

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN**

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Proyecto Fin de Grado

**ESTUDIO ENERGÉTICO Y ECONÓMICO DE
INSTALACIONES CON BOMBA DE CALOR
GEOTÉRMICA PARA COBERTURA DE
DEMANDA TÉRMICA EN VIVIENDA
UNIFAMILIAR
(ENERGY AND ECONOMIC STUDY OF
GEOTHERMAL HEAT PUMP INSTALLATIONS TO
COVER THE THERMAL DEMAND IN SINGLE-
FAMILY HOUSES)**

Para acceder al Título de

GRADUADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

Autor: Pablo Ceballos Martínez

Dic. - 2023

AGRADECIMIENTOS

Quisiera expresar mi más sincero agradecimiento a mi tutora, por su gran ayuda y orientación en la elaboración del trabajo.

A Josep Sole Bonet, agradezco por su continua asistencia y guía durante el proceso de comprensión de los programas de simulación.

A mi familia, que siempre está a mi lado como apoyo y ayuda de forma incondicional.

RESUMEN

Este proyecto analiza la utilización de dos instalaciones térmicas basadas en una bomba de calor geotérmica para dar cobertura a la demanda térmica de una vivienda unifamiliar ubicada en cuatro localizaciones diferentes. La primera instalación emplea una unidad de tratamiento de aire (UTA) para dar cobertura a las necesidades de calefacción y refrigeración, mientras que la segunda utiliza radiadores de baja temperatura para calefacción y fan coils para refrigeración. El objetivo es ver si las dos configuraciones presentan unos consumos similares durante su operación para dar cobertura a la demanda térmica. Adicionalmente se analiza la influencia que las condiciones climáticas pueden tener en el consumo de estas instalaciones que deberán dar cobertura a diferentes demandas de calefacción y refrigeración en las distintas localizaciones consideradas (Santander, Teruel, Madrid y Málaga).

Para llevar a cabo este análisis se han elaborado planos detallados de una vivienda unifamiliar, considerando todos los aspectos relevantes durante su construcción, como la orientación, la identificación de puentes térmicos, la distribución de espacios y la elección adecuada de los materiales constructivos que constituyen la envolvente de la vivienda evaluada. Asimismo, se ha llevado a cabo un estudio exhaustivo de las cargas térmicas de la vivienda, abarcando la ocupación, iluminación, equipamiento, ventilación, infiltración a través de los diferentes elementos constructivos y la demanda de agua caliente sanitaria. Además del desarrollo de un horario para cada carga térmica en base a la media de la población española.

Una vez completados todos los estudios, se ha procedido al montaje tridimensional de la vivienda utilizando un programa de modelado llamado Sketchup, con la posterior exportación a Open Studio, un software que cuenta con un motor de cálculo energético para viviendas. En este programa, se ingresaron todos los datos mencionados anteriormente relativos a los materiales, su disposición, capacidades de uso y cargas térmicas de la vivienda.

Posteriormente, se han simulado ambas instalaciones en cada una de las ciudades, recopilando datos de consumo y costos energéticos asociados a cada escenario. También, se ha calculado la inversión inicial de cada instalación y se ha evaluado, junto con sus costos energéticos su rentabilidad en las distintas localizaciones. Los resultados indican que la instalación 1 es más favorable para las ciudades de Madrid y Málaga, mientras que la instalación 2 es más favorable para Teruel y Santander.

ABSTRACT

This project analyses the use of two thermal installations based on a geothermal heat pump to cover the thermal demand of a single-family house located in four different locations. The first installation uses an air handling unit (AHU) to cover heating and cooling needs, while the second uses low temperature radiators for heating and fan coils for cooling. The objective is to see if the two configurations present similar consumptions during operation to cover the thermal demand. Additionally, the influence that climatic conditions may have on the consumption of these installations, which will have to cover different heating and cooling demands in the different locations under consideration (Santander, Teruel, Madrid and Malaga), is analysed.

In order to carry out this analysis, the detailed plans of a single-family house have been prepared, considering all relevant aspects during its construction, such as orientation, identification of thermal bridges, distribution of spaces and the appropriate choice of construction materials that constitute the envelope of the evaluated house. Likewise, an exhaustive study of the thermal loads of the housing has been carried out, covering occupation, lighting, equipment, ventilation, infiltration through the different construction elements and the demand for sanitary hot water. In addition to the development of a schedule for each thermal load based on the average of the Spanish population.

Once all the studies had been completed, the three-dimensional assembly of the house was carried out using a modelling programme called Sketchup, with subsequent export to Open Studio, a software that has an energy calculation engine for houses. In this programme, all the previously mentioned data relating to the materials, their layout, use capacities and thermal loads of the housing were entered.

Afterwards, both installations have been simulated in each of the cities, collecting data on energy consumption and costs associated with each scenario. Also, the initial investment of each installation has been calculated and its profitability in the different locations has been evaluated together with its energy costs. The results indicate that installation 1 is more favourable for the cities of Madrid and Malaga, while installation 2 is more favourable for Teruel and Santander.

ÍNDICE GENERAL

DOCUMENTO 1. MEMORIA

DOCUMENTO 2. ANEXOS

DOCUMENTO 3. PLANOS

DOCUMENTO 4. PLIEGO DE CONDICIONES

DOCUMENTO 5. PRESUPUESTO

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Diagrama de flujo del procedimiento.....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 2. Esquema de funcionamiento de bomba de calor geotérmica (IDAE, 2012).....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 3. Configuración de trayectoria del flujo (IDAE, 2012).....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 4. Depósito de inercia FlexoTHERM de Vaillant (Vaillant, 2023).....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 5. Esquema de componentes de la unidad de tratamiento de aire (UTA). (Airtecnicos.com, 2021)</i>	<i>29</i>
<i>Figura 6. Detalles de radiadores de baja temperatura. (energanova.es, 2022).....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 7. Circuito de bomba de calor geotérmica (GSHP) que alimenta unidad de tratamiento de aire (UTA)...</i>	<i>34</i>
<i>Figura 8. Circuito de bomba de calor geotérmica que alimenta radiadores de baja temperatura y sistema de refrigeración basado en fan coils.</i>	<i>36</i>
<i>Figura 9. Temperatura media anual 1981-2010 (AEMET, 2018).....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 10. Precipitación media anual 1981-2010 (AEMET, 2018)</i>	<i>39</i>
<i>Figura 11. Régimen anual de humedad relativa (Instituto Nacional de Meteorología, 2010).</i>	<i>39</i>
<i>Figura 12. Insolación anual 1981-2010 (AEMET, 2018)</i>	<i>40</i>
<i>Figura 13. Variación de la temperatura de la Tierra en función de la profundidad a lo largo de un año ((ATECYR, 2008)</i>	<i>43</i>
<i>Figura 14. Esquema de la envolvente térmica de un edificio. (EADIC, 2012).....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 15. Esquema de la pared exterior. (Catálogo de elementos constructivos del CTE, 2010)</i>	<i>48</i>
<i>Figura 16. Esquema de la cubierta. (Catálogo de elementos constructivos del CTE, 2010)</i>	<i>49</i>
<i>Figura 17. Esquema del suelo. (Lotus.soprema.fr, 2023)</i>	<i>49</i>
<i>Figura 18. Valores límite de transmitancia térmica U ($W/m^2 \cdot K$).....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 19. Introducción de carga de ocupación sobre Open Studio.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 20. Introducción de carga de actividad en Open Studio.</i>	<i>55</i>
<i>Figura 21. Introducción de cargas de iluminación en Open Studio.....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 22. Introducción de cargas de equipamiento en EnergyPlus</i>	<i>58</i>
<i>Figura 23. Introducción de carga de masa interna en Open Studio.....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 24. Demanda orientativa de ACS para usos distintos en residencial privado. (Ministerios de transportes, 2022)</i>	<i>62</i>
<i>Figura 25. Distribución de estancias en la vivienda.</i>	<i>65</i>
<i>Figura 26. Plano arquitectónico de la residencia en Sketchup</i>	<i>66</i>
<i>Figura 27. Selección de superficies que conforman el suelo y uso de la herramienta "Create Spaces From Diagram"</i>	<i>66</i>
<i>Figura 28. Ventana emergente de la herramienta donde se ha de especificar la altura de las paredes (acompañado con su unidad métrica) y el número de plantas residenciales'.....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 29. Superficie extruida.....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 30. Modelado de tejado a dos aguas en Sketchup.....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 31. Selección del espacio a modificar.....</i>	<i>68</i>

<i>Figura 32. Barra de herramientas de visualización del modelo con la opción de "Hide Rest of Model" marcada</i>	68
<i>Figura 33. Vistas frontal y posterior</i>	69
<i>Figura 34. Perfil derecho</i>	69
<i>Figura 35. Perfil izquierdo</i>	69
<i>Figura 36. Vista en planta</i>	69
<i>Figura 37. Herramientas de Sketchup con la opción de coincidencia de superficies marcada</i>	70
<i>Figura 38. Ventana emergente de la herramienta coincidencia de superficies que nos permitirá intersecar las superficies seleccionadas</i>	70
<i>Figura 39. Herramientas de visualización para planos de corte</i>	71
<i>Figura 40. Plano de corte superior de la residencia</i>	71
<i>Figura 41. Interfaz de la extensión de Open Studio</i>	72
<i>Figura 42. Vista bajo renderizado por condición limite (Render by Boundary Condition)</i>	72
<i>Figura 43. Herramientas de Sketchup para la designación de espacios y zonas térmicas</i>	73
<i>Figura 44. Ventana emergente para la designación de las distintas zonas del modelo</i>	73
<i>Figura 46. Renderizado según el tipo de construcción</i>	74
<i>Figura 47. Renderizado según el tipo de espacio</i>	74
<i>Figura 48. Renderizado según la zona térmica</i>	74
<i>Figura 49. Menú de Localización: Introducción de datos climatológicos y periodo de simulación</i>	76
<i>Figura 50. Detalles fechas de días de diseño</i>	77
<i>Figura 51. Definición de tipo de horario en Open Studio</i>	77
<i>Figura 52. Interfaz de horarios ("Schedules") en Open Studio</i>	78
<i>Figura 53. Interfaz de tipos de espacio en Open Studio</i>	78
<i>Figura 54. Interfaz de propiedades principales del modelo en Open Studio</i>	79
<i>Figura 55. Interfaz de resumen de cargas térmicas por estancia en Open Studio</i>	79
<i>Figura 56. Interfaz de resumen de superficies por estancia en Open Studio</i>	80
<i>Figura 57. Interfaz resumen de subsuperficies por estancia</i>	80
<i>Figura 58. Interfaz de zona térmica en Open Studio</i>	81
<i>Figura 59. Detalles de diseño del bucle GSHP empleando Open Studio</i>	85
<i>Figura 60. Detalles de instalación de bucle de ACS en Open Studio</i>	86
<i>Figura 61. Detalles de instalación de circuito de agua fría 1 (refrigeración) en Open Studio</i>	87
<i>Figura 62. Detalles de instalación de circuito de agua caliente 1 (calefacción) en Open Studio</i>	88
<i>Figura 63. Detalles de diseño de unidad de tratamiento de aire (UTA) en Open Studio</i>	89
<i>Figura 64. Detalles de instalación de circuito de agua fría 2 (refrigeración) en Open Studio</i>	90
<i>Figura 65. Detalles de instalación de circuito de agua caliente 2 (calefacción) en Open Studio</i>	91
<i>Figura 66. Consumo eléctrico mensual (Iluminación y equipamiento)</i>	93
<i>Figura 67. Consumo de refrigeración en Santander con sistemas de climatización ideales</i>	95
<i>Figura 68. Consumo de calefacción en Santander con sistemas de climatización ideales</i>	95

