

Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería de la Energía

Estudio de redes de calor de biomasa en municipios consolidados

Autor: Francisco José Rodríguez Valderrama

Tutor: Ricardo Chacartegui Ramírez

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

Sevilla, 2017



Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería de la Energía

Estudio de redes de calor de biomasa en municipios consolidados

Autor:

Francisco José Rodríguez Valderrama

Tutor:

Ricardo Chacartegui Ramírez

Profesor Titular

Dep. de Ingeniería Energética
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla
Sevilla, 2017

Proyecto Fin de Carrera: Estudio de redes de calor de biomasa en municipios consolidados

Autor: Francisco José Rodríguez Valderrama

Tutor: Ricardo Chacartegui Ramírez

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2017

El Secretario del Tribunal

*A mi familia, maestros y
amigos*

Agradecimientos

En primer lugar, quería agradecer a mi familia todo el apoyo recibido durante estos años, con mención especial para mi madre, porque gracias a ella y a su continuo esfuerzo ha sido posible realizar esta formación, y a Manolo por ser un apoyo constante durante este período.

A mi tutor Ricardo, por la continua ayuda y atención que me ha aportado durante este año, agradecerle el impulso final que me aportó al creer en mí, durante esta última fase del proyecto.

A Carlos Ortiz, por todo el tiempo que me ha dedicado y la contribución en la fase de simulación, gracias a su colaboración me ha sido posible realizar este proyecto.

A mis compañeros de clase, y a todos y cada uno de los profesores que he tenido, todos me han aportado algo positivo durante esta etapa.

Resumen

El propósito de este proyecto es analizar una serie de localizaciones con diversas condiciones tanto climáticas, de consumo energético, densidad poblacional... donde recogeremos los valores típicos y límites de cada situación y a partir de ello, diseñar un modelo de distrito térmico en Aspen plus desde el cual poder simular estas variaciones, para posteriormente ver cómo influyen en otros parámetros característicos del distrito.

Los objetivos perseguidos con este estudio son:

- Estudio y análisis sobre las distintas localizaciones teniendo en cuenta: densidad poblacional, climatología, consumo energético y recursos de biomasa.
- Crear un modelo consolidado de distrito térmico para poder reportar información coherente en su simulación.
- Realizar una comparativa variando factores alterables de cada localización.
- Estudiar la viabilidad económica de este tipo de redes de calor actualmente, comparándolo con la vivienda individual.

Índice

Agradecimientos	ix
Resumen	xi
Índice	xiii
Índice de Tablas	xv
Índice de Ilustraciones	xvi
Notación	xix
1 Introducción	1
2 Descripción del sistema	11
2.1. <i>Descripción general del Sistema</i>	11
2.2. <i>Esquema de la instalación</i>	12
2.3. <i>Componentes de la instalación</i>	14
2.3.1 Caldera	14
2.3.2 Ciclón	17
2.3.3 Subestación	18
2.3.4 Silo de almacenamiento	19
2.3.5 Tuberías	20
2.3.6 Bombas de circulación	24
2.4. <i>Biomasa como combustible</i>	25
3 Localizaciones	29
3.1. <i>Datos de partida</i>	29
3.2. <i>Densidad poblacional</i>	30
3.3. <i>Consumos energéticos</i>	38
3.4. <i>Recursos de biomasa</i>	43
3.5. <i>Climatología</i>	47
4 Introducción a la simulación	50
4.1. <i>Metodología</i>	51
5 Modelo de simulación	52
5.1. <i>Datos de partida</i>	52
5.2. <i>Escalado de modelos</i>	54
5.3. <i>Modelo definitivo</i>	58
5.4. <i>Simulaciones</i>	62
5.4.1 Cobertura de la demanda	62
5.4.2 Efectos de la temperatura de operación	65
5.4.3 Efecto de los diferentes materiales de la conducción	66

5.4.4	Diferentes composiciones de biomasa y producción de CO₂	67
6	Análisis de resultados	70
7	Estudio económico	72
7.1.	<i>Hipótesis iniciales</i>	73
7.2.	<i>Comparativa de combustibles</i>	73
7.3.	<i>Cálculos vivienda individual vs distrito</i>	75
7.3.1	Escenario A (zona cálida)	75
7.3.2	Escenario B (zona media)	76
7.3.3	Escenario C (zona fría)	77
7.4.	<i>Comparativa económica</i>	77
8	Conclusiones	80
9	Líneas futuras de trabajo	81
	Referencias	83

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores típicos de temperaturas en tuberías	24
Tabla 2. Propiedades de los pellets	27
Tabla 3. Componentes de la simulación.....	52
Tabla 4. Propiedades de la biomasa.....	53
Tabla 5. Cálculo de la eficiencia del circuito secundario	62
Tabla 6. Análisis de pérdidas de calor en tuberías.....	66
Tabla 7. Consumo de agua de impulsión en función de la energía consumida para 100 viviendas.....	70
Tabla 8. Escenarios de consumo	73
Tabla 9. Poder calorífico combustible	73
Tabla 10. Costes de calderas por combustible	74
Tabla 11. Tabla de costes anuales por combustible.....	74
Tabla 12. Indicadores económicos escenario A.....	76
Tabla 13. Indicadores económicos escenario B.....	76
Tabla 14. Indicadores económicos escenario C	77
Tabla 15. Hipótesis para el cálculo de LCOE	78

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Incremento de las emisiones de CO2 a nivel mundial.....	1
Ilustración 2. Distrito térmico tipo con aportación solar	11
Ilustración 3. Esquema de red de calor urbana.....	12
Ilustración 4. Circuito primario en una red de calor	13
Ilustración 5. Caldera de lecho fluido	15
Ilustración 6. Procesos de combustión en calderas de lecho fluido	16
Ilustración 7. Ciclón de una caldera de lecho burbujeante	17
Ilustración 8. Esquema de intercambio de calor subestación.....	18
Ilustración 9. Esquema simplificado de subestación	19
Ilustración 10. Estructura de tuberías en red de distrito.....	21
Ilustración 11. Estructura de una tubería	23
Ilustración 12. Consumo de combustibles en la generación de calor en Finlandia	25
Ilustración 13. Proyección del consumo mundial de pellets	26
Ilustración 14. Demanda de calor mensual en Europa	27
Ilustración 15. Consumo de energía mundial por persona	29
Ilustración 16. Densidad poblacional mundial.....	30
Ilustración 17. Densidad poblacional en Sudamérica.....	31
Ilustración 18. Densidad poblacional Argentina.....	32
Ilustración 19. Densidad poblacional Brasil.....	32
Ilustración 20. Densidad poblacional Perú.....	33
Ilustración 21. Densidad poblacional Colombia	33
Ilustración 22. Densidad poblacional Chile.....	34
Ilustración 23. Densidad poblacional Finlandia.....	35
Ilustración 24. Densidad poblacional Escocia.....	35
Ilustración 25. Densidad poblacional Alemania	36
Ilustración 26. Densidad poblacional Suiza	36
Ilustración 27. Densidad poblacional España	37
Ilustración 28. Comparativa de consumos energéticos	38
Ilustración 29. Consumos energéticos países de América del sur, 2014.....	39
Ilustración 30. Matriz energética de América del sur, 2013.....	39
Ilustración 31. Consumos energéticos en Europa, 2014.....	41
Ilustración 32. Consumo de biocombustibles en Europa, 2014.....	41

Ilustración 33. Matriz energética en Europa, 2014.....	42
Ilustración 34. Matriz energética España	43
Ilustración 35. Área de bosque por continente.....	43
Ilustración 36. Recursos de biomasa en América del sur.....	44
Ilustración 37. Recursos de biomasa en Europa	45
Ilustración 38. Recursos biomasa en España	46
Ilustración 39. Grados día según localización.....	47
Ilustración 40. Temperatura media anual	48
Ilustración 41. Grados día América del sur.....	48
Ilustración 42. Grados día Europa	49
Ilustración 43. Grados día España	49
Ilustración 44. Elección método global	54
Ilustración 45. Primer modelo de simulación	55
Ilustración 46. Modelo de simulación segundo	56
Ilustración 47. Tercer modelo de simulación.....	56
Ilustración 48. Calculadora de combustión.....	57
Ilustración 49. Ecuaciones calculadora combustión.....	57
Ilustración 50. Modelo definitivo de simulación	59
Ilustración 51. Condiciones iniciales simulación.....	60
Ilustración 52. Condiciones iniciales del intercambiador principal.....	60
Ilustración 53. Condiciones iniciales en el ciclón.....	61
Ilustración 54. Condiciones iniciales de la caldera.....	61
Ilustración 55. Densidad poblacional por localidad.....	63
Ilustración 56. Tipos de escenarios de consumo según localidad.....	63
Ilustración 57. Cobertura de la demansa en lugares seleccionados	64
Ilustración 58. Variación del caudal de agua impulsada frente a la temperatura de servicio.	64
Ilustración 59. Variación de la temperatura de servicio frente al caudal de agua impulsada (100 viviendas) para una potencia de 2000 kWh.	65
Ilustración 60. Efecto de la temperatura del aire de entrada frente a temperatura de gases de salida.	65
Ilustración 61. Efecto de la temperatura de la biomasa de entrada frente a temperatura de gases de salida.	66
Ilustración 62. Variación del caudal de agua impulsión frente a temperaturas de servicio	67
Ilustración 63. Variación de la temperatura de los gases de escape frente al porcentaje de carbono de la biomasa.....	67
Ilustración 64. Variación de la temperatura de los gases de escape frente al consumo de biomasa. ..	68
Ilustración 65. Variación de la producción de CO2 frente al porcentaje de carbono en la biomasa...	68
Ilustración 66. Variación de la fracción molar de CO2 en gases frente al porcentaje de carbono en la biomasa.....	69

Ilustración 67. Variación de la temperatura de gases frente a temperatura ambiente	71
Ilustración 68. Ejemplo de zona de confort en una localización.....	73
Ilustración 69. Coste anual de la energía por combustible	74
Ilustración 70. Coste de mantenimiento por combustible	75
Ilustración 71. Comparativa económica de escenarios.....	77
Ilustración 72. LCOE en función de la potencia de instalación en €/MWh.....	78

Notación

Q_c	Caudal de simultaneidad
Q_T	Caudal total de consumo
A, B y C	Coefficientes
VM	Materia volátil

1 INTRODUCCIÓN

Desde la primera revolución industrial, la sociedad no ha parado de crecer y evolucionar, sobre todo en cuestiones tecnológicas. La base de la industrialización de los países ricos fue el uso masivo de combustibles fósiles, lo que llevó a que el incremento del consumo energético también creciera dramáticamente. Desde entonces, el consumo ha ido creciendo década tras década, lo que ha llevado a un uso desmesurado de los recursos con el fin de mantener el abastecimiento energético.

En las últimas décadas, se ha utilizado más carbón, más petróleo y más gas natural que nunca en la historia, ya que, desde hace mucho tiempo, los combustibles fósiles aportan el grueso de la energía utilizada por los humanos. Desgraciadamente, para recursos como el petróleo y el gas natural, es totalmente imposible que durante muchas décadas más se mantenga el ritmo actual de explotación y menos aún, que siga una senda creciente.

La dependencia con respecto al uso de combustibles fósiles ha generado dos tipos de preocupaciones: por un lado, los impactos ambientales asociados, sobre todo los relacionados con el cambio climático; por otro, la limitación de reservas y su futuro agotamiento.

Especialmente, desde 1990, ha dominado la preocupación por los impactos ambientales que produce la quema masiva de combustibles fósiles y, sobre todo, por sus efectos en el cambio climático. Con el fin de la reducción de estas emisiones, en 1997 se firmó el protocolo de Kioto, en el que se establecía una reducción del 20%, con respecto a las emisiones de 1990, de los gases de efecto invernadero para 2020. Sin embargo, no solo no se han reducido las emisiones lo suficiente, sino que, ha incrementado el porcentaje de GEI en la atmosfera. Por ejemplificarlo, en España, el aumento ha sido de un 18,7 % con respecto a 1990.

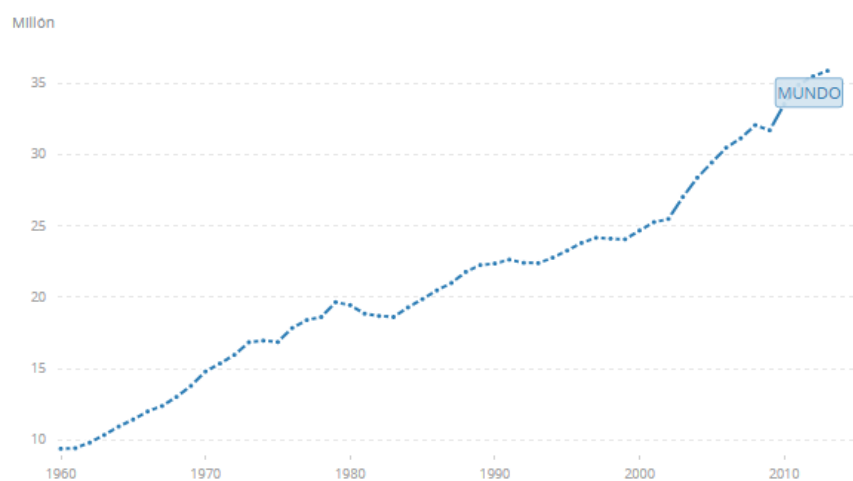


Ilustración 1. Incremento de las emisiones de CO2 a nivel mundial

Ref. <http://datos.bancomundial.org/indic> 1

Otro aspecto importante es la disponibilidad de recursos. Hoy en día, hay una gran dependencia de los combustibles fósiles, y estos se encuentran localizados en muy pocos países, lo que genera, en ocasiones, problemas políticos. Por lo tanto, lo que se busca, es la independencia energética, sobre todo, aquellos países cuya disponibilidad de recursos no renovables es escasa.

Por estos motivos, se hace cada vez más acuciante la necesidad de enfocar el desarrollo tecnológico hacia fuentes menos contaminantes. Es claramente necesaria una fuerte apuesta por las energías limpias, que en gran medida reducirían las emisiones de gases nocivos al medio ambiente, así como la reducción de la dependencia de los combustibles fósiles. Además de la autosuficiencia de países, es decir, autoabastecer para producir energía con fuentes renovables potenciales en cada localización.

Por ello, la biomasa se postula como una de las fuentes de energía renovable más productivas, liderándola hoy en día según Aebiom con el 61% de toda la energía consumida a partir de estas fuentes, la cual principalmente destinada a generación de calor. Llegando así a un consumo final de biomasa de 105.1 Mtep en Europa.

Gracias a los avances en ingeniería se ha aumentado la eficiencia en la producción de biomasa, reduciendo los costes y provocando un aumento del consumo. La conversión de biomasa en pellet o astilla es la labor principal de las plantas de biomasa.

Por ello será la fuente primaria de aplicación para nuestra red de calor modelada, las calderas de biomasa tienen rendimientos de hasta el 95%, trabajan en un amplio rango de potencias y cuentan con sistemas de alimentación continua y automatizada de combustible, limpieza automática y compactación de las cenizas.

La biomasa es autóctona, es decir, emplea recursos procedentes del entorno en el cual se consume. Lo que nos ayudaría a independizar el sector energético de una localización determinada. Como se ha demostrado en países de centro Europa como Alemania o Austria, el uso de la biomasa provoca sinergias sociales relacionadas con la creación de nuevas actividades económicas en el entorno y la mejora de rentas.

Lo que ocupa a este proyecto es la generación de calefacción y agua caliente sanitaria para destinarla a viviendas dentro de una red urbana a partir de biomasa, la cual puede ser apoyada en diversas circunstancias por otro tipo de fuentes de energía como, por ejemplo, solar. De esta manera se lograría reducir los niveles de dióxido de carbono al ambiente, puesto que, aunque es cierto que durante la combustión de la biomasa se genera esta sustancia, se puede decir que la biomasa tiene un balance de contaminación de CO₂ neutro, puesto que durante un cierto tiempo ha estado consumiendo cierto contaminante de la atmósfera, del que posteriormente se va a desprender en su combustión.

A lo largo del trabajo, se buscará demostrar la eficiencia y efectividad de este tipo de instalaciones. Primero se hará un análisis para determinar una serie de localidades interesantes para su aplicación, con semejanzas y diferencias entre ellas, atendiendo a patrones posteriormente descritos. A continuación, se llevará a cabo la simulación de un modelo de distrito térmico, describiremos cómo funciona el modelo que se ha elaborado y se hará un análisis de comportamiento, según las dimensiones del sistema, patrones de consumo, recursos de biomasa y efectos de la temperatura en la operación.

2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

El objeto principal de este capítulo es describir con suficiente detalle el esquema de funcionamiento de una red de calor urbana, explicaremos cuales son las componentes principales de este tipo de instalación y especificaremos cuál es la función de cada una de ellas dentro del esquema.

2.1. Descripción general del Sistema

Una Red de Calefacción Centralizada o District Heating es un sistema de suministro de agua caliente sanitaria y calefacción (y en algunos casos también refrigeración) a distintos edificios a partir de una planta central. El calor producido en dicha planta se entrega a los usuarios para su consumo mediante una red de tuberías pre aisladas y enterradas. Los sistemas de calefacción centralizada varían tanto en las fuentes energéticas utilizadas como en tamaño, pudiendo cubrir desde un pequeño número de viviendas hasta áreas metropolitanas completas, e incluso explotaciones ganaderas grandes.

La ventaja de este tipo de calefacción se basa en que los sistemas productores de calor de gran tamaño tienen rendimientos mucho mayores que los pequeños, de modo que se aprovecha mejor el combustible. Además, las emisiones de la central son más limpias de otros contaminantes que las de calderas más pequeñas, debido a que, por un lado, tienen un sistema de revisiones y puesta a punto frecuentes, y por otro pueden disponer de sistemas específicos de depuración de humos, muy caros en centrales pequeñas. Esto sería también un beneficio asociado al cliente, desde el punto de vista de la externalización de la instalación y su mantenimiento.

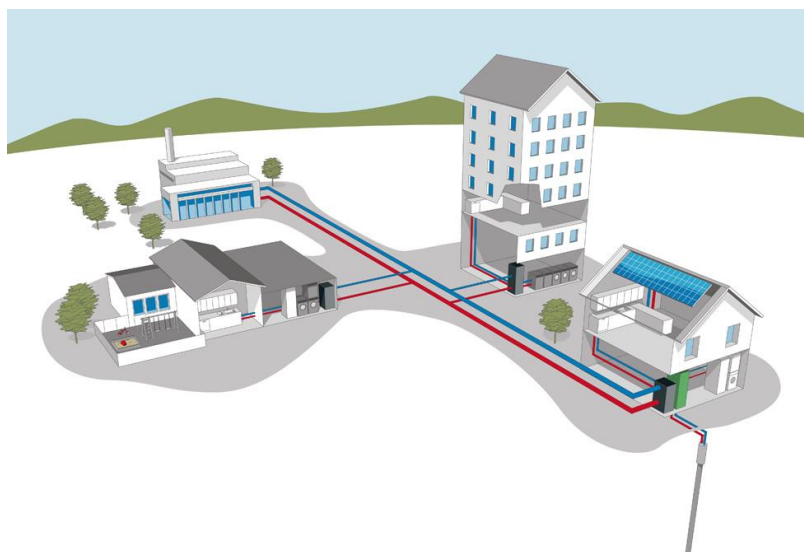


Ilustración 2. Distrito térmico tipo con aportación solar

Ref. e-ficiencia

2.2. Esquema de la instalación

El esquema de instalación de una red de calor urbana es la siguiente:

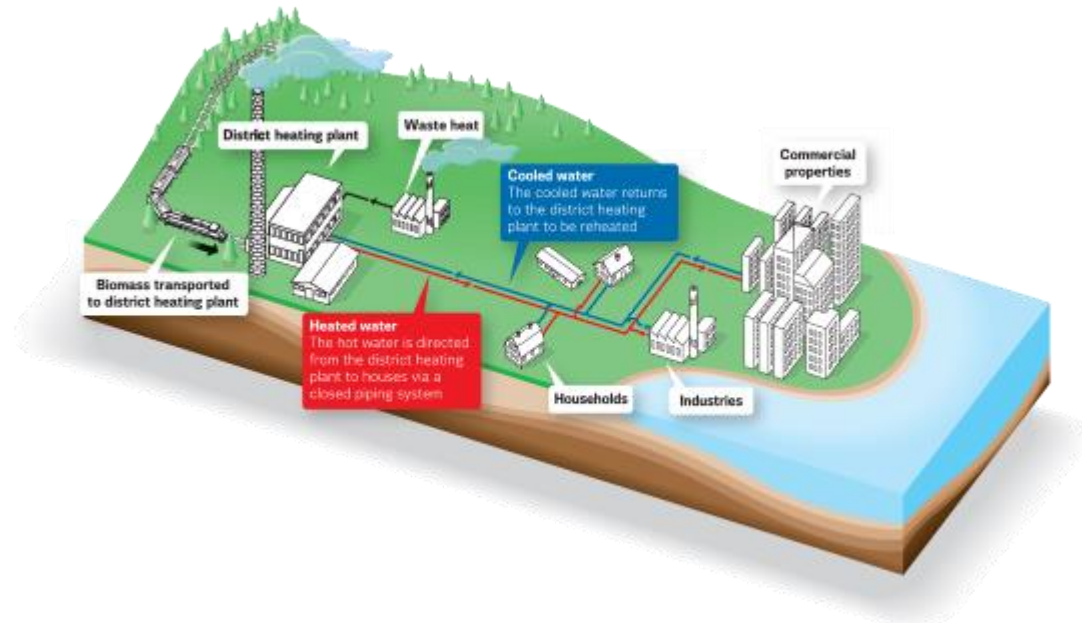


Ilustración 3. Esquema de red de calor urbana

Ref. <https://corporate.vattenfall.com/about-energy/energy-distribution/district-heating/>

Existen varias configuraciones de distrito térmico, la más común consta de dos circuitos, uno primario y otro secundario, separados por lo que llamamos subestación, formado por un intercambiador de calor y el sistema de monitorización. Es la configuración más segura puesto que no conecta directamente la central térmica con el usuario, es este tipo de instalación la que estudiaremos, por ser la más aplicada

Las redes también se pueden clasificar en cerradas y abiertas. Las redes cerradas se utilizan en el caso que se conozca de antemano el número de consumidores que van a ser conectados a la red. Estas son las más utilizadas en edificios de oficinas, hoteles, hospitales, centros comerciales, residencias universitarias, aeropuertos, etc. El diseño y la instalación puede ser rentable y con buenos resultados, aunque para ello es imprescindible conocer en detalle las demandas energéticas de calor.

Las redes abiertas se utilizan cuando la demanda de energía térmica que debe ser cubierta es variable, por ejemplo, en una zona urbana de la ciudad. Los consumidores no tienen obligación de estar conectados a la red, como en los sistemas cerrados, y puede elegir entre los sistemas de distrito y las calderas individuales. La demanda puede aumentar o disminuir, de acuerdo con la eficiencia y el coste de la calefacción suministrada.

Circuito primario

Es donde se sitúa el grueso de la generación, la sala de calderas, lugar donde se produce la energía que posteriormente será aportada a la red.

De manera general, en estas instalaciones, el agua de red no pasa directamente por los colectores solares, sino que el fluido de trabajo que circula por los conductos es agua mezclada con líquido experimenten temperaturas bajas (por debajo de 0°C), el agua se podría congelar y provocaría obstrucción e incluso rotura de los conductos, lo que conllevaría grandes daños en la instalación. Y aunque el clima no sea frío, por las noches suele haber un notable descenso de las temperaturas, que, de la misma manera, anticongelante. Esto es así ya que en zonas donde, al menos en algún momento del año, se podría provocar la congelación del agua.

Otro motivo, es el de proteger a los colectores de las impurezas que pueda traer el agua de red. Se hace especialmente, cuando se trata de aguas duras, con gran cantidad de sales disueltas, que precipitarían allí donde se calienta el agua (precisamente en los serpentines de los colectores), formando una capa aislante térmica que reduciría el rendimiento y obstruiría los conductos.

Muchas instalaciones también contemplan el almacenamiento en sus plantas, este volumen de almacenamiento se situaría en la zona primaria, la zona más cercana de aporte calorífico.

Por último, se va a describir como se transmite la energía, ganada por el fluido en los captadores, al agua de consumo. Se hace a través de un intercambiador, estos suelen tener forma de serpentín, ya que así consiguen aumentar la superficie de contacto y de esta manera, su eficiencia. Este es el modo en que se conecta el circuito primario a los otros dos sistemas.

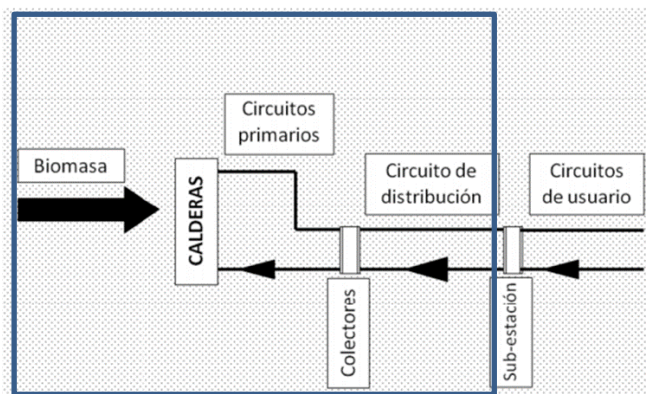


Ilustración 4. Circuito primario en una red de calor

Ref. Districlima

Circuito secundario

En cuanto al circuito, es la parte que se encuentra entre el usuario final y la subestación o intercambiador principal, esta red tiene una presión en la red de tuberías elevada, consta de tuberías de distintos tamaños según el caudal circulante, pero en general es de menor diámetro que la red primaria.

Este circuito es el que conecta directamente con el usuario, se encarga de distribuir el ACS a las viviendas, y está formado por una serie de bombas que impulsan el fluido hacia su destino.

2.3 Componentes de la instalación

2.3.1 Caldera

Existen varios tipos de calderas, nosotros nos centraremos en las calderas de lecho fluido, suelen ser las más utilizadas para la combustión de biomasa a presión atmosférica o ligeramente superior, debido a que no tendremos consideraciones de superficie del hogar, en ese caso, la combustión puede darse a mayor presión minimizando el tamaño de la caldera.

La fluidificación es el fenómeno por el cual un lecho de partículas sólidas levita en el seno de un líquido o gas adquiriendo un comportamiento que se asemeja al de un fluido.

En primera instancia se hace circular aire desde la parte inferior del lecho, donde se encuentra el combustible, para iniciar el proceso de combustión, en el interior del hogar.

Cuando un fluido en movimiento ascendente atraviesa un lecho de finas partículas, el fluido se filtra a través de los espacios de las mismas, dicho estado se denomina lecho fijo.

Al incrementar la velocidad del fluido se alcanza un punto donde todas las partículas se encuentran suspendidas por el flujo ascendente de gas o líquido. En este momento la fuerza de fricción entre el fluido y las partículas se equilibra con el peso de éstas desapareciendo la componente vertical de la fuerza de compresión entre partículas adyacentes. Este estado se denomina de lecho en comienzo de fluidificación.

Al producirse un incremento en la velocidad del gas por encima de la mínima fluidificación, se observa gran inestabilidad con aparición de burbujas. A mayores velocidades, la agitación pasa a ser más violenta y el movimiento de las partículas más vigoroso; además, el lecho no se expande mucho más. Un lecho con este comportamiento se denomina de fluido burbujeante.

En las calderas de lecho fluido, la combustión se produce de forma controlada en el hogar y sistema de recirculación (ciclones) de forma que el tiempo de residencia de las partículas en ignición es muy superior al de las calderas convencionales de carbón pulverizado, con temperaturas que no suelen superar los 850°C, mucho más bajas que las que se dan en el interior del hogar de las calderas convencionales. Este límite de temperatura está ligado a la formación de cenizas.

Además, la temperatura de combustión se encuentra por debajo de la de formación de óxidos de nitrógeno de origen térmico, lo que limita la producción de este agente contaminante, conocido como NOx que es uno de los responsables de la lluvia ácida.

En el proceso de combustión, el azufre presente en el combustible se oxida para producir SO_2 que en las calderas convencionales se escapa con los humos, siendo otro de los gases culpables de la lluvia ácida.

