

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN EFICIENCIA ENERGÉTICA Y
SOSTENIBILIDAD EN INDUSTRIA, TRANSPORTE,
EDIFICACIÓN Y URBANISMO**

TRABAJO FIN DE MÁSTER

***ANÁLISIS DE COSTE ÓPTIMO DE ENVOLVENTE
E INSTALACIONES HVAC DE UN EDIFICIO BAJO
EL NUEVO CTE***

Estudiante
Director/Directora

Goenaga, Pérez, Ane
Campos, Celador, Álvaro
Teres, Zubiaga, Jon

Departamento
Curso académico

Máquinas y motores térmicos
2019-2020

Bilbao, 22, septiembre, 2020

RESUMEN

El siguiente proyecto pretende adentrarse en el campo de la construcción hacia el “Edificio de Consumo Casi Nulo”. La última actualización del CTE, que determina las exigencias para la construcción de los mismos, establece unos nuevos parámetros a cumplir que deberán ser estudiados y aplicados. Todo este proceso se realizará mediante la modelización de un caso de estudio ubicado en el País Vasco, más concretamente en Ermua. Se trata de un edificio de nueva construcción donde el objetivo será cumplir el estándar de edificio de consumo casi nulo mediante el aprovechamiento de los recursos tanto pasivos como activos. Todas estas mejoras se estudiarán gracias a la simulación que permite el programa Design Builder, de donde se obtendrán los diferentes parámetros que permitirán analizar cuál es la mejor relación de coste óptimo. Tras realizar la combinatoria de mejoras, se obtuvieron 179 casos. De los resultados de los mismos se puede observar la gran influencia de las ventanas como elemento clave en la pérdida de calor, siendo de vital importancia la instalación de ventanas de baja transmitancia térmica. Por otra parte, en lo que a las instalaciones de generación de calor respecta, aquellas que presentan una mayor relación de coste-consumo de energía primaria son los escenarios donde de combinan la geotermia, aerotermia o calderas de condensación con colectores solares.

Palabras clave: Edificio de Consumo Casi Nulo, Estudio de Coste Óptimo y Simulación energética; Design Builder.

LABURPENA

Hurrego proiektua kontsumo baxuko eraikinen arlo berrian barneratzea du helduru. Eraikuntzaren kode teknikoaren azken aktualizazioa, nonkontusmo baxuko eraikinen eskakizunak mugatzen dira, betebeharreko parametro berriak ezartzen ditu. Parametro hauek aztertzeko eta gero beraien aplikazioa emateko, Euskal Herrian, konkretuki Ermuan kokatuta dagoen kasu-azterketa baten bidez hedatuko da. Erakuntza hau, baliabide pasiko eta aktiboen bidez kontsumo baxuko eraikuntzaren estandarra lortzea du helburu. Prozesu hau Desing Builder-en simulazioei esker emango da, hemen parametro ezberdinak aztertuko dira, gero koste optimoaren erlazio hoberena lortzeko. Konbinazio guztiak egin eta gero, 179 kasu lortzen dira, hemenkin hainbat ondorio atera ahal daiteke, hauen artean nabargarriena transmitantzia baxuko leihoen garrantzia da. Beste aldetik, bero generazioaren instalazioen artean, geotermia, aerotermia eta kondentsazio galdarak kolektore solarekin ematen den konbinazioa da koste-kontsumo erlazio hoberena ematen duena.

Hitz gakoak: ‘Kontsumo Baxuko Eraikinak’, Koste Optimoaren Azterketa eta Simulazio Energetikoa; Design Builder.

ABSTRACT

The next project aims to be an introduction in the field of construction towards the NZEB. The last update of the CTE (Spanish Building Technical Code), which determines the requirements for the net-zero energy building, establishes some new parameters to be fulfilled that will have to be studied and applied. This whole process will be carried out by modelling a case study located in the Basque Country, more specifically in Ermua. For this new building the objective will be to comply with the standard of NZEB by taking advantage of both passive and active resources. All these improvements will be studied thanks to the

simulation program 'Design Builder', from which the different parameters will be studied and analysed in order to achieve the best cost optimal relation. After carrying out the combination of improvements, 179 cases were obtained, the main conclusion is the influence of the windows as a key element in heat loss, being the installation of low thermal transmittance window one of the best ways to achieve the NZEB standard. On the other hand, as far as the heat generation facilities are concerned, those that present a greater relation between cost and primary energy consumption are the scenarios where geothermal, aerothermal energy or condensing boilers are combined with solar collectors on the roof.

Key words: NZEB, cost-optimal analysis and Design Builder.

INDICE

RESUMEN.....	I
LABURPENA.....	I
ABSTRACT	I
ÍNDICE DE FIGURAS	IV
ÍNDICE DE TABLAS	VI
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ESTADO DEL ARTE.....	2
2.1 Herramientas de simulación	2
2.2 Casos de estudio	3
2.2.1 Sistemas pasivos.....	3
2.2.2 Sistemas Activos.....	4
2.2.3 Sistemas de integración de energías renovables	5
2.2.4 Otros factores	7
3. OBJETIVO Y ALCANCE.....	9
4. APLICACIÓN DEL CTE.....	10
4.1 HE0 Limitación del consumo energético.....	10
4.2 HE1 Condiciones para el control de la demanda energética.....	11
4.3 HE2 Condiciones de las instalaciones térmicas.....	12
4.4 HE4 Contribución mínima de energía renovable para cubrir la demanda de agua caliente sanitaria.....	13
5. METODOLOGÍA.....	14
5.1 DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO	14
5.2 ENTORNO.....	15
5.3 DEFINICION DE CASO REFERENCIA.....	17
5.3.1 Modelización geométrica del caso de estudio.....	18
5.3.2 Caracterización de los cerramientos.....	21
5.3.3 Cargas térmicas.....	26
5.3.4 Instalación caso base	31
5.4 ESCENARIOS ALTERNATIVOS.....	32
5.4.1 MEDIDAS PASIVAS	32
5.4.2 MEDIDAS ACTIVAS.....	35
6. RESULTADOS.....	36
7. CONCLUSIONES	40
ANEXOS.....	43
BIBLIOGRAFÍA	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Distribución de las herramientas por uso [6]	2
Figura 2 Limitación del consumo de energía primaria no renovable	10
Figura 3 Limitación del consumo de energía primaria total.....	11
Figura 4 Limitación de los valores de transmitancia	11
Figura 5 Limitación del coeficiente global de transmisión de calor	12
Figura 6 Limitación de la transmitancia de las particiones interiores	12
Figura 7 Vista referencia Ermua.....	14
Figura 8 Localización del edificio de estudio	14
Figura 9 Ventana localización del modelo.....	16
Figura 10 Distribución de temperaturas.....	17
Figura 11 Metodología del proyecto.....	17
Figura 12 Esquema de las medidas externas [38]	18
Figura 13 Ejemplo zonificación.....	19
Figura 14 Modelización de las ventanas (Modo visualización)	19
Figura 15 Esquema de los edificios contiguos.....	20
Figura 16 Geometría del edificio	21
Figura 17 Sección suelo enterrado	22
Figura 18 Sección suelo entre sótanos.....	22
Figura 19 Sección suelos entre sótano y PB	23
Figura 20 Sección suelo entre plantas.....	23
Figura 21 Sección cubierta.....	24
Figura 22 Sección fachada.....	24
Figura 23 Sección partición vivienda-zona común.....	25
Figura 24 Sección partición entre viviendas	25
Figura 25 Instalación caldera condensación para ACS con colectores solares caso base ...	31
Figura 26 Ejemplo resultados Design Builder	37
Figura 27 Gráfica Coste Efectivo.....	38
Figura 28 Instalación S1.....	43
Figura 29 Disposición de los colectores S1	44
Figura 30 Instalación S2.....	45
Figura 31 Disposición de los colectores S2	46
Figura 32 Instalación Aerotermia S3	47
Figura 33 Potencia para el dimensionamiento de la bomba.....	49
Figura 34 Número de sondas a instalar	50
Figura 35 Instalación Geotermia S4.....	50
Figura 36 Instalación Caso S6.....	52
Figura 37 Potencia para el dimensionamiento de la bomba.....	54
Figura 38 Instalación Caso S7	54
Figura 39 Número de sondas a instalar.....	55
Figura 40 Distribución de los colectores S7	56
Figura 41 Potencia para el dimensionamiento de la bomba.....	57
Figura 42 Instalación Caso S8.....	57
Figura 43 Número de sondas a instalar.....	58
Figura 44 Distribución colectores S8.....	59
Figura 45 Instalación Caso S9.....	60
Figura 46 Distribución de los colectores.....	61
Figura 47 Instalación Caso S10	62
Figura 48 Distribución de los colectores.....	63

Figura 49 Instalación Caso S11	64
Figura 50 Instalación Caso S12	68
Figura 51 Caracterización del equipo en Design Builder	70
Figura 52 Instalación Caso S13	72
Figura 53 Instalación Caso S14	74
Figura 54 Distribución ejemplo de los paneles fotovoltaicos.....	76
Figura 55 Ficha técnica SW 300 MONO	77
Figura 56 Distribución de paneles fotovoltaicos 50% cubierta	78
Figura 57 Distribución de paneles fotovoltaicos 100% cubierta.....	78
Figura 58 Capa suelo fotovoltaico.....	79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación de los papers según temática.....	7
Tabla 2 Distribución del edificio Buenos Aires	15
Tabla 3 Cerramiento suelo enterrado	22
Tabla 4 Cerramiento suelo entre sótanos.....	22
Tabla 5 Cerramiento suelo entre sótano y PB.....	23
Tabla 6 Cerramiento suelo entre plantas.....	23
Tabla 7 Cerramiento cubierta.....	24
Tabla 8 Cerramiento fachada.....	24
Tabla 9 Cerramiento partición vivienda-zona común.....	25
Tabla 10 Cerramiento partición entre viviendas.....	25
Tabla 11 Composición de ventanas y puertas exteriores	26
Tabla 12 Franjas horarias de la temperatura de consigna de calefacción	26
Tabla 13 Franja horaria densidad de potencia de la ocupación sensible.....	27
Tabla 14 Franja horaria densidad de potencia de la ocupación latente	27
Tabla 15 Franja horaria de la densidad de potencia de la iluminación.....	28
Tabla 16 Franja horaria de la densidad de potencia de los equipos.....	28
Tabla 17 Distribución horaria de la ventilación en verano	28
Tabla 18 Distribución horaria de la ventilación en invierno	28
Tabla 19 Renovaciones hora exigidas por el CTE según local.....	29
Tabla 20 Cálculo de la ventilación según tipología de vivienda	29
Tabla 21 Ventilación mínima en renovaciones hora según tipología	30
Tabla 22 Estimación de las personas.....	30
Tabla 23 Estimación de los litros/día · m ²	30
Tabla 24 Perfil de uso del ACS.....	30
Tabla 25 Tabla resumen medidas pasivas.....	32
Tabla 26 Transmitancias de las mejoras pasivas	33
Tabla 27 Combinatoria de escenarios.....	35
Tabla 28 Resumen de escenarios	36
Tabla 29 Parámetros de la instalación.....	44
Tabla 30 Distribución de las temperaturas de los circuitos.....	44
Tabla 31 Parámetros de la instalación.....	46
Tabla 32 Distribución de las temperaturas de los circuitos.....	46
Tabla 33 Parámetros de la instalación.....	48
Tabla 34 Distribución de las temperaturas de los circuitos.....	48
Tabla 35 Parámetros de la instalación.....	51
Tabla 36 Distribución de las temperaturas de los circuitos.....	51
Tabla 37 Parámetros de la instalación.....	52
Tabla 38 Distribución de las temperaturas de los circuitos.....	53
Tabla 39 Parámetros de la instalación.....	55
Tabla 40 Distribución de las temperaturas de los circuitos.....	55
Tabla 41 Parámetros de la instalación.....	58
Tabla 42 Distribución de las temperaturas de los circuitos.....	58
Tabla 43 Parámetros de la instalación.....	60
Tabla 44 Distribución de las temperaturas de los circuitos.....	61
Tabla 45 Parámetros de la instalación.....	62
Tabla 46 Distribución de las temperaturas de los circuitos.....	63
Tabla 47 Estimación de la demanda térmica de ACS	65
Tabla 48 Distribución horaria de la demanda de ACS (kW)	65

Figura 49 Caracterización del equipo en Desing Builder	66
Tabla 50 Parámetros de la instalación.....	66
Tabla 51 Distribución de las temperaturas de los circuitos.....	67
Tabla 52 Estimación de la demanda térmica de ACS	69
Tabla 53 Distribución horaria de la demanda de ACS.....	69
Tabla 55 Parámetros de la instalación.....	70
Tabla 55 Distribución de las temperaturas de los circuitos.....	71
Tabla 56 Parámetros de la instalación.....	73
Tabla 57 Distribución de las temperaturas de los circuitos.....	73
Tabla 58 Parámetros de la instalación.....	74
Tabla 59 Distribución de las temperaturas de los circuitos.....	75

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad las viviendas representan el 40% del consumo final de energía y el 36% de las emisiones de CO₂ de la Unión Europea [1]. A raíz de estas cifras la Unión Europea ha implementado diferentes directivas en los últimos años con el fin de alcanzar unos objetivos finales. La base sobre la que se sustentaron estas medidas fueron la Directiva 2009/28/CE [2], la posterior 2010/30/CE [3] y la 2012/27/EU [4] donde se comienza a fomentar el uso de las energías renovables, la eficiencia energética y su etiquetado. Con el lanzamiento de estas directivas se quieren alcanzar unas metas marcadas dentro del programa Horizonte 2020, el cual tiene como finalidad reducir en un 20% las emisiones de gases efecto invernadero (con respecto a los niveles de 1990), que el 20% del consumo de energético provenga de fuentes renovables y la disminución en un 20% del consumo de energía primaria comparada con las tendencias actuales. En lo que a las viviendas respecta, es importante saber que el 35% de las viviendas de Europa tienen más de 50 años y por ello, en la Directiva 2010/30/CE [3] se obliga a los Estados Miembros a que a partir de enero de 2019 todos los edificios públicos de nueva construcción deben ser edificios NZEB (Nearly Zero Energy Building), por otra parte, también se impuso esta exigencia a los edificios de nueva construcción a partir de enero de 2021 [5]. La Unión Europea encomendó esta tarea a cada uno de los Estados Miembros, España definió el NZEB en su última actualización el CTE. Por lo tanto, el edificio de estudio deberá cumplir dichas exigencias, esto supone un campo nuevo en la construcción por lo que se deberá asumir el proyecto con cautela.

Por lo tanto, la motivación de este proyecto es adentrarse a la transición hacia la construcción más sostenible, donde se priorice el diseño previo del edificio con un enfoque que busque explotar el máximo los recursos pasivos. De este modo se quieren garantizar edificios que gracias a su naturaleza minimicen su consumo, independizando a los propios usuarios de los altos consumos energéticos a los que se podían ver sometidos con otras formas de construcción. Todo esto es un campo nuevo a explorar por lo que este tipo de proyectos resultan de gran interés ya que dan los primeros pasos del cambio, manteniendo siempre en el horizonte el objetivo de mejora y minimización del impacto medioambiental.

2. ESTADO DEL ARTE

El concepto de ‘edificio de consumo casi nulo’ es un término en continuo desarrollo que ha sido definido recientemente en España con la resolución del nuevo Código Técnico de la Edificación. Esta definición se ha dado tras tomar como base la definición y experiencia en otros países de la Unión Europea. En las siguientes líneas se va realizar un recorrido por el desarrollo del término, así como el análisis de distintos casos de estudio que han permitido perfilar las medidas que se deben implementar en los edificios para cercarlos al objetivo NZEB.

Gran parte del avance ha sido gracias a herramientas de simulación, las cuales se van a presentar en la primera parte de esta lectura. Después se desglosarán los casos de estudio según las medidas que se han potenciado para lograr el objetivo; se comenzará por presentar las medidas pasivas, para seguir con las activas, realizando una sección expresamente para presentar cuales son los sistemas de energías renovables. Finalmente, se recopilaron una serie de estudios que analizan otro tipo de factores que pueden ser de utilidad para alcanzar el objetivo, como, por ejemplo, la ventilación o la ocupación del edificio.

2.1 Herramientas de simulación

Con el fin de estudiar tanto el diseño de los sistemas pasivos como activos (incluidos aquellos que integran sistemas de energía renovable) nacen diferentes herramientas de simulación. A diferencia del diseño de un edificio convencional, el diseño de un NZEB se centra más en la optimización de los distintos elementos de diseño. Así pues, un programa de evaluación ideal debería integrar el algoritmo de optimización que permita no solo la simulación de los sistemas a integrar, sino también, el coste óptimo de los mismos.

Tras la lectura de reviews como la realizada por Longo et al [6] se puede observar como del estudio de 37 proyectos cuyo objetivo es la optimización de edificios NZEB la distribución de las plataformas utilizadas es la siguiente, ésta se puede ver en la siguiente gráfica:

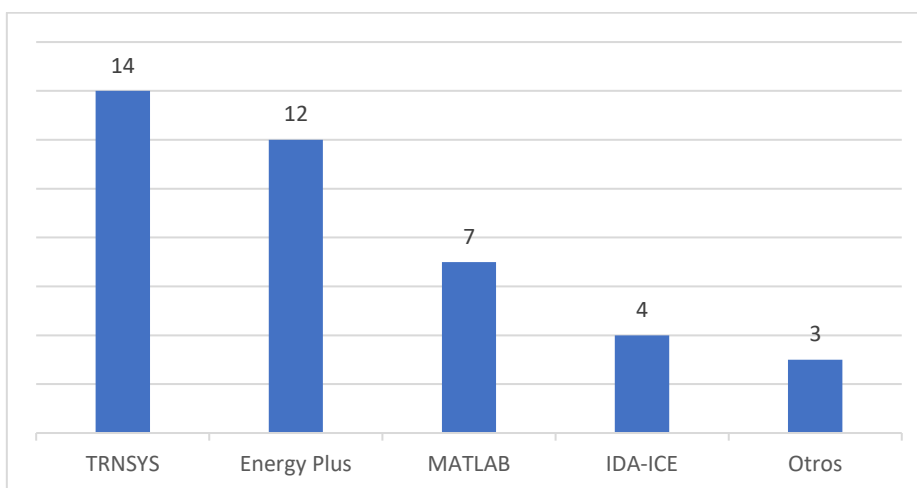


Figura 1 Distribución de las herramientas por uso [6]

De la gráfica se puede extraer cómo TRNSYS [7], Energy Plus [8] y Matlab [9] son las más utilizadas. Esta review también incluye tablas donde se pueden observar las sinergias que existen entre los diferentes programas, con el fin de combinar en un único software la

simulación y optimización de los sistemas a implementar, ejemplo de esto podría ser la herramienta TRNOPT.

Dentro del mundo de las herramientas de simulación encontramos diferentes reviews que las analizan según su finalidad. En lo que respecta a la simulación del diseño del edificio encontramos la siguiente review desarrollada por Hong et al [10] donde se puede observar los principales softwares y su uso. Pasando a los sistemas activos, contamos con la siguiente review [11] la cual analiza los mecanismos de diseño de sistemas HVAC. En lo que a la integración de sistemas de energías renovables respecta la review realizada por Connolly et al [12], nos proporciona el análisis de 37 herramientas, proporcionándonos información de las mismas junto con su aplicación. Finalmente existen muchos estudios relacionados con los edificios NZEB que no solo estudian su coste óptimo, sino que también el análisis de ciclo de vida. Para esto existen diferentes softwares, varios de ellos han sido recogidos en la review realizada por Haapio et al [13], donde se clasifican las diferentes herramientas según la utilidad de las mismas.

Una visión general de las diferentes review proporciona información sobre los softwares de simulación existentes y su aplicabilidad de modo que podamos elegir el óptimo para nuestro proyecto.

2.2 Casos de estudio

El diseño de la vivienda es clave a la hora de obtener el coste óptimo deseado; cuanto más se estudie la influencia de los diferentes sistemas tanto activos como pasivos, más fácil será alcanzar el objetivo NZEB. En las siguientes líneas se van a describir diferentes proyectos donde se han estudiado la influencia de estos elementos.

2.2.1 Sistemas pasivos

Se conoce que la fachada de una vivienda es uno de los factores que va a contribuir a obtener el confort dentro del hogar, por lo que el estudio de fachadas acorde con el concepto NZEB es imprescindible. En 2013, Thalfeldt et al [14] trabajaron este concepto tomando en cuenta las propiedades de las ventanas, aislamientos exteriores, el ratio ventana-muro todo esto acompañado por un estudio de sombras. De la combinación de diferentes alternativas se obtuvo como resultado que la fachada óptima contase con ventanas altamente transparentes de triple vidrio junto con un aislamiento de muro exterior de 200 mm y una $U=0.16$. Dentro de los estudios de fachadas encontrados el realizado por Touloupaki et al [15], que pretende analizar el espesor óptimo de los aislamientos de las fachadas de residencias familiares de cuatro localizaciones de Grecia. A medida que el concepto de NZEB avanza los estudios realizados comienzan a tomar en cuenta más variables, ampliando así el abanico de combinaciones, un caso ejemplo de esto sería el llevado a cabo por Baglivo et al [16] donde se combinaron 3 tipos de medidas: optimización de las capas que conforman los muros, ventanas con diferentes propiedades y finalmente distintas combinaciones de sistemas de abastecimiento de calor; dando como resultado 168 combinaciones. Dentro de estas combinaciones se obtuvieron las óptimas, no sólo en lo que al coste óptimo energético respecta sino también en términos económicos, consiguiendo una reducción del consumo de energía primaria del 85% con un coste por m^2 de 135 €.

Otro estudio similar al descrito es el realizado por Barbolini et al [17], donde se añade al estudio el parámetro de enfriamiento ya que el escenario donde se desarrolla el caso es un

complejo de viviendas en Italia. Esto puede suponer un reto ya que la mayoría de los estudios de los edificios NZEB se ubican en localizaciones con necesidad de aporte de calor. Por lo tanto, la propuesta de este proyecto es la obtención del confort (basado en las condiciones ASHRAE 55) tomando diferentes medidas para las estaciones de frío y calor. Para la estación de frío se propone la ventilación mecánica con tubos subterráneos con recuperador de calor, junto con otros sistemas ya mencionados como el aislamiento o el uso de la masa térmica. Para la estación de verano se propone la ventilación por goteo aplicado a ventanas, la masa y el aislamiento para mitigar las cargas térmicas, los pozos de ventilación que apoyan la ventilación natural y la refrigeración nocturna. Del estudio se concluye que es posible obtener los niveles de confort deseados cumpliendo con los objetivos del edificio NZEB.

Un ejemplo a nivel nacional sería el desarrollado por Suarez et al [18], éste tiene como objetivo analizar estrategias pasivas de optimización energética para viviendas ubicadas en clima mediterráneo. El estudio propone 5 estrategias pasivas a seguir: compacidad, materialidad de la envolvente, control solar, acumuladores solares y la ventilación. Del estudio se concluye que para alcanzar el estándar NZEB el diseño del edificio teniendo en cuenta las medidas pasivas resultan esencial. La optimización de estas medidas permite alcanzar el confort interior llegando a delegar a un segundo plano las medidas activas, pudiendo hacer uso de ellas únicamente en momentos puntuales.

2.2.2 Sistemas Activos

Hasta ahora se han analizado proyectos donde se tomaban en cuenta tanto las medias pasivas como las activas (principalmente activas), no obstante, existen una gran cantidad de estudios donde se trabajan únicamente medidas activas como las bombas de calor o los sistemas que permitan integrar fuentes renovables.

En lo que a los estudios de bombas de calor respecta tenemos el realizado por Aste et al [19] donde el objetivo es obtener el coste óptimo de una bomba de calor para el modelo NZEB mediante la metodología de “edificio referencia” que no es más que la presentada ya en el proyecto [20]. Dichos edificios se ubican en tres localizaciones diferentes (Milán, Roma y Palermo) por lo que entre los parámetros a tomar en cuenta se encuentran las condiciones climáticas. También podemos encontrar las propiedades de los muros, y cómo no, diferentes sistemas de aporte de calor. Como resultado de este estudio se obtiene que para los tres casos la opción más eficiente son las bombas de calor tierra-agua (GWHP) con un ahorro de energía primaria del 62.2% en Milán, 60.4% en Roma y 54.4% en Palermo. Otro de los proyectos a destacar dentro del ámbito de los sistemas activos es el desarrollado por Fabrizio et al [20] cuyo objetivo es proporcionar la información necesaria para diseñar y operar sistemas integrados de calefacción, ventilación y aire acondicionado y sistemas de producción de agua potable (ACS). Después de caracterizar la demanda de energía del edificio, la revisión se centra en los sistemas integrados de energía que proporcionan: energía calorífica para la calefacción del espacio y agua caliente sanitaria; energía de calefacción y refrigeración para el aire acondicionado y producción de agua caliente; energía de calefacción para calefacción del espacio, ACS y electricidad; energía de calefacción y refrigeración para el aire acondicionado agua caliente y ventilación mecánica. Éste resulta un estudio muy interesante ya que proporciona un esquema de cada una de las tecnologías y una tabla donde se contrastan las fortalezas y debilidades de cada composición. Como conclusión del trabajo se podría mencionar que este tipo de publicaciones son muy útiles a la hora de aplicar las deducciones obtenidas al estudio propio. Este análisis por sí solo no

puede determinar qué tecnología es mejor, ya que cada proyecto contará con una serie de limitaciones que condicionarán las elecciones a tomar. Por lo tanto, la decisión de cuál será la alternativa a aplicar será aquella que mejor se adapte, permitiendo alcanzar el objetivo de coste óptimo para la vivienda NZEB de nuestro estudio.

Abordando la temática de las bombas de calor desde un punto de vista económico nos encontramos con artículos como el realizado por Paiho et al [21] donde se estudian costes del ciclo de vida (LCC) de diferentes bombas de calor basadas en NZEB para una nueva vivienda unifamiliar finlandesa y un nuevo edificio de apartamentos. En ambos casos se realizaron dos líneas de estudio: con sistemas solares y sin ellos. Como resultado se obtuvo que, para ambos tipos de edificios, los costes del ciclo de vida eran los más bajos con las bombas de calor geotérmicas (GSHP). Sin embargo, las bombas de calor aire-agua (AWHP) parecían ser casi tan buenas como las GSHP. Con el GSHP o el AWHP y sin sistemas solares, los costes del ciclo de vida eran de unos 208 €/m²/25 años para la nueva casa unifamiliar y de unos 178 €/m²/25 años para el nuevo edificio de apartamentos. En ambos casos la adición de sistemas solares incrementa el precio del metro cuadrado, a pesar de esto en las conclusiones del proyecto justifican la posible aplicación de estos sistemas (aunque se sufra un incremento del coste) siempre y cuando se aplique la opción donde la contribución solar es máxima, ya que esto en términos de coste óptimo energético nos acercaría al objetivo NZEB.

Otra de las medidas activas, estudiadas por Jung et al [22], es la aplicación de suelos y techos radiantes. El enfoque de este proyecto fue el estudio de la instalación de estas medidas en 3 localizaciones totalmente diferentes, Helsinki, Londres y Bucarest. Como en los anteriores casos también se toman en cuenta las medidas pasivas (muros, ventanas, estanqueidad...). El resultado que se obtuvo fue la reducción de la carga térmica en las tres zonas climáticas en un 86%, 95% y 92%, respectivamente. Por otra parte, también se obtuvo una reducción de la carga eléctrica en los tres casos, esta fue del 32%, 33% y 34%. Además, los autores concluyeron que tanto las tecnologías de calefacción como las de refrigeración por radiación son soluciones técnicamente viables y de fácil aplicación en los diseños de los edificios NZEB.

2.2.3 Sistemas de integración de energías renovables

Esto nos conduce a un nuevo campo: la implementación de las energías renovables en los edificios NZEB. Como se han mencionado antes, estos sistemas también formarían parte de los sistemas activos a implementar en un edificio de naturaleza NZEB. Uno de los estudios que trata este tema sería el desarrollado por Silva [23] et al, en él se ha investigado el potencial de las medidas basadas en la energía solar para alcanzar los objetivos de la NZEB en viviendas unifamiliares existentes en Portugal (tipología de vivienda que representa el 41% de la existente en Portugal). En este estudio también se toman en cuenta diferentes aspectos como la fachada, ventanas, cubiertas... Como resultado se obtienen que con la climatología de Portugal es posible superar el 100% de las necesidades energéticas de aclimatación y preparación de agua caliente sanitaria (ACS) con la integración de sistemas solares. Los valores de Payback que se obtuvieron fueron de alrededor 15 años. Otro trabajo que estudia la capacidad de acercarse al modelo NZEB utilizando fuente de energía solar es el realizado por D' Agostino et al [24]. En lo que a la climatología respecta no dista mucho del proyecto anteriormente mencionado, ya que éste se ubica en Italia, sin embargo, se incluye como nueva variable la geometría del edificio. El estudio se realizó en dos localizaciones diferentes (Nápoles y Palermo) estudiando en ambos edificios con geometría

cuadrada y rectangular. En ambas localizaciones la geometría cuadrada representó un menor consumo de energía primaria, hasta un entre 9% y 26% menos que la geometría rectangular. En términos cuantitativos los resultados obtenidos fueron 35-42 kWh/m² en Palermo y 45-58 kWh/m² en Nápoles.

Un estudio que tiene en cuenta diferentes parámetros es el desarrollado por Bot et al [25], éste estudia los sistemas pasivos del edificio, la demanda de energía y la energía generada por el sistema fotovoltaico y de almacenamiento in situ, así como su interacción en diferentes escenarios. El estudio también considera la demanda de energía de la red y el excedente de energía renovable. Se utilizó el software EnergyPlus y se aplicó el método de simulación de sensibilidad paramétrica, teniendo en cuenta el funcionamiento de las persianas, las estrategias de ventilación, los esquemas de funcionamiento de HVAC y la capacidad de almacenamiento de la batería, en 96 escenarios. El estudio de los 96 escenarios permite conocer los problemas que pueden resultar en ellos, por ejemplo, entre las conclusiones obtenidas se remarca el sobrecalentamiento sufrido en el 50% de los escenarios, de lo que se deduce que bajo las condiciones propuestas los elementos de sombreado son clave para el confort. Al margen de los sistemas de aporte solar, existen estudios sobre la instalación de sistemas geotérmicos para edificios NZEB. El artículo realizado por Sáez Blánquez et al [26]. propone la comparación de 3 bombas de calor geotérmicas aplicadas a 3 ubicaciones con un rango de clima diferente entre ellos (frío, templado y caliente). De este modo se pretende encontrar para cada clima el sistema adecuado. Un artículo que se ha encontrado de interés ha sido el elaborado por Cristina Cornaro, et al. [27] donde se estudian los módulos fotovoltaicos semi transparentes aplicados al acristalamiento de edificio. Esta proposición tiene como objetivo conocer el potencial de ahorro energético de dicha medida en un edificio de oficinas en 3 localizaciones de Italia. Del estudio se concluye que los módulos Graetzel son los que mejor respuesta proporcionan en todas las orientaciones y localizaciones del edificio.