<i>Figura 69. Potencia demandada anualmente de calefacción (rojo) y refrigeración (azul) en Santander.</i>	<i>96</i>
<i>Figura 70. Consumo de refrigeración en Teruel con sistemas de climatización ideales.</i>	<i>97</i>
<i>Figura 71. Consumo de calefacción en Teruel con sistemas de climatización ideales.</i>	<i>98</i>
<i>Figura 72. Potencia demandada anualmente de calefacción (rojo) y refrigeración (azul) en Teruel.</i>	<i>98</i>
<i>Figura 73. Consumo de refrigeración en Madrid con sistemas de climatización ideales.</i>	<i>100</i>
<i>Figura 74. Consumo de calefacción en Madrid con sistemas de climatización ideales.</i>	<i>100</i>
<i>Figura 75. Potencia demandada anualmente de calefacción (rojo) y refrigeración (azul) en Madrid.</i>	<i>101</i>
<i>Figura 76. Consumo de refrigeración en Málaga con sistemas de climatización ideales.</i>	<i>102</i>
<i>Figura 77. Consumo de calefacción en Málaga con sistemas de climatización ideales.</i>	<i>102</i>
<i>Figura 78. Potencia demandada anualmente de calefacción (rojo) y refrigeración (azul) en Málaga.</i>	<i>103</i>
<i>Figura 79. Gráfico circular del desglose anual de ganancias.</i>	<i>104</i>
<i>Figura 80. Gráfico circular de pérdidas anuales.</i>	<i>107</i>
<i>Figura 81. Consumo de energía final según uso en Santander.</i>	<i>110</i>
<i>Figura 82. Consumo de energía final según uso en Teruel.</i>	<i>112</i>
<i>Figura 83. Consumo de energía final según uso en Madrid.</i>	<i>115</i>
<i>Figura 84. Consumo de energía final según uso en Málaga.</i>	<i>118</i>
<i>Figura 85. Consumo de energía final según uso en Santander.</i>	<i>122</i>
<i>Figura 86. Consumo de energía final según uso en Teruel.</i>	<i>124</i>
<i>Figura 87. Consumo de energía final según uso en Madrid.</i>	<i>127</i>
<i>Figura 88. Consumo de energía final según uso en Málaga.</i>	<i>130</i>
<i>Figura 89. Consumo anual de las instalaciones en cada una de las ciudades.</i>	<i>133</i>
<i>Figura 90. Consumos de refrigeración frente a Tª ambiente en Santander.</i>	<i>135</i>
<i>Figura 91. Consumos de calefacción frente a Tª ambiente en Santander.</i>	<i>136</i>
<i>Figura 92. Consumos de refrigeración frente a Tª ambiente en Teruel.</i>	<i>137</i>
<i>Figura 93. Consumos de calefacción frente a Tª ambiente en Teruel.</i>	<i>137</i>
<i>Figura 94. Consumos de refrigeración frente a Tª ambiente en Madrid.</i>	<i>138</i>
<i>Figura 95. Consumos de calefacción frente a Tª ambiente en Madrid.</i>	<i>139</i>
<i>Figura 96. Consumos de refrigeración frente a Tª ambiente en Málaga.</i>	<i>139</i>
<i>Figura 97. Consumos de calefacción frente a Tª ambiente en Málaga.</i>	<i>140</i>
<i>Figura 98. Coste económico de operación anual en cada una de las ciudades en función de la instalación.</i>	<i>150</i>
<i>Figura 99. Horario de equipamiento.</i>	<i>179</i>
<i>Figura 100. Horario de iluminación.</i>	<i>179</i>
<i>Figura 101. Horario de actividad.</i>	<i>179</i>
<i>Figura 102. Horario de ocupación.</i>	<i>179</i>
<i>Figura 103. Horario de infiltración constante.</i>	<i>179</i>
<i>Figura 104. Horario de infiltración nocturna.</i>	<i>179</i>
<i>Figura 105. Horario de demanda ACS.</i>	<i>180</i>
<i>Figura 106. Comprobación de cargas térmicas.</i>	<i>181</i>

<i>Figura 107. Esquema piramidal de reglamentación. (CSIC, 2022)</i>	194
--	-----

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Variables climatológicas mensuales de Santander (Climate data, 2023)</i>	41
<i>Tabla 2. Variables climatológicas mensuales de Teruel (Climate data, 2023)</i>	41
<i>Tabla 3. Variables climatológicas mensuales de Madrid (Climate data, 2023)</i>	42
<i>Tabla 4. Variables climatológicas mensuales de Málaga (Climate data, 2023)</i>	42
<i>Tabla 5. Clasificación en zonas climáticas de cada una de las localizaciones (Ministerio de Transporte, 2020)</i> ..	43
<i>Tabla 6. Temperaturas del suelo en las distintas localizaciones. (IDAE, Guía técnica condiciones climáticas exteriores de proyecto, 2010)</i>	44
<i>Tabla 7. Detalles de la fachada en función de la orientación.</i>	46
<i>Tabla 8. Detalles de superficies del modelo.</i>	47
<i>Tabla 9. Composición de la pared exterior.</i>	48
<i>Tabla 10. Composición de la cubierta.</i>	49
<i>Tabla 11. Composición del suelo.</i>	49
<i>Tabla 12. Valores límites de transmitancias en los elementos constructivos. (DA DB-HE 1, 2020)</i>	50
<i>Tabla 13. Propiedades de pared interior.</i>	51
<i>Tabla 14. Propiedades de ventana.</i>	51
<i>Tabla 15. Propiedades de puerta exterior.</i>	51
<i>Tabla 16. Propiedades de puerta interior.</i>	51
<i>Tabla 17. Propiedades de puerta de garaje.</i>	52
<i>Tabla 18. Materiales opacos utilizados en el modelo energético. (Catálogo de elementos constructivos del CTE, 2010)</i>	53
<i>Tabla 19. Acristalamiento utilizado en el modelo energético. (Catálogo de elementos constructivos del CTE, 2010)</i>	54
<i>Tabla 20. Cámara de acristalamiento utilizado en el modelo. (Catálogo de elementos constructivos del CTE, 2010)</i>	54
<i>Tabla 21. Calores sensible y latente en función de la actividad realizada por persona. (Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja IETcc, 2022)</i>	56
<i>Tabla 22. Nivel mínimo de iluminación en función de la zona de trabajo. (Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja IETcc, 2022)</i>	57
<i>Tabla 23. Aproximación de la potencia disipada a partir de la iluminación media. (Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja IETcc, 2022)</i>	57
<i>Tabla 24. Detalles de dispositivos eléctricos en vivienda.</i>	58
<i>Tabla 25. Caudales mínimos para ventilación de caudal constante habituales (DB-HS Salubridad, 2022)</i>	60
<i>Tabla 26. Detalles de infiltraciones.</i>	61
<i>Tabla 27. Temperaturas del agua de la red (UNE 94.002/95) (Asociación Técnica Española de Climatización, 2010)</i>	62
<i>Tabla 28. Componentes de diseño del bucle GSHP en Open Studio.</i>	85

Tabla 29. Componentes de diseño del bucle de ACS en Open Studio.....	86
Tabla 30. Componentes de diseño de circuito de agua fría 1 (refrigeración) en Open Studio.....	87
Tabla 31. Componentes de diseño de circuito de agua caliente 1 (calefacción) en Open Studio.	88
Tabla 32. Componentes de diseño de unidad de tratamiento de aire (UTA) en Open Studio.	89
Tabla 33. Componentes de diseño de circuito de agua fría 2 (refrigeración) en Open Studio.....	90
Tabla 34. Componentes de diseño de circuito de agua caliente 2 (calefacción) en Open Studio.	91
Tabla 35. Consumo eléctrico mensual en kWh (Iluminación y equipamiento).....	93
Tabla 36. Resumen energético anual de la vivienda ubicada en Santander.	94
Tabla 37. Resumen anual de calefacción y refrigeración en Santander.....	94
Tabla 38. Resumen energético anual de la vivienda en Teruel.....	97
Tabla 39. Consumo anual de calefacción y refrigeración en Teruel.....	97
Tabla 40. Resumen energético anual de la vivienda en Madrid.	99
Tabla 41. Consumo anual de calefacción y refrigeración en Madrid.	99
Tabla 42. Resumen energético anual de la vivienda en Málaga.	101
Tabla 43. Consumo anual de calefacción y refrigeración en Málaga.	101
Tabla 44. Desglose anual de ganancias.....	105
Tabla 45. Desglose mensual de ganancias en kWh.	106
Tabla 46. Desglose anual de pérdidas.	107
Tabla 47. Desglose mensual de pérdidas (kWh).....	108
Tabla 48. Resumen energético de la vivienda situada en Santander.....	109
Tabla 49. Resumen anual de consumos de la vivienda situada en Santander	110
Tabla 50. Resumen mensual de consumos de la vivienda situada en Santander	111
Tabla 51. Resumen energético de la vivienda situada en Teruel.....	112
Tabla 52. Resumen anual de consumos de la vivienda situada en Teruel.....	113
Tabla 53. Resumen mensual de consumos de la vivienda situada en Teruel.	114
Tabla 54. Resumen energético de la vivienda situada en Madrid.	115
Tabla 55. Resumen anual de consumos de la vivienda situada en Madrid.	116
Tabla 56. Resumen mensual de consumos de la vivienda situada en Madrid.....	117
Tabla 57. Resumen energético de la vivienda situada en Málaga.....	118
Tabla 58. Resumen anual de consumos de la vivienda situada en Málaga.	119
Tabla 59. Resumen mensual de consumos de la vivienda situada en Málaga.	120
Tabla 60. Resumen energético de la vivienda situada en Santander.....	121
Tabla 61. Resumen anual de consumos de la vivienda situada en Santander.	122
Tabla 62. Resumen mensual de consumos de la vivienda situada en Santander.	123
Tabla 63. Resumen energético de la vivienda situada en Teruel.	124
Tabla 64. Resumen anual de consumos de la vivienda situada en Teruel.....	125
Tabla 65. Resumen mensual de consumos de la vivienda situada en Teruel.	126
Tabla 66. Resumen energético de la vivienda situada en Madrid.	127

<i>Tabla 67. Resumen anual de consumos de la vivienda situada en Madrid</i>	<i>128</i>
<i>Tabla 68. Resumen mensual de consumos de la vivienda situada en Madrid</i>	<i>129</i>
<i>Tabla 69. Resumen energético de la vivienda situada en Málaga.....</i>	<i>130</i>
<i>Tabla 70. Resumen anual de consumos de la vivienda situada en Málaga.</i>	<i>131</i>
<i>Tabla 71. Resumen mensual de consumos de la vivienda situada en Málaga.</i>	<i>132</i>
<i>Tabla 72. Costes de electricidad de la empresa "Endesa". (Tarifasgasluz, 2023)</i>	<i>141</i>
<i>Tabla 73. Coste económico de operación de la instalación 1 de la vivienda en Santander.</i>	<i>142</i>
<i>Tabla 74. Coste económico de operación de la instalación 1 de la vivienda en Teruel.</i>	<i>143</i>
<i>Tabla 75. Coste económico de operación de la instalación 1 de la vivienda en Teruel.</i>	<i>144</i>
<i>Tabla 76. Coste económico de operación de la instalación 1 de la vivienda en Málaga.....</i>	<i>145</i>
<i>Tabla 77. Coste económico de operación de la instalación 2 de la vivienda en Santander.</i>	<i>146</i>
<i>Tabla 78. Coste económico de operación de la instalación 2 de la vivienda en Teruel.</i>	<i>147</i>
<i>Tabla 79. Coste económico de operación de la instalación 2 de la vivienda en Madrid.</i>	<i>148</i>
<i>Tabla 80. Coste económico de operación de la instalación 2 de la vivienda en Málaga.....</i>	<i>149</i>
<i>Tabla 81. Presupuesto de instalación de bomba de calor geotérmica.....</i>	<i>151</i>
<i>Tabla 82. Presupuesto de la instalación 1.....</i>	<i>151</i>
<i>Tabla 83. Presupuesto de la instalación 2.....</i>	<i>152</i>
<i>Tabla 84. Comparación de inversión inicial entre ambas instalaciones.....</i>	<i>153</i>
<i>Tabla 85. Tiempo de recuperación de la inversión.</i>	<i>153</i>
<i>Tabla 86. Datos de entrada circuito de bomba geotérmica.....</i>	<i>161</i>
<i>Tabla 87. Datos de entrada de intercambiador enterrado horizontal.....</i>	<i>161</i>
<i>Tabla 88. Datos de entrada bomba de circulación de la GSHP.....</i>	<i>162</i>
<i>Tabla 89. Datos de entrada bomba de calor de calefacción.....</i>	<i>162</i>
<i>Tabla 90. Datos de entrada bomba de calor de refrigeración.....</i>	<i>162</i>
<i>Tabla 91. Datos de entrada bomba de calor ACS.....</i>	<i>163</i>
<i>Tabla 92. Datos de entrada controlador de temperatura de GSHP.....</i>	<i>163</i>
<i>Tabla 93. Datos de entrada unidad de tratamiento de aire (UTA)</i>	<i>163</i>
<i>Tabla 94. Datos de entrada controlador de aire exterior.....</i>	<i>164</i>
<i>Tabla 95. Datos de entrada ventilador de extracción.....</i>	<i>164</i>
<i>Tabla 96. Datos de entrada ventilador de suministro.....</i>	<i>165</i>
<i>Tabla 97. Datos de entrada batería caliente.....</i>	<i>165</i>
<i>Tabla 98. Datos de entrada batería fría.....</i>	<i>166</i>
<i>Tabla 99. Datos de entrada controlador de temperatura de temperatura dual.....</i>	<i>166</i>
<i>Tabla 100. Datos de entrada circuito de calefacción.....</i>	<i>167</i>
<i>Tabla 101. Datos de entrada bomba de calor de calefacción.....</i>	<i>167</i>
<i>Tabla 102. Datos de entrada de bomba de circulación.....</i>	<i>168</i>
<i>Tabla 103. Datos de entrada batería caliente.....</i>	<i>168</i>
<i>Tabla 104. Datos de entrada controlador de temperatura de circuito de calefacción.....</i>	<i>168</i>

<i>Tabla 105. Datos de entrada circuito de refrigeración.</i>	<i>169</i>
<i>Tabla 106. Datos de entrada bomba de circulación.</i>	<i>169</i>
<i>Tabla 107. Datos de entrada bomba de calor refrigeración.</i>	<i>170</i>
<i>Tabla 108. Datos de entrada batería fría.....</i>	<i>170</i>
<i>Tabla 109. Datos de entrada de controlador de temperatura de circuito de refrigeración.</i>	<i>170</i>
<i>Tabla 110. Datos de entrada bomba de calor geotérmica.....</i>	<i>171</i>
<i>Tabla 111. Datos de entrada intercambiador enterrado horizontal.....</i>	<i>171</i>
<i>Tabla 112. Datos de entrada bomba de circulación de bomba geotérmica.....</i>	<i>172</i>
<i>Tabla 113. Datos de entrada bomba de calor de calefacción.</i>	<i>172</i>
<i>Tabla 114. Datos de entrada de bomba de calor de refrigeración.</i>	<i>172</i>
<i>Tabla 115. Datos de entrada de bomba de calor ACS.....</i>	<i>173</i>
<i>Tabla 116. Controlador de temperatura de GSHP.</i>	<i>173</i>
<i>Tabla 117. Datos de entrada de circuito de calefacción.</i>	<i>173</i>
<i>Tabla 118. Datos de entrada bomba de circulación</i>	<i>174</i>
<i>Tabla 119. Datos de entrada de entrada de bomba de calor de calefacción.</i>	<i>174</i>
<i>Tabla 120. Datos de entrada de bomba de calefacción.....</i>	<i>174</i>
<i>Tabla 121. Datos de entrada controlador de temperatura de circuito de calefacción.</i>	<i>175</i>
<i>Tabla 122. Datos de entrada circuito de refrigeración</i>	<i>175</i>
<i>Tabla 123. Datos de entrada de bomba de calor.</i>	<i>175</i>
<i>Tabla 124. Datos de la bomba de circulación de circuito de refrigeración.</i>	<i>176</i>
<i>Tabla 125. Datos de entrada de batería fría.</i>	<i>176</i>
<i>Tabla 126. Datos de entrada circuito de refrigeración.</i>	<i>176</i>
<i>Tabla 127. Datos de entrada del circuito ACS</i>	<i>177</i>
<i>Tabla 128. Datos de entrada de bomba de circulación del circuito ACS</i>	<i>177</i>
<i>Tabla 129. Datos de entrada de circuito de ACS.....</i>	<i>178</i>
<i>Tabla 130. Controlador de temperatura.....</i>	<i>178</i>

DOCUMENTO 1:

MEMORIA

ÍNDICE MEMORIA

DOCUMENTO 1: MEMORIA	14
1 INTRODUCCIÓN	18
1.1 OBJETO	18
1.2 ALCANCE	19
1.3 DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE UTILIZADO	20
1.3.1 Sketchup	21
1.3.2 Open Studio	21
1.3.3 EnergyPlus	22
2 GEOTERMIA PARA CALEFACCIÓN Y AGUA CALIENTE SANITARIA	23
2.1 BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA	23
2.2 INTERCAMBIADOR DE CALOR ENTERRADO	24
2.3 ACS (AGUA CALIENTE SANITARIA)	26
2.4 DEPÓSITO DE INERCIA	27
2.5 UNIDAD DE TRATAMIENTO DE AIRE (UTA)	28
2.6 RADIADORES DE BAJA TEMPERATURA	29
2.7 FAN COIL	30
3 INSTALACIONES A SIMULAR	32
3.1 BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA (GSHP) QUE ALIMENTA UNIDAD DE TRATAMIENTO DE AIRE (UTA)	32
3.2 BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA QUE ALIMENTA RADIADORES DE BAJA TEMPERATURA Y SISTEMA DE REFRIGERACIÓN BASADO EN FAN COILS	34
3.2.1 Modos de funcionamiento	34
3.2.2 Selección de fluidos de trabajo	36
4 LOCALIZACIONES	38
4.1 SANTANDER	41
4.2 TERUEL	41
4.3 MADRID	42
4.4 MÁLAGA	42
4.5 ZONAS CLIMÁTICAS	43
4.6 TEMPERATURAS DEL SUELO EN LAS LOCALIZACIONES A ESTUDIAR	43
5 METODOLOGÍA	44
5.1 DEFINICIÓN SIMULACIÓN ENERGÉTICA	44
5.2 CARACTERIZACIÓN DEL EDIFICIO	45
5.2.1 Orientación de la residencia	45
5.2.2 Geometría del modelo	47
5.3 CONSTRUCCIONES	47
5.3.1 Envoltente térmica de un edificio	47
5.3.2 Elementos constructivos restantes	51
5.4 MATERIALES UTILIZADOS	52
5.4.1 Materiales opacos	53
5.4.2 Material de acristalamiento	54

5.4.3 Cámara de aire acristalamientos.....	54
5.5 DEFINICIÓN DE LAS CARGAS TÉRMICAS	54
5.5.1 Cargas por ocupación	54
5.5.2 Cargas por actividad.....	55
5.5.3 Cargas de iluminación.....	56
5.5.4 Carga de equipamiento.....	58
5.5.5 Carga de masa interna.....	59
5.5.6 Cargas de ventilación	59
5.5.7 Carga por infiltración.....	60
5.5.8 Carga de sistemas de agua	61
5.6 HORARIOS.....	63
5.7 ORGANIZACIÓN DE ESPACIOS	64
5.9 PROCEDIMIENTO DE MODELADO EN SKETCHUP Y OPEN STUDIO	65
5.9.1 Modelado en Sketchup	65
5.9.3 Introducción de datos en Open Studio	75
6 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	92
6.1 RESULTADOS CON SISTEMAS IDEALES	92
6.1.1 Consumo eléctrico.....	93
6.2 RESUMEN ENERGÉTICO	93
6.2.1 Santander.....	93
6.2.2 Teruel.....	96
6.2.3 Madrid.....	99
6.2.4 Málaga	101
6.2 GANANCIAS Y PÉRDIDAS TÉRMICAS EN LA VIVIENDA	104
6.3 RESULTADOS DE LA INSTALACIÓN 1	109
6.3.1 Santander	109
6.3.2 Teruel.....	112
6.3.3 Madrid.....	115
6.3.4 Málaga	118
6.4 RESULTADOS DE LA INSTALACIÓN 2	121
6.4.1 Santander.....	121
6.4.2 Teruel.....	124
6.4.3 Madrid.....	127
6.4.5 Málaga	130
6.5 INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA AMBIENTE MEDIA EN LOS CONSUMOS.....	134
6.5.1 Santander.....	134
6.5.2 Teruel.....	136
6.5.3 Madrid.....	138
6.5.4 Málaga.....	139
7 COSTE ENERGÉTICO E INVERSIÓN	141
7.1 COSTE ENERGETICO INSTALACIÓN 1	141
7.1.1 Santander.....	142

7.1.2 Teruel.....	143
7.1.3 Madrid.....	144
7.1.4 Málaga	145
7.2 COSTE ENERGETICO INSTALACIÓN 2.....	146
7.2.1 Santander	146
7.2.2 Teruel.....	147
7.2.3 Madrid.....	148
7.2.4 Málaga	149
7.3 INVERSIÓN	150
7 BIBLIOGRAFÍA.....	155

1 INTRODUCCIÓN

La ingeniería desempeña un papel fundamental en el ámbito de la gestión energética, abarcando diversas áreas como el análisis del consumo energético, la supervisión y control del rendimiento de equipos, la supervisión de sistemas de alimentación, el análisis de eventos relacionados con la potencia eléctrica, la mejora de la calidad energética y la gestión de costos.