Son capaces de quemar combustible desmenuzado sin tratar, con niveles de humedad de hasta un 55-60%, en una zona mezcladora turbulenta encima de un lecho fluidizado de arena de sílice inerte. El combustible se mantiene en suspensión durante la combustión por la alta velocidad del aire expulsado a través del lecho de arena, lo que determina que la arena adopte propiedades fluidizadas y de libre flujo.

El vapor que produce una caldera de tubos de agua es un vapor seco, por lo que en los sistemas de transmisión de calor existe un mayor aprovechamiento. El vapor húmedo producido por una caldera de tubos de humo contiene un porcentaje muy alto de agua, lo cual actúa en las paredes de los sistemas de transmisión como aislante, aumentando el consumo de vapor hasta en un 20%. Según esta información se toma la decisión de escoger la caldera acuotubular para la planta de biomasa.

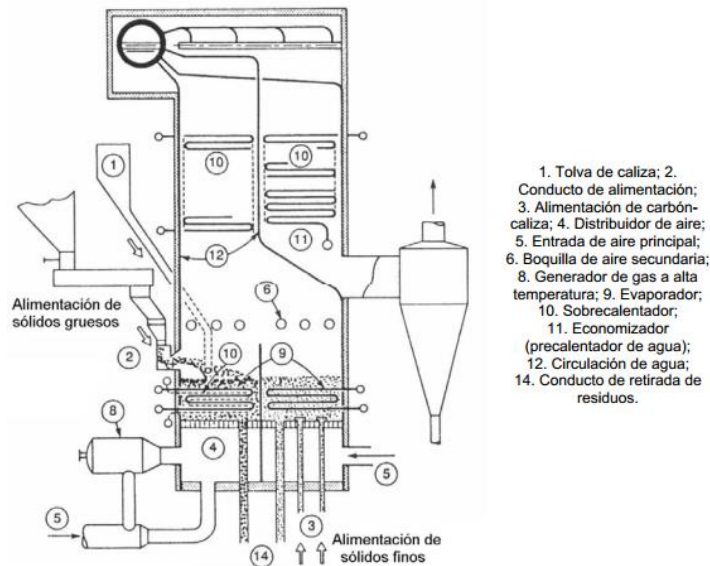


Ilustración 5. Caldera de lecho fluido

Ref. <http://www.atmosferis.com/calderas-de-lecho-fluido/>

PROCESO DE COMBUSTIÓN EN LECHO FLUIDO

La combustión en lecho fluido comprende entre otros los siguientes procesos: Fluidización de sólidos, combustión propiamente dicha, transferencia de calor, extracción de material agotado, reducción del tamaño de las partículas, emisiones de contaminantes, calcinación, etc.

En un combustor de lecho fluido el combustible se alimenta continuamente al lecho y la ceniza producida en la combustión se extrae también continuamente, de modo que el volumen se mantiene constante. Debido a la rápida mezcla y la homogeneización del lecho y la alta eficacia de la combustión, la cantidad de inquemados en el lecho es normalmente baja. El aire es inyectado a través de una parrilla distribuidora, por el fondo del lecho, regulándose la velocidad de fluidización. Los gases de combustión salen por la parte superior.

Para el control de la temperatura, se pueden introducir tubos vaporizadores en el lecho, que extraen una gran parte del calor producido en la combustión, lo que permite un menor tamaño de las calderas. Este tipo de combustores admite un amplio rango de tamaños.

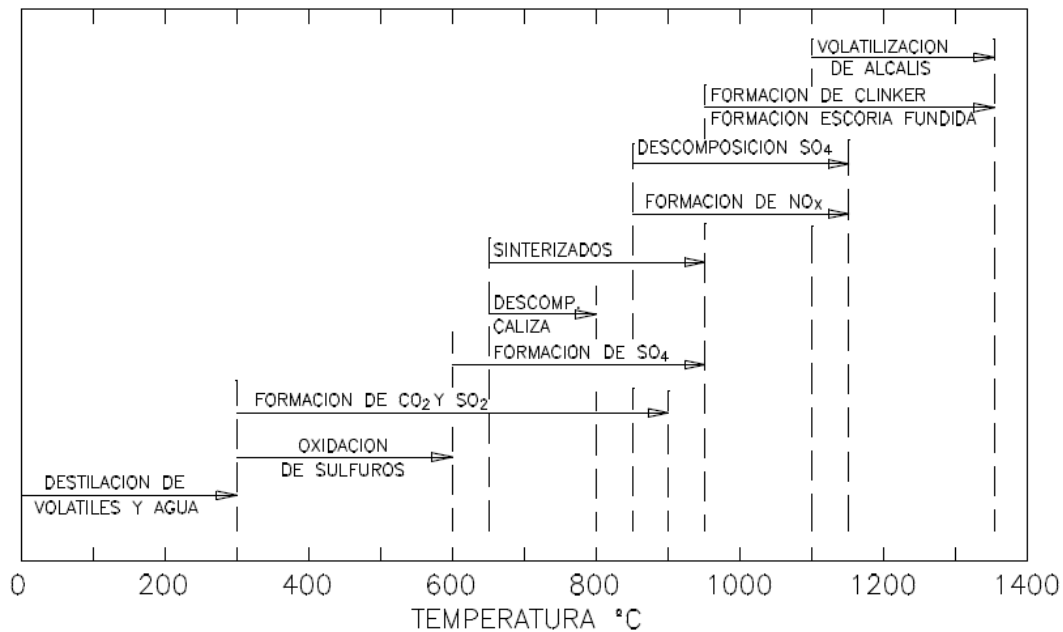


Ilustración 6. Procesos de combustión en calderas de lecho fluido

Ref. Artículo: *Centrales térmicas. Sistemas de combustion en lecho fluido* (autor: Ismael Prieto)

La reacción en el lecho fluido, entre el oxígeno y las partículas de carbono existentes después de desprenderse las materias volátiles, tiene lugar siguiendo los tres mecanismos siguientes:

- 3.1. Transferencia del oxígeno de las burbujas de aire a la partícula
- 3.1. Difusión del oxígeno a través de la superficie de la partícula y difusión del dióxido de carbono procedente de la superficie de las partículas.
- 3.1. Reacción química en la superficie de la partícula.

En general, no toda la combustión de las partículas sólidas tiene lugar en el lecho, si no que las burbujas de aire de fluidización arrastran y proyectan partículas inquemadas hacia la corriente de gases por encima del lecho, las cuales, al igual que ocurre con la materia volátil, se queman en la región situada encima del lecho. Una parte de este calor vuelve al lecho en forma de calor sensible de las partículas que caen continuamente. Esta postcombustión hace que, en muchos casos, la temperatura de los gases en la zona superior sea sensiblemente más alta que la del lecho, lo que puede ser aprovechado para el calentamiento del vapor producido, en esta zona.

2.3.2 Ciclón

Está formado por tubos membrana refrigerados por vapor, supuso un avance definitivo frente a los ciclones de chapa utilizados anteriormente, en cuanto a fiabilidad y características de funcionamiento de este tipo de calderas.

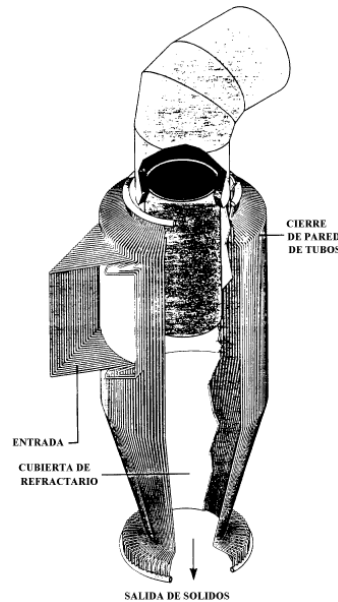


Ilustración 7. Ciclón de una caldera de lecho burbujeante

Ref. <https://www.researchgate.net/>

Como puede observarse en la *ilustración 6*, toda la envolvente del ciclón, tanto la entrada como el cono están refrigerados por vapor, formando parte integral de las partes a presión de la caldera, y constituyendo la primera etapa del sobrecalentador, permitiendo además un acoplamiento directo entre el hogar y la zona de recuperación de calor. La resistencia a la erosión se consigue mediante una delgada capa de refractario similar al usado en el hogar. Este diseño ofrece, entre otras, las siguientes ventajas:

1. Como un componente más de las partes a presión de la caldera, el ciclón constituye una extensión del hogar, soportado desde arriba, lo que minimiza las expansiones térmicas diferenciales entre el hogar y ciclón, y simplifica las interfases hogar-ciclón.
2. Formando parte del sobrecalentador, permite recuperar el calor generado en su interior debido a la combustión que se produce cuando se trata de combustibles difíciles de quemar.
3. El calorifugado es convencional, como en el resto de la caldera.
4. Se utiliza refractario de bajo espesor y alta conductividad.
5. La baja inercia térmica del ciclón posibilita una puesta en servicio relativamente rápida, de 4 a 6 horas para un arranque en frío.
6. La fabricación en cuadrantes simplifica el montaje y mejora la calidad, con lo que ello significa en cuanto a mantenimiento y fiabilidad.

2.3.3 Subestación

Las subestaciones consisten en un equipo de regulación y control, un equipo de recuento y, en función del tipo de subestación, también se dispone de equipos de intercambio o de almacenaje. Existen principalmente dos tipos de subestaciones, las de conexión directa, con las que no hay una diferenciación entre el circuito de la red y el circuito del usuario, y las subestaciones de conexión indirecta, en las que se separa la red de la instalación interior, donde generalmente la separación se realiza mediante un intercambiador de calor. Debe presuponerse que el sistema de agua caliente sanitaria del usuario siempre será un circuito independiente de la red, puesto que debe cumplir unas condiciones higiénicas especiales.

Respecto a las subestaciones indirectas, se trata de subestaciones en las cuales el fluido secundario se calienta mediante un intercambiador de placas o multitubular. Este tipo de conexión es necesaria para la separación entre los circuitos primario y secundario.

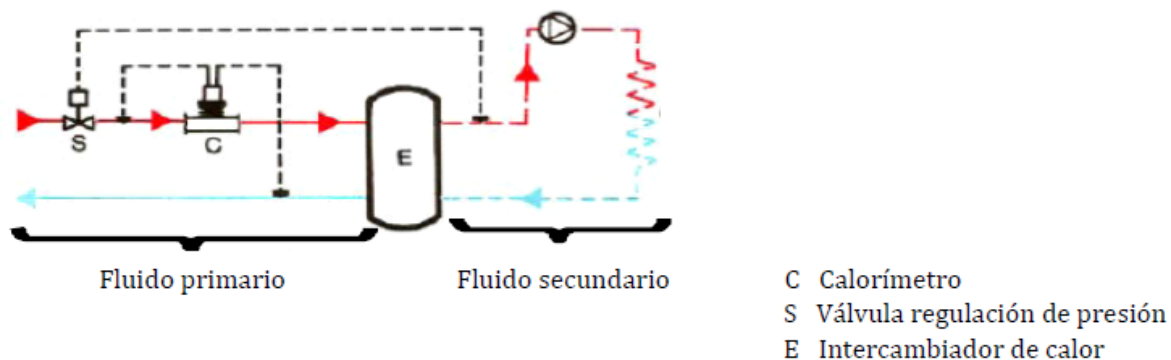


Ilustración 8. Esquema de intercambio de calor subestación

Ref. Tesis Doctoral, Jesús López-Villada, URV, Tarragona 2010

Un diseño esquemático de una subestación de conexión indirecta se muestra en la ilustración 7. En este ejemplo, la regulación de la válvula S permite regular la temperatura de impulsión del circuito secundario a temperatura constante o variable. Si la subestación se utiliza para la calefacción y la preparación de agua caliente sanitaria, es necesaria la instalación de una válvula de tres vías en el circuito secundario. Por otro lado, para el sistema de calefacción es aconsejable regular la temperatura de impulsión del secundario en función de la temperatura exterior.

Las desventajas de las subestaciones indirectas son:

- Coste adicional del intercambiador de calor.
- Reducción de la temperatura de utilización.
- Pérdida de carga adicional debido a la superficie del intercambiador de calor.

Sin embargo, este tipo de subestaciones poseen la gran ventaja de permitir la separación de líquidos a diferentes temperaturas y presiones, por lo que existe un el bajo riesgo de contaminación de la red del usuario.

En las subestaciones de mezcla, el fluido secundario es el mismo que el primario, pero a una presión y temperaturas más reducidas. La temperatura se reduce por la mezcla de la impulsión con parte del retorno de fluido secundario.

El fluido primario es agua caliente a una temperatura máxima de unos 110°C. La ventaja de este tipo de conexión es que resulta más económica que la anterior. Aun así, presenta un riesgo importante de daño o contaminación debida a la posible mala calidad del agua de la red de distrito de calor.

Se puede distinguir entre dos tipos de subestación de mezcla, en función de su regulación:

A. **Subestación de caudal primario variable:** conexión entre la red primaria y secundaria mediante botella de equilibrado. El objetivo principal es evitar los efectos indeseados en la instalación secundaria debidos a la diferencia de presión entre la impulsión y el retorno del circuito primario.

B. **Subestación de caudal primario constante:** es la subestación de la ilustración 7. La temperatura de impulsión del circuito secundario se regula mediante las válvulas de S1 y S2. La válvula S1 es regulada de acuerdo con las temperaturas de impulsión y temperatura ambiente exterior.

En nuestro caso, nos decantaremos por una instalación indirecta, debido a que son las más usadas en la actualidad, presentamos a continuación los valores de temperaturas en el intercambiador.

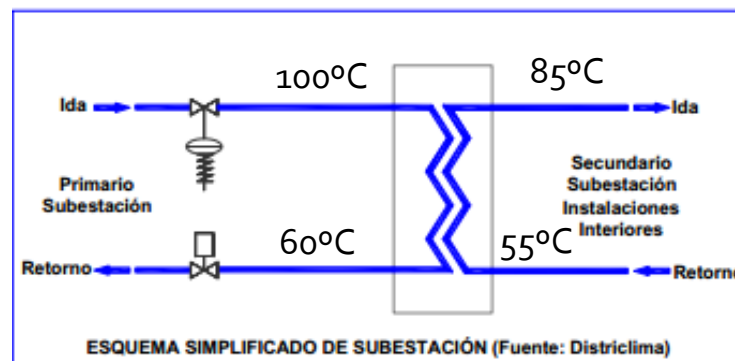


Ilustración 9. Esquema simplificado de subestación

2.3.4 Silo de almacenamiento

La biomasa puede almacenarse de diferentes maneras, dependiendo de las instalaciones existentes o la disponibilidad de espacio. Así, la biomasa se puede almacenar en un almacén separado del edificio o en una habitación cerrada cerca de la caldera. Pueden utilizarse silos, en superficie o subterráneos; habitaciones acondicionadas, transportando el combustible hasta la caldera mediante un tornillo sinfín; contenedores situados al lado del edificio, con rampas de descarga, transportando la biomasa con un vehículo de intercambio de carga, etc.

El sistema de almacenamiento tiene una influencia directa en el tipo de transporte y en los sistemas de suministro. Los silos sobre el terreno necesitan vehículos de suministro que puedan descargar lanzando el combustible sobre la pila.

Existen varios tipos de silos de almacenamiento según las necesidades, se dividen principalmente en dos tipos, prefabricados y de obra.

I. Prefabricados:

Diseñados específicamente para combustibles de pequeña granulometría y estandarizados, como pellets o astillas.

- Contenedor o tolva exterior: Usuarios que disponen de poco espacio. Largos periodos de autonomía de la caldera (hasta 3000kg). Fácil instalación y llenado.
- Silo flexible: Se utiliza cuando no existen problemas de espacio. Capacidad de entre 2 y 5 toneladas. Para viviendas unifamiliares o pequeños edificios (calderas de < 40 kW). Puede ser de lona o de polipropileno.
- Depósito subterráneo y almacenamiento integrado en caldera: Poco espacio, pequeña potencia.

II. Obra:

Su característica más importante es la ausencia de humedad.

- Con suelo inclinado de dos lados: Utilizados en silos rectangulares, alimentación neumática y a la caldera con tornillo sin fin. Pendientes entre 35-45 grados.
- Con un suelo inclinado: Mayormente empleados en silos cuadrados. Podemos optar entre tener más pendiente o menor pendiente y rascador (con su consiguiente coste)
- Suelo horizontal: Es la opción más acertada cuando se dispone de poco espacio disponible o el combustible tiene poca densidad. Necesita de rascadores horizontales hidráulicos.

2.3.5 Tuberías

Los conductos de las redes de DH/DC están formados por dos tuberías, una de impulsión y una de retorno. La extensión del sistema y el número de ramificaciones dependen de la situación de la planta de producción de energía, del número y distribución de los usuarios, de las pérdidas de energía en la red. Una distribución de la red inadecuada puede llegar a comprometer la rentabilidad económica del proyecto.

Una característica importante de las tuberías es el aislamiento ya que deben reducirse al máximo posible las pérdidas de calor por distribución. Normalmente se utilizan tuberías preaisladas que evitan problemas en la instalación defectuosa del aislante.

La red de tuberías de un sistema de DH/DC puede dividirse en tres grupos:

- Red troncal: conduce el calor (o el frío) desde grandes centrales de DH/DC hasta las redes locales de distribución.
- Ramales: conducen el calor (o el frío) desde la red troncal, o bien desde una pequeña central hasta las tuberías de servicio. Las tuberías principales suelen seguir la dirección de las calles o carreteras.
- Acometidas o ramales de servicio a clientes: se refieren a las tuberías de interconexión desde la red de distribución hasta cada edificio o subestación.

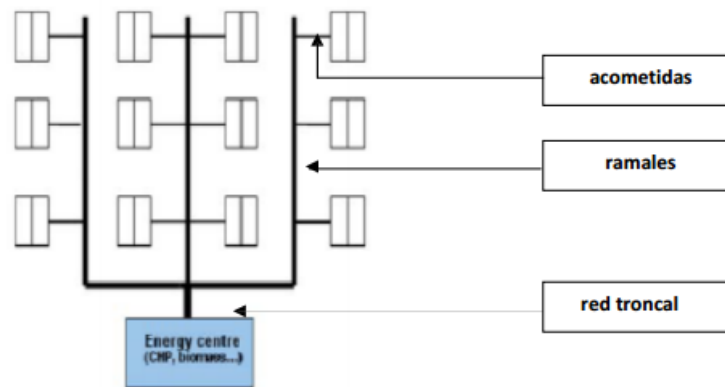


Ilustración 10. Estructura de tuberías en red de distrito

Ref. IDAE

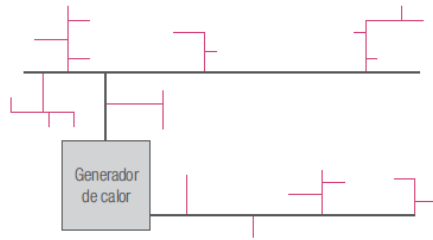
Las redes de distribución de DH/DC deben incluir los elementos siguientes en las tuberías de distribución del calor y el frío (impulsión y retorno):

- A. Accesorios de las tuberías (codos, T, etc.). Estos elementos dependen del trazado de la red, que debe procurarse sea el más simple posible.
- B. Detentores, válvula de regulación y bypass. La función de los detentores es la de aislar cualquier elemento añadido a la instalación. Si bien sería interesante un detentor en cada ramificación, el sobrecoste que esto implica conlleva valorar el interés o utilidad del aislamiento de un sector de red en un momento determinado. Todas las subestaciones incorporarán detentores y elementos intermedios en la instalación. Las válvulas de regulación están en los puntos requeridos, como en las subestaciones o en las entradas de edificios conectados a la red. Todos los elementos deberán resistir la presión y la temperatura de diseño de la red, y se dimensionarán de manera que la caída de presión producida por el elemento sea la adecuada de acuerdo con los condicionantes del proyecto.
- C. Aireadores y drenajes. Puesto que se trata de un circuito cerrado, deberá disponer de elementos de aireamiento y purga para extraer todo el aire. También se dispondrá de elementos de vaciado y filtraje.
- D. Bridas y fijaciones. Las tuberías deberán estar fijadas en función de sus posiciones, en caso de disponerlas en conductos o galerías.
- E. Compensadores. Las tuberías de grandes dimensiones, de redes de transmisión, generalmente son de acero preaislado con espuma de poliuretano. Para redes de DH a temperaturas bajas (70 °C) pueden ser de polietileno o reticulado preaislado. Las variaciones de temperatura provocan la expansión-contracción de las tuberías y pueden generar tensiones radiales y longitudinales. Para absorber las tensiones, hay que colocar compensadores (elementos que se deforman con las variaciones de temperatura) o codos en forma de U, L o Z.
- F. Detección de fugas: Se debe disponer de sistemas capaces de detectar posibles fugas de agua tanto en las tuberías hacia el exterior, debido a un defecto en las mismas, como desde el terreno hasta las tuberías por fisuras o problemas en la protección. Una fuga desde el terreno hacia las tuberías provoca un defecto de aislamiento ya que, en caso de que este se moje o coja humedad, disminuye la capacidad de aislamiento. El sistema de detección consiste en conductores eléctricos incrustados en el aislamiento de la tubería que, en caso de humedad, detectan una diferencia de potencial.

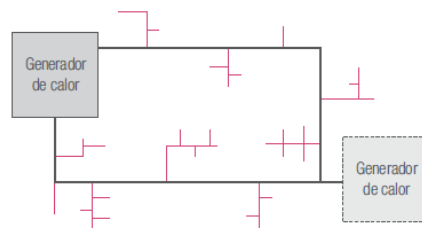
Las redes también se pueden clasificar en cerradas y abiertas. Las redes cerradas se utilizan en el caso que se conozca de antemano el número de consumidores que van a ser conectados a la red. Estas son las más utilizadas en edificios de oficinas, hoteles, hospitales, centros comerciales, residencias universitarias, aeropuertos, etc. El diseño y la instalación puede ser rentable y con buenos resultados, aunque para ello es imprescindible conocer en detalle las demandas energéticas de calor.

Por ello se han estudiado los tipos más usuales en este tipo de conexiones:

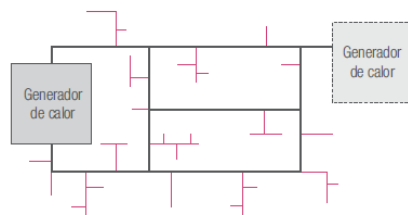
- A. Red radial: Pequeñas dimensiones, pocas pérdidas, bajo coste.



- B. Red en anillo: Uno o más generadores, seguridad de abastecimiento, fácil ampliación de la red, mayores costes y pérdidas de calor.



- C. Red mallada: Mayor seguridad de suministro y posibilidades de ampliación, utilizado mayormente en redes de calefacción urbana, grandes redes, altos costes.



Fuente: IDAE

En cuanto a diseño de redes la más segura es la última mencionada, aunque es cierto que también conlleva los mayores costes.

Las redes abiertas se utilizan cuando la demanda de energía térmica que debe ser cubierta es variable, por ejemplo, en una zona urbana de la ciudad. Los consumidores no tienen obligación de estar conectados a la red, como en los sistemas cerrados, y puede elegir entre los sistemas de distrito y las calderas individuales.

La demanda puede aumentar o disminuir, de acuerdo con la eficiencia y el coste de la calefacción suministrada.

En lo que respecta al número de tuberías de distribución, usualmente se utilizan sistemas de dos tubos: constan de una tubería de impulsión por la que circula un fluido a alta temperatura y una tubería de retorno por la que circula el fluido a una temperatura más baja que la anterior. Para aumentar el rendimiento del sistema, es aconsejable reducir al máximo posible las temperaturas de impulsión y de retorno.

Casi todas las redes de calefacción urbana utilizan como fluido de trabajo el agua en estado líquido o vapor. La clasificación actualmente en uso depende del nivel de la temperatura:

- Agua caliente de la temperatura máxima de 100°C/110°C
- Agua sobrecalentada entre 120 – 200°C.
- Vapor saturado.

La mayoría de redes de distribución utilizan como fluido el agua caliente a una máxima temperatura de salida de 100°C a 110°C. En el caso de la tubería de retorno, la temperatura suele estar entre 20 a 60°C más baja, dependiendo del diseño de las unidades terminales situadas en los edificios.

La determinación de los diámetros de la tubería es una de las principales decisiones del diseñador de un sistema de calefacción urbana. La velocidad del fluido que circula por el interior no debe ser muy alta, para reducir así las pérdidas hidráulicas, pero tampoco muy baja (<0,8 m/s). De acuerdo con los tubos seleccionados, es habitual trabajar con velocidades de entre 1 y 3 m/s para sistemas de agua. En Europa, el criterio de diseño más utilizado es tener una caída de presión de alrededor de 100 Pa/m, aunque esta cifra puede ser aún mayor.

El aislamiento de las tuberías es un factor crucial durante la fase de diseño, debido a las relativamente elevadas pérdidas térmicas de la red y su impacto en la eficiencia global del sistema. Los materiales aislantes se caracterizan por su conductividad térmica, que varía en función de la densidad y la temperatura. El aislamiento necesario en la red de distrito debe ser suficiente para garantizar unas pérdidas inferiores al 15 - 20%.

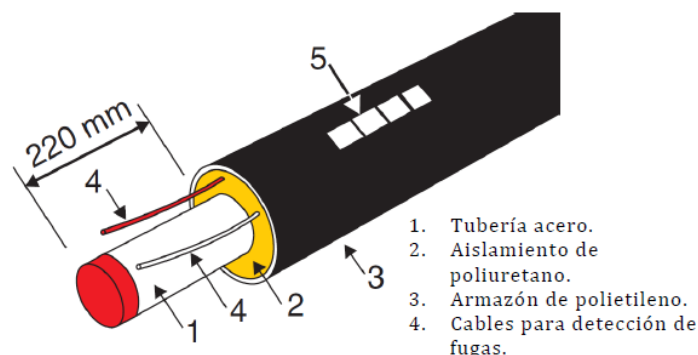


Ilustración 11. Estructura de una tubería

Ref. IDAE

La instalación de las tuberías puede ser superficial o enterrada. En el caso de instalación superficial los costes de inversión, ingeniería civil y mantenimiento son más bajos. Sin embargo, por razones visuales y de seguridad, la instalación suele ser enterrada.

Europa, la mayor parte de las redes de distrito de calor existentes está en el rango de temperatura entre 90 y 150 °C. A título de ejemplo, los valores típicos de las temperaturas para Dinamarca se muestran en la tabla 1. Un punto importante es que la temperatura de retorno debe ser lo más baja posible, es decir, que se debe trabajar con saltos térmicos elevados entre la impulsión y el retorno. Esto da lugar a caudales más reducidos y, por tanto, reducen de una forma importante la energía consumida por las bombas de los sistemas de distribución.

	Verano	Invierno
T impulsión	70-80	75-85
ΔT	20-30	30-45
T retorno	45-55	35-50

Tabla 1. Valores típicos de temperaturas en tuberías

Ref. Elaboración propia

2.3.6 Bombas de circulación

En las instalaciones de ACS se emplean bombas en el circuito primario para transferir el calor desde el circuito de calderas hasta el de agua de consumo; bombas de secundario cuando la producción se realiza por acumulación con intercambiadores externos, y bombas de recirculación para la circulación del agua por todo el edificio.

El circuito primario es un circuito cerrado en el cual el agua tiene muy poca agresividad, ya que tras las primeras purgas se elimina el oxígeno disuelto y habitualmente es un circuito que solo recibe agua nueva en las reparaciones o reposiciones de fugas.

Sin embargo, los circuitos secundarios y de recirculación son circuitos abiertos, en los que se está recibiendo de manera continua agua de consumo, la cual es mucho más agresiva con los materiales de las instalaciones, además los materiales en contacto con esa agua no deben modificar su potabilidad.

Hay varias maneras de regular el caudal que circula por una red de tuberías, y la elección de un sistema u otro depende de muchos factores, como, por ejemplo: el tipo de caudales con los que se pretende trabajar, el coste de la instalación, la eficiencia, la rapidez de maniobra o el mantenimiento, entre otros. Los sistemas para regular el caudal pueden ser válvulas de estrangulamiento, bypass en el grupo de bombeo o bombas de velocidad variable. Este último método es el más caro de implantar, pero también el más eficiente energética y económicamente. Estos sistemas trabajan a una temperatura de impulsión fija y varían el caudal en función de la temperatura de retorno de la red.

Los grupos de bombeo pueden configurarse de diferentes maneras:

- Bombeo centralizado. Un grupo de bombeo impulsa el fluido por toda la red: centrales generadoras, tuberías principales y tuberías de distribución.
- Bombeo primario-secundario estándar. Es un sistema eficiente: las bombas primarias impulsan el fluido por las centrales generadoras y las secundarias por la red de distribución.
- Bombeo primario-secundario-terciario estándar. Basado en el sistema anterior, se añaden bombas para cada circuito de distribución. Con eso y un correcto dimensionado de los grupos de bombeo se evitan problemas de sobrecargas en algunos puntos del circuito, típicos de las configuraciones anteriores.
- Bombeo distribuido. Con esta configuración, cada central generadora y cada edificio consumidor dispone de su grupo de bombeo. Así se evitan interacciones entre las presiones de los diferentes grupos. Además, es un sistema más económico que el anterior y adecuado para las redes de gran extensión.

2.4. Biomasa como combustible

Existe una gran variedad de combustibles susceptibles de ser empleados en los sistemas de climatización, como, por ejemplo: astillas, pellets, serrín, corteza, residuos agroindustriales como los huesos de aceituna, cáscaras de frutos secos (almendra, piñón,...), poda de vid, poda de olivo, etc.

Es bastante relevante el auge de este combustible en el mercado, sustituyendo en la generación de calor a otros combustibles contaminantes como pueden ser el gasóleo o el gas natural, a continuación, se presenta una gráfica que lo corrobora.

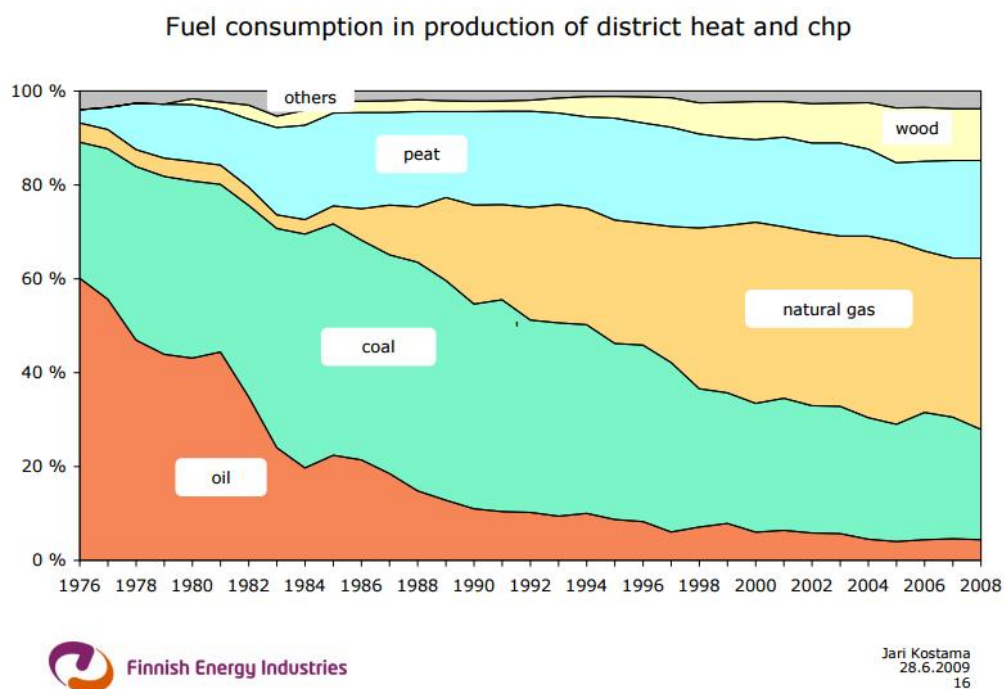


Ilustración 12. Consumo de combustibles en la generación de calor en Finlandia

En nuestro caso el tipo de combustible utilizado dependerá de la localización simulada, por ello haremos un análisis comparativo según la composición de la biomasa, para este apartado nos centraremos en la biomasa existente en España y presentaremos sus características.

Su utilización varía de una zona a otra de España en función de la disponibilidad, de la tradición y del clima que, de forma indirecta, también influye en el tipo de biomasa disponible, ya que las especies se cultivan o vegetan de forma natural en las zonas donde el clima más las favorece. En los últimos tiempos, la tendencia es hacia el uso de combustibles de granulometría mediana y pequeña, pero homogénea, lo que permite un manejo automático o semiautomático que elimine las incomodidades tradicionales del uso de la biomasa a nivel doméstico, ya sea individual o colectivo.

Asimismo, la aparición en el mercado de calderas y sus accesorios, específicamente diseñados para pequeñas y medianas potencias y combustibles sólidos de granulometría reducida, hacen que el uso de la biomasa bruta (tamaños irregulares) tenga pocas expectativas de crecimiento en beneficio de astillas, pellets, cáscaras y huesos que bien por transformación, bien por su propia naturaleza, tienen unas características adecuadas para la automatización de los sistemas.

En nuestro caso la elección del tipo de biomasa se ha debido a cuestiones de propiedades de éste, los pellets o biomasa densificada, es el material más utilizado en este tipo de centrales debido a las ventajas que vamos a aportar a continuación:

- Elevado poder calorífico
- Muy bajo contenido en cenizas, lo que implica menor mantenimiento
- Calderas de muy alta eficiencia
- Comercialización internacional
- Menor influencia en mercados internaciones (gasoil, gas natural)

Aunque debemos de tener en cuenta que este tipo de biomasa densificada es la de mayor costo dentro de estas, y el almacenamiento puede resultar un problema para ello.

La situación actual del pellet a nivel mundial es la siguiente:

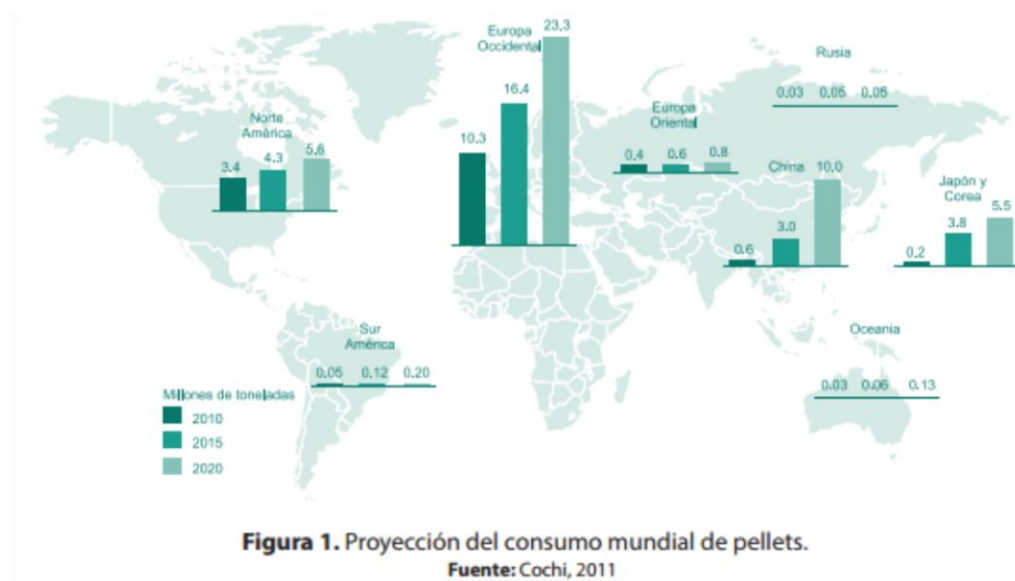


Ilustración 13. Proyección del consumo mundial de pellets

El crecimiento en prácticamente todo el mundo es importante, en especial en China el salto respecto a 5 años atrás resulta aún más relevante. Es esta, una de las condiciones por las cuales se ha tomado este combustible como principal para la simulación del proyecto de distrito.

Se prevé que el crecimiento en unos años sea aún mayor en este tipo de redes de calor, siendo en 2050 cubierta al 100% por energías renovables donde cobra especial importancia la biomasa (según informa *intelligent energy Europe*).

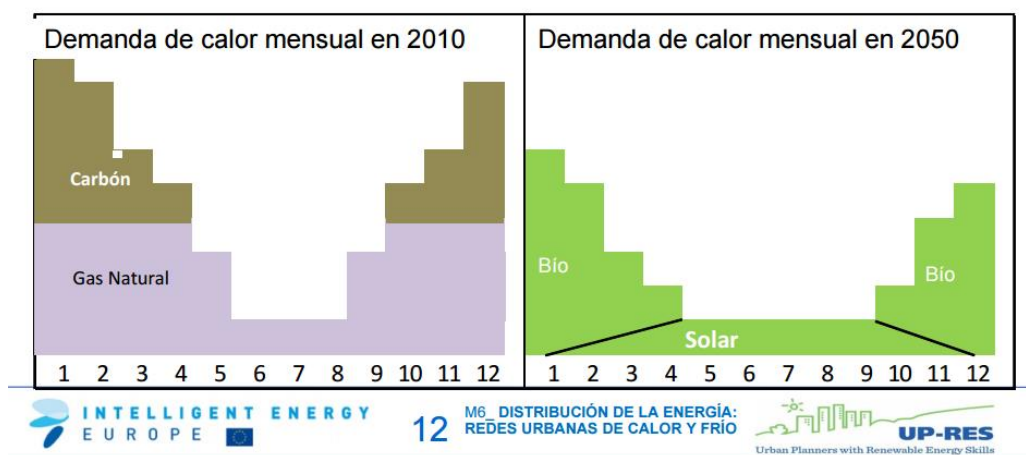


Ilustración 14. Demanda de calor mensual en Europa

PROPIEDADES DE LOS PELLETS

Sus características más importantes son: 100% natural, alta densidad energética, capacidad de regeneración, eficientes, bajas emisiones CO₂ y bajo contenido en humedad y cenizas.

Cada localidad o zona de emplazamiento tiene unas propiedades y características de la biomasa, por ello no podemos presentar unas propiedades generales del pellet, pero si una aproximación a su concentración de componentes más común.

Propiedades del Pellet

Diámetro (mm):

6.05 - 6.39

Longitud (mm):

5.59 - 45.85

Poder calorífico:

Kcal/Kg. 4800

MJ/Kg. 19.23

Kwh. 5.34

Contenido de cenizas (%):

< 0.4%

Densidad aparente (Kg/m³):

700

Humedad (%) "DIN 3841452":

< 10

Azufre (%) "DIN ISO 15178":

0.03

Nitrógeno (%) "DIN ISO 10694":

0.23

Emisión de Co₂ (kgCO₂/Mwh):

68

Tabla 2. Propiedades de los pellets

Ref. <http://www.lipsia.com.ar/bioenergia/LIPSIA-003-CARACTERISTICAS.html>

El pellet en el estado que lo conocemos, justo antes de entrar en la caldera, ha sufrido una serie de cambios y procesos, estos requieren de un aporte energético para su producción, es decir, un coste adicional, para el combustible.

El proceso de producción de densificación de la biomasa desde su recogida hasta que entra en la caldera es el siguiente:

- i. Suministro de materia prima
- ii. Secado forzado
- iii. Refinado
- iv. Compactación
- v. Enfriado de pellets
- vi. Almacenamiento y distribución

Generalmente para su fabricación se utilizan materiales residuales de las industrias de transformación de la madera tales como virutas, serrines, polvo de lijado, etc. También es posible utilizar residuos de poda agrícola y de limpieza forestal. En este caso se requiere una serie de tratamientos previos de los residuos como el secado, astillado y/o molienda debido a que las operaciones de peletizado necesitan unas condiciones de humedad y granulometría especiales.

3 LOCALIZACIONES

En este apartado se van a seleccionar una serie de emplazamientos según criterios que se irán desarrollando en los siguientes apartados, estas localizaciones serán simuladas con sus datos de partida iniciales y a partir de ellos se irán variando, para observar el comportamiento de la influencia de estos valores en distintos parámetros.

3.1. Datos de partida

La selección de estos emplazamientos se ha debido a estos cuatro criterios:

- Densidad poblacional
- Consumos energéticos
- Recursos de biomasa
- Climatología

Teniendo conocimiento de todos ellos en zonas de América del sur, Europa y España, hemos elegido localizaciones que, con características variadas entre sí para abarcar el mayor número de zonas de estudio posibles, aunque encontraremos muchas semejanzas entre ellas. Como podemos ver en el mapa de consumos mundial entre las zonas que se han propuesto para su estudio tienen distintos niveles de consumo de energía.

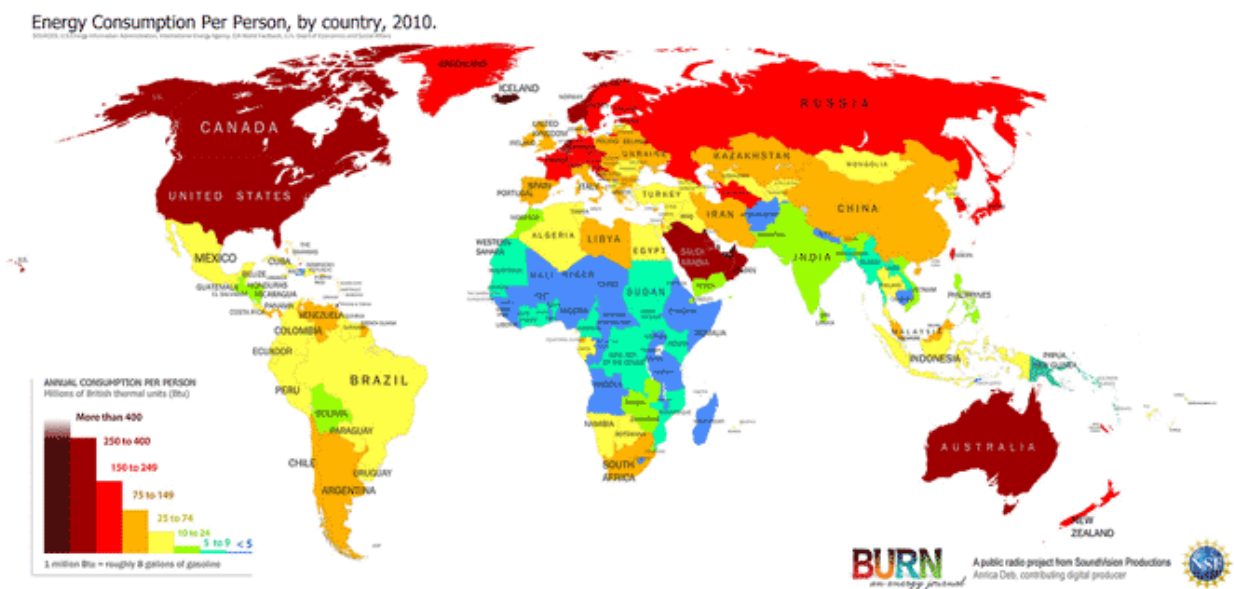


Ilustración 15. Consumo de energía mundial por persona

Estos datos han sido seleccionados como partida para situar las zonas de estudio, posteriormente se localizarán los de cada emplazamiento que no tienen porqué coincidir con la representación global del país en el que se encuentre.

3.2. Densidad poblacional

La densidad poblacional nos da una idea del grado de ocupación que tiene una localidad, por ello está directamente relacionado con el consumo energético como podemos observar en el mapa posteriormente presentado.

Dentro de un mismo país, las regiones urbanas tienen una mayor densidad demográfica que las rurales. Sin embargo, en las comparaciones internacionales esto puede no ser siempre así.

Es un dato a conocer para implantar un distrito térmico debido a que nos limitará la potencia de la planta, mientras la zona esté más densificada tendremos que estudiar la viabilidad de una instalación de una potencia mayor a otras zonas menos pobladas.

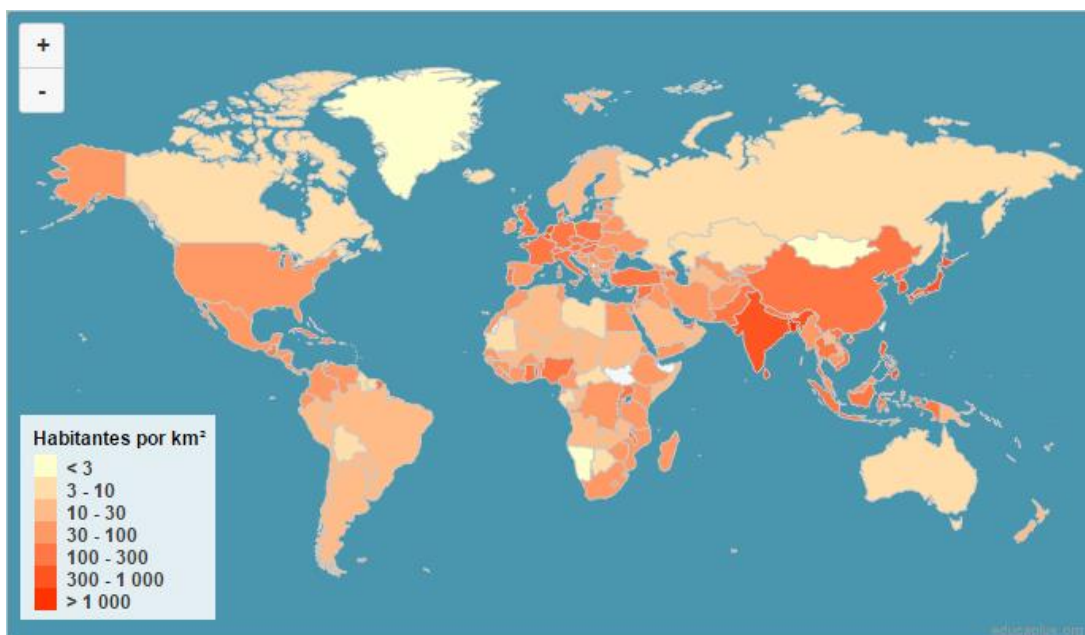


Ilustración 16. Densidad poblacional mundial

Ref. World bank, 2015

AMÉRICA DEL SUR

La población en América del Sur resulta de lo más diversa ya que a lo largo de los años se han mezclado la población indígena, los colonizadores del continente europeo y esclavos provenientes de África. Además, a partir del siglo XIX el continente suramericano también ha recibido mucha inmigración de Europa y de Asia.

Esto hace que en algunos países sea predominante la población de origen europeo, como en Argentina, mientras que en otros como Bolivia todavía prevalece la población indígena.

El continente sudamericano contiene algunas de las ciudades más pobladas de todo el mundo y muchas de ellas concentran a un gran porcentaje de la población de su país. Algunos ejemplos son Sao Paulo y Río de Janeiro en Brasil, Buenos Aires en Argentina, Lima en Perú, Caracas en Venezuela y Bogotá en Colombia

Hemos centrado el estudio en países con distintas características geográficas y de ocupación, las zonas de estudio han sido las siguientes: Argentina, Brasil, Perú, Colombia y Chile.

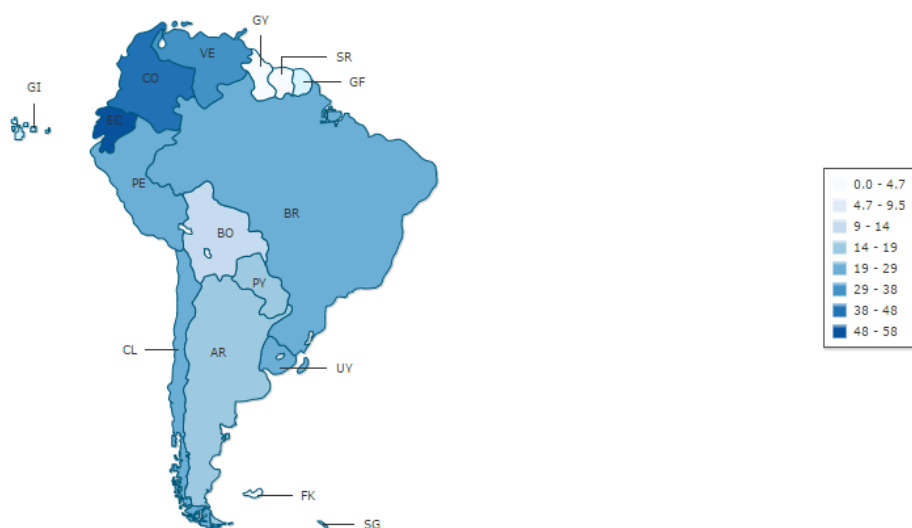


Ilustración 17. Densidad poblacional en Sudamérica

Ref. Banco interamericano de desarrollo

A. Argentina

La población de la República Argentina (de acuerdo con las estimaciones del INDEC) actual asciende a 44 millones de habitantes. Es uno de los países más grandes del mundo, tiene una densidad de población muy baja, está en el puesto 23 en el ranking de densidad mundial, con 16 habitantes por Km².



Como podemos observar en el mapa la densidad media de población es pequeña, pero existen localidades donde se pueden superar los 25 habitantes por kilómetro cuadrado.

Como por ejemplo en las localidades que forman parte del núcleo urbano del país como Buenos Aires, Córdoba o Rosario.

Este tipo de ciudades donde la población está más concentrada y el consumo de energía es alto respecto a otras zonas resulta interesante para su implantación, debido a que los costes de tuberías son menores al estar más concentradas las viviendas.

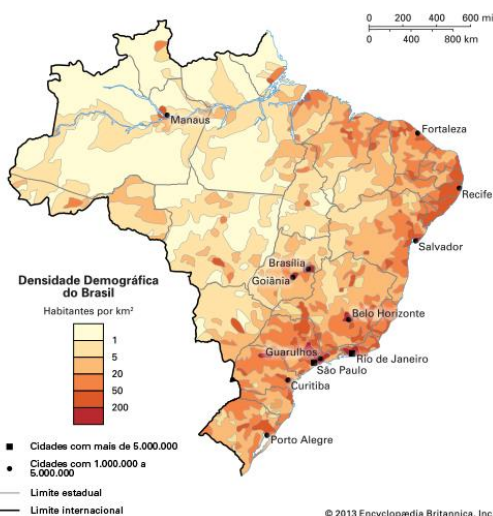
También hay que tener en cuenta que no podremos instalar redes de calor en lugares muy céntricos, puesto que la legislación estudiada no permite establecer sistemas de distrito en centros urbanos protegidos.

Ilustración 18. Densidad poblacional Argentina

B. Brasil

Con una superficie estimada en más de 8,5 millones de km², es el quinto país más grande del mundo en área total (equivalente a 47% del territorio sudamericano). Delimitado por el océano Atlántico al este, Brasil tiene una línea costera de 7491 km.

Cuenta con una población total de más de 200 millones de personas, donde las zonas más densificadas son las siguientes:



La población brasileña se concentra, mayoritariamente, en el litoral, por razones históricas, y en las regiones metropolitanas, por razones sociales y económicas.

La región más poblada es la Sudeste (São Paulo, Minas Gerais y Río de Janeiro) con 73,4 hab/km². La región Norte tiene una densidad de 3,0 hab/km², y zonas en las que no se llega a 1 h/km².

Todo ello a pesar de los grandes esfuerzos que se han hecho para poblar el interior del país, cuyo máximo exponente fue la creación de una nueva capital en el interior: Brasilia.

Ilustración 19. Densidad poblacional Brasil

C. Perú

La población del Perú de acuerdo con estimaciones y proyecciones del Instituto Nacional de Estadística e Informática en enero de 2017, supera actualmente los 32 millones de habitantes con una densidad promedio de 24 habitantes por km² y su tasa de crecimiento anual es de 1,1 %.

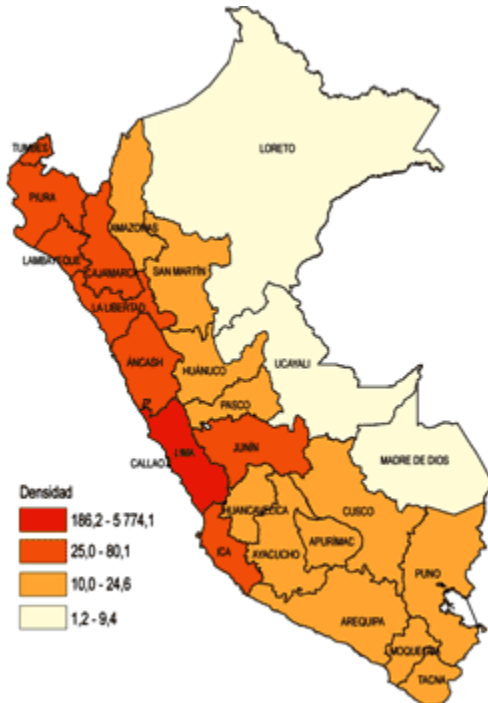


Ilustración 20. Densidad poblacional Perú

Ref. INEI

Las corrientes migratorias hacia las áreas urbanas e industriales han determinado grandes contrastes en la ocupación del territorio.

A consecuencia de ello en la franja costera que representa el 7,5 % del territorio nacional vive el 54,6 % de peruanos; en la sierra que representa el 30,5 % del territorio vive el 32 %; y en la selva la mayor región natural del Perú en cuanto a extensión, que representa el 62 % del territorio, tan solo vive el 13,4 %

Existe una gran diferencia entre las localidades más pobladas, destacando la capital del país, Lima con una densidad de población de 243 hab/km², la media global del país se estima en 22 hab/km².

D. Colombia

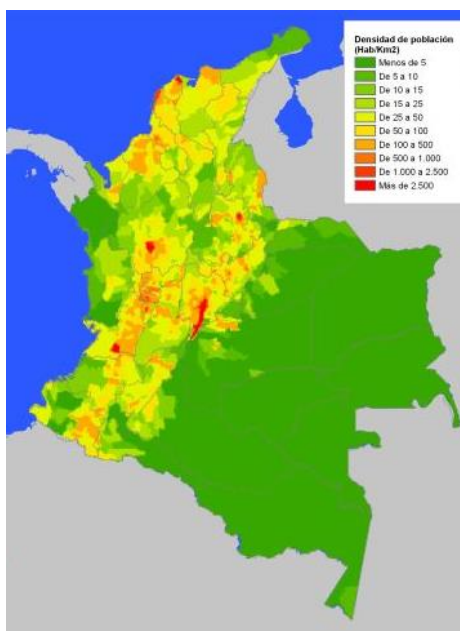


Ilustración 21. Densidad poblacional Colombia

Ref. DANE

Colombia se divide en 32 departamentos y el Distrito Capital. Aproximadamente el 74% de la población habita en centros urbanos.

Los principales núcleos de habitantes se encuentran en el Altiplano Cundiboyacense, en los valles de los ríos Cauca y Magdalena, y la región costera del Caribe.

El 60% de la población colombiana se ubica en seis departamentos (Cundinamarca (Bogotá incluida), Antioquia, Valle del Cauca, Bolívar, Atlántico y Santander) mientras que la zona suroriental del país presenta grandes vacíos demográficos. Los diez departamentos de tierras bajas del Oriente (aproximadamente 54% del área total) tienen menos de 3% de la población.

E. Chile



Chile, situada en América del Sur, tiene una superficie de 756.096 Km².

Chile, con una población de 18.006.000 personas, se encuentra en la posición 64 de la tabla de población, compuesta por 196 países y presenta una moderada densidad de población, 24 habitantes por Km².

Dentro del país, la movilidad de la población se ha acrecentado durante las últimas décadas provocando una migración masiva desde los campos hacia las grandes ciudades del país.

Mientras en las regiones del centro-sur del país, más del 80 % de su población nació en la misma región (en la Región del Biobío alcanza el 86,11 %), en la Región Metropolitana sólo lo es el 71 % de la población, mientras en las regiones extremas como en la Región de Magallanes esta cifra llega sólo al 55 %.

Ilustración 22. Densidad poblacional Chile

Ref. <http://www.saladehistoria.com/>

EUROPA

Europa es el segundo continente más pequeño en términos de superficie, que abarca 10 530 751 kilómetros cuadrados o el 2 % de la superficie del mundo y alrededor de 6,8 % del total de las tierras emergidas. Cuenta con una población total de 745 millones de personas.

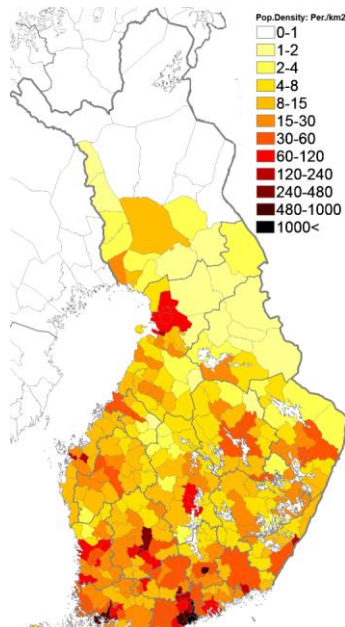
El reparto de la población urbana y rural en Europa, poco más del 40% de la población europea vive en las ciudades. El 28% habita en zonas rurales mientras que el resto (32%) lo hace en zonas “intermedias”, como pueblos o suburbios. Así lo ponen de manifiesto los datos de Eurostat, la oficina europea de estadística, con cifras de 2014.

Los habitantes de núcleos pequeños suman el 25,9% de la población española, mientras que el otro 25,6 % reside en áreas de tamaño intermedio. Reino Unido es el país europeo con mayor tasa de habitantes en zonas urbanas, con un 58,6%, seguida de Chipre (54,7%). Por contra, los países de la Unión con más población rural son Luxemburgo (51% de habitantes en núcleos pequeños), Eslovenia (49,8%), Lituania (47,6%), Eslovaquia (45,6%), Dinamarca (44,4%) Irlanda (43,5%) y Rumanía (43,1%).

La población concentrada en áreas intermedias es mayoritaria en Bélgica (57,1%), mientras que en República Checa, Hungría y Finlandia la demografía se distribuye de manera equitativa entre ciudades, núcleos intermedios y pueblos.

Hemos centrado el estudio comparativo en países con alta ocupación por unidad de superficie, estos han sido: Finlandia, Escocia, Alemania y Suiza.

A. Finlandia



Finlandia cuenta con alrededor de 5,3 millones de habitantes y tiene un promedio de densidad de población de 17 habitantes por kilómetro cuadrado. Esto la hace, después de Noruega e Islandia, el país con la población más esparcida en Europa.

La distribución de la población es muy desigual, ya que la población se concentra en la llanura costera del suroeste. Alrededor de un 60% vive en pueblos y ciudades, siendo 1,2 millones quienes viven en el área metropolitana de Helsinki. En Laponia, en cambio, la densidad de población es de sólo 2 personas por kilómetro cuadrado.

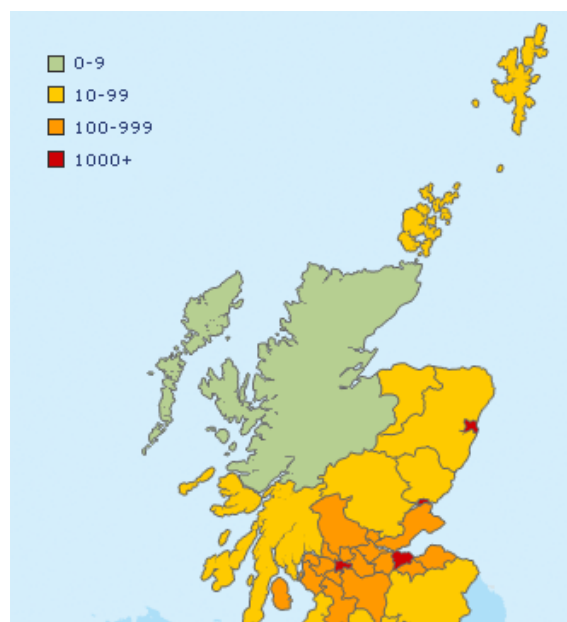
El 55% de las familias vive en casas unifamiliares y el 45% en bloques de apartamentos.

Las ciudades más pobladas son Helsinki, Espoo, Tampere o Turku.

Ilustración 23. Densidad poblacional Finlandia

Ref. *Tourister*

B. Escocia



El territorio escocés abarca 78 772 km², y su población se estima en 5 347 600 habitantes en 2014, lo que da una densidad de población de 67,9 habitantes por km².

La capital es Edimburgo, mientras que Glasgow es la ciudad más grande, y su área metropolitana concentra un 40 % del total de la población escocesa.

La zona central de Escocia, conocida como Central Belt, alberga la gran mayoría de los pueblos y ciudades principales: Glasgow al oeste, y Edimburgo, Aberdeen y Dundee al este. En cambio, las Highlands están escasamente pobladas, aunque la ciudad de Inverness ha crecido rápidamente en los últimos años. De las muchas islas que conforman el territorio escocés, solo las más grandes y las más accesibles (unas 90) están habitadas.

Ilustración 24. Densidad poblacional Escocia

Ref. *Bruselasue*

C. Alemania



Alemania, situada en Europa occidental, tiene una superficie de 357.380 Km²

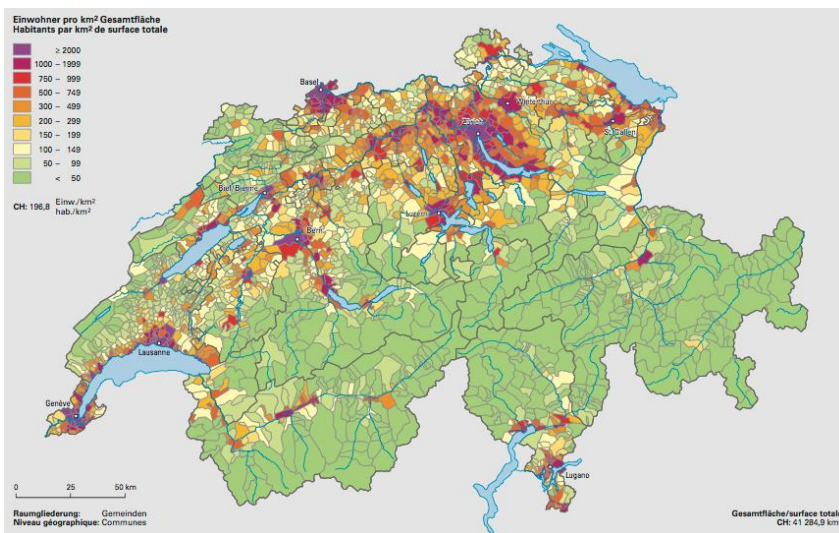
La población de Alemania se habría estimado en 81 millones de personas en 2017, lo que lo convierte en el segundo país europeo más poblado (solo después de Rusia) y el dieciseisavo país más poblado del mundo.

La densidad demográfica media ronda los 223 hab./km² (una de las mayores del continente), siendo la 59 nación más densamente poblada del mundo. Alemania tiene una serie de grandes ciudades, siendo Berlín la más poblada, sin embargo, la mayor aglomeración urbana es la región Rin-Ruhr, que se contabiliza dentro de las zonas más densamente pobladas a nivel global (unos 1,334 hab/km²).

Ilustración 25. Densidad poblacional Alemania

Ref. Gifex

D. Suiza



Suiza, situada en Europa occidental, tiene una superficie de 41.290 Km² con lo que se encuentra entre los países más pequeños.

Suiza, con una población de 8.327.000 personas, tiene una densidad de población de 202 habitantes por Km².

Entre sus ciudades más pobladas se encuentran: Zúrich, Ginebra o Basilea

Ilustración 26. Densidad poblacional Suiza

Ref. <http://interactive.swissinfo.ch>

ESPAÑA

La población en España, según el INE, señala que la población española se sitúa en 46 millones de habitantes en el último año.

España es el quinto país más poblado de la Unión Europea

La densidad de población de España, de 92,19 hab/km² en el 2015 y su distribución a lo largo del territorio es muy irregular.

Así, la población española se concentra predominantemente en dos zonas:

- Costa y zonas cercanas: las zonas de costa y los valles próximos, así como las grandes islas, son las más densamente pobladas y donde se encuentran los principales núcleos de población y sus áreas metropolitanas (exceptuando a Madrid), por ejemplo Barcelona que extiende su área de influencia por toda la costa catalana, Valencia, Alicante-Elche-Murcia-Cartagena, Sevilla, Cádiz-Jerez, Málaga, Granada, Guipúzcoa-Álava-Bilbao-Santander, Asturias, La Coruña, Vigo, Palma de Mallorca, Las Palmas de Gran Canaria, Santa Cruz de Tenerife, etc.
- Madrid: es una zona muy poblada, la ciudad principal es la mayor de España, el tercer municipio de la Unión Europea (sólo superado por Londres y Berlín) y su área metropolitana es la tercera mayor de la Unión Europea (sólo superada por París y Londres), en la cual se encuentran ciudades como Móstoles, Alcalá de Henares, Fuenlabrada, Alcorcón, Leganés, Getafe, etc., que superan los 100 000 habitantes. Esta zona es tan poblada gracias a que Madrid es la capital de España y su influencia se extiende ya por las provincias de Toledo y Guadalajara formando una amplia región metropolitana.

Sin embargo, todo el interior sufre problemas de despoblación; en esta parte del territorio, solamente se pueden destacar Zaragoza, Córdoba y Valladolid con más de 200 000 habitantes.

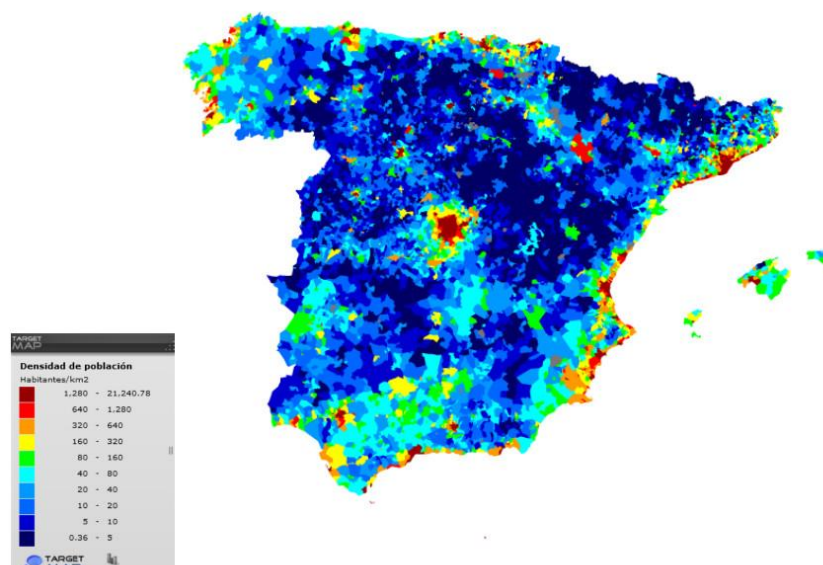


Ilustración 27. Densidad poblacional España

Ref. targetmap

3.3. Consumos energéticos

El sector residencial es un sector clave en el contexto energético actual, tanto nacional como comunitario, debido a la importancia que reviste sus necesidades energéticas, que, en España, y en términos de energía final, significan el 17% del consumo final total y el 25% de la demanda de energía eléctrica. Diversos factores explican la representatividad y la tendencia al alza de sus consumos energéticos, tales como el incremento del número de hogares, el mayor confort requerido por los mismos y, consecuentemente, el aumento de equipamiento. Todo ello, propiciado por los incrementos de la capacidad de poder adquisitivo y una mejora del nivel de vida, hacen prever unas tendencias futuras al alza en cuanto a la representatividad del sector residencial en la demanda energética.

Tendremos que estudiar los consumos energéticos en hogares de los emplazamientos seleccionados, estos vienen determinados la mayoría de las veces por su situación geográfica, y características climatológicas.

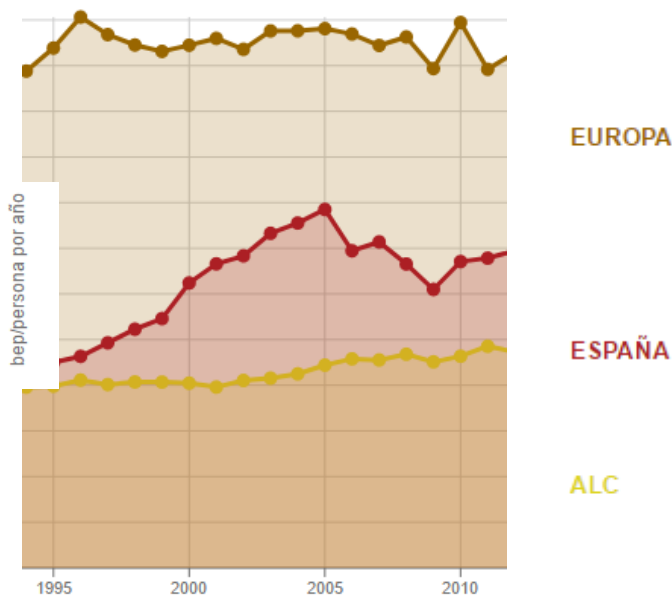


Ilustración 28. Comparativa de consumos energéticos

Ref. Banco de datos Iberoamericano

En la ilustración 28 queda representado la diferencia de consumo energético entre la media de países europeos, España y Sudamérica. Se aprecia la enorme diferencia en cuanto a nivel de vida en el sector residencial que existe en estas localidades.

Comenzaremos con la misma dinámica del apartado anterior mostrando los datos de consumo más relevantes para cada emplazamiento.

Según la OCU, un hogar medio español consume de media 9922 kWh/año, si puntualizamos que 5172 kWh/año vienen dados por servicios de calefacción y que 1877 kWh/año se consumen por medio de ACS, podemos constatar que el consumo total en calefacción y ACS es de 7049 kWh/año. Esto quiere decir que mediante el distrito térmico seríamos capaces de cubrir una demanda de calor de hasta un 71% si no tuviéramos cogeneración, más de 2/3 del consumo podría darse con un distrito térmico sin generación eléctrica.

AMÉRICA DEL SUR

Para encarar un análisis adecuado de los planes e iniciativas de integración energética regional, más cuando se enuncian como la solución a distintos problemas energéticos actuales o previstos para los países de América del sur, resulta indispensable repasar la información que nos permita describir el estado de la matriz energética de la región. Así será posible aproximarse al conocimiento sobre lo que está en juego respecto de la producción y el consumo de energía en el subcontinente.

En los países seleccionados de Sudamérica existe gran variedad de niveles de consumo energético, desde los 4 bep/persona al año de países como Argentina a casi una cuarta parte de este consumo en Perú; Chile y Brasil se sitúa en valores intermedios de consumo.

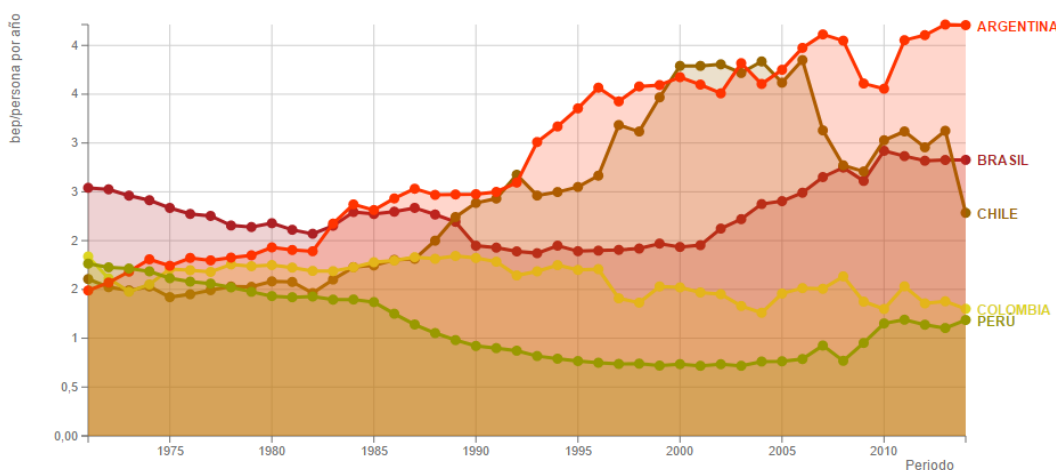


Ilustración 29. Consumos energéticos países de América del sur, 2014

Ref. Banco de datos Iberoamericano

Un primer repaso de la oferta total de energía primaria en América del Sur nos muestra que su composición está ligada profundamente a energías convencionales no renovables, las que representan un total del 73% formado por petróleo, gas natural y carbón. La energía hidroeléctrica tiene un peso relativamente fuerte (11%) si se la compara con los valores mundiales, a causa de la abundancia de este recurso en la región.

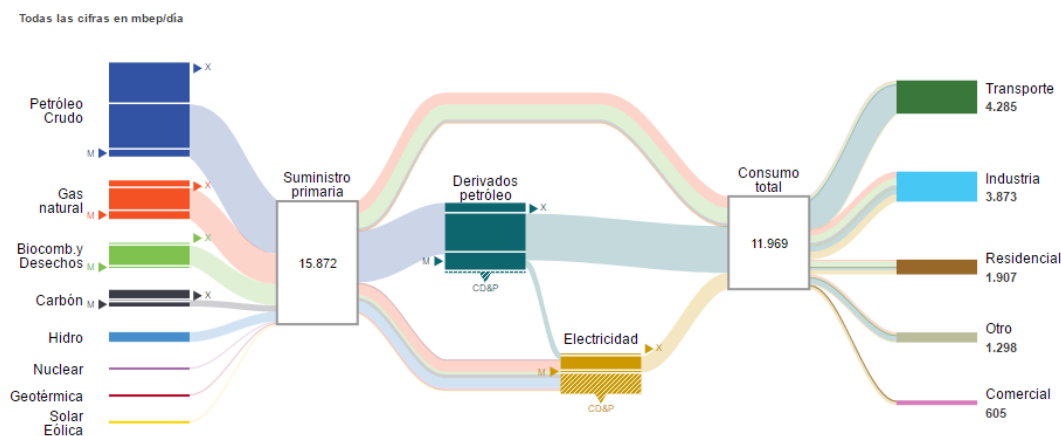


Ilustración 30. Matriz energética de América del sur, 2013

Ref. Cálculos del BID sobre datos del AIE

Resulta relevante también la participación de la biomasa en la oferta primaria de energía, aunque en la información consignada no se ha hecho una distinción que considere la sostenibilidad de su empleo, motivo por el cual no se puede tomar de forma absoluta como un recurso utilizado sustentablemente. Los productos de caña, asimismo, participan de manera relevante en esta estadística, que tiene a Brasil como su principal responsable (76% del total, 40530,42 ktep). Otras energías, incluyendo la nuclear, muestran un peso totalmente marginal.

En los datos correspondientes a los principales productores de crudo de la región es posible hallar parte de la explicación para la matriz presentada más arriba, que señala que el petróleo en Latinoamérica representa un 42% de la oferta total primaria, al mismo tiempo que se reconoce al grupo México-Venezuela-Ecuador-Colombia como claramente exportador, en un promedio del 60% de sus respectivas producciones.

Los países que exportan un porcentaje menor de su producción, Argentina y Brasil, tienen perspectivas diferentes entre sí, ya que Brasil podría pasar a ser un neto exportador en los próximos años, en tanto que si Argentina no recupera su horizonte de reservas pasaría a consolidarse como un importador en poco tiempo.

EUROPA

Desde la Revolución Industrial, el consumo de energía en el mundo no ha dejado de crecer. Hoy en día, el uso de la energía forma parte de nuestro estilo de vida y, cuanto más desarrollada está una sociedad, más energía consume, esto se podrá apreciar aún más en nuestro proyecto debido a la variedad de localizaciones estudiadas.

El sector más consumidor de energía eléctrica en Europa es industrial. Así, la industria consume, aproximadamente, dos quintas partes sobre el total de la electricidad producida en toda Europa. Del 1980 hasta el 2008, el consumo de electricidad por los diferentes sectores iba en aumento, teniendo su porcentaje máximo en 2008.

Sin embargo, entre 2008 y 2011 el consumo eléctrico ha ido decreciendo:

- En 2008 el sector industrial consumía un 4,2 % más de electricidad que en 2011, mientras que los transportes se mantuvieron estables.
- El resto de usos también demandaban más energía eléctrica: un 1,73% más en comparación a 2011.

Más allá de la crisis económica mundial, la reducción del consumo eléctrico desde 2008 también se debe a:

- En el ámbito residencial debido al avance tecnológico de los electrodomésticos, su eficiencia (etiqueta energética) y la concienciación de los usuarios con el ahorro.
- En el ámbito de los servicios, la parte que consumía mayor electricidad era la iluminación pública, aspecto que se ha ido mitigando mediante cambios de bombillas a otras más eficientes (LED) o la instalación de sistemas automatizados.

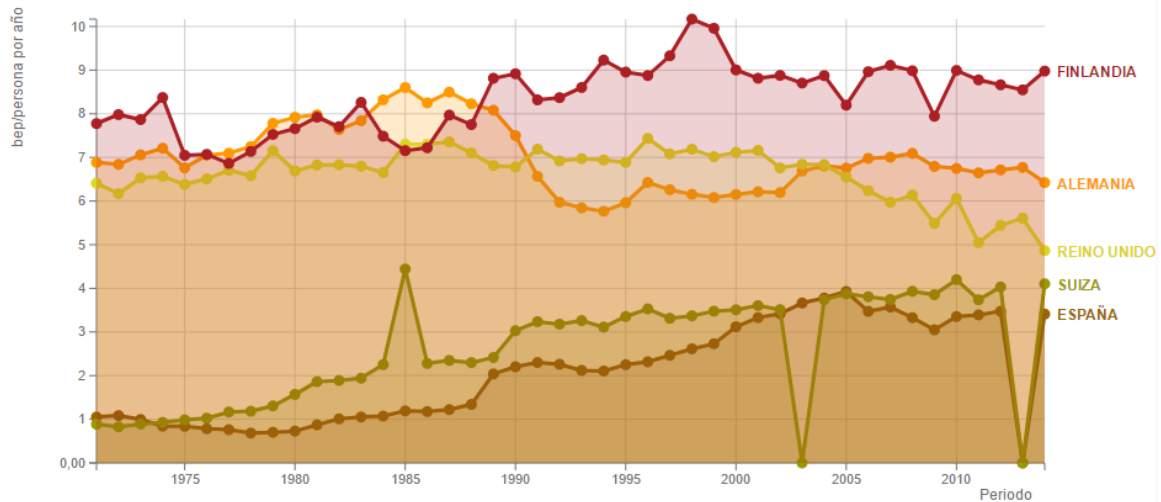


Ilustración 31. Consumos energéticos en Europa, 2014

Ref. Banco de datos Iberoamericano

La diferencia entre los países seleccionados es muy parecida en porcentaje a la anterior presentada en el sur de América, pero con una diferencia trascendental, el consumo. Finlandia encabeza el puesto de consumidora energética, con prácticamente el doble de consumo que el país más demandante de Sudamérica. Es importante nombrar que como muestra la ilustración 32, prácticamente el 80% de su consumo proviene de energía renovable.

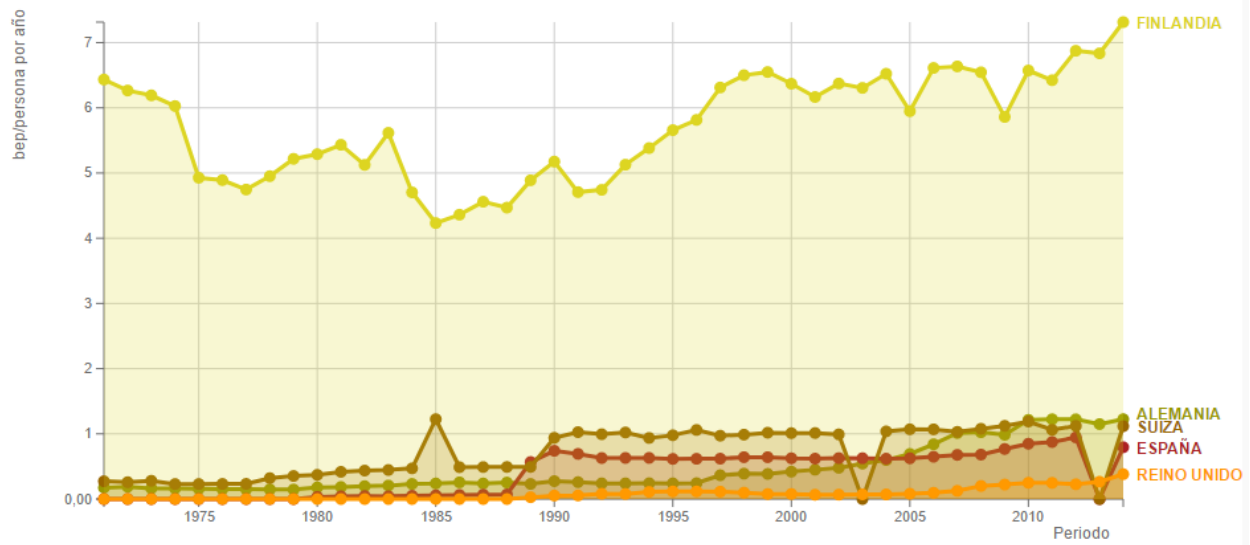


Ilustración 32. Consumo de biocombustibles en Europa, 2014

Ref. Banco de datos Iberoamericano

Es llamativa esta gráfica porque muestra claramente la apuesta del país nórdico por la energía renovable, destacando la biomasa como principal fuente de energía en su gran número de redes de calor.

Por último, la matriz energética en el continente europeo tiene la siguiente forma:

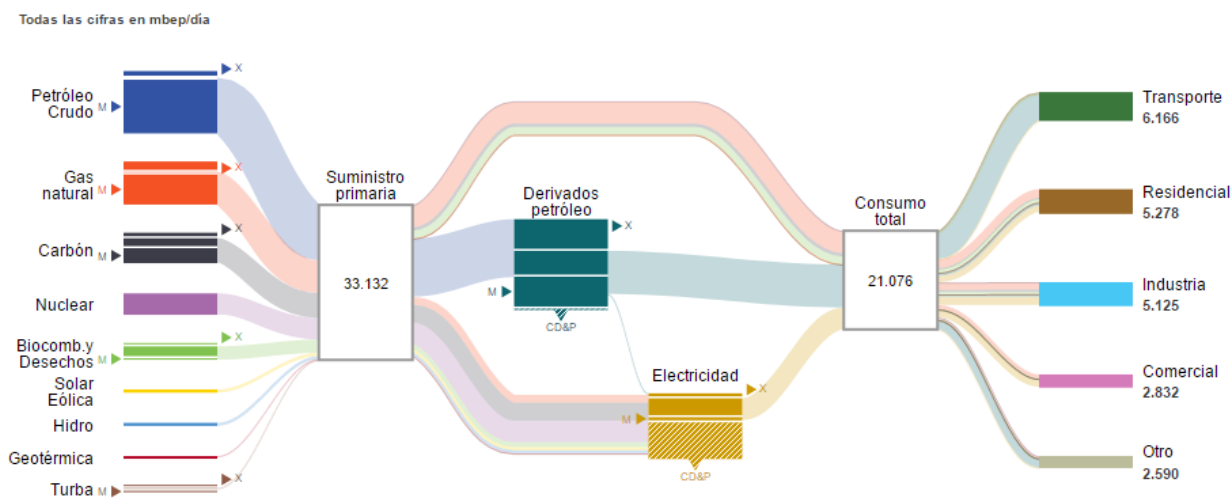


Ilustración 33. Matriz energética en Europa, 2014

Ref. Banco de datos Iberoamericano

Tiene gran importancia los tres combustibles más convencionales, petróleo, gas natural y carbón, donde se hace hueco en quinta posición la biomasa como fuente primaria.

Dato que destacar, el sector residencial como uno de los principales consumidores, prácticamente a la misma escala que el transporte o la industria, seguido ya de lejos por el sector comercial y otros.

ESPAÑA

Desde finales de los años 80, el sector eléctrico, el del gas y el del petróleo de nuestro país han cambiado radicalmente para cubrir las necesidades de la sociedad y cumplir con los compromisos medioambientales y energéticos de la Unión.

El sector residencial es un sector clave en el contexto energético nacional y comunitario actual debido a la importancia que reviste su demanda energética, que en términos de consumo total y de consumo eléctrico asciende respectivamente a un 17% y 25% a nivel nacional, y al 25% y 29% a nivel de la UE.

En el ámbito nacional, diversos factores como el incremento de los hogares, los hábitos de consumo, el equipamiento progresivo de los hogares, propiciado por los incrementos de la capacidad de poder adquisitivo y una mejora del nivel de vida, hacen prever unas tendencias futuras al alza en cuanto a la representatividad del sector residencial en la demanda energética. Esto último encuentra apoyo en diversos estudios relevantes de prospectiva que en la actualidad tienen lugar con el objeto de facilitar el diseño y configuración más acorde de políticas planificación energética con los que satisfacer la cobertura futura a dicha demanda.

Por otra parte, este sector, si bien, en términos comparativos respecto a otros sectores de uso final en España, actualmente presenta menos consumo, es cierto que, en términos relativos, es uno de los sectores, junto al sector servicios, que en los últimos años mayor crecimiento ha registrado tanto en su consumo como en su intensidad energética asociada.

Consumo energía primaria España 2014

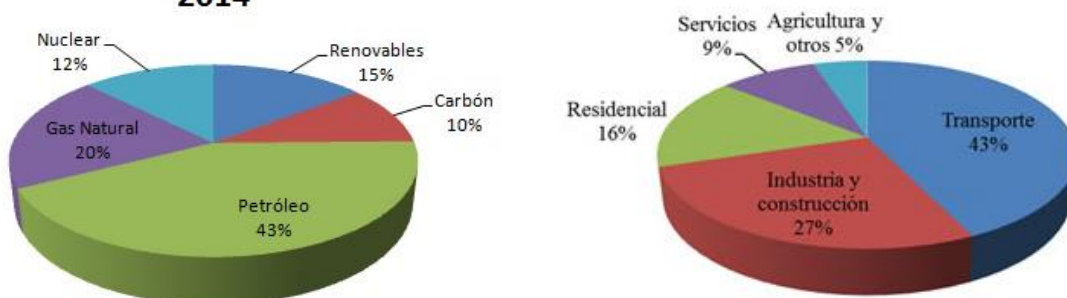


Ilustración 34. Matriz energética España

Ref. BP Statistical Review

3.4. Recursos de biomasa

La biomasa sólida es la mayor fuente de energía renovable en el mundo, con mucha diferencia, debido a la existencia de la biomasa tradicional en los países en vías de desarrollo. Supone el 9,2% de la oferta total de energía primaria en el mundo, el 70,2% de la oferta total de energía renovable. De hecho, el 86% de la biomasa sólida es producida y consumida en países que no pertenecen a la OCDE.

La biomasa se caracteriza por las transacciones en el mercado, funciona con buenos niveles de eficiencia, no tiene porqué dar lugar a problemas de salud y es utilizada para generar energía eléctrica, para producir calor y refrigeración en los hogares y en la industria y para producir biocarburantes para el transporte.

Área de bosque (mill ha)

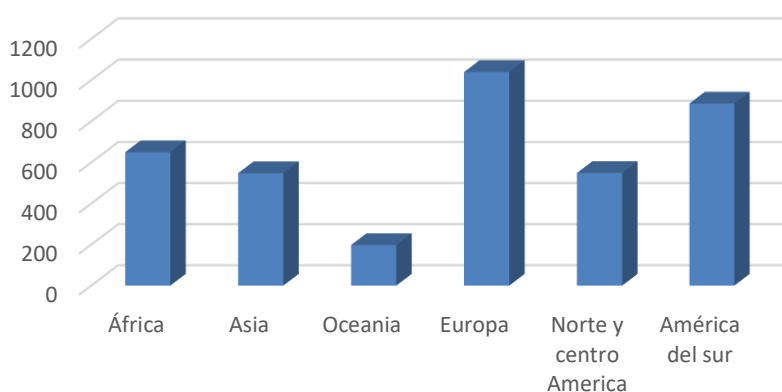


Ilustración 35. Área de bosque por continente

Ref. Elaboración propia, fuente: FAO

Observando la ilustración 35, nos situamos durante este estudio en los dos continentes que más área de bosque, y consecuentemente biomasa potencial tiene en su superficie, desarrollaremos estos continentes a continuación.

AMÉRICA DEL SUR

Según un estudio publicado en *Renewable and Sustainable Energy Reviews* por Lamers y colaboradores, la comercialización de biocombustibles sólidos de biomasa fue seis veces mayor a finales de la década (2010) en comparación con el inicio del siglo (2000). Según, Lamers la biomasa contribuye un 10% al total de energía primaria que se consume en el mundo, y de este 10%, la mayoría (un 62%) es consumida por países en vías de desarrollo de formas tradicionales, como lo son, la preparación de alimentos y calefacción.

Las tendencias actuales del uso de la biomasa en América Latina, además de su continua utilización tradicional, se orienta a una utilización más moderna en la cual se busca obtener mayores eficiencias en la combustión además de limitar las emisiones de carbono a la atmósfera.

El potencial de estos países en biomasa es muy significativo como vemos en las siguientes imágenes, la zona este de América del sur, donde se sitúa Brasil, tiene una cantidad de biomasa de más de 100 mil millones de toneladas.

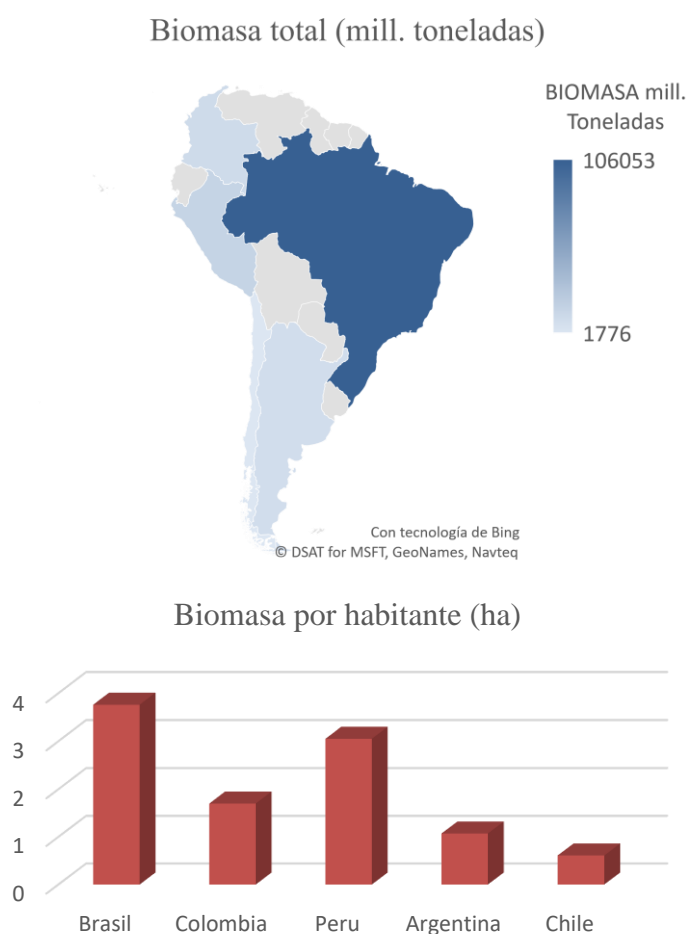


Ilustración 36. Recursos de biomasa en América del sur

Ref. Elaboración propia. Fuente: FAO

EUROPA

En la Unión Europea, cinco países aportan el 56,7% de la energía primaria producida con biomasa, Francia, Suecia, Alemania, Finlandia y Polonia. Los principales consumidores de biomasa (consumo per cápita) son los países nórdicos y bálticos, junto con Austria, y encabezados por Finlandia.

Merece la pena destacar que las aplicaciones para calefacción y ACS abastecidas con pellets son una práctica habitual en muchos países europeos. Todos estos desarrollos junto con la creciente producción de pellets han dado lugar a un mercado europeo de biomasa; en el que los países con excedente de producción de este tipo de biomasa abastecen a los países consumidores de pellets.

Por otro lado, la producción eléctrica con biomasa se sitúa en torno a los 60 TWh en la Europa de los 28, lo que supone alrededor del 2% de la producción eléctrica europea.

En los últimos años el consumo de energía por biomasa creció en la Unión Europea aproximadamente 25 TWh por año, por lo que si el crecimiento continuara al mismo ritmo se llegaría al año 2020 a un consumo de 1.125 TWh, es decir, 525 TWh por debajo del escenario que maneja la Comisión Europea.

Para alcanzar este escenario de 1.650 TWh de consumo anual de energía final por biomasa, el suministro de energía primaria por biomasa tiene que estar entre 1.850 y 3.400 TWh, dependiendo de cómo la biomasa vaya a ser utilizada (para producir calor o electricidad).

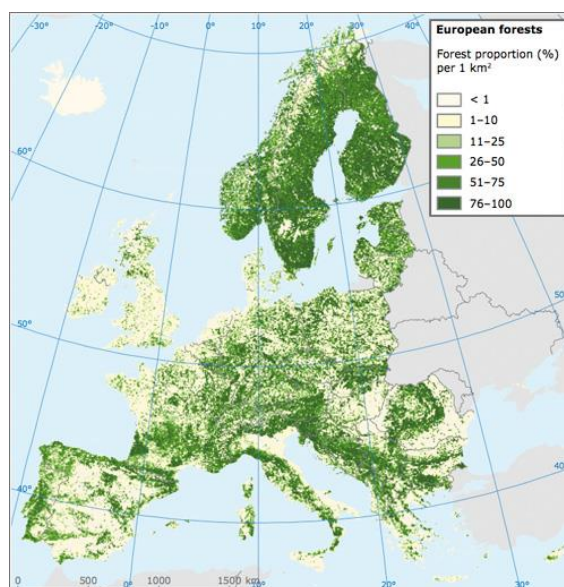


Ilustración 37. Recursos de biomasa en Europa

Ref. EEA, European Environment Agency

Como podías intuir, por las gráficas presentadas anteriormente sobre consumo energético, los países nórdicos, entre ellos Finlandia, constan de una superficie de bosques y un potencial de biomasa muy por encima de las demás zonas estudiadas, así quedo constatado en el consumo de energía primera con este combustible.

ESPAÑA

El Plan de Energías Renovables 2005-2010 (PER) calculó los recursos potenciales de biomasa en España en unos 19.000 ktep (13.000 corresponden a biomasa residual y casi 6.000 a cultivo energéticos) y considera este recurso como un pilar fundamental para cumplir los objetivos perseguidos. De hecho, la biomasa constituye el 45% de los objetivos del PER. Sin embargo, su desarrollo no está siendo el esperado, hasta el punto de que a finales de 2010 sólo se había alcanzado en torno a un 50% del objetivo perseguido.

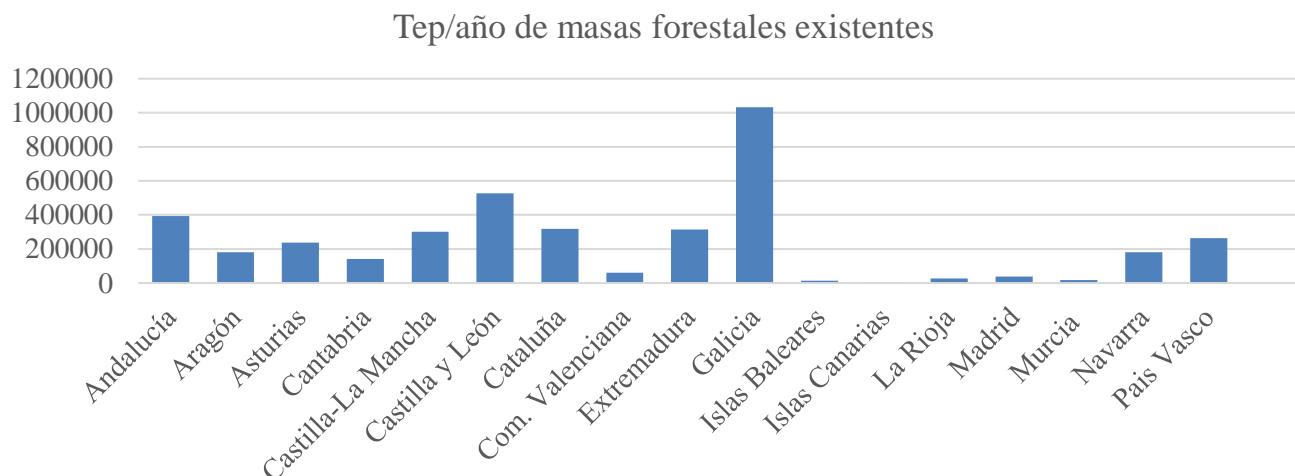
El actual Plan de Energías Renovables en España (PER) 2011-2020 establece un objetivo de capacidad instalada en biomasa eléctrica de 1.350 MW en su borrador. La meta por alcanzar en el PER 2011-2020, es de 817 MW instalados en 2015 y 1.350 MW en 2020.

De momento, sigue habiendo un reducido número de centrales de producción eléctrica a partir de biomasa en España. Andalucía es la región que tiene más: 16, con potencia conjunta de 151 MW de los casi 500 MW instalados en España. Gran parte de esas centrales utilizan combustible procedente de la biomasa del olivar.



Ilustración 38. Recursos biomasa en España

Ref. IDAE



Ref. Elaboración propia. Fuente: IDAE

3.5. Climatología

Una de las constataciones que puede encontrarse en la literatura es que el consumo energético está relacionado en gran medida con la climatología. Esta dependencia tiene una doble cara: se precisa de la materia prima energética para combatir el frío y para combatir el calor, dependiendo esta relación de las características climáticas de cada zona.

Para realizar la estimación de consumo de calor o frío relacionándolo al clima local de cada emplazamiento presentaremos tablas donde se puede constatar los grados días en términos mensual a lo largo del año de cada localización.

Las necesidades de calor son variadas en cada emplazamiento estudiado como muestra el siguiente gráfico:

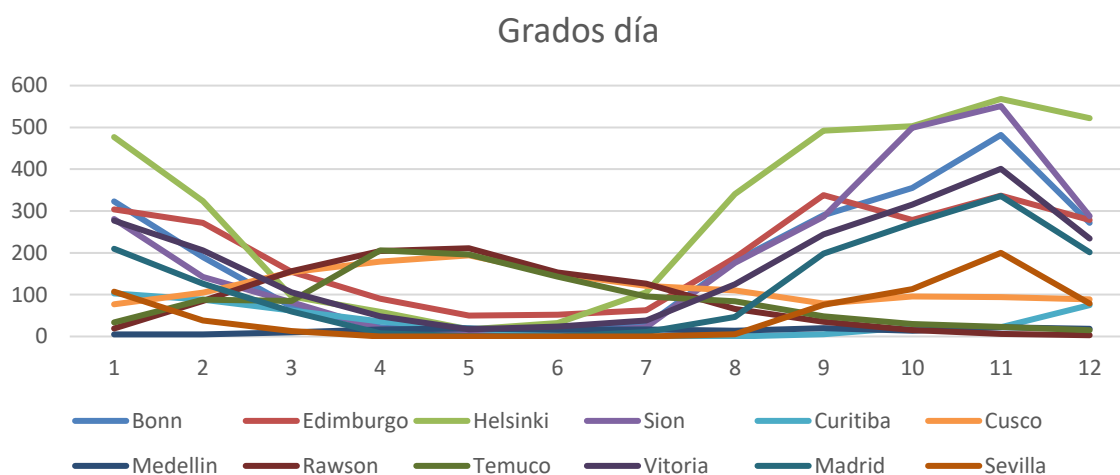


Ilustración 39. Grados día según localización

Ref. Elaboración propia. Fuente: Degree days

Una vez estudiadas los países elegidos, y con los criterios anteriormente descritos, las ciudades propuestas para su estudio son las siguientes:

- América del Sur: Curitiba (Brasil), Cusco (Perú), Medellín (Colombia), Rawson (Argentina) y Temuco (Chile).
- Europa: Helsinki (Finlandia), Bonn (Alemania), Sion (Suiza) y Edimburgo (Escocia).
- España: Vitoria, Sevilla y Madrid.

Se representarán a continuación algunos datos relevantes sobre los lugares seleccionados para el estudio.

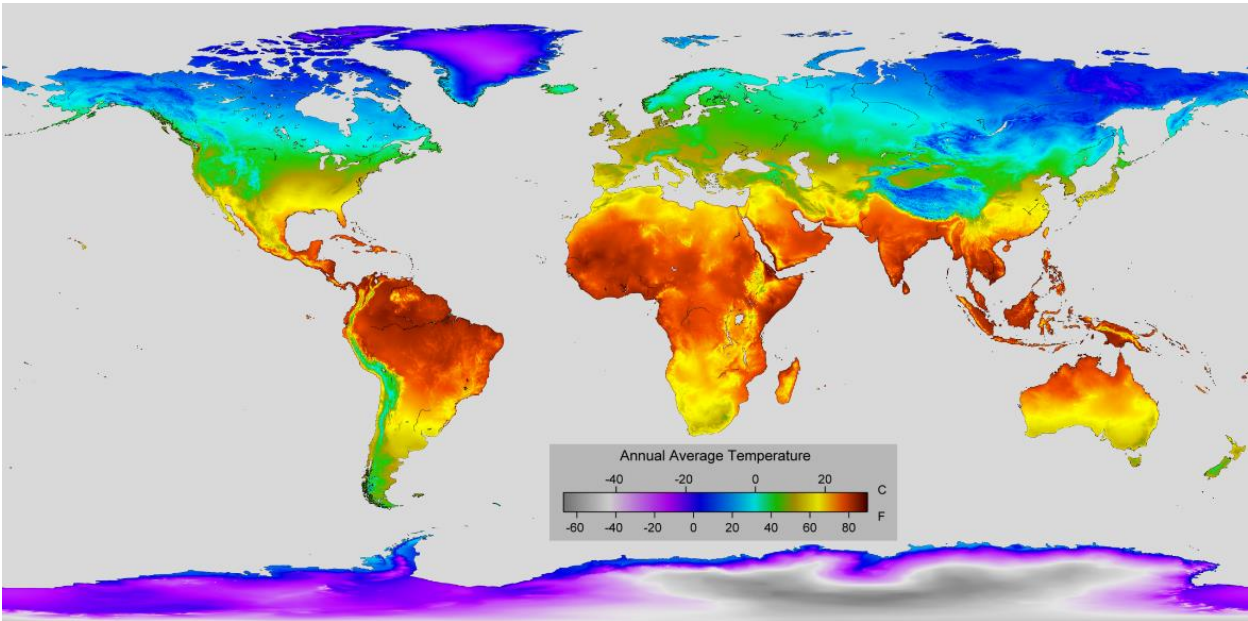


Ilustración 40. Temperatura media anual

Ref. University of Wisconsin

Resulta interesante las localidades elegidas en el sentido de que estamos barriendo prácticamente toda la esfera terrestre, tenemos localidades a distintas latitudes desde Finlandia, más al norte, a localidades en el sur de Argentina.

AMÉRICA DEL SUR

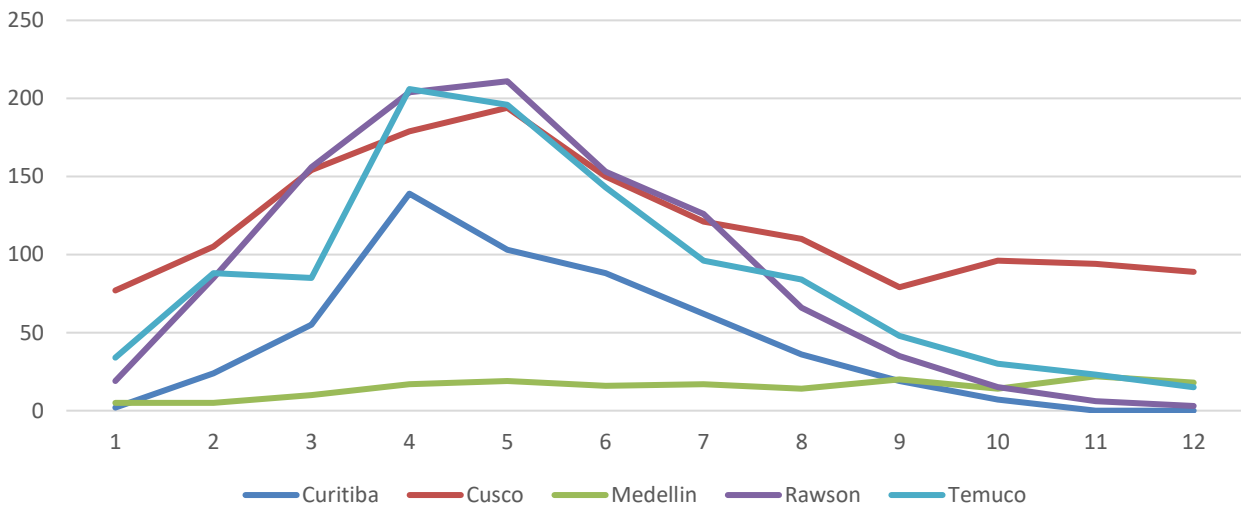


Ilustración 41. Grados día América del sur

Ref. Elaboracion propia

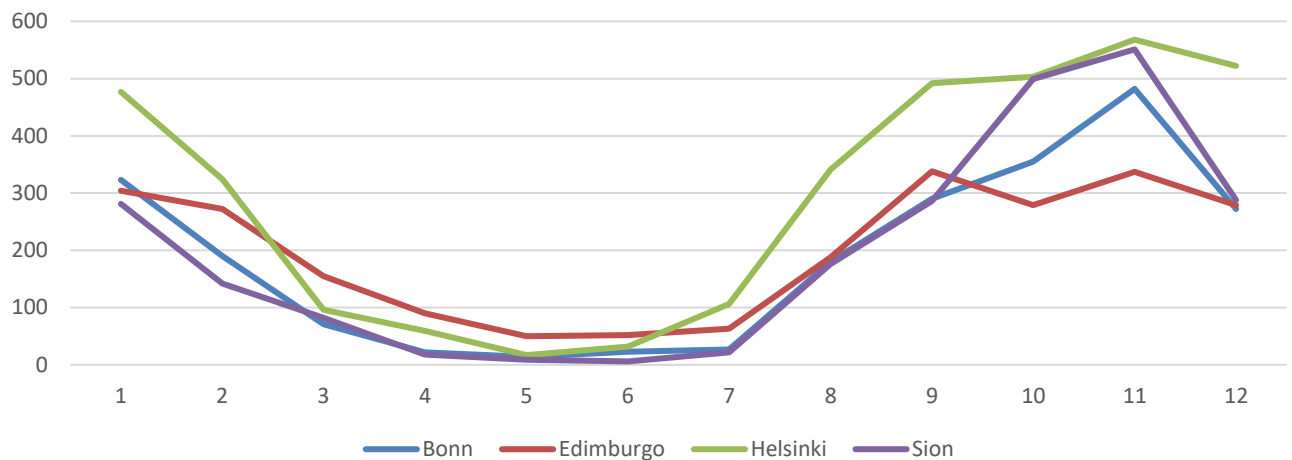
EUROPA

Ilustración 42. Grados día Europa

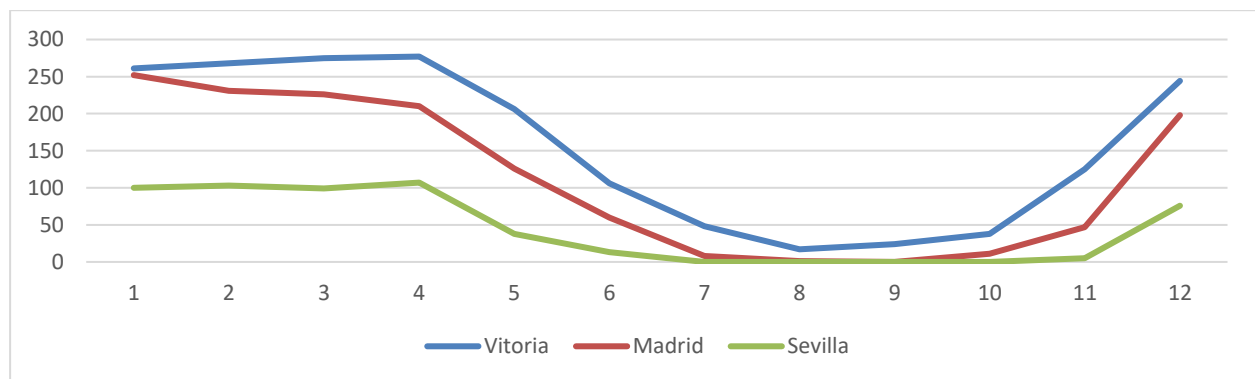
*Ref. Elaboracion propia*ESPAÑA

Ilustración 43. Grados día España

Ref. Elaboracion propia

Observando las gráficas que representan la variación de la demanda de calor a lo largo del año, podemos darnos cuenta de que los meses de consumo de calor entre la zona europea y Sudamérica es completamente opuesto al situarnos en hemisferios contrarios. Los grados día que pueblan la gráfica europea son mucho mayores en sus máximos de demanda que los que podemos ver en la zona del sur de América, por ello el consumo de calor en estos países será necesariamente mayor, algo que podíamos intuir en la representación de la media anual de temperaturas.

4 INTRODUCCIÓN A LA SIMULACIÓN

Una vez presentados los datos de las localizaciones que vamos a analizar y situados los emplazamientos, procedemos a comentar los análisis que se van a hacer, con objeto de situarnos en el contexto analítico de la simulación.

Los lugares elegidos como emplazamientos han sido seleccionados por una serie de condiciones antes descritas, estas condiciones son elementos básicos para un estudio sobre la viabilidad tecnológica para la integración de una localidad en un distrito térmico, por ello, se han tomado como guía para la elección del lugar a simular.

Lo que haremos será describir un modelo de distrito térmico, tendremos en cuenta, las entradas tanto de aire como de biomasa, la caldera donde se produce la combustión y el ciclón integrado en ella, un intercambiador principal que separa el circuito primario del secundario, una red de tuberías de impulsión y retorno, y posteriormente unos intercambiadores los cuales simularán el consumo de energía en las viviendas.

Este modelo lo iremos desarrollando a medida que vayamos añadiendo componentes, este desarrollo queda plasmado en el siguiente apartado.

El objetivo principal de esta simulación es analizar de una forma cualitativa, la influencia de diversos factores alterables en cada localidad, observar como influye la temperatura ambiente en la temperatura de consumo de un hogar, lo cual puede ser interesante desde el punto de vista de la implantación de redes de calor de baja temperatura, también realizaremos análisis teniendo cuenta la producción de CO₂, y su fracción molar a la salida de la caldera, o la influencia del consumo energético en el caudal de agua de impulsión, estos son algunos de los análisis propuestos para los posteriores apartados.

Hemos elegido Aspen plus para este análisis porque nos permitía simular de forma cualitativa los análisis mencionados, este software, nos permite llevar a cabo la selección de modelos termodinámicos que rigen el análisis, lo cual parece interesante puesto que nos permite elegir de forma indirecta las ecuaciones que vamos a utilizar, otro beneficio es que nos permite realizar la especificación de las corrientes de alimentación del proceso, es decir, el ingreso de los datos de cada una de las corrientes de alimentación pertenecientes al proceso, con un setup incorporado, permite llenar las especificaciones generales de la simulación, como lo son tanto las unidades de los datos de entrada como las de los resultados, el nombre de la simulación, el tipo de simulación, entre otras. También contiene datos sobre propiedades físicas de los componentes, lo cual lo hace idóneo para la simulación que queremos realizar.

La veracidad de los resultados obtenidos radica en el diseño óptimo del modelo a simular, por ello hemos decidido contemplar en el escrito, el proceso que ha llevado realizar el modelo en Aspen plus lo más completo posible.

4.1. Metodología

El proceso que vamos a seguir para el análisis será definir tres escenarios, que los denotaremos con las letras A, B y C.

Cada escenario representa unas localizaciones, el criterio de elección de estas, será el consumo energético, es decir, diferenciaremos entre tres consumos, uno de ellos será 3000 kWh, será el referente a localidades con una menor demanda de calor y un menor grados día, como pueden ser las localidades situadas más al norte de Sudamérica, posteriormente haremos de nuevo otra diferenciación que hemos denominado con la letra B, esta consta de un consumo energético de 7000 kWh, en la cual podremos situar dentro de ella a países como España, donde la media anual de consumo de calor y acs, se sitúa en este valor, y por último, C, le asignaremos el valor de consumo de 10000 kWh, más típicos de localidades frías, con una alta demanda de calor, como pueden ser Helsinki o Sion, en Finlandia y Suiza, respectivamente.

Se ha realizado una gráfica con la situación de cada localidad en estos rangos mencionados, con objeto de que todos los emplazamientos estén situados en un escenario de simulación.

Estos escenarios se simularán en el punto 6 y podremos ver una comparativa económica de ellos en el apartado de análisis económico.

A continuación, procedemos a comenzar a describir el modelo de Aspen plus propuesto.

5 MODELO DE SIMULACIÓN

El software utilizado para la simulación del modelo ha sido Aspen plus. Es un programa básicamente de simulación de procesos químicos, en el cual además de simulaciones de diagramas de flujo, se puede realizar: estimación de propiedades de compuestos, análisis de sensibilidad de variables de proceso, obtener especificaciones de diseño de proceso, y síntesis y análisis de procesos químicos.

Nuestro objetivo con este programa ha sido crear un modelo lo más coherente y exacto posible para nuestra aplicación, en primer lugar, hemos ido creando el modelo más básico y a partir de este, hemos ido desarrollando un sistema cada vez más completo, y acercándonos al modelo de red de calor actual.

Este software sofisticado puede ser usado en casi todos los aspectos de ingeniería de proceso desde la etapa del diseño hasta el análisis de costos y rentabilidad. Tiene una biblioteca modelo incorporada para columnas de destilación, separadores, cambiadores de calor, reactores, etc. Los modelos de comportamiento o propiedades pueden extenderse dentro de su biblioteca de modelos. Estos modelos del usuario son creados con subrutinas Fortran u hojas de trabajo Excel y se suman a su biblioteca modelo... Tiene un banco de datos de propiedades incorporado para los parámetros termodinámicos y físicos.

5.1. Datos de partida

Los datos iniciales que vamos a tomar se pueden comprobar en la bibliografía adjunta, la mayoría de información ha sido suministrada por fuentes consolidadas, otros datos han sido resultados de la simulación como partida de otros procesos posteriores.

En primer lugar, introducimos en el *setup* el tipo de método que vamos a utilizar a la hora de simular, este será *solids*, debido a que vamos a tratar con sólidos a la entrada, biomasa.

A continuación, tenemos que definir los componentes, en el apartado de especificaciones, que van a interactuar en la simulación, ya sea reactivo o producto.

Component ID	Type	Component name	Alias
BIOMASS	Nonconventional		
O2	Conventional	OXYGEN	O2
N2	Conventional	NITROGEN	N2
H2	Conventional	HYDROGEN	H2
S	Conventional	SULFUR	S
CO	Conventional	CARBON-MONOXIDE	CO
CO2	Conventional	CARBON-DIOXIDE	CO2
AIR	Conventional	AIR	AIR
H2O	Conventional	WATER	H2O
NO	Conventional	NITRIC-OXIDE	NO
SO2	Conventional	SULFUR-DIOXIDE	O2S
C	Solid	CARBON-GRAPHITE	C
ASH	Nonconventional		

Tabla 3. Componentes de la simulación

Tenemos que tener en cuenta que tanto la ceniza como la biomasa son de tipo no convencional y habrá que definir las.

En el apartado de methods, hemos seleccionado como métodos de referencia para la simulación los siguientes: SOLIDS (por tener una de las entradas como sólido), PENG-ROB (donde se definen las ecuaciones de estado), NRTL, (será necesario para el proceso de combustión) y por último IDEAL (para la aplicación de la ley de Raoult's y de Henry).

Para definir la biomasa hemos elegido los siguientes atributos (proxanal, sulfanal y ultanal):

Proxanal		Sulfanal		Ultanal	
Moisture	4.87	Pyritic	0	Ash	0.3
FC	50	Sulfate	0	Carbon	50.14
VM	49.7	Organic	0.01	Hydrogen	6.14
Ash	0.3			Nitrogen	0.08
				Chlorine	0
				Sulfur	0.01
				Oxygen	43.33

Tabla 4. Propiedades de la biomasa

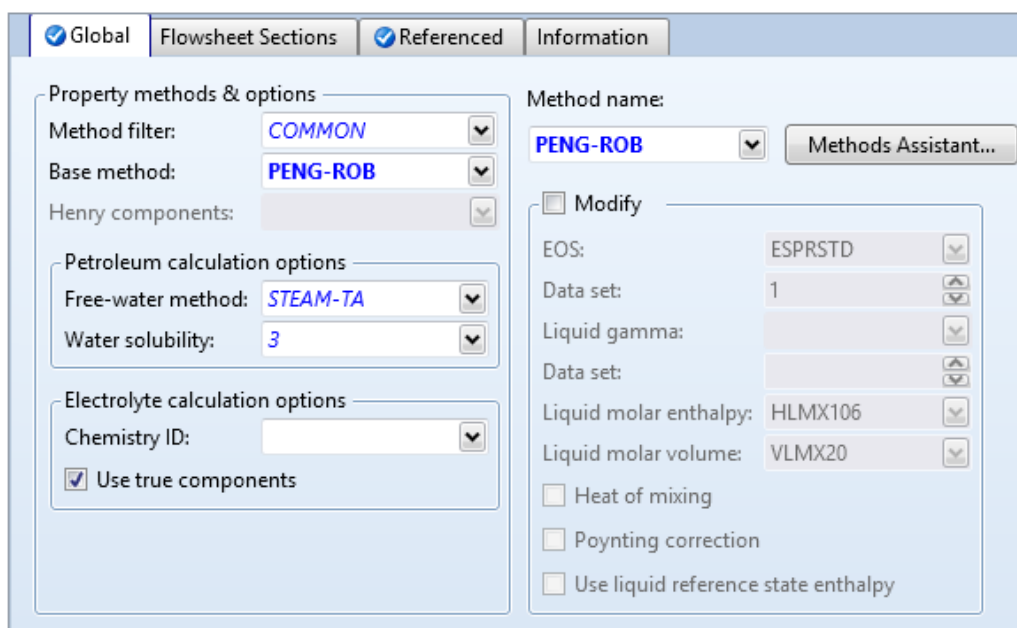


Ilustración 44. Elección método global

Al elegir como tipo de corriente MCINCPD, tendremos que definir todas ellas como MIXED, NCPSD ó CIPSD, realmente la mayoría de corrientes se caracterizan como MIXED, excepto aquellas que son sólidas como la biomasa o la de *ash*.

La corriente de biomasa al ser nombrada como NCPSD, será necesario definir su tamaño, al utilizar pellets para su aplicación hemos seleccionado el intervalo de tamaños 140-160 mm.

Con estos valores ya podremos comenzar a implementar el modelo, e iremos mostrando los valores y datos que hemos seleccionando a medida que vayamos añadiendo componentes a la instalación.

5.2. Escalado de modelos

El primer modelo que se logró simular era muy sencillo, consta de las entradas tanto de aire como de biomasa, y posteriormente un reactor del tipo RGIBBS, el cual simulaba la caldera.

Este tipo de reactores es un reactor de equilibrio con minimización de la energía de Gibbs, lo que realiza es un equilibrio químico y de fases por medio de esta energía mínima de Gibbs antes mencionada, y se utiliza principalmente para reactores con simultáneos equilibrios químicos y de fases, cálculo de equilibrios de fase para soluciones con sólidos y sistemas vapor-líquido-sólido.

Por ello es el idóneo para ser utilizado en nuestra caldera, aunque también podríamos simularla como RSTOIC, RYIELD o REQUIL.

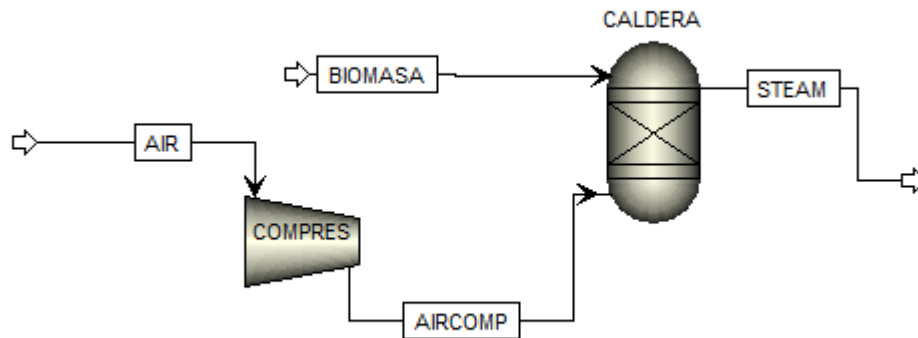
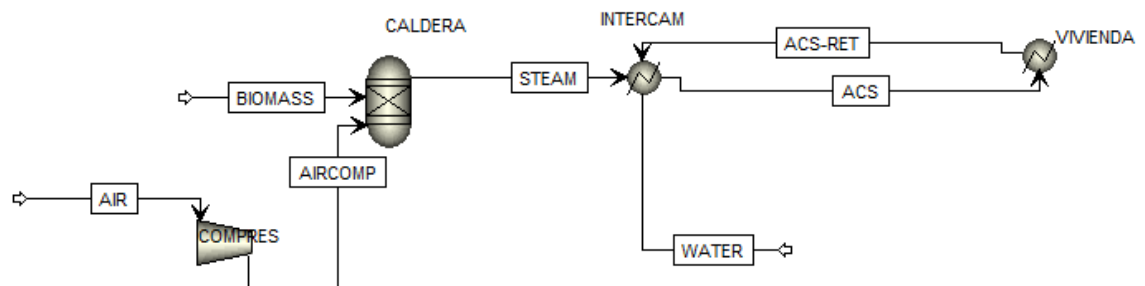


Ilustración 45. Primer modelo de simulación

La utilización de un compresor para el aire de entrada fue para evidentemente subir la presión de combustión, posteriormente fue eliminado debido a que las calderas de lecho fluido normalmente tienen combustión a presión atmosférica o ligeramente superior, no tenía sentido comprimir aire si la combustión se iba a dar a 1 bar.

Es cierto que es un modelo muy pobre de componentes, pero lo que se quería conseguir era un primer acercamiento al proceso de combustión en la caldera y la definición de parámetros de entrada.

Posteriormente, procedimos a integrar en el modelo un consumo de energía referente a la vivienda.



Después de este modelo, se cambiaron bastantes propiedades, tanto los métodos de la simulación, los tipos de corrientes, se simuló la caldera como adiabática y sin pérdida de carga, en vez de elegir las temperaturas y la presión de operación.

Se crearon design specs para, fijando una temperatura de ACS, variar la temperatura de gases en el intercambiador y así encontrar el valor exacto para poder fijar posteriormente el caudal de entrada de biomasa con otro design specs, limitando la temperatura de estos gases.

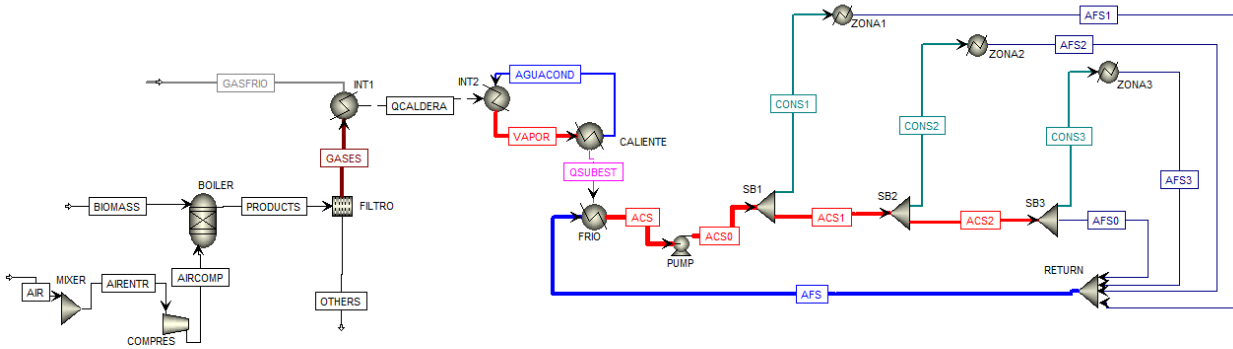


Ilustración 46. Modelo de simulación segundo

Como podemos ver en este modelo integramos el intercambiador principal (subestación) como dos intercambiadores con una corriente de transferencia de calor entre ellas, lo cual fue modificado posteriormente.

Incorporamos la red de tuberías secundaria, todo lo que conlleva el consumo de ACS en las viviendas, esta estructura fue modificada al completo en el siguiente modelo.

En estos modelos no se producía combustión en la caldera debido a que la biomasa, al ser una corriente no convencional, no estaba descompuesta por ello no producía reacciones cuando se encontraba al aire en el reactor. La solución fue crear una calculadora de combustión y un reactor anterior a la caldera que lo que hiciera fuera descomponer esta corriente en sus componentes principales.

Antes de realizar la calculadora de combustión, diseñamos un modelo intermedio algo más avanzado, recirculamos los gases de escape para calentar el aire de entrada, debido a que salían a muy alta temperatura, pero no quedó ahí, en vez de recircularlos, lo que hicimos fue intentar bajar esa temperatura de gases de salida reduciendo los caudales de entrada tanto de biomasa como de aire, parecía lo más elocuente, además estábamos reduciendo costes en este proceso.

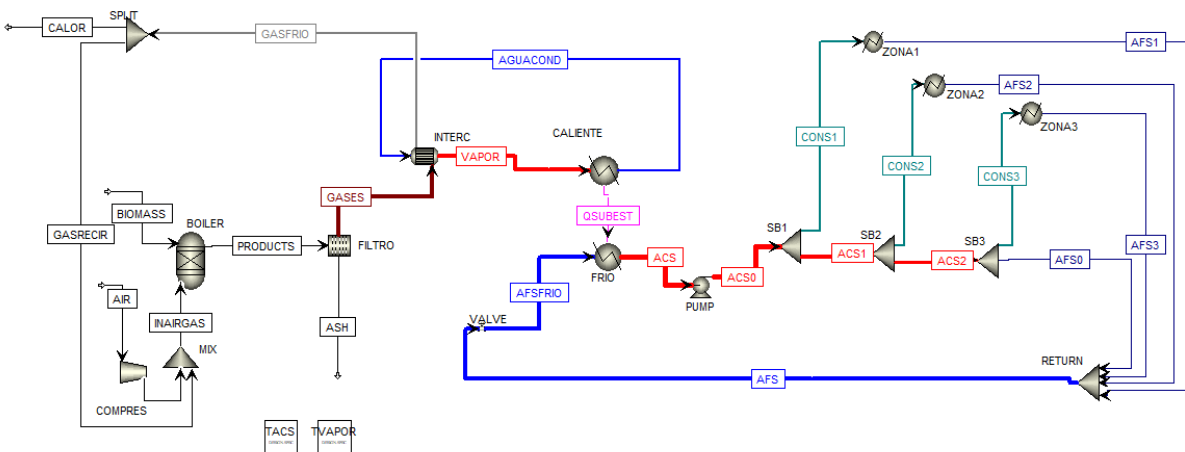


Ilustración 47. Tercer modelo de simulación

A continuación, tuvo lugar la creación de la calculadora de combustión y el reactor de descomposición de la biomasa, para ello nos servimos de un artículo que consta en la bibliografía (*Getting Started Modeling Processes with Solids*).

El proceso fue el siguiente:

-Definimos una calculadora llamada combust.

-Definimos las variables que en ella van a interaccionar como muestra la ilustración 47, creamos tanto las corrientes de ULT y WATER, como las demás variables de tipo *BLOCK*.

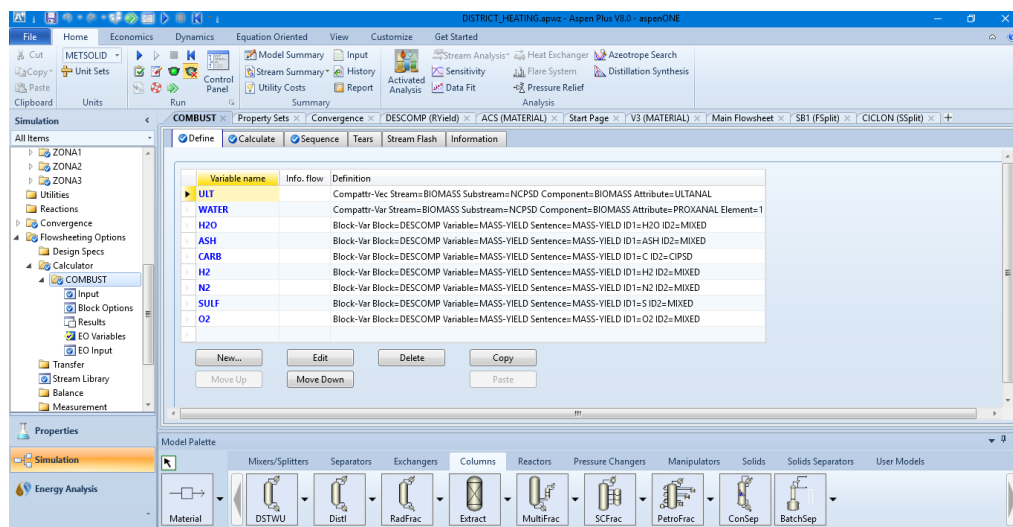


Ilustración 48. Calculadora de combustión

- Presentamos las ecuaciones que rigen el cálculo de la combustión en Fortran.

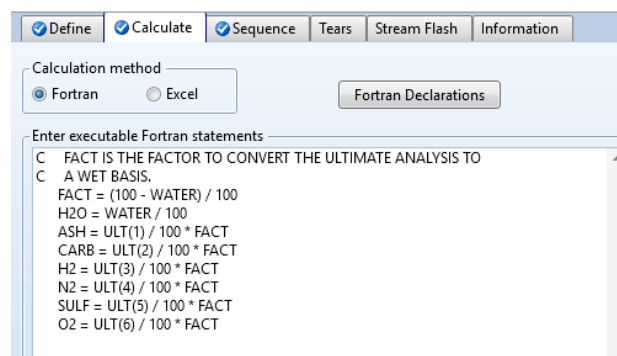


Ilustración 49. Ecuaciones calculadora combustión

-Por último, describimos la secuencia de ejecución y el tipo de bloque (descomp).

5.3. Modelo definitivo

Las propiedades de temperatura y presión en la descomposición son las mismas que las de la biomasa, introducimos el rendimiento de esta descomposición, el tamaño de los sólidos y por último las componentes de la biomasa que anteriormente presentamos en la tabla 4.

Modificamos el modelo, sustituyendo el filtro posterior a la combustión por un reactor, debido a que las calderas de lecho fluido lo contienen al final del economizador.

Cambiamos de lugar la bomba de impulsión a la zona fría en el circuito secundario, y lo modificamos completamente, utilizamos un intercambiador para simular el consumo de energía en el hogar, y el intercambiador principal que anteriormente estaba compuesto por dos intercambiadores y una corriente de calor, lo sustituimos por un solo intercambiador, siendo posible esto mediante el cambio estructural de la red secundaria.

Posteriormente, se simulan las tuberías mediante la componente *pipeline* de Aspen plus, esto nos permite simular de una forma más exacta las pérdidas de presión y calor que se producen en la red secundaria, y poder modificarla según el tipo de aislamiento.

Por último, se realiza una calculadora para que la entrada de aire dependa exclusivamente del caudal de biomasa, lo que hacemos con ello es conseguir una relación de dosado del 0.2 aproximadamente, así la única variación que existe para el aire es aquella relacionada con la biomasa.

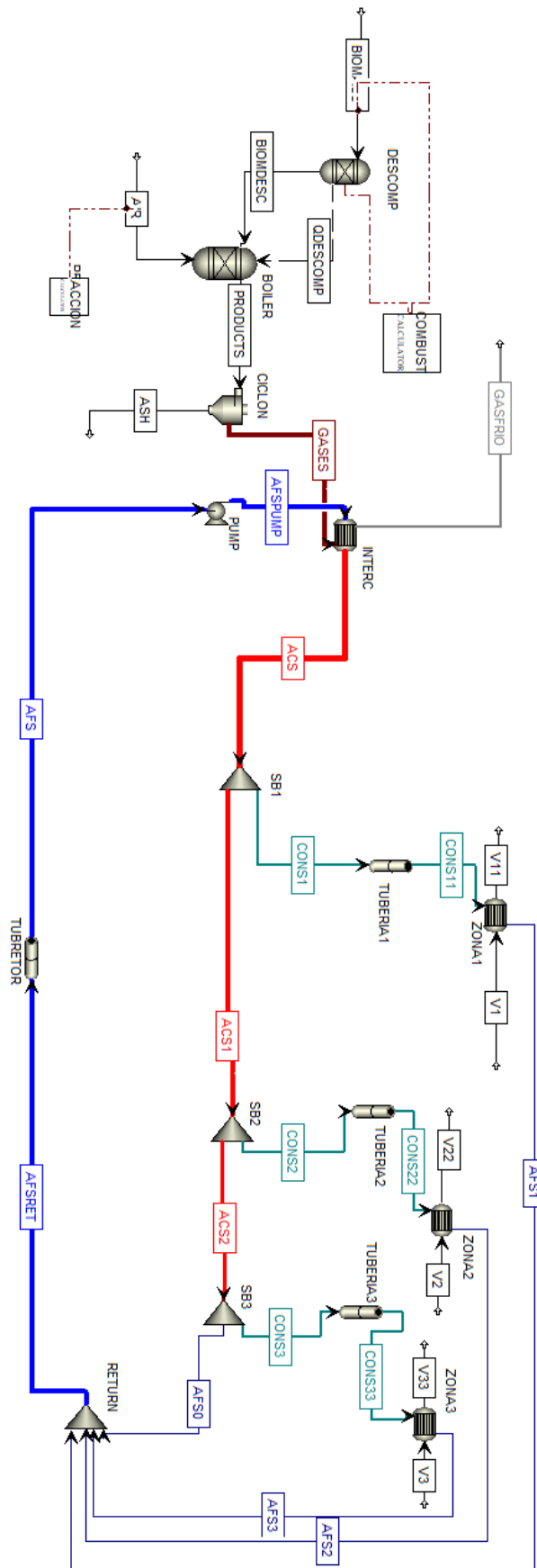


Ilustración 50. Modelo definitivo de simulación

Una vez logrado un modelo lo más coherente posible, del cual pudiéramos recolectar información congruente, lo que hicimos fue un caso base, con una serie de datos, para así describir la situación inicial antes del análisis de sensibilidad y comprobar la veracidad del modelo, para ello utilizamos los siguientes datos:

	Temperatura (°C)	Presión (bar)
<i>Ambiente</i>	15	1

Ilustración 51. Condiciones iniciales simulación

Las condiciones iniciales en el intercambiador principal son las siguientes:

	Units	ACS	AFSPUMP	GASES	GASFRIO
▶ Mass Flow	KG/HR	5.4e+06	5.4e+06	8.5295e+06	8.5295e+06
▶ Mass Enthalpy	GCAL/HR	-2.01587e+06	-2.0319e+06	-,5110131	-2.11369e+06
▶ MASSFLOW					
▶ O2	KG/HR	0	0	1.16433e+06	1.16433e+06
▶ N2	KG/HR	0	0	6.37559e+06	6.37559e+06
▶ H2	KG/HR	0	0	0.0139986	0.0139986
▶ S	KG/HR	0	0	0	0
▶ CO	KG/HR	0	0	0.257208	0.257208
▶ CO2	KG/HR	0	0	7.45447e+06	7.45447e+06
▶ AIR	KG/HR	0	0	0	0
▶ H2O	KG/HR	5.4e+06	5.4e+06	2.43414e+06	2.43414e+06
▶ NO	KG/HR	0	0	,7124958	,7124958
▶ SO2	KG/HR	0	0	0	0

Heatx results

Calculation Model: Shortcut

	Inlet		Outlet	
Hot stream:	GASES		GASFRIO	
Temperature:	839.931	C	147.133	C
Pressure:	1	bar	1	bar
Vapor fraction:	1		1	
1st liquid / Total liquid	1		1	
Cold stream:	AFSPUMP		ACS	
Temperature:	72.8048	C	100	C
Pressure:	16	bar	16	bar
Vapor fraction:	0		0	
1st liquid / Total liquid	1		1	

Ilustración 52. Condiciones iniciales del intercambiador principal

Podemos observar en la ilustración anterior, las propiedades de las cuatro corrientes que interactúan en el intercambiador (entradas y salidas), tendremos unos gases de entrada a 840 °C y una salida de 147 °C, por otro lado, la corriente del lado frío de sitúa en un valor de 72.8°C calentándose hasta 100°C a la salida de dicha subestación.

El consumo de las viviendas quedó fijado en 80°C y un retorno de 55°C, para este primer análisis, ara la tubería de retorno elegimos una distancia de 1,5 km y en principio se simuló como adiabática, con unas pérdidas de presión equivalentes a 100 Pa/m, la velocidad del agua dentro de este conducto suele ser del orden de 1 m/s y la presión de descarga en una vivienda es de 2.5-3 bar.

El balance de materia en el ciclón es el siguiente representado:

Summary	Balance	Status			
	Total	Units	In	Out	Rel. diff
>	Mole-flow	kmol/hr	294.45	294.45	0
>	Mass-flow	kg/hr	8614.8	8614.8	0
>	Enthalpy	Gcal/hr	-0.510665	-0.510665	0
Conventional components					
	Total	Units	In	Out	Rel. diff
>	Mole-flow	kmol/hr	294.45	294.45	0
>	Mass-flow	kg/hr	8529.49	8529.49	0
Non-conventional components					
	Total	Units	In	Out	Rel. diff
>	Mass-flow	kg/hr	85.305	85.305	0

Ilustración 53. Condiciones iniciales en el ciclón

Con una entrada de 8614.8 kg/h, la materia no convencional separada es de 85.3 kg/h.

En cuanto a la caldera tiene las siguientes características iniciales:

RGibbs results		
Outlet temperature:	839.931	C
Outlet pressure:	1	bar
Heat duty:	-459.136	kW
Net heat duty:	0	Gcal/hr
Vapor fraction:	1	
Number of fluid phases:	1	
Maximum number of pure solids:	1	

Ilustración 54. Condiciones iniciales de la caldera

Una vez descrita las condiciones iniciales de la instalación procedemos a realizar los análisis pertinentes de sensibilidad.

Para esta situación inicial se ha calculado la eficiencia de la red de distribución, lo que se ha hecho es comparar la potencia consumida en la subestación con la cedida en los hogares:

Si suponemos un consumo del primer barrio de 60 viviendas, típico de barrios con menor densidad de población, un segundo barrio de 90 viviendas y un tercero de 130 viviendas, podemos calcular el consumo de energía total y así su potencia transferida en los intercambiadores simulados.

	m (kg/s)	Cp (kJ/kg K)	T1 (°C)	T2(°C)	Q (kW)
Qutil 1	3.177	4.18	55	80	331.9965
Qutil 2	4.766	4.18	55	80	498.047
Qutil 3	7.148	4.18	55	80	746.966
					Suma
					1577.0095
Qintercambiador	1863.91	kW			
Eficiencia	85%				

Tabla 5. Cálculo de la eficiencia del circuito secundario

Lo cual quiere decir que tendremos un porcentaje de pérdidas de calor correspondiente al 15%, las cuales ocurren principalmente en las tuberías y en los intercambiadores, tanto el principal como los individuales de cada barrio simulado, al no tener una eficiencia igual a 1.

5.4. Simulaciones

El objetivo de estas simulaciones es analizar el comportamiento del modelo de distrito térmico ante fluctuaciones de varios parámetros, la mayoría de estos parámetros se ve modificado en cada emplazamiento.

Se han realizado análisis de sensibilidad de los parámetros variables, estos análisis lo que hacen es representar la variación de un parámetro respecto a otro, del cual se ha limitado con valores de simulación.

5.3.1 Cobertura de la demanda

Para este apartado se han calculado los caudales simultáneos que se dan en los edificios según el número de viviendas, para así poder dictaminar el caudal circulante que hay que calentar en el intercambiador simulado, para este cálculo hemos tomado de referencia el procedimiento que propone IDAE para su resolución.

La fórmula que rige el caudal de simultaneidad es el siguiente:

$$Q_c = A \cdot (Q_T)^B + C$$

Desde IDAE se estima que el consumo por vivienda individual es de 0.875 l/s

Con lo cual un edificio de 60 viviendas requiere un caudal total de 50.7 l/s.

Si el caudal total supera los 20 l/s, que es nuestro caso, los coeficientes A, B y C son los siguientes:

$$A = 1.7$$

$$B = 0.21 \quad Q_c \left(\frac{l}{s}\right) = 1.7 \cdot 50.7^{0.21} - 0.7 = 3.177 \frac{l}{s}$$

$$C = -0.7$$

Es decir, para un edificio de 60 viviendas tendremos un caudal de simultaneidad de 3.177 l/s.

Posteriormente sumamos el caudal referente a calefacción, el cual resulta ser tres veces mayor del consumido por ACS, con lo cual tendremos un caudal que aportar de 13 l/s aproximadamente para un edificio de 60 viviendas.

Debido a que tenemos diferentes ocupaciones según la localidad lo que haremos será realizar tres análisis según su densidad poblacional y lo haremos de la siguiente forma:

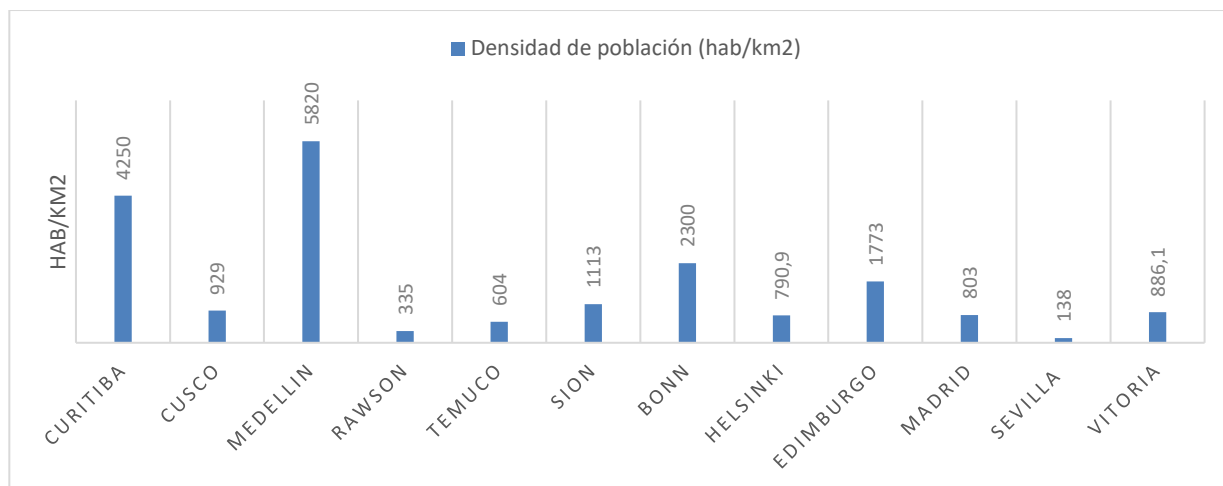


Ilustración 55. Densidad poblacional por localidad

Lo que haremos para este análisis será obtener los datos de consumo energético medio en los lugares seleccionados, y simularemos tres escenarios posibles los cuales son 3000 kWh, 5000kWh y 10000kWh.

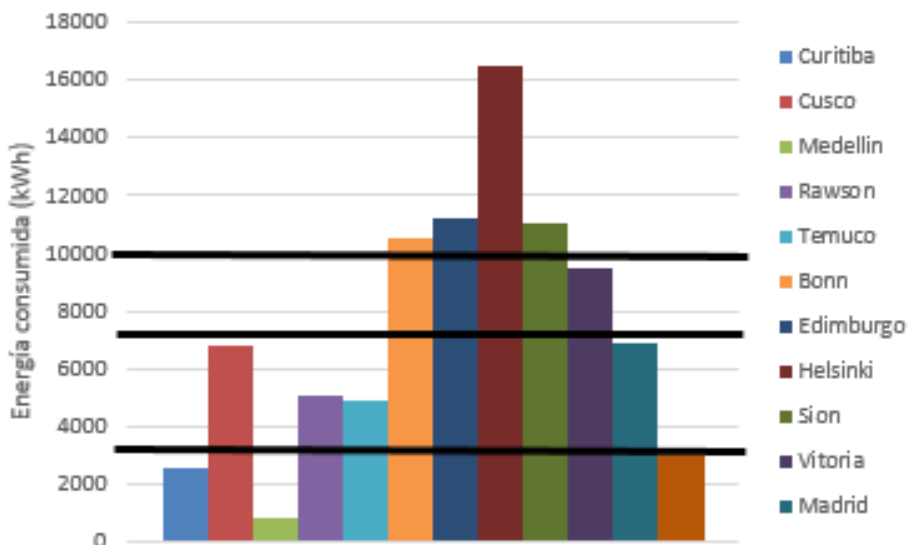


Ilustración 56. Tipos de escenarios de consumo según localidad

Si consideramos una temperatura de consumo de 80°C y una de retorno de 55°C (como los ya simulados) y unas horas de funcionamiento de la central de 1800h anuales, obtendríamos los siguientes valores:

Para proporcionar una energía de 3000kWh haría falta 1,6kW de potencia de instalación, para 7000 kWh una potencia de 3.9kW y para un consumo de 10000 kWh una potencia de 5.5 kW, con estos datos ya podríamos obtener el caudal de agua que se consume por vivienda:

- 3000 kWh corresponden 0.0255 kg/s
- 7000 kWh corresponden 0.0622 kg/s
- 10000 kWh corresponden 0.0877 kg/s

A partir de ello realizaremos un análisis de sensibilidad, lo que haremos será obtener el caudal de ACS y calefacción necesario para según la energía consumida abastecer a 100 viviendas con diferentes necesidades energéticas, fijamos las temperaturas de agua de impulsión en 100°C.

Con estos datos presentados estaríamos cubriendo el siguiente porcentaje de demanda:

Datos	Localidad	Rawson	Sion	Vitoria	Edimburgo
	Habitantes	71787	29304	244634	495360
	Densidad de población (hab/km2)	335	1113	886.1	1773
Cobertura de la demanda (viviendas)	100	0.56%	1.37%	0.16%	0.08%

Ilustración 57. Cobertura de la demansa en lugares seleccionados

Es decir, estaríamos cubriendo un 1.37 % de la población, por ejemplo, en el caso de Sion, Suiza.

Realizando este análisis en el modelo anteriormente descrito y teniendo en cuenta que cada barrio recibe un tercio del ACS impulsada, debido a que hemos dividido el caudal total en estos tres distritos para hacer el análisis, llegamos a la siguiente conclusión:

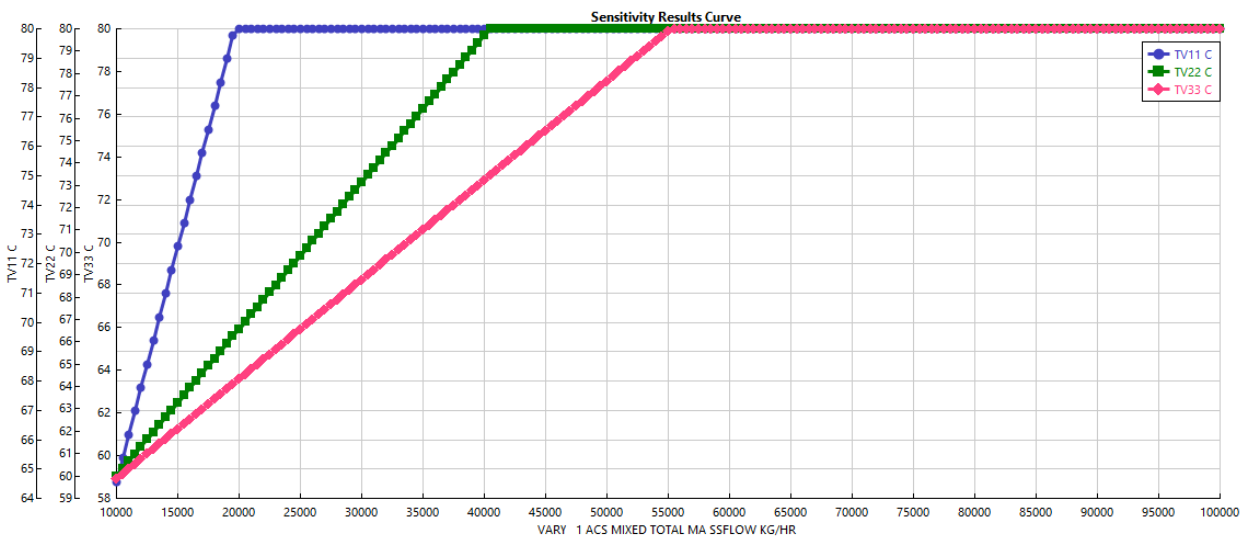


Ilustración 58. Variación del caudal de agua impulsada frente a la temperatura de servicio.

La línea hace referencia a un consumo de 100 viviendas de 3000 kWh, la línea verde simula un consumo de 7000 kWh y, por último, la azul un consumo de 10000 kWh.

También hemos considerado oportuno simular de una más cualitativa la diferencia de temperatura de servicio que podremos obtener en un edificio de 100 viviendas de la misma manera que se ha realizado la simulación anterior, este caso puede asemejarse a un consumo tipo de hogares sudamericanos, como pueden ser la localidad de Medellín en Colombia.

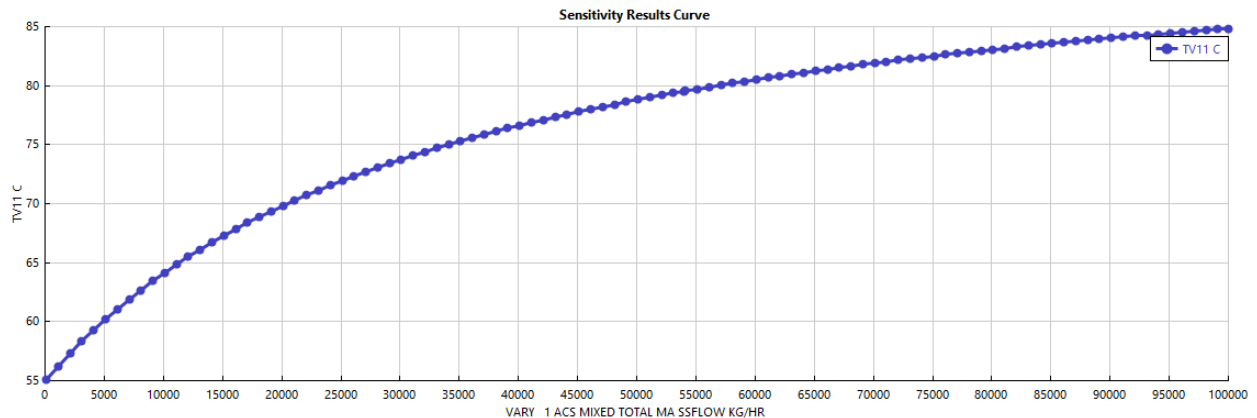


Ilustración 59. Variación de la temperatura de servicio frente al caudal de agua impulsada (100 viviendas) para una potencia de 2000 kWh.

5.3.2 Efectos de la temperatura de operación

Debido a que hemos considerado países de diferentes localizaciones parece interesante analizar la influencia de la variante climatológica en la aplicación del distrito térmico.

Para ello lo que hemos hecho ha sido variar la temperatura tanto de aire de entrada como de la biomasa de la caldera, para así tener en cuenta todos los escenarios posibles que pueden darse según la localización. Se ha tenido en cuenta las temperaturas mínimas y máximas que se dan en cada localidad y se hecho un barrido en el análisis desde -20°C (Finlandia) hasta 50°C (Brasil) como podemos observar en la siguiente ilustración.

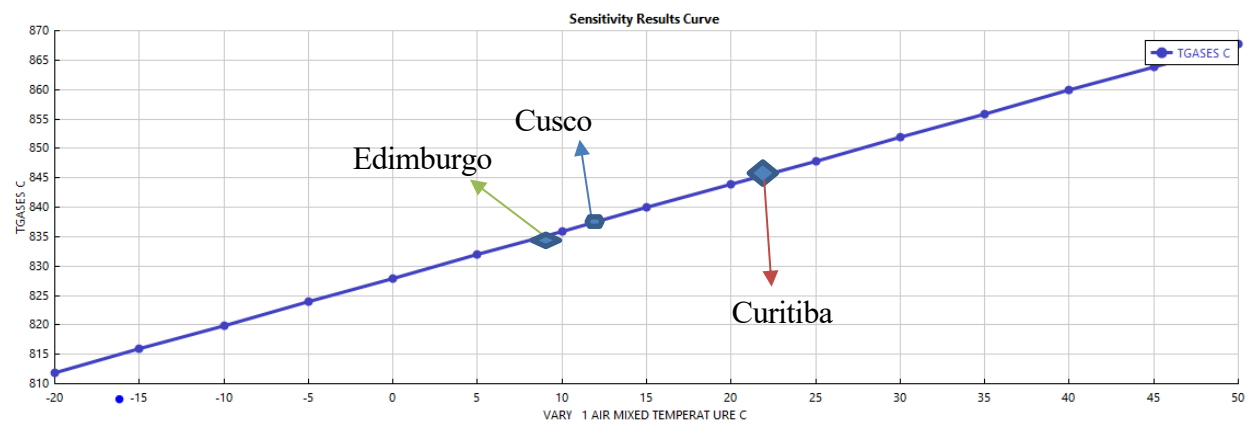


Ilustración 60. Efecto de la temperatura del aire de entrada frente a temperatura de gases de salida. Se han situado algunas de las temperaturas medias de las localizaciones estudiadas, para referenciar los resultados.

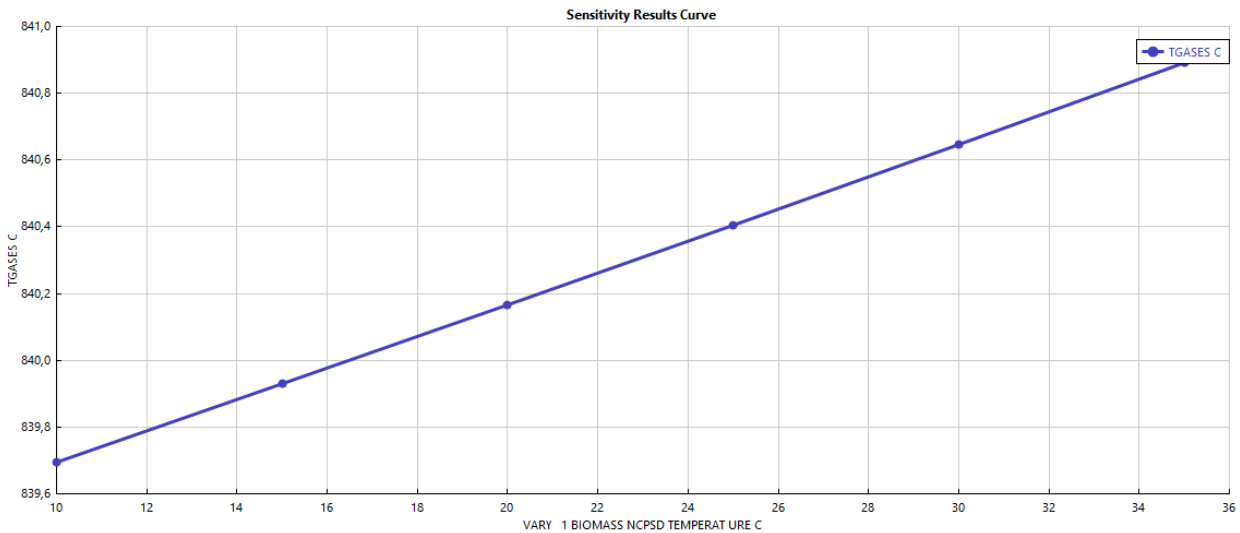


Ilustración 61. Efecto de la temperatura de la biomasa de entrada frente a temperatura de gases de salida.

Hemos seleccionado como dato relevante en la variación de la temperatura el efecto que tendría en la combustión, por ello hemos elegido la temperatura de salida de la caldera como variable representada, debido a que influye directamente en la reacción de combustión este resultado, así como en la producción de agua de impulsión para abastecer de agua caliente sanitaria y calefacción a los barrios simulados.

El rango de temperaturas simuladas para la biomasa es menor, debido a que este componente no alcanza temperaturas extremas de -20 ó 50 °C como puede ocurrir con el aire de entrada.

5.3.3 Efecto de los diferentes materiales de la conducción

Podemos utilizar diferentes materiales para el aislamiento de tuberías, aunque es algo que está hoy en día muy tipificado en el mercado, por ello los materiales que se usan para este cometido suelen ser comunes en las mismas áreas geográficas, aun así, hemos decidido realizar un análisis de la influencia de estos materiales en la conducción de agua caliente.

Lo que se ha realizado ha sido un modelo de edificio tipo, con un consumo fijo de ACS y calefacción, para que no influyera en el análisis, y posteriormente se ha dejado constante la distancia hasta la subestación, la cual ha sido fijada en 1 km en ambos análisis.

Las pérdidas de calor se han simulado con los siguientes valores:

	T1	T2	T3
Pérdidas de calor	150 W/m	200 W/m	300 W/m

Tabla 6. Análisis de pérdidas de calor en tuberías

Las pérdidas que hemos simulado como T3, son las equivalentes a los lugares más fríos analizados como pueden ser Finlandia, Suiza o Escocia

La gráfica que hemos obtenido de este análisis ha sido la siguiente:

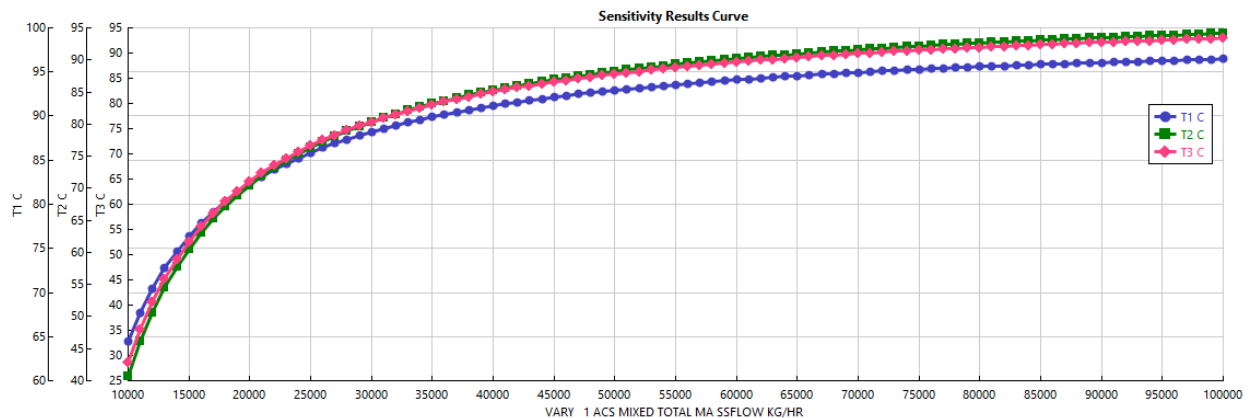


Ilustración 62. Variación del caudal de agua impulsión frente a temperaturas de servicio

Podemos observar en la gráfica anterior la influencia de la variación del caudal de impulsión de agua para calefacción y ACS, frente a los tres casos de análisis propuestos (T1, T2 y T3)

Este análisis se ha llevado a cabo con una variación de alturas o elevación de tuberías de servicio nula, por ello no se ha visto influenciado en el cálculo, el diámetro de las tuberías en todos los casos ha sido el mismo, por tanto, tampoco es una variante que haya podido influir en estos resultados.

5.3.4 Diferentes composiciones de biomasa y producción de CO_2

Debido a que la variedad de localidades estudiadas es amplia y que los recursos de biomasa, así como su composición se ven afectados por este factor, hemos decidido realizar un análisis para ver cómo afecta el porcentaje de carbono en la composición de la biomasa.

También se ha realizado un estudio sobre la influencia de esta composición en los gases de escape de la caldera, en especial se ha hecho hincapié en la producción de CO_2 en la combustión.

Para ello lo que hemos hecho ha sido un análisis de simultaneidad en Aspen, así se ha variado este componente de la biomasa, y hemos representado la temperatura de los gases de escape de la siguiente forma:

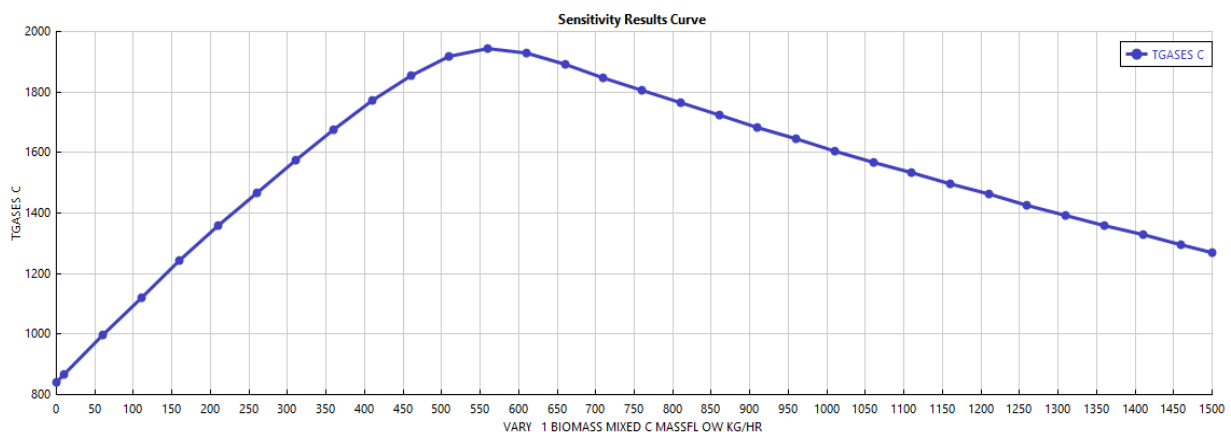


Ilustración 63. Variación de la temperatura de los gases de escape frente al porcentaje de carbono de la biomasa.

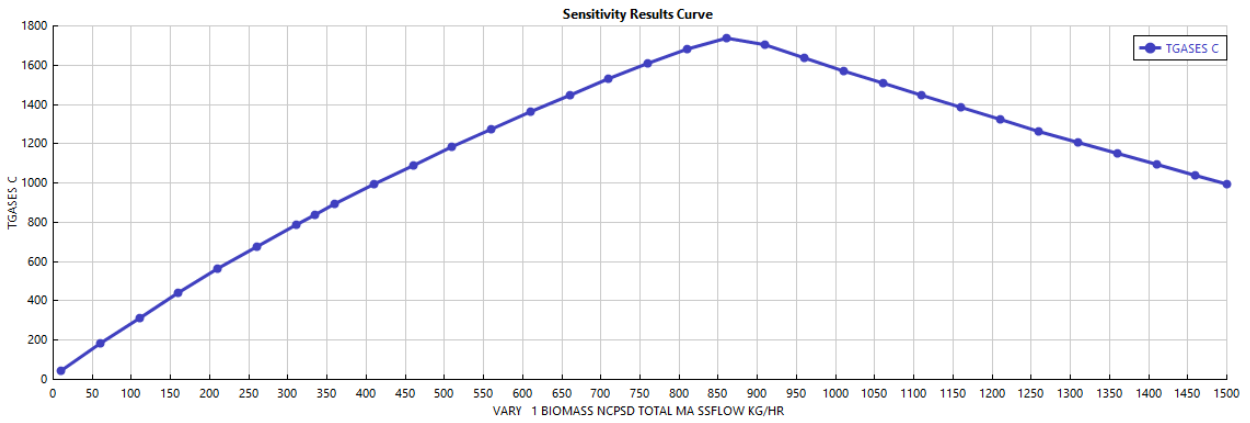


Ilustración 64. Variación de la temperatura de los gases de escape frente al consumo de biomasa.

Por último, se representa la variación de la producción de CO2 frente al consumo de carbono en la combustión.

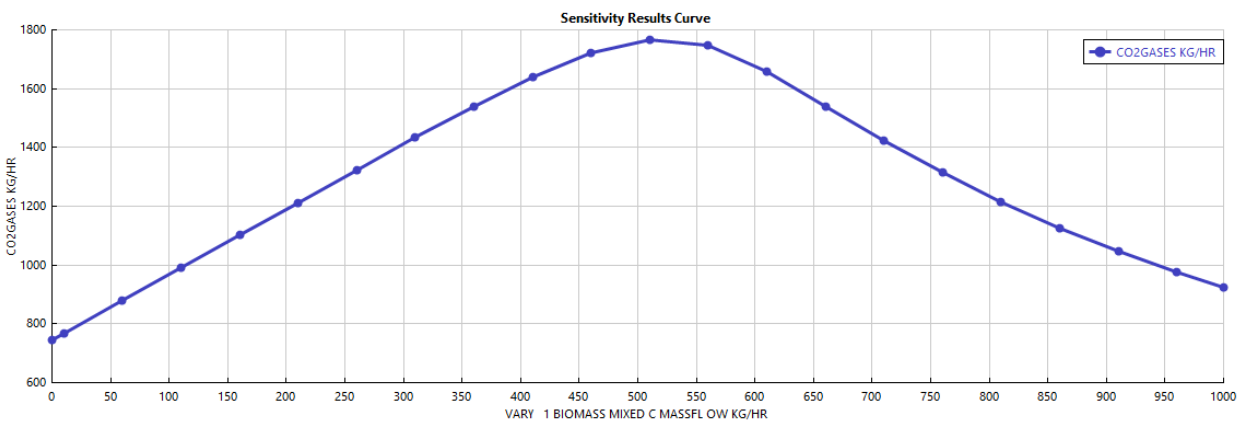


Ilustración 65. Variación de la producción de CO2 frente al porcentaje de carbono en la biomasa

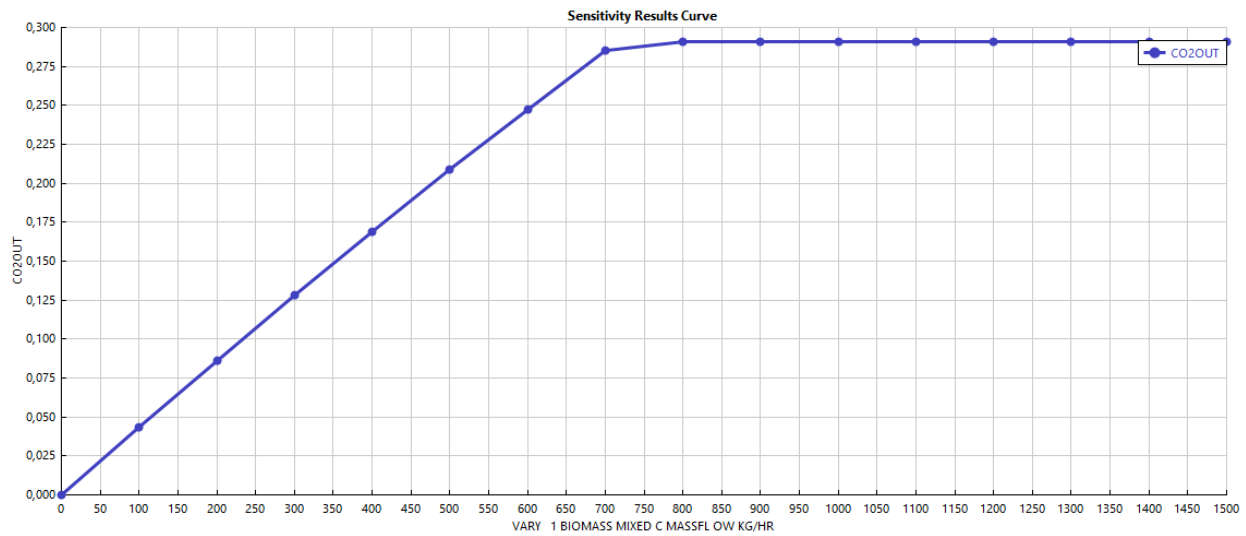


Ilustración 66. Variación de la fracción molar de CO₂ en gases frente al porcentaje de carbono en la biomasa

Para estos análisis se ha fijado el caudal de entrada de aire a la caldera, lo cual influye de manera muy directa en la tendencia de los resultados.

Según los parámetros iniciales que hemos simulado, para una entrada de biomasa de 335 kg/h, y una entrada de aire de 8280 kg/h, lo cual quiere decir una combustión estequiométrica, tendríamos una fracción molar de CO₂ a la salida correspondiente a 0.13, algo que entra dentro de los márgenes reales de producción de CO₂ en una combustión.

6 ANÁLISIS DE RESULTADOS

A partir de las gráficas obtenidas en el apartado anterior podremos obtener información sobre el comportamiento que representa las fluctuaciones de algunos de los parámetros anteriormente simulados.

En primer lugar, comentar que el modelo simulado, hemos intentado que sea lo más veraz y preciso posible, debido a que los resultados obtenidos parten de estos parámetros de entrada, al igual que las simulaciones aportadas.

Con la simulación de la cobertura de la demanda lo que se ha querido es dar una visión global de la fluctuación de la temperatura de agua de servicio, este análisis va más allá de satisfacer el consumo propio de los hogares, lleva intrínseco un análisis que se puede extrapolar a una modificación de las temperaturas de agua de ACS y calefacción, es decir, contempla la posibilidad de aplicar satisfacer demandas de hogares en barrios que requieran diferentes temperaturas de agua de servicio.

Algo que ya se está empleando en muchos lugares del mundo, comúnmente llamado, redes de calor de baja temperatura, las cuales pueden rondar los 60°C, uno de los valores simulados en nuestro análisis.

Podemos sacar en claro, algo que creíamos saber, el consumo de agua de impulsión es creciente (si mantenemos la temperatura) para redes con mayor consumo, queda representado en la ilustración 50. Donde podemos observar la siguiente tabla de consumos para una temperatura de servicio de 80°C.

Consumo energía para 100 viviendas	3000 kWh	7000 kWh	10000kWh
Agua de impulsión	20000 kg/h	40000 kg/h	55000 kg/h

Tabla 7. Consumo de agua de impulsión en función de la energía consuida para 100 viviendas

Por otra parte, en la ilustración 58, podemos ver la variación de temperatura en el agua de servicio de un barrio en función del caudal de agua de impulsión a 100°C, es importante este último dato puesto que dictamina el caudal que va a circular, es decir, si fijásemos la temperatura en ,por ejemplo 120°C, el caudal de agua de impulsión sería menor, puesto que la diferencia de temperaturas sería mayor con el foco frío, lo que implica una mayor transferencia de energía que reduciría el gasto de agua.

En cuanto al efecto de la temperatura de operación, es un análisis del cual podemos obtener varias conclusiones, la primera de ellas es evidente, cuando tenemos una mayor temperatura de aire o biomasa, la temperatura de salida de los gases aumenta.

Esta afirmación tiene varios comentarios, el primero es que es cierto que aumenta, pero no lo hace de la misma forma si variamos la temperatura del aire que la de la biomasa, es decir, la influencia que tiene el aire de entrada en la temperatura de salida de gases es mayor que la de la biomasa, y el motivo es muy simple, el caudal de aire que entra en la caldera es casi 5 veces superior al que se aporta de biomasa, por ello la influencia de este, será mayor.

Hasta el punto de que la variación de aire que hemos contemplado de -20 a 50 grados centígrados, es más posible que se de en una situación real, que la variación que puede darse en la temperatura de la biomasa, la cual es más complicado que llegue a estos límites de temperatura, por tanto, este será otro motivo por el cual la influencia de la temperatura del aire de entrada a la combustión es mayor que el de la biomasa.

La variación de la temperatura de entrada del aire desde -20 a 50°C tiene una influencia en el escape de la caldera de 810 a 870°C, es decir, una fluctuación de 60°C, mientras que el efecto de la biomasa solo recorre los valores de 838 a 841°C, queda constatada que la influencia del aire de entrada es mucho mayor que la de la biomasa en términos de temperatura.

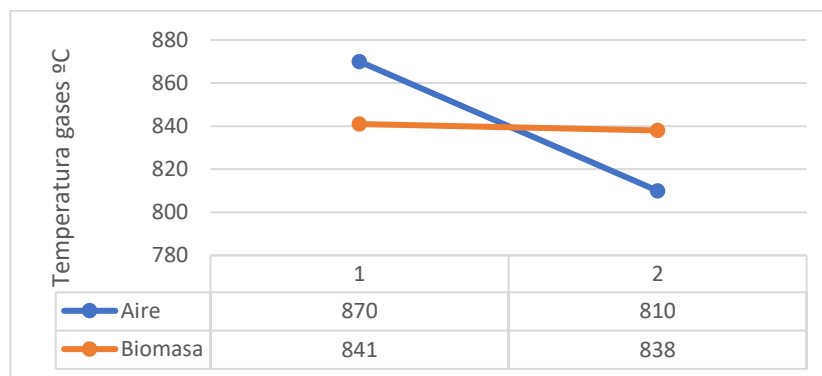


Ilustración 67. Variación de la temperatura de gases frente a temperatura ambiente

El efecto de los materiales de la conducción es demostrado mediante la representación de la ilustración 54, lo que podemos constatar de este análisis en el cual se tomaron varias suposiciones, las cuales ya fueron descritas en apartados anteriores, es que al principio de la gráfica la curva muestra una escalada significativa hacia el valor requerido de servicio, para posteriormente cambiar su dinámica y asentarse casi en una recta que fluctúa más cercana al valor de 95-100°C, esto ocurre debido a que la temperatura de agua de impulsión es de 100 grados, por tanto, nunca superará ese valor, debido a las pérdidas, y para que se acerque lo más posible a él, lo que tiene que ocurrir es que el caudal circulante sea lo más próximo a infinito posible, es decir mientras mayor es el caudal circulante, si mantenemos las pérdidas constantes, el valor de temperatura de servicio al que podremos llegar será lo más cercano a 100°C, en nuestro caso, la temperatura de agua de impulsión.

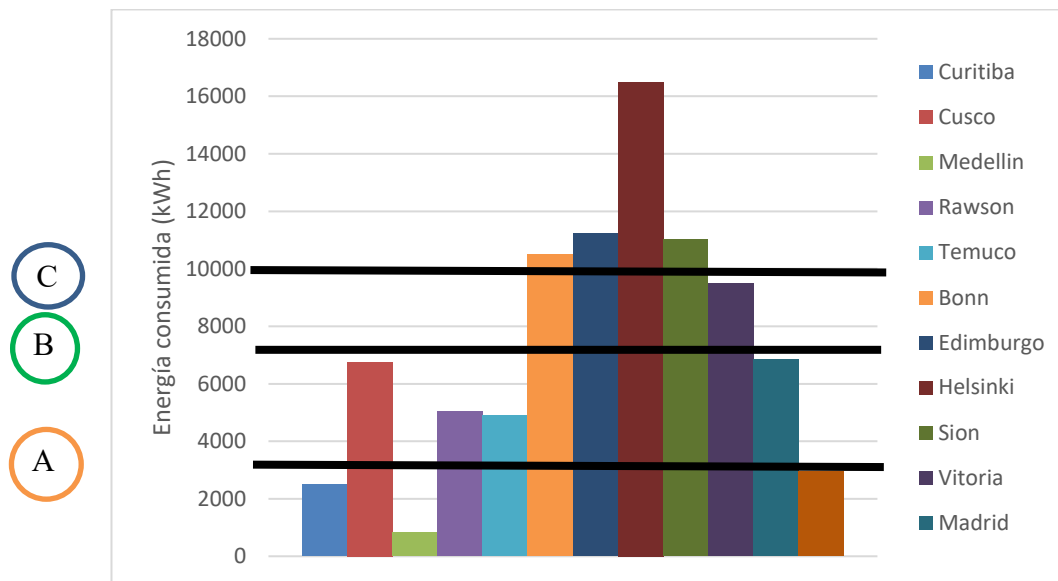
En cuanto a la producción de CO₂ y la influencia de la composición de la biomasa, podemos observar en las gráficas de este apartado, que estas tienen una dinámica de escalada hacia un valor variable dependiendo del caso de la variación del parámetro correspondiente al eje x, del cual posteriormente caen, esto se debe a que la simulación se realiza con un caudal de aire fijo, lo que ocurre es que a medida que seguimos ingresando biomasa, la combustión se satura, y por ello llega a un valor en el cual ya no se produce combustión debido a un exceso de este parámetro de alimentación. Por ello decae posteriormente la curva y consecuentemente disminuye tanto el CO₂ producido como la temperatura de los gases de salida a partir de este valor. Con la última gráfica podemos concluir que cuando ingresamos poco aire (menor estequiométrico), no se produce combustión y por ello, el porcentaje de CO₂ en la salida se ve afectado.

7 ESTUDIO ECONÓMICO

En el análisis económico realizado nos hemos centrado principalmente en estudiar el beneficio que contempla la aplicación del distrito térmico para un usuario en comparación con el de una vivienda individual.

Realizaremos dos análisis, un primer estudio sobre el beneficio de los pellets como combustible frente a otros más usados y en un segundo análisis, lo que haremos será analizar para tres escenarios de consumos energéticos distintos, correspondientes a las zonas de estudio y realizaremos una comparativa de costes de lo que supondría formar parte de un distrito térmico.

Hemos representado los consumos medios correspondientes a ACS y calefacción de los hogares propuestos para situarlos en una escala de tres sectores:



A la izquierda de la imagen podemos ver la distribución de escenarios propuestos, y donde se sitúa cada localidad en el.

Hay ciertos emplazamientos que al tener una fluctuación de grados día mayor, en los meses de julio y agosto, requieren menor consumo, este se puede cubrir con otro tipo de fuentes de energía, o con calderas de menor potencia. Como lo que estamos analizando es consumos medios anuales, no tendremos en cuenta esta puntualización.

7.1. Hipótesis iniciales

Para el cálculo del consumo de calor en el hogar, lo que hacemos es a partir de las temperaturas máximas y mínimas de cada zona, marcamos una zona de confort que se sitúa entre 19°C – 26°C, dentro de esta zona el consumo será nulo, y por debajo de ella es donde se localiza la zona de consumo energético, lo que haremos será simular los siguientes consumos.

	Zona cálida (A)	Zona media (B)	Zona fría (C)
Consumo energético (kWh anuales)	3000	7000	10000

Tabla 8. Escenarios de consumo

Los cálculos se han realizado bajo una base de ocupación del distrito de 200 viviendas, en los tres casos.

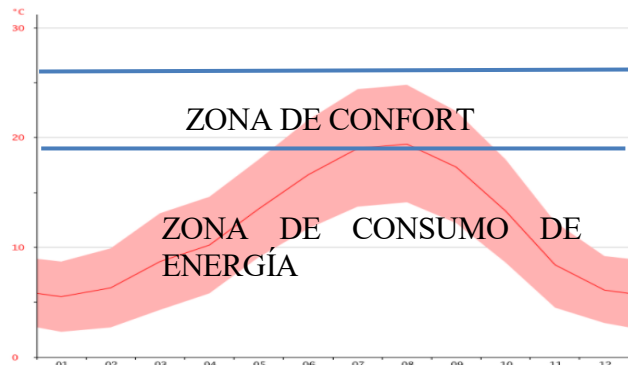


Ilustración 68. Ejemplo de zona de confort en una localización

7.2. Comparativa de combustibles

En primer lugar, estimamos algunos de los costes y propiedades la biomasa utilizada:

	<u>PODER CALORIFICO</u>	
Pellets	4900 kcal/kg	5.70 kwh/kg
Gasoil	8550 kcal/l	9.94 kwh/l
Gas natural	10 kwh/m ³	10 kwh/m ³
Electricidad	860 kcal/kwh	

Tabla 9. Poder calorífico combustible

Costes asociados a viviendas individuales:

PRECIOS CALDERAS	
Pellets	2600 €
Gasoil	200 €
Gas natural	600 €
Mes GN	9 €
subida pellets	1.00%
subida gasoil	7.00%
sudiga gas	3.50%
Mantenimiento	150 €/año

Tabla 10. Costes de calderas por combustible

	<u>COSTE</u> <u>COMBUSTIBLE(€/kwh)</u>	<u>RENDIMIENTO</u>	<u>ENERGIA A</u> <u>PRODUCIR (KWh)</u>	<u>COSTE sin</u> <u>iva</u>
PELLETS	0.033	0.92	7560	252 €
GAS NATURAL	0.0489	0.92	7560	370 €
GASOIL	0.11	0.90	7700	826.39 €

Tabla 11. Tabla de costes anuales por combustible

La energía a producir se ha referenciado a una zona de consumo energético medio, donde podemos localizar a países como España donde el consumo en ACS y calefacción se sitúa alrededor de los 7000 kWh anuales.

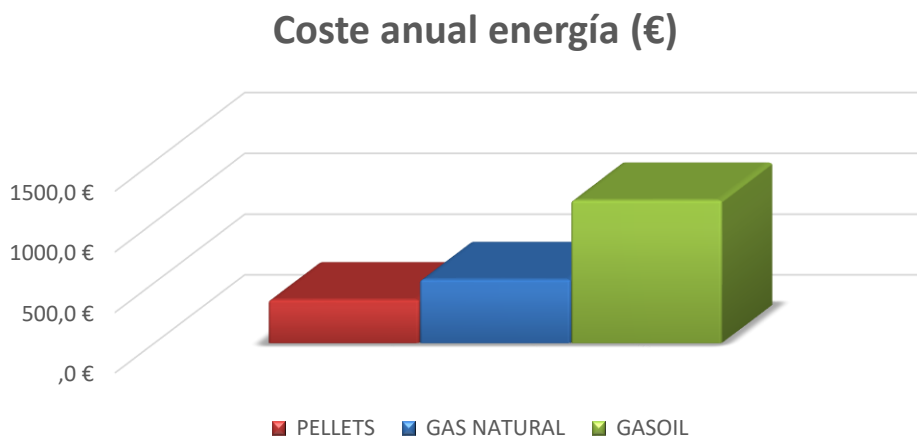


Ilustración 69. Coste anual de la energía por combustible

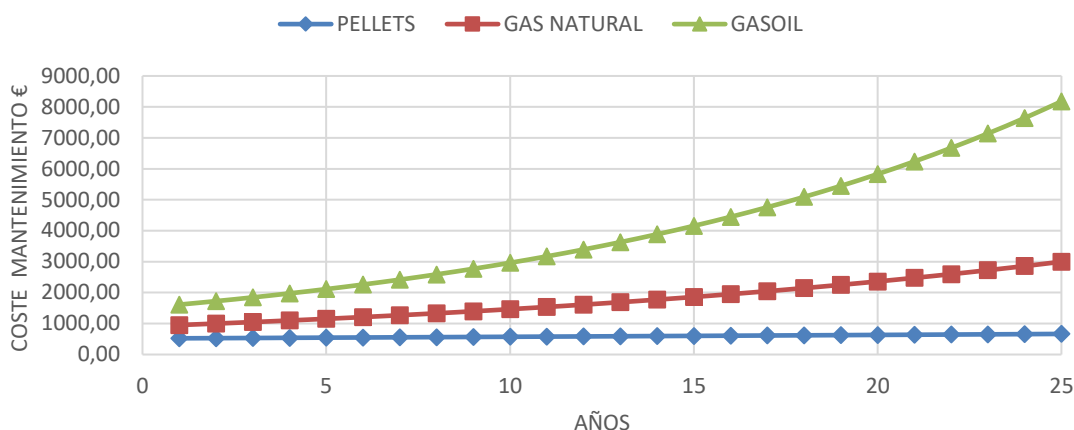


Ilustración 70. Coste de mantenimiento por combustible

El beneficio económico de los pellets frente a otros tipos de combustibles queda representado en la ilustración 68, los costes de mantenimiento asociados a este combustibles describen una curva mucho más plana a lo largo de los 25 años de vida de la central respecto al gasoil o gas natural.

Otro beneficio que puede leerse de esta gráfica es la influencia directa del gasoil y el gas natural respecto del precio del dinero, y los mercados globales, lo cual hace aún más atractiva la utilización de biomasa como combustible.

7.3. Cálculos vivienda individual vs distrito

7.3.1 Escenario A (zona cálida)

	<u>COSTE COMBUSTIBLE(€/kwh)</u>	<u>RENDIMIENTO</u>	<u>ENERGIA A PRODUCIR (KWh)</u>	<u>COSTE sin iva</u>
PELLETS	0.033	0.92	648000	21,609 €

	<u>AÑO</u>	<u>CALDERA PELLETS</u>	<u>por vivienda</u>	<u>vivienda individual</u>
COSTE INICIAL	0	599,043.48 €	2,995.22 €	2600
CONSUMO + MANT	1	47218.90	236.09	271.66
CONSUMO + MANT	2	47691.09	238.46	274.38
CONSUMO + MANT	3	48168.00	240.84	277.12
CONSUMO + MANT	4	48649.68	243.25	279.90
CONSUMO + MANT	5	49136.18	245.68	282.69
CONSUMO + MANT	6	49627.54	248.14	285.52
CONSUMO + MANT	7	50123.82	250.62	288.38
CONSUMO + MANT	8	50625.06	253.13	291.26
CONSUMO + MANT	9	51131.31	255.66	294.17
CONSUMO + MANT	10	51642.62	258.21	297.12
CONSUMO + MANT	11	52159.05	260.80	300.09
CONSUMO + MANT	12	52680.64	263.40	303.09
CONSUMO + MANT	13	53207.44	266.04	306.12

CONSUMO + MANT	14	53739.52	268.70	309.18
CONSUMO + MANT	15	54276.91	271.38	312.27
CONSUMO + MANT	16	54819.68	274.10	315.39
CONSUMO + MANT	17	55367.88	276.84	318.55
CONSUMO + MANT	18	55921.56	279.61	321.73
CONSUMO + MANT	19	56480.77	282.40	324.95
CONSUMO + MANT	20	57045.58	285.23	328.20
CONSUMO + MANT	21	57616.04	288.08	331.48
CONSUMO + MANT	22	58192.20	290.96	334.80
CONSUMO + MANT	23	58774.12	293.87	338.14
CONSUMO + MANT	24	59361.86	296.81	341.53
CONSUMO + MANT	25	59955.48	299.78	344.94
TOTAL		1,932,656.38 €	9,663.28 €	10,272.66 €

AHORRO (25 años)	6%
------------------	----

El cálculo se ha realizado a 25 años debido a que suele ser la vida útil de este tipo de redes, aunque algunas pueden llevar incluso a 40 años de vida.

Con lo cual, obtenemos que el ahorro en 25 años es del 6% respecto al de una vivienda individual, utilizando biomasa en ambos casos.

INDICADORES ECONÓMICOS	
TIR	7%
VAN	1233705
Pay-back (central)	35.30

Tabla 12. Indicadores económicos escenario A

7.3.2 Escenario B (zona media)

De la misma manera que el escenario anterior se ha procedido a calcular el ahorro que supondría a 25 años de vida útil la utilización de este sistema de distrito en comparación con una vivienda individual para una energía consumida de 7000kWh anuales.

INDICADORES ECONÓMICOS	
TIR	13%
VAN	3146990
Pay-back (central)	11.90

Tabla 13. Indicadores económicos escenario B

7.3.3 Escenario C (zona fría)

En este caso tendremos un consumo equivalente a 10000 kWh anuales, que puede darse en países más desarrollados y zonas de baja temperatura como es el caso de Finlandia, u otros países nórdicos.

INDICADORES ECONÓMICOS	
TIR	17%
VAN	4581953
Pay-back (central)	5.00

Tabla 14. Indicadores económicos escenario C

Es apreciable el aumento de indicadores económicos como el TIR, que nos representa la rentabilidad de la inversión, es la media geométrica de los rendimientos futuros esperados de ella.

El VAN es un procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión. Nos da de nuevo, una idea de la rentabilidad económica de la inversión.

Por último, el pay back, es una medida que nos proporciona una idea aproximada del tiempo que tardarán en recuperar el desembolso inicial invertido en el proceso productivo; es decir, el número de días que normalmente los elementos de circulante completen una vuelta o ciclo de explotación.

7.4. Comparativa económica

Para comparar estos tres casos, hemos realizado un simil entre los indicadores económicos anteriormente calculados, y lo hemos representado en la siguiente gráfica:

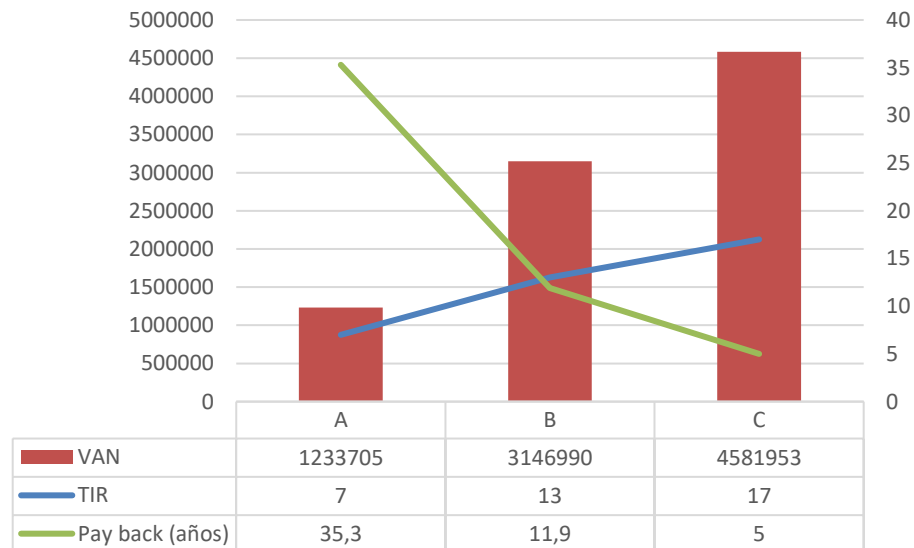


Ilustración 71. Comparativa económica de escenarios

Se puede apreciar en la ilustración 71, la rentabilidad económica que supone utilizar modelo de distrito en función de la potencia o energía consumida, para el caso C que tenemos una energía de consumo de 10000 kWh anuales, resulta significativo el ascenso de la rentabilidad que provocan indicadores como el VAN ó TIR.

Por último, realizamos una comparativa del LCOE, en función de la potencia nominal de la instalación con los siguientes parámetros, este parámetro es una evaluación económica del costo total promedio para construir y operar un activo generador de energía a lo largo de su vida dividido por la producción total de energía del activo durante ese período de vida. También puede considerarse como el coste medio mínimo al que se debe vender la electricidad con el fin de equilibrar la vida útil del proyecto.

Potencia nom (MW)	1	2.5	5
capex (€/MW)	180000	170000	150000
opex (€/MWh)	5	5	5
interés	5%	5%	5%
Vida	25	25	25

Tabla 15. Hipótesis para el cálculo de LCOE

El resultado de este análisis es el siguiente:

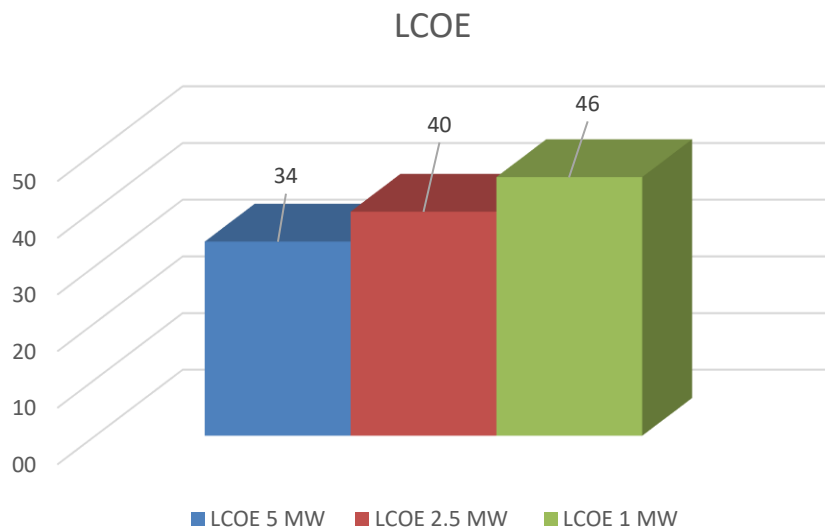


Ilustración 72. LCOE en función de la potencia de instalación en €/MWh

Con lo cual, a medida que aumentamos el tamaño de la central, los costes en €/kWh van disminuyendo, esto se debe a que los costes de los productos en grandes cantidades son relativamente más rentables por unidad de energía, es decir, el coste por kWh instalado es menor para centrales de mayor tamaño.

8 CONCLUSIONES

Lo que se ha desarrollado en este proyecto, es un análisis, de la influencia de varios factores que pueden ser modificables según la localización, para la limitación de estos parámetros nos hemos servido de un estudio previo de varios emplazamientos y sus respectivas características.

Durante este proyecto hemos constatado que muchas de las variables que influyen en las diferentes localizaciones, repercuten de manera directa en algún parámetro de salida en la simulación. Es evidente que muchas de ellas intervienen de una forma más manifiesta en los resultados, y esto es lo que se ha conseguido probar con el estudio realizado.

Al verificar muchos de los resultados obtenidos en los análisis comparativos, hemos demostrado que el modelo creado para simular la instalación de distrito es suficientemente congruente y va acorde a las características que rigen hoy en día este tipo de redes de calor.

Como conclusión al estudio económico podemos decir que las redes de calor son un método muy factible para abastecer de calefacción y ACS a los hogares, hasta el punto de que el ahorro frente a una vivienda individual resulta considerable. Una vez calculados los parámetros económicos, podemos decir que es viable la implantación de estos distritos, incluso beneficioso para el usuario no solo desde el punto de vista tecnológico sino también económico.

El ahorro económico de la emisión de gases de CO₂ es depreciable en un hogar integrado en un distrito térmico frente a una vivienda individual, pero el ahorro que supone para la población desde el punto de vista medioambiental es considerable, no solo por el hecho de que mientras mayor sea el sistema donde se produce la energía mayor será su rendimiento, sino también porque estaríamos concentrando todas las emisiones que produce un distrito completo en un punto cercado, con lo cual la reducción de estos gases sería además de más fácil, mucho más eficaz.

La gran ventaja que presenta la biomasa, además de la reducción de emisiones, antes mencionada, es la no influencia tan directa de los mercados financieros de la que goza, como puede ocurrir con el estrecho vínculo existente entre el precio del dinero y combustibles como el gas natural o el gasoil.

Finalmente, podemos decir que no es casualidad que países en Finlandia, sea una realidad la existencia de redes de calor para abastecer a una comunidad, de hecho, la mayoría de energía consumida en forma de calor y ACS en este país procede principalmente de distritos térmicos. Con lo cual no es ninguna utopía pensar que, dentro de un tiempo, muchos países tendrán implantados redes de este tipo, lo cual sería beneficioso para todos.

9 LÍNEAS FUTURAS DE TRABAJO

Hemos intentado barrer un amplio rango de estudio para el caso propuesto, pero sin duda, quedan muchas líneas de trabajo por cubrir.

En primer lugar, muchas de las redes de distrito, aportan tanto calor como frío, la mayoría de estas utilizando máquinas de absorción, esto es uno de los retos a cubrir en posibles trabajos futuros sobre este proyecto, la implantación de producción de frío para este tipo de redes. Incluso se podría adaptar el modelo planteado para la simulación de este estudio para su ampliación.

Aunque hayamos estudiado principalmente la biomasa como combustible primario, es posible integrar otro tipo de combustibles para la generación de calor. Hay países donde resulta interesante incorporar captadores solares en meses donde exista una mayor incidencia solar, lo cual hemos podido constatar en la representación de grados día anteriormente presentadas, incluso utilizar calderas auxiliares con combustibles como gas natural y petróleo, no siendo las principales, sino aportando un apoyo en instantes de consumo mayoritario. Todo ello complementaría el estudio realizado por este proyecto.

Incluso desde el punto de vista económico realizar un estudio de costes en las diferentes comunidades, y a partir de ello realizar una comparativa puramente económica, sobre donde sería más viable aplicar este tipo de instalación.

REFERENCIAS

- Andrews, D., Pardo-García, N., & Andrews, D. (2012). *Background Report on EU-27 District Heating and Cooling Potentials, Barriers, Best Practice and Measures of Promotion Contact information*. <https://doi.org/10.2790/47209>
- Bøhm, B., Leader, P., Kim, W., Kim, B., & Park, Y. (2002). *Simple Models for Operational Optimisation*.
- Boulter, R. (n.d.). Simulation Analysis for Integrating District Heating into An Existing Residential Neighbourhood in British Columbia.
- Fields, G. (2009). District Heating Modelling and Simulation.
- Johansson, C. (2005). Dynamic simulation of district heating systems.
- Modeling, G. S. (2004). Processes with Solids Who Should Read this Guide.
- Prieto, I. (n.d.). Centrales térmicas. sistemas de combustión en lecho fluido Ismael prieto.
- Sartor, K., Quoilin, S., & Dewallef, P. (n.d.). SIMULATION AND OPTIMIZATION OF A CHP BIOMASS PLANT AND DISTRICT HEATING NETWORK, 32(0).
- Urbanas, R. (n.d.). M6_ distribución de la energía: redes urbanas de calor y frío.
- Start , All Programs , Aspen Tech , Process Modeling V8.6 , Aspen Plus , Aspen Plus V8.6. (n.d.), 1–35.
- Universidad de Magallanes facultad de ingeniería departamento de química. (2012).
- Polycity*. (2010).
- Statistics overview. (2013), 2013.
- IDAE
- OCU
- Eurostat
- REHAU
- AEBIOM