Para concluir con los sistemas activos, más concretamente con aquellos que permiten el aporte de fuentes de energía renovable, es interesante mencionar el estudio elaborado por Ascione et al [28]. En él se formula una pregunta general: ¿Cuál es el mix de energía renovable más óptimo? El estudio propone una metodología orientada a optimizar el diseño del mix de sistemas de energías renovables para la integración de la demanda de energía de los edificios en términos de usos energéticos para la calefacción/refrigeración de espacios, agua caliente sanitaria y aparatos eléctricos. El procedimiento de optimización se basa en un algoritmo genético, que se realiza mediante el uso de EnergyPlus y MATLAB. Esta metodología tiene como caso de estudio un edificio típico italiano ubicado en Nápoles. Se investigan sistemas solares térmicos, paneles fotovoltaicos y bombas de calor eficientes como fuentes de energía renovable. El proyecto propone la optimización para tres tipos de resultados según el interés del proyecto. La solución A proporciona la combinación que requiere menos inversión, la solución B es aquella que requiere la menor demanda de energía primaria y la solución C es el coste óptimo (el punto “intermedio” entre A y B). Para estas tres soluciones se proporciona la combinación de sistemas correspondiente, por ejemplo, para la C, el sistema solar térmico que se deberían aplicar colectores en el 20% del área de cubierta, los paneles fotovoltaicos serían policristalinos (cobertura del área de tejado del 80%), el sistema de abastecimiento de calor y ACS se haría con una bomba de calor y finalmente el sistema de refrigeración consistiría un sistema de enfriadores por aire. Resulta de gran interés contar con este tipo de proyectos ya que aplicando la metodología del mismo se puede encontrar la solución correspondiente a cada tipo de demanda.

2.2.4 Otros factores

Finalmente, con el fin de exponer la cantidad de elementos que se pueden integrar a la hora del cálculo del coste óptimo de una vivienda NZEB se presentan dos estudios los cuales toman en cuenta el factor ocupación. El primero, realizado por Oldewurtel [29] et al, pretende conocer el potencial de ahorro de un edificio de oficinas situado en Suiza mediante la metodología MPC (Model Predictive Control). Se quiere obtener el porcentaje de ahorro mediante la comparativa de diferentes esquemas de ocupación en referencia a uno ya establecido. Del mismo modo, para los diferentes esquemas ocupación se propone el apagado de luces o ventilación (o ambos) cuando se da un 'vacío' en la ocupación. Los resultados obtenidos son los siguientes: en el esquema de ocupación homogénea se puede llegar a ahorrar hasta un 34% en comparativa con el esquema de ocupación referencia y con una ocupación de alternancia el ahorro puede llegar a ser del 50%. Por otra parte, Reda et al. [30] desarrollaron un estudio donde se analizaban 10 edificios ubicados en el norte de Europa. El objetivo del trabajo era el cálculo del coste óptimo de energía para dichos edificios, con la particularidad con respecto a los demás trabajos que se han presentado en este informe de que se incluye en él la ocupación de cada vivienda. Para hacer esto se toman en cuenta el número de personas que habitan la vivienda, el nivel de actividad y los periodos vacacionales. Los resultados destacan la importancia de considerar el dinamismo de la ocupación, la demanda de energía de los electrodomésticos y de la iluminación para tener una mejor correspondencia entre la generación instantánea de energía y la demanda, para de ese modo, también fomentar a las normas de construcción la consideración de este aspecto.

Tabla 1 Clasificación de los papers según temática

<i>Papers</i>	<i>Sistemas pasivos</i>	<i>Sistemas HVAC</i>	<i>Sistemas ER</i>	<i>Ocupación</i>	<i>Otros</i>
<i>KURNITSKI, Jarek, et al. (2011)</i>	✓	✓	✓		
<i>HAMDY, Mohamed et al. (2013)</i>	✓	✓	✓		
<i>BECCHIO, Cristina, et al. (2015)</i>	✓	✓	✓		
<i>THALFELDT, Martin, et al. (2013)</i>	✓				
<i>TOULOUPAKI, Eleftheria et al. (2017)</i>	✓				
<i>BAGLIVO, Cristina, et al. (2015)</i>	✓	✓	✓		
<i>BARBOLINI, Fausto, et al. (2017)</i>	✓	✓			
<i>SUAREZ, Rafael et al. (2016)</i>	✓				
<i>ASTE, Niccolò et al. (2013)</i>		✓			
<i>FABRIZIO, Enrico et al. (2014)</i>		✓			
<i>PAIHO, Satu et al (2017)</i>		✓			
<i>JUNG, Nusrat, et al. (2018)</i>	✓	✓			
<i>SILVA, Sandra M., et al. (2016)</i>	✓	✓	✓		
<i>D'AGOSTINO, Diana, et al. (2017)</i>			✓		
<i>BOT, Karol, et al. (2019)</i>	✓	✓	✓		
<i>SÁEZ BLÁZQUEZ, Cristina, et al. (2017)</i>			✓		
<i>Cristina Cornaro, et al. (2017)</i>			✓		
<i>ASCIONE, Fabrizio, et al. (2016)</i>		✓	✓		
<i>OLDEWURTEL, Frauke et al (2013)</i>		✓		✓	
<i>REDA, Francesco et al. (2019)</i>	✓	✓	✓	✓	
<i>PSOMAS, Theofanis, et al (2016)</i>					✓

Otro factor que es estudiado en este tipo de temática es el sobrecalentamiento de las viviendas. Un ejemplo sería el artículo desarrollado por Psomas et al [31], en él se analizan las situaciones en las que es necesario abordar el sobrecalentamiento (y la refrigeración) en los proyectos de renovación de los edificios y las medidas de renovación que están causando esta necesidad. El análisis contiene cuatro casas unifamiliares de referencia del centro y norte de Europa. El estudio concluyó que las medidas críticas son el aislamiento del suelo y la estanqueidad. Una contribución positiva para reducción del riesgo de sobrecalentamiento es la disminución del valor g (coeficiente de ganancias de calor debidas a la radiación solar) de las ventanas.

Como resumen de los artículos presentados se adjunta la Tabla 1 en la que se pueden visualizar los trabajos mencionados junto con las medidas que se han tratado para alcanzar el coste óptimo.

3. OBJETIVO Y ALCANCE

El presente proyecto nace a raíz de la nueva definición de edificio consumo casi nulo y su reciente incorporación al nuevo CTE. Todas estas nuevas modificaciones serán implementadas en el edificio de estudio con la finalidad de cumplir las nuevas exigencias mediante la aplicación de las medidas disponibles para alcanzarlo. Las medidas a analizar serán, por una parte, la mejora gradual de los elementos pasivos, principalmente el aislamiento, ajustando las exigencias a diferentes estándares de eficiencia energética. En lo que a las activas respecta, se diseñarán sistemas de generación de calor de distintas tipologías entre las cuales se incluyen la aerotermia, la geotermia o las calderas de biomasa. Por lo tanto, el objetivo principal del proyecto será encontrar, mediante la combinación de soluciones tanto activas como pasivas, la mejora de la relación entre el consumo primario de energía del edificio y el coste de la implementación de dichas medidas. Cabe mencionar que este es un nuevo camino a recorrer donde es posible que se presenten una serie de obstáculos a abordar, esto se hará de la manera que más nos permita acercarnos al objetivo de edificio de consumo casi nulo.

El proyecto pretende ser desarrollado en Ermua, más concretamente mediante la construcción de un nuevo edificio. Dicha construcción se realizará gracias a la información facilitada por la constructora, cabe mencionar que hay una serie de parámetros, como puede ser la orientación o las características de los cerramientos, lo que afectará directamente al alcance del proyecto. Mas adelante se irán analizando en qué afectan estas particularidades que no pueden ser cambiadas. El alcance del proyecto también se puede ver limitado debido a que habrá medidas que no se consideren debido a que el número de escenarios sería excesivo, no obstante, podría ser un camino a tener en cuenta a la hora de ampliar el proyecto.

En lo que a los gastos respecta, se ha realizado una valoración de los costes materiales, excluyendo los referentes a la ejecución de la obra. La razón de esta decisión ha sido la suposición de que el coste de ejecución de obra de los distintos escenarios es similar, y en el caso de decidir incluir dicho gasto, esto supondría una deducción poco real.

4. LEGISLACIÓN APLICABLE

Tal y como se ha mostrado en el estado del arte del presente proyecto, la definición de edificio consumo de energía casi cero sobre el que se está desarrollando el modelo, es el definido en el nuevo CTE [32] aprobado a finales de 2019. En él se dan nuevos parámetros para el cumplimiento de esta nueva forma de edificar y puesto que influye en totalidad con el proyecto cabe destacar los factores que se tomarán en cuenta a la hora de las simulaciones. El CTE divide sus exigencias en 6 apartados de los cuales 4 son de obligada aplicación a las viviendas privadas.

HE0 Limitación del consumo energético

HE1 Condiciones para el control de la demanda energética

HE2 Condiciones de las instalaciones térmicas

HE4 Contribución mínima de energía renovable para cubrir la demanda de agua caliente sanitaria

4.1 HE0 Limitación del consumo energético

El apartado del CTE que será determinante es el HE0 ya que delimita el consumo de energía primaria no renovable final, por lo tanto, los casos que no cumplan con esta limitación quedarían descartados como opción a implementar. Cabe mencionar que estos factores no se conocen hasta que se realiza la simulación, es decir, la filosofía es la construir acorde y con lógica para poder alcanzar dichos valores, si no se cumpliesen se concluiría que el proceso de diseño no ha sido correcto y necesitaría de optimización.

	Valor límite $C_{ep,nren,lim}$ [kW·h/m ² ·año] para uso residencial privado					
	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
Edificios nuevos y ampliaciones	20	25	28	32	38	43
Cambios de uso a residencial privado y reformas	40	50	55	65	70	80

En territorio extrapeninsular (Illes Balears, Canarias, Ceuta y Melilla) se multiplicarán los valores de la tabla por 1,25

Figura 2 Limitación del consumo de energía primaria no renovable

El paso previo para conocer la limitación del caso de estudio es saber la zona climática a la que pertenece, para consultarlo se debe acudir al anexo 1 del CTE donde se pueden encontrar las zonas climáticas estructuradas por provincia y altitud. Ermua, que pertenece a Bizkaia se ubica a 166 msnm [33] por lo que la le corresponde la zona C1, es decir, la C en el caso de la tabla 3. Por lo tanto, en lo que al consumo de energía primaria no renovable el límite es de 32 kWh/m² · año tal y como se observa en la figura 2.

Por otra parte, el CTE también establece un límite al consumo de energía primaria total, en concreto para la zona climática del edificio de estudio de 64 kWh/m²·año, según la figura 3.

Valor límite $C_{ep,tot,lim}$ [kW·h/m ² ·año] para uso residencial privado						
	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
Edificios nuevos y ampliaciones	40	50	56	64	76	86
Cambios de uso a residencial privado y reformas	55	75	80	90	105	115
En territorio extrapeninsular (Illes Balears, Canarias, Ceuta y Melilla) se multiplicarán los valores de la tabla por 1,15						

Figura 3 Limitación del consumo de energía primaria total

4.2 HE1 Condiciones para el control de la demanda energética

El HE1 es el primer apartado del CTE que limita parámetros constructivos, principalmente la transmitancia de los principales elementos, en las siguientes tablas se pueden observar dichos valores. Del mismo modo también se limita el coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica (K), el cual depende de la compacidad de edificio, estos valores se muestran en la figura 4.

Elemento	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
Muros y suelos en contacto con el aire exterior (U_s, U_M)	0,80	0,70	0,56	0,49	0,41	0,37
Cubiertas en contacto con el aire exterior (U_c)	0,55	0,50	0,44	0,40	0,35	0,33
Muros, suelos y cubiertas en contacto con espacios no habitables o con el terreno (U_T) Medianerías o particiones interiores pertenecientes a la envolvente térmica (U_{MD})	0,90	0,80	0,75	0,70	0,65	0,59
Huecos (conjunto de marco, vidrio y, en su caso, cajón de persiana) (U_H)*	3,2	2,7	2,3	2,1	1,8	1,80
Puertas con superficie semitransparente igual o inferior al 50%	5,7					
*Los huecos con uso de escaparate en unidades de uso con actividad comercial pueden incrementar el valor de U_H en un 50%.						

Figura 4 Limitación de los valores de transmitancia

Para la zona C las limitaciones que aplican a nuestro edificio son:

- Para los muros y suelos exteriores: 0,49 W/m² · °C
- Cubierta en contacto con aire exterior: 0,40 W/m² · °C
- Particiones en contacto con espacios no habitables: 0,7 W/m² · °C
- Huecos: 2,1 W/m² · °C
- Puertas: 5,7 W/m² · °C

En la figura 5 también se pueden observar la limitación del coeficiente global de transmitancia según la compacidad del edificio.

	Compacidad V/A [m³/m²]	Zona climática de invierno					
		α	A	B	C	D	E
Edificios nuevos y ampliaciones	V/A ≤ 1	0,67	0,60	0,58	0,53	0,48	0,43
	V/A ≥ 4	0,86	0,80	0,77	0,72	0,67	0,62
Cambios de uso. Reformas en las que se renueve más del 25% de la superficie total de la envolvente térmica final del edificio	V/A ≤ 1	1,00	0,87	0,83	0,73	0,63	0,54
	V/A ≥ 4	1,07	0,94	0,90	0,81	0,70	0,62

Los valores límite de las compacidades intermedias (1 < V/A < 4) se obtienen por interpolación.
En el caso de ampliaciones los valores límite se aplicarán sólo en caso de que la superficie o el volumen construido se incrementen más del 10%.

Figura 5 Limitación del coeficiente global de transmisión de calor

Finalmente se limitan también los valores de la transmitancia de las particiones interiores del edificio, los valores son resumidos en la figura 6:

	Tipo de elemento	Zona climática de invierno					
		α	A	B	C	D	E
Entre unidades del mismo uso	Particiones horizontales	1,90	1,80	1,55	1,35	1,20	1,00
	Particiones verticales	1,40	1,40	1,20	1,20	1,20	1,00
Entre unidades de distinto uso Entre unidades de uso y zonas comunes	Particiones horizontales y verticales	1,35	1,25	1,10	0,95	0,85	0,70

Figura 6 Limitación de la transmitancia de las particiones interiores

Para las particiones interiores del edificio estudio se tienen las siguientes limitaciones:

- Suelos entre espacios de mismo uso: 1,35 W/m² · °C
- Paredes entre espacios de mismo uso: 1,20 W/m² · °C
- Suelos y paredes entre zonas de distintos usos (incluidas zonas comunes): 0,95 W/m² · °C

En este mismo apartado también se mencionan otro tipo de requisitos a cumplir como la no formación de condensaciones o la permeabilidad del edificio, justificaciones que van más allá de alcance del proyecto por lo que no se abordarán.

4.3 HE2 Condiciones de las instalaciones térmicas

Este apartado queda definido por el RITE y hace referencia a las instalaciones térmicas, no tiene aplicación directa en el proyecto ya que el alcance es el de analizar el comportamiento de edificio bajo diferentes condiciones, es decir, es de carácter analítico no de diseño final.

4.4 HE4 Contribución mínima de energía renovable para cubrir la demanda de agua caliente sanitaria

El HE4 determina la cantidad de energía renovable que debe cubrir la demanda de ACS. Afecta a las viviendas privadas siempre que supere el consumo de ACS de 100 litros/día. Según el anexo F, tal y como se verá en el cálculo realizado más tarde, el edificio consume 2212 litros/días, por lo tanto, el aporte de energía procedente de energías renovables deberá ser como mínimo el 60%.

5. METODOLOGÍA

5.1 DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO

El edificio de estudio se ubica en la localidad de Ermua, más concretamente al norte de la misma, entre las calles Zubiarrre y Zeruko. En la figura 2 se puede observar el emplazamiento del anterior edificio ubicado en dicha localización, donde ahora tendrá lugar la construcción del nuevo edificio llamado Buenos Aires. En las figuras 7 y 8 se observa la localización:



Figura 7 Vista referencia Ermua

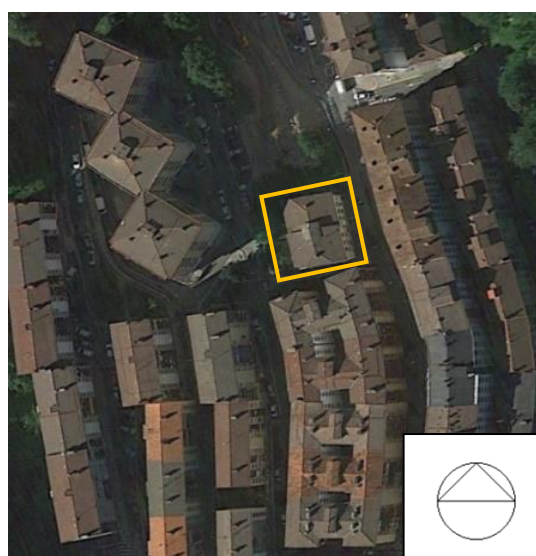


Figura 8 Localización del edificio de estudio

El edificio cuenta con una altura de 26 metros divididos en ocho plantas contando con la planta baja, también cuenta con un casetón en la cubierta y dos sótanos. Tal y como se puede observar las caras este y oeste serían las paralelas a la calle, a su vez la cara sur quedaría pegada al edificio contiguo y la norte sería la única que no se vería afectada por ningún obstáculo (aunque sí existen intenciones de construcción en un futuro). En este punto es donde se puede denotar una orientación no muy favorecedora de cara al aprovechamiento de ganancias solares ya que la cara sur, a priori, la que más insolación podría recibir, queda totalmente tapada.

La planta baja está dividida entre el portal del edificio y una zona destinada a un futuro negocio. La primera planta está dirigida a proporcionar servicios al edificio como un gimnasio, una sala de reuniones y camarotes, estas localizaciones ocupan la mitad izquierda de la planta, reservando la otra mitad para las primeras viviendas. La tipología de la segunda planta es similar a la primera, no obstante, en esta planta el espacio reservado para el gimnasio y la sala de reuniones lo ocupa una vivienda. Desde la tercera a la séptima planta la distribución es similar, siendo la totalidad del espacio ocupado por viviendas. Finalmente, la mitad de la cubierta está destinada a una piscina y la otra mitad queda libre para la instalación de placas fotovoltaicas o colectores térmicos. Es importante conocer la finalidad de cada planta para posteriormente identificar las zonas acondicionadas para la simulación. En la tabla 2 se puede observar la distribución de los habitáculos de edificio y el área de cada uno de ellos. Todos estos datos se han extraído de Design Builder tras la modelización a partir de los planos proporcionados por la constructora.

Tabla 2 Distribución del edificio Buenos Aires

Superficie (m ²)	Vivienda 1	Vivienda 2	Vivienda 3	Vivienda 4	Zona común
Planta baja	-	-	-	-	Local (120,54) Portal (212,99)
Primera planta	56,01	102,87	-	-	Sala común (70,78) Trastero (70,81) Pasillo (46)
Segunda planta	105,62	107,03	59,26	-	Trastero (47,77) Pasillo (46,25)
Tercera planta	100,43	79,08	59,25	73,56	Pasillo (44,28)
Cuarta planta	60,53	99,11	95,08	59,2	Pasillo (46,3)
Quinta planta	60,45	96,02	99,83	59,25	Pasillo (46,25)
Sexta planta	103,56	103,67	110,61	-	Pasillo (36,56)
Séptima planta	103,45	98,72	-	-	Pasillo (35,03)
Sótanos -1 y -2	886,57				

5.2 ENTORNO

Dentro de la clasificación climática del País Vasco, Ermua se sitúa en la vertiente atlántica que comprende la mitad superior del territorio de la Comunidad Autónoma Vasca. Este clima se denomina mesotérmico y está caracterizado por temperaturas moderadas y clima lluvioso. La influencia principal de este clima es el océano Atlántico, las masas de aire provenientes del mismo amortiguan las temperaturas a lo largo del año, no solo en lo que a las estaciones se refiere, sino a durante el transcurso del día. Otro factor climatológico

característico es la lluvia con unas precipitaciones medias anuales entre 1200 y 2000 mm [34].

Uno de los factores que desfavorece al proyecto es la falta de insolación ya que resulta de ayuda a la hora de lograr el confort térmico mediante ganancias solares, no obstante, debido a la orografía en la que se encuentra no solo el edificio del proyecto sino la comunidad autónoma en general, hace que la insolación no sea el agente a explotar.

Del mismo modo esta orografía afecta al viento, ya que ésta desvía su dirección y reduce su velocidad. El viento del norte el más frecuente, 21.4%, seguido del viento del noroeste, 17.6%. Sin embargo, el viento del noroeste es bastante superior en fuerza al del norte, 20.4km/h frente a 11.4km/h. Las velocidades medias registradas son entre los 10km/h y los 13km/h. A pesar de las generalidades antes mencionadas, las direcciones más frecuentes difieren en cada localidad, dependiendo de la topografía de la zona. Si se quisiera realizar algún tipo de instalación eólica en el edificio el estudio del viento deberá ser estudiado con mayor precisión [35].

Toda esta descripción sirve para hacernos una idea del escenario en el que se encuentra el edificio objeto, no obstante, Design Builder cuenta con una biblioteca de datos climatológicos basados en la base de datos de Energy Plus del que tomará la información necesaria para la simulación, ejemplo de ello es la figura 9. Gracias al visualizador de Climate Consultant [36] podemos acceder a parte de la información que se usará en la simulación. Los datos son los de la estación de Sondica debido a que no existen datos más cercanos [37].

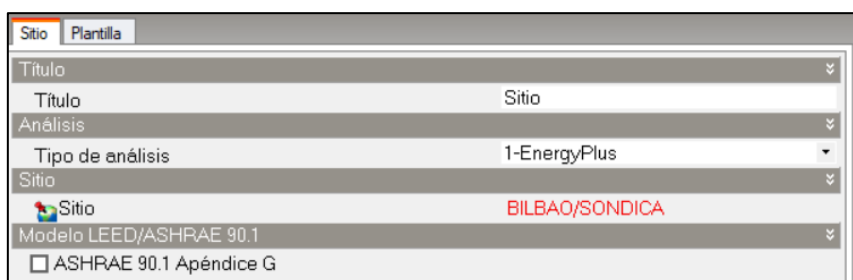


Figura 9 Ventana localización del modelo

En la figura 10 se puede observar un ejemplo de los datos que toma Design Builder, más concretamente las temperaturas máximas y mínimas medias registradas, y en gris estaría representado lo que se consideraría la temperatura para cumplir el confort térmico. La conclusión general que se puede extraer es que la zona cuenta con varios meses donde no se alcanza dicha temperatura lo que se traduce en una necesidad de calefacción. Conocer el entorno y las características del clima en el que se encuentra el proyecto favorece directamente a poder conocer cuáles serán los momentos críticos donde alcanzar el objetivo de confort será más difícil, del mismo modo también se conocen los fuertes que jugarán a favor.

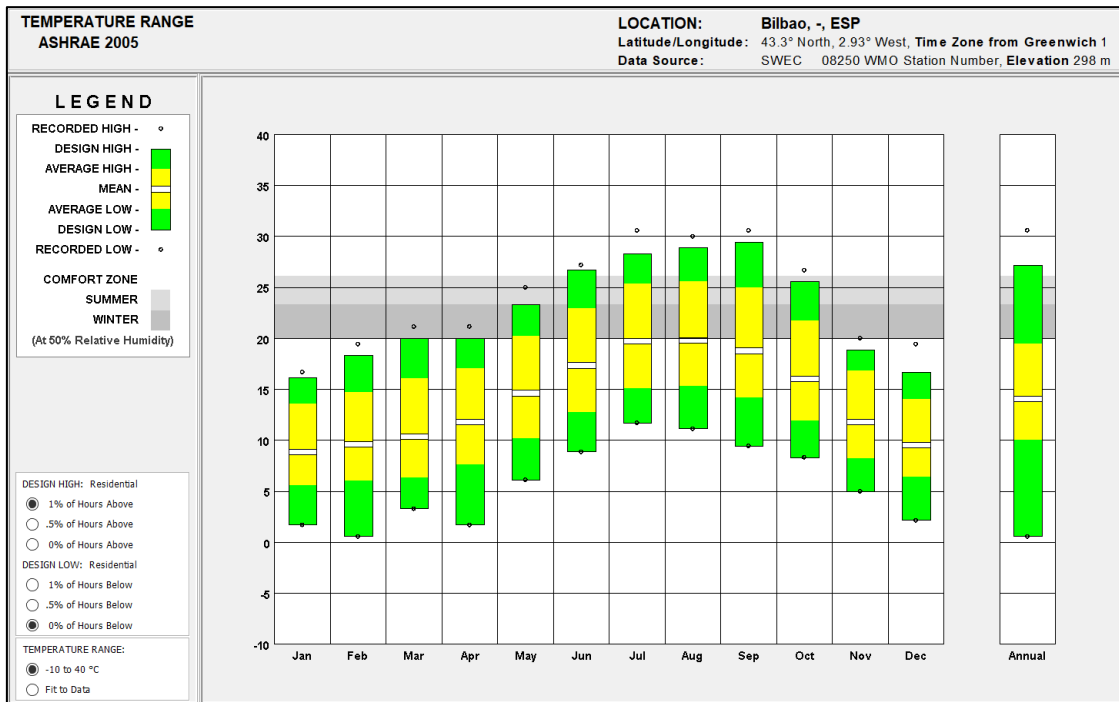


Figura 10 Distribución de temperaturas

5.3 DEFINICION DE CASO REFERENCIA

Tras una descripción previa del entorno en el que se va a desarrollar el proyecto, se da comienzo a la ejecución de los procesos que permitirán obtener la gráfica de coste óptimo, en la figura 11 se pueden observar los pasos a seguir de manera general.

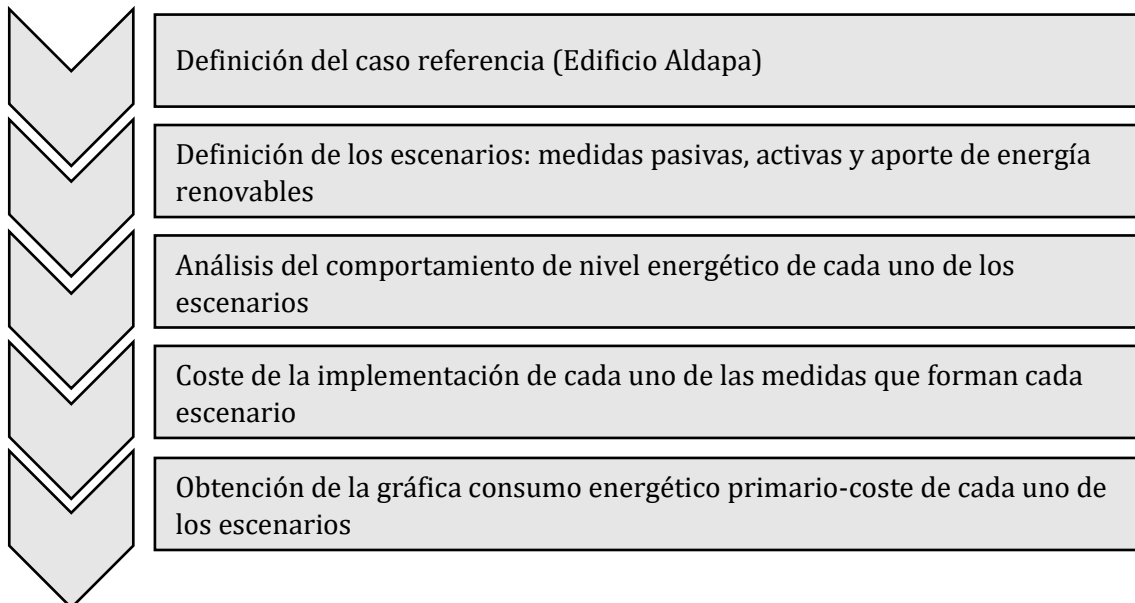


Figura 11 Metodología del proyecto

5.3.1 Modelización geométrica del caso de estudio

Para la realización del proyecto se usará Design Builder como programa de simulación. Con los planos de cada una de las plantas se procedió a la modelización de las mismas, uno de los aspectos más importantes a tener en cuenta a la hora de trabajar con el dimensionamiento es conocer y tener presente el criterio con el que se va a dibujar. En este caso concreto se trabajó tomando como referencia las dimensiones exteriores, siguiendo el esquema siguiente como referencia:

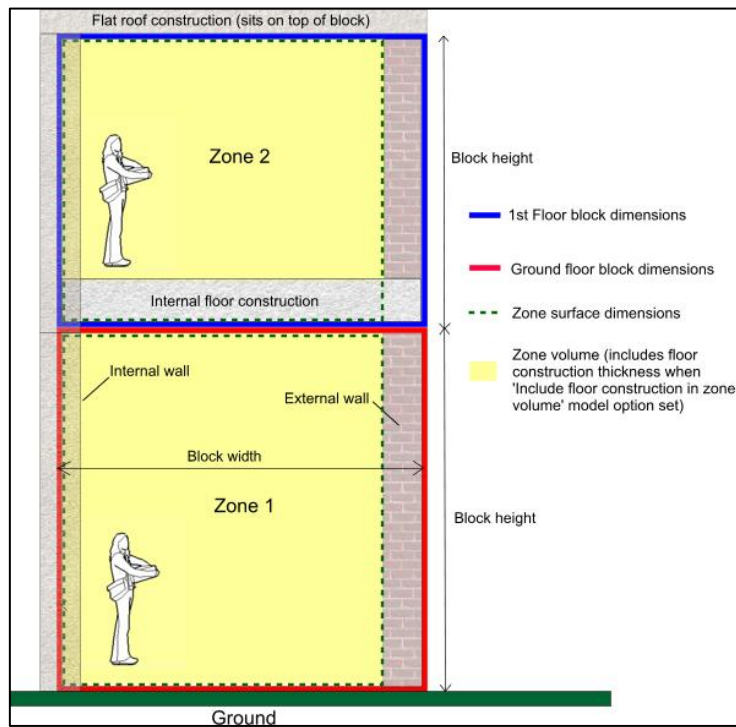


Figura 12 Esquema de las medidas externas [38]

En la figura 12 se puede observar cómo es la metodología de modelización en Design Builder, la cual puede presentar diferencias con respecto a la realidad. Por ello se realizaron las correcciones pertinentes para poder lograr el edificio lo más parecido a la realidad.