En la actualidad la mayoría de los edificios residenciales no poseen instalaciones basadas en energías renovables. Ante el riesgo de agotamiento de las fuentes de energía convencionales, se observa un incremento significativo en el estudio de la gestión energética con el fin de lograr instalaciones más eficientes y respetuosas con el medio ambiente.

Los principales temas de estudio se centran en el análisis energético exhaustivo, el diseño y la optimización de sistemas energéticos, la implementación de fuentes de energía renovable, la creación de estrategias y sistemas para la gestión inteligente de la demanda energética, el mejoramiento de la eficiencia en los procesos industriales y el diseño de edificaciones y espacios que prioricen la eficiencia energética.

Todos estos factores se engloban dentro de la simulación energética y permiten analizar en detalle los impactos que pueden causar diferentes modificaciones en los aspectos mencionados, lo que ayuda a obtener resultados precisos en la realidad.

1.1 OBJETO

Por todo lo anterior, el objeto principal de este Trabajo Fin de Grado (TFG) es el estudio energético y económico de instalaciones térmicas equipadas con una bomba de calor geotérmica para dar cobertura a la demanda térmica en una residencia unifamiliar en distintas localizaciones de España. Los temas principales del proyecto son los siguientes:

- *Modelado 3D de la vivienda unifamiliar*
- *Definición de características necesarias para llevar a cabo una simulación energética*
- *Estudio de instalaciones geotérmicas*
- *Climatología en diversas localizaciones de España*
- *Simulación, análisis y comparación de resultados*

1.2 ALCANCE

Para lograr estos propósitos se han seguido una serie de pasos que serán descritos a continuación:

- Realización de un estudio previo y familiarización con el software a utilizar cuyo uso está muy extendido en países como Estados Unidos, pero carece de uso en España. Dado el desconocimiento del software libre a emplear resulta necesaria una investigación profunda del mismo a través de tutoriales y foros estadounidenses.
- En segundo lugar, búsqueda de información de la vivienda unifamiliar en la que se basa el presente trabajo: dimensiones medias, construcciones, materiales y aspectos importantes como orientación y distribución de sus estancias. De la misma forma, se han *recopilado datos climatológicos de distintas localizaciones de España* con el propósito de analizar su influencia en los resultados dados por el modelo a desarrollar.
- Realización del *modelado 3D del edificio* previsto, para ello se ha utilizado la herramienta *Sketchup* que necesitará todos los aspectos recogidos anteriormente en relación con los planos para su posterior extrusión (formación de paredes) y conformación de cerramientos (formación de tejados). Además, permite establecer la distribución de espacios y zonas térmicas de la vivienda.
- Exportación del modelo 3D de la vivienda a la herramienta *Open Studio*, la cual se encarga de la *definición de las características necesarias para llevar a cabo una simulación energética de un edificio*. Entre estas se encuentran, ubicación geográfica, climatología de la zona, elementos constructivos y sus respectivos materiales, programas horarios de ocupación, iluminación, ventilación y equipamiento, cargas internas y externas y funcionamiento de las instalaciones. Otra de sus ventajas es la posibilidad de diseñar sistemas personalizados y realizar su dimensionamiento.
- Estudio de las instalaciones geotérmicas a utilizar, esto quiere decir que será necesario saber el listado de componentes que forman cada una de éstas y sus respectivas especificaciones técnicas.
- Finalmente, se ejecutará la *simulación del modelo* desde *Open Studio* con la extensión de *Energy Plus* como motor de cálculo principal y se efectuará un *análisis y comparación de los resultados* obtenidos.

Con el objetivo de una mejor apreciación del alcance de este trabajo se ha realizado un diagrama de bloques a modo de simplificación del desarrollo del proyecto.



Figura 1. Diagrama de flujo del procedimiento

1.3 DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE UTILIZADO

Para llevar a cabo la simulación energética objeto de este trabajo, se han utilizado programas como Sketchup, Open Studio y EnergyPlus, cada uno con funcionalidades diferentes, pero con la capacidad de realizar modificaciones entre documentos.

Sketchup es un software de diseño que nos permite crear un modelo 3D detallado del edificio objeto de estudio, además ofrece funciones para elegir las zonas térmicas, establecer los tipos de espacio, entre otras características.

Por otro lado, Open Studio y EnergyPlus son herramientas que nos permiten implementar y modificar una gran variedad de características en nuestro modelo 3D con el fin de obtener datos energéticos detallados. Con Open Studio, podemos realizar análisis energéticos avanzados, mientras que EnergyPlus nos permite simular el rendimiento energético del edificio en condiciones reales. Ambas herramientas son esenciales para llevar a cabo una simulación térmica completa y precisa.

1.3.1 Sketchup

Se trata de un software de diseño cuya función principal es la creación de modelos tridimensionales. Su abanico de ámbitos de uso es ampliamente extenso, desde arquitectos e ingenieros hasta creación de videojuegos y diseño de interiores (TrimbleInc., 2022).

Antes de comenzar con la descripción de funciones, cabe resaltar que el programa lleva incluida una extensión de Open Studio, mediante la cual se permite clasificar cada una de las superficies y caracterizar estas para su posterior uso en Open Studio.

Sus principales funciones son:

- Creación de superficies y subsuperficies
- Formación de espacios tridimensionales
- Designación de tipos de espacio y zonas térmicas
- Generación de sombras en las superficies del modelo
- Modificación del aspecto de los distintos elementos
- Instalación y organización tanto de mobiliario como dispositivos de iluminación y administración de agua

1.3.2 Open Studio

Es una colección de herramientas multiplataforma para respaldar el modelado de energía de edificios completos con *EnergyPlus* y el análisis avanzado de luz de *Radiance*.

Su entorno de desarrollo es simple y ágil lo que facilita su utilización para diferentes niveles de competencia.

En la interfaz principal es posible introducir todos los datos necesarios que debe incluir nuestro edificio:

- Datos climáticos y periodo de simulación
- Programas horarios de todo el edificio (ocupación, infiltración, ventilación, actividad, iluminación, termostatos y funcionamiento de los sistemas de climatización)
- Cargas internas y externas
- Materiales
- Elementos constructivos (paredes, ventanas, tejado, suelo, etc.)
- Definición de espacios y zonas térmicas
- Sistemas de climatización de cada una de las zonas y las especificaciones técnicas de sus componentes

Una vez se han introducido los datos se utilizarán Open Studio y una extensión de EnergyPlus para la visualización de los resultados obtenidos (OpenStudio, 2023).

1.3.3 EnergyPlus

Es el motor de simulación y cálculo, se encarga de la simulación climática y geométrica de nuestro proyecto. Su principal desventaja es la interfaz anticuada y compleja, esta es una de las razones por las que se utiliza como una extensión de Open Studio.

Algunas de sus características y capacidades son las siguientes (EnergyPlus, 2023):

- Solución integrada y simultánea
- Solución basada en balance de calor
- Sub-horas, pasos de tiempo definibles por el usuario
- Modelo combinado de transferencia de calor y masa
- Cálculos de iluminación y deslumbramiento
- Sistema de calefacción, ventilación y aire acondicionado
- Gran cantidad de estrategias de control de iluminación y HVAC (heating, ventilating and air conditioned) integradas
- Resumen estándar e informes de salida detallados

2 GEOTERMIA PARA CALEFACCIÓN Y AGUA CALIENTE SANITARIA

La geotermia se encuentra entre las fuentes de energías renovables menos explotadas de España, esto es debido a su percepción generalizada como una energía cuyo potencial de desarrollo es escaso. Esto es un error, ya que, en el rango de temperaturas bajas, el aprovechamiento geotérmico mediante bomba de calor geotérmica (BCG) no requiere condiciones extraordinarias del terreno, siendo amplia su disponibilidad como fuente de energía renovable y sostenible para un sinnúmero de aplicaciones térmicas.

En España, el desconocimiento, la falta de legislación y tradición en innovación, la heterogeneidad de sus condiciones climatológicas y de suelo, entre otros factores, han supuesto hasta años recientes una barrera infranqueable para los sistemas de BCG, a pesar de que, por lo dicho anteriormente, su aplicación puede resultar idónea desde el punto de vista técnico. Esta situación ha venido revirtiéndose, con lentitud al principio y más velocidad últimamente, ante los enormes retos a los que se enfrenta el país desde el punto de vista energético.

2.1 BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA

Una bomba de calor es una máquina que transfiere el calor desde un foco frío a otro caliente utilizando una cantidad de trabajo relativamente pequeña. Por tanto, la ventaja que poseen las bombas de calor frente a otros sistemas reside en su capacidad para aprovechar la energía existente en el ambiente (foco frío), tanto en el aire como en el agua o la tierra, y que le permite calefactar las dependencias interiores (foco caliente) con una aportación relativamente pequeña de energía eléctrica.

La BCG es simplemente una bomba de calor que transfiere calor a o desde la aplicación (edificio o proceso) al terreno. Ello posibilita una menor demanda de energía primaria por parte del compresor (eléctrico o de gas) debido a que, en muchos momentos, el suelo posee condiciones de temperatura más favorables que el aire.

Las BCG disponen de multitud de ventajas, ya que se conjugan el ahorro y eficiencia (entre el 40% y el 60% de la energía primaria que se utiliza en climatización, según el sistema con el que se compare). Otros beneficios son el hecho de que se trata de una energía renovable, buena integración arquitectónica, facilidad de mantenimiento y escasez de ruido (IDAE, 2012).

Cuando se realiza la transferencia de calor en sentido inverso, es decir, desde el recinto que requiere extracción de calor hacia el ambiente que se encuentra a temperatura superior, la bomba de calor trabaja en modo refrigeración.

La bomba de calor geotérmica extrae energía térmica del suelo en invierno transfiriéndola al interior, mientras que en verano extrae el calor del interior y lo devuelve al subsuelo (IDAE, 2012).

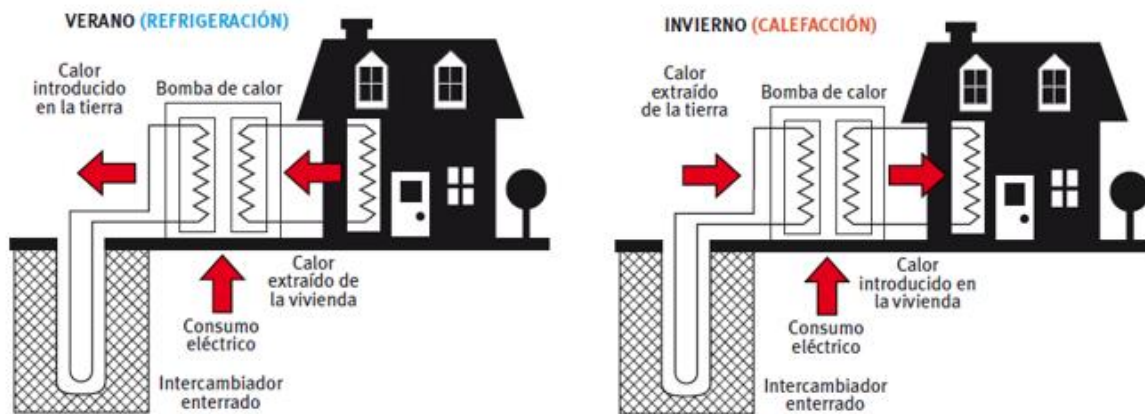


Figura 2. Esquema de funcionamiento de bomba de calor geotérmica (IDAE, 2012)

Tanto la potencia calorífica o frigorífica de la bomba de calor como la eficiencia energética (COP) pueden variar según las temperaturas de trabajo, independientemente de las eficiencias mecánicas y térmicas de los distintos componentes de la máquina.

2.2 INTERCAMBIADOR DE CALOR ENTERRADO

Un intercambiador enterrado es un tipo de intercambiador de calor que utiliza una red de conductos enterrados a una profundidad determinada para intercambiar calor con el suelo circundante. El fluido que circula a través de estos conductos puede ser agua o una mezcla de agua y anticongelante (glicol), en función de las condiciones climatológicas y geográficas del lugar donde se instale el sistema (IDAE, Guía técnica de Diseño de sistemas de intercambio geotérmico de circuito cerrado, 2012).

En climas donde se presentan temperaturas invernales bajas, como es el caso de algunos lugares montañosos de España, se requiere el uso de anticongelantes para prevenir la congelación de los conductos y asegurar el correcto funcionamiento del intercambiador.

El sistema de intercambio de calor enterrado es diseñado para operar a una carga constante a través de un tiempo determinado y con una temperatura constante del fluido circulante. Por

ejemplo, se puede programar el sistema para operar a la temperatura más desfavorable del suelo durante el mes de enero en caso de calefacción y en julio para refrigeración. Durante los meses restantes, la temperatura del aire es más moderada y, por lo tanto, la carga térmica es menor. Además, como la temperatura del suelo no será tan fría en invierno o tan caliente en verano, la temperatura del agua será más moderada, lo que permitirá que el sistema funcione con un mayor rendimiento.

Cabe destacar que la eficiencia del intercambiador enterrado depende de varios factores, como la conductividad térmica del suelo, la humedad del terreno, la profundidad de los conductos y la temperatura del fluido que circula por ellos. Por lo tanto, es esencial contar con un diseño adecuado y una instalación correcta para garantizar un rendimiento óptimo y una larga vida útil del intercambiador.

Su configuración puede ser vertical u horizontal, esto dependerá de la superficie de terreno, la potencia a disipar y los costes de instalación. Como el modelo a estudiar se trata de una vivienda unifamiliar y la potencia a utilizar es relativamente baja en comparación con otras edificaciones como hoteles, edificios de oficinas..., se decantará por el intercambiador enterrado horizontal (Energía Junta Castilla y León, 2023).

Por otro lado, será necesario escoger una trayectoria del fluido para la configuración seleccionada. Existen dos opciones para la configuración horizontal, estas son en serie y paralelo.

Para nuestro modelo, hemos decidido emplear una distribución en serie en el intercambiador de calor debido a su mayor captación de energía térmica por metro lineal. En este enfoque, el fluido caliente circula secuencialmente a través de todos los tubos, lo que permite una transferencia más efectiva de calor al fluido frío. Además, la geometría sencilla de un intercambiador en serie facilita tanto el diseño como la fabricación. La disposición lineal de los tubos simplifica el proceso, lo que nos ofrece una ventaja en términos de eficiencia, viabilidad y coste del proyecto (IDAE, 2012).

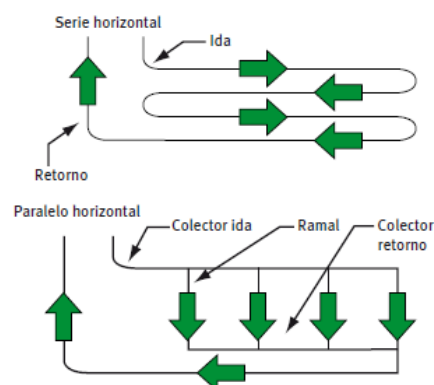


Figura 3. Configuración de trayectoria del flujo (IDAE, 2012)

2.3 ACS (AGUA CALIENTE SANITARIA)

Las instalaciones de producción centralizada de Agua Caliente Sanitaria (ACS) se integran de manera sinérgica con los sistemas de calefacción en edificios residenciales y comerciales. La producción de ACS se lleva a cabo en una sala de calderas central, donde se atienden todas las necesidades térmicas del edificio. Las calderas están conectadas a colectores que distribuyen el calor hacia los circuitos de calefacción y el circuito primario del ACS (IDAE, 2010).

El suministro de agua de consumo se deriva de la red de suministro del edificio y se calienta mediante intercambiadores de calor eficientes. Estos intercambiadores aumentaron el calor generado por las calderas al circuito secundario del ACS, elevando la temperatura del agua a los niveles deseados para su uso doméstico o comercial.

Para disminuir la potencia necesaria en la producción de agua caliente y lograr un funcionamiento uniforme de la instalación, se utilizan sistemas que almacenan el agua caliente en depósitos hasta su uso. De esta manera, durante los momentos de mayor demanda, se utiliza el agua acumulada, lo que requiere una potencia menor que la necesaria para producir agua caliente en tiempo real.

Para evitar esperas prolongadas y reducir el desperdicio de agua, se implementan sistemas de recirculación con bombas de retorno. Estos circuitos de recirculación devuelven el agua caliente desde los puntos de consumo más alejados hasta la sala de calderas, manteniendo así las tuberías siempre a una temperatura óptima. Como resultado, el agua caliente fluye de manera casi instantánea al abrir los grifos, lo que mejora la comodidad y eficiencia en el consumo (IDAE, 2010).

Con el propósito de optimizar la potencia necesaria y asegurar un funcionamiento uniforme de la instalación, se utilizan sistemas de almacenamiento de ACS en depósitos estratégicamente diseñados (depósitos de ACS). Al acumular agua caliente durante los períodos de baja demanda, se logra una disminución de la potencia requerida durante los picos de demanda, reduciendo así los costos operativos y maximizando la eficiencia energética.

2.4 DEPÓSITO DE INERCIA

Los depósitos de inercia son dispositivos utilizados en sistemas de calefacción, refrigeración y energía renovable para almacenar y liberar calor de forma gradual. Su función principal es equilibrar y regular la oferta y demanda calorífica del sistema, además de proteger la caldera de los arranques y paros de la instalación.

Estos depósitos están diseñados para acumular agua del circuito primario y, al mismo tiempo, producir agua caliente sanitaria por acumulación. Se utilizan como acumuladores de calor en sistemas de calefacción o grandes instalaciones de agua caliente sanitaria.

El exceso de calor generado se almacena en el depósito de inercia y luego este calor puede extraerse mediante otros intercambiadores para calentar el agua sanitaria o ser utilizado en la calefacción de viviendas o edificios (Vaillant, 2023).

El almacenamiento y liberación gradual de calor optimiza el funcionamiento del sistema y reduce la necesidad de encender o apagar la fuente de calor constantemente, lo que aumenta la eficiencia general y mejora la estabilidad térmica.



Figura 4. Depósito de inercia FlexoTHERM de Vaillant (Vaillant, 2023)

2.5 UNIDAD DE TRATAMIENTO DE AIRE (UTA)

Es un sistema de climatización compuesto por varios módulos con compartimentos en cuyo interior se encuentran diferentes componentes cuya función es conseguir que los espacios de la vivienda dispongan de un ambiente cómodo, saludable y eficiente.

Sus principales funciones son (Airtechnics.com, 2021):

- Filtración y control de la calidad del aire suministrado al interior del espacio.
- Control y automatización de la temperatura del aire, en función de la temperatura ambiente el aire suministrado a la estancia será frío o caliente.
- Control de la humedad relativa para la conservación de niveles de humedad adecuados, puede disponer de sistemas de humidificación (aumento de humedad) y de deshumidificación (reducción de humedad).
- Renovación del aire interior y eliminación de contaminantes a través de un flujo constante de ventilación.

Sus componentes son los siguientes:

- Entrada de aire: se encargan de la recogida del aire exterior para su tratamiento en el interior de la unidad.
- Filtro: diseñado para capturar partículas y contaminantes, en función de las calidades del aire de la localización del edificio, este será más o menos restrictivo.
- Batería de refrigeración: se trata de un intercambiador de calor que se utiliza para enfriar el aire que pasa a través del sistema de tratamiento de aire. En este caso, el aire caliente que proviene del interior de la vivienda pasa a través de la batería que posee unos tubos, por cuyo interior circula un refrigerante o un medio de refrigeración. El calor del aire caliente es transferido al refrigerante líquido o al medio de enfriamiento que circula dentro de la batería fría y como resultado se obtiene aire con menor temperatura.
- Batería de calefacción: funciona inversamente a la batería fría, se refiere a un intercambiador de calor que se utiliza para calentar el aire que pasa a través del sistema de tratamiento de aire. A diferencia de la batería fría, que enfría el aire, la batería caliente agrega calor al aire para elevar su temperatura antes de suministrarlo al interior del edificio. El aire frío entra en contacto con la batería caliente, que también consiste en un conjunto de tubos a través de los cuales circula un fluido (refrigerante) caliente.
- Ventilador de suministro: es el encargado de aumentar la circulación del aire en la ventilación para suministrar el aire tratado al interior de la vivienda.

El aire tratado se dirige al sistema de conductos de la UTA y el ventilador crea la presión necesaria para mover el aire a través de estos conductos y distribuirlo por todo el edificio.

- Ventilador de extracción: se encarga de eliminar el aire viciado, contaminado o excesivamente húmedo del interior y lo expulsa al exterior.

El aire viciado, que puede contener calor, humedad excesiva, contaminantes, olores o partículas en suspensión, es aspirado desde las áreas interiores del edificio y después, tras un aumento de presión para la conservación del flujo constante, pasa a través del sistema de conductos, donde puede someterse a filtración para eliminar partículas y contaminantes.

- Difusor: es utilizado para distribuir y dirigir el flujo de aire en un sistema de climatización o ventilación. Suelen estar ubicados en las salidas de aire de los conductos de ventilación, y pueden ser ajustables para controlar la dirección y el alcance del flujo de aire.
- Silenciador: recubrimientos que reducen considerablemente el nivel sonoro de la instalación.
- Plenums: espacios vacíos en que el flujo de aire se homogeniza.

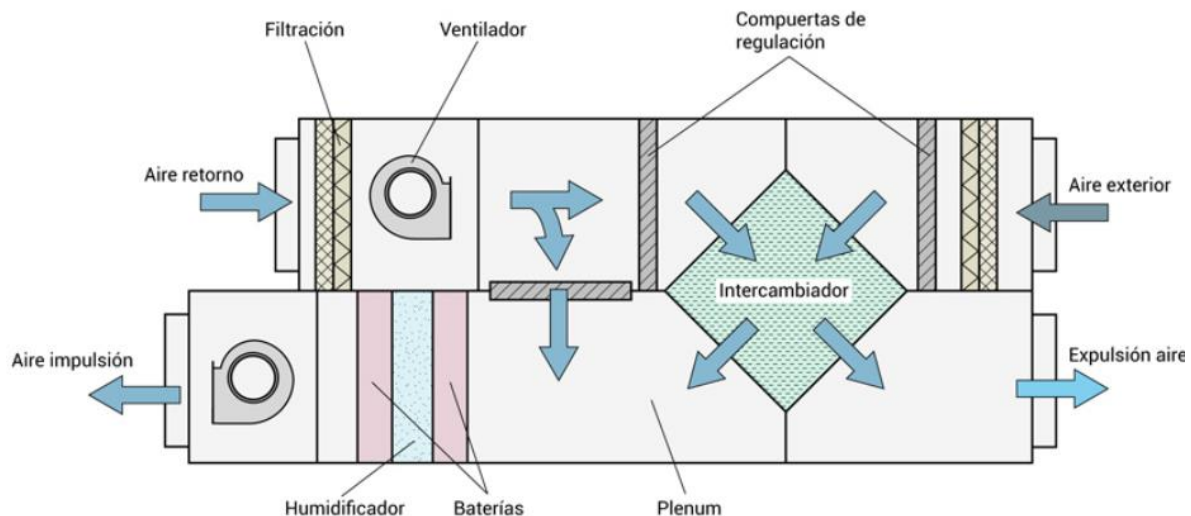


Figura 5. Esquema de componentes de la unidad de tratamiento de aire (UTA). (Airtechnics.com, 2021)

2.6 RADIADORES DE BAJA TEMPERATURA

Los radiadores de baja temperatura están concretamente diseñados para trabajar con una bomba de calor geotérmica, su funcionamiento está basado en el bajo consumo de agua y una gran superficie de intercambio que aporta calor al ambiente a través de convección.

En su interior disponen de un intercambiador formado por tuberías de cobre por las cuales circula agua a baja temperatura, cuando nos referimos a baja temperatura el rango establecido es de entre 45 y 55°C, esto supone un gran ahorro energético ya que los radiadores convencionales trabajan en un rango de temperaturas de entre 60 y 75°C, por lo que el uso de radiadores de baja temperatura normalmente supone un ahorro energético de en torno al 35%.

La transferencia de calor se produce entre el agua y el aire existente dentro de la carcasa del emisor, el cual se expulsará posteriormente al exterior. Esta es otra de las diferencias respecto a los radiadores convencionales ya que la superficie del emisor no se calienta y por tanto no existe posibilidad de quemaduras ante su contacto.

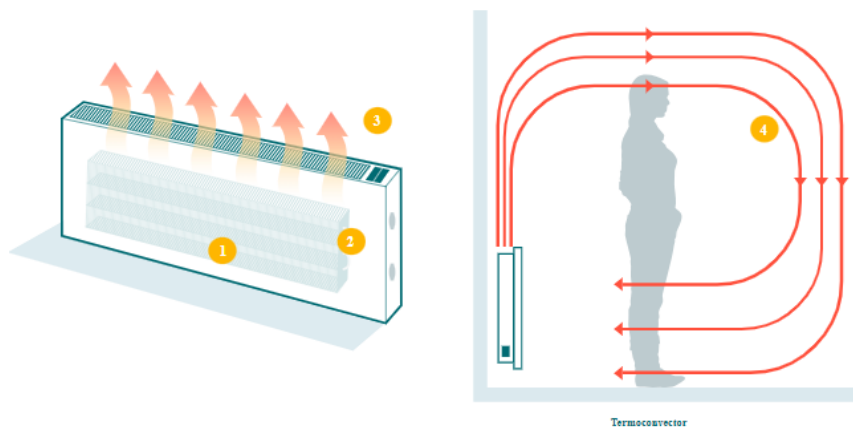


Figura 6. Detalles de radiadores de baja temperatura. (energanova.es, 2022)

2.7 FAN COIL

Se trata de un sistema de climatización compuesto por tres componentes principales: un intercambiador de calor por el que circula agua, un ventilador y un filtro. Al tratarse de un intercambiador, permite tanto calefacción como refrigeración, dependiendo de la temperatura del agua suministrada, en este por una bomba de calor geotérmica.

En su operación, un ventilador dirige el flujo de aire hacia los tubos del intercambiador, lo que permite enfriar o calentar el aire antes de ser distribuido en el espacio habitable. Cuando el agua que circula en los tubos está fría por debajo de la temperatura de rocío, el sistema extrae el calor latente del aire. Después de pasar por el filtro para eliminar impurezas, el aire sale acondicionado, reduciendo la humedad relativa y creando un ambiente confortable en la vivienda.

El funcionamiento de cada uno de sus componentes es el siguiente (Españeira, 2022):

- **Filtro de aire:** Protege las baterías y su rendimiento. La acumulación de suciedad puede causar problemas en la evacuación de condensados en la batería fría.
- **Batería de agua fría:** La falta de mantenimiento puede obstruirla, causando deficiencias similares a un filtro sucio.
- **Batería de agua caliente:** Menos obstrucción debido a su posición en el flujo de aire, pero pueden acumularse partículas. Las incrustaciones y el óxido también afectan su funcionamiento.
- **Bandeja de condensados:** Recoge el agua y necesita sifones para prevenir olores y evacuar agua durante las depresiones. Comprobar sifones y desagües es crucial.
- **Turbina o ventilador:** Genera presión para la circulación del aire. Las averías pueden ser causadas por problemas en el motor eléctrico, rodamientos o falta de mantenimiento.

3 INSTALACIONES A SIMULAR

En este trabajo se pretende simular dos instalaciones, ambas utilizan la energía geotérmica, pero disponen de distintos sistemas para suministrar calefacción y refrigeración al edificio.

3.1 BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA (GSHP) QUE ALIMENTA UNIDAD DE TRATAMIENTO DE AIRE (UTA)

En el primer caso nos encontramos con un sistema de intercambiador de calor de tierra (GHE) con bomba de calor agua-aire.

Desde una perspectiva estructural, este sistema se compone de dos partes clave: el "lado de la demanda", que está vinculado a una unidad de vivienda en una zona determinada, y el "lado de la fuente", que involucra el intercambiador de calor situado en el terreno. Estos dos componentes convergen en la "bomba de calor agua-aire", que despliega su funcionamiento en un sentido único durante el invierno para calentar el espacio y en dirección opuesta durante el verano para proporcionar refrigeración.

Modo calefacción

Durante los meses más fríos, la bomba de calor geotérmica se activa en el modo de calefacción. La fuente de calor proviene del terreno, que aporta su energía a la bomba geotérmica mediante la absorción de calor por parte del agua que circula por el intercambiador subterráneo. Dentro de la unidad de la bomba de calor, el refrigerante interactúa con el lado o zona de demanda a través de una unidad de tratamiento de aire (UTA) gracias al condensador que entrega el calor procedente de la fuente. El proceso de transferencia de calor tiene lugar de la siguiente manera: el refrigerante extrae el calor del agua procedente del intercambiador enterrado a través del evaporador, posteriormente el compresor lo sobrecalienta antes de entrar al condensador. A continuación, el refrigerante fluye a través de la UTA, donde un ventilador impulsa aire más frío (procedente de la zona de demanda) sobre la batería de refrigerante caliente. La UTA desempeña un papel esencial en mantener el flujo de aire exterior (OA), el aire de retorno (RA) y el aire expulsado, ajustándolos según los parámetros de diseño.

En función de la temperatura del aire exterior, una batería de calefacción suplementaria suele incrementar el calor disponible generado por la bomba de calor. El refrigerante transfiere calor al aire frío, calentándolo y luego dirigiéndolo hacia la zona de demanda de calor. Posteriormente, el refrigerante, que ha cedido calor al aire de la zona de demanda, continúa enfriándose al pasar por una válvula de expansión debido a la caída de presión. Después de

este enfriamiento, el refrigerante regresa al evaporador para recoger más calor del agua subterránea, cerrando el ciclo (Techno-economic analysis of geothermal system in residential building in Memphis, Tennessee, 2020).

Este proceso se repite de manera continua para mantener una temperatura confortable en la zona durante los meses de frío. En nuestro caso, los meses de calefacción van desde octubre hasta abril. Sin embargo, el mes de mayo presenta variaciones, en ocasiones requiere calefacción, en otra refrigeración, o incluso ninguna de las dos, según las preferencias de confort del propietario de la vivienda.

Modo refrigeración

Durante los meses calurosos, entra en acción la bomba de calor geotérmica en su modalidad de refrigeración. En esta fase, el lado de la fuente opera como un disipador térmico que recibirá el calor absorbido por la bomba de calor geotérmica. Del mismo modo que en la calefacción, dentro de la unidad de la bomba de calor, el refrigerante se relaciona con el lado o zona de demanda, a través de una Unidad de Tratamiento de Aire (UTA) y se conecta con el lado de la fuente en el evaporador. Sin embargo, en el modo de refrigeración, el sistema opera en sentido contrario.

El refrigerante cede el calor al agua que circula por el intercambiador enterrado en el terreno a través de un intercambiador que ahora hace la función de condensador (en modo calefacción, funcionaba como evaporador), enfriándose aún más debido a la disminución de presión en la válvula de expansión. Posteriormente, el refrigerante atraviesa la UTA, donde un ventilador impulsa el aire más cálido procedente de la zona de demanda de refrigeración. Aquí, el refrigerante absorbe el calor del aire caliente, enfriándolo y después dirigiéndolo hacia la zona a refrigerar. El refrigerante caliente que sale de la UTA se sobrecalienta en el compresor y regresa al condensador para liberar el calor al agua que circula por el intercambiador enterrado, enfriándose de esta manera el refrigerante.

Este ciclo se repite continuamente para mantener una temperatura agradable en la zona durante los meses cálidos. En nuestro caso, los meses de refrigeración abarcan desde junio hasta agosto, así como una parte de septiembre. Del mismo modo, los meses de mayo y septiembre experimentan variaciones; en ocasiones demandan refrigeración, en otra calefacción, o incluso ninguna de las dos, dependiendo de las preferencias de confort del cliente (Techno-economic analysis of geothermal system in residential building in Memphis, Tennessee, 2020).

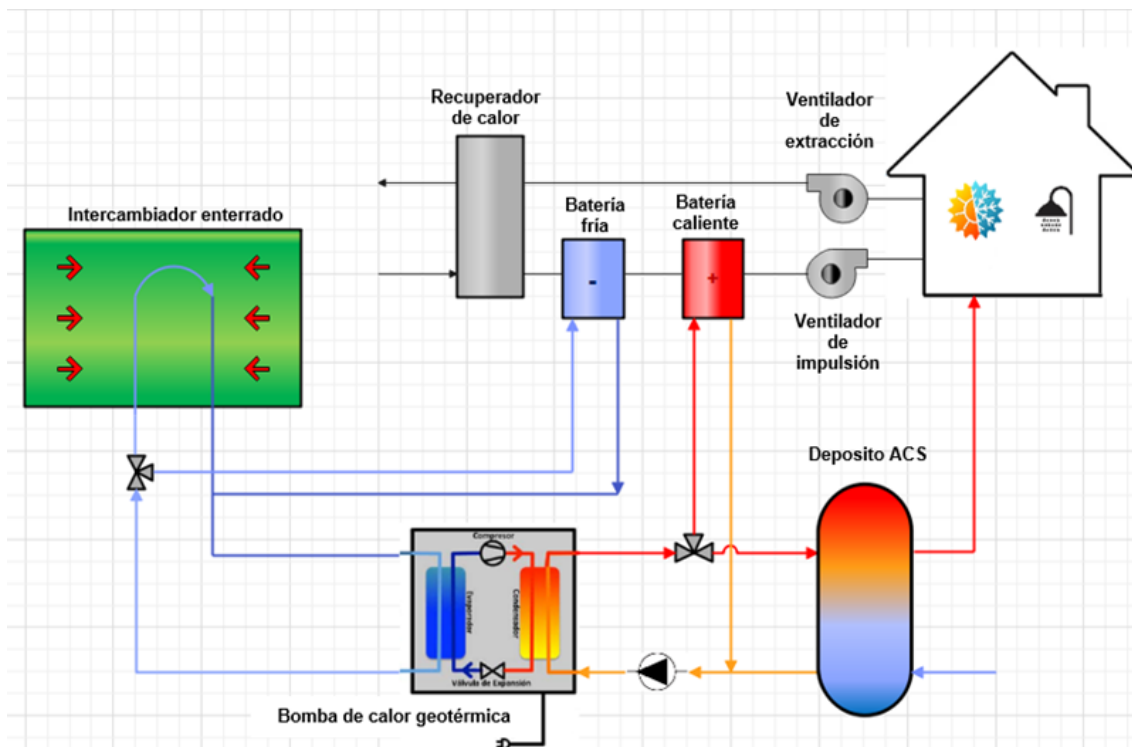


Figura 7. Circuito de bomba de calor geotérmica (GSHP) que alimenta unidad de tratamiento de aire (UTA).

3.2 BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA QUE ALIMENTA RADIADORES DE BAJA TEMPERATURA Y SISTEMA DE REFRIGERACIÓN BASADO EN FAN COILS

3.2.1 Modos de funcionamiento

Al igual que el sistema anterior, la fuente de suministro de energía térmica procede de una bomba de calor geotérmica, ésta extrae el calor del terreno a través de tubos.

Si observamos este sistema desde una vista estructural como en el caso previo, el "lado de la demanda" está vinculado a los radiadores de baja temperatura de la vivienda localizados en cada una de las zonas, y el "lado de la fuente" constará del intercambiador enterrado. Estos dos componentes convergen en la bomba de calor geotérmica.

Modo calefacción

La bomba geotérmica capta la energía térmica del terreno a través de tuberías del intercambiador enterrado horizontal, este calor es transferido al fluido geotérmico, en este caso una mezcla de agua (70%) con anticongelante (30%) que circula en el sistema geotérmico. Este fluido geotérmico caliente, circulando por el intercambiador enterrado, transfiere el calor captado en el terreno al refrigerante en el evaporador de la bomba de calor

geotérmica. Finalmente, en el condensador de la bomba de calor, se transfiere la energía térmica procedente del terreno, al agua que circula por los radiadores de baja temperatura de la vivienda por medio de un circuito de tuberías.

Los radiadores de baja temperatura funcionan como emisores de calor, es decir son el componente encargado de suministrar el calor a la zona. Toman el calor del circuito exterior y producen agua caliente que será transportado de forma continua hasta el circuito de calefacción de radiadores de baja temperatura. En este caso no es necesario elevar la temperatura del agua caliente hasta los 80°C, ya que los emisores del calor utilizan agua de baja temperatura (40-50°C) y por tanto los coeficientes de rendimiento de los aparatos del sistema son suficientes para cumplir con las necesidades de cada una de las zonas del edificio.

Los radiadores de baja temperatura trabajan a partir de la convección, por lo que el aire en la vivienda pasa cerca de estos radiadores, y se calienta hasta crear un ambiente cálido y confortable.

Este ciclo de absorción de calor del terreno, transferencia al fluido geotérmico y emisión de calor a través de los radiadores se repite continuamente mientras el sistema de calefacción esté activo.

Modo refrigeración

En los meses que se alcanza mayor temperatura, es decir, junio, julio y agosto, entrará en funcionamiento el modo de refrigeración, para esta instalación el diseño será más básico que el caso anterior. En modo de refrigeración, la bomba geotérmica retira el calor del interior de la vivienda a través del agua que actúa como fluido caloportador. Como resultado, el fluido se calienta al absorber este calor. Una vez este fluido se encuentre caliente, se transporta desde el fan coil hasta la bomba geotérmica a través de una red de tuberías.

El fan coil es la unidad encargada de enfriar el aire de la vivienda. En este proceso, el ventilador del fan coil hace circular el aire de la vivienda sobre una bobina de intercambio de calor. Esta bobina contiene el fluido frío que ha sido transportado desde la bomba geotérmica. Conforme el aire pasa sobre la bobina de intercambio de calor, el calor del aire es absorbido por el fluido enfriado en la bomba de calor geotérmica, esto conlleva a un enfriamiento del aire y, por lo tanto, una reducción de la temperatura ambiente en la vivienda. El aire enfriado se distribuye a través de la vivienda, proporcionando un ambiente más fresco y cómodo. Al mismo tiempo el fluido (agua) circulando por el fan coil se calienta y este calor es cedido posteriormente al refrigerante de la bomba de calor geotérmica, la cual lo cederá al terreno a través del fluido caloportador (mezcla de agua (70%) y anticongelante (30%)) circulante por el intercambiador enterrado.

El proceso se realiza de forma cíclica mientras el sistema de refrigeración esté en funcionamiento.

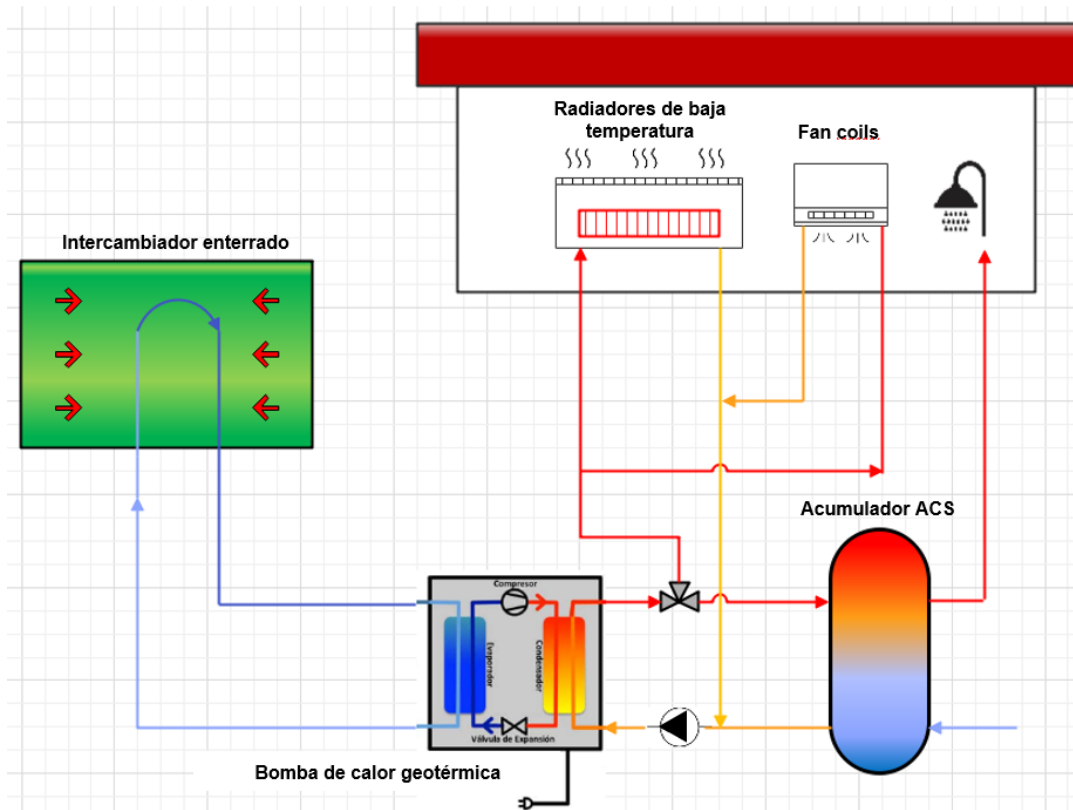


Figura 8. Circuito de bomba de calor geotérmica que alimenta radiadores de baja temperatura y sistema de refrigeración basado en fan coils.

3.2.2 Selección de fluidos de trabajo

Los fluidos de trabajo utilizados en las distintas instalaciones del proyecto están constituidos por refrigerantes y aceites.

Agua-etilenglicol (30%): utilizado en el circuito geotérmico, absorbe y disipa eficazmente la energía térmica del terreno, evitando la congelación en invierno y actuando como refrigerante en verano. Además, dispone de otros beneficios como (Products.pcc.eu, 2022):

- Mejora de la transferencia de calor y protección contra la congelación mediante el etilenglicol.
- Capa protectora contra cavitación, congelación y ebullición.
- Prevención de corrosión en elementos de la instalación.
- Evita formación y depósito de impurezas.

Aceites de poliéster (POE): es aplicado en el compresor de la bomba de calor para dar las siguientes funciones (Caloryfrio.com, 2007):

- Lubricación de las partes móviles de un compresor con el objetivo de evitar que debido a su rozamiento su temperatura aumente y por lo tanto se evite el deslizamiento ("gripe").
- Aportar una mayor resistencia a la absorción de humedad evitando así problemas futuros como la corrosión, además de disponer de menor toxicidad que otros aceites y por lo tanto favorecer el cumplimiento de la normativa ambiental.

Cabe destacar que el primer fluido a escoger será el refrigerante. A continuación, se seleccionará el aceite acorde a este y las especificaciones de los sistemas y las temperaturas de operación, ya que cada sistema de bomba de calor puede tener requisitos específicos en cuanto al tipo de aceite que se debe utilizar. Para garantizar un correcto funcionamiento se deberá de consultar todo con el fabricante.

4 LOCALIZACIONES

La climatología es un factor muy importante a tener en cuenta al realizar una simulación energética de un edificio, ya que afecta de forma directa sobre la demanda energética necesaria para obtener una temperatura confortable en el interior de la vivienda.

Los factores climáticos como la temperatura exterior, la humedad, la radiación solar, la velocidad del viento o la precipitación se utilizan en la simulación energética para calcular la demanda de calefacción y refrigeración. También se ven afectadas otras variables como la selección de materiales de construcción y su posicionamiento, esto es debido a que utilizaremos una composición de elementos constructivos con menor aislamiento en zonas en las que existan unas temperaturas medias más elevadas y por el contrario un mayor aislamiento sobre zonas con temperaturas medias relativamente bajas.

En España la climatología se caracteriza por ser variada y estar influenciada por diferentes factores, entre estos destacan la altitud, la latitud, la proximidad marítima, la continentalidad y la presencia de áreas montañosas.

Por su situación en latitud, entre los 36° 0' y los 43° 47', se encuentra en la zona templada del hemisferio norte, por lo que su clima está caracterizado por la existencia de dos estaciones térmicas bien contrastadas, verano e invierno, separadas por dos de transición, otoño y primavera. La Península Ibérica se encuentra sujeta a la circulación general del oeste, pero la disposición del relieve peninsular va a dar lugar a una serie de contrastes climáticos.

En general, las temperaturas son suaves durante todo el año, aunque el cambio de estaciones genera una variación. Los veranos son cálidos y secos, mientras que los inviernos son más frescos y húmedos. Las precipitaciones son escasas, aunque están concentradas en otoño y primavera y su cantidad y distribución difieren en función de la localización geográfica.

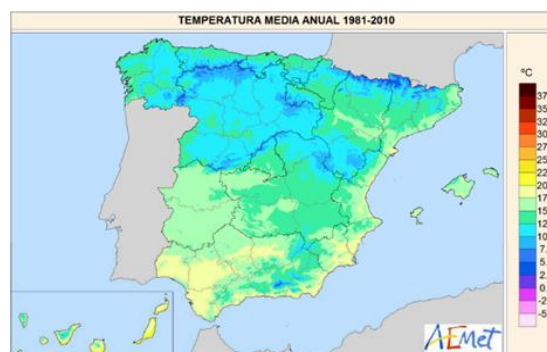


Figura 9. Temperatura media anual 1981-2010 (AEMET, 2018)

Por lo que se refiere a las precipitaciones, observamos una España lluviosa, concretamente en el noroeste de la península, con precipitaciones superiores a los 800 mm que llegan a ser superiores a los 1500 y 2000 mm en algunos sectores montañosos. Por otro lado, encontramos valores muy escasos con precipitaciones inferiores a los 300 mm, en zonas del sur como Murcia y Andalucía.

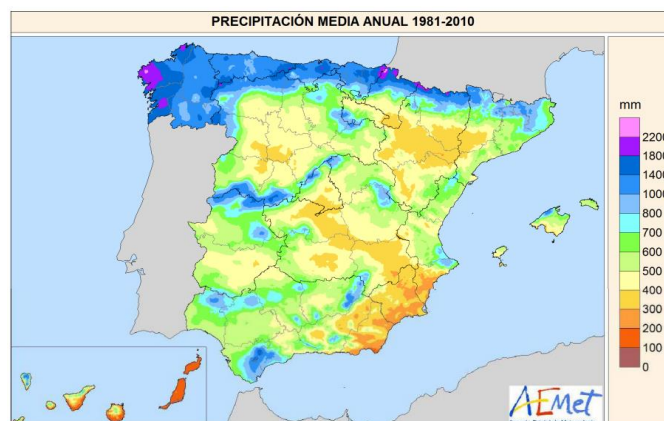


Figura 10. Precipitación media anual 1981-2010 (AEMET, 2018)

Otro factor a destacar es que se encuentra rodeada por mar casi al completo, esto supone un factor muy importante a la hora de analizar el clima ya que en las zonas costeras se suavizan las temperaturas y existe un aumento de la humedad.

Estación	Altura	Humedad (%)		
		Enero	Julio	Año
La Coruña	26	79	79	79
Bilbao	45	85	82	82
Barcelona	12	68	67	69
Castellón	27	61	62	62
Alicante	81	66	61	65
Almería	18	74	72	73
Huelva	26	75	53	65
Zamora	649	85	58	72
Burgos	929	89	59	72
Madrid	667	77	42	62
Cáceres	459	77	33	57
Albacete	680	82	47	66
Zaragoza	250	73	50	61

FUENTE: I.N.M.

Figura 11. Régimen anual de humedad relativa (Instituto Nacional de Meteorología, 2010).

Por otro lado, las áreas montañosas como los Pirineos o la Cordillera Cantábrica generan un efecto de sombra de lluvia en las zonas situadas al este.

Los vientos dominantes son del Oeste y están motivados por la circulación general atmosférica.

La insolación anual son las horas de sol que dispone una región a lo largo del año, siendo la nubosidad un factor decisivo en su valor. Por tanto, la insolación real será la combinación entre insolación y nubosidad.

En la figura podremos observar como la insolación recibida en el sur de España es bastante más significativa que en el norte, esto da lugar a una mayor exposición al sol y a su vez a una mayor cantidad de energía recibida a lo largo del año.

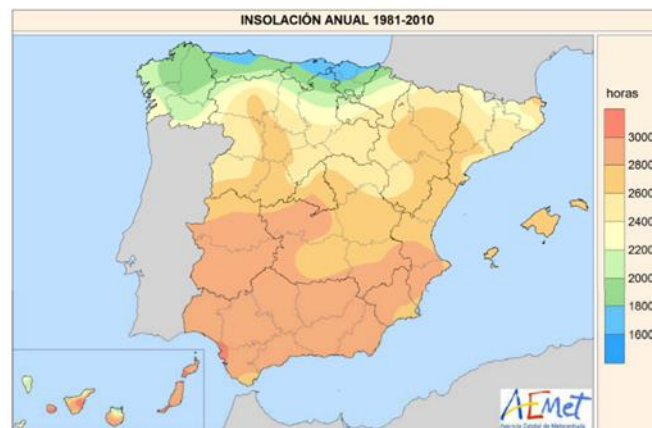


Figura 12. Insolación anual 1981-2010 (AEMET, 2018)

Para analizar la influencia y comportamiento del modelo bajo distintas climatologías, se han escogido cuatro localizaciones de España en las que se considera que varían los factores anteriormente nombrados.

4.1 SANTANDER

Santander disfruta de un clima cálido y templado con una temperatura promedio anual de alrededor de 13.8°C. Además, cuenta con una precipitación significativa, recibiendo lluvias incluso en el mes más seco. En promedio, la ciudad recibe alrededor de 1198 mm de precipitación al año.

Es importante destacar que se trata de una de las ciudades de España con menor insolación, esto hace que la duración del verano en esta localización sea escasa, comenzando a finales de junio y finalizando a mitad de septiembre.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	8.4	8.4	10.4	12.1	14.6	17.7	19.5	19.9	18.4	15.9	11.5	9.2
Temperatura min. (°C)	5.6	5.2	6.7	8.4	10.9	14	16	16.5	14.9	12.6	8.8	6.4
Temperatura máx. (°C)	11.8	12.1	14.7	16.2	18.6	21.6	23.2	23.8	22.4	19.8	14.6	12.7
Precipitación (mm)	120	107	105	114	92	72	61	63	81	111	160	112
Humedad (%)	81%	80%	77%	77%	79%	79%	78%	78%	79%	78%	81%	79%
Días lluviosos (días)	11	10	9	11	10	8	9	8	9	10	12	10
Horas de sol (horas)	5.0	5.6	7.3	8.0	8.3	8.3	7.8	8.0	7.8	7.3	5.7	5.4

Tabla 1. Variables climatológicas mensuales de Santander (Climate data, 2023)

4.2 TERUEL

Se caracteriza por un clima cálido y templado, con una temperatura media anual de unos 11.5°C. En cuanto a la precipitación, esta comunidad dispone de lluvias hasta en el mes más caluroso al igual que Santander, pero la cantidad es menos significativa y se sitúa en torno a 450 mm de lluvia anualmente.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	2.9	3.5	6.7	9.5	13.6	18.9	22.2	21.6	17.1	12.5	6	3.5
Temperatura min. (°C)	-0.8	-0.7	1.5	3.8	7.4	12.1	14.8	14.9	11.4	7.6	2.1	-0.1
Temperatura máx. (°C)	7.5	8.7	12.5	15.4	19.7	25.5	29.4	28.8	23.4	18.2	10.7	8.2
Precipitación (mm)	28	27	37	52	58	40	22	35	39	46	36	29
Humedad (%)	72%	66%	61%	60%	56%	49%	43%	46%	56%	64%	72%	72%
Días lluviosos (días)	4	4	5	7	7	5	3	5	6	5	5	4
Horas de sol (horas)	5.7	6.2	7.7	8.9	10.6	12.3	12.5	11.1	9.2	7.2	5.7	5.6

Tabla 2. Variables climatológicas mensuales de Teruel (Climate data, 2023)

4.3 MADRID

Madrid es la localización más céntrica del país, está caracterizada por sus inviernos fríos y veranos calurosos y secos, estas características le hacen alcanzar una temperatura media anual de 14.5°C. Sus precipitaciones tienen un promedio anual de 415 mm y se producen en las estaciones de primavera y otoño.

Es importante destacar que Madrid se caracteriza por su alta insolación, se superan las 3000 horas de insolación al año, es decir aproximadamente un tercio del año hace sol.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	4.8	6	9.2	12.2	16.7	22.8	26	25.6	20.9	15.1	8.6	5.5
Temperatura mín. (°C)	0.9	1.4	3.8	6.4	10.3	15.7	18.8	18.5	14.8	10.2	4.7	1.8
Temperatura máx. (°C)	9.5	11.4	15	17.9	22.6	29	32.4	31.9	26.8	20.3	13.2	10.1
Precipitación (mm)	41	34	40	47	39	16	6	8	22	61	55	46
Humedad (%)	77%	69%	60%	57%	48%	35%	28%	30%	41%	60%	72%	77%
Días lluviosos (días)	5	4	4	6	5	3	1	2	3	5	5	5
Horas de sol (horas)	5.7	6.8	8.1	9.4	11.5	13.0	13.1	12.1	10.4	7.8	6.1	5.7

Tabla 3. Variables climatológicas mensuales de Madrid (Climate data, 2023)

4.4 MÁLAGA

La ciudad de Málaga cuenta con un clima mediterráneo, caracterizado por inviernos suaves y húmedos y veranos calurosos y secos. Su temperatura media anual se encuentra en 17.6°C mientras que sus precipitaciones alcanzan valores de aproximadamente 485 mm de forma anual.

La insolación en esta ciudad es de las más altas de España, situándose por encima de los valores existentes en las tres localizaciones indicadas anteriormente.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	11.5	11.8	13.6	15.4	18.4	22.3	25	25.1	22.2	18.9	14.5	12.5
Temperatura mín. (°C)	8.9	9.1	10.5	12.2	14.9	18.7	21.2	21.7	19.2	16.2	12	10.1
Temperatura máx. (°C)	14.3	14.7	16.5	18.4	21.4	25.3	28	28	24.9	21.5	17.2	15
Precipitación (mm)	60	52	53	45	27	9	2	5	26	58	72	76
Humedad (%)	76%	74%	72%	70%	66%	63%	61%	65%	71%	75%	74%	77%
Días lluviosos (días)	6	5	5	5	4	1	0	1	3	6	6	6
Horas de sol (horas)	6.3	7.1	8.3	9.7	11.4	12.6	12.5	11.4	10.0	8.2	6.9	6.0

Tabla 4. Variables climatológicas mensuales de Málaga (Climate data, 2023)

4.5 ZONAS CLIMÁTICAS

Los datos recopilados en cada ciudad, incluyendