,1	67,8	29,5
Consumos Térmico GN(kWh)	67.706	286.197	208.164,5	307.977,5	267.503,5	220.169,5	75.595	9.910,5
Euros(€)	9.583,66	41.477,44	35.389,89	53.808,78	22.139,66	56.641,82	10.996,54	1.470,08

SIMULACIÓN	Total
Consumos Térmico GN(kWh)	1.443.223,50
Euros(€)	231.507,87

Tabla 20. Datos obtenidos con la regresión lineal año 2016/17.

Para obtener el consumo económico, lo que se toma es el parámetro “Euros/kWh-TOTALES” del año real 2016/2017 (tabla anterior), y se multiplica por el consumo térmico de gas natural en kWh obtenido en la simulación, de este modo;

$$(\text{Euros/kWh-TOTALES}) \times \text{kWh} = \text{Euros (€)}$$

Por lo tanto, lo que se ha obtenido en “la simulación” es exactamente lo que hubiesen consumido las calderas de gas natural de la Escuela en el año 2016/2017.

Con estos datos, ya se podría comparar ambos sistemas ya que parten de las mismas condiciones.

5.2 Ahorro Térmico

En la regresión se ha obtenido un consumo total térmico de 1.443.223,50 kWh y en el sistema real, el cual está sacado de las facturas obtenidas mes a mes, tenemos el consumo de dos fuentes diferentes, el de DH más el de Gas Natural.

$$C_{\text{GN-SIMULACIÓN}} = \mathbf{1.443.223,50 \text{ kWh}}$$

$$C_{16/17} (\text{REAL}) = C (\text{DH}) + C (\text{GN}) = 1.118.500 \text{ kWh} + 37.088 \text{ kWh} = \mathbf{1.155.588 \text{ kWh}}$$

$$\mathbf{\text{AHORRO TÉRMICO}} = 1.443.223,50 \text{ kWh} - 1.155.588 \text{ kWh} = \mathbf{287.635,50 \text{ kWh}}$$

$$\% \text{ AHORRO} = 100 - ((C_{16/17} / C_{\text{GN-SIMULACIÓN}}) \times 100) = \mathbf{19,93 \%}$$

Se obtiene un 19,93 % de ahorro térmico con el sistema District Heating frente al de Gas Natural, teniendo un ahorro de energía térmica de casi doscientos noventa mil kilovatios hora.

5.3 Ahorro Económico

En la simulación se ha obtenido un consumo total económico de 231.507,87€ y en el sistema real, el cual está sacado de las facturas obtenidas mes a mes, tenemos el consumo de dos fuentes diferentes, el de DH más el de Gas Natural.

$$C_{\text{GN-SIMULACIÓN}} = \mathbf{231.507,87 \text{ €}}$$

$$C_{16/17} (\text{REAL}) = C (\text{DH}) + C (\text{GN}) = 91.668,23 \text{ €} + 2.713,38 \text{ €} = \mathbf{94.381,61 \text{ €}}$$

$$\mathbf{\text{AHORRO ECONÓMICO}} = 231.507,87 \text{ €} - 94.381,61 \text{ €} = \mathbf{137.126,26 \text{ €}}$$

$$\% \text{ AHORRO} = 100 - ((C_{16/17} / C_{\text{GN-SIMULACIÓN}}) \times 100) = \mathbf{59,23 \%}$$

Se obtiene un 59,23 % de ahorro económico con el sistema District Heating frente al de Gas Natural, teniendo un ahorro de ciento treinta y siete mil ciento veintiséis euros.

5.4 Impacto Medio Ambiental - Emisiones de CO₂

Para analizar el impacto ambiental hay que tener en cuenta un factor “F”, el cual representa los gramos de CO₂ por kilovatio hora térmico, propio del tipo de combustible, en este caso, el gas natural y la biomasa.

$$F_{\text{GN}} = 204 \text{ g CO}_2 / \text{kWh (térmico)}$$

$$F_{\text{BIOMASA}} = 0 \text{ g CO}_2 / \text{kWh (térmico)}$$

Como se ha visto antes, en la simulación se obtuvo un consumo térmico total de 1.443.223,50 kWh anual, que es lo que se hubiese gastado si hubiesen funcionado sólo las calderas de gas natural de la Escuela en 2016/2017. Para calcular los gramos de CO₂ emitidos por año, hay que multiplicar el factor F por el consumo térmico total.

$$\text{Sistema ANTIGUO GN CO}_2 \text{ (kg/ anual)} = C_{\text{GN-SIMULACIÓN}} \times F_{\text{GN}} = 1.443.223,50 \text{ kWh} \times 204 \text{ g CO}_2 / \text{kWh}$$

$$\text{Sistema GN CO}_2 \text{ (kg/ anual)} = 294.417.594 \text{ g CO}_2 = \mathbf{294.417,6 \text{ Kg CO}_2 / \text{año}}$$

Para calcular las emisiones de CO₂ del sistema actual (DH + GN) se procede de la misma forma.

Como se muestra en la tabla de arriba, el consumo térmico total del sistema DH es de 1.118.500 kWh y el consumo térmico total del sistema de calderas de gas natural es de 37.088 kWh.

$$C_{16/17} \text{ (REAL)} = C \text{ (DH)} + C \text{ (GN)} = 1.118.500 \text{ kWh} + 37.088 \text{ kWh} = 1.155.588 \text{ kWh}$$

$$\text{Sistema ACTUAL (DH + GN) CO}_2 \text{ (kg/ anual)} = [C \text{ (DH)} \times F_{\text{BIOMASA}}] + [C \text{ (GN)} \times F_{\text{GN}}]$$

$$\text{Sistema ACTUAL (DH + GN) CO}_2 \text{ (kg/ anual)} = 0 + [37.088 \text{ kWh} \times 204 \text{ g CO}_2 / \text{kWh}] = 7.565.952 \text{ g CO}_2 / \text{año}$$

$$\text{Sistema ACTUAL (DH + GN) CO}_2 \text{ (kg/ anual)} = \mathbf{7.565,95 \text{ Kg CO}_2 / \text{año}}$$

$$\text{AHORRO IMPACTO AMBIENTAL} = 294.417,6 \text{ Kg CO}_2 / \text{año} - 7.565,95 \text{ Kg CO}_2 / \text{año}$$

$$\text{AHORRO IMPACTO AMBIENTAL} = \mathbf{286.851,65 \text{ Kg CO}_2 / \text{año}}$$

$$\% \text{ AHORRO} = 100 - ((\text{Sistema}_{\text{ACTUAL}} / \text{Sistema}_{\text{ANTIGUO}}) \times 100) = \mathbf{97,43 \%}$$

Se obtiene un 97,43 % de ahorro en impacto ambiental con el sistema actual frente al sistema que había antes, sólo de Gas Natural, teniendo un ahorro de casi doscientos noventa mil kilogramos de CO₂ por año.

5.5 Comparativa Gráfica Térmica

Año 2014

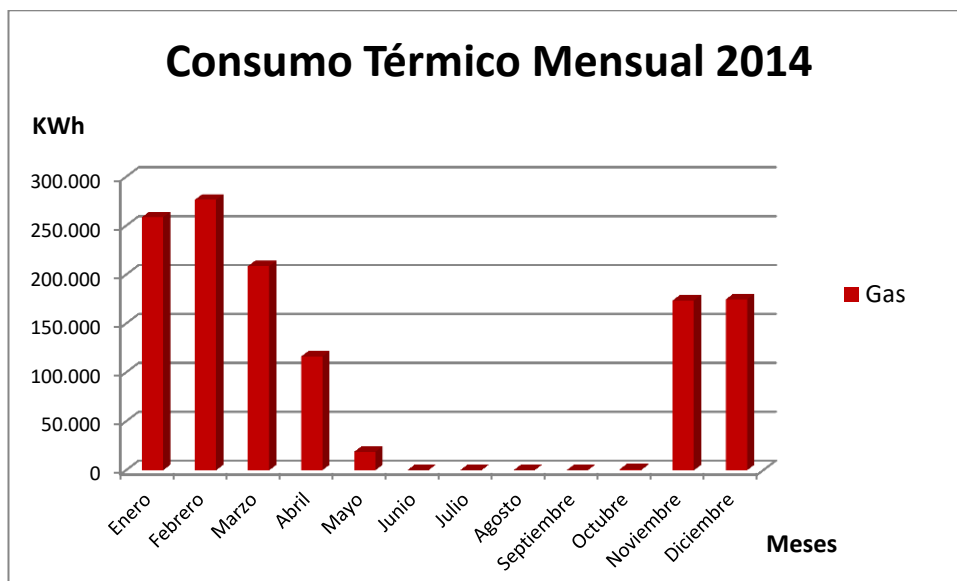


Gráfico 20. Consumo Térmico Mensual 2014.

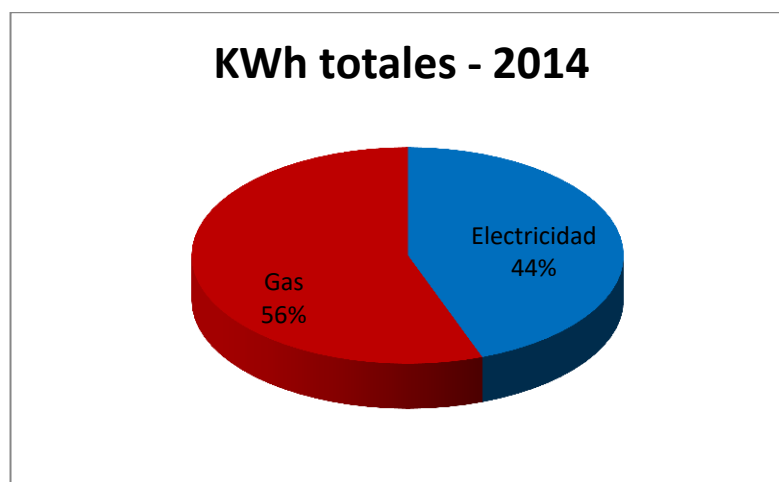


Gráfico 21. % kWh totales 2014.

En el año 2014 estaba el sistema de calefacción de sólo gas natural propio de la Escuela, fue el último año de esta instalación, teniendo unos consumos térmicos, en

los meses de puesta en marcha la calefacción, bastante elevados como se aprecia en el gráfico de barras. Superándose en el mes de Febrero los 275.000 kilovatios hora térmicos. El consumo de gas natural de la Escuela es de un 56% del total, el 44% restante es un consumo propio de la electricidad de la Escuela.

Año 2015

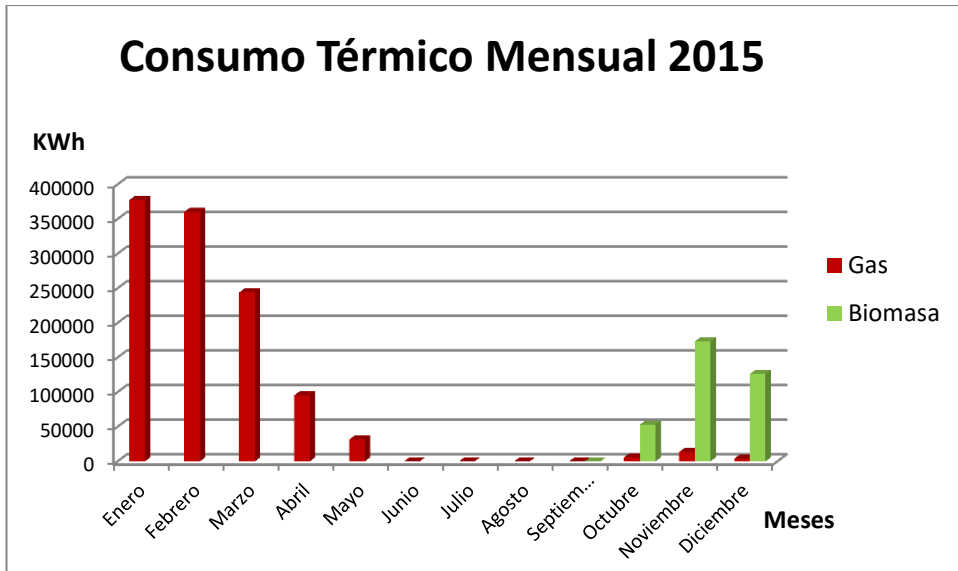


Gráfico 22. Consumo Térmico Mensual 2015.

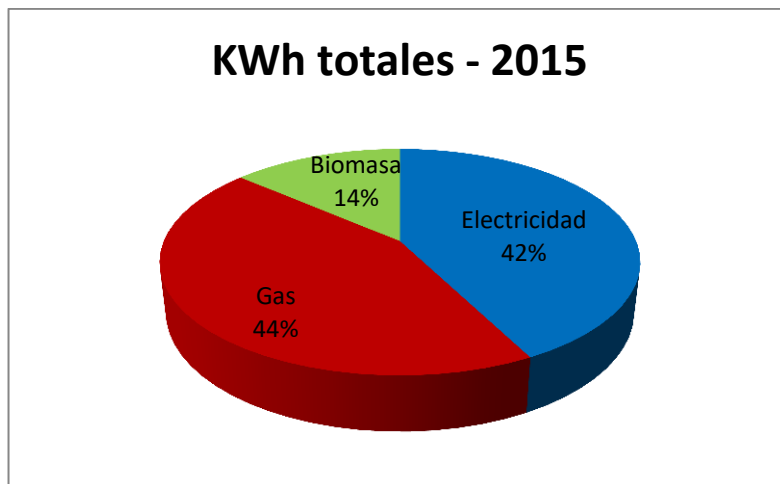


Gráfico 23. % kWh totales 2015.

En el 2015 comienza la puesta en marcha de la nueva instalación, la red de calor DH, que comienza a abastecer a la Escuela en Septiembre de 2015, aunque por cuestiones del clima de este año, el consumo de calefacción en este mes no fue casi necesaria, como se aprecia en el gráfico de barras, se empieza a hacer consumo de biomasa y hay un descenso en consumo de gas natural como es de esperar. La bajada de consumo en kilovatios hora térmicos es muy significativa, ya que en Enero de 2015

se consume más de 350.000 kilovatios térmicos, y en biomasa se llega a consumir 150.000 kilovatios hora, a pesar de que la climática de los meses es diferente, en los años posteriores se aprecia un descenso significativo en todos los meses.

Como bien se ha dicho, a finales de temporada del 2015 empieza el consumo de biomasa como combustible de la Escuela, el porcentaje de consumo anual en este año de biomasa fue del 14%, siendo un 44% de gas natural, un porcentaje bastante elevado ya que los meses donde se consumió gas natural fueron la mitad debido al arranque del DH. El 42% restante es propio del consumo eléctrico de la Escuela y del consumo eléctrico del sistema de bombeo propio de la central térmica destinado a abastecer a la Escuela.

Año 2016

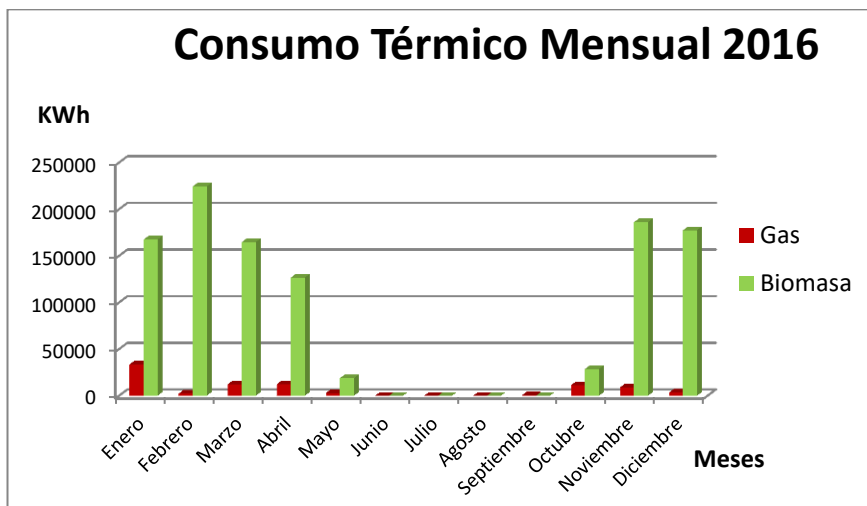


Gráfico 24. Consumo Térmico Mensual 2016.

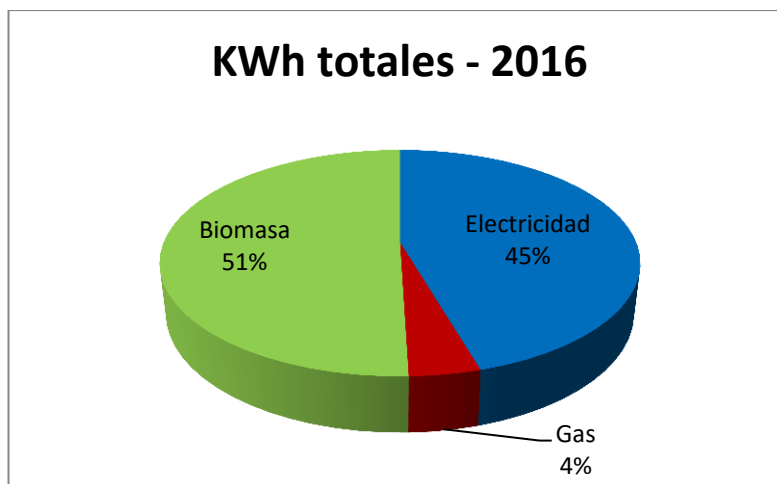


Gráfico 25. % kWh totales 2016.

En el año 2016, ya el sistema DH funciona en su totalidad, siempre y cuando, como se ha dicho anteriormente, en caso de fallo, entraría a funcionar el sistema de calderas de gas natural propio de la Escuela. En Enero de 2016 hay un consumo térmico de 150.000 kilovatios hora, justo la mitad respecto al consumo térmico de Enero de 2015. El mes más crítico fue Febrero, que aun así, el descenso respecto al año anterior en de 125.000 kilovatios hora térmicos. El consumo mensual de gas natural respecto al de biomasa es insignificante.

En este año, el consumo de biomasa se corresponde al 51%, siendo un 45% en cuanto a consumo eléctrico y el 4% restante, de gas natural. El porcentaje de consumo de gas natural es insignificante respecto al de biomasa. Es conveniente destacar, que al ser el primer año de funcionamiento de este sistema, no estaba demasiado estabilizada la instalación.

Año 2017

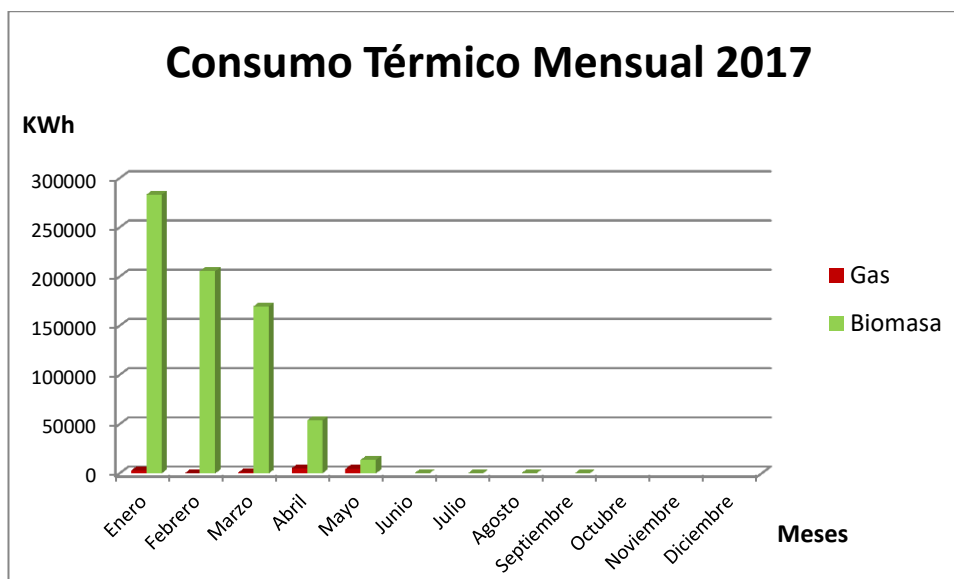


Gráfico 26. Consumo Térmico Mensual 2017.

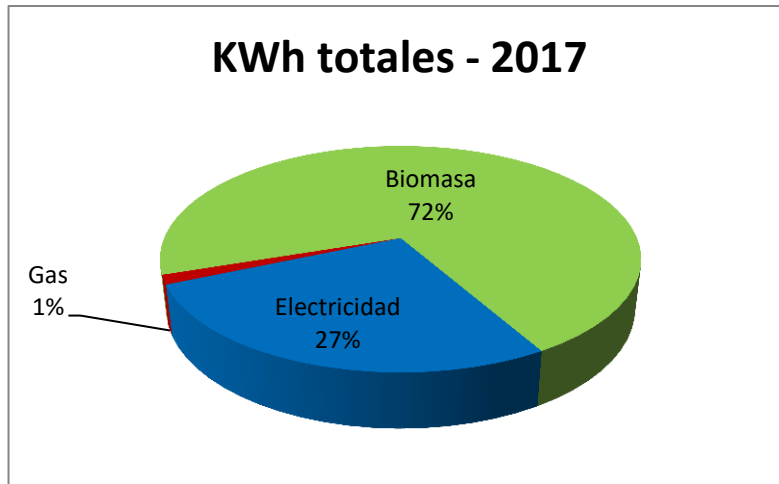


Gráfico 27. % kWh totales 2017.

En el 2017, segundo año de funcionamiento de la red de calor DH, la instalación ya está mucho más estabilizada y se aprecia en su buen funcionamiento, en Enero de 2017 fue un mes frío, el consumo de kilovatios hora de biomasa es elevado, pero siempre menor que si hubiese sido un consumo de gas natural, se aprecia que en Enero de 2016 hay un consumo a mayores de gas natural de unos 25.000 kilovatios hora, en comparación en Enero de 2017, el consumo de gas natural es insignificante, no llega a los 3.000 kilovatios hora. A la vista está, el óptimo y buen funcionamiento de este nuevo sistema.

A día de hoy, conocidos los consumos hasta mayo, el 72% de consumo de la Escuela es de biomasa, siendo el 1% de gas natural y el 27% de electricidad. Siendo cada vez, más insignificante el consumo de gas natural frente al consumo de biomasa.

Comparativa anual del consumo térmico

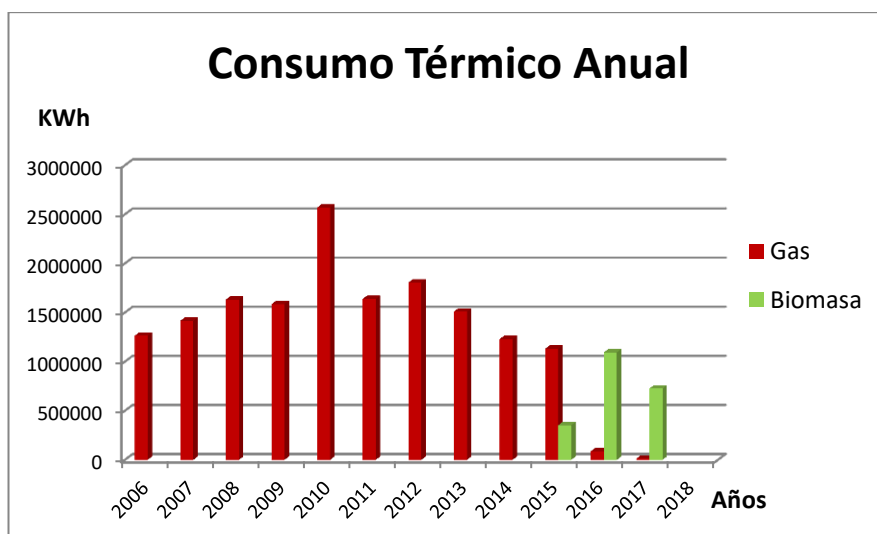


Gráfico 28. Consumo Térmico anual.

Este gráfico de barras muestra el consumo energético anual, se hace notar un descenso en el consumo de kilovatios térmicos, a pesar de que la mayor dependencia del consumo es el clima de ese mismo año, para abastecer las necesidades requeridas, hay un ahorro en consumo energético. También cabe destacar que el primer año de funcionamiento del sistema DH, hay un mayor consumo de gas natural que en el segundo año, debido a posibles fallos en días puntuales de la red de calor urbana debido a la estabilización del nuevo sistema.

Aprovechando la regresión realizada anteriormente:

	oct-16	nov-16	dic-16	ene-17	feb-17	mar-17	abr-17	may-17
SIMULACIÓN(kWh)	67.706	286.197	208.164,50	307.977,50	267.503,50	220.169,50	75.595	9.910,50
AÑO REAL 16/17(kWh)	40.045	195.008	180.779	286.134	205.600	170.651	58.984	18.387

Tabla 21. Datos comparativos del consumo térmico 2016/17 mensual.

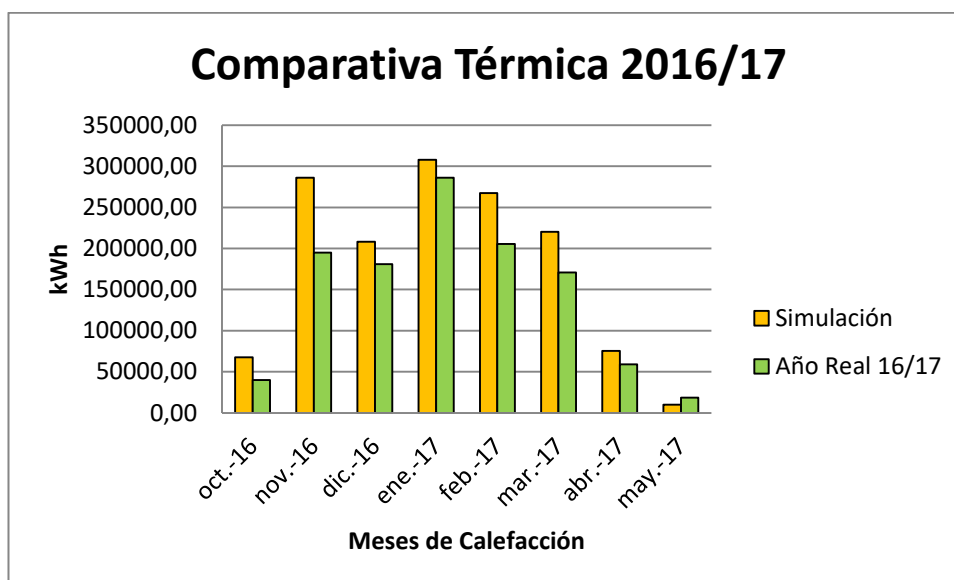


Gráfico 29. Comparativa térmica 2016/17.

El consumo energético a día de hoy es prácticamente térmico con uso de combustible de biomasa (72% del total).

Aun así, si el curso escolar 16/17 la Escuela hubiese contado sólo con la instalación de calderas de gas natural puede verse el consumo térmico que se hubiese llevado a cabo, viéndose tal diferencia que en vez de consumir 286.197 kWh en Noviembre, se ha consumido en realidad 195.008 kWh.

A continuación se muestran los ahorros mes a mes:

	oct-16	nov-16	dic-16	ene-17	feb-17	mar-17	abr-17	may-17
SIMULACIÓN(kWh)	67.706	286.197	208.164,50	307.977,50	267.503,50	220.169,50	75.595	9.910,50
AÑO REAL 16/17(kWh)	40.045	195.008	180.779	286.134	205.600	170.651	58.984	18.387
AHORRO (kWh)	27.661	91.189	27.385,50	21.843,50	61.903,50	49.518,50	16.611	-8.476,50

Tabla 22. Datos comparativos del consumo térmico 2016/17 con el ahorro obtenido mensual.

Todos los meses tienen un ahorro térmico (kWh) excepto Mayo, esto puede ocurrir pero quizá en menor medida ya que como se comentó antes, a pesar de tener una buena regresión lineal en la línea base, se tomó como que Mayo funcionaría todos los días lectivos la calefacción y eso no puede ser, por ello, en especial en este mes haya mucho más error que en el resto, por lo que el consumo obtenido en la simulación es mayor y el ahorro será desfavorable.

También cabe destacar que el sistema district heating tiene un buen funcionamiento con grandes potencias, y puesto que el mes de Mayo es un mes de poco consumo debido a la alta temperatura exterior, se requiere poca potencia en el sistema. Por ello, en un mes cálido no es adecuado el sistema district heating, ya que en vez de obtener ahorro, se obtendrían pérdidas.

Globalmente se comprueba que es un sistema eficiente dónde se ahorra considerablemente energía térmica.

5.6 Comparativa Gráfica Económica

Año 2014

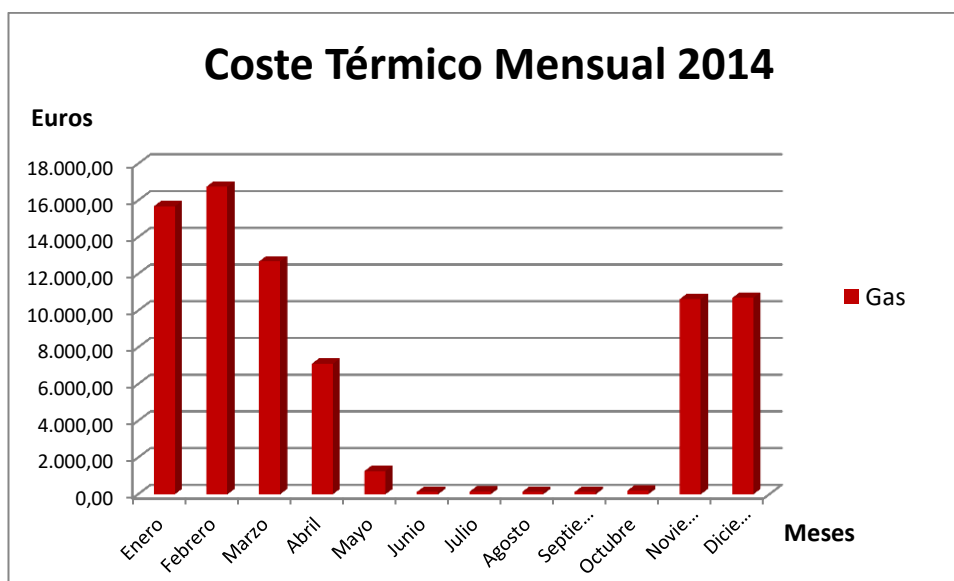


Gráfico 30. Coste Térmico Mensual 2014.

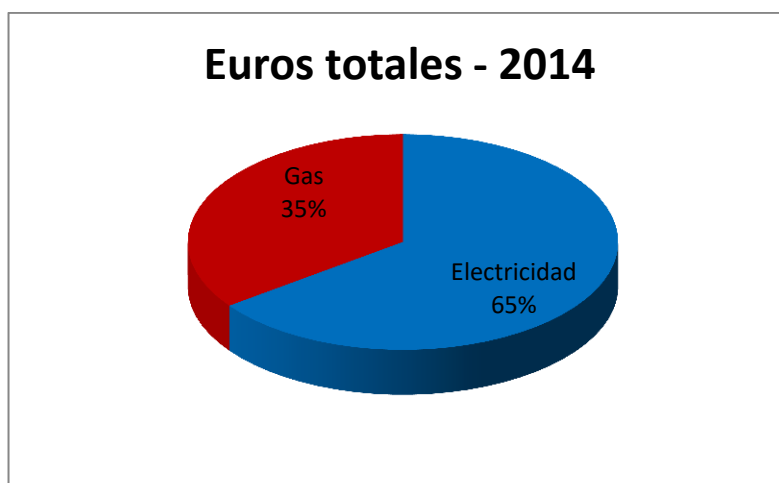


Gráfico 31. % Euros totales 2014.

De la misma manera que antes, se parte del 2014, año en el cual el sistema de funcionamiento de calefacción único es el de calderas de gas natural propio de la Escuela. Hay un importante gasto económico, sobre todo cuando hay mayor consumo, por ejemplo en Febrero, donde hay un consumo energético muy elevado, el coste económico también lo es, superándose los 16.000€. En este caso la mayor parte de gasto económico es de la parte eléctrica, siendo un 65% del total y un 35% de gas natural.

Año 2015

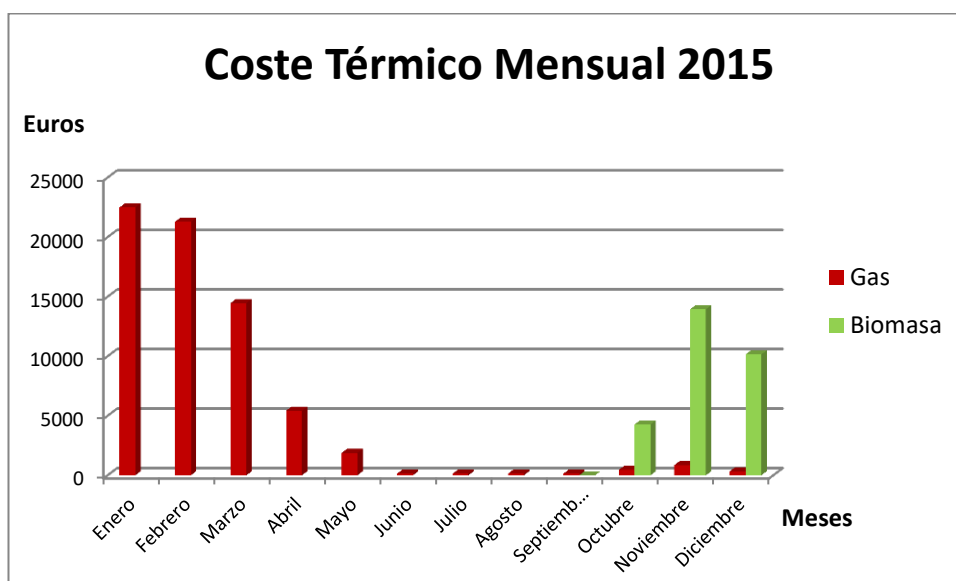


Gráfico 32. Coste Térmico Mensual 2015.

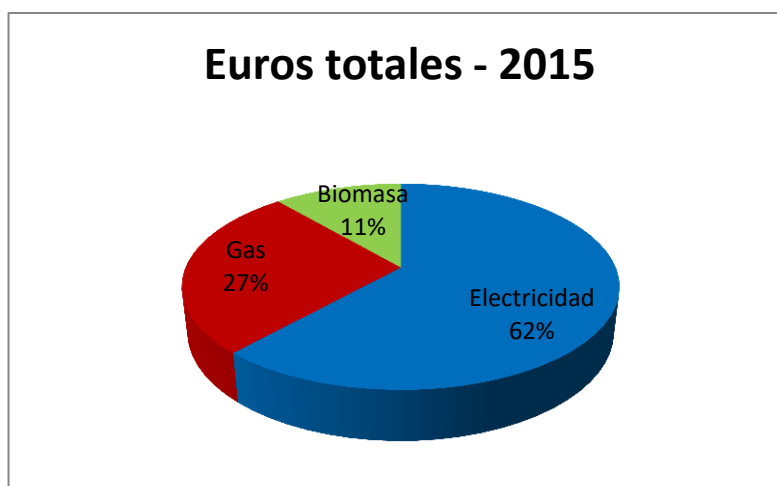


Gráfico 33. % Euros totales 2015.

En 2015, comienzo de funcionamiento del nuevo sistema, los costes económicos comienzan a bajar en los meses de arranque de la red de calor urbana, teniendo en un mes frío como es Noviembre o Diciembre, un consumo térmico elevado, pero un coste económico menor que si se hiciese uso de las calderas de gas natural como sistema de calefacción en su totalidad.

En este año, el gasto económico en calefacción es más repartido, ya que disminuye el porcentaje de gas natural, siendo ahora de un 27%, siendo el 11% de biomasa y dónde no ha habido mucho cambio es en la parte eléctrica, que el gasto fue muy parecido al año anterior.

Año 2016

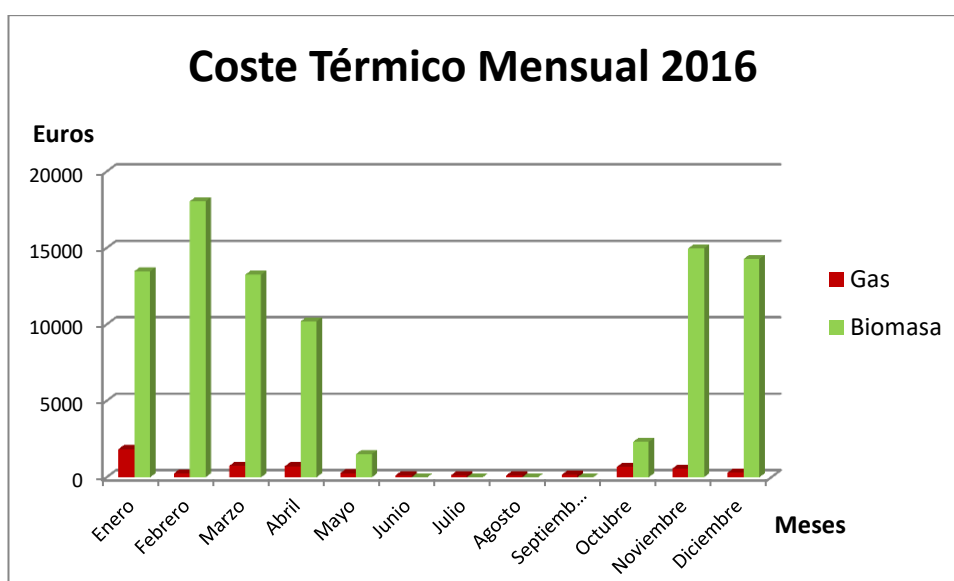


Gráfico 34. Coste Térmico Mensual 2016.

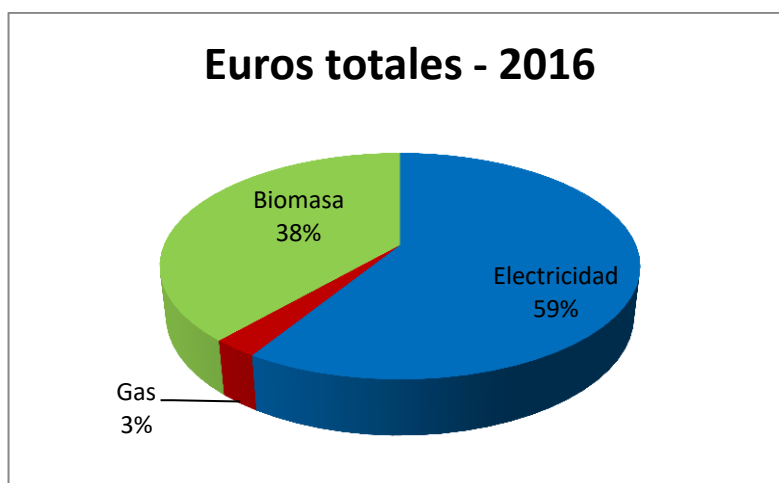


Gráfico 35. % Euros totales 2016.

En el 2016, como puede apreciarse, la red de calor urbana funciona en su totalidad, por lo que los meses de funcionamiento de calefacción, hay consumo térmico, por lo tanto eso conlleva un coste, pero como bien se ve en el diagrama de barras, los costes económicos son mucho más bajos que el año anterior, el coste mensual ronda los 14.000€, exceptuando Febrero que fue de más consumo, a pesar de ello, la comparación y el ahorro económico está claro, ya que antes se superaba los 20.000€ mensuales.

También, es clave que tener el sistema de gas natural dado de alta supone un coste fijo, es decir, en los meses de verano a pesar de que no se use la calefacción, hay que pagar una tarifa fija mientras que el sistema de biomasa solo se paga lo que se consume, es decir, si funciona 9 meses al año, eso es lo que se va a facturar, sin partir de base con una tarifa fija. Por lo que en comparación con los números obtenidos, este gasto es mucho menor pero es un ahorro importante a tener en cuenta.

Ahora como es de esperar, el consumo económico de biomasa contempla el 38% mientras que el de gas natural un 3%. Siendo el consumo económico eléctrico parecido a los años anteriores con un 59%.

Año 2017

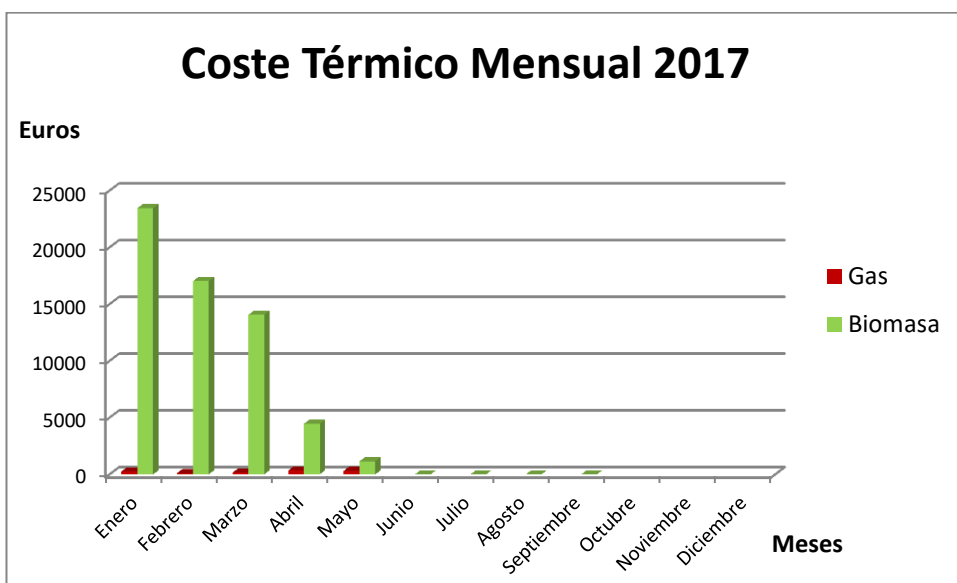


Gráfico 36. Coste Térmico Mensual 2017.

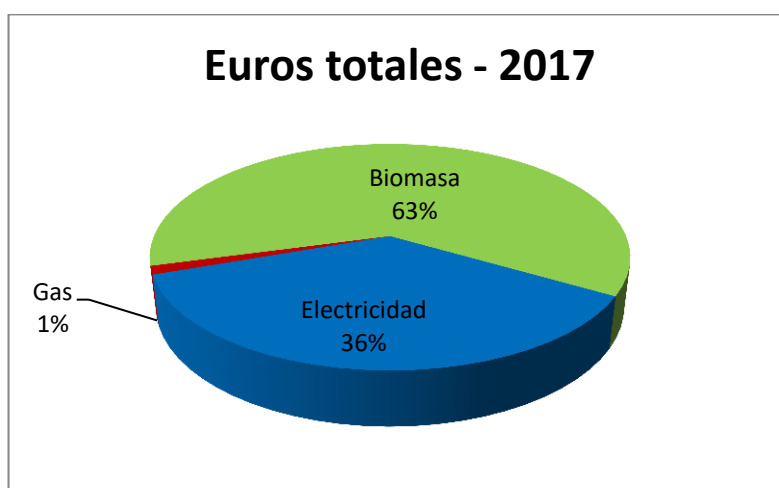


Gráfico 37. % Euros totales 2017.

2017, esta estudiado hasta el mes de mayo; puede verse como la red está más estabilizada ya que al tener un alto porcentaje en consumo térmico, también contempla un alto porcentaje del total de consumo económico en biomasa, teniendo un consumo de gas natural insignificante en todos los meses, por lo que comprende un 1% del total.

A pesar de que el consumo de biomasa sea de un 63%, el coste en euros mensual sigue siendo menor.

Comparativa anual del coste térmico

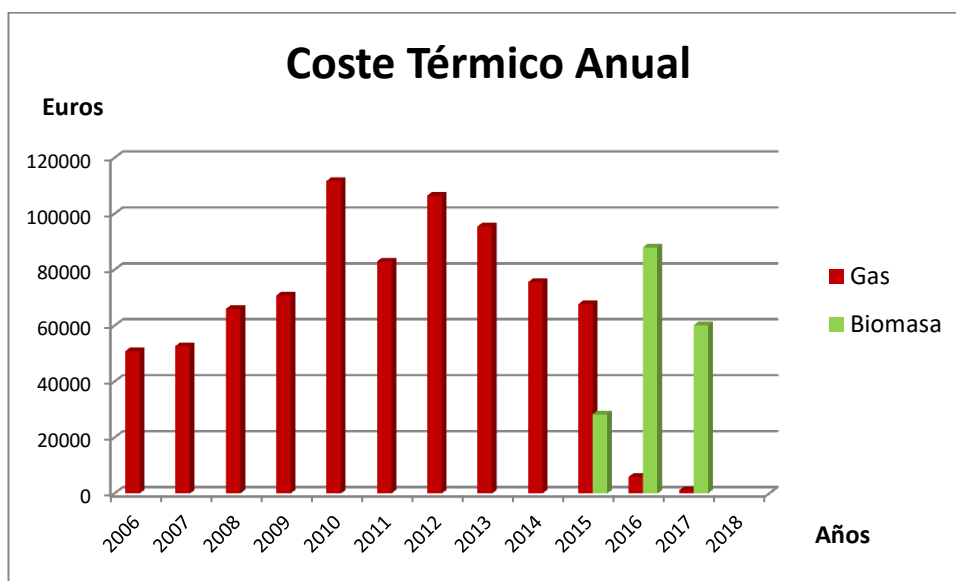


Gráfico 38. Coste Térmico anual.

Gráficamente se muestra como a partir del 2015, el coste energético en gas natural va disminuyendo y sustituyéndose por coste energético propio de la biomasa, cada año el coste es menor, eso quiere decir, el óptimo funcionamiento del DH, el cual abastece casi en su totalidad con combustible de biomasa, consumiéndose pues energía térmica propia de la biomasa, por lo que el coste está asociado a este consumo térmico.

Aprovechando la regresión realizada anteriormente:

	oct-16	nov-16	dic-16	ene-17	feb-17	mar-17	abr-17	may-17
SIMULACIÓN(€)	9.583,66	41.477,44	35.389,89	53.808,78	22.139,66	56.641,82	10.996,54	1.470,08
AÑO REAL 16/17 (€)	3.002,33	15.548,76	14.577,06	23.706,02	17.124,94	14.201,83	4.777,75	1.442,92

Tabla 23. Datos comparativos del coste térmico 2016/17 mensual.

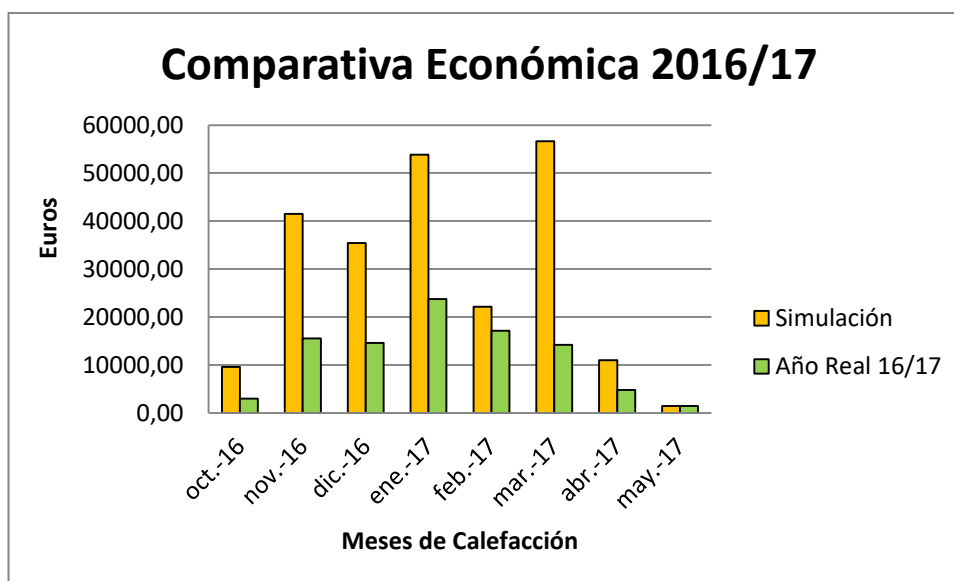


Gráfico 39. Comparativa Económica 2016/17.

A primera vista, asusta ver que el mayor porcentaje del coste térmico es de biomasa, pero hay que tener en cuenta, de que la biomasa es muy barata en comparación con el gas natural a pesar de su notable bajada en estos últimos años.

Dicho esto, si el curso escolar 16/17 la Escuela hubiese contado solo con la instalación de calderas de gas natural puede verse el coste económico que se hubiese llevado a cabo, viéndose tal diferencia que en vez de gastar 56.641,82€ en Marzo, se ha gastado en realidad 14.201,83€.

A continuación se muestran los ahorros mes a mes:

	oct-16	nov-16	dic-16	ene-17	feb-17	mar-17	abr-17	may-17
SIMULACIÓN(€)	9.583,66	41.477,44	35.389,89	53.808,78	22.139,66	56.641,82	10.996,54	1.470,08
AÑO REAL 16/17 (€)	3.002,33	15.548,76	14.577,06	23.706,02	17.124,94	14.201,83	47.77,75	1.442,92
AHORRO (€)	6.581,33	25.928,68	20.812,83	30.102,76	5.014,72	42.439,99	6.218,79	27,16

Tabla 24. Datos comparativos del coste térmico 2016/17 con el ahorro obtenido mensual.

Se comprueba que el sistema es eficiente y ello conlleva un gran ahorro económico.

5.7 Indicador base 100

Una vez hecha la comparativa económica y térmica mensual del consumo térmico y del coste económico del año real 2016/17 frente a lo que se ha obtenido en la simulación como sistema único las calderas de gas natural para el mismo año con la

herramienta “línea base”, se puede observar gracias al indicador de eficiencia energética base 100 cómo es el sistema actual de eficiente.

El indicador base 100 es una herramienta de gestión energética, que permite comparar el comportamiento del consumo energético medidos en un proceso operativo, respecto al consumo energético base o real del mismo, tomando como referencia el valor adimensional de 100.

$$I_{100} = (\text{Consumo Línea Base kWh} / \text{Consumo Real kWh}) \times 100$$

Aplicando esta fórmula con los datos de la tabla 21, se obtienen los siguientes resultados:

	oct-16	nov-16	dic-16	ene-17	feb-17	mar-17	abr-17	may-17
INDICADOR_BASE100	169,07	146,76	115,15	107,63	130,11	129,02	128,16	53,90

Tabla 25. Datos del indicador base 100 mensual 2016/17.

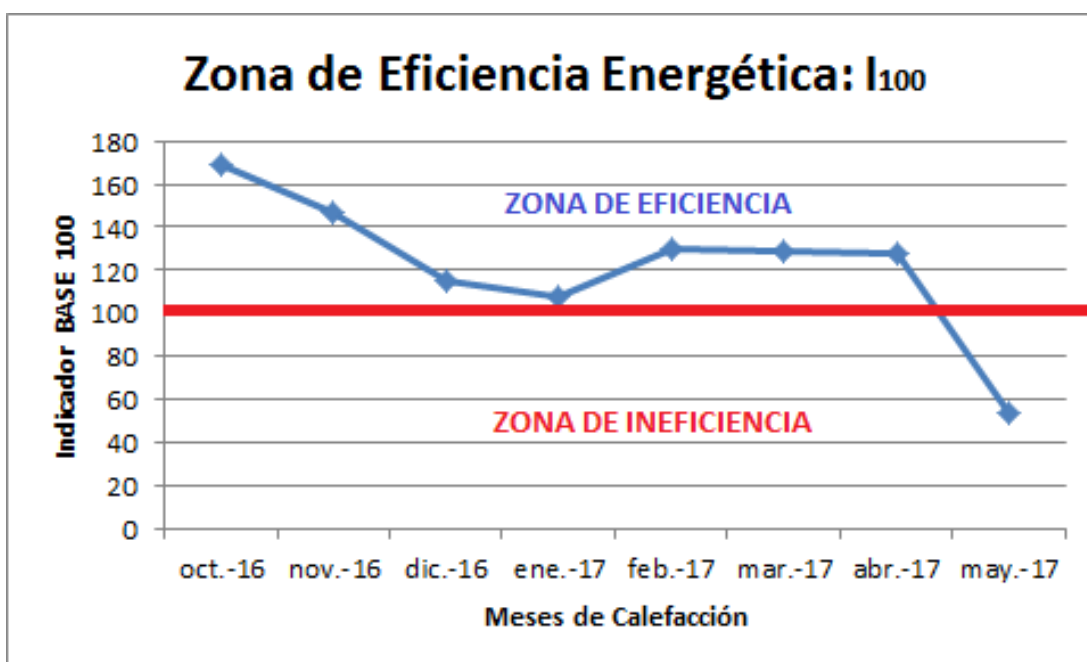


Gráfico 40. Indicador base 100 mensual para 2016/17.

El Indicador base 100 es una herramienta muy eficaz ya que se aprecia de forma rápida la eficiencia del sistema mes a mes.

Se aprecia en el gráfico que todos los meses son eficientes con el sistema DH excepto el mes de Mayo, que como se ha dicho antes, es de esperar, ya que el DH tiene un buen funcionamiento con elevadas potencias. Por lo tanto el mes de Mayo tendría un funcionamiento eficiente con el sistema de calderas de gas natural propio de la Escuela.

Capítulo 6.

Simulación de la E.I.I mediante el programa Design Builder.

6.1 Introducción Design Builder (Energy Plus)

Para llevar a cabo la simulación energética de la Escuela de Ingenierías Industriales se ha trabajado con Energy Plus, utilizando como interfaz de introducción de datos Design Builder. Se trata de un software de reconocido prestigio internacional y en continuo desarrollo por el Departamento de Energía de los EE.UU. a través del cual se obtiene gran cantidad de información en lo referente al cálculo de cargas térmicas, cálculo de demandas de calefacción y refrigeración, cálculo de consumos y emisiones de CO₂, cálculo de condiciones ambientales interiores, etc.

6.1.1 Modelado de E.I.I

Para modelar la Escuela de Ingenierías Industriales, cabe destacar que existen dos elementos transversales al modelado en Design Builder de gran interés e importancia práctica: las bibliotecas de componentes y de plantillas.

Los componentes y plantillas permiten agilizar enormemente la definición de los modelos, al contar con elementos ya predefinidos que podemos cargar de una sola vez en el programa. Así, contamos con numerosos elementos ya precargados, listos para su uso (plantillas de cerramientos, horarios de ocupación, curvas de rendimiento, etc.). No obstante, siempre podremos crear nuestras propias plantillas y componentes específicos que nos faciliten el uso en futuros modelos.

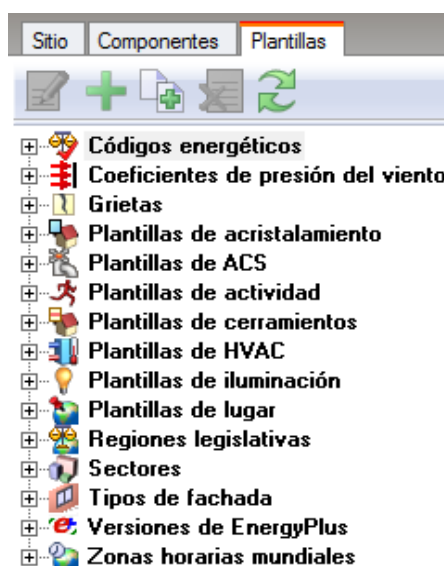


Imagen 69. Biblioteca de plantillas.

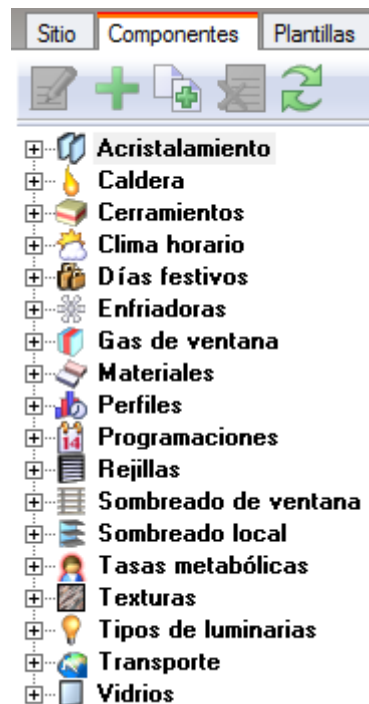


Imagen 70. Biblioteca de componentes.

A continuación se recogen las posibilidades de Design Builder en cuanto a introducción de datos para conseguir la definición completa de las características energéticas de la escuela.

6.1.2 Modelado Geométrico

A partir de los planos en CAD o imágenes que nos sirvan de plantilla, o bien mediante la introducción directa de las medidas en Design Builder vamos definiendo la geometría del edificio mediante bloques, operaciones con bloques y particionado en zonas. La geometría tridimensional la obtenemos mediante operaciones de extrusión, corte, unión, referencias a puntos, etc.



Imagen 71. Botones para la generación de geometría.

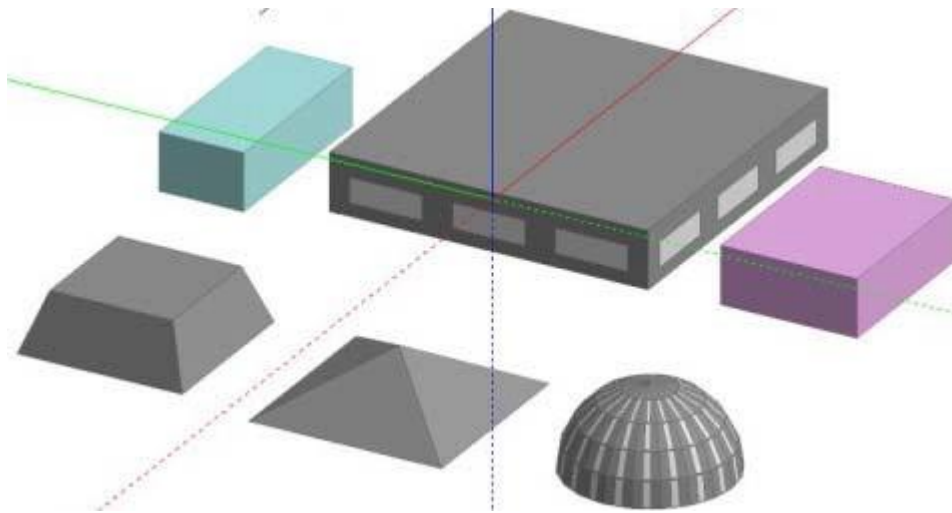


Imagen 72. Diferentes tipos de Bloques.

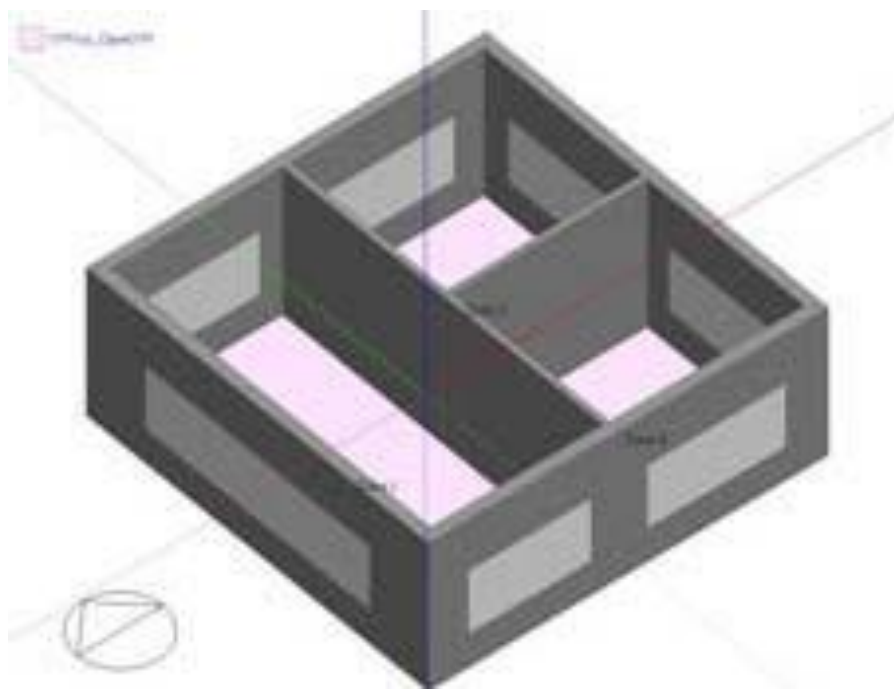


Imagen 73. División de un bloque en zonas.

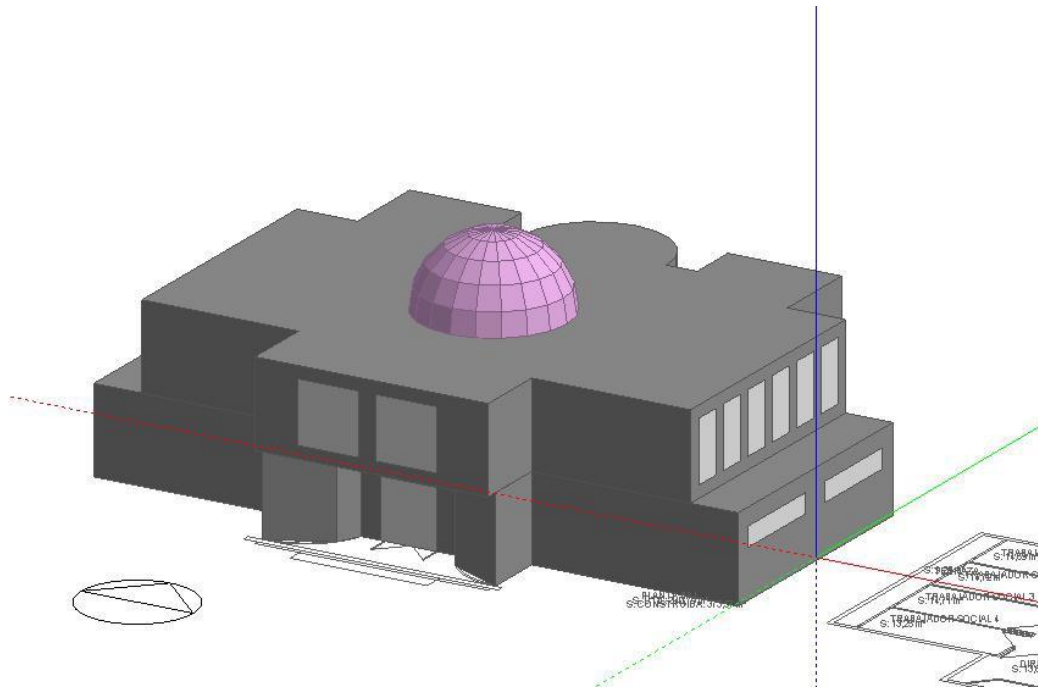


Imagen 74. Geometría final del modelo.

6.1.3 Modelado de envolvente térmica

En esta etapa se definen los cerramientos simples (masa térmica/aislamiento) o por capas, enumerando cada una de las capas de las que están compuestos obteniendo el aislamiento.

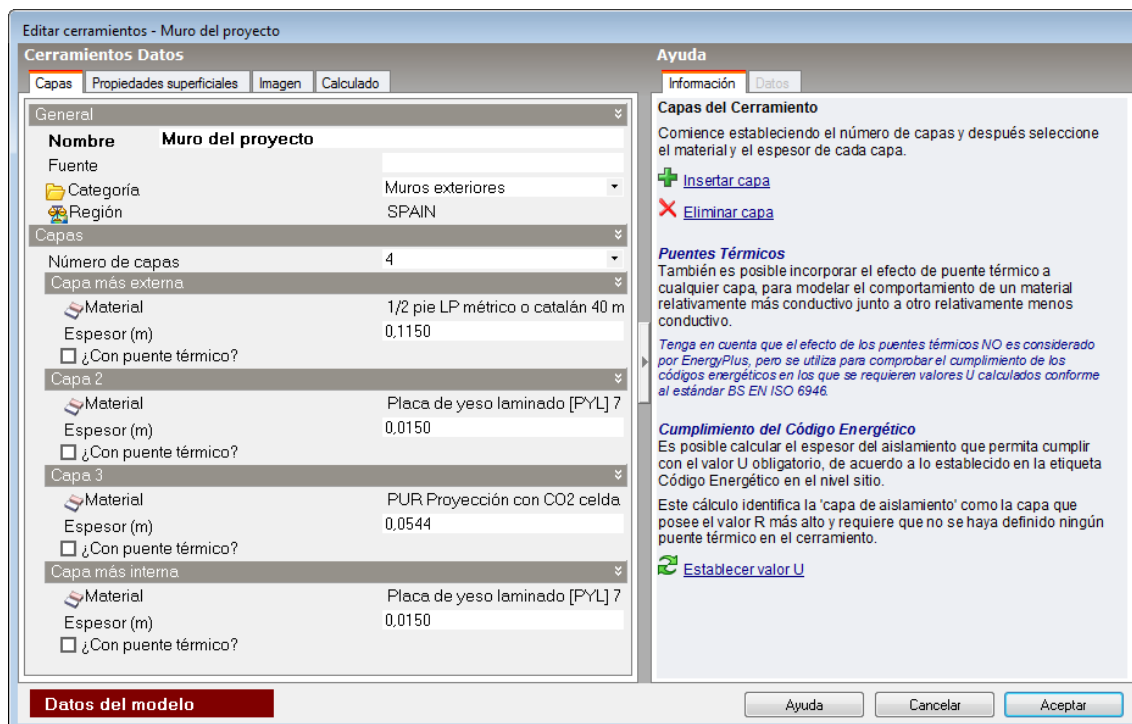


Imagen 75. Definición de un cerramiento.

Se introducen de la manera similar los datos relativos a las aberturas, acristalamiento, bien simple (factor solar y transmitancia) o detallado por capas, definición detallada de la carpintería: composición, dimensiones de marcos, travesaños, etc. y si cuentan con lamas, persianas, voladizos, etc.

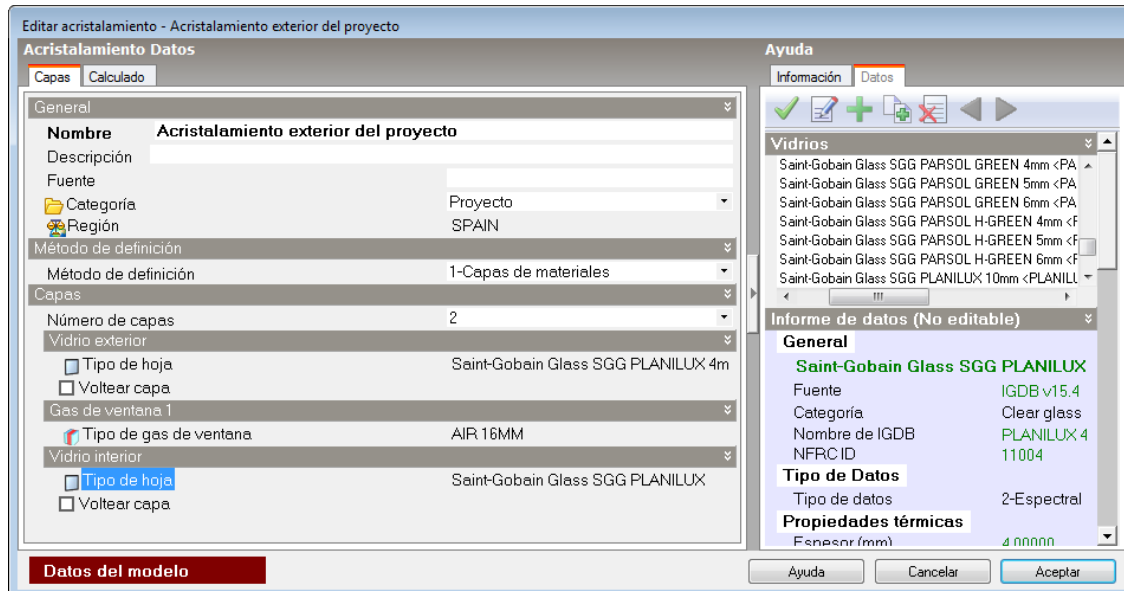


Imagen 76. Definición de un acristalamiento.

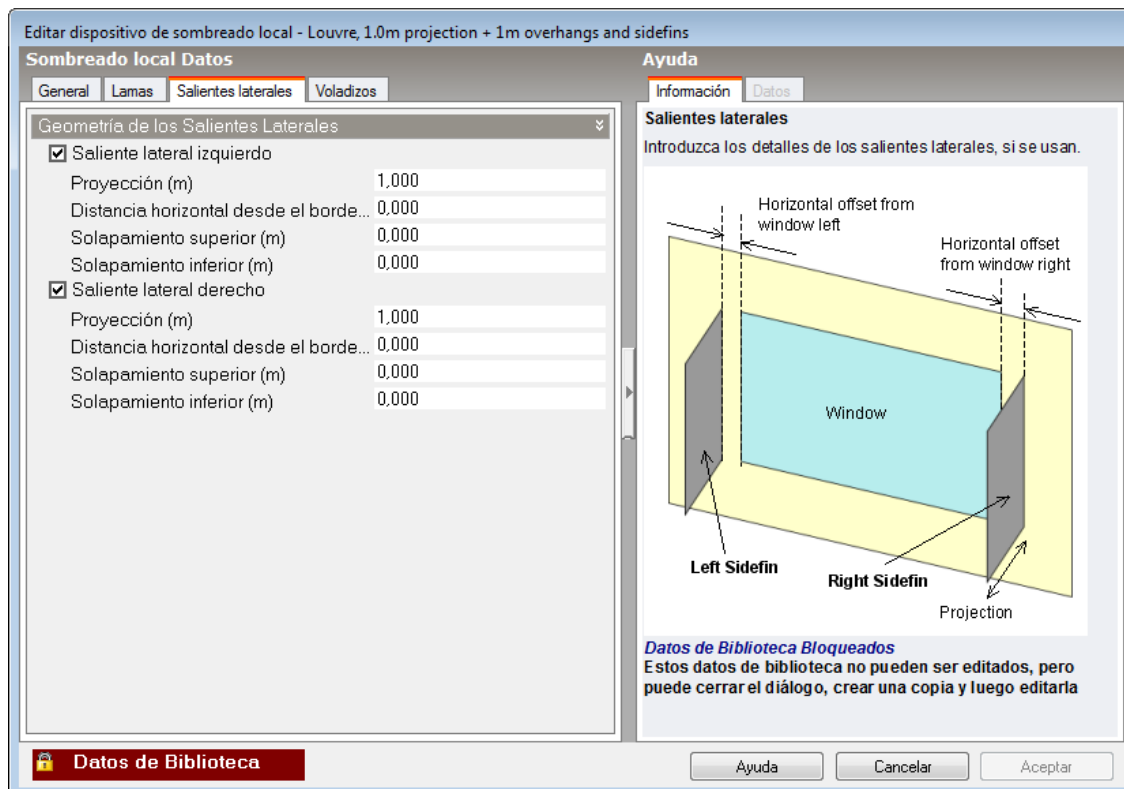


Imagen 77. Definición de salientes laterales.

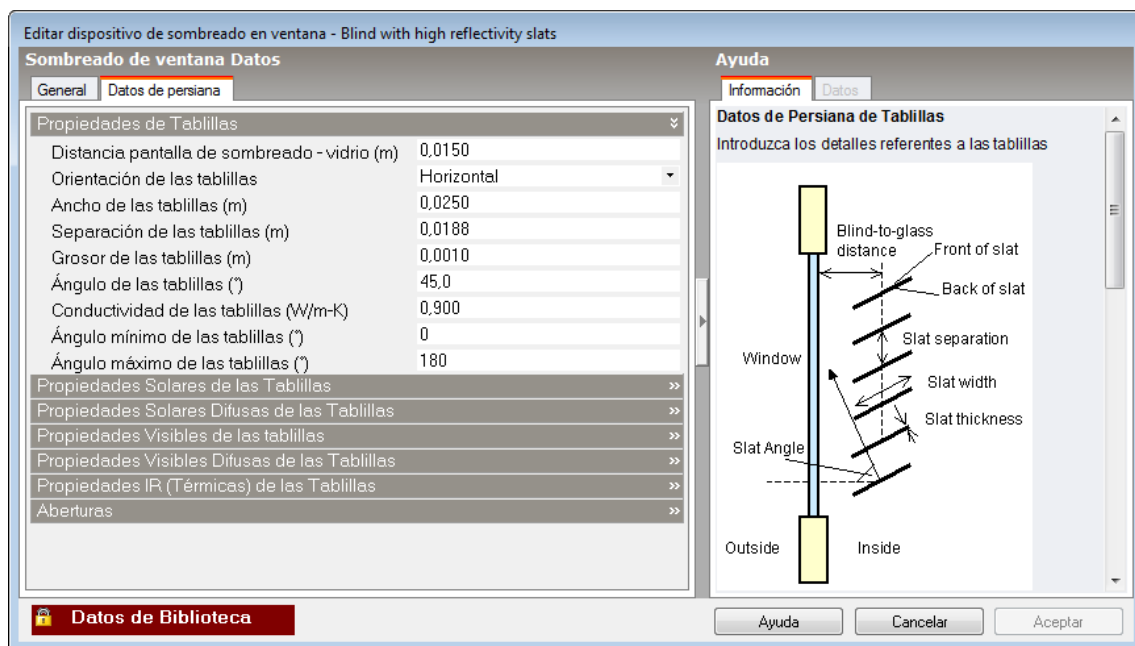


Imagen 78. Definición de persianas venecianas.

Se podrán introducir también los datos relativos a la calidad de los cerramientos con respecto a infiltraciones o bien la tasa de renovaciones hora por infiltración.

6.1.4 Modelado del uso de cada zona

En esta etapa se definirá la ocupación de cada una de las zonas y la tasa metabólica de las personas, junto con sus horarios de funcionamiento, pudiendo definir la ocupación en función de la franja horaria del día.

Habrá que indicar las consignas a mantener en cada una de las zonas para controlar la calefacción, la refrigeración, posible ventilación natural, mecánica y deshumidificación, así como el consumo previsto de agua caliente sanitaria.

Es necesario definir las cargas internas que se producen relativas a equipos informáticos, de cocina, etc. así como sus horarios de funcionamiento.

Modelo **Actividad** Cerramientos Aberturas Iluminación HVAC CFD Opciones

Plantilla de Actividad

Plantilla Office_OpenOff

Sector Primary school

Multiplicador de zona 1

Incluir zona

Ocupación

Densidad (personas/m2) 0,4000

0 0,5 1 1,5 2 2,5 3 3,5 4

Programación 8:00 - 18:00 Mon - Fri

Metabolismo >>

Días festivos >>

ACS >>

Control ambiental >>

Temperaturas de Funcionamiento de la Calefacción >>

Calefacción (°C) 20,0

0 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30

Temperatura de retroceso (°C) 5,0

Temperaturas de Funcionamiento de la Refrigeración >>

Refrigeración (°C) 24,0

-10 -8 -6 -4 -2 0 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30

Temperatura de retroceso (°C) 30,0

Control de Humedad >>

Temperaturas de Funcionamiento de la Ventilación >>

Aire Fresco Mínimo >>

Iluminación >>

Computadoras >>

Activar

Ganancia (W/m2) 10,00

0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60

Fracción radiante 0,200

Equipos de oficina >>

Misceláneos >>

Cocina >>

Procesos >>

Imagen 79. Pestaña de entrada de datos de uso.

6.1.5 Modelado de las instalaciones de iluminación

Es necesario introducir los datos relativos al tipo de luminarias instaladas, así como la potencia por superficie y la iluminancia en cada una de las zonas de la Escuela.

Es posible definir si existe algún tipo de control de iluminación y como se realizará la regulación. Se podrá definir también si existe alguna iluminación especial del tipo exhibición o escritorio así como si la instalación cuenta con un sistema de control.

The screenshot shows the 'Iluminación' (Lighting) tab in a software interface. The interface is organized into several sections:

- Plantilla de iluminación:** Set to 'Part L2 2006'.
- Iluminación general:**
 - Activar
 - Energía de iluminación (W/m²): 13,13 (with a slider from 0 to 40)
 - Tipo de luminaria: 1-Suspendida
 - Fracción radiante: 0,420
 - Fracción visible: 0,180
 - Fracción convectiva: 0,400
- Iluminación de Escritorio y Exhibición:**
 - Activar
 - Ganancia (W/m²): 98,000
- Control de Iluminación:**
 - Activar
 - Tipo de control: 1-Lineal
 - Fracción mínima de salida de luz: 0,100
 - Fracción mínima de potencia de entrada: 0,100
- Deslumbramiento:**
 - Índice máximo permitido: 22,0
 - Ángulo de vista respecto al Eje-Y (*): 0,0
- Área de iluminación 1:**
 - % de la zona cubierto por el área 1: 100
- Área de iluminación 2:**
 - Activar área de iluminación 2

Imagen 80. Pestaña de entrada de datos de iluminación.

6.1.6 Modelado de las instalaciones térmicas

En esta fase introduciremos los datos relativos a los sistemas de climatización y agua caliente sanitaria, el modelado de estas instalaciones puede realizarse en tres niveles de complejidad.

Modelado simple: mediante un sistema ideal y rendimientos medios estacionales.

Modelado compacto: mediante 5 tipologías de instalaciones complejas para las que el programa solicita una serie de datos básicos y Energy Plus completa la definición con valores por defecto de manera automática:

- Sistemas Autónomos Zona Única o Multizona todo aire con baterías de frío/calor, recuperación de calor, enfriamiento gratuito, deshumidificación, etc.
- Fancoils: a 2 o 4 tubos.
- Volumen de Aire Variable ó Constante: con recuperación de calor, enfriamiento gratuito, recalentamiento terminal, etc.

Modelo	Actividad	Cerramientos	Aberturas	Iluminación	HVAC	CFD	Opciones
Plantilla HVAC							
Plantilla		VAV with outside air reset					
Tipo		3-VAV					
Disponibilidad del sistema							
Programación		On					
Control de ciclo nocturno		1-Permanece apagado					
Ventilación Mecánica							
<input checked="" type="checkbox"/> Activar							
Método de definición del aire exterior		4-Aire fresco mínimo (por persona + por área)					
Requerimientos Mínimos de Aire Exterior (UMA)							
Programación		Office_OpenOff_Occ					
Mezcla de Aire Exterior >>							
Ventiladores >>							
Economizador (Enfriamiento gratuito) >>							
Recuperación de calor >>							
Plenum del Sistema >>							
Unidades Terminales VAV >>							
Calefacción							
<input checked="" type="checkbox"/> Activar							
Combustible		2-Gas natural					
CoP de Generación de calor		0,750					
Pérdidas por distribución de calor (%)		5,0					
Radiadores/Rodapié >>							
Precalentamiento del Aire Exterior >>							
Calefacción - Unidad Manejadora de Aire (UMA) >>							
Recalentamiento >>							
Programación de Funcionamiento de Zona >>							
Refrigeración							
<input checked="" type="checkbox"/> Activar							
Combustible		1-Electricidad de la red					
CoP de la Enfriadora		1,730					
Tipo de condensador		1-Refrigerado por aire					
Pérdidas por distribución de enfriamiento (%)		5,0					
Refrigeración - Unidad Manejadora de Aire (UMA) >>							
Programación de Funcionamiento de Zona >>							
Control de Humedad >>							
ACS >>							
Ventilación natural >>							
Distribución de la Temperatura del Aire >>							

Imagen 81. Pestaña de entrada de datos de instalaciones térmicas.

Modelado detallado: mediante un modelado gráfico de tipo “arrastrar y soltar” y la interconexión entre sistemas, siendo posible definir un abanico muy amplio de instalaciones, contando con elementos como:

- Sistemas zonales: Radiadores de agua y eléctricos, convectores, suelo radiante, techos refrescantes, fancoils, splits, impulsión y extracción, unidades terminales VAV, etc.
- Distribución de Aire: climatizadoras de aire primario, Unidades de Tratamiento de Aire (con baterías de precalentamiento, humidificación, recuperación de calor, etc.), baterías de expansión directa o alimentadas por enfriadora o caldera, bombas, ventiladores, etc.
- Sistemas primarios: enfriadoras aire-aire o alimentadas por torre y calderas, individuales o en cascada con fraccionamiento de carga, depósito de ACS autónomo o alimentado por caldera, etc.

6.1.7 Visualización

A través del módulo de visualización del programa obtenemos una representación visual del modelo geométrico del edificio mediante un renderizado realista, ofreciéndonos además la posibilidad de realizar un estudio de los elementos de sombreado en distintos instantes de año de cara a estudiar las posibles opciones de protección solar y de diseño de dispositivos de sombra.



Imagen 82. Análisis de sombras interiores.



Imagen 83. Análisis de sombras exteriores.

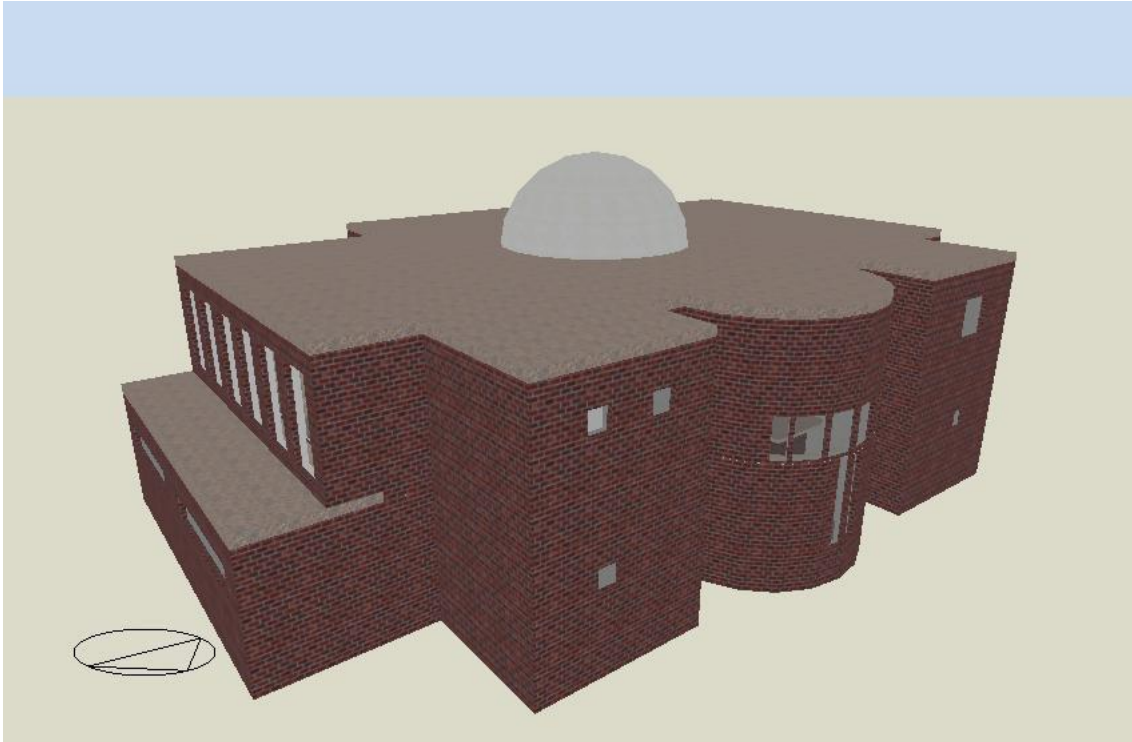


Imagen 84. Visualización del modelo renderizado.

6.2 Simulación energética

La simulación energética es el núcleo principal del programa y se basa en el motor de simulación Energy Plus.

Sin embargo, su complejidad radica en la entrada de datos (a través de un lenguaje propio que debe utilizarse un entorno tipo “bloc de notas”). Energy Plus está pensado para que se desarrollen entorno al mismo, aplicaciones gráficas y manejables que aprovechen su potencia de cálculo, como es el caso del programa Design Builder.

Design Builder lleva integrado Energy Plus de forma que cuando pulsamos el botón de Simular, automáticamente se lanza el cálculo en Energy Plus y Design Builder recoge los resultados que éste le proporciona para mostrarlos gráfica y numéricamente.

Energy Plus es un motor sumamente completo y complejo, del que Design Builder incorpora sus principales funcionalidades pero necesariamente no todas (sirva de idea que el manual de programación de la entrada de datos de Energy Plus tiene más de 2.200 páginas). Sin embargo, siempre existe la posibilidad de exportar el modelo desde Design Builder a formato Energy Plus y trabajar con él

externamente para incorporar aquel elemento que pueda haber quedado fuera del alcance de Design Builder.

Design Builder, nos proporciona a través de la simulación mediante Energy Plus el cálculo de cargas, cálculo de la demanda de calefacción y refrigeración, cálculo de los consumos de calefacción, refrigeración, ACS, y de las emisiones de CO₂, cálculo de las condiciones ambientales interiores, cálculo de las condiciones de confort, balance térmico y ventilación, entre otras.

6.3 Resultados de cálculo

6.3.1 Cálculo de cargas

Design Builder implementa de forma específica el cálculo de cargas máximas de calefacción y refrigeración conforme al estándar ASHRAE. Esta funcionalidad es especialmente interesante de cara al dimensionado de las instalaciones.

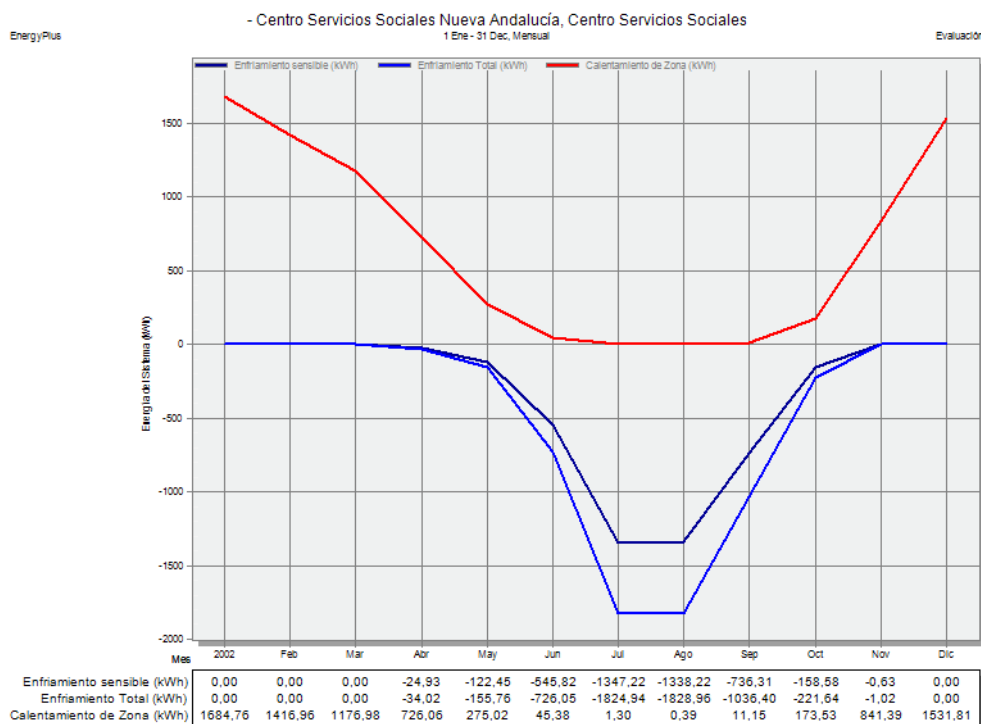


Imagen 85. Cargas térmicas.

6.3.2 Demandas de calefacción gas natural

Mediante una opción sencilla del programa, es posible calcular la demanda de forma ágil durante las primeras etapas del diseño orientado a la mejora del diseño bioclimático del edificio, sin entrar a modelar en detalle las instalaciones de climatización.

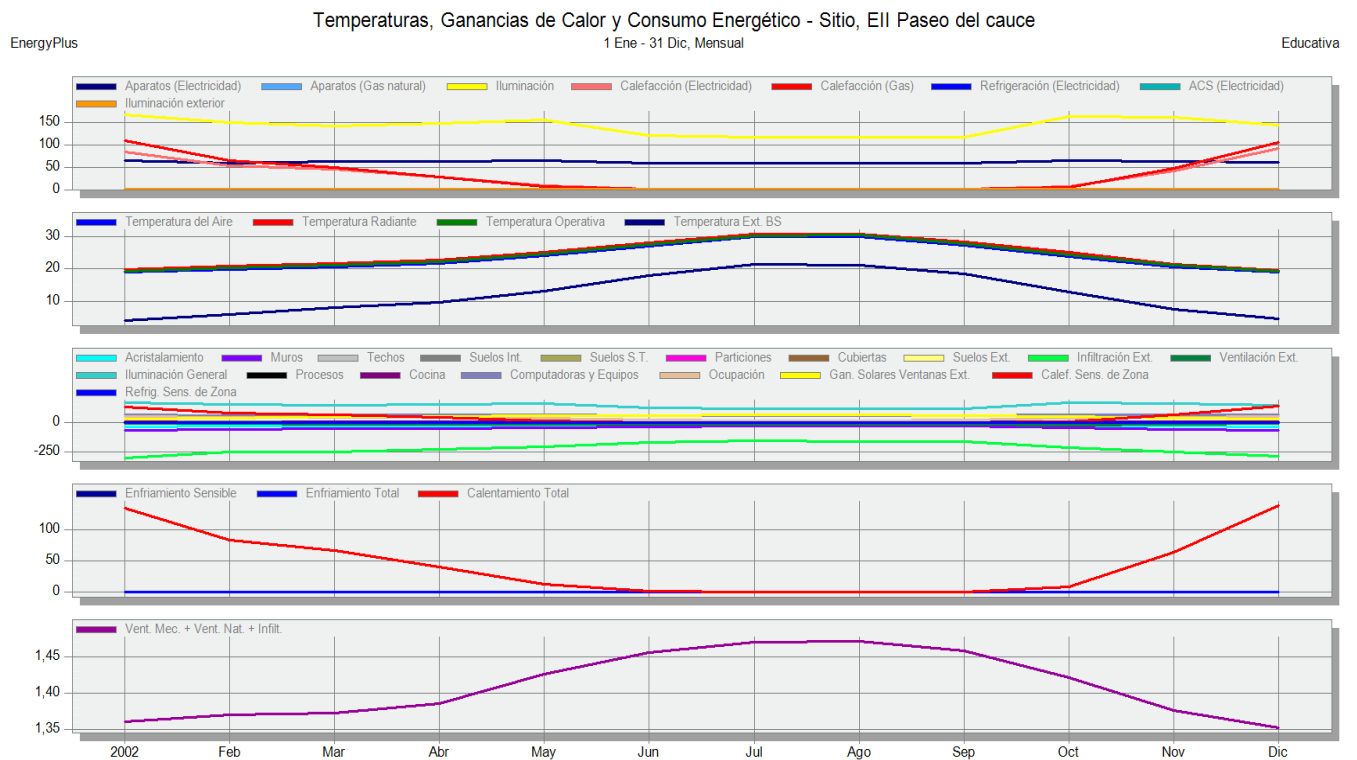


Imagen 86. Temperatura y ganancias de calor mensualmente.

Estudio del Consumo Energético en un District Heating (DH) de la Universidad de Valladolid

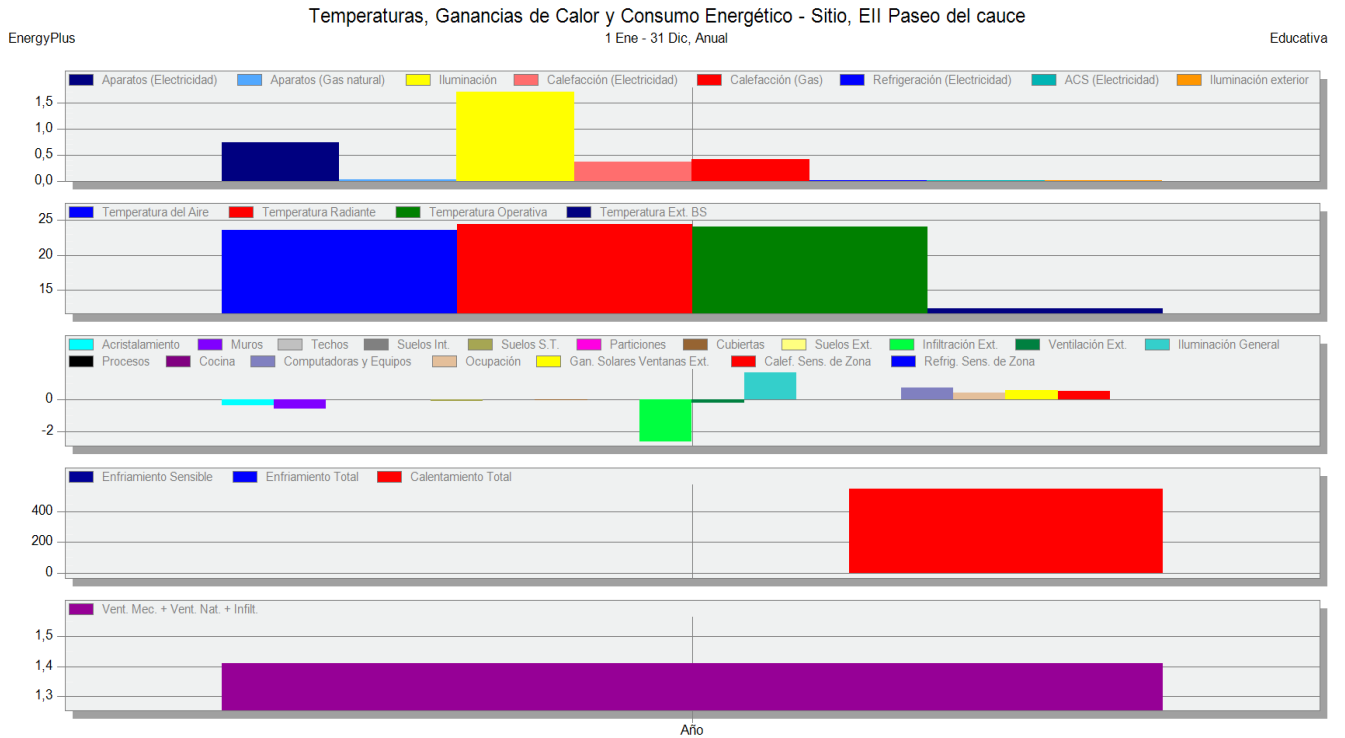


Imagen 87. Temperatura y pérdidas de calor anualmente.

6.3.3 Consumos calefacción gas natural

Introduciendo las instalaciones, que pueden modelizarse en diferentes niveles de detalle y complejidad, obtenemos los consumos energéticos y el gasto en combustible (electricidad, gas, biomasa, etc.) así como las emisiones de CO₂ asociadas.

La siguiente tabla muestra con detalle todos los consumos y temperaturas simulados con el programa.

Estudio del Consumo Energético en un District Heating (DH) de la Universidad de Valladolid

Fecha/Hora	Enfriamiento Sensible kWh	Vent. Mec. + Vent. Nat. + Infil. renov/h	Infiltración Ext. kWh	Ventilación Ext. kWh	Enfriamiento Total kWh	Calentamiento Total kWh	Iluminación General kWh	Procesos kWh	Gan. Solares Ventanas Ext. kWh	Calef. Sens. de Zona kWh
Enero	-0,9687	1,3606	-304851,3	-10601,27	-0,9687	135064,3	168658,5	656,268	28046,63	131043,9
Febrero	-12,693	1,3705	-252066,1	-11977,99	-12,693	82956,06	149859,2	610,835	37140,41	80696,41
Marzo	-66,646	1,3721	-253608,3	-13115,4	-66,646	66327,09	142412,3	595,356	52884,77	64719,2
Abril	-121,602	1,3852	-228708,6	-14940,48	-121,602	40035,82	148406,8	624,880	51453,03	39210,5
Mayo	-403,429	1,4259	-209746,4	-19396,67	-403,429	11670,99	157156,9	670,481	57044,45	11478,4
Junio	-631,031	1,4561	-169197,1	-18406,61	-631,031	514,4598	122354,3	505,087	58861,98	510,3507
Julio	-967,761	1,4702	-157102,9	-18447,79	-967,761	46,13885	117155,9	469,471	66406,2	45,63454
Agosto	-914,362	1,4720	-161882,3	-19451,78	-914,532	4,819065	117031,4	469,471	66261,7	4,797928
Septiembre	-495,307	1,4583	-162081,4	-18387,9	-495,307	252,4238	117668,3	472,601	57724,03	250,8316
Octubre	-264,457	1,4211	-215453,8	-20418,15	-264,508	8208,166	163985,3	684,693	49566,4	8111,573
Noviembre	-28,009	1,3767	-251109,7	-13900,19	-28,009	63454,36	162486,1	643,154	32617,74	61940,8
Diciembre	0	1,3519	-288148,6	-9094,064	0	140188,6	144461,8	546,626	24205,96	135923,1

Tabla 26. Datos procedentes de la simulación energética (1).

Estudio del Consumo Energético en un District Heating (DH) de la Universidad de Valladolid

Fecha/Hora	Refrig. Sens. de Zona kWh	Temperatura del Aire °C	Temperatura Radiante °C	Temperatura Operativa °C	Aparatos (Electricidad) kWh	Aparatos (Gas natural) kWh	Calefacción (Electricidad) kWh	Calefacción (Gas) kWh	Refrigeración (Electricidad) kWh	ACS (Electricidad) kWh	Iluminación exterior kWh
Enero	-781,6529	19,00021	19,74743	19,37382	64715,27	1732,512	83924,98	109156,3	0,559979	346,3861	453,5
Febrero	-702,4584	19,88798	20,79434	20,34116	58919,09	1571,159	52816,7	105155,328	7,337122	316,9981	381,5
Marzo	-753,3851	20,71939	21,71669	21,21804	63153,55	1712,954	45447,19	102431,511	38,52381	331,4911	378
Abril	-818,5046	21,73139	22,75393	22,24266	62358,7	1672,208	28097,73	29003,67	70,29065	333,3598	325
Mayo	-1088,858	23,97309	25,04256	24,50783	65071,62	1735,772	9549,584	7178,67	233,1961	350,6032	298,5
Junio	-1146,079	27,096	28,13296	27,61448	59303,43	1636,352	690,7349	83,04358	364,7581	302,5831	270
Julio	-1441,336	29,78206	30,72355	30,25281	59893,81	1667,319	65,41039	3,437457	559,4	303,6751	288,5
Agosto	-1400,098	29,80316	30,82568	30,31442	59893,81	1667,319	7,385306	0	528,6314	303,6751	320
Septiembre	-976,0203	27,35992	28,36278	27,86135	58454,41	1623,313	356,8983	24,06979	286,3049	296,1225	348
Octubre	-972,9581	23,87831	25,02809	24,4532	65427,96	1739,032	7455,007	4283,875	152,8952	354,8205	404,5
Noviembre	-730,4217	20,5736	21,5358	21,0547	62851,36	1681,987	42779,84	95258,76	16,19074	335,6031	427,5
Diciembre	-708,4528	18,95421	19,59478	19,2745	61880,03	1693,396	92859,25	116600,55	0	321,8003	465

Tabla 27. Datos procedentes de la simulación energética (2).

Nos centramos en los datos obtenidos de calefacción con el funcionamiento del sistema solo de calderas de gas natural. Cabe destacar, con gran relevancia que, todos los datos obtenidos con esta simulación, son para un año tipo, es decir, el programa estandariza el sistema haciendo ver un año de funcionamiento como ejemplo para el resto.

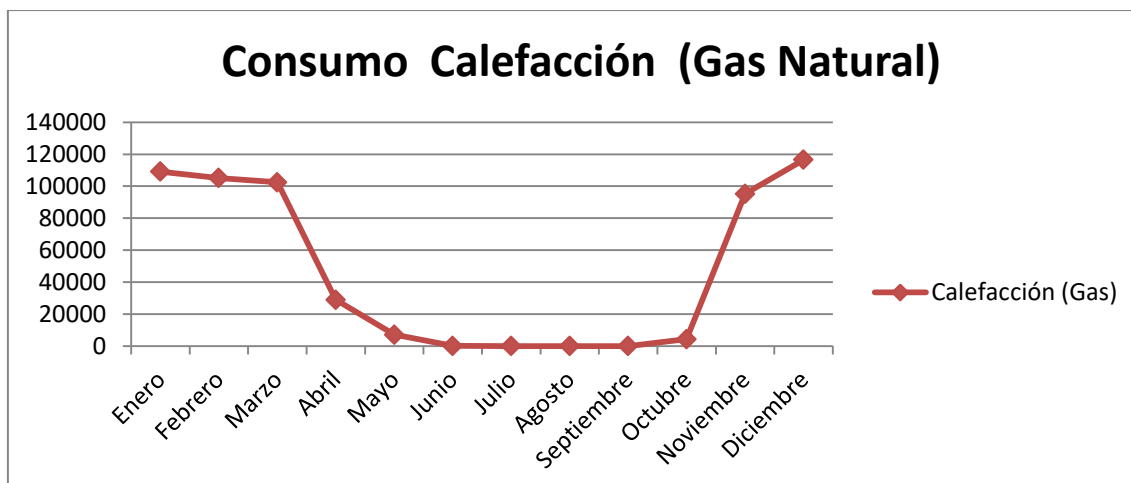


Gráfico 41. Consumo de calefacción (Gas Natural) para un año tipo.

Este gráfico es propio del consumo de calefacción de gas natural para un año tipo medido mensualmente.

6.3.4. Comparación de los consumos de gas natural de calefacción: Design Builder Vs Reales

En la siguiente tabla se muestran los consumos de calefacción de gas natural simulados con Design Builder y los consumos reales medidos en la Escuela de Ingenierías Industriales del año 2014.

	Tecopy	Design Builder
Enero	119882,86	109156,3
Febrero	110418,88	105155,328
Marzo	112173,38	102431,511
Abril	25047,12	29003,67
Mayo	7246,45	7178,67
Junio	0	83,04358
Julio	0	3,437457
Agosto	0	0
Septiembre	0	24,06979
Octubre	0	4283,875
Noviembre	111594,92	95258,76
Diciembre	124764,29	116600,55

Tabla 28. Consumos de gas natural: Design Builder Vs Tecopy.

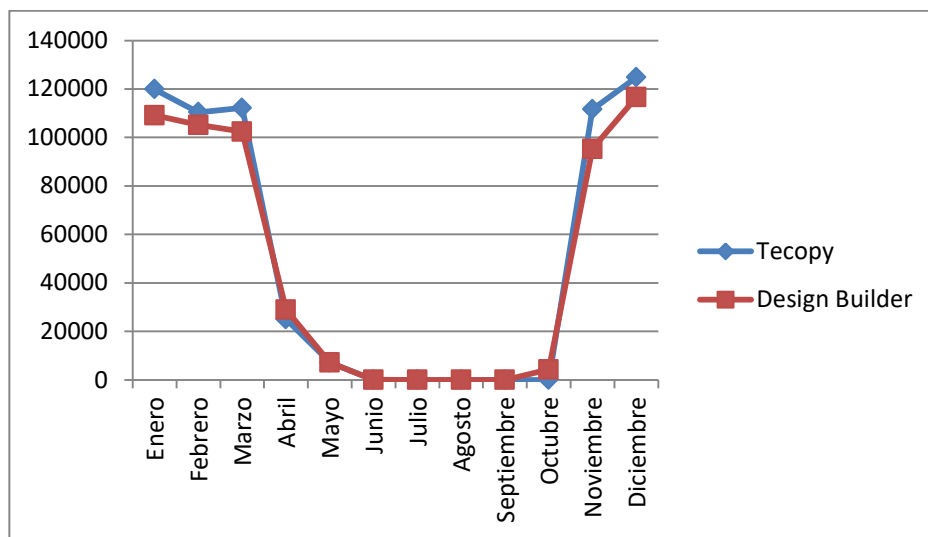


Grafico 42. Comparación gráfica del consumo de GN.

Como se aprecia en el gráfico realizado con Excel, los datos proporcionados por Design Builder se asemejan bastante a los reales, tomando como año real el 2014, año en el cual aún no había entrado en funcionamiento el sistema de calefacción District Heating. Por lo que se puede afirmar que, con una buena definición del edificio se puede conseguir una buena simulación propia de Design Builder.

A continuación se hará una breve comparación de diferentes años de calefacción, tomando como datos, los recogidos por la Escuela (Tecopy), las facturas propias de la Escuela, y los datos obtenidos con Design Builder.

Estudio del Consumo Energético en un District Heating (DH) de la Universidad de Valladolid

	Tecopy	Facturas (Gas+Biomasa)	DesignBuilder
ene-14	119882,86	258.821	109156,3
Febrero	110418,88	276.638	105155,328
Marzo	112173,38	208.852	102431,511
Abril	25047,12	116.325	29003,67
Mayo	7246,45	18.881	7178,67
Junio	0	0	83,04358
Julio	0	256	3,437457
Agosto	0	0	0
Septiembre	0	0	24,06979
Octubre	0	993	4283,875
Noviembre	111594,92	173.818	95258,76
Diciembre	124764,29	174875	116600,55
ene-15	342737,28	377448	109156,3
Febrero	411810,62	360.341	105155,328
Marzo	205122,42	243.979	102431,511
Abril	0	95.293	29003,67
Mayo	0	31520	7178,67
Junio	0	0	83,04358
Julio	0	0	3,437457
Agosto	0	0	0
Septiembre	0	0	24,06979
Octubre	0	5905	4283,875
Noviembre	0	13498	95258,76
Diciembre	40602,5	3703	116600,55
ene-16	214510,94	201117	109156,3
Febrero	265396,8	226694	105155,328
Marzo	181787,25	176992	102431,511
Abril	153313,44	139095	29003,67
Mayo	2808,71	21812	7178,67
Junio	0	0	83,04358
Julio	0	0	3,437457
Agosto	0	0	0
Septiembre	0	574	24,06979
Octubre	43804,51	40045	4283,875
Noviembre	179411,23	195008	95258,76
Diciembre	188340,52	180779	116600,55
ene-17	289040,94	286134	109156,3
Febrero	199677,86	205600	105155,328
Marzo	178914,66	170651	102431,511
Abril	55901,84	58984	29003,67
Mayo	14605,1	18387	7178,67
Junio	0	0	83,04358
Julio	0	0	3,437457
Agosto	0	0	0
Septiembre	0	0	24,06979
Octubre	0	9000	4283,875
Noviembre	0	0	95258,76
Diciembre	0	0	116600,55

Tabla 29. Consumos de gas natural: Design Builder Vs Tecopy Vs Reales.

Estudio del Consumo Energético en un District Heating (DH) de la Universidad de Valladolid

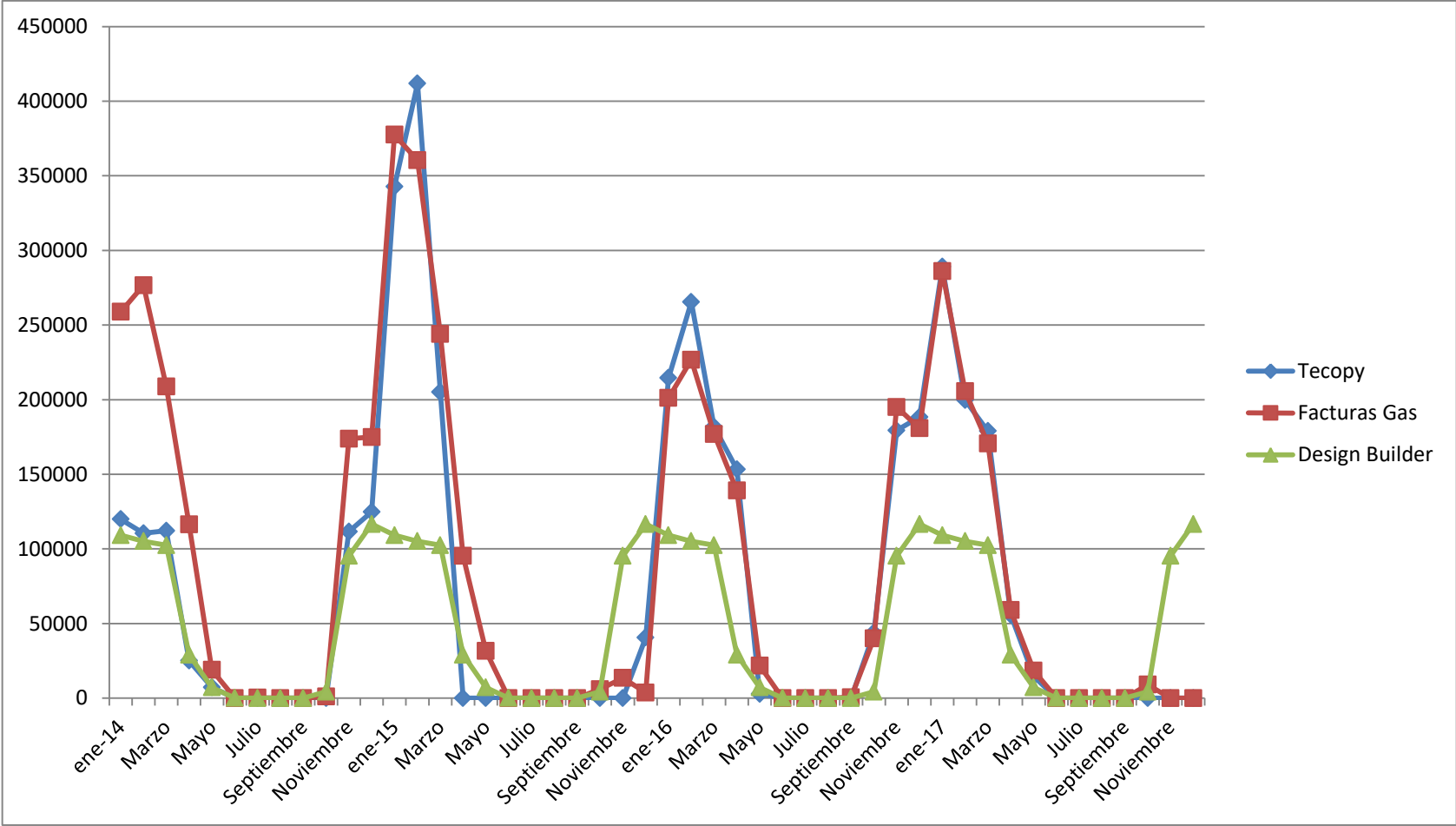


Grafico 43. Comparación gráfica del consumo de calefacción: Tecopy Vs Facturas Vs Design Builder.

Como se aprecia en el gráfico 43, los datos de Tecopy y de las facturas son bastante semejantes, lo que era de esperar, teniendo en cuenta que con el paso de los años se ha ido mejorando la automatización de Tecopy propio de la Escuela, por ello los datos de 2017 son casi idénticos.

En cuanto a los valores sacados de Design builder, como se ha dicho anteriormente, el programa saca los consumos para un año tipo, y en este caso, sólo se tuvo en cuenta como sistema de calefacción el de gas natural, por lo que se asemeja a los valores propios del año 2014 pero luego hay una importante desviación, ya que estos valores tipo, son periódicos, iguales para todos los años y en el año 2015 se comenzó el sistema de calefacción nuevo, District Heating y Gas Natural en caso de fallo al anterior.

6.4 Otros parámetros de la E.I.I

6.4.1 Confort térmico

Mediante diversos índices de confort, como el PMV, PPD, la temperatura operativa o el porcentaje de horas a determinadas temperaturas, forman parte de los resultados que Design Builder puede mostrarnos.

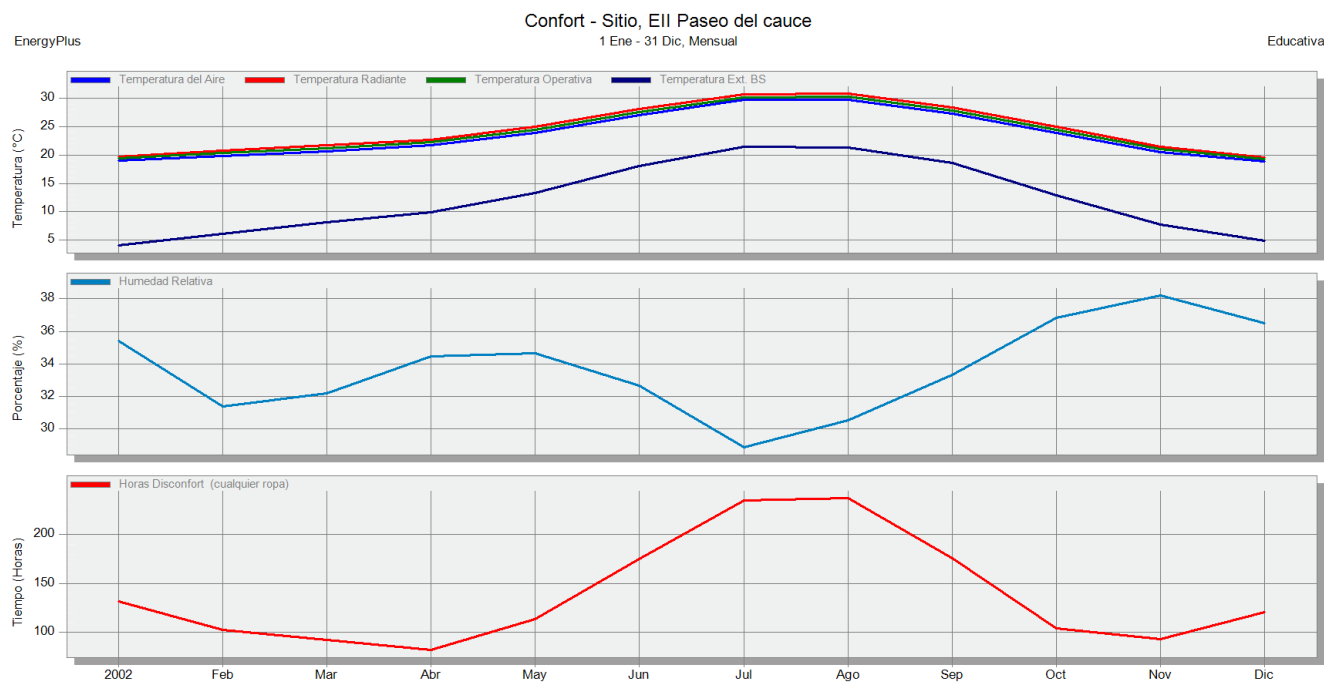


Imagen 88. Confort mensual.

Estudio del Consumo Energético en un District Heating (DH) de la Universidad de Valladolid

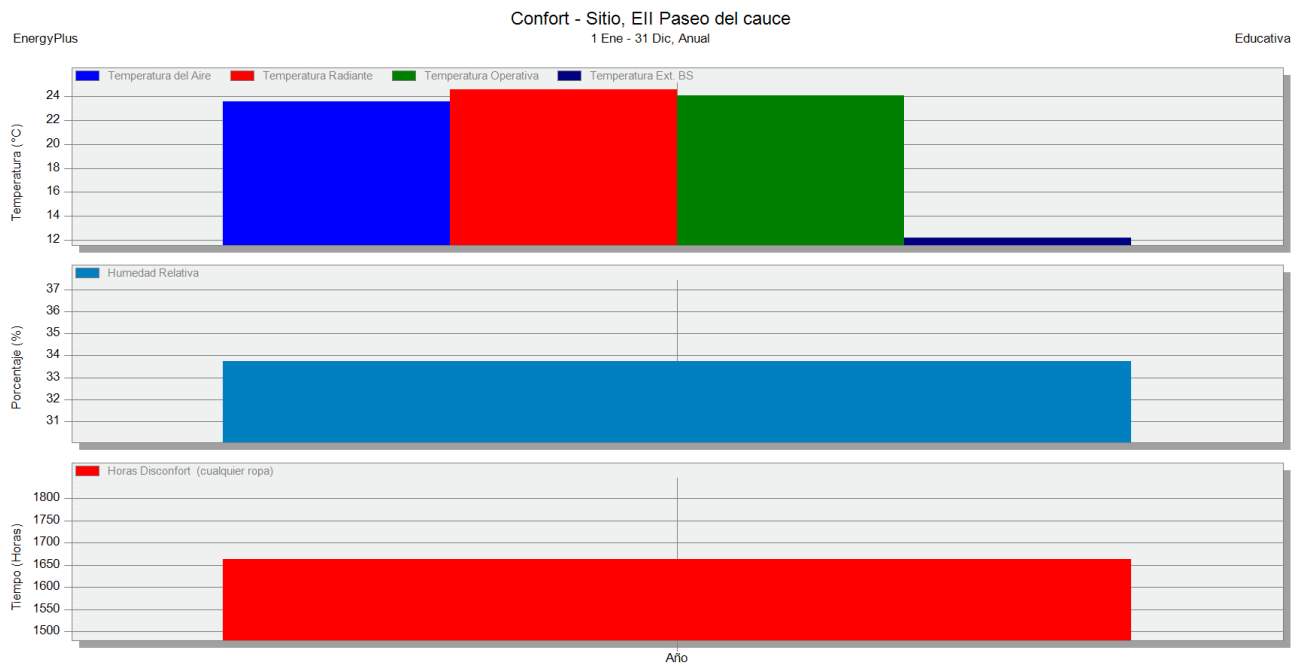


Imagen 89. Confort anual.

6.4.2 Emisiones CO₂

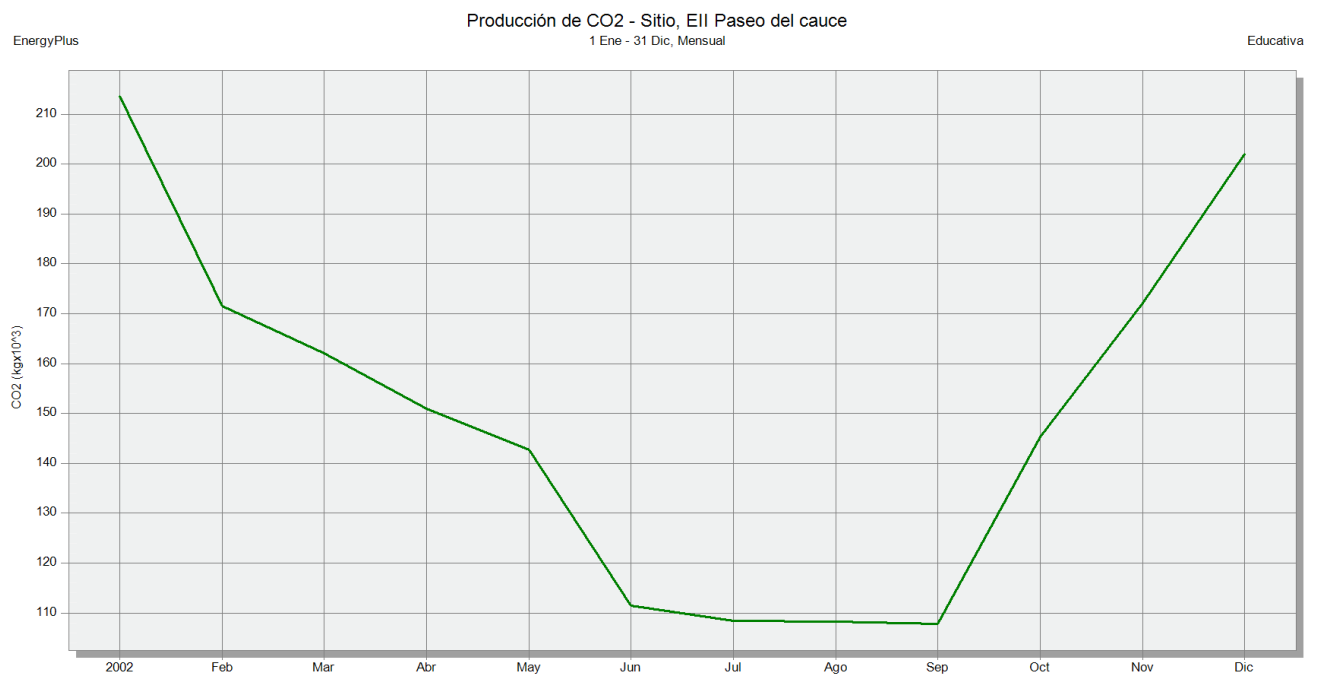


Imagen 90. Emisiones de CO₂.

6.4.3 Balance térmico

Design Builder nos mostrará las ganancias solares, por ocupación, iluminación, etc. así como las pérdidas en ventilación, transmisión de cerramientos, etc. dándonos valiosa información acerca de los elementos más críticos en el balance térmico de la Escuela de Ingenierías Industriales.

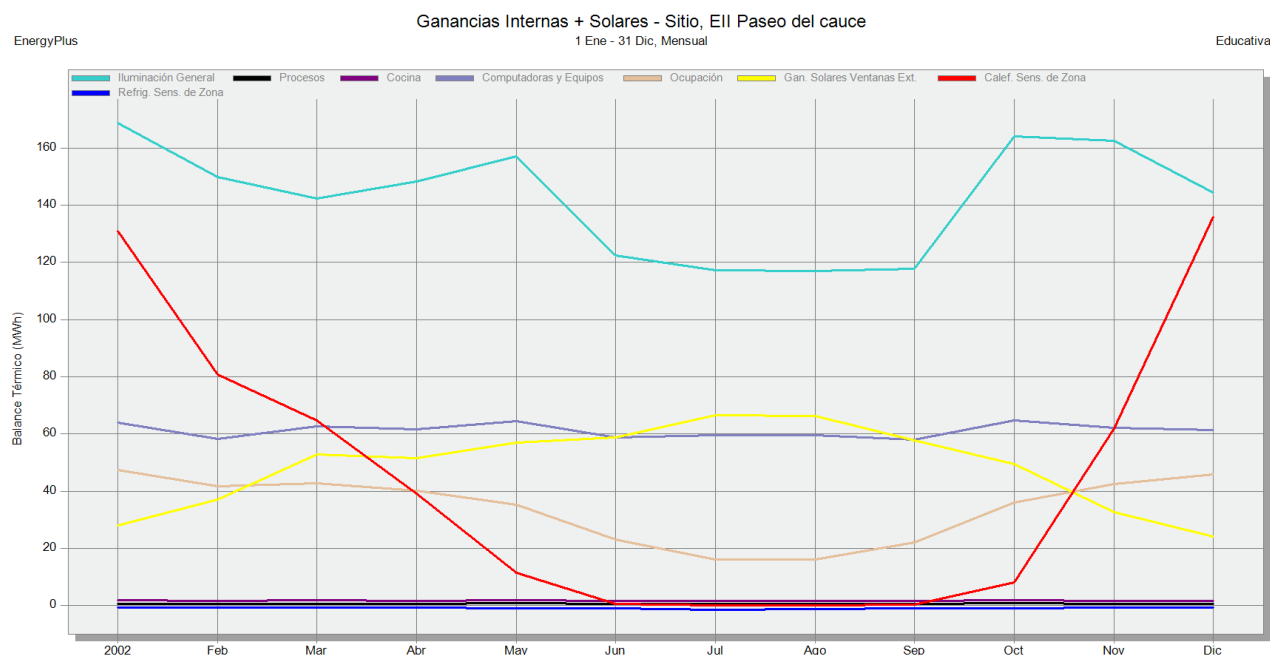


Imagen 91. Balance térmico.

Como vemos a través de estas herramientas informáticas encontramos gran cantidad de información que hace posible realizar un completo estudio de los edificios objeto, en este caso, la Escuela de Ingenierías Industriales, haciendo posible que se puedan implementar distintas mejoras conducentes a la mejora de la eficiencia energética, indicándonos además el grado de afección en función del tipo de actividad y características del edificio en el que se lleva a cabo.

En este trabajo obtenemos a través de Energy Plus la energía consumida por el edificio en el desarrollo de su actividad en un año natural, pudiendo estudiar mediante el desglose que nos proporciona cuales son los consumos mayores y a que son debidos, iluminación, generación de calor, generación de frío, etc., estos datos varían en función de los datos de partida introducidos relativos a la envolvente térmica, la situación, la actividad que se desarrolla en su interior, los equipos con los que cuenta, etc.

Así mediante la obtención de esta información se puede estudiar energéticamente el edificio como conjunto, encontrando los parámetros que más afectan directamente al consumo energético y proporcionando la posibilidad de modificarlos para conseguir mejoras de ahorro y eficiencia energética.

Capítulo 7.

Conclusiones, trabajos futuros y posibles mejoras.

7.1 Conclusiones

Las conclusiones que se sacan de este proyecto es que la utilización de la biomasa como fuente de energía es una opción muy satisfactoria si el sistema de biomasa se utiliza como combustible para el sistema de calefacción. Se puede destacar las siguientes consideraciones respecto a este proyecto:

- Hasta un 59,23% en ahorro Económico
- Hasta un 19,93% en ahorro Térmico.
- Menor impacto Medio Ambiental, reducción de emisiones de CO₂, con un porcentaje de disminución de emisiones del 97,43%.
- Agua caliente como medio de transporte, ya que presenta una ventaja respecto a la utilización de aire caliente, debido a su mayor contenido energético específico que permite transportar mucha más energía a igual tamaño de los conductos.
- Gracias a las tuberías pre-aisladas para el transporte de agua se consigue un ahorro energético gracias a su aislamiento.
- A la vista está el buen funcionamiento de la instalación, como se ha demostrado en este proyecto, y una de las causas es debida a la buena utilización del agua, es decir, todos los sistemas de filtrado que posee la instalación con el objetivo de reducir su contenido en minerales que puedan ocasionar incrustaciones en la caldera y en el interior de las tuberías de la red. Asimismo se evitará el agua con un agente anticorrosivo para evitar problemas de corrosión.
- El hecho de contar con la subestación en la Escuela de ingenierías Industriales, lo que se llama conexión indirecta con la red de distribución, supone menor riesgo de fugas de agua en la instalación. Las condiciones de funcionamiento en el interior del edificio son más estables con la conexión indirecta.
- Las bombas de la instalación están dotadas de variador, lo que permiten obtener el caudal ajustado para dar mejores condiciones al funcionamiento de la instalación. El caudal se regula en función de la demanda, de forma que el consumo eléctrico es menor.
- A pesar de que el caudal este regulado por la demanda, se incorporan varios sistemas de bombeo en la nueva instalación, por lo que aumenta el consumo eléctrico respecto a la anterior instalación aunque el ahorro energético global sea menor.
- Las bacterias y la legionelosis no son problemas específicos de los sistemas centralizados de distrito. Y menos aún, cuando la Escuela de Ingenierías Industriales no es abastecida por ACS.

- Aprovechamiento de fuentes residuales y renovables, en nuestro caso, la astilla.
- Mejora de la calificación energética de la Escuela.
- Mejora del confort térmico.
- Se necesita una gran inversión inicial (5.647.810 €) y una obra civil considerable.
- Reducción en libertad de uso del sistema, ya que está automatizado.
- Debido a una instalación automatizada como la nuestra, es muy fácil ver dónde hay fallos en el sistema de manera rápida.
- Producción alejada de la Escuela (se evita riesgos de combustión, ruidos, vibraciones, averías, etc...)
- Menor precio del combustible.
- Se reduce el coste de explotación y mantenimiento de la instalación.
- No se almacena combustible en la Escuela, por lo que se evitan problemas de seguridad, suciedad y espacio en la misma.

7.2 Fortalezas del sistema

Respecto a las ventajas que conlleva un sistema District Heating, se pueden clasificar en cuatro grandes bloques:

Ventajas medioambientales:

- Se minimiza el consumo de energía primaria de origen fósil.
- Reducción de emisión de gases de efecto invernadero.
- Reducción de pérdidas de refrigerante a la atmósfera en comparación con los sistemas convencionales.
- Disminución de ruidos y vibraciones en los edificios conectados a la red del sistema.

Ventajas económicas:

- Reducción de la potencia eléctrica a contratar.
- Ahorro del consumo energético en facturas del usuario.
- Reducción del coste en cuanto a mantenimiento de la instalación.

Ventajas de seguridad:

- Seguridad asegurada y suministro continuo.
- Se elimina la posibilidad de riesgos sanitarios.
- Supervisión permanente de las instalaciones, incluyendo las subestaciones.

- No hay peligro por parte de ausencia de gases inflamables en el edificio abastecido.

Ventajas de uso:

- Flexibilidad, se adapta a las necesidades del usuario.
- El sistema es muy fiable debido a la calidad de los equipos, su automatización y su supervisión permanente.
- La instalación es menos compleja y económica en su mantenimiento, se simplifica la operación de las instalaciones puesto que en el edificio no se produce la energía.
- Salas técnicas de dimensiones reducidas.

7.3 Debilidades del sistema

- Las instalaciones que consumen energía de la biomasa necesitan un abastecimiento continuo, por lo que se aprecia en nuestra instalación, la cercanía de la biomasa, ya que Castilla y León posee muchos recursos de biomasa.
- La realización de una instalación centralizada supone hacerlo con las viejas calderas individuales de los propios edificios, las cuales deben recibir un mantenimiento adecuado para que en caso de posible fallo de la instalación de la red de calefacción, estas calderas entren en funcionamiento.
- El hecho de implementar una instalación DH, requiere intervenciones en el espacio público, canalizaciones e instalación de subestaciones en los edificios.
- Se requiere gran coordinación.
- Previsión de posibles paradas técnicas en la Central de generación.

7.4 Trabajos futuros

7.4.1 Instalación de contadores de tiempo de funcionamiento

Sería muy conveniente la instalación de un contador de tiempo de funcionamiento del sistema de bombeo en la sala de calderas de la Escuela y otro en la central térmica, de esta manera se conseguiría saber qué porcentaje de funcionamiento eléctrico propio de las bombas de la central térmica es destinado a la Escuela de Ingenierías Industriales. El consumo eléctrico de la Escuela está formado por el consumo de electricidad propio de la Escuela y el consumo eléctrico que requiere el sistema de bombeo de la central para poder abastecer a la Escuela.

$$\dot{W}_B \text{ (kWh)} = [(\dot{m} \times \Delta P) / \eta] \times t$$

$$\dot{W}_{\text{TOTAL-EII}} \text{ (kWh)} = \dot{W}_{\text{B}} \text{ (kWh)} + \dot{W}_{\text{ELEC}} \text{ (kWh)}$$

Con este nuevo dato se conseguiría saber con exactitud el ahorro energético de la Escuela por partes, ya que el ahorro energético se compone del ahorro térmico y del ahorro eléctrico.

7.4.2 Integración futura de ACS mediante energía solar térmica

La combinación de un sistema DH compuesto de calderas de biomasa con un sistema de energía solar térmica es una buena solución para abastecer las necesidades de ACS, lo que permitiría reducir aún más los costes. La energía solar sirve para producir agua caliente sanitaria mediante paneles solares, los cuales reciben radiación directamente del Sol. La radiación Solar depende de la situación geográfica y del mes del año, en los meses de verano la instalación solar puede proporcionar un 100% de la energía demandada y la instalación de biomasa puede estar parada. Por lo que se reduciría costes de mantenimiento, emisiones y pérdidas de energía. En los meses de invierno, este sistema de energía solar térmica serviría de apoyo para el ACS.

Cabe destacar, que la energía solar es gratis, inagotable y acorde en beneficio para el medio ambiente.

Para hacer una ligera idea, en Castilla y León, la energía incidente en 25 m² de superficie de captación permite un ahorro de 2.700 litros de gasóleo C o de 24.000 kWh de gas natural anual.

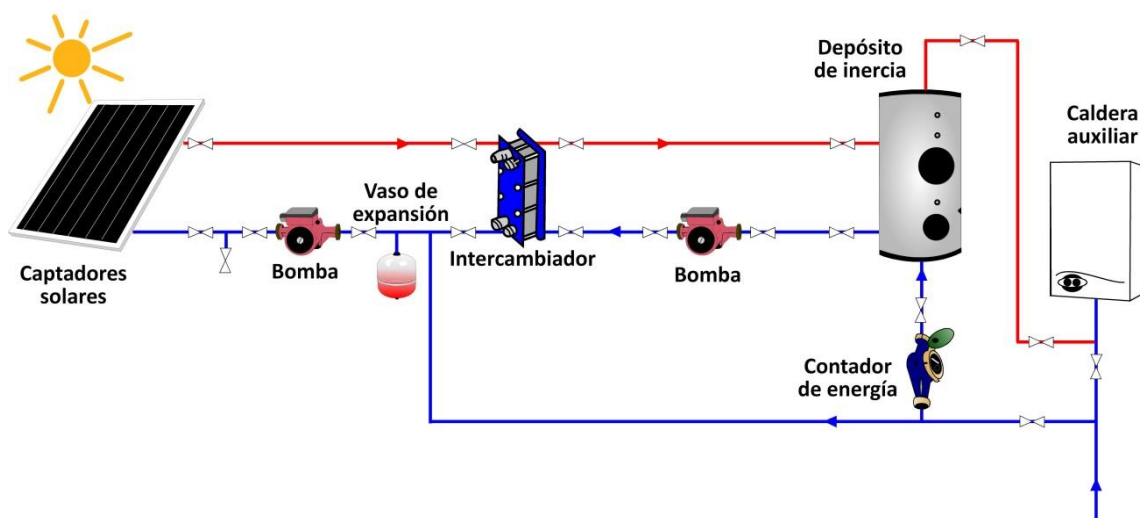


Imagen 92. Esquema hidráulico para la obtención de ACS mediante energía solar térmica.

El captador solar transforma la radiación solar en energía térmica calentando el fluido en su interior. El fluido se renueva por fluido frío, extrayendo de éste el calor, pero para no cambiar el fluido continuamente, la instalación de captadores es un circuito cerrado con tuberías generándose movimiento del fluido gracias a una bomba. Si el calor que se obtiene no coincide con el que se va a consumir, se almacenará en un depósito de agua sanitaria para así usarlo cuando sea necesario. Del mismo modo que el captador solar está expuesto al Sol, también está expuesto a heladas, para el correcto funcionamiento del mismo es necesario añadir anticongelante al fluido para que no se estropeen los paneles.

El anticongelante podría contaminar el agua del depósito, para que esto no ocurra, se instala un intercambiador de calor para que transfiera la energía del circuito de captadores solares al depósito, de este modo no se mezclarán los dos fluidos.

Si los captadores no pueden calentar todo el depósito en un momento dado, el sistema de caldera conectado a su salida generará el calor que falte para así asegurar la temperatura para su posterior consumo.

También cabe la posibilidad de que el depósito ya este calentado hasta la temperatura necesaria y los captadores siguen recibiendo más radiación solar, en este caso, las bombas no arrancarán y se aumentará la temperatura del panel solar, para que éste no sufra daños, el calor sobrante se evacúa requiriendo una pérdida de fluido anticongelante en los captadores que deberá ser repuesto.

Las instalaciones solares garantizan un buen funcionamiento si los captadores solares no sufren un sobrecalentamiento, para conseguir esto, es necesario consumir a diario la energía acumulada en el depósito.

El rendimiento de la instalación solar será mayor cuanto más fría este el agua de retorno, también cuanto más baja sea la temperatura de uso y así será menor la necesidad de la caldera de biomasa para la generación de ACS.

7.5 Propuestas de nuevos cambios - Mejoras

7.5.1 District Heating con Cogeneración

El término cogeneración significa, producción simultánea de energía térmica útil y electricidad con el proceso técnico de la central. Si además de calor y electricidad, se produce también frío, estaríamos ante el caso de trigeneración.

Si además de centralizar la generación con un district heating se añaden las ventajas de la cogeneración, se puede llegar a un 25% de ahorro energético.

La eficiencia energética de este sistema es mayor que si se produce por separado el calor y la electricidad. La eficiencia global de los sistemas de cogeneración puede llegar hasta el 90%.

El objetivo de este sistema es reducir los costes especialmente eléctricos, ya que son los que se han incrementado en cierta medida con el sistema District Heating actual, y es debido al consumo eléctrico que conllevan los sistemas de bombeo de la central térmica.

Ahora bien, para adentrarnos en cómo sería este sistema, habría que incorporar una turbina de gas, que es idónea para instalaciones de gran tamaño (>5 MW), pero ésta trabaja con gas natural, gasóleos o gasolinas, por lo que estaríamos aumentando con este sistema las emisiones de CO₂ y tendríamos un consumo adicional de este combustible, que es lo que estamos intentando evitar.

Una apuesta acertada sería el sistema cogeneración mediante motores de combustión interna alternativos, un motor de combustión interna alternativos es junto a las turbinas, una alternativa para producir energía mecánica necesaria para el alternador de la instalación de cogeneración. La ventaja de los MCIAs es la flexibilidad que poseen ante cambios en las necesidades de carga, permiten cambios significativos de carga sin que disminuya el rendimiento. También pueden funcionar de forma intermitente ya que son fáciles de parar y arrancar.

El MCI para que siga la línea de este proyecto y cumpla los requerimientos de eficiencia energética, no será ni diésel ni de gasolina. El motor de combustión interna alternativo será alimentado por gas de gasificación termoquímica de la biomasa. Con este sistema se sigue la línea de reducir las emisiones contaminantes, aumentamos el uso de fuentes renovables y eliminamos la dependencia económica de los combustibles fósiles.

El gas de gasificación, es un gas pobre que se produce por la gasificación de combustibles sólidos como en este caso sería la biomasa.

El uso de gas de gasificación de biomasa como combustible para motores de combustión interna conlleva numerosos beneficios:

- Reducción de los gases efecto invernadero.
- Reducción de las emisiones de óxidos de azufre.
- Reducción de emisiones de óxido de nitrógeno.

Los gasógenos generan potencia mecánica en motores de combustión interna alternativos a partir de la biomasa que se gasifica térmicamente. Los gasógenos están formados por tres elementos, el *gasificador* (donde la biomasa se gasifica produciendo un gas compuesto de CO e hidrógeno diluido en N₂), el *sistema de*

tratamiento del gas (el cual depura los compuestos orgánicos como los alquitranes, los compuestos de azufre, el polvo,...después enfría seguidamente de un secado del gas gasificado) y por último, el *MCIA* (dónde el gas gasificado reacciona con aire para generar potencia mecánica en el eje).

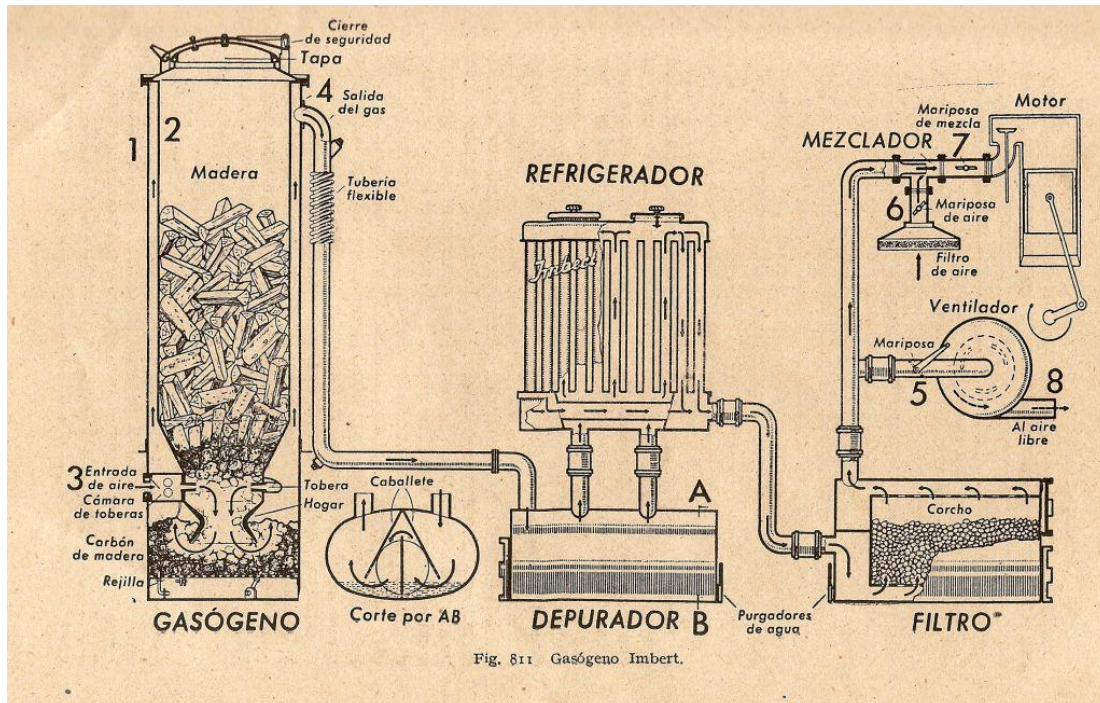


Imagen 93. Esquema de un gasógeno.

La gasificación tiene principalmente tres etapas: Pirolisis, Oxidación y Reducción.

La pirolisis o descomposición térmica se basa de tal manera que cuando la biomasa entra en el gasificador es secado por los gases calientes presentes en el interior del reactor, entonces comienza la pirolisis donde mediante el calor de la biomasa se descompone en una mezcla de residuo carbonoso más alquitranes líquidos y vapores condensables y gases de hidrocarburos volátiles.

La oxidación o combustión se basa en el calor que se necesita para secar la biomasa, de esta manera rompe los enlaces químicos de los combustibles en la pirolisis.

En la etapa de reducción o gasificación, ocurren una serie de reacciones endotérmicas, por lo que el sólido carbonoso, los líquidos y vapores se convierten en gas.

Independientemente del tipo de gasificador usado, este tendrá un buen funcionamiento si el gas es de buena calidad, y esto se consigue si el combustible sólido primario cumple las especificaciones requeridas respecto a su contenido energético, humedad, granulometría, contenido de volátiles y cenizas. Por lo tanto, el

rendimiento de la producción del gas de gasificación depende del tipo de biomasa utilizado.

El gas de gasificación tiene un número de octano mayor que el de la gasolina, por lo que puede usarse en motores de combustión interna con mayores relaciones de compresión, obteniendo de esta manera una mayor eficiencia térmica y mayor potencia específica.

Una premisa importante, es que es necesaria la refrigeración del gas de gasificación por varios motivos:

- Para prevenir la autoinflamación, ya que una alta temperatura del gas produce altas temperaturas en la mezcla admitida a la cámara de combustión del motor, por lo que desencadenaría en un pre-encendido o en detonación.
- Para aumentar la densidad del gas y con ello la densidad de la mezcla GG y aire, para así aumentar la eficiencia volumétrica y permitir que entre el máximo gas combustible en el cilindro del motor durante la carrera de admisión.
- Forma parte a la depuración del GG, por lo que se evita la condensación de la humedad que contiene el gas en el momento de mezclarse con el aire antes de entrar en la cámara de combustión del motor.

Se podría refrigerar por aire o por agua, dónde el GG sería conducido por unos tubos de refrigeración con alta superficie de transferencia de calor.

El gas de gasificación tiene dos usos como combustible: generación de calor y energía mecánica o eléctrica. El GG alcanza mayores temperaturas de combustión y por lo tanto aumenta la eficiencia del equipo y el contenido exergético del calor generado.

Los gasificadores con MCIa con la utilización de la biomasa para producir energía mecánica o eléctrica, puede llegar hasta 30MW.

Además del empleo del gas gasificado como combustible para los MCIa, se podría desarrollar la idea de usar este mismo gas como combustible para las turbinas de gas. El problema de las turbinas de gas es que requieren un gas muy limpio y con altas temperaturas de admisión, ya que las paletas de las turbinas son muy sensibles al polvo, es decir, para partículas de menos de 5 micras de tamaño. Además, como la turbina requiere el GG a alta presión, se requiere un gasificador presurizado, lo que aumentaría considerablemente su costo y complejidad, aunque esta opción es válida para nuestra instalación, ya que es una instalación grande.

La utilización de los sistemas de gasificación con turbina de gas no da aumentos en cuanto a eficiencia global de generación eléctrica respecto al ciclo convencional de

turbina de vapor para instalaciones de grandes dimensiones. Lo que supondría un mayor aprovechamiento sería la gasificación para un ciclo combinado.

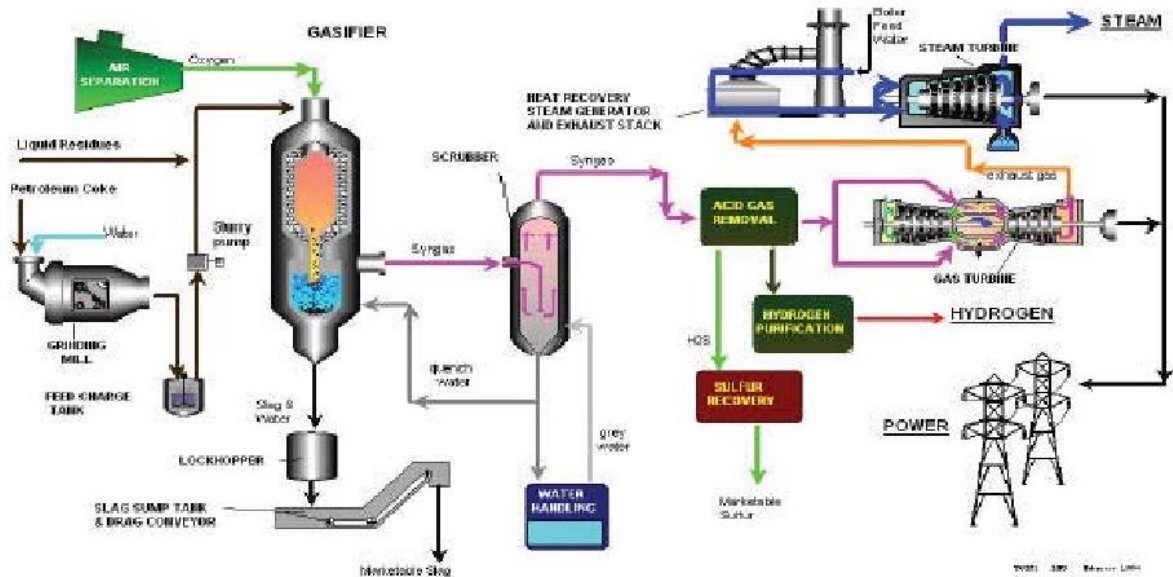


Imagen 94. Diagrama de flujo del ciclo de gasificación integrada a ciclo combinado.

El GG pasa por los filtros cerámicos para después entrar en la turbina de gas. El calor de los gases de escape de la turbina de gas pasar a la caldera de recuperación para producir vapor y generar una potencia adicional en una turbina de vapor. El vapor de baja presión y los condensados de la turbina de vapor, junto con el calor recuperado por la refrigeración del gas gasificado antes de depurarse y entrar en la turbina, se aprovechan como cogeneración para en este caso, la red centralizada de calefacción de distrito.

De esta manera se alcanza un 51% de eficiencia bruta en generación eléctrica, siendo un 43% de eficiencia neta y un rendimiento energético global del 85%.

7.5.2 District Heating con geotermia

Una mejora de la instalación District Heating que suministra calor por una red urbana sería utilizando como fuente de calor la energía geotérmica. La energía geotérmica es aquella almacenada en forma de calor por debajo de la superficie terrestre, es decir, es aquella energía térmica almacenada en la corteza terrestre a una profundidad tal que sea accesible por sondeos, de modo que puede ser aprovechable de forma económica.

La red de calefacción podría aprovechar el calor almacenado en acuíferos profundos a través de la captación de sus aguas por sondeos, estas deben de tener una temperatura mínima de 75°C a 100°C. En ocasiones, dependiendo de la temperatura que puede ser captada, se puede plantear una producción conjunta de calor y electricidad. Por lo que resultaría un ahorro no solo térmico sino también eléctrico.

Con este sistema se consigue aprovechar la estabilidad térmica del terreno, ya que posee una temperatura bastante estable en todo el año. Con el uso de calefacción, la bomba de calor usa el terreno como foco frío, el cual estaría a una temperatura superior que la del ambiente, y análogamente, en verano, el terreno es usado como foco caliente, teniendo una temperatura inferior a la del ambiente.

El circuito captador geotérmico estará fabricado con materiales plásticos con características mecánicas adecuadas para garantizar una larga vida útil del sistema.

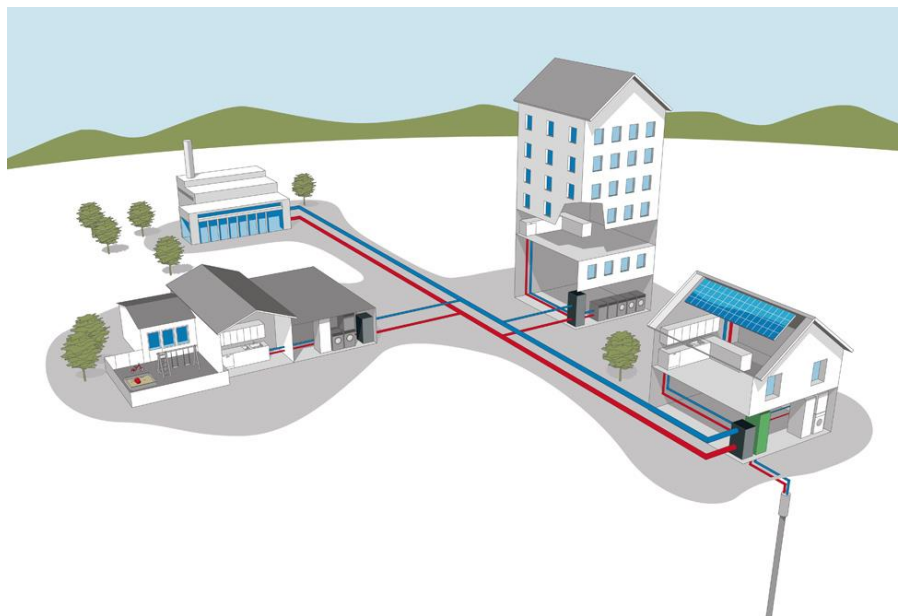


Imagen 95. Instalación centralizada geotérmica.

Este tipo de instalación está formada por tres elementos: generación de energía (recurso geotérmico renovable), generación de calor y distribución y suministro térmico.

Para concluir este proyecto, se puede afirmar que lo que tienen en común estos sistemas es la generación energética centralizada para hacer posible soluciones tecnológicas más eficientes. De todas las tecnologías analizadas, la adecuada será la que mejor se adapte a la demanda y a la disponibilidad de biomasa en este caso.

Pueden conseguirse ahorros de energía de más del 15% solo con la centralización de equipos, siendo aumentado cuando se incorporan equipos para llevar a cabo la

cogeneración o la geotermia. En caso de energías renovables, se puede hablar de reducciones fósiles del 95%. Por lo tanto, se cuenta con un ahorro energético, económico para promotores y usuarios, mejora de la calidad del edificio y reducciones de emisiones de CO₂.

Capítulo 8.

Bibliografía.

- Rey Martínez, Francisco Javier y Velasco Gómez, Eloy: *Eficiencia Energética en Edificios: Certificación y Auditorías Energéticas*. Paraninfo, 2006, ISBN: 9788497324199.
- Merino, Jose María: *Eficiencia Energética*. Urmo, 2006, ISBN: 9788431404888.
- Rey Martínez, Francisco Javier y Velasco Gómez, Eloy: *Bombas de Calor y Energías Renovables en Edificios*. Paraninfo, 2005, ISBN: 9788497323956.
- Aranda Uson, Alfonso y Zabalza Bribian, Ignacio: *Eficiencia Energética en Instalaciones y Equipamiento de Edificio*. Pressas Universitarias de Zaragoza, 2010, ISBN: 9788492774968.
- Asociación de Empresas de Redes de Calor y Frío: <http://www.adhac.es>
- Instituto para la diversificación y el ahorro de energía: <http://www.idae.es> : IDAE Guía Técnica: Procedimientos y aspectos de la simulación de instalaciones térmicas en edificios. Madrid 2008.
- Build up: <http://www.buildup.eu/>
- www.energiageotermica.es
- www.conama2014.org
- Instituto Español de Estudios Estratégicos: www.ieee.es
- Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios: RITE
- www.esengrupo.com
- Europe's Energy Portal: <http://www.energy.eu/>
- Euro Heat & Power. The international Association of District Heating & Cooling: <http://www.euroheat.org/>
- International Energy Agency- District Heating and Cooling: www.iea-dhc.org/
- Guía enforce: www.enforce-een.eu
- Plan Nacional de Acción de Eficiencia Energética 2014-2020 (Ministerio de Industria, Energía y Turismo)
- www.efiterm.eu/
- Guía de microrredes de distrito de calor y frío: www.uponor.es
- Districlima: <http://www.redesurbanascaloryfrio.com/es>
- Climatización Urbana en las Ciudades Españolas. FEMP.
- Guía Integral de Desarrollo de Proyectos de Redes de Distrito de Calor y Frío.
- R.E. Shannon: *Systems Simulation: The Art and Science*, Prentice-Hall, Universidad de Michigan, 1975.
- NIST. National Institute of Standards and Technology (EE.UU.)

ANEXO A: IMÁGENES

Imagen 1. Distribución Poblacional Mundial.

Imagen 2. Evolución de la producción interior de energía y del grado de autoabastecimiento.

Imagen 3. Evolución de la producción interior de energía por fuentes energéticas.

Imagen 4. Evolución del consumo de energía primaria.

Imagen 5. Evolución de la estructura de consumo de energía primaria por fuentes energéticas.

Imagen 6. Evolución del consumo final de energía por sectores.

Imagen 7. Evolución de la estructura sectorial de la demanda de energía final.

Imagen 8. Evolución de la estructura de consumo de energía final por fuentes energéticas.

Imagen 9. Escenario de referencia: evolución del consumo de energía primaria.

Imagen 10. Evolución del consumo de energía final.

Imagen 11. Evolución de la estructura del consumo de energía final (usos energéticos). Fuente IDAE.

Imagen 12. Previsión de evolución de la biomasa térmica en edificios.

Imagen 13. Contribución de la energía solar térmica en edificios.

Imagen 14. Contribución de la geotermia para usos térmicos en edificios.

Imagen 15. Contribución de la aerotermia para usos térmicos en edificios.

Imagen 16. Distribución de redes de calor y frío por sectores. Fuente: Asociación de Empresas de Redes de Calor y Frío (ADHAC).

Imagen 17. Evolución del censo. Fuente: ADHAC.

Imagen 18. Evolución de las redes en España. Fuente ADHAC.

Imagen 19. Distribución de tipos de redes. Fuente: ADHAC.

Imagen 20. Distribución de las redes según el tipo de suministro. Fuente ADHAC.

Imagen 21. Esquema de una red de calefacción centralizada con biomasa. Fuente Agenbur.

Imagen 22. Tuberías pre-aisladas para una red de distrito. Fuente ADHAC.

Imagen 23. Subestación en el sótano de un edificio. Fuente ICESA.

Imagen 24. Ejemplo de red con trazado ramificado. Fuente DISTRICLIMA.

Imagen 25. Ejemplo de red con trazado en malla. Fuente DISTRICLIMA.

Imagen 26. Ejemplo de red con trazado en anillo. Fuente UVA.

Imagen 27. Comparación entre el diámetro de la tubería y la diferencia de temperaturas.

Imagen 28. Ejemplo de esquema de principio de una subestación de calor. Fuente ADHAC.

Imagen 29. Ejemplo de esquema de principio de una subestación de frío. Fuente ADHAC.

Imagen 30. Subestación de calor con separación de circuitos de calefacción y ACS. Fuente ADHAC.

Imagen 31. Subestación de calor con aislamiento térmico en la valvulería. Fuente ADHAC.

Imagen 32. Subestación de calor con aislamiento térmico en el intercambiador de calor. Fuente ADHAC.

Imagen 33. Subestación de calor para una vivienda. Fuente ADHAC.

Imagen 34. Roseta de Vientos. Fuente IDAE.

Imagen 35. Ubicación de la central térmica.

Imagen 36. Central Térmica.

Imagen 37. Silo de almacenamiento del biocombustible.

Imagen 38. Representación de las 14 líneas de piso móvil del silo de almacenamiento del biocombustible.

Imagen 39. Descarga de biocombustible al silo de almacenamiento.

Imagen 40. Descarga de biocombustible al silo de almacenamiento (2).

Imagen 41. Sistema de piso móvil con cinta transportadora.

Imagen 42. Sistema de alimentación a la sala de calderas.

Imagen 43. Caldera - sistema multi-ciclónico- filtro de mangas.

Imagen 44. Vistas de la caldera de agua caliente.

Imagen 45. Intercambiador vertical.

Imagen 46. Depurador de humos- sistema multiciclónico.

Imagen 47. Filtro de mangas.

Imagen 48. Sistema de insuflación de aire.

Imagen 49. Chimenea.

Imagen 50. Cuadro de mando de una de las calderas.

Imagen 51. Sistema de extracción de cenizas.

Imagen 52. Depósitos de inercia.

Imagen 53. Sistema de bombeo del circuito primario de cada caldera.

Imagen 54. Sistema de bombeo circuito secundario de la red del DH.

Imagen 55. Tubería de acero pre-aislada portadora de agua.

Imagen 56. Tuberías del DH en la zanja antes de ser cubiertas.

Imagen 57. Disposición típica de la zanja.

Imagen 58. Esquema principal de los intercambiadores.

Imagen 59. Subestación.

Imagen 60. Situación Escuela de Ingenierías Industriales respecto a la central térmica.

Imagen 61. Conexión entre circuito primario y secundario a través de la Subestación de la E.I.I.

Imagen 62. Subestación de la E.I.I (1).

Imagen 63. Subestación de la E.I.I (2).

Imagen 64. Scada subestación de la E.I.I.

Imagen 65. Calderas de gas natural de la E.I.I.

Imagen 66. Cuadro de mando de la caldera 2.

Imagen 67. Scada subestación de la E.I.I (2).

Imagen 68. Scada de la E.I.I.

Imagen 69. Biblioteca de plantillas.

Imagen 70. Biblioteca de componentes.

Imagen 71. Botones para la generación de geometría.

Imagen 72. Diferentes tipos de Bloques.

Imagen 73. División de un bloque en zonas.

Imagen 74. Geometría final del modelo.

Imagen 75. Definición de un cerramiento.

Imagen 76. Definición de un acristalamiento.

Imagen 77. Definición de salientes laterales.

Imagen 78. Definición de persianas venecianas.

Imagen 79. Pestaña de entrada de datos de uso.

Imagen 80. Pestaña de entrada de datos de iluminación.

Imagen 81. Pestaña de entrada de datos de instalaciones térmicas.

Imagen 82. Análisis de sombras interiores.

Imagen 83. Análisis de sombras exteriores.

Imagen 84. Visualización del modelo renderizado.

Imagen 85. Cargas térmicas.

Imagen 86. Temperatura y ganancias de calor mensualmente.

Imagen 87. Temperatura y pérdidas de calor anualmente.

Imagen 88. Confort mensual.

Imagen 89. Confort anual.

Imagen 90. Emisiones de CO₂.

Imagen 91. Balance térmico.

Imagen 92. Esquema hidráulico para la obtención de ACS mediante energía solar térmica.

Imagen 93. Esquema de un gasógeno.

Imagen 94. Diagrama de flujo del ciclo de gasificación integrada a ciclo combinado.

Imagen 95. Instalación centralizada geotérmica.

ANEXO B: TABLAS

Tabla 1. Escenario de referencia: consumo de energía primaria. Fuente: IDAE.

Tabla 2. Consumo de energía final. Fuente IDAE.

Tabla 3. Condiciones de proyecto para calefacción. Temperatura seca exterior mínima. Fuente IDAE.

Tabla 4. Condiciones de proyecto para Refrigeración. Temperatura seca exterior máxima. Fuente IDAE.

Tabla 5. Condiciones de proyecto para Refrigeración. Temperatura húmeda exterior máxima. Fuente IDAE.

Tabla 6. Valores medios mensuales. Fuente IDAE.

Tabla 7. Características tipo VENTIL. Fuente: catálogo calderas de la empresa VENTIL.

Tabla 8. Características Técnicas de la caldera.

Tabla 9. Consumo gas natural 2014.

Tabla 10. Consumo gas natural 2015.

Tabla 11. Consumo gas natural 2016.

Tabla 12. Consumo gas natural 2017.

Tabla 13. Consumo gas natural anual.

Tabla 14. Consumo biomasa 2015.

Tabla 15. Consumo biomasa 2016.

Tabla 16. Consumo biomasa 2017.

Tabla 17. Consumo biomasa anual.

Tabla 18. Datos de partida para la línea base.

Tabla 19. Datos térmicos y económicos año 2016/17.

Tabla 20. Datos obtenidos con la regresión lineal año 2016/17.

Tabla 21. Datos comparativos del consumo térmico 2016/17 mensual.

Tabla 22. Datos comparativos del consumo térmico 2016/17 con el ahorro obtenido mensual.

Tabla 23. Datos comparativos del coste térmico 2016/17 mensual.

Tabla 24. Datos comparativos del coste térmico 2016/17 con el ahorro obtenido mensual.

Tabla 25. Datos del indicador base 100 mensual 2016/17.

Tabla 26. Datos procedentes de la simulación energética (1).

Tabla 27. Datos procedentes de la simulación energética (2).

Tabla 28. Consumos de gas natural: Design Builder Vs Tecopy.

Tabla 29. Consumos de gas natural: Design Builder Vs Tecopy Vs Reales.

ANEXO C: GRÁFICOS

Gráfico 1. Evolución del Coste Energético (€) 2014.

Gráfico 2. Evolución del Consumo Energético (kWh) 2014.

Gráfico 3. Evolución del Coste Energético (€) 2015.

Gráfico 4: Evolución del Consumo Energético (kWh) 2015.

Gráfico 5. Evolución del Coste Energético (€) 2016.

Gráfico 6. Evolución del Consumo Energético (kWh) 2016.

Gráfico 7. Evolución del Coste Energético (€) 2017.

Gráfico 8. Evolución del Consumo Energético (kWh) 2017.

Gráfico 9. Evolución del Coste Energético (€) anual.

Gráfico 10. Evolución del Consumo Energético (kWh) anual.

Gráfico 11. Evolución del Coste Energético (€) 2015.

Gráfico 12. Evolución del Consumo Energético (kWh) 2015.

Gráfico 13. Evolución del Coste Energético (€) 2016.

Gráfico 14. Evolución del Consumo Energético (kWh) 2016.

Gráfico 15. Evolución del Coste Energético (€) 2017.

Gráfico 16. Evolución del Consumo Energético (kWh) 2017.

Gráfico 17. Evolución del Coste Energético (€) anual.

Gráfico 18. Evolución del Consumo Energético (kWh) anual.

Gráfico 19. Línea de Regresión - Línea Base.

Gráfico 20. Consumo Térmico Mensual 2014.

Gráfico 21. % kWh totales 2014.

Gráfico 22. Consumo Térmico Mensual 2015.

Gráfico 23. % kWh totales 2015.

Gráfico 24. Consumo Térmico Mensual 2016.

Gráfico 25. % kWh totales 2016.

Gráfico 26. Consumo Térmico Mensual 2017.

Gráfico 27. % kWh totales 2017.

Gráfico 28. Consumo Térmico anual.

Gráfico 29. Comparativa térmica 2016/17.

Gráfico 30. Coste Térmico Mensual 2014.

Gráfico 31. % Euros totales 2014.

Gráfico 32. Coste Térmico Mensual 2015.

Gráfico 33. % Euros totales 2015.

Gráfico 34. Coste Térmico Mensual 2016.

Gráfico 35. % Euros totales 2016.

Gráfico 36. Coste Térmico Mensual 2017.

Gráfico 37. % Euros totales 2017.

Gráfico 38. Coste Térmico anual.

Gráfico 39. Comparativa Económica 2016/17.

Gráfico 40. Indicador base 100 mensual para 2016/17.

Gráfico 41. Consumo de calefacción (Gas Natural) para un año tipo.

Gráfico 42. Comparación gráfica del consumo de GN.

Gráfico 43. Comparación gráfica del consumo de calefacción: Tecopy Vs Facturas Vs Design Builder.

ANEXO D: PLANOS

Plano - Imagen 1. Situación de los edificios.

Plano - Imagen 2. Red de tuberías.

Plano - Imagen 3. Conexión de la red de tuberías con los edificios.

Plano - Imagen 4. Detalle conexión de la red de tuberías con los edificios (1).

Plano - Imagen 5. Detalle conexión de la red de tuberías con los edificios (2).

Plano - Imagen 6. Detalle conexión de la red de tuberías con los edificios (3).

Plano - Imagen 7. Detalle conexión de la red de tuberías con los edificios (4).

Plano 8. Circuito hidráulico central DH.

Plano - Imagen 9. Esquema general de la conexión a los edificios.

Plano - Imagen 10. Plano general de la sala de calderas y el silo de biomasa.

Plano - Imagen 11. Detalle sala de calderas.

Plano - Imagen 12. Detalle silo de biomasa.

Plano 13. Red de calor desde la central térmica hasta la EII.

Plano 14. Esquema de principio: Subestación EII.

Plano 15. Esquema de principio: Circuito hidráulico EII con DH.

Plano 16. Esquema de principio: Circuito hidráulico EII con Calderas GN.