Tras la modelización cada planta éstas se dividieron en zonas, quedando las viviendas separadas entre sí, y con las zonas comunes. Más tarde esto servirá para caracterizar cada una de ellas y obtener el comportamiento térmico del edificio, así como el consumo energético del mismo. Un ejemplo de cómo quedaría dividida una planta sería la figura 13 donde se pueden ver 4 viviendas y el pasillo.

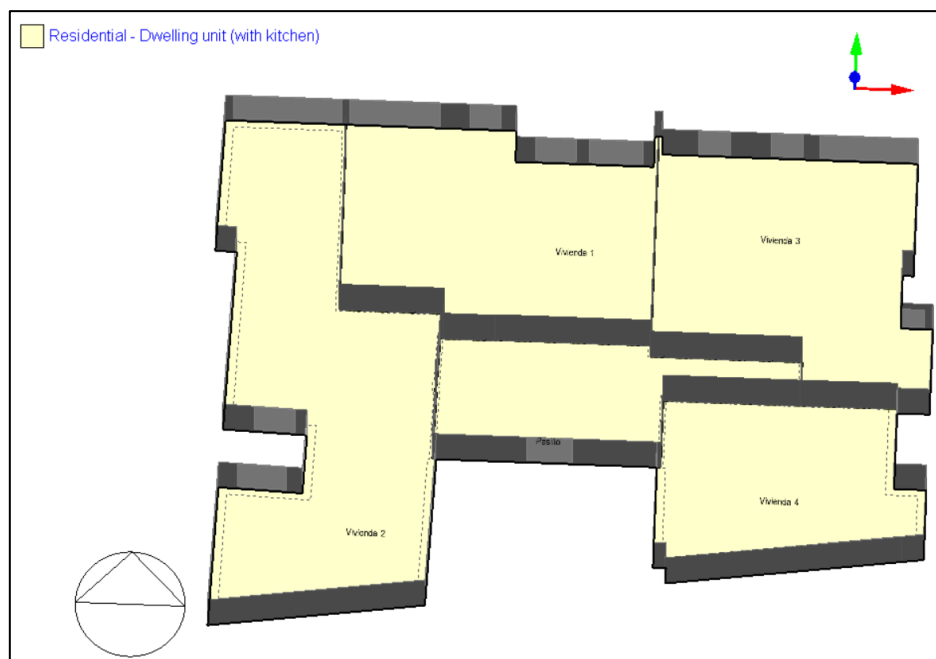


Figura 13 Ejemplo zonificación

A pesar de que Design Builder tenga como opción la introducción de ventanas automáticas, otro de los aspectos que acerca nuestro edificio de simulación al real es la introducción de las ventanas y puertas exteriores. Por lo tanto, se decidió implementar estos elementos tal y como lo son en la realidad, no solo tomando en cuenta las dimensiones de las ventanas, sino también su posición en el muro, todo esto se verá reflejado en una mayor precisión en lo que a las ganancias solares y ventilación respecta. El en caso del edificio de estudio esta caracterización cuenta con mucho peso ya que la altura de las ventanas cubre la totalidad de la altura del muro, lo que representa un porcentaje de muro acristalado alto en comparación con la opción automática, esto se observa con facilidad en la figura 14.

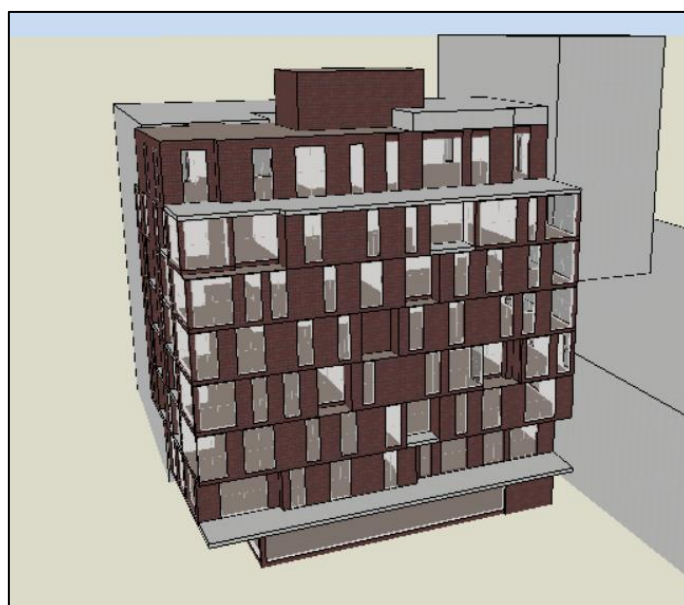


Figura 14 Modelización de las ventanas (Modo visualización)

También se tendrá en cuenta el retranqueo de las ventanas y las divisiones de las mismas. Por otra parte, también se introdujeron las puertas exteriores, es decir, todas aquellas puertas que dan a terraza o calle.

Finalmente, otro de los elementos a tener en cuenta para la modelización son los balcones u otros elementos que puedan generar sombra. La tipología de estos bloques es diferente a los comúnmente conocidos como 'bloque edificio', estos se modelan como 'bloque de contorno' pudiendo ser de tres tipos: estándar, terreno o adiabático. Para introducir los balcones se usarán bloques de contorno tipo estándar ya que su única función es la de provocar la sombra en el interior de edificio, se ven representados en color rosa (Figura 16).

Como ya se ha mencionado el entorno en el que se encuentra el edificio puede representar un obstáculo que genera sombra, por ello para incluir de algún modo estos elementos se acudió a Google Maps donde se puede observar con facilidad cuales serían dicho elementos. En este caso concreto el modelo se ubica entre dos calles con sus respectivas filas de edificios, por ello se modelaron tanto el edificio contiguo que se encuentra a la misma altura de el de estudio y aquellos que se ubican a una altura mayor. Debido a que el objeto de introducir estos elementos es representar la generación de sombra, también se modelan como 'bloque de contorno' tipo estándar. Para la obtención de las medidas de acudió a la base de datos de mapas de Geoeuskadi [39] donde se pudo acceder al mapa de Ermua con las cubiertas de los edificios, lo que facilitó la medida de las distancias. Por otra parte, gracias a Google Earth se pudieron tomar las cotas a las que se encuentran las bases de los bloques, como ya se ha dicho el edificio de estudio y su contiguo ubicado en la calle Zubiarre se encuentran a la misma altura, y el edificio también contiguo pero ubicado en la calle Zerukoa se encuentra 9 metros por encima. Dicho esquema queda representado en la figura 15.

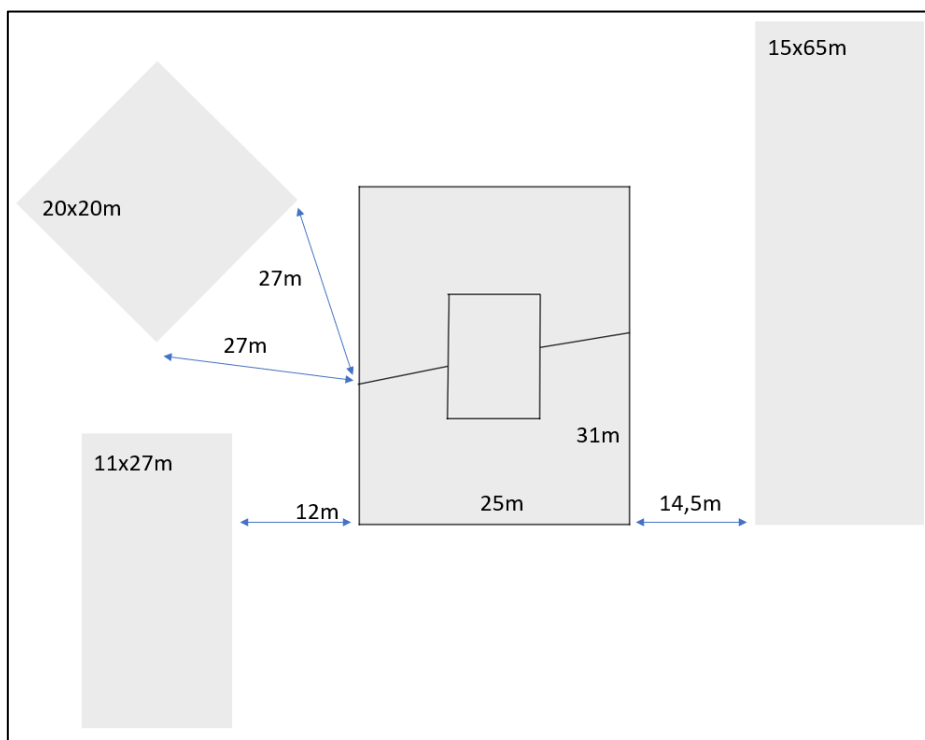


Figura 15 Esquema de los edificios contiguos

Tal y como se puede apreciar en la figura 16 existen otro tipo de bloques de diferente color, éstos hacen referencia a las otras dos tipologías de bloque de contorno antes mencionadas. El edificio objeto se quiere construir junto al edificio trasero ya existente generando un patio interior entre ellos. La correcta modelización de este bloque tiene sentido ya que aquellas paredes que queden contiguas representarán una transferencia de calor adiabática ya que la temperatura en ambos lados será similar.

Del mismo modo, Design Builder permite introducir bloques caracterizados como terreno, que se usan cuando existen bloques de edificio enterrados como pueden ser en el caso presente, los sótanos. Es importante mencionar que cuando se modeliza un bloque de tipo terreno o adiabático, éstos cobran las características de uno estándar, es decir, que generan sombras, a la vez que la nueva característica, que sea adiabático o que represente un terreno. Este apunte tiene importancia, ya que la introducción del terreno no solo aporta esta cualidad a nivel de edificio, sino también hacer que a la hora de la simulación el Sol no se infiltre por la diferencia de altura entre el edificio objeto y los contiguos.

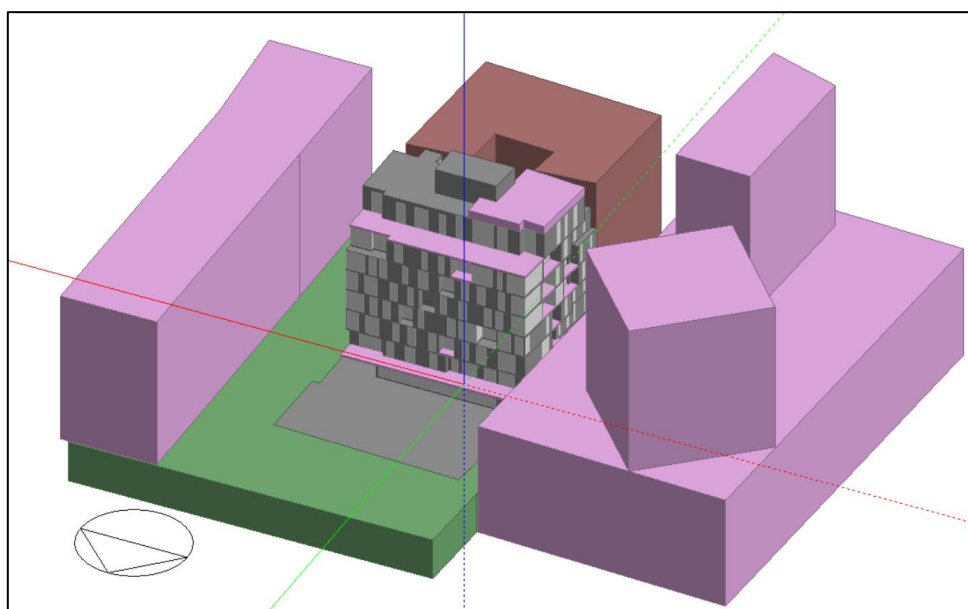


Figura 16 Geometría del edificio

5.3.2 Caracterización de los cerramientos

Una vez se ha realizado la geometría se comenzaron a describir los cerramientos. El edificio de estudio no contaba con los cerramientos definidos por lo que se optó por tomar la descripción de los cerramientos de la última construcción realizada por la constructora. Se trata de otro edificio situado en Ermua más concretamente en la calle Aldapa, la metodología seguida fue la de reunir toda la documentación proporcionada y realizar una biblioteca de cerramientos con estos datos para más tarde aplicarlos al edificio de estudio. Dicha biblioteca cuenta con cada una de las capas necesarias para cada cerramiento de diferente naturaleza (cubierta, suelos, fachada, suelo sobre terreno...). Para ser más precisos en nuestra simulación se introdujeron los datos de cada capa, tomando tanto los datos proporcionados por la constructora como datos genéricos de la base del CTE [40] o de otras fuentes como el proveedor de materiales Goodfellow [41] para aquellos elementos que no

quedaban definidos. Los cerramientos quedan recopilados en las tablas 3-10, junto con la sección representada en las figuras 17-24:

Tabla 3 Cerramiento suelo enterrado

Suelo Enterrado	Espesor (cm)	Conductividad (W/m·K)	Densidad (kg/m ³)	Resistencia térmica (m ² ·K/W)
R exterior				0,040
Limestone	30	1,4	2180	0,214
EPS	5	0,04	1400	1,250
Hormigón armado	15	2,5	2400	0,060
Hormigón	5	2	2400	0,025
R interior				0,170
TOTAL	55	Transmitancia (W/m²·K)		0,568

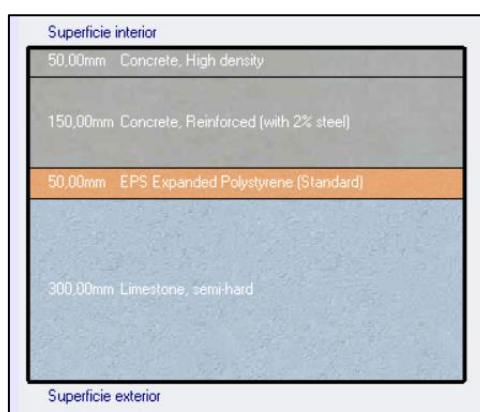


Figura 17 Sección suelo enterrado

Tabla 4 Cerramiento suelo entre sótanos

Suelo entre sótanos	Espesor (cm)	Conductividad (W/m·K)	Densidad (kg/m ³)	Resistencia térmica (m ² ·K/W)
R exterior				0,100
Limestone	5	1,5	2400	0,033
EPS	5	0,04	1400	1,250
Hormigón armado	15	2,5	2400	0,060
R interior				0,170
TOTAL	25	Transmitancia (W/m²·K)		0,620



Figura 18 Sección suelo entre sótanos

Tabla 5 Cerramiento suelo entre sótano y PB

Suelo entre sótano y PB	Espesor (cm)	Conductividad (W/m·K)	Densidad (kg/m ³)	Resistencia térmica (m ² ·K/W)
R exterior				0,10
Cerámica	1,5	1,3	2300	0,01
EPS	5	0,04	1400	1,25
Mortero de cemento	2	0,72	1650	0,03
Arena	3	1,83	1950	0,02
Hormigón armado	15	2,5	2400	0,06
R interior				0,17
TOTAL	26,5	Transmitancia (W/m²·K)		0,611



Figura 19 Sección suelos entre sótano y PB

Tabla 6 Cerramiento suelo entre plantas

Suelo entre plantas	Espesor (cm)	Conductividad (W/m·K)	Densidad (kg/m ³)	Resistencia térmica (m ² ·K/W)
R exterior				0,100
Tarima	1,5	0,14	650	0,107
Mortero de cemento	5	0,72	1650	0,069
Poliestireno extr. XPS	5	0,03	35	1,667
Hormigón armado	15	2,5	2400	0,060
R interior				0,170
TOTAL	26,5	Transmitancia (W/m²·K)		0,460



Figura 20 Sección suelo entre plantas

Tabla 7 Cerramiento cubierta

Cubierta	Espesor (cm)	Conductividad (W/m·K)	Densidad (kg/m ³)	Resistencia térmica (m ² ·K/W)
R exterior				0,040
Grava	10	0,36	1840	0,278
Poliestireno [42]	12	0,037	32	3,243
Asfalto	0,2	0,43	1600	0,005
Hormigón	10	1,35	1800	0,074
Hormigón armado	20	2,5	2400	0,080
Yeso	2	0,42	1200	0,048
R interior				0,100
TOTAL		Transmitancia (W/m²·K)		0,259



Figura 21 Sección cubierta

Tabla 8 Cerramiento fachada

Fachada	Espesor (cm)	Conductividad (W/m·K)	Densidad (kg/m ³)	Resistencia térmica (m ² ·K/W)
R exterior				0,040
Ladrillo	12,5	0,84	1920	0,149
Mortero de cemento	1,5	0,82	2000	0,018
Poliuretano expandido	6	0,028	35	2,143
Aire				0,210
Lana de roca [43]	4	0,034	70	1,176
Lámina de yeso	2,6	0,25	900	0,104
R interior				0,170
TOTAL		Transmitancia (W/m²·K)		0,249



Figura 22 Sección fachada

Tabla 9 Cerramiento partición vivienda-zona común

Partición vivienda-z. común	Espesor (cm)	Conductividad (W/m·K)	Densidad (kg/m ³)	Resistencia térmica (m ² ·K/W)
R exterior				0,040
Lámina de yeso	1,3	0,25	900	0,052
Lana de roca [43]	4	0,034	70	1,176
Ladrillo	12,5	0,72	1920	0,174
Yeso (capa)	0,5	0,42	1200	0,012
R interior				0,130
TOTAL		Transmitancia (W/m²·K)		0,631

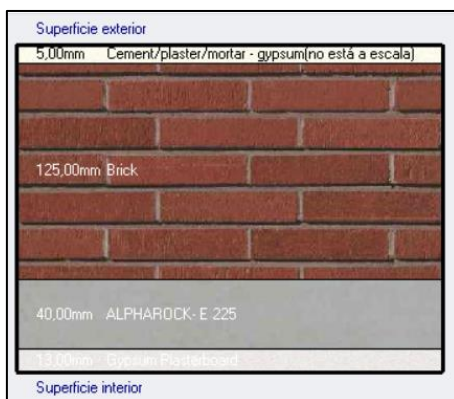


Figura 23 Sección partición vivienda-zona común

Tabla 10 Cerramiento partición entre viviendas

Partición viviendas	Espesor (cm)	Conductividad (W/m·K)	Densidad (kg/m ³)	Resistencia térmica (m ² ·K/W)
R exterior				0,130
Lámina de yeso	1,3	0,25	900	0,052
Lana de roca [43]	4	0,034	70	1,176
Ladrillo	12,5	0,72	1920	0,174
Lana de roca	4	0,034	70	1,176
Lámina de yeso	1,3	0,25	900	0,052
R interior				0,130
TOTAL		Transmitancia (W/m²·K)		0,346

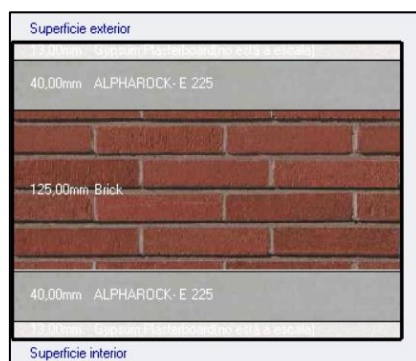


Figura 24 Sección partición entre viviendas

(*) El valor de la transmitancia de algunos cerramientos puede cambiar cuando estos pasan de ser semi-expuestos a interiores, como puede ser el suelo entre la PB (no acondicionada) y la primera planta, donde el suelo sería semi-expuesto. Un suelo interior se consideraría el existente entre la primera y segunda planta, ambas acondicionadas, esto se debe a que las resistencias interior y exterior cambian al tratarse de medios diferentes.

En lo que respecta a las ventanas y puertas exteriores, también se tomó la información de la memoria del proyecto de las viviendas Aldapa. En él se puede ver que las ventanas elegidas fueron de la marca Saint-Gobain, la línea Climait Plus [44], cuya composición sería 6 mm de cristal, 16 mm cámara de argón y vidrio acústico 4+4 mm, los modelos concretos de cada una de las capas se han elegido de la propia biblioteca de Design Builder tomando aquellas que más de acercasen a la realidad. Del mismo modo, se modelaron las puertas exteriores, aquellas que dan paso a los balcones y las pertenecientes al portal. Las puertas son de cristal por lo que se ejecutaron en Design Builder como ventanas cuyo cerramiento será el mismo que el de las propias ventanas, las características aparecen en la tabla 11:

Tabla 11 Composición de ventanas y puertas exteriores

Ventanas y puertas (cristal)	mm
Saint Gobain Glass SSG	6
Argón	16
Saint Gobain SSG STADIP SILENCE CLEAR	4+4
Transmitancia (W/m²·K)	2,52

5.3.3 Cargas térmicas

Con la definición geométrica del edificio realizada se comenzó a definir otro tipo de parámetros como la ocupación, la iluminación, los equipos, así como las temperaturas de consigna de calefacción y las ratios de ventilación. En este apartado se van a presentar cada uno de estos perfiles.

Todos los valores presentados a continuación se extrajeron del siguiente pliego de condiciones: “Documento de condiciones de aceptación de Programas Informáticos Alternativos ANEXOS” [45] donde se proporcionan datos de los perfiles mencionados.

Para la temperatura de consigna alta y baja se toman los valores de 20 y 17 grados respectivamente en la siguiente franja horaria, resumen la tabla 12:

Tabla 12 Franjas horarias de la temperatura de consigna de calefacción

T^a Consigna	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Enero	17	17	17	17	17	17	17	20	20	20	20	20
Febrero	17	17	17	17	17	17	17	20	20	20	20	20
Marzo	17	17	17	17	17	17	17	20	20	20	20	20
Abril	17	17	17	17	17	17	17	20	20	20	20	20
Mayo	17	17	17	17	17	17	17	20	20	20	20	20
Junio												
Julio												

Agosto												
Septiembre												
Octubre	17	17	17	17	17	17	17	20	20	20	20	20
Noviembre	17	17	17	17	17	17	17	20	20	20	20	20
Diciembre	17	17	17	17	17	17	17	20	20	20	20	20

Tª Consigna	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Enero	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	17
Febrero	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	17
Marzo	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	17
Abril	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	17
Mayo	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	17
Junio												
Julio												
Agosto												
Septiembre												
Octubre	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	17
Noviembre	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	17
Diciembre	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	17

En lo que respecta a la ocupación el pliegue define tanto la ocupación sensible como al latente, esta última se introduce como una fracción de la primera, los valores resultantes son los que aparecen en la tabla 13 y 14:

Tabla 13 Franja horaria densidad de potencia de la ocupación sensible

Ocupación sensible (W/m²)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Laboral	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	0,54	0,54	0,54	0,54
Sábado	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15
Festivo	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15

Ocupación sensible (W/m²)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Laboral	0,54	0,5	0,54	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	2,15
Sábado	2,15	2,2	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15
Festivo	2,15	2,2	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15

Tabla 14 Franja horaria densidad de potencia de la ocupación latente

Ocupación latente (W/m²)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Laboral	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34
Sábado	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36
Festivo	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36

Ocupación latente (W/m ²)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Laboral	0,34	0,3	0,34	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	1,36
Sábado	1,36	1,4	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36
Festivo	1,36	1,4	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36

Para la introducción de las cargas internas de cada vivienda, como pueden ser la iluminación y los equipos, se establece la siguiente distribución, tablas 15 y 16:

Tabla 15 Franja horaria de la densidad de potencia de la iluminación

Iluminación (W/m ²)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Laboral, sábado y festivo	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32

Iluminación (W/m ²)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Laboral, sábado y festivo	1,32	1,3	1,32	1,32	1,32	1,32	2,2	4,4	4,4	4,4	4,4	2,2

Tabla 16 Franja horaria de la densidad de potencia de los equipos

Equipos (W/m ²)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Laboral, sábado y festivo	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32

Equipos (W/m ²)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Laboral, sábado y festivo	1,32	1,3	1,32	1,32	1,32	1,32	2,2	4,4	4,4	4,4	4,4	2,2

Finalmente, en lo que a los ratios de ventilación respecta los valores definidos en el pliego solo recoge la franja desde la 1 a las 7 en verano con 4 renovaciones/hora tal y como se puede ver en las tablas 17 y 18. El resto de los valores corresponde a un valor constante que responde a las renovaciones horas mínimas descritas en el Código Técnico.

Tabla 17 Distribución horaria de la ventilación en verano

Ventilación verano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Laboral, sábado y festivo	4	4	4	4	4	4	4	4	*	*	*	*

Ventilación verano	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Laboral, sábado y festivo	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

Tabla 18 Distribución horaria de la ventilación en invierno

Ventilación invierno	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Laboral, sábado y festivo	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

Ventilación invierno	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Laboral, sábado y festivo	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

Como se ha mencionado antes las horas que aparecen con un asterisco habría que calcularlas en función del documento de Pliego de condiciones para programas alternativos antes mencionado. Se necesita conocer la tipología de viviendas que existen ya que no todas son iguales, de este modo podemos aplicar al cálculo correspondiente a cada una de ellas. En el edificio Buenas Aires existen 3 tipos de viviendas: 2 dormitorios con 1 baño; 2 dormitorios con 2 baños y 3 dormitorios con 2 baños. En la siguiente tabla se muestra la renovación de aire en litros/segundo exigida por el CTE para cada uno de los habitáculos, dividido en locales secos y húmedos, el cálculo queda resumido en la tabla 19.

Tabla 19 Renovaciones hora exigidas por el CTE según local

(l/s)	Locales secos			Locales húmedos	
Tipo de vivienda	Dormitorio principal	Resto de dormitorios	Sala de estar/ comedor	Mínimo total	Mínimo por local
2 dormitorios	8	4	8	24	7
3 o más dormitorios	8	4	10	33	8

En la tabla 20 se exponen los cálculos para las tres tipologías de viviendas:

Tabla 20 Cálculo de la ventilación según tipología de vivienda

Ventilación de locales secos (l/s)	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
Dormitorio principal	1	1	1
Resto de dormitorios	1	1	2
Comedor/Sala de estar	1	1	1
TOTAL	20	20	26
Ventilación de locales húmedos (l/s)	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
Baños	1	2	2
Cocina	1	1	1
Mínimo por local	14	21	24
Mínimo	24	24	33
Se toma el mayor (locales húmedos)	24	24	33

Como se puede observar se obtienen valores para la ventilación de los locales secos y húmedos, para estos últimos se comparan dos valores, el mínimo por local y el mínimo según la tipología de vivienda (1, 2 o 3 o más dormitorios), entre estos dos valores se toma el mayor. Finalmente, para obtener las renovaciones mínimas se vuelven a comparar los valores, esta vez las renovaciones de los locales húmedos y secos y se toma el mayor, de este modo obtenemos que para la tipología de vivienda 1 el mínimo sería 24 l/s; para la 2, 24 l/s y para la 3, 33 l/s. Con estos valores el cálculo final sería realizar la conversión a renovaciones/hora ya que es el valor que exige Design Builder, que no es más que las renovaciones a la hora del volumen total de la vivienda. En la tabla 21 se puede observar dicha conversión junto con el volumen medio de cada tipología:

Tabla 21 Ventilación mínima en renovaciones hora según tipología

	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
Ventilación (l/s)	24	24	33
Volumen (m ³)	178,62	245,69	334,83
Renovaciones/hora	0,48	0,35	0,35

Por lo tanto, estos serán los valores a introducir para todas las horas en las que no quedaba definida la ventilación. Por otra parte, también se ha incluido el valor de las infiltraciones, tomando el valor determinado por el pliego [45] de 0,24 ren/hora.

Para el cálculo de los litros/día del edificio se acude al anexo F del Código Técnico donde se establece el consumo de ACS según el número de personas que habitan el edificio, valor también estimado en el mismo anexo. Por lo tanto, el cálculo queda resumido en las tablas 22 y 23.

Tabla 22 Estimación de las personas

	N.º de personas	TOTAL
N.º de viviendas con 2 habitaciones	9	27
N.º de viviendas con 3 habitaciones	13	52

Tabla 23 Estimación de los litros/día · m²

Personas totales	l/día persona	Área viviendas (m²)	l/día*m²
79	28	2089,616	1,058568

De este modo se obtiene un valor de 1,059 litros por día-metro cuadrado de consumo de ACS para el edificio Buenos Aires, del mismo modo el perfil de uso expresado en porcentaje sobre el máximo se obtiene de los valores estandarizados del pliego antes mencionado, dándose un perfil de consumo de la tabla 24:

Tabla 24 Perfil de uso del ACS

ACS (%)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Perfil diario (% del máx.)	12	5	4	2	2	6	27	100	70	75	62	56

ACS (%)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Perfil diario (% del máx.)	48	48	41	33	38	39	52	70	57	63	48	52

Entre los trabajos consultados que han ayudado a desarrollar esta parte del proyecto se pueden destacar los siguientes

- Análisis de soluciones pasivas para la reducción de la demanda energética máxima en el paraninfo de la Universitat Politècnica de València (2016) [46]
- Certificación energética de un edificio universitario existente (2017) [47]

5.3.4 Instalación Caso Base

La instalación HVAC que se tomará para el caso base será el sistema del edificio Aldapa, el cual consiste en dos calderas de condensación funcionando con gas natural, una para calefacción y la otra para el abastecimiento de ACS, siendo esta segunda apoyada por una instalación de colectores solares. Para la implementación de los sistemas en Design Builder se hará uso de del módulo 'HVAC detallados' donde se puede trabajar de una manera más precisa con los sistemas. Ejemplo de la instalación anteriormente descrita tenemos la figura 25:

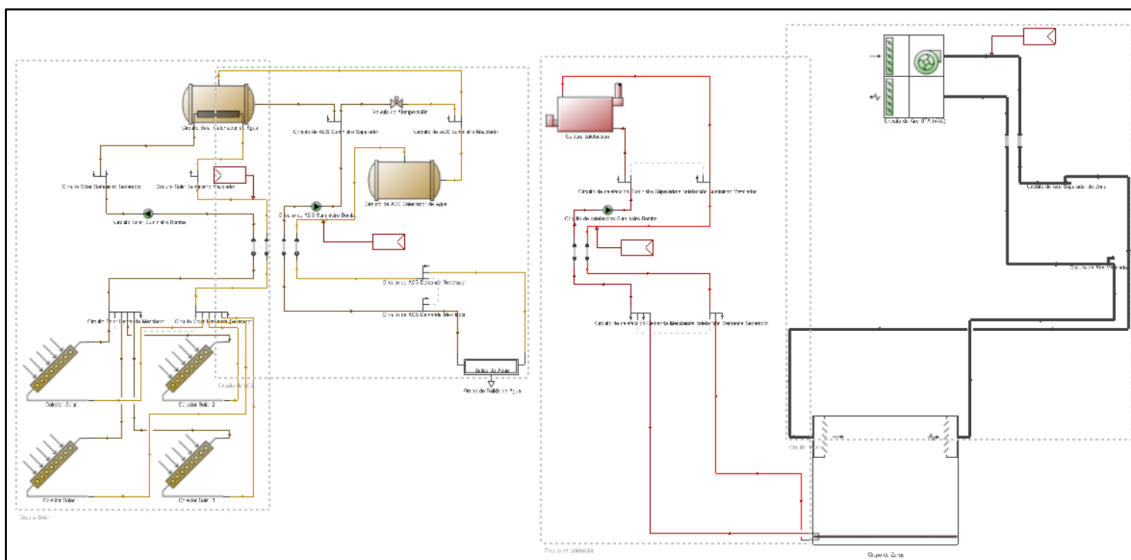
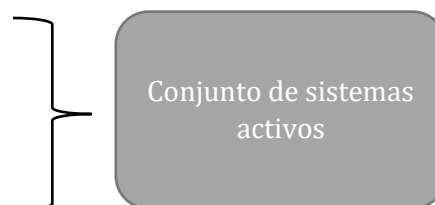


Figura 25 Instalación caldera condensación para ACS con colectores solares caso base

Todo lo expuesto hasta ahora sirve como ejemplo de la metodología a seguir para diseñar cada uno de los escenarios que componen este proyecto. A partir de ahora se irán creando los archivos que compondrán la biblioteca que permitirá obtener la gráfica coste-energía primaria. El esquema seguido será el siguiente:

- Cerramientos base (descritos en este apartado)
- Cerramientos Pack mejoras 1
- Cerramientos Pack mejoras 2
- Cerramientos Pack mejoras 3
- Cerramientos Pack mejoras 4



En el siguiente apartado se van a describir en qué consistirán los diferentes packs de mejoras, así como la explicación de cada uno de los sistemas. También se especificarán los posibles casos donde algún escenario queda imposibilitado.

5.4 ESCENARIOS ALTERNATIVOS

Los escenarios estarán compuestos por diferentes combinatorias, tanto de medidas activas como pasivas, que serán expuestas en los siguientes apartados, mencionar que las medidas pasivas son más limitadas que la activas siendo estas segundas más extensas formando entre ellas también distintas configuraciones.

5.4.1 MEDIDAS PASIVAS

Las medidas pasivas se basan principalmente en la modificación de la transmitancia según diferentes tipologías de muro teniendo como referencia varios estándares. En la tabla 25 de puede ver de forma resumida los valores de las transmitancias a obtener y más tarde se expondrán (como se hizo con los muros del caso base) la composición de cada uno de los elementos una vez se ha logrado el valor para cada estándar.

Tabla 25 Tabla resumen medidas pasivas

	OBJETIVO	VALORES A ALCANZAR
FACHADA	ENVOLVENTE BAU Cumplir CTE HE	$U = 0,49 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
	ENVOLVENTE EECN - Cumplir CTE HE-Anexo E	$U = 0,29 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
	ENVOLVENTE B - Certificación Energética B	Demanda = 7,7 - 17,9 kW/m ² a
	ENVOLVENTE PH - Cumplir Enerphit	$U \leq 0,30 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
CUBIERTA	ENVOLVENTE BAU - Cumplir CTE HE	$U = 0,40 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
	ENVOLVENTE EECN - Cumplir CTE HE-Anexo E	$U = 0,23 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
	ENVOLVENTE B - Certificación Energética B	Demanda = 7,7 - 17,9 kW/m ² a
	ENVOLVENTE PH - Cumplir Passivhaus	$U \leq 0,30 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
HUECOS	ENVOLVENTE BAU - Cumplir CTE HE	$U = 2,1 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
	ENVOLVENTE EECN - Cumplir CTE HE-Anexo E	$U = 2 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
	ENVOLVENTE B - Certificación Energética B	Demanda = 7,7 - 17,9 kW/m ² a
	ENVOLVENTE PH - Cumplir Passivhaus	$U \leq 1,05 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ $U_g - g * 2,8 \leq -1$
PARTICIONES ESPACIOS NO HABITABLES	ENVOLVENTE BAU - Cumplir CTE HE	$U = 0,70 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
	ENVOLVENTE EECN - Cumplir CTE HE-Anexo E	$U = 0,48 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
	ENVOLVENTE B - Certificación Energética B	Demanda = 7,7 - 17,9 kW/m ² a
	ENVOLVENTE PH - Cumplir Passivhaus	$U \leq 0,30 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

Para la realización del paquete de medidas pasivas se creará una biblioteca en Design Builder gracias a que éste ofrece una opción donde se puede fijar el valor de la transmitancia del muro en base al grosor de aislamiento del mismo, de todas formas, se priorizará que el aislamiento tome un valor de transmitancia exacto (preferiblemente par). Para no alargar

demasiado este punto con explicaciones de cada elemento se adjunta en la tabla 26 que sirve de resumen, en ella se puede observar el tipo de elemento, su transmitancia anterior y la actual tras la aplicación de los cambios.

Tabla 26 Transmitancias de las mejoras pasivas

PACK 1 (W/m² K)		
	U a alcanzar	U Obtenida
Fachada	0,49	0,252
Cubierta	0,4	0,259
Huecos	2,1	1,4
Particiones espacios no habitables	0,7	0,63
PACK 2 (W/m² K)		
	U a alcanzar	U Obtenida
Fachada	0,29	0,252
Cubierta	0,23	0,209
Huecos	2	1,4
Particiones espacios no habitables	0,48	0,391
PACK 3 (W/m² K)		
	kW/m ²	U Obtenida
Fachada	7,7-17,9	0,158
Cubierta	7,7-17,9	0,176
Huecos	7,7-17,9	0,98
Particiones espacios no habitables	7,7-17,9	0,351
PACK 4 (W/m² K)		
	U a alcanzar	U Obtenida
Fachada	0,3	0,252
Cubierta	0,3	0,259
Huecos	1,05	0,98
Particiones espacios no habitables	0,3	0,291

En las siguientes líneas se hará una breve descripción de las características de los diferentes grupos de medidas, antes de nada, aclarar que las propiedades de algunos elementos del caso base ya cumplen con las exigencias requeridas de los grupos de mejora, por lo que ese elemento no sufrirá cambios y se dejará tal y como en el caso base.

- Pack 1: Para el cumplimiento de este primer conjunto es necesario cambiar las ventanas, ya que el resto de los elementos ya cumplen la transmitancia mínima exigible por el CTE. La ventana elegida es de la marca Saint Gobain, más concretamente el modelo SGG PLT XN, con cámara de argón.
- Pack 2: Para el segundo conjunto es necesario el cambio de 3 elementos: la cubierta, las ventanas y las particiones divisoras de espacios no habitados. La exigencia para la cubierta no está muy alejada de la ya existente por lo que añadir 3 cm de aislamiento (poliestireno extruido) es suficiente para lograr la transmitancia. En el caso de las ventanas me mantienen las instaladas en el Pack 1 ya que la transmitancia también sería la indicada como mínima. Finalmente, para lograr la partición con una U menos que 0,48 W/m² * K se añadieron 3 cm de aislamiento de lana de roca al ya existente, obteniendo un espesor total de 7 cm.

- Pack 3: Este grupo de medidas ha sido el más difícil de diseñar ya que no depende de las transmitancias de los elementos, sino del consumo de energía por metro cuadrado del edificio. Por lo tanto, la metodología a seguir para este caso es la de iterar probando con diferentes espesores y materiales hasta intentar acercar el consumo lo máximo posible al requerido. Cabe mencionar que esto no se logra en todos los escenarios, resultado que queda reflejado en la tabla de datos de los escenarios. No obstante, por no añadir demasiado aislamiento haciendo que el elemento tuviera un grosor excesivo se decidió dejar este grupo de medidas con las siguientes características: a los muros se le añadieron 14 cm de aislamiento lana de rock ALPHAROCK 225, para la cubierta se añaden 6 cm también del aislante DANOPREN; en el caso de las ventanas se decide la instalación de una ventana de triple vidrio, más concretamente el modelo de Saint Gobain CLIMALIT PLUS PLANITHERM XN F2 PLANITHERM XN F5 con cámaras de argón de 16 mm. Finalmente para las particiones interiores se instalan 4 cm más de ALPHAROCK 225. A parte de estas medidas el Pack 3 incluye como medida a implementar la incorporación de un recuperador de calor en el sistema de ventilación.
- Pack 4: Para lograr los valores definidos por Enephit, los elementos a amoldar serían las ventanas y las particiones. En ese caso la exigencia de la ventana es elevada por lo que es necesaria la instalación de un triple vidrio, más concretamente el modelo de Saint Gobain CLIMALIT PLUS PLANITHERM XN F2 PLANITHERM XN F5 con cámaras de argón de 16 mm. Para las particiones, del mismo modo que anteriormente se añade espesor de aislamiento de lana de roca hasta los 10 cm (4 ya instalados y 6 añadidos). A parte de estas medidas el Pack 4 incluye como medida a implementar la incorporación de un recuperador de calor en el sistema de ventilación.

5.4.2 MEDIDAS ACTIVAS

En lo que a las medidas pasivas respecta se han propuesto instalaciones de distintas tipologías que, tras la combinación de éstas, dan un total de 280 combinaciones (más delante se verá que no todos los escenarios pueden ser implementados). El bloque principal consta de 14 escenarios tal y como se puede observar en la tabla 27.

Tabla 27 Combinatoria de escenarios

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14
Calderas GN (calefacción)	■	■												
Caldera GN (ACS)	■	■					■	■	■	■				
BC aerotermia (calefacción)			■						■	■		■		
BC aerotermia (ACS*)			■											■
BC geotermia (calefacción)				■			■	■			■			
BC geotermia e (ACS*)				■									■	
Cogeneración (Calefacción)					■									
Cogeneración (ACS)					■						■	■		
Biomasa (calefacción)						■							■	■
Biomasa (ACS)						■								
Colectores Demanda CTE	■						■		■					
Colectores Demanda 100%		■						■		■				
Fotovoltaica (50% área)	Incorporación del caso 15 al 28													
Fotovoltaica (100% área)	Incorporación del caso 29 al 42													
Baldosa fotovoltaica	Incorporación del caso 43 al 56													

La implementación de la energía fotovoltaica queda sin marcar en este primer grupo de combinaciones ya que no se tendrá en cuenta. En los siguientes escenarios, más concretamente desde el 15 al 28 las combinaciones anteriormente presentadas se vuelven a repetir, no obstante, esta vez se incorpora el 50% de la cubierta fotovoltaica como aporte de energía renovable. Lo mismo ocurre con los casos del 29 al 42 donde la cubierta ocupada por placas fotovoltaicas será el 100%. Finalmente, los casos del 43 al 56 se realizan con la incorporación de baldosa fotovoltaica, la cual se definirá de diferente manera a las placas. El proceso para la implementación de tecnología fotovoltaica en Design Builder será descrita más adelante.

Una vez se han simulado todos los casos se recopilan los datos en una tabla de Excel donde se pueden observar las características principales de cada uno de los escenarios. De esta tabla los datos a tener más en cuenta son los consumos de combustible, que luego darán la columna de consumo de energía primaria, y la de coste anual.

Los datos relacionados con los consumos de combustible se extraen del informe de resultados de Design Builder, ejemplo de ello sería la figura 26:

End Uses						
	Electricity [kWh]	Natural Gas [kWh]	Additional Fuel [kWh]	District Cooling [kWh]	District Heating [kWh]	Water [m3]
Heating	12.14	62207.14	0.00	0.00	0.00	0.00
Cooling	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Interior Lighting	282791.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Lighting	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Interior Equipment	27228.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Equipment	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fans	3964.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pumps	45.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Rejection	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Humidification	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Recovery	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Water Systems	0.00	27091.91	0.00	0.00	0.00	803.79
Refrigeration	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Generators	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total End Uses	314042.52	89299.05	0.00	0.00	0.00	803.79

Note: Natural gas appears to be the principal heating source based on energy usage.

Figura 26 Ejemplo resultados Design Builder

De este informe también se extraen los aportes de calor generados por colectores solares, así como la electricidad generada por los paneles fotovoltaicos. De este modo, en el Excel se introducen estos valores que, junto con el consumo de electricidad de los ventiladores y bombas, se aplican los factores de conversión de energía final a primaria para así obtener la columna de consumo de energía primaria por metros cuadrado (acondicionado).

Para todo lo que se refiere a los costes de inversión y variables se acude a la plataforma de Generador de Precios [48]. La inversión de cada escenario supone la suma de los elementos de cada instalación uno a uno. Hay elementos como el suelo radiante donde habrá que multiplicar el coste del metro cuadrado por los metros cuadrados de suelo, por lo que habrá que realizar en Excel el cálculo del coste total.

Para los costes variables se necesita conocer el precio del combustible junto con el coste de mantenimiento de la instalación durante un periodo de tiempo. El precio del combustible se extrajo de la base de datos de Eurostat (Precio gas natural [49], precio electricidad [50] y precio pellet [51]) donde aparece el coste actualizado al año 2019 con impuestos incluidos. Para el coste de mantenimiento de las instalaciones se ha decidido que el periodo sea de 10 años ya que Generador de Precios proporciona dicho importe lo que facilita los cálculos. De este modo ya contamos con todos los datos para aplicar la fórmula de la anualización que servirá como indicador del coste efectivo.

$$EUAC = \left[Investment + A \times \frac{(1 + i)^n - 1}{i \cdot (1 + i)^n} \right] \times \frac{i \cdot (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1}$$

El cálculo se realizó con un interés del 2,5% basando esta decisión en el trabajo realizado por Kunsdisky et al [52] donde la finalidad del mismo también era la de encontrar el coste efectivo de diferentes tipologías de instalaciones, con la finalidad de obtener un modelo de edificio de consumo de energía casi cero.

Con todos los datos en el Excel se pasa a realizar la gráfica de puntos que proporcionará los grupos de escenarios según la relación 'Energía primaria-Coste', el resultado es el que se muestra la figura 27:

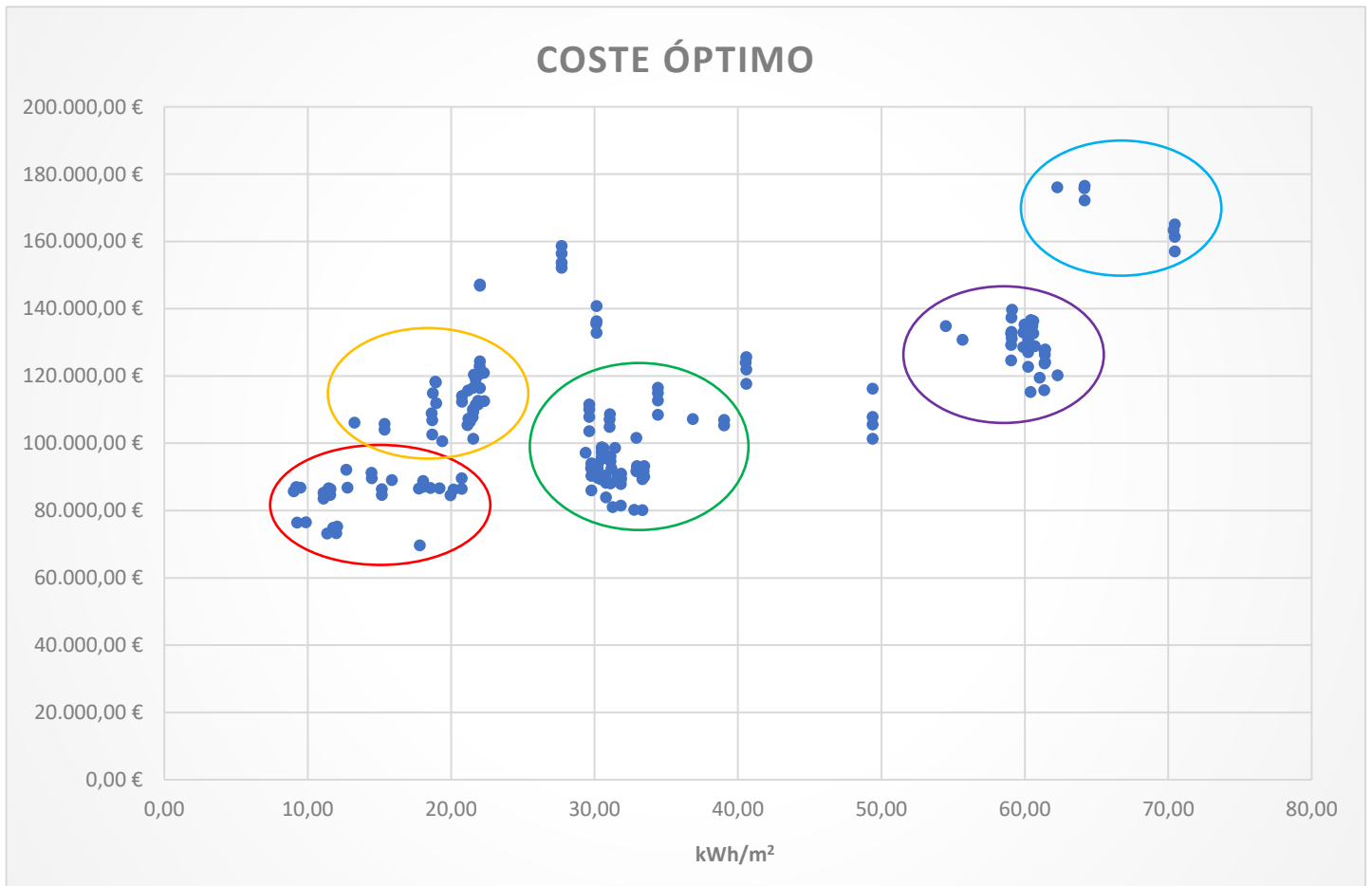


Figura 27 Gráfica Coste Efectivo

En el eje de abscisas se encuentra el coste de anual de cada instalación en euros, mientras que en el de ordenadas se encuentra el consumo de energía primaria por metro cuadrado del edificio.

En una breve observación se puede denotar que los 8 puntos situados más a la derecha (circunferencia azul) también son lo que muestran un coste más alto por lo que la lógica diría que estos escenarios quedarían descartados como opción a implementar. Estos casos pertenecen a las instalaciones de cogeneración junto con el sistema de calefacción (aerotermia y geotermia), con las medidas pasivas base, esto hace que presente un consumo más alto de calefacción, sea cual sea el sistema.

El siguiente grupo, la circunferencia morada, representa también sistemas donde se combina la cogeneración junto con el equipo de calefacción, no obstante, este grupo cuenta con medidas pasivas reforzadas por lo que el impacto del consumo de calefacción se amortigua, haciendo que el consumo de energía primaria disminuya. Sin embargo, el coste anual de este grupo de instalaciones sigue siendo alto.

Al margen de estos dos grupos que quedan descartados como opciones a implementar, quedan diferenciados otros 3. A rasgos generales se podría decir que estos grupos se distinguen según el tipo de medida pasiva que adoptan. El grupo que presenta un consumo mayor de energía primaria serían los escenarios agrupados en la circunferencia verde. Dentro de esta circunferencia se pueden encontrar los escenarios que pertenecen a grupo de pasivas Pack 1 y 2. A pesar de esto, los puntos que se encuentran fuera de esta nube, con un consumo un poco mayor, son los escenarios que pertenecen a las pasivas bases. La razón por la que están más alejadas de este círculo es que cuentan con instalaciones eficientes, pero presentan un consumo alto debido a que el aislamiento del edificio es débil.

La circunferencia naranja agrupa indistintamente escenarios con medidas pasivas del Pack 3 y 4, el orden que siguen los puntos de esta circunferencia es clara. Partiendo de la base de que el grupo de medidas pasivas 3 y 4 adoptan un consumo de energía primaria similar, los puntos que se ubiquen más a la derecha, es decir, más caros, pertenecen al Pack 3 (que es el más caro), mientras que los ubicados a la izquierda son más baratos, por lo que el grupo de medidas pasivas es el 4. A pesar de esta realidad lo que distingue a la circunferencia naranja de la roja es el tipo de instalación, ya que en la circunferencia roja se encuentran principalmente las instalaciones que cuentan con colectores solares.

La implementación de colectores solares amortigua mucho el consumo de calor destinado a ACS, se puede ver una diferencia de consumo de energía primaria muy grande en cada uno de los grupos de medidas pasivas cuando la instalación cuenta con colectores. Dentro de la circunferencia roja también ocurre lo mismo que en los casos anteriores, los puntos que están desplazados más a un lado o al otro representa el tipo de medida pasiva.

Finalmente, los escenarios que quedan más a la derecha de cada uno de los grupos presentados son aquellos que cuentan con instalación fotovoltaica, lo que encarece el coste del escenario, este aspecto se abordará mejor en el apartado de conclusiones.

7. CONCLUSIONES

Los resultados mostrados en el apartado anterior nos permiten de un vistazo conocer qué escenarios serían los más favorables para alcanzar el objetivo NZEB cumpliendo con una buena relación de coste-consumo. Sin embargo, hay aspectos que la gráfica no refleja y que se han podido observar a lo largo del proceso de creación del proyecto. En las siguientes líneas se presentarán dichas observaciones que también servirán como justificación a la hora de valorar los escenarios.

Para comenzar, resulta de interés mencionar que el propio edificio cumple con las exigencias del CTE HE1 (limitación de las transmitancias de los cerramientos), exceptuando las ventanas, por lo que se parte de una buena base donde a priori, poco más se podría mejorar. No obstante, las ventanas se conocen como un punto débil de las viviendas, por lo tanto, contar con un buen aislamiento en ellas es esencial. Este punto se ve muy bien reflejado en cualquiera de las medidas de mejora, ya que al cambiar de ventanas se pasa de una $U=2,5 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ a $U=1,4 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ para el Pack 1 y 2, y para el Pack 3 y 4, una $U=0,98 \text{ W/m}^2 \text{ K}$. Al realizar este cambio la disminución de consumo se hace evidente, pudiendo reducir la potencia de las instalaciones hasta 20 kW.

En lo que respecta a los costes de dichas medidas se hace notable el gran salto que hay entre los Packs 1 y 2 con respecto a los 3 y 4. Los dos primeros packs cuentan con un precio similar ya que el cambio principal de ambas es el de las ventanas debido que el resto de elementos cumplen con la exigencia, llegando a duplicar el coste con respecto al Pack 4 y a triplicarlo para el Pack 3. Esto se debe a que estos los packs 3 y 4 cuentan con exigencias mayores, ya que el estándar a cumplir es el de una certificación energética B y Passivhaus respectivamente, lo hace que el resto de los elementos también tengan que ser modificados, encareciendo el coste. El Pack 4 está definido con valores de transmitancias, por lo que para cumplirlo basta con añadir aislamiento, pero en el caso del Pack 3 la definición viene dada por la demanda energética del metro cuadrado, lo que hacer que haya que iterar hasta lograr entrar en el rango de valores permitidos. Tras varias simulaciones, a pesar de añadir aislamiento no se llega a alcanzar dicho rango en varios de los escenarios. Las conclusiones que se pueden obtener de esto son dos; una es que el edificio por su ubicación u orientación cuenta con limitaciones y la otra es que habría que explorar otro tipo de medidas para poder alcanzar este estándar.

Como conclusión final en lo que a las medidas pasivas respecta se podría decir que, con un coste similar y un impacto no muy inferior al resto de las medidas, los grupos 1 y 2 serían los más convenientes de aplicar ya que cumplirían con el CTE, todo esto gracias al cambio de ventanas.

La consecuencia más interesante que tiene el buen aislamiento del edificio es la disminución de la demanda de calefacción lo que se traduce directamente en instalaciones con potencias más bajas, y a su vez, más baratas. Los costes variables también serán más bajos ya que el consumo de combustible será menor sin que esto signifique que el coste de mantenimiento del escenario incremente, ya que el mantenimiento de las medidas pasivas no es representativo.

Como ya se ha visto en el apartado de resultados, los escenarios que cuentan con colectores solares son aquellos que presentan mejor ratio de consumo de energía primaria con respecto al coste. Dentro de este grupo, las instalaciones que mejor acompañan esta ventaja, es decir, no incrementan significativamente el coste y mantienen dicho ratio, son la geotermia, la aerotermia y la caldera de gas natural de condensación. Estos tres tipos de instalaciones son interesantes, siendo válida cualquiera de las tres ya que el consumo de energía primaria es similar en los tres casos. Si hubiera que elegir alguna de tres la mejor opción podría ser la aerotermia ya que el proceso de instalación es mucho más sencillo que la geotermia y también estaríamos realizando una instalación con una tecnología de considerada renovable.

Como ya se ha mencionado antes lo que marca la diferencia es la instalación de colectores solares, llegando a reducir a la mitad el consumo de energía primaria. En el proyecto se han considerado dos escenarios a la hora de implementar colectores, uno donde el objetivo es abastecer el 60% de la demanda de calor para ACS y otra donde se busca el 100%. Ese objetivo del 100% no se alcanza en ninguno de los casos ya que el espacio disponible en la cubierta es reducido. Con esto se quiere transmitir la importancia de un buen uso de la cubierta, llegando al siguiente punto: los paneles fotovoltaicos.

Se han diseñado varios escenarios con paneles fotovoltaicos, en concreto 3; 50% de la cubierta con paneles, 100% y suelo fotovoltaico. Esto se ha adaptado a cada escenario en función de la cubierta disponible de cada escenario, ya que en alguna de ellos ya había instalados colectores solares. En ese punto es donde se puede generar una duda ¿qué resuelta más interesante, instalar paneles o colectores? La respuesta es sencilla ya que en los casos donde se instala el 50% o el 100% de cubierta con paneles, solo se llega a cubrir un 2,5% de la demanda de electricidad, solo en el caso del suelo fotovoltaico se puede llegar a alcanzar un 10%. Esta última opción se podría considerar, pero significaría inutilizar la cubierta, por lo tanto, tampoco resultaría de interés ya que el impacto que tiene la instalación de colectores frente a paneles es incomparable. Con esto ya se contesta a la pregunta, debido al reducido espacio de la cubierta y la ubicación de la misma, la energía fotovoltaica no juega un papel interesante por lo que la instalación de colectores solares aporta mayor utilidad.

Como conclusión de las últimas líneas se puede extraer que las instalaciones más interesantes son la geometría, las calderas de gas natural a condensación y a la aerotermia, siendo esta última la que a nivel de instalación y como fuente de energía renovable sería la que mejor encaja. En lo que, a la utilización de la cubierta, los colectores solares son los vencedores ya que recortan hasta la mitad el consumo de energía primaria.

Finalmente, cabe mencionar el nivel de cumplimiento del CTE en los escenarios de este proyecto. Como ya se mencionó en el propio apartado, el HE1 se cumple en la mayoría de los elementos, siendo únicamente las ventanas el punto a reforzar en lo que a transmitancia se refiere. El HE2, referente a las instalaciones térmicas, no es un punto de análisis ya que este proyecto no tiene como finalidad el diseño de una instalación concreta, no obstante, la mayoría de los escenarios cuenta con instalaciones con una potencia menor de 70 kW (límite donde se aplica esta norma) y aquellos donde sí se supera este número se da por hecho que los equipos que se pudiesen instalar ya están preparados de cara al cumplimiento del código. En lo que al HE4 respecta, el código menciona que para este tipo de construcción el aporte necesario es del 60%, valor que se puede conseguir sin que sea necesario cubrir el

100% de la cubierta, no obstante, si se decidiese cubrir la totalidad de la misma, el porcentaje de demanda cubierta llegaría a un 70%, proporcionándose un 10% de margen que sería de interés. Para concluir, una vez se implementan las medidas pasivas y activas de la forma más eficiente posible, se obtiene el consumo de energía primaria por metro cuadrado del edificio el cual según la zona climática en la que estamos no debe superar el $64 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{año}$, valor que se cumple en la mayoría de los casos tal y como se puede ver en la gráfica de puntos, de lo que se concluye que este edificio no presentaría especial dificultad en cumplir el Código Técnico.

ANEXOS

FICHAS DESCRIPTIVAS DE LOS ESCENARIOS A IMPLEMENTAR

Nombre: S1
Descripción: Calefacción + ACS mediante caldera de gas natural
Aportaciones renovables: Colectores solares (60% de la demanda)

En el escenario S1 se aporta el calor necesario para ACS y calefacción mediante calderas de condensación que usan como combustible gas natural. Como unidad terminal de calefacción se instala suelo radiante. Los dos sistemas se trabajan por separado, siendo la caldera quien aporta el calor al agua del suelo radiante y por otra parte, el ACS será asistido gracias a los tanques, el primero, el solar, quien se encargará de acumular el agua procedente de los colectores y a su vez el tanque situado a su derecha será el encargado de distribuir el ACS a las viviendas, por ello este tanque también será el encargado de elevar la temperatura a la de demanda siempre que los colectores no la consigan. Previo a este escenario se creó uno donde el ACS fuese aportado por un único calentador donde se podría observar la energía necesaria para calentar el agua de demanda del edificio y así poder iterar el número de colectores solares necesarios para conseguir el aporte del 60%.

Como ya se ha dicho el aporte de energía renovable se realiza mediante colectores solares, un 60% de la demanda de ACS concretamente, tal y como exige el actual CTE para demandas menores de 5000 l/día. En la siguiente imagen se puede ver un esquema de la instalación, figura 28.

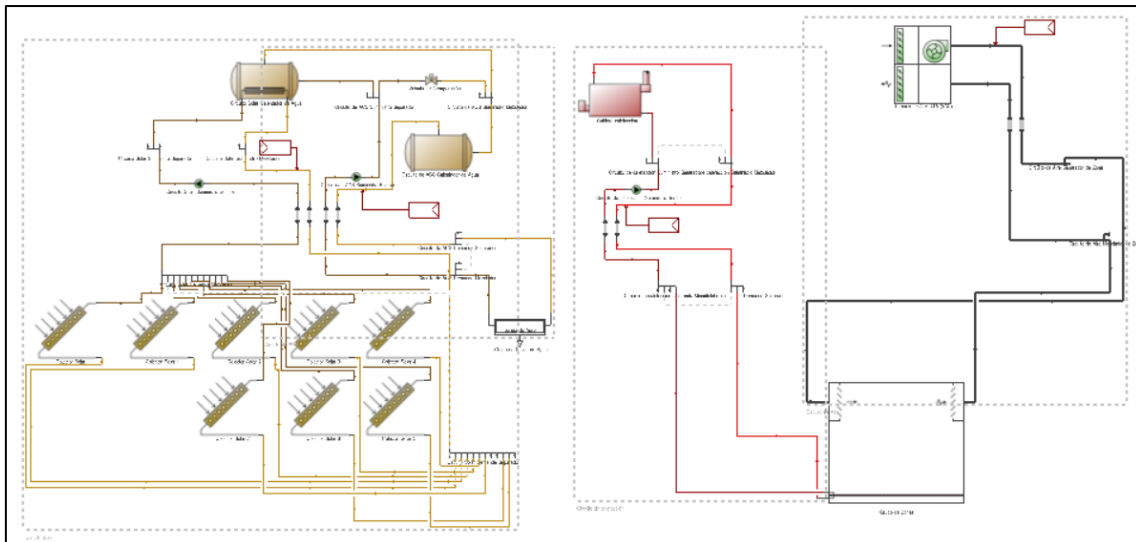


Figura 28 Instalación S1

En la tabla 29 que se muestra a continuación se pueden ver los elementos que conforman la instalación presente, en ella también se pueden observar los parámetros de funcionamiento, así como las temperaturas que configuran el sistema.

Tabla 29 Parámetros de la instalación

ELEMENTOS	Tipo	Rendimiento	T ^a de trabajo
Caldera	Condensación	0,85	45
Suelo radiante	Flujo variable	-	45
Calentador	Mixto	0,88	60
Calentador Solar	Mixto	-	60
Colectores	Placa plana	0,75	-

Cada instalación cuenta con una serie de circuitos que permiten la interconexión de los elementos, en la tabla 30 se pueden observar las temperaturas de trabajo de cada uno de los circuitos junto con el caudal. Estas temperaturas no representan las temperaturas de cada momento, sino que son las temperaturas en base a las cuales el programa diseña el circuito.

Tabla 30 Distribución de las temperaturas de los circuitos

CIRCUITOS	T entrada	T salida	Caudal (m ³ /s)
Loop Calefacción	35	45	0,002774
Loop ACS	55	60	0,000061
Loop Solar	70	80	0,000400

Los colectores solares usados en la instalación son ‘ACR Solar Internacional 10-01’ procedentes de la biblioteca de Desing Builder. El área de los mismos la toma de la geometría previamente modelada en el programa. Como se puede ver en la imagen se han colocado 4 placas, cada una de ellas formadas por 3 colectores en serie, el área de cada uno de ellos es de aproximadamente 3,37 m². Se decidió realizar así la instalación ya que, si se colocan demasiados colectores en serie la temperatura de salida de uno, es decir, la que tomará el siguiente panel, será cada vez mayor disminuyendo así el rendimiento de los colectores. Por lo tanto y a modo de resumen, el área total es de 80,08 m², agrupados en 8 grupos de 3 colectores en serie (esto se puede ver también en la imagen de la instalación). La separación de los mismos se ha calculado de forma aproximada en la siguiente página web [53], no pretende ser precisa, sino que cumple una función de ayuda para poder realizar la instalación lo más parecida a cómo se haría en la realidad y de este modo no poner más colectores de la cuenta. La distribución se observa la figura 29.

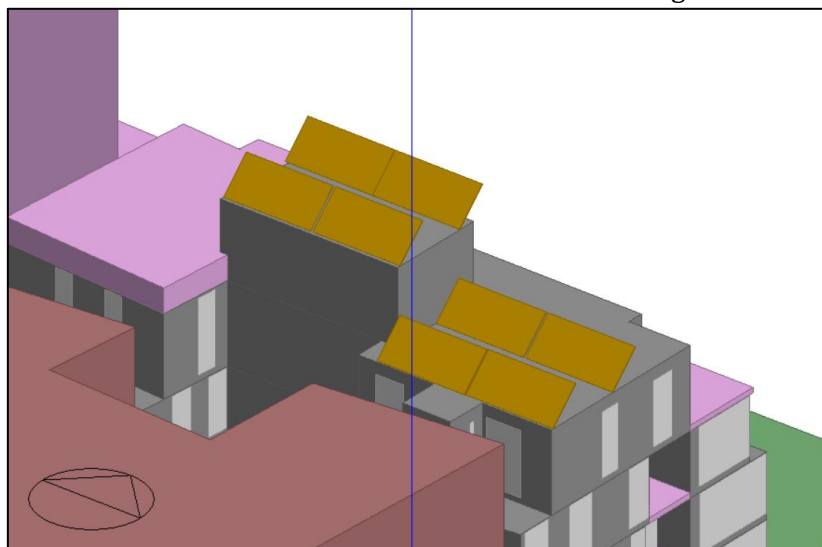


Figura 29 Disposición de los colectores S1

Nombre: S2
 Descripción: Calefacción + ACS mediante caldera de gas natural
 Aportaciones renovables: Colectores solares (70% de la demanda)

En el escenario S2 se aporta el calor necesario para ACS y calefacción mediante calderas de condensación que usan como combustible gas natural. Como unidad terminal de calefacción se instala suelo radiante. Los dos sistemas se trabajan por separado, siendo la caldera quien aporte el calor al agua del suelo radiante y por otra parte el ACS será asistido gracias a los tanques, el primero, el solar quien se encargará de acumular el agua procedente de los colectores y a su vez el tanque situado a su derecha será el encargado de distribuir el ACS a las viviendas, por ello este tanque también será el encargado de elevar la temperatura a la de demanda siempre que los colectores no la consigan. Previo a este escenario se creó uno donde el ACS fuese aportado por un único calentador donde se podría observar la energía necesaria para calentar el agua de demanda del edificio y así poder iterar el número de colectores solares necesarios para conseguir el aporte del 70%. El esquema es el presentado en la figura 30.

Como ya se ha dicho el aporte de energía renovable se realiza mediante colectores solares, un 70% de la demanda de ACS concretamente, tal y como exige el actual CTE para demandas menores de 5000 l/día. No obstante, este escenario pretendía cubrir el 100% de la demanda objetivo que no se ha logrado cumplir ya que el espacio en la cubierta es reducido y no permite dicho porcentaje. En la siguiente imagen se puede ver un esquema de la instalación.

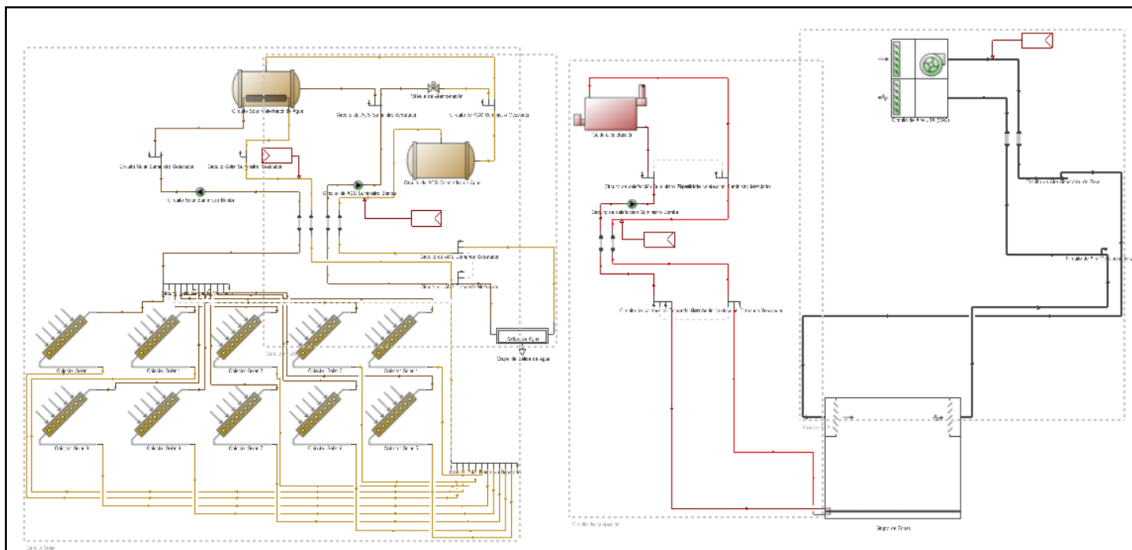


Figura 30 Instalación S2

En la tabla 31 que se muestra a continuación se pueden ver los elementos que conforman la instalación presente, en ella también se pueden observar los parámetros de funcionamiento, así como las temperaturas que configuran el sistema.

Tabla 31 Parámetros de la instalación

ELEMENTOS	Tipo	Rendimiento	Tª de trabajo
Caldera	Condensación	0,85	45
Suelo radiante	Flujo variable	-	45
Calentador	Mixto	0,88	60
Calentador Solar	Mixto	-	60
Colectores	Placa plana	0,75	-

Cada instalación cuenta con una serie de circuitos que permiten la interconexión de los elementos, en la tabla 32 se pueden observar las temperaturas de trabajo de cada uno de los circuitos junto con el caudal. Estas temperaturas no representan las temperaturas de cada momento, sino que son las temperaturas en base a las cuales el programa diseña el circuito.

Tabla 32 Distribución de las temperaturas de los circuitos

CIRCUITOS	T entrada	T salida	Caudal (m ³ /s)
Loop Calefacción	35	45	0,002774
Loop ACS	55	60	0,000061
Loop Solar	70	80	0.000500

Los colectores solares usados en la instalación son 'ACR Solar International 10-01' procedentes de la biblioteca de Design Builder. El área de los mismos la toma de la geometría previamente modelada en el programa, como se puede ver en la imagen se han colocado 4 placas, cada una de ellas formadas por 3 colectores en serie, el área de cada uno de ellos es de aproximadamente 3,37 m². Se decidió realizar así la instalación ya que, si se colocan demasiado colectores en serie la temperatura de salida de uno, es decir, la que tomará el siguiente panel será cada vez mayor disminuyendo así el rendimiento de los colectores. Por lo tanto y a modo de resumen, el área total es de 100,11 m², agrupados en 10 grupos de 3 colectores en serie (esto se puede ver también en la imagen esquemática de la instalación.) La separación de los mismos se ha calculado de forma aproximada en la siguiente página web [53], no pretende ser precisa, sino que cumple una función de ayuda para poder realizar la instalación lo más parecido a cómo se haría en la realidad y de este modo no poner más colectores de la cuenta. La distribución aparece en la figura 31.

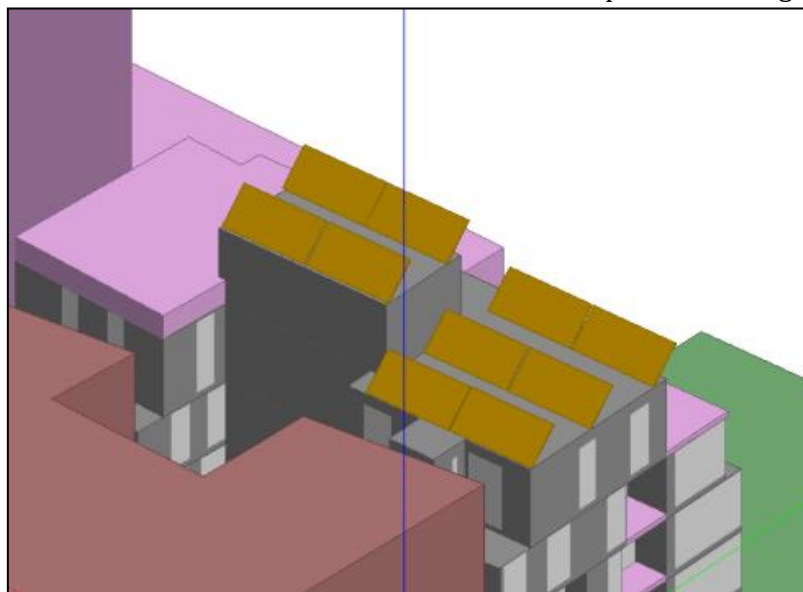


Figura 31 Disposición de los colectores S2

Nombre: S3
 Descripción: Calefacción + ACS mediante bomba de calor
 Aportaciones renovables: Aerotermia

El sistema presente pretende obtener el calor para abastecer la calefacción del suelo radiante y ACS a través de la aerotermia. Para ello la instalación diseñada generará agua a 45º para el suelo radiante, tomando parte de esta agua para hacerla pasar por un intercambiador de calor cuya finalidad será la de calentar el agua de retorno del circuito de ACS. De este modo logramos que el calentador trabaje lo menos posible activándose únicamente en aquellos momentos que la temperatura del ACS no alcance la de consigna, es decir, 60º.

La aerotermia tomará el aire de la calle, a la temperatura del ambiente, información que aporta el propio programa tras ingresar la localización del edificio. La bomba de calor cuenta con una capacidad nominal de 60 kW con un COP de 3,2. Se decidió que el compresor se activase a una temperatura de consigna de 50ºC con una temperatura de banda muerta de 4ºC, esto significa que el compresor trabajará para mantener el agua a una temperatura de entre 50 y 46ºC, cuando esto no pueda ser posible y la temperatura baje de los 46ºC el calentador se ocupará de calentarlo a la temperatura de consigna del mismo, 45º grados, es decir, la temperatura del suelo radiante. Si se hiciese que la temperatura de consigna del compresor menos la de banda muerta diese menos de 45º, el calentador con consigna de 45ºC nunca trabajaría, dando temperaturas de agua por debajo de esta, haciendo que la instalación no trabajase como se quiere. Sin embargo, el trabajar a temperatura baja hace que este aporte auxiliar a penas se dé, a diferencia del calentador de ACS, el cual sí realiza un consumo de gas natural con el fin de elevar la temperatura del agua hasta los 60ºC. El esquema hasta ahora descrito se puede observar en la figura 32.

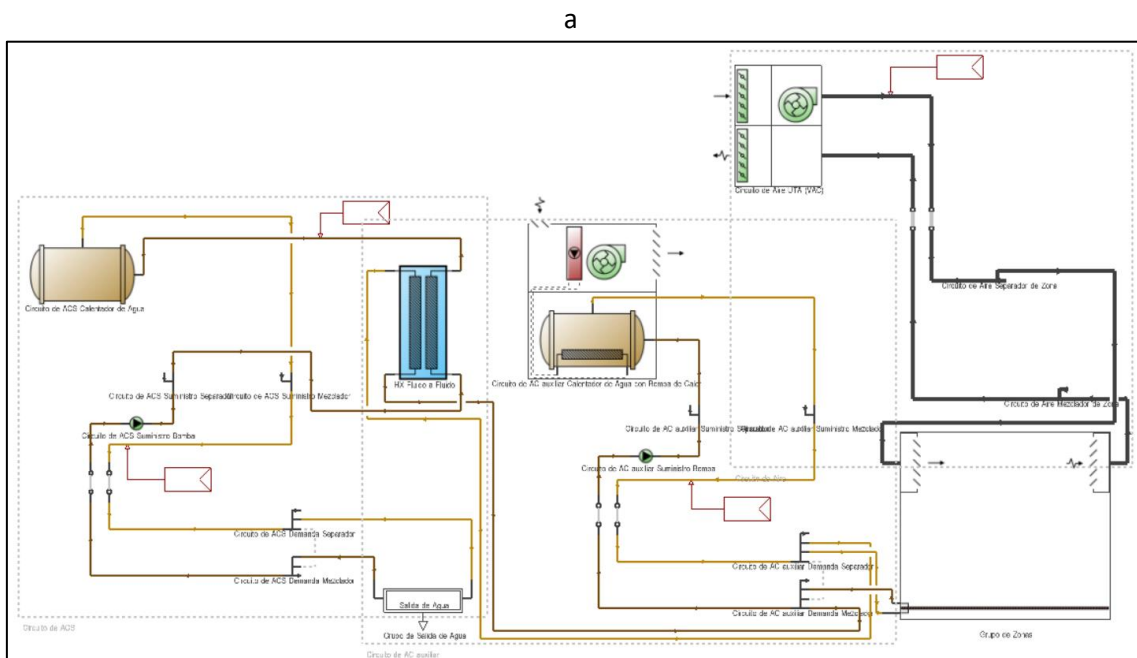


Figura 32 Instalación Aerotermia S3

En la tabla 33 que se muestra a continuación se pueden ver los elementos que conforman la instalación presente, en ella también se pueden observar los parámetros de funcionamiento, así como las temperaturas que configuran el sistema.

Tabla 33 Parámetros de la instalación

ELEMENTOS	Tipo	Rendimiento	Temperatura (°C)
Aeroterminia		3,2	50
Suelo radiante	Flujo variable	-	45
Calentador	Mixto	0,88	45
Calentado ACS	Mixto	0,88	60
Intercambiador	Contraflujo	-	-

Cada instalación cuenta con una serie de circuitos que permiten la interconexión de los elementos, en la tabla 34 se pueden observar las temperaturas de trabajo de cada uno de los circuitos junto con el caudal.

Tabla 34 Distribución de las temperaturas de los circuitos

CIRCUITOS	T entrada	T salida	Caudal (m ³ /s)
Loop Calefacción	35	45	0,001956
Loop ACS	51	56	0,000063

Nombre: S4
Descripción: Calefacción + ACS mediante bomba de calor
Aportaciones renovables: Geotermia

El sistema presente pretende obtener el calor para abastecer la calefacción del suelo radiante y ACS a través de la geotermia. Como se puede ver en el esquema, las perforaciones de la geotermia se ven representadas por el cilindro azul que se conecta a la bomba de calor. Gracias al calor aportado por la tierra la bomba funciona transfiriendo dicho calor directamente al suelo radiante y de manera indirecta a un intercambiador que calienta el agua de retorno de ACS, elevando la temperatura de la misma logrando así que el calentador tenga que utilizar menos combustible. De este modo se utiliza la tecnología más eficiente para abastecer la demanda base dejando que el calentador de ACS cubra los picos.

Para el dimensionamiento de la misma se utiliza la herramienta ‘Calefacción de diseño’ de Design Builder la cual nos muestra qué potencia demanda el edificio. Tal y como se ve en la imagen esta simulación da un resultado de 53,56 kW, figura 33, del catálogo de Design Builder se toma la bomba de 96 kW que permitirá también aportar ese calor extra para calentar el agua que se deriva al intercambiador (no existen una más próxima).

Temperatura del Aire (°C)	16,80
Temperatura Radiante (°C)	15,93
Temperatura Operativa (°C)	16,37
Temperatura Ext. BS (°C)	0,00
Acristalamiento (kW)	-33,85
Muros (kW)	-4,15
Techos (kW)	0,31
Suelos Int. (kW)	0,85
Suelos S.T. (kW)	2,64
Particiones (kW)	-0,01
Cubiertas (kW)	-1,19
Suelos Ext. (kW)	-1,20
Infiltración Ext. (kW)	-16,93
Calef. Sens. de Zona (kW)	53,56

Figura 33 Potencia para el dimensionamiento de la bomba

Tras dimensionar la bomba es importante tomar el caudal de diseño de la misma (dato que proporciona Design Builder) y extrapolarlo al diseño del circuito de condensación, así como el de las sondas geotérmicas, en este caso concreto el caudal tomar un valor de 0,00442 m3/s. Finalmente, Design Builder proporciona una tabla donde según la demanda de calor y frío del edificio recomienda un número de sondas. Para nuestro caso concreto donde no se quiere cubrir la demanda de frío, el número de pozos a realizar es de 24, aunque en nuestro caso también se aporta calor al ACS y quizás habría que realizar más pozos, no obstante, se considera que el salto de 24 a 40 pozos tal y como Design Builder considera es demasiado. Por lo tanto, se toma de decisión de instalar 24 y dejar, tal y como ya se ha descrito, que los picos de demanda los cubra el calentador. Sin embargo, los resultados reflejan que el confort térmico del edificio se cumple en su totalidad ya que, en sí, la demanda de calor se satisface con 24 pozos. La tabla proporcionada por Design Builder corresponde a la figura 34, del mismo modo el esquema final queda representado en la figura 35. [54]

		Peak cooling load (kW)							
		10	20	30	40	50	60	70	80
Peak heating load (kW)	10	4	4	8	8	8	12	12	12
	20	8	8	8	12	12	12	12	12
	30	12	12	12	12	16	16	16	16
	40	16	16	16	16	16	24	24	24
	50	24	24	24	24	24	24	24	24
	60	24	24	24	24	24	24	24	24
	70	40	40	40	40	40	40	40	40
	80	40	40	40	40	40	40	40	40
	90	40	40	40	40	40	40	40	40
	100	40	40	40	40	40	40	40	40

Figura 34 Número de sondas a instalar

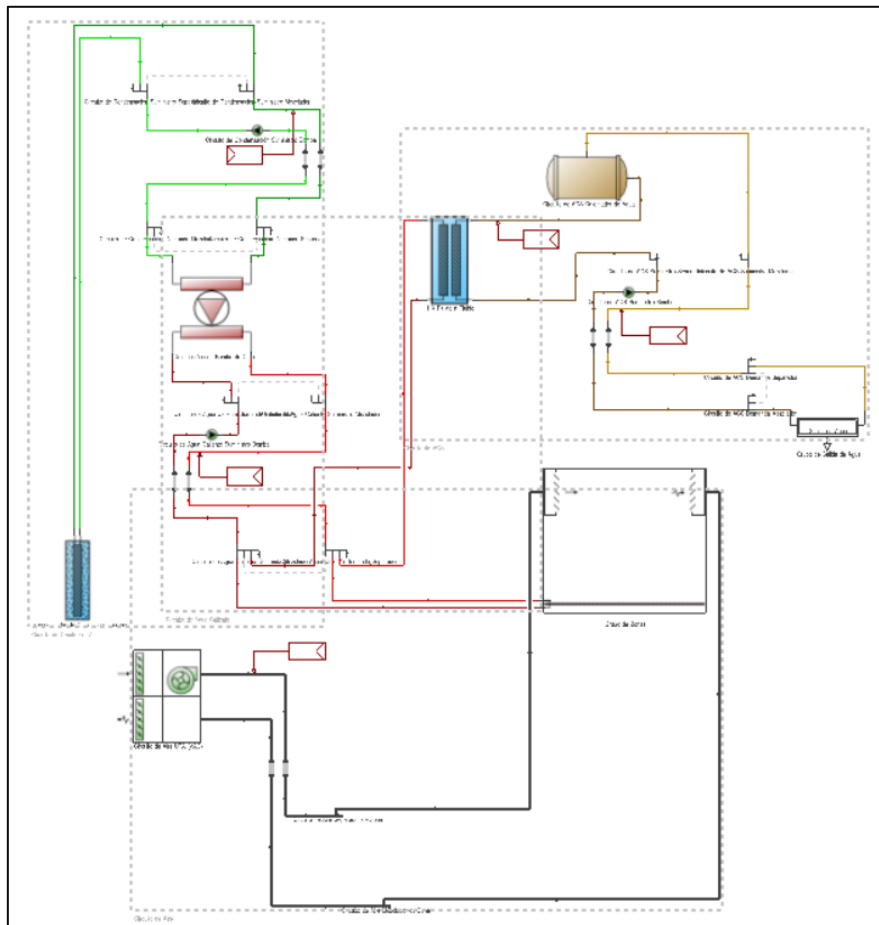


Figura 35 Instalación Geotermia S4

En la tabla 35 que se muestra a continuación se pueden ver los elementos que conforman la instalación presente, en ella también se pueden observar los parámetros de funcionamiento, así como las temperaturas que configuran el sistema.

Tabla 35 Parámetros de la instalación

ELEMENTOS	Tipo	Rendimiento	Temperatura (°C)
Bomba de calor	Agua - agua	5,3	45
Suelo radiante	Flujo variable	-	40
Calentador	Mixto	0,9	60
Intercambiador	Contraflujo	-	-
Sonda geotermia	Vertical	-	13,38

Cada instalación cuenta con una serie de circuitos que permiten la interconexión de los elementos, en la tabla 36 se pueden observar las temperaturas de trabajo de cada uno de los circuitos junto con el caudal.

Tabla 36 Distribución de las temperaturas de los circuitos

CIRCUITOS	T entrada	T salida	Caudal (m³/s)
Loop Calefacción	35	45	0,001978
Loop ACS	50	60	0,000063
Loop condensación	13,38	11,88	0,00442

Nombre: S6
 Descripción: Calefacción + ACS mediante caldera de biomasa
 Aportaciones renovables: Biomasa

El sistema presente quiere obtener el calor para abastecer la calefacción del suelo radiante y ACS a través de una caldera de biomasa. Se optó por la misma configuración de los escenarios S1 y S2 donde se realiza el aporte de calor mediante calderas de condensación a gas natural, pero esta vez con biomasa. Esta tecnología, a pesar de trabajar a temperaturas elevadas normalmente, también existen equipos de biomasa que permiten trabajar a temperaturas para suelo radiante, por ejemplo, GRANT SPIRA CONDENSING WOOD PELLET, el modelo WPS18/72. De este modo el sistema será el mismo al anteriormente presentado, la caldera aportará agua a de 45º para el suelo radiante y parte de esta agua calentará el retorno del ACS haciendo que el calentador solo aporte la energía necesaria para elevar el agua a 60ºC. El esquema es el representado en la figura 36.

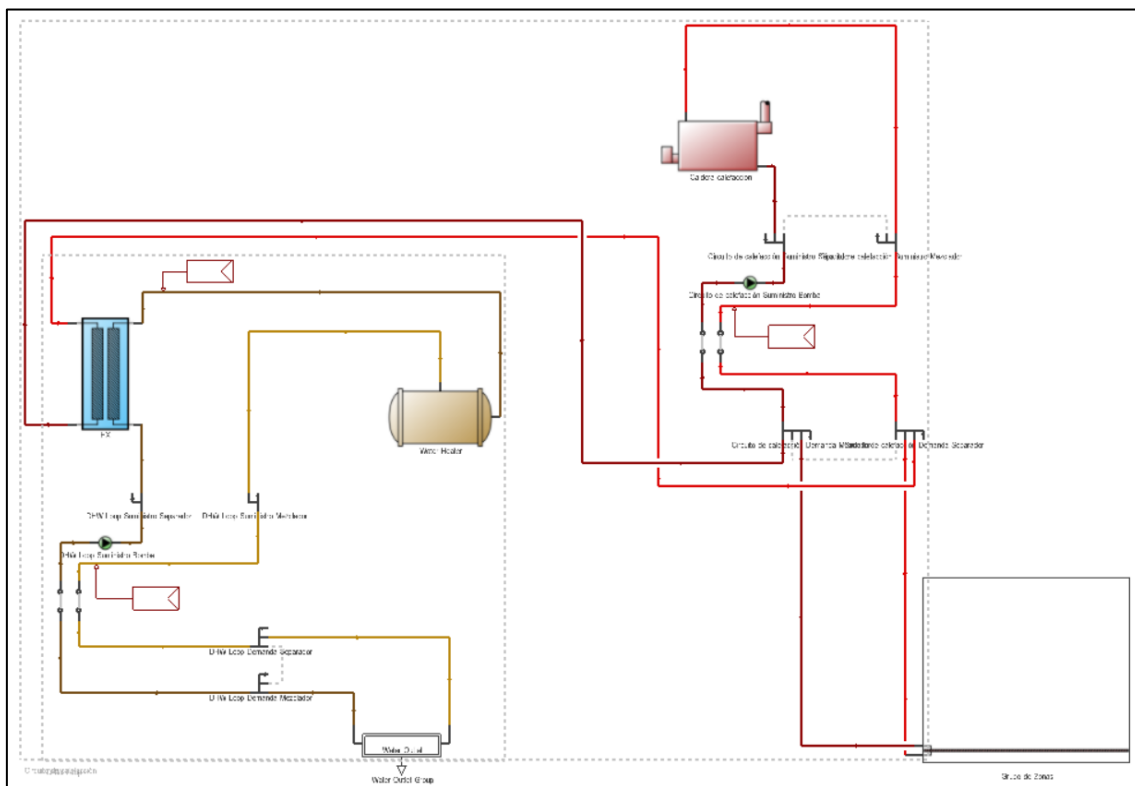


Figura 36 Instalación Caso S6

En la tabla 37 que se muestra a continuación se pueden ver los elementos que conforman la instalación presente, en ella también se pueden observar los parámetros de funcionamiento, así como las temperaturas que configuran el sistema.

Tabla 37 Parámetros de la instalación

ELEMENTOS	Tipo	Rendimiento	Temperatura (°C)
Suelo radiante	Flujo variable	-	45
Calentador ACS	Mixto	0,88	60
Biomasa	Condensación	1,003 (PCS)	45
Intercambiador	Contraflujo	-	-

Cada instalación cuenta con una serie de circuitos que permiten la interconexión de los elementos, en la tabla 38 se pueden observar las temperaturas de trabajo de cada uno de los circuitos junto con el caudal.

Tabla 38 Distribución de las temperaturas de los circuitos

CIRCUITOS	T entrada	T salida	Caudal (m³/s)
Loop Calefacción	35	45	0,003474
Loop ACS	51	56	0,000061

Nombre: S7
 Descripción: Calefacción mediante geotermia + ACS con caldera gas natural
 Aportaciones renovables: Colectores solares (60% de la demanda)

El siguiente escenario usa dos instalaciones independientes para cada necesidad. Con el fin de calefactar las viviendas se hace uso de la una bomba de calor geotérmica, similar al sistema ya descrito anteriormente. Para el ACS se utiliza una caldera de gas natural apoyada por colectores solares (60% de la demanda). Como se puede observar en la imagen, la instalación de ACS es igual a la ya descrita en los escenarios S1 y S2. En lo que a la geotermia se refiere esta genera agua a 45°C usando como foco frío la tierra cuya temperatura es de 13,38°C. La unión de los circuitos de condensación y agua caliente la realiza una bomba de calor, que no es más que la responsable de la generación del agua a dicha temperatura. Para el dimensionamiento de la misma se utiliza la herramienta 'Calefacción de diseño' de Design Builder la cual nos muestra qué potencia demanda el edificio. En el catálogo de Desing Builder la bomba que podría complacer esta demanda es una de potencia de 50 kW (figura 37), para corroborar esto se realiza una simulación y tras buscar que en la ficha de resultados que las horas de confort durante el periodo de calefacción son la totalidad, se decide elegir dicha bomba del catálogo. El esquema de la instalación se ve representada en la figura 38.

Temperatura del Aire (°C)	16,80
Temperatura Radiante (°C)	15,93
Temperatura Operativa (°C)	16,37
Temperatura Ext. BS (°C)	0,00
Acristalamiento (kW)	-33,85
Muros (kW)	-4,15
Techos (kW)	0,31
Suelos Int. (kW)	0,85
Suelos S.T. (kW)	2,64
Particiones (kW)	-0,01
Cubiertas (kW)	-1,19
Suelos Ext. (kW)	-1,20
Infiltración Ext. (kW)	-16,93
Calef. Sens. de Zona (kW)	53,56

Figura 37 Potencia para el dimensionamiento de la bomba

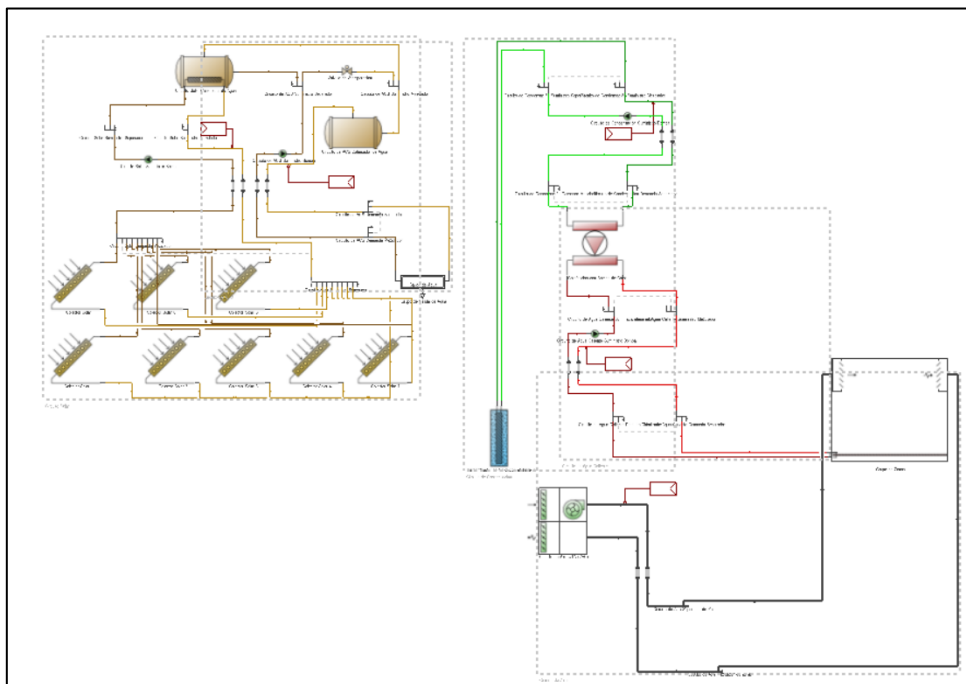


Figura 38 Instalación Caso S7

Tras dimensionar la bomba es importante tomar el caudal de diseño de la bomba (dato que proporciona Design Builder) y extrapolarlo al diseño del circuito de condensación, así como el de las sondas geotérmicas, en este caso concreto el caudal tomar un valor de 0,00442 m³/s. Finalmente, Design Builder proporciona una tabla donde según la demanda de calor y frío del edificio recomendando un número de sondas. Para nuestro caso concreto donde no se quiere cubrir la demanda de frío el número de huecos a realizar es de 24 ya que es el que corresponde a una demanda de calor entre 50 y 60 kW, tal y como se observa en la figura 39. [54]

		Peak cooling load (kW)							
		10	20	30	40	50	60	70	80
Peak heating load (kW)	10	4	4	8	8	8	12	12	12
	20	8	8	8	12	12	12	12	12
	30	12	12	12	12	16	16	16	16
	40	16	16	16	16	16	24	24	24
	50	24	24	24	24	24	24	24	24
	60	24	24	24	24	24	24	24	24
	70	40	40	40	40	40	40	40	40
	80	40	40	40	40	40	40	40	40
	90	40	40	40	40	40	40	40	40
	100	40	40	40	40	40	40	40	40

Figura 39 Número de sondas a instalar

En la tabla 39 que se muestra a continuación se pueden ver los elementos que conforman la instalación presente, en ella también se pueden observar los parámetros de funcionamiento, así como las temperaturas que configuran el sistema.

Tabla 39 Parámetros de la instalación

ELEMENTOS	Tipo	Rendimiento	Temperatura (°C)
Bomba de calor	Agua - agua	5,3	45
Suelo radiante	Flujo variable	-	40
Calentador	Mixto	0,9	60
Calentador Solar	Mixto	0,9	60
Colectores	Placa plana	0,75	-
Intercambiador	Contraflujo	-	-
Sonda geotermia	Vertical	-	13,38

Cada instalación cuenta con una serie de circuitos que permiten la interconexión de los elementos, en la tabla 40 se pueden observar las temperaturas de trabajo de cada uno de los circuitos junto con el caudal.

Tabla 40 Distribución de las temperaturas de los circuitos

CIRCUITOS	T entrada	T salida	Caudal (m ³ /s)
Loop Calefacción	35	45	0,001344
Loop ACS	50	60	0,000063
Loop Solar	70	80	0,0004
Loop condensación	13,38	11,88	0,00442

En lo que respecta a los colectores se colocan del mismo modo que los casos anteriores cuando se quería cubrir un 60% de la demanda, es decir, 80,08 m². La distribución de los paneles se puede observar la figura 40.



Figura 40 Distribución de los colectores S7

Nombre: S8

Descripción: Calefacción mediante geotermia + ACS con caldera gas natural

Aportaciones renovables: Colectores solares (70% de la demanda)

La siguiente instalación usa dos instalaciones independientes para cada necesidad. Con el fin de calefactar las viviendas se hace uso de la una bomba de calor geotérmica, similar al sistema ya descrito anteriormente. Para el ACS se utiliza una caldera de gas natural apoyada por colectores solares (60% de la demanda). Como se puede observar en la imagen, la instalación de ACS es igual a la ya descrita en los escenarios S1 y S2. En lo que a la geotermia se refiere esta genera agua a 45°C usando como foco frío la tierra cuya temperatura es de 13,38°C. La unión de los circuitos de condensación y agua caliente la realiza una bomba de calor, que no es más que la responsable de la generación del agua a dicha temperatura. Para el dimensionamiento de la misma se utiliza la herramienta 'Calefacción de diseño' de Design Builder la cual nos muestra qué potencia demanda el edificio. Tal y como se ve en la imagen esta simulación de un resultado de 53,56 kW, por lo que tomaremos la bomba que los proporcione dicha potencia más cercana. Debido a que el catálogo es limitado la bomba que cumple los requisitos es una de 96 kW por lo que la instalación está sobredimensionada.

Temperatura del Aire (°C)	16,80
Temperatura Radiante (°C)	15,93
Temperatura Operativa (°C)	16,37
Temperatura Ext. BS (°C)	0,00
Acristalamiento (kW)	-33,85
Muros (kW)	-4,15
Techos (kW)	0,31
Suelos Int. (kW)	0,85
Suelos S.T. (kW)	2,64
Particiones (kW)	-0,01
Cubiertas (kW)	-1,19
Suelos Ext. (kW)	-1,20
Infiltración Ext. (kW)	-16,93
Calef. Sens. de Zona (kW)	53,56

Figura 41 Potencia para el dimensionamiento de la bomba

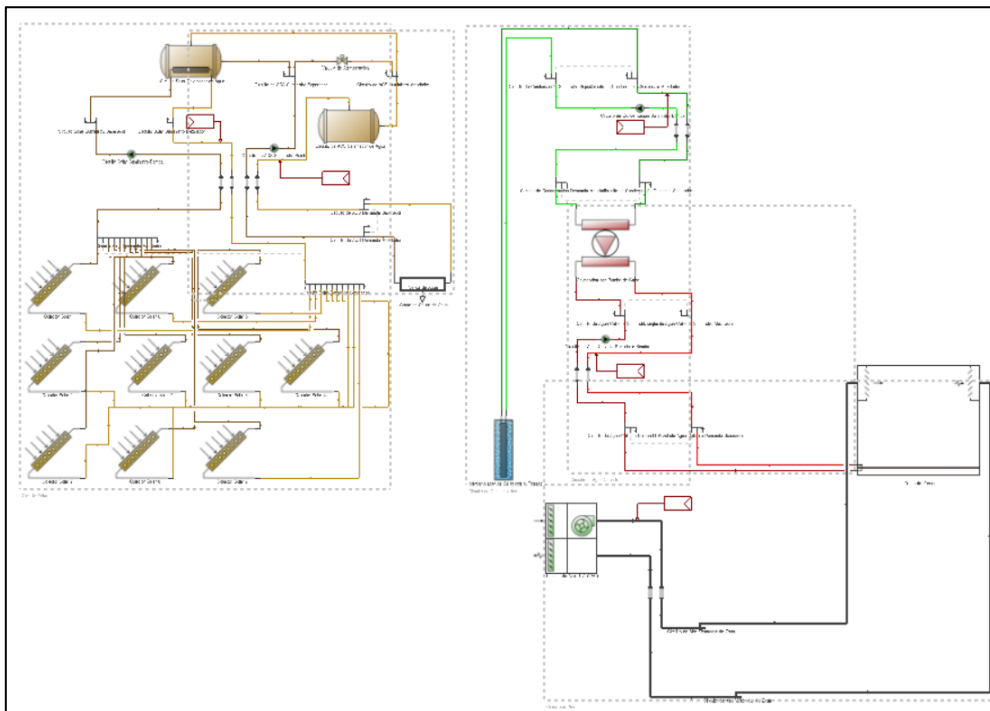


Figura 42 Instalación Caso S8

Tras dimensionar la bomba es importante tomar el caudal de diseño de la bomba (dato que proporciona Design Builder) y extrapolarlo al diseño del circuito de condensación, así como el de las sondas geotérmicas, en este caso concreto el caudal tomar un valor de 0,00442 m³/s. Finalmente, Design Builder proporciona una tabla donde según la demanda de calor y frío del edificio recomendando un número de sondas. Para nuestro caso concreto donde no se quiere cubrir la demanda de frío el número de huecos a realizar es de 24 ya que es el que corresponde a una demanda de calor entre 50 y 60 kW (figura 43). [54]

		Peak cooling load (kW)							
		10	20	30	40	50	60	70	80
Peak heating load (kW)	10	4	4	8	8	8	12	12	12
	20	8	8	8	12	12	12	12	12
	30	12	12	12	12	16	16	16	16
	40	16	16	16	16	16	24	24	24
	50	24	24	24	24	24	24	24	24
	60	24	24	24	24	24	24	24	24
	70	40	40	40	40	40	40	40	40
	80	40	40	40	40	40	40	40	40
	90	40	40	40	40	40	40	40	40
	100	40	40	40	40	40	40	40	40

Figura 43 Número de sondas a instalar

En la tabla 41 que se muestra a continuación se pueden ver los elementos que conforman la instalación presente, en ella también se pueden observar los parámetros de funcionamiento, así como las temperaturas que configuran el sistema.

Tabla 41 Parámetros de la instalación

ELEMENTOS	Tipo	Rendimiento	Temperatura (°C)
Bomba de calor	Agua - agua	5,3	45
Suelo radiante	Flujo variable	-	40
Calentador	Mixto	0,9	60
Calentador Solar	Mixto	0,9	60
Colectores	Placa plana	0,75	-
Intercambiador	Contraflujo	-	-
Sonda geotermia	Vertical	-	13,38

Cada instalación cuenta con una serie de circuitos que permiten la interconexión de los elementos, en la tabla 42 se pueden observar las temperaturas de trabajo de cada uno de los circuitos junto con el caudal.

Tabla 42 Distribución de las temperaturas de los circuitos

CIRCUITOS	T entrada	T salida	Caudal (m ³ /s)
Loop Calefacción	35	45	0,001344
Loop ACS	50	60	0,000063
Loop Solar	70	80	0,0005
Loop condensación	13,38	11,88	0,00442

En lo que respecta a los colectores se colocan del mismo modo que los casos anteriores cuando se quería cubrir un 70% de la demanda, es decir, 100,1 m². La distribución en la cubierta s ve en la figura 44.

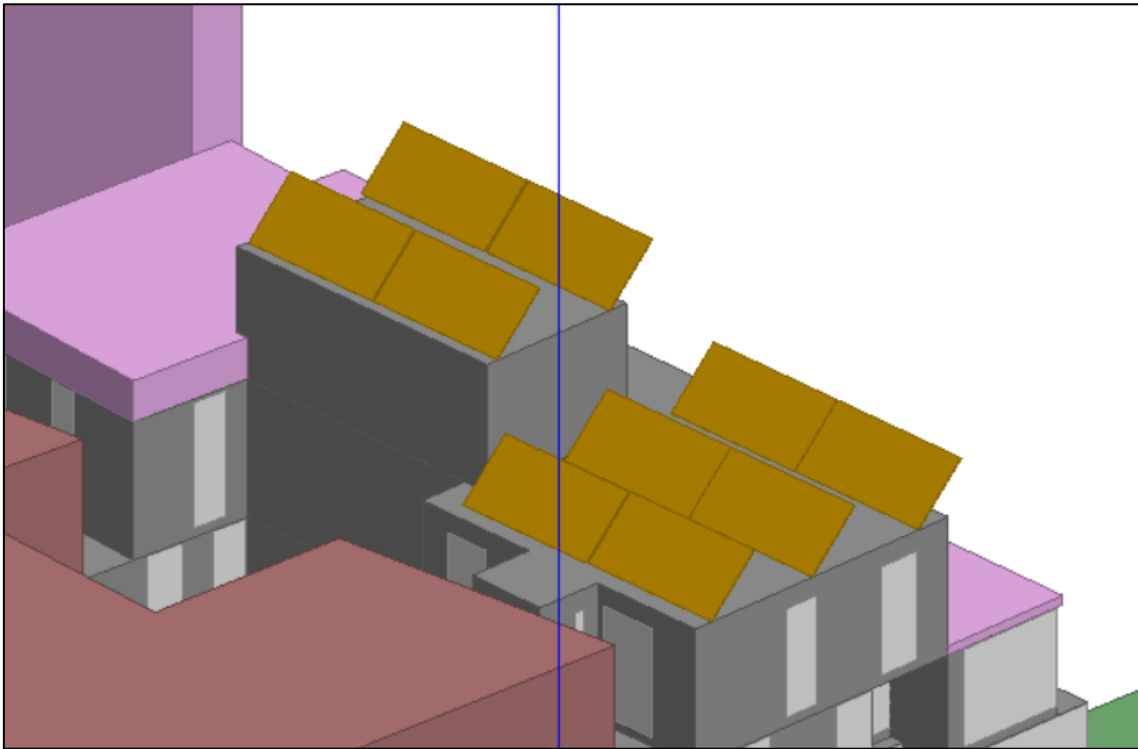


Figura 44 Distribución colectores S8

Nombre: S9

Descripción: Calefacción mediante aerotermia + ACS con caldera gas natural

Aportaciones renovables: Colectores solares (60% de la demanda)

El escenario S9 consiste en dos instalaciones aisladas, una para calefacción que usará la aerotermia como fuente y otra de ACS con un calentador el cual calentará el agua con una caldera de condensación a gas natural, este sistema está apoyado en colectores solares. La aerotermia funcionará del mismo modo que el descrito en el escenario S3, pero esta vez solo cubrirá la demanda de calefacción prescindiendo del intercambiador. El sistema de colectores también ha sido descrito en los escenarios S1 y S2, los colectores proporcionarán todo el calor posible al calentador solar que luego hará circular el agua al calentador que se ocupará de elevar la temperatura a la de consigna de ser necesario.

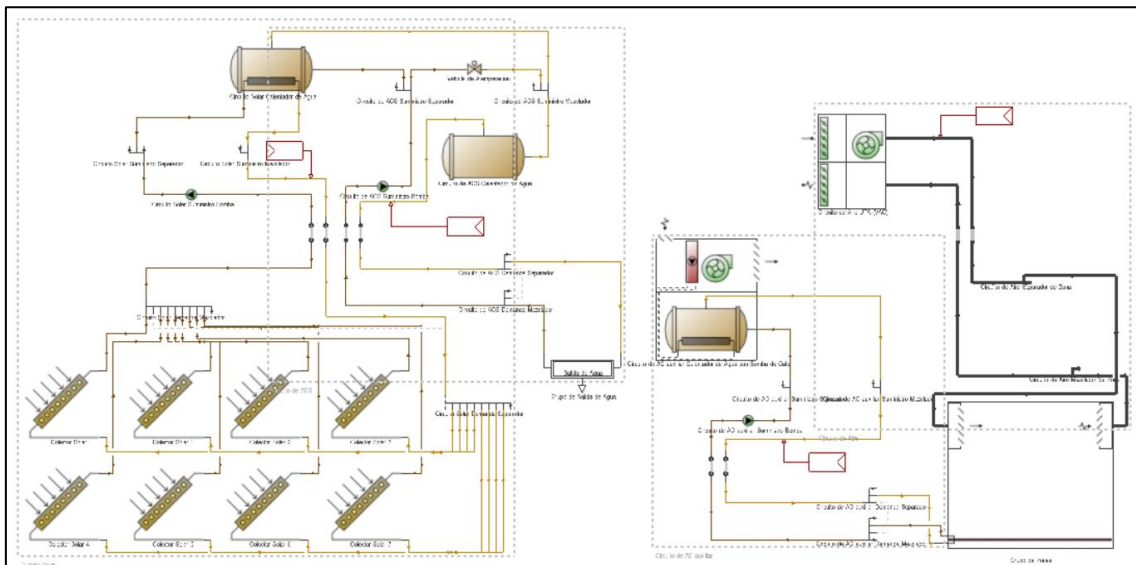


Figura 45 Instalación Caso S9

En la tabla 43 que se muestra a continuación se pueden ver los elementos que conforman la instalación presente, en ella también se pueden observar los parámetros de funcionamiento, así como las temperaturas que configuran el sistema.

Tabla 43 Parámetros de la instalación

ELEMENTOS	Tipo	Rendimiento	Temperatura (°C)
Suelo radiante	Flujo variable	-	45
Calentador	Mixto	0,9	60
Calentador Solar	Mixto	0,9	60
Colectores	Placa plana	0,75	-
Bomba de calor	Aerotermia	3,2	45

Cada instalación cuenta con una serie de circuitos que permiten la interconexión de los elementos, en la tabla 44 se pueden observar las temperaturas de trabajo de cada uno de los circuitos junto con el caudal.

Tabla 44 Distribución de las temperaturas de los circuitos

CIRCUITOS	T entrada	T salida	Caudal (m ³ /s)
Loop Calefacción	35	45	0,001322
Loop ACS	50	60	0,000063
Loop Solar	70	80	0,0004

En lo que respecta a los colectores se colocan del mismo modo que los casos anteriores cuando se quería cubrir un 60% de la demanda, es decir, 80,08 m², distribuyéndolos de tal manera que el sombreado entre ellos sea el mínimo posible que ya este escenario no contempla las placas fotovoltaicas.

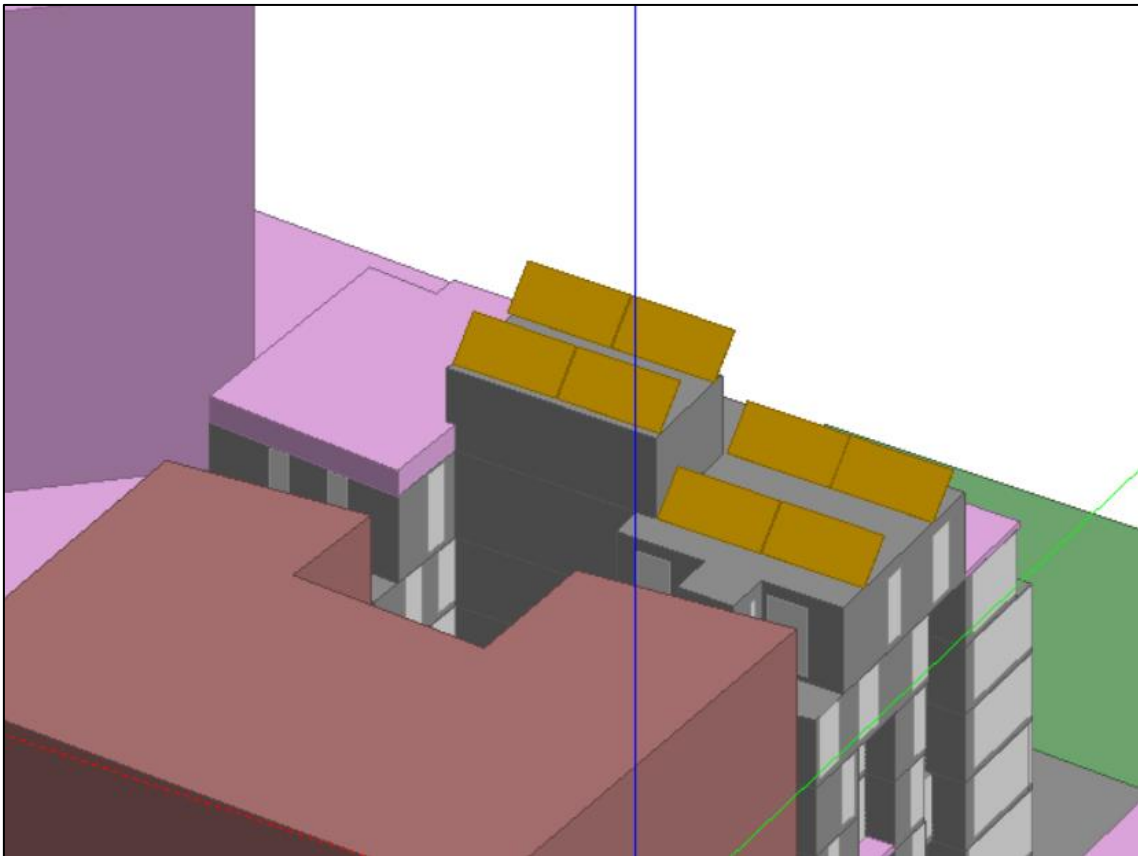


Figura 46 Distribución de los colectores

Nombre: S10
 Descripción: Calefacción mediante aerotermia + ACS con caldera gas natural
 Aportaciones renovables: Colectores solares (70% de la demanda)

El escenario S10 consiste en dos instalaciones aisladas, una para calefacción que usará la aerotermia como fuente y otra de ACS con un calentador el cual calentará el agua con una caldera de condensación a gas natural, este sistema está apoyado en colectores solares. La aerotermia funcionará del mismo modo que el descrito en el escenario S3, pero esta vez solo cubrirá la demanda de calefacción prescindiendo del intercambiador. El sistema de colectores también ha sido descrito en los escenarios S1 y S2, los colectores proporcionarán todo el calor posible al calentador solar que luego hará circular el agua al calentador que se ocupará de elevar la temperatura a la de consigna de ser necesario.

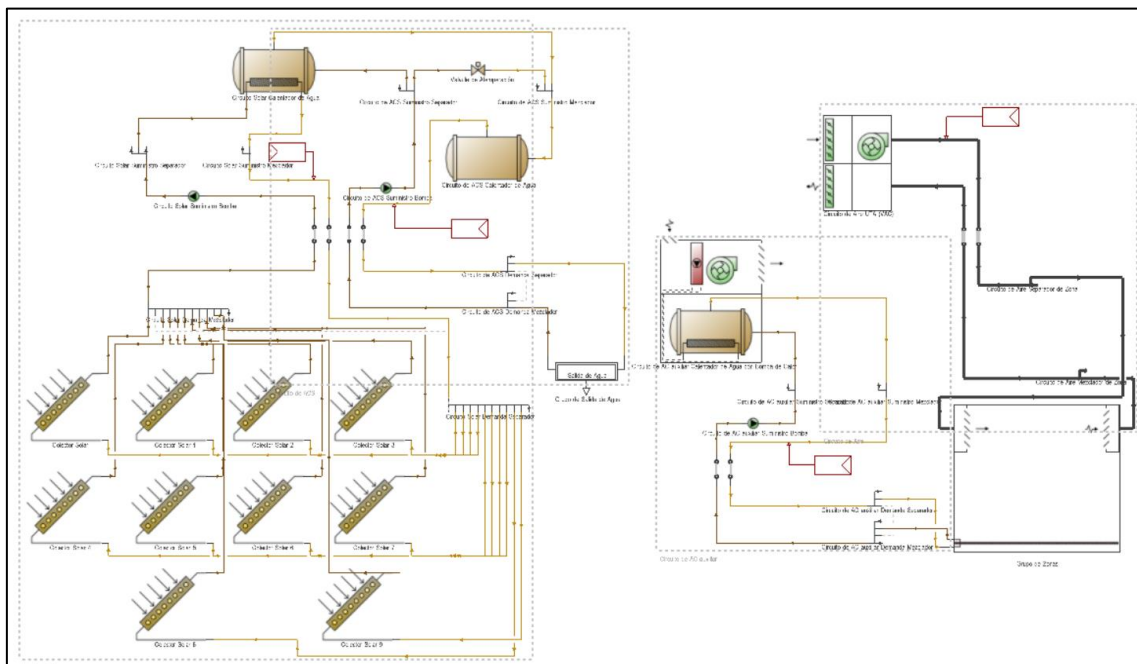


Figura 47 Instalación Caso S10

En la tabla 45 que se muestra a continuación se pueden ver los elementos que conforman la instalación presente, en ella también se pueden observar los parámetros de funcionamiento, así como las temperaturas que configuran el sistema.

Tabla 45 Parámetros de la instalación

ELEMENTOS	Tipo	Rendimiento	Temperatura (°C)
Suelo radiante	Flujo variable	-	45
Calentador	Mixto	0,9	60
Calentador Solar	Mixto	0,9	60
Colectores	Placa plana	0,75	-
Bomba de calor	Aerotermia	3,2	45

Cada instalación cuenta con una serie de circuitos que permiten la interconexión de los elementos, en la tabla 46 se pueden observar las temperaturas de trabajo de cada uno de los circuitos junto con el caudal.

Tabla 46 Distribución de las temperaturas de los circuitos

CIRCUITOS	T entrada	T salida	Caudal (m ³ /s)
Loop Calefacción	35	45	0,001322
Loop ACS	50	60	0,000063
Loop Solar	70	80	0,0005

En lo que respecta a los colectores se colocan del mismo modo que los casos anteriores cuando se quería cubrir un 70% de la demanda, es decir, 100,1 m², distribuyéndolos de tal manera que el sombreado entre ellos sea el mínimo posible que ya este escenario no contempla las placas fotovoltaicas.

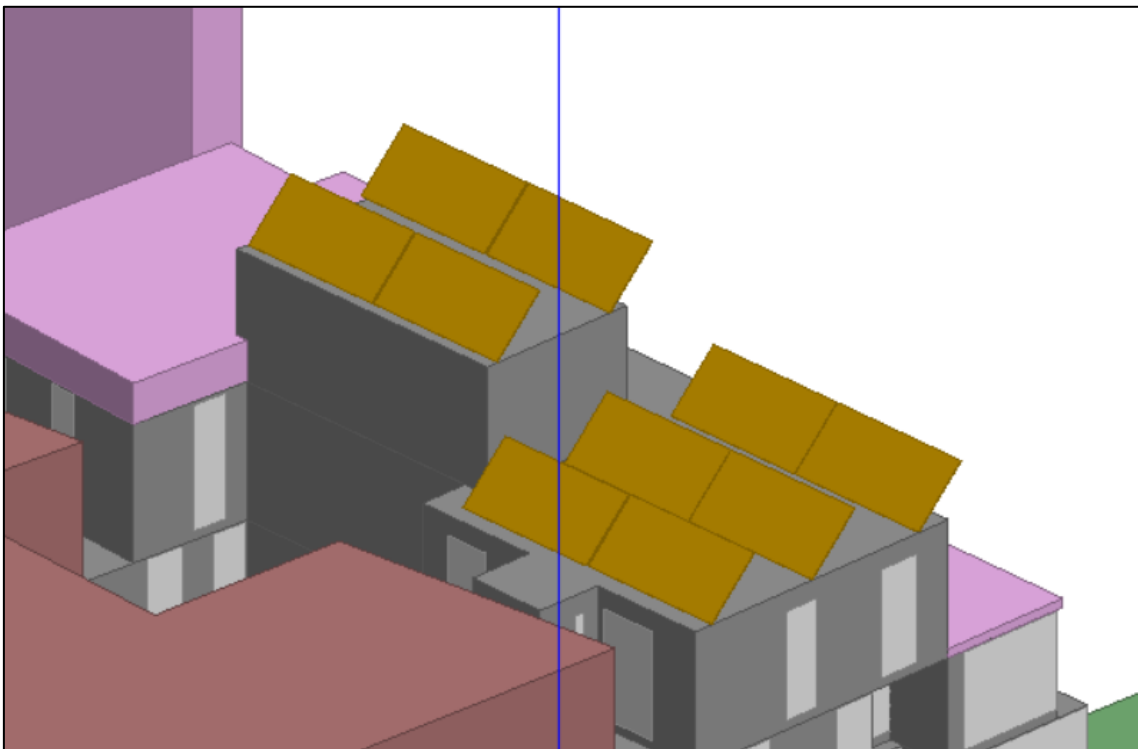


Figura 48 Distribución de los colectores

Nombre: S11

Descripción: Calefacción mediante geotermia + ACS mediante cogeneración

Aportaciones renovables: -

Para los escenarios que implementan un sistema de cogeneración para cubrir algún tipo de demanda es importante saber que Design Builder no autodimensiona la potencia por lo que habrá que realizar una serie de cálculos. Primero tras realizar una lectura sobre el estado actual de los sistemas de cogeneración se pueden obtener una serie de conclusiones que justificarán nuestra elección del sistema. Cuando se habla de instalar un sistema de cogeneración existen sistemas, como, por ejemplo, motores de combustión interna, microturbinas o motores Stirling. En nuestro caso Design Builder solo permite instalar una de las dos primeras opciones, siendo el motor de combustión interna el sistema elegido. A la hora de decidir la demanda a cubrir, existen 3 dimensionamientos principales: cubrir únicamente el ACS (dimensionada para cubrir el pico de demanda o la base), también se puede dimensionar con el fin de abastecer la calefacción (pico o base) y, por último, existen instalaciones que cubren ambas demandas. Obviamente el último caso requiere una potencia y coste altos, por lo que lo mejor sería centrarse en generar el calor para la calefacción o el ACS. Para el presente proyecto se tomó la decisión de suministrar el calor para el ACS ya que el dimensionamiento es más sencillo debido a que la demanda es casi constante a lo largo del año.

La calefacción se abastece con una instalación geotérmica, en el caso actual ésta tiene una potencia de 96 kW (está sobredimensionada, tal y como se vio en el escenario S4) y 24 sondas. A medida que las mejoras de las pasivas son más estrictas la potencia de la instalación disminuye, así como el número de sondas. El esquema de la instalación se ve en la figura 49.

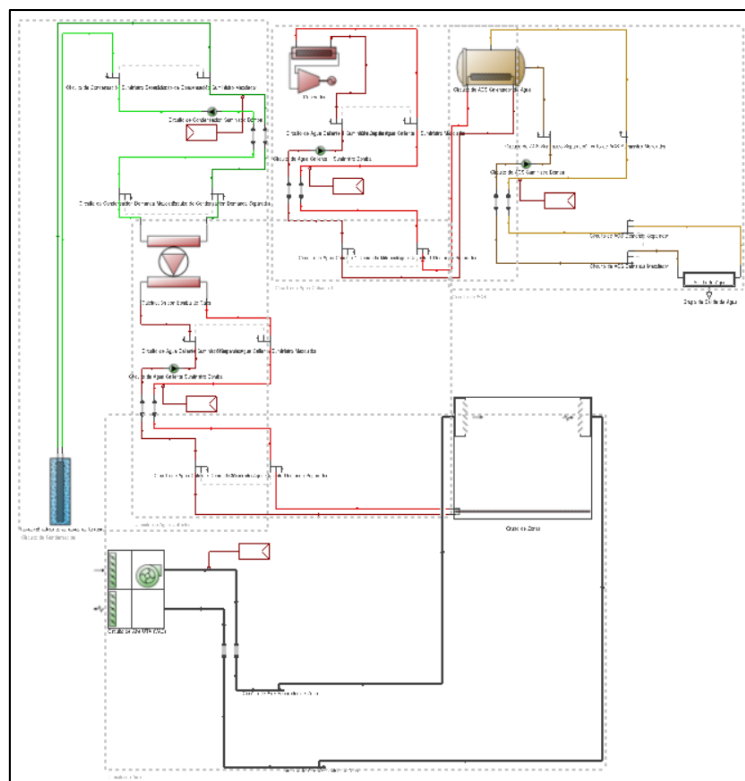


Figura 49 Instalación Caso S11

El procedimiento para obtener la potencia es sencillo, primero se necesita conocer el número de personas que habitan el edificio, dato que se obtiene a partir de estimaciones realizadas por el CTE. El edificio en cuestión cuenta con 22 viviendas de 2 y 3 habitación, lo que da una suma de 79 personas. Los litros/días correspondientes a cada persona del edificio son 28 l/día. Con estos dos datos y la siguiente fórmula se puede calcular el número de kWh necesarios para calentar dicha agua desde la temperatura de red hasta los 60°C de acumulación.

$$D_{ACS}(kWh) = D_i \left(\frac{l}{día} \right) * \rho * Cp * (T - T_{red})$$

Tomando como densidad 1 kg/litro y el poder calorífico 1,16 Wh/kg · °C, de lo que se obtiene la tabla 47.

Tabla 47 Estimación de la demanda térmica de ACS

	Tº agua red	Tº agua caliente	Consumo día tipo (l/día)	Consumo edificio (kWh)	Demanda térmica	Nº días	kWh
Enero	9	60	28	130,86	139,04	31	4056,72
Febrero	10	60	28	128,30	137,46	28	3592,29
Marzo	10	60	28	128,30	137,46	31	3977,18
Abril	11	60	28	125,73	135,90	30	3771,90
Mayo	13	60	28	120,60	132,85	31	3738,55
Junio	15	60	28	115,47	129,90	30	3463,99
Julio	17	60	28	110,33	127,08	31	3420,37
Agosto	17	60	28	110,33	127,08	31	3420,37
Septiembre	16	60	28	112,90	128,47	30	3387,01
Octubre	14	60	28	118,03	131,36	31	3659,00
Noviembre	11	60	28	125,73	135,90	30	3771,90
Diciembre	10	60	28	128,30	137,46	31	3977,18

Para conocer la demanda pico se necesita conocer la demanda pico horaria, para ello se va a acudir a una simulación ya realizada en el proyecto. Dicha simulación cuenta con la plantilla anteriormente introducida con los horarios estimados donde se producen las demandas horarias. Con una regla de tres podemos extrapolar la demanda del caso base al actual.

La tabla 48 muestra la distribución horaria de la demanda se ha realizado únicamente para el mes de enero ya que es el mes donde se registra la temperatura de red más baja, por lo tanto, durante ese día tipo de dará la demanda pico que servirá para dimensionar la instalación.

Tabla 48 Distribución horaria de la demanda de ACS (kW)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0,93	0,86	0,85	0,00	0,00	0,87	3,48	11,54	9,64	9,80	8,20	7,80
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
5,77	6,96	4,58	5,06	4,27	5,76	6,14	9,63	7,43	8,36	5,98	6,97

Como se puede observar la demanda pico se da a las 8 de la mañana con 11,54 kW por lo que el motor se tendrá que escoger acorde a esta potencia, por ello se elige Senertec DACHS G/F 5.5 con 12,5 kW de potencia térmica y 5,5 kW de potencia eléctrica. A la hora de introducir los datos del motor en Desing Builder éste nos pide que introduzcamos la potencia eléctrica (5,5 kW) y la relación entre la potencia térmica a eléctrica, en el caso presente, 0,44. Dichos valores se observan en la figura 54. [55].

Para el proceso de dimensionamiento se ha extraído información de los siguientes trabajos:

- Viabilidad legal y económica de un sistema de microgeneración en un edificio de viviendas (2011)[56].
- Estudio para la implantación de un equipo de microgeneración en el sector residencial (2016) [57].

General	
Nombre	Generador
Tipo	1-Motor de combustión interna
Funcionamiento	
Programación de disponibilidad	On 24/7
Potencia	
Potencia nominal (W)	5500
Relación nominal de energía térmica a eléctrica	0,44
<input checked="" type="checkbox"/> Curva de potencia del eje	BG Shaft Power Curve
Combustible	
Combustible	1-Gas natural
Valor de calentamiento más alto del combustible (kJ/kg)	39900
Fracciones de Carga Parcial	
Mínima	0,150
Máxima	1,000
Óptima	0,660
Evacuación	
Temperatura nominal mínima de evacuación (°C)	150,00
Flujo máximo de evacuación por unidad de potencia ((kg/s)/W)	0,000006300
<input checked="" type="checkbox"/> Curva de energía total de evacuación	BG Total Exhaust Energy Curve
<input checked="" type="checkbox"/> Curva de temperatura de evacuación	BG Exhaust Temperature Curve
Curva de Factor-U por Área para Evacuación	
Coefficiente 1 de la curva de Factor-U por área	0,009523290
Coefficiente 2 de la curva de Factor-U por área	0,900000000
Recuperación de calor	
Caudal nominal de agua de recuperación de calor (m³/s)	0,000061
Máxima temperatura de recuperación de calor (°C)	90,00
<input checked="" type="checkbox"/> Curva de recuperación de calor de la camisa	BG Recovery Jacket Heat Curve
<input checked="" type="checkbox"/> Curva de recuperación de calor del lubricante	BG Recovery Lube Heat Curve

Figura 49 Caracterización del equipo en Desing Builder

Es importante, previo a la simulación del escenario introducir en la pestaña de “Generación” los equipos de microgeneración según la finalidad de la electricidad producida, en el caso presente se elige “Follow thermal limit electrical” donde el equipo generará electricidad siguiendo la demanda térmica sin que tenga que exportar a la red. [58]

En la tabla 50 que se muestra a continuación se pueden ver los elementos que conforman la instalación presente, en ella también se pueden observar los parámetros de funcionamiento, así como las temperaturas que configuran el sistema.

Tabla 50 Parámetros de la instalación

ELEMENTOS	Tipo	Rendimiento	Tª de trabajo
MCIA	-	≈ 0,7	60
Suelo radiante	Flujo variable	-	45
Bomba de calor	Agua- agua	5,3	45
Sonda geotérmica	Vertical	-	13,38

Cada instalación cuenta con una serie de circuitos que permiten la interconexión de los elementos, en la tabla 51 se pueden observar las temperaturas de trabajo de cada uno de los circuitos junto con el caudal. Estas temperaturas no representan las temperaturas de cada momento, sino que son las temperaturas en base a las cuales el programa diseña el circuito.

Tabla 51 Distribución de las temperaturas de los circuitos

CIRCUITOS	T entrada	T salida	Caudal (m³/s)
Loop Calefacción	35	45	0,001344
Loop Condensación	13,38	11,88	0,00442
Loop ACS (MCIA)	55	60	0,000518
Loop ACS	60	55	0,000063

Nombre: S12

Descripción: Calefacción mediante aerotermia + ACS mediante cogeneración

Aportaciones renovables: -

Para los escenarios que implementan un sistema de cogeneración para cubrir algún tipo de demanda es importante saber que Design Builder no autodimensiona la potencia por lo que habrá que realizar una serie de cálculos. Primero tras realizar una lectura sobre el estado actual de los sistemas de cogeneración se pueden obtener una serie de conclusiones que justificarán nuestra elección del sistema. Cuando se habla de instalar un sistema de cogeneración existen sistemas, como, por ejemplo, motores de combustión interna, microturbinas o motores Stirling. En nuestro caso Design Builder solo permite instalar una de las dos primeras opciones, siendo el motor de combustión interna el sistema elegido. A la hora de decidir la demanda a cubrir, existen 3 dimensionamientos principales, cubrir únicamente el ACS (dimensionada para cubrir el pico de demanda o la base). Del mismo modo también se puede dimensionar con el fin de abastecer la calefacción (pico o base) y, por último, existen instalaciones que cubren ambas demandas. Obviamente el último caso requiere una potencia y coste altos, por lo que lo mejor sería centrarse en generar el calor para la calefacción o el ACS. Para el presente proyecto se tomó la decisión de suministrar el calor para el ACS ya que el dimensionamiento es más sencillo debido a que la demanda es casi constante a lo largo del año. [59]

El calor para el suelo radiante se realiza mediante aerotermia siguiendo el mismo esquema visto en los anteriores casos (Figura 50).

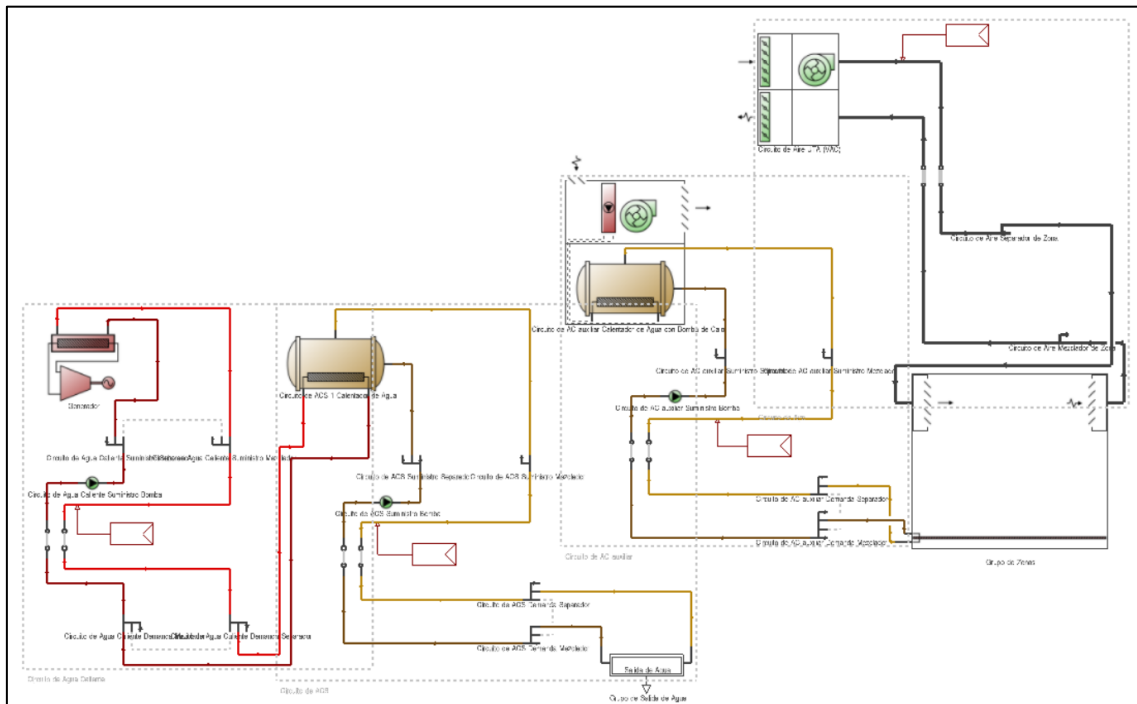


Figura 50 Instalación Caso S12

El procedimiento para obtener la potencia es sencillo, primero se necesita conocer el número de personas que habitan el edificio, dato que se obtiene a partir de estimaciones realizadas por el CTE. El edificio en cuestión cuenta con 22 viviendas de 2 y 3 habitación, lo

que da una suma de 79 personas. Los litros/días correspondientes a cada persona del edificio son 28 l/día. Con estos dos datos y la siguiente fórmula se puede calcular el número de kWh necesarios para calentar dicha agua desde la temperatura de red hasta los 60°C de acumulación.

$$D_{ACS}(kWh) = D_i \left(\frac{l}{día} \right) * \rho * Cp * (T - T_{red})$$

Tomando como densidad 1 kg/litro y el poder calorífico 1,16 Wh/kg · °C, de lo que se obtiene la tabla 52.

Tabla 52 Estimación de la demanda térmica de ACS

	Tº agua red	Tº agua caliente	Consumo día tipo (l/día)	Consumo edificio (kWh)	Demanda térmica	Nº días	kWh
Enero	9	60	28	130,86	139,04079	31	4056,72
Febrero	10	60	28	128,30	137,46	28	3592,288
Marzo	10	60	28	128,30	137,46	31	3977,176
Abril	11	60	28	125,73	135,89942	30	3771,902
Mayo	13	60	28	120,60	132,8465	31	3738,545
Junio	15	60	28	115,47	129,8997	30	3463,992
Julio	17	60	28	110,33	127,08177	31	3420,371
Agosto	17	60	28	110,33	127,08177	31	3420,371
Septiembre	16	60	28	112,90	128,47296	30	3387,014
Octubre	14	60	28	118,03	131,35855	31	3659,002
Noviembre	11	60	28	125,73	135,89942	30	3771,902
Diciembre	10	60	28	128,30	137,46	31	3977,176

Para conocer la demanda pico se necesita conocer la demanda pico horaria, para ello se va a acudir a una simulación ya realizada en el proyecto. Dicha simulación cuenta con la plantilla anteriormente introducida con los horarios estimados donde se producen las demandas horarias. Con una regla de 3 podemos extrapolar la demanda del caso base al actual.

La tabla 53 muestra la distribución horaria de la demanda se ha realizado únicamente para el mes de enero ya que es el mes donde se registra la temperatura de red más baja, por lo tanto, durante ese día tipo de dará la demanda pico que servirá para dimensionar la instalación.

Tabla 53 Distribución horaria de la demanda de ACS

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0,93	0,86	0,85	0,00	0,00	0,87	3,48	11,54	9,64	9,80	8,20	7,80
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
5,77	6,96	4,58	5,06	4,27	5,76	6,14	9,63	7,43	8,36	5,98	6,97

Como se puede observar la demanda pico se da a las 8 de la mañana con 11,54 kW por lo que el motor se tendrá que escoger acorde a esta potencia, por ello se elige Senertec DACHS G/F 5.5 con 12,5 kW de potencia térmica y 5,5 kW de potencia eléctrica. A la hora de introducir los datos del motor en Design Builder éste nos pide que introduzcamos la potencia eléctrica (5,5 kW) y la relación entre la potencia térmica a eléctrica, en el caso presente, 0,44 [55].

Para el proceso de dimensionamiento se ha extraído información de los siguientes trabajos:

- Viabilidad legal y económica de un sistema de microgeneración en un edificio de viviendas (2011)[56].
- Estudio para la implantación de un equipo de microgeneración en el sector residencial (2016) [57].

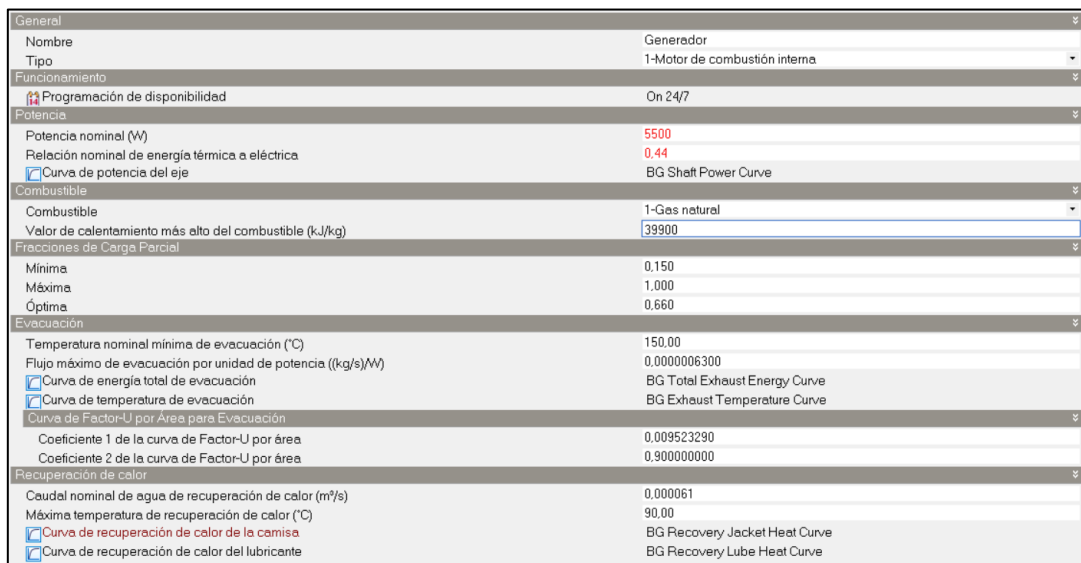


Figura 51 Caracterización del equipo en Design Builder

Es importante, previo a la simulación del escenario introducir en la pestaña de “Generación” los equipos de microgeneración según la finalidad de la electricidad producida, en el caso presente se elige “Follow thermal limit electrical” donde el equipo generará electricidad siguiendo la demanda térmica sin que tenga que exportar a la red. [58]

En la tabla 55 se muestra a continuación se pueden ver los elementos que conforman la instalación presente, en ella también se pueden observar los parámetros de funcionamiento, así como las temperaturas que configuran el sistema.

Tabla 54 Parámetros de la instalación

ELEMENTOS	Tipo	Rendimiento	Tª de trabajo
MCIA	-	≈ 0,7	60
Suelo radiante	Flujo variable	-	45
Bomba de calor	Aire - agua	3,2	50
Calentador	Mixto	0,88	45
Sonda geotérmica	Vertical	-	13,38

Cada instalación cuenta con una serie de circuitos que permiten la interconexión de los elementos, en la tabla 56 se pueden observar las temperaturas de trabajo de cada uno de los circuitos junto con el caudal. Estas temperaturas no representan las temperaturas de cada momento, sino que son las temperaturas en base a las cuales el programa diseña el circuito.

Tabla 55 Distribución de las temperaturas de los circuitos

CIRCUITOS	T entrada	T salida	Caudal (m³/s)
Loop Calefacción	35	45	0,001344
Loop Condensación	13,38	11,88	0,00442
Loop ACS (MCIA)	55	60	0,000518
Loop ACS	60	55	0,000063

Nombre: S13

Descripción: Calefacción con geotermia + ACS mediante caldera de biomasa

Aportaciones renovables: Biomasa

El sistema presente pretende obtener el calor para abastecer la calefacción del suelo radiante mediante un sistema de bomba de calor geotérmica y por otra parte el ACS lo cubrirá una caldera de biomasa. La bomba de calor se dimensionó como en los escenarios S7 y S8 donde la bomba solo abastecía la calefacción, para ello se consultó la potencia de calefacción demandada por la vivienda en la pestaña 'Diseño de Calefacción'. Después se elegirá la bomba de calor más cercana de la biblioteca y finalmente según dicha demanda se realizarán 24 perforaciones que es lo que Design Builder recomienda para ese rango de potencia. La caldera de biomasa por su parte trabajará como una caldera convencional ya que esta vez no tiene por qué abastecer el suelo radiante por lo que podrá trabajar a temperaturas más elevadas, en este caso a 60°C que es la temperatura de consigna del ACS. El calentador esta vez no contiene ningún tipo de sistema de calentamiento interno ya que el agua que se le abastece ya cuenta con la temperatura requerida.

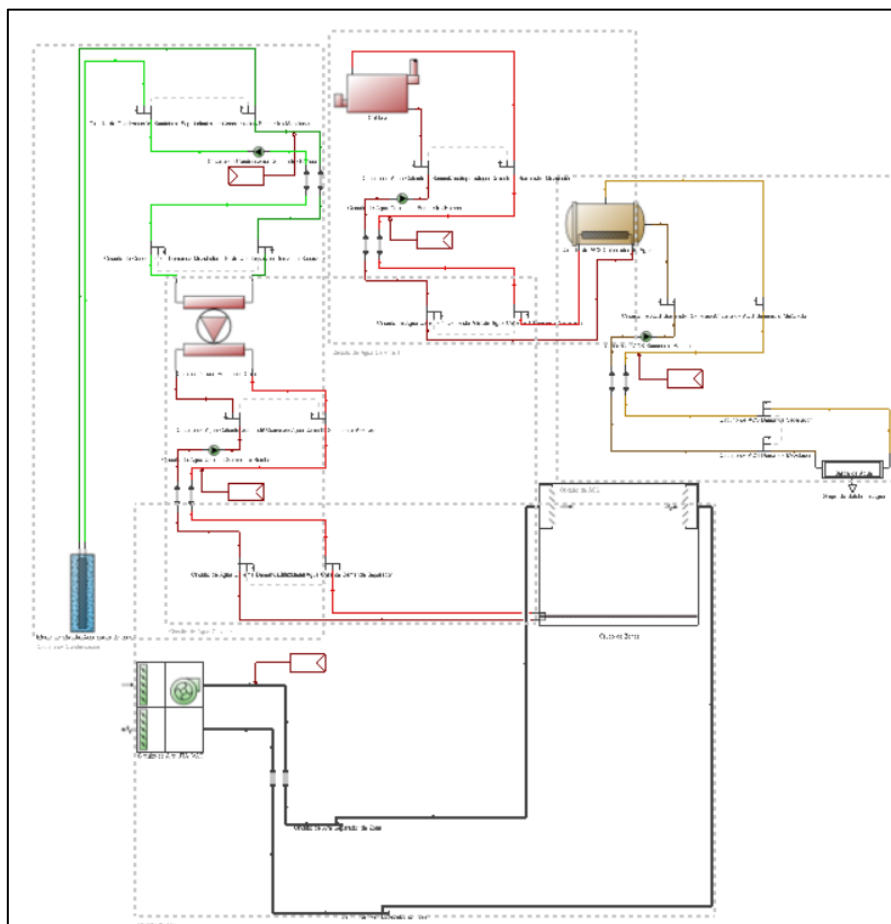


Figura 52 Instalación Caso S13

En la tabla 56 se muestra a continuación se pueden ver los elementos que conforman la instalación presente, en ella también se pueden observar los parámetros de funcionamiento, así como las temperaturas que configuran el sistema.

Tabla 56 Parámetros de la instalación

ELEMENTOS	Tipo	Rendimiento	Temperatura (°C)
Perforaciones	Vertical	-	13,38
Suelo radiante	Flujo variable	-	45
Calentador	Mixto	0,88	60
Caldera	Biomasa	0,85	60
Bomba calor	Agua-agua	5,7	45

Cada instalación cuenta con una serie de circuitos que permiten la interconexión de los elementos, en la tabla 57 se pueden observar las temperaturas de trabajo de cada uno de los circuitos junto con el caudal.

Tabla 57 Distribución de las temperaturas de los circuitos

CIRCUITOS	T entrada	T salida	Caudal (m³/s)
Loop Calefacción ACS	35	45	0,001344
Loop ACS	55	60	0,000063
Loop Geotermia	70	80	0,000518

Nombre: S14

Descripción: Calefacción con aerotermia + ACS mediante caldera de biomasa

Aportaciones renovables: Biomasa

El último escenario a implementar es similar al anterior, S13, pero en este caso la calefacción la cubre un sistema de aerotermia. Este sistema está dimensionado con la misma filosofía que el escenario S3, el compresor también trabajará a 50°C con una temperatura de banda muerta de 4°C, con el fin de que la temperatura de consigna del calentador sea 45°C para poder cubrir algún consumo pico, no obstante, tal y como se mencionó en el propio escenario 3, se trabaja a una temperatura baja por lo que es raro que sea necesario el trabajo del calentador. La caldera de biomasa por su parte es exactamente igual que en el caso S13, consiste en una caldera de biomasa convencional trabajando a 60°C con el fin de abastecer el ACS del edificio. El esquema se ve representado en la figura 53.

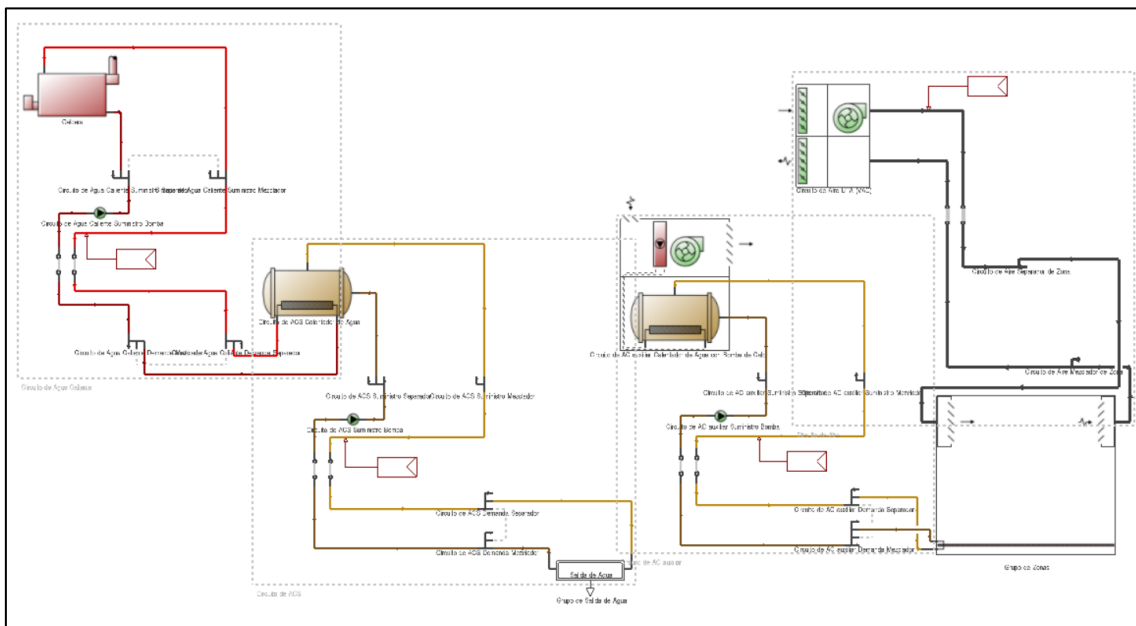


Figura 53 Instalación Caso S14

En la tabla 58 se muestra a continuación se pueden ver los elementos que conforman la instalación presente, en ella también se pueden observar los parámetros de funcionamiento, así como las temperaturas que configuran el sistema.

Tabla 58 Parámetros de la instalación

ELEMENTOS	Tipo	Rendimiento	Temperatura (°C)
Caldera	Biomasa	0,85	60
Calentador ACS	Mixto	0,88	60
Suelo radiante	Flujo variable	-	45
Bomba de calor	Aire-agua	3,2	45

Cada instalación cuenta con una serie de circuitos que permiten la interconexión de los elementos, en la tabla 59 se pueden observar las temperaturas de trabajo de cada uno de los circuitos junto con el caudal.

Tabla 59 Distribución de las temperaturas de los circuitos

CIRCUITOS	T entrada	T salida	Caudal (m³/s)
Loop Calefacción	35	45	0,001322
Loop ACS	55	60	0,000063
Loop Calefacción ACS	10	60	0,000518

Hasta ahora se han expuesto los 14 escenarios base que forman el conjunto de sistemas que abastecen tanto el calor para la calefacción, así como para el ACS. En total se han planteado 56 escenarios de medidas activas diferentes, no obstante, no ha sido posible la implementación de todas. En las siguientes líneas se va a esquematizar de manera ordenada los siguientes bloques de medidas activas, así como cuales no hay sido posibles de realizar y el porqué.

Como se ha podido observar anteriormente en la tabla de las combinatorias las medidas viene agrupadas en grupos de 14 escenarios diferentes, habiendo sido el primer grupo ya presentado mediante las fichas descriptivas. El segundo bloque se basa en todos estos escenarios añadiéndoles en el 50% de la cubierta placas fotovoltaicas. Tras la lectura de las fichas que describen un sistema con colectores solares como apoyo para la demanda de ACS se puede observar como el caso del aporte del 70% de la demanda, la cubierta queda totalmente ocupada, haciendo imposible la implementación de las placas fotovoltaicas, estos escenarios son el S16, S22 y S24. En el resto de los escenarios que van desde el S15 al S28 se cubrirá el 50% de la cubierta con paneles fotovoltaicos SW 300 MONO [60]. Para ello primero se tuvo que insertar la geometría de las placas para que el programa pudiera interpretar el área instalada. Para el presente proyecto se decidió colocar las placas SW 300 MONO en grupos de 5 paneles en serie de 4,7x2,15 m, la siguiente figura sirve como ejemplo donde se pueden observar dos geometrías que agrupan 5 paneles en serie de 0,94x2,15, dando en total un área de captación de 20,21 m².

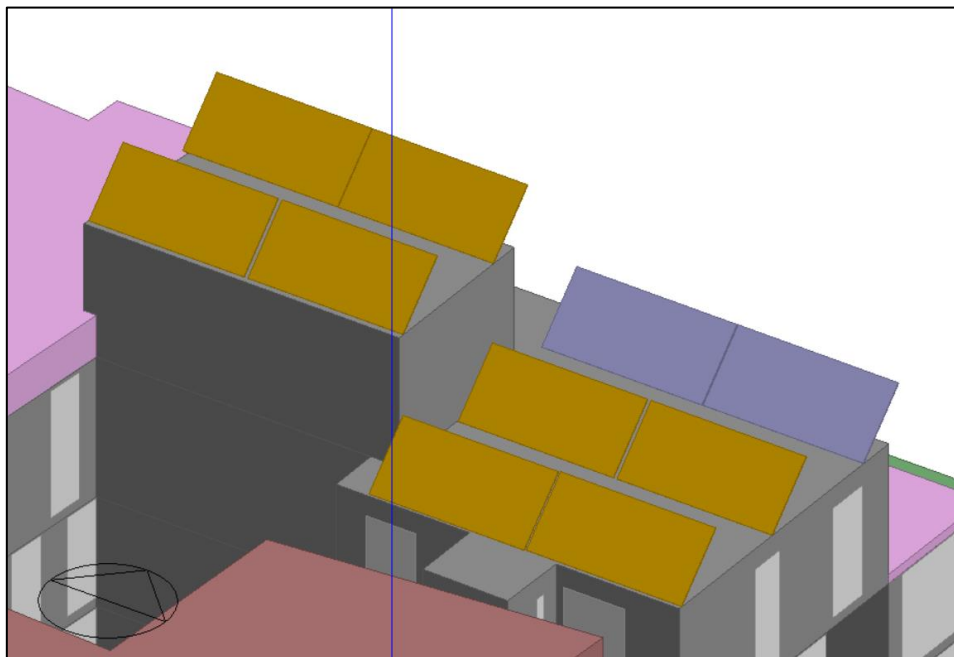


Figura 54 Distribución ejemplo de los paneles fotovoltaicos

Tras introducir la geometría, seleccionando cada uno de ellos Design Builder permite crear una plantilla que describa el funcionamiento de los paneles, así como su eficiencia. Dichos datos se tomaron de la ficha técnica del modelo SW 300 MONO y quedan recogidos en el programa de la siguiente manera (Figura 55).

Editar Generador Fotovoltaico - Un Diodo - SW 300 MONO

Generador Fotovoltaico - Un Diodo

Modelo de Rendimiento

General

Nombre	SW 300 MONO
Tipo de celda	1-Silicón Cristalino
Celdas en serie	60
Área activa (m²)	1,47
Producto transmitancia absorptancia	0,9000
Semiconductor bandgap (eV)	1,12
Resistencia de derivación (ohms)	1000000,00
Temperatura de referencia (°C)	25,00
Insolación de referencia (W/m²)	1000,00
Coefficiente de pérdida de calor del módulo (W/m²·K)	30,00
Capacidad de calor total (J/m²·K)	50000,00
Potencia eléctrica nominal por módulo (W)	300,00
Programación de disponibilidad	PV panel efficiency: Always 0.15

Corriente

Corriente de cortocircuito (A)	10,23
Corriente del módulo a máxima potencia (A)	9,57
Coefficiente de temperatura de corriente de cortocircuito (A/K)	0,00409

Voltaje

Voltaje de circuito abierto (V)	40,1
Voltaje de módulo a máxima potencia (V)	31,6
Coefficiente de temperatura de voltaje de circuito abierto (V/K)	-0,133

Temperatura Nominal de Operación de la Celda

Temperatura ambiental NOCT (°C)	20,00
Temperatura de celda NOCT (°C)	46,00
Insolación NOCT (W/m²)	800

Datos del modelo

Figura 55 Ficha técnica SW 300 MONO

Finalmente se deberá crear en la pestaña ‘Generación’ un centro de carga que represente que existe un centro de generación de electricidad, en este caso concreto de corriente continua con inversor debido a que se trata de paneles fotovoltaicos, esto servirá más tarde para que programa pueda contabilizar la generación, así como las pérdidas por transformación.

Todo este proceso se lleva a cabo desde los escenarios S15 al S28, proceso que se reiterará desde el escenario S29 al S42, siendo el objetivo de este grupo la instalación de paneles en el 100% de la cubierta. Del mismo modo que en la segunda agrupación, aquellos escenarios que tuvieran ya el 100% de la cubierta ocupada por colectores también quedarán excluidos, estos casos corresponden a el S30, S36 y S38. Otra peculiaridad de este bloque es que los escenarios donde la mitad de la cubierta es ocupada por colectores y la otra mitad por paneles (ejemplo Figura 46) cuentan como el mismo caso para el grupo de medidas 2 y 3, es decir, el caso S15 toma el espacio restante para la implementación de placas al margen de que este espacio represente el 50% de la cubierta o el 100%. Las parejas de casos que representa el mismo escenario serían: S15=S29, S21=S35 y S23=S37. Las diferencias en la ocupación de la cubierta se pueden observar cuando el escenario no exige el aporte de calor por parte de los colectores, por ejemplo, S3 (aerotermia), S4 (geotermia), S5 (cogeneración) o S6 (Biomasa) junto con sus combinaciones, en las figuras 56 y 57 se puede observar dicha diferencia.

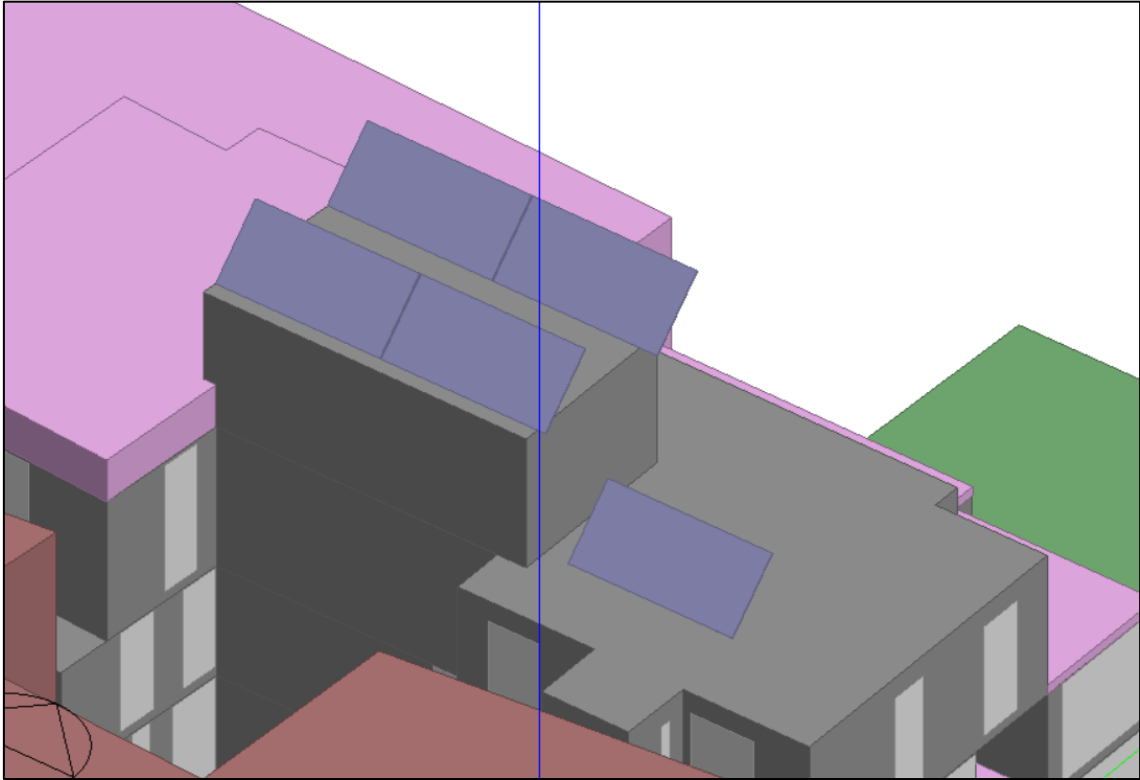


Figura 56 Distribución de paneles fotovoltaicos 50% cubierta

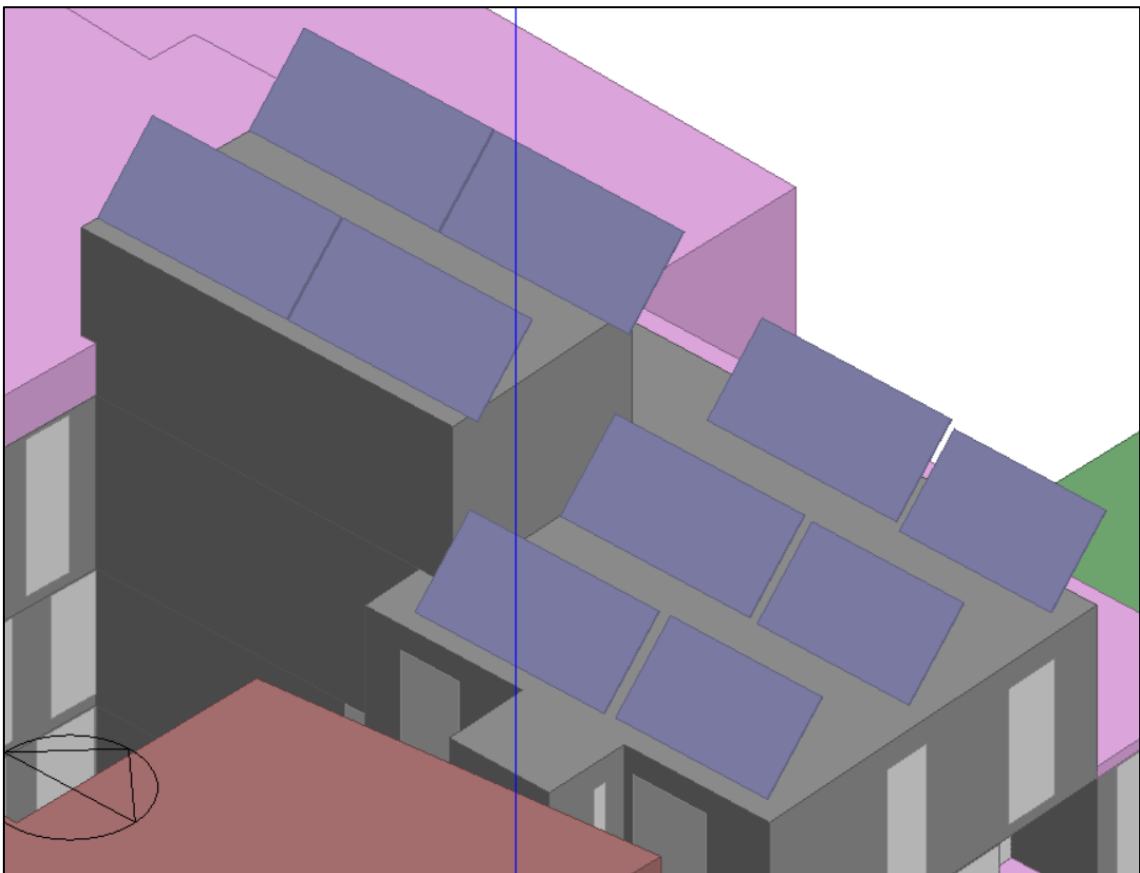


Figura 57 Distribución de paneles fotovoltaicos 100% cubierta

Los paneles ubicados más a la derecha representan 4 paneles en serie en vez de 5 ya que estos sobresalían de la cubierta.

Finalmente, las medidas tomadas desde el escenario S43 al S56 tienen como medida de generación eléctrica la implementación de suelo fotovoltaico transitable en la cubierta. De este grupo se excluyen los escenarios que cuentan con colectores solares, por lo que solo se instalará suelo en los escenarios con la cubierta totalmente libre. A nivel geométrico no hace falta introducir ningún tipo de elemento, la forma de que Design Builder interprete este tipo de sistema es creando un cerramiento. En este caso se hace que la cubierta cuente con una 'capa' de generación fotovoltaica, para ello el programa cuenta con una carpeta en su biblioteca. En la siguiente imagen (figura 58) se puede ver el cerramiento creado, siendo la capa de generación suelo fotovoltaico de la marca ONYX en su versión Dark ya que es la que más eficiencia genera. Dicha eficiencia se toma del siguiente estudio [61] donde se pusieron a prueba diferentes sistemas de captación solar, de él se extrae que este tipo de suelo tienen una eficiencia aproximada del 6%.

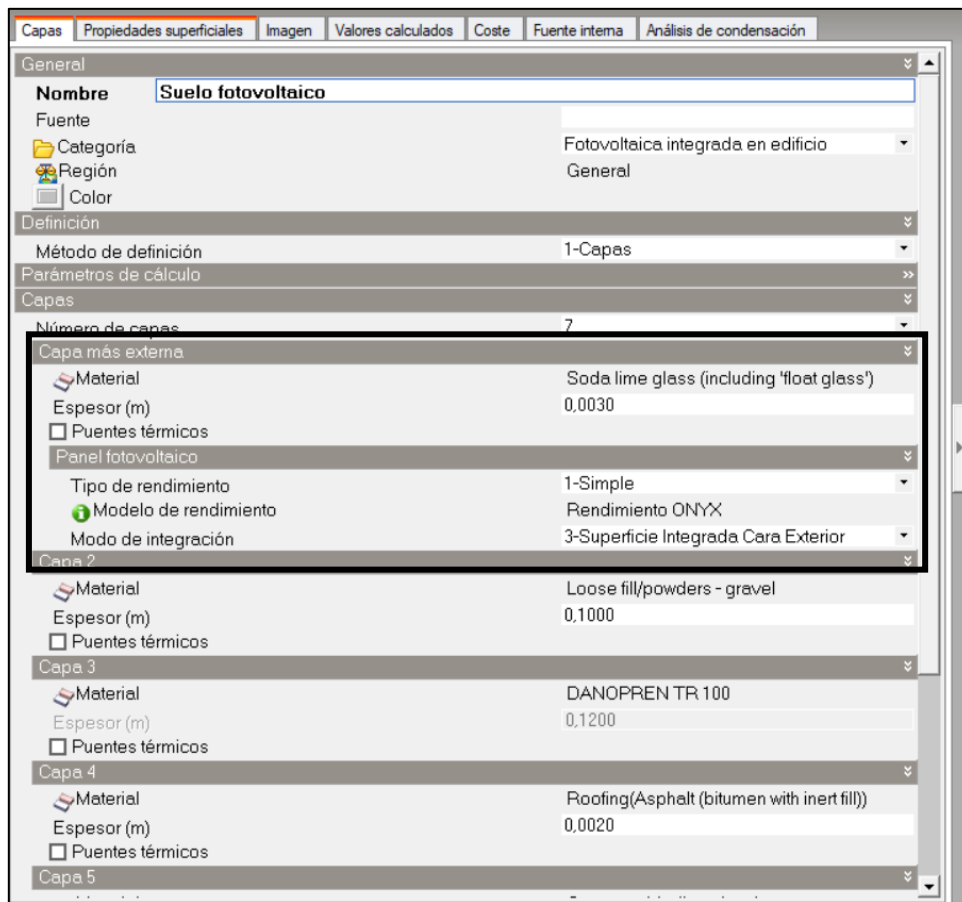


Figura 58 Capa suelo fotovoltaico

Así quedaría descritos todo el conjunto de escenarios activos, dando un total de 179 escenarios diferentes. Todos estos se combinarán con las 4 alternativas pasivas.

BIBLIOGRAFÍA

1. *Energy Performance of Buildings*. -07-31T13:02:38+02:00, 2014 [cited Dec 15, 2019] Available from: <<https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/energy-performance-of-buildings/overview>>.
2. *Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the Promotion of the use of Energy from Renewable Sources and Amending and Subsequently Repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC (Text with EEA Relevance)*., -06-05, 2009 [cited Dec 15, 2019]. Available from <<http://data.europa.eu/eli/dir/2009/28/oj/eng>>.
3. *Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the Energy Performance of Buildings.*, -06-18, 2010 [cited Dec 15, 2019]. Available from <<http://data.europa.eu/eli/dir/2010/31/oj/eng>>.
4. *Directiva 2012/27/UE Del Parlamento Europeo Y Del Consejo, De 25 de Octubre De 2012, Relativa a La Eficiencia Energética, Por La Que Se Modifican Las Directivas 2009/125/CE Y 2010/30/UE, Y Por La Que Se Derogan Las Directivas 2004/8/CE Y 2006/32/CE Texto Pertinente a Efectos Del EEE.* , -11-14, 2012 [cited Dec 15, 2019]. Available from <<http://data.europa.eu/eli/dir/2012/27/oj/spa>>.
5. *Energy Performance of Buildings Directive*. -05-16T10:14:06+02:00, 2019 [cited Dec 15, 2019] Available from: <<https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/energy-performance-of-buildings/energy-performance-buildings-directive>>.
6. LONGO, Sonia; MONTANA, Francesco and RIVA SANSEVERINO, Eleonora. A Review on Optimization and Cost-Optimal Methodologies in Low-Energy Buildings Design and Environmental Considerations. *Sustainable Cities and Society*, 2019, vol. 45. pp. 87-104. Available from <<https://ehu.on.worldcat.org/oclc/7960227940>> WorldCat.org. ISSN 2210-6707.
7. *TRNSYS: Transient System Simulation Tool*. Available from: <<http://www.trnsys.com/>>.
8. *Energy Plus*. Available from: <<https://energyplus.net/>>.
9. *MATLAB - El Lenguaje Del Cálculo Técnico*. Available from: <<https://es.mathworks.com/products/matlab.html>>.
10. HONG, Tianzhen; CHOU, S. K. and BONG, T. Y. Building Simulation: An Overview of Developments and Information Sources. *Building and Environment*, 2000, vol. 35, no. 4. pp. 347-361. Available from <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132399000232>>. ISSN 0360-1323.
11. ELLIS, M. W.; and MATHEWS, E. H. Needs and Trends in Building and HVAC System Design Tools. *Building and Environment*, 2002, vol. 37, no. 5. pp. 461-470. Available from <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132301000403>>. ISSN 0360-1323.
12. CONNOLLY, D., et al. A Review of Computer Tools for Analysing the Integration of Renewable Energy into various Energy Systems. *Applied Energy*, 2010, vol. 87, no. 4. pp. 1059-1082. Available from <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261909004188>>. ISSN 0306-2619.
13. HAAPIO, Appu; and VIITANIEMI, Pertti. A Critical Review of Building Environmental Assessment Tools. *Environmental Impact Assessment Review*, 2008, vol. 28, no. 7. pp. 469-482.

Análisis de coste óptimo de envolvente e instalaciones HVAC de un edificio bajo el nuevo CTE
Available from <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0195925508000048>>. ISSN 0195-9255.

14. THALFELDT, Martin, et al. *Facade Design Principles for nearly Zero Energy Buildings in a Cold Climate.* , 2013. Available from

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778813005240>>. ISBN 0378-7788.

15. TOULOUPAKI, Eleftheria; and THEODOSIOU, Theodoros. Optimization of External Envelope Insulation Thickness: A Parametric Study. *Energies*, 2017, vol. 10, no. 3 [cited Aug 30, 2020].

pp. 1-19. Available from <<https://ideas.repec.org/a/gam/jeners/v10y2017i3p270-d91411.html>>.

16. BAGLIVO, Cristina, et al. *Cost-Optimal Analysis and Technical Comparison between Standard and High Efficient Mono-Residential Buildings in a Warm Climate.* , 2015. Available from <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544215002170>>. ISBN 0360-5442.

17. BARBOLINI, Fausto; CAPPELLACCI, Paolo and GUARDIGLI, Luca. *A Design Strategy to Reach nZEB Standards Integrating Energy Efficiency Measures and Passive Energy Use.* , 2017.

Available from

<<http://www.sciencedirect.com.ehu.idm.oclc.org/science/article/pii/S1876610217300437>>.

ISBN 1876-6102.

18. SUÁREZ, R.; and FRAGOSO, J. Estrategias Pasivas De Optimización Energética De La Vivienda Social En Clima Mediterráneo. *Informes De La Construcción*, Mar 1, 2016, vol. 68, no. 541. pp. e136. Available from <<https://doaj.org/article/bfd0b51effcc438a87c7fac2a1e63caf>>.

ISSN 0020-0883.

19. ASTE, Niccolò; ADHIKARI, R. S. and MANFREN, Massimiliano. *Cost Optimal Analysis of Heat Pump Technology Adoption in Residential Reference Buildings.* , 2013. Available from

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148113003066>>. ISBN 0960-1481.

20. ASCIONE, Fabrizio, et al. *A New Comprehensive Approach for Cost-Optimal Building Design Integrated with the Multi-Objective Model Predictive Control of HVAC Systems.* , 2017.

Available from <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210670716306588>>. ISBN 2210-6707.

21. PAIHO, Satu; PULAKKA, Sakari and KNUUTI, Antti. *Life-Cycle Cost Analyses of Heat Pump Concepts for Finnish New nearly Zero Energy Residential Buildings.* , 2017. Available from

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778816318709>>. ISBN 0378-7788.

22. JUNG, Nusrat, et al. *Energy Performance Analysis of an Office Building in Three Climate Zones.* , 2018. Available from

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778817316456>>. ISBN 0378-7788.

23. SILVA, Sandra M., et al. *Contribution of the Solar Systems to the nZEB and ZEB Design Concept in Portugal – Energy, Economics and Environmental Life Cycle Analysis.* , 2016.

Available from <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0927024816300897>>. ISBN 0927-0248.

24. D'AGOSTINO, Delia; and PARKER, Danny. A Framework for the Cost-Optimal Design of nearly Zero Energy Buildings (NZEBs) in Representative Climates Across Europe. *Energy*, 2018, vol. 149. pp. 814-829. Available from <<https://ehu.on.worldcat.org/oclc/7311434143>>

WorldCat.org. ISSN 0360-5442.

25. BOT, Karol, et al. Energy Performance of Buildings with on-Site Energy Generation and Storage – an Integrated Assessment using Dynamic Simulation. *Journal of Building Engineering*, 2019, vol. 24. pp. 100769. Available from

<<http://www.sciencedirect.com.ehu.idm.oclc.org/science/article/pii/S2352710218315092>>.

ISSN 2352-7102.

- Análisis de coste óptimo de envolvente e instalaciones HVAC de un edificio bajo el nuevo CTE
26. SÁEZ BLÁZQUEZ, Cristina, et al. Technical Optimization of the Energy Supply in Geothermal Heat Pumps. *Geothermics*, 2019, vol. 81. pp. 133-142. Available from <http://www.sciencedirect.com.ehu.idm.oclc.org/science/article/pii/S0375650519301191>>. ISSN 0375-6505.
27. Cristina Cornaro, et al. Energy Saving Assessment of Semi-Transparent Photovoltaic Modules Integrated into NZEB. *Buildings*, 2017, vol. 7, no. 1. Available from <https://ehu.on.worldcat.org/oclc/7179862648>> WorldCat.org. ISSN 2075-5309.
28. ASCIONE, Fabrizio, et al. *Multi-Objective Optimization of the Renewable Energy Mix for a Building*. , 2016. Available from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359431115014544>>. ISBN 1359-4311.
29. OLDEWURTEL, Frauke; STURZENEGGER, Davidand MORARI, Manfred. *Importance of Occupancy Information for Building Climate Control*. , 2013. Available from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261912004564>>. ISBN 0306-2619.
30. REDA, F.; and FATIMA, Z. Northern European nearly Zero Energy Building Concepts for Apartment Buildings using Integrated Solar Technologies and Dynamic Occupancy Profile: Focus on Finland and Other Northern European Countries. *Applied Energy*, 2019, vol. 237 [cited 6 December 2019]. pp. 598-617. Available from <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85059803104&doi=10.1016%2fj.apenergy.2019.01.029&partnerID=40&md5=f5bbd61eb5964a5bb6011f246181c567>> SCOPUS.
31. PSOMAS, Theofanis, et al. Overheating Risk Barriers to Energy Renovations of Single Family Houses: Multicriteria Analysis and Assessment. *Energy and Buildings*, 2016, vol. 117. pp. 138-148. Available from <http://www.sciencedirect.com.ehu.idm.oclc.org/science/article/pii/S0378778816300883>>. ISSN 0378-7788.
32. CTE. *Documento Básico De Ahorro De Energía*. Available from:<https://www.codigotecnico.org/index.php/menu-ahorro-energia.html>>.
33. *Ermua*. , -07-17T12:59:47Z, 2020 [cited Aug 31, 2020]. Available from <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Ermua&oldid=127795183>>.
34. *Clasificación De Territorios Climáticos*. 25/02/, 2005 [cited Aug 30, 2020]Available from:www.euskalmet.euskadi.eus>.
35. *Viento*. 25/02/, 2005 [cited Aug 30, 2020]Available from:www.euskalmet.euskadi.eus>.
36. *Climate Consultant Download Page*. Available from:<<http://www.energy-design-tools.aud.ucla.edu/climate-consultant/request-climate-consultant.php>>.
37. *Weather Data by Location*. Available from:<https://energyplus.net/weather-location/europe_wmo_region_6/ESP//ESP_Bilbao.08250_SWEC>.
38. *Block and Zone Dimensions*. Available from:<https://designbuilder.co.uk/helpv1/Content/Block_and_Zone_Dimensions.htm>.
39. *geoEuskadi, Infraestructura De Datos Espaciales (IDE) De Euskadi*. Available from:<<https://www.geo.euskadi.eus/s69-15375/es/>>.
40. *CTE Datos Materiales*. Available from:<<http://cte-web.iccl.es/materiales.php?a=20>>.
41. *Propiedades Materiales Construcción*. Available from:<<http://www.goodfellow.com/sp/>>.
42. *Danosa - Danopren Tr 100*. [cited Aug 31, 2020]Available from:<<https://portal.danosa.com/danosa/CMSServlet?node=484009&lng=1&site=1>>.
43. *Alpharock-E 225*. [cited Aug 31, 2020]Available from:<<https://www.rockwool.es/productos-y-soluciones/edificacion-tecnica/alpharock-e-225/>>.

- Análisis de coste óptimo de envolvente e instalaciones HVAC de un edificio bajo el nuevo CTE
44. *Catálogo Climalit Plus*. Available from:<<https://es.saint-gobain-building-glass.com/sites/saint-gobain-building-glass.com/files/2018-12/Cat%C3%A1logo%20Climalit%20Plus-web-baja%20calidad.pdf>>.
 45. *Documento De Condiciones De Aceptación De Programas Informáticos Alternativos*. Available from:<<https://www.idae.es/publicaciones/condiciones-de-aceptacion-de-procedimientos-alternativos-lider-y-calener>>.
 46. BEATO PÉREZ, Miguel. *Análisis De Soluciones Pasivas Para La Reducción De La Demanda Energética Máxima En El Paraninfo De La Universitat Politècnica De València*. , 2016.
 47. LÓPEZ LORENZO, Marta. *Certificación Energética De Un Edificio Universitario Existente* . , Junio, 2017.
 48. *Generador De Precios*. Available from:<<http://www.generadordeprecios.info/#gsc.tab=0>>.
 49. *Precio Gas Natural - Eurostat*. Available from:<https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Natural_gas_price_statistics>.
 50. *Precio Electricidad - Eurostat*. Available from:<https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Electricity_price_statistics>.
 51. *Índice De Precios De Biomasa*. [cited Aug 31, 2020]Available from:<https://www.avebiom.org/proyectos/indice-precios-biomasa-al-consumidor?language_content_entity=es>.
 52. Endrik Arumägi, Raimo Simson, Kalle Kuusk, Targo Kalamees, Jarek Kurnitski. *Analysis of Cost-Optimal Minimum Energy Efficiency Requirements for Buildings* , 2017. Available from <https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/ee_2018_cost-optimal_en_version.pdf>.
 53. INSA, +Jorge. *Calcular La Separación Entre Filas De Placas Solares Para Evitar Sombras*. [cited Aug 31, 2020]Available from:<<https://www.monsolar.com/blog/calcular-la-separacion-entre-filas-de-placas-solares-para-evitar-sombras/>>.
 54. *Desing Builder - GSHP Case Study*. Available from:<<http://designbuilder.co.uk/helpv4.2/Content/GSHPCaseStudy.htm>>.
 55. *Fichas Motores Dachs*. Available from:<http://www.altare-energia.com/images/pdf/ALTARE-Dachs_5.5G.pdf>.
 56. BLAS LÓPEZ, Javier. *Viabilidad Legal Y Económica De Un Sistema De Microgeneración En Un Edificio De Viviendas*. Octubre, 2011Available from:<<https://core.ac.uk/download/pdf/30045367.pdf>>.
 57. MORILLO DEL CAMPO, Alvaro. *Estudio Para La Implantación De Un Equipo De Microgeneración En El Sector Residencial*. , Julio, 2016.
 58. *Electric Load Centre - Desing Builder*. Available from:<<https://designbuilder.co.uk/helpv6.0/Content/ElectricLoadDistribution.htm#Generato2>>.
 59. *Generators - Modelling Guide*. Available from:<<https://designbuilder.co.uk/helpv6.0/Content/GeneratorsModellingGuide.htm>>.
 60. *Sunmodule Plus 300 MONO*. Available from:<https://cdn.ensolar.com/Product/pdf/Crystalline/58afc7c913fc1.pdf?_ga=2.213574868.178517089.1595011728-436744136.1594282684>.
 61. Yang Hong-xing. *Research and Development of Solar PV Pavement Panels for Application on the Green Deck*, Enero, 2016. Available from <https://www.polyu.edu.hk/cpa/greendeck/pdf/14_Prof_HX_Yang_Research_and_development_of_solar_PV_pavement_for_application_on_Green_Deck.pdf>.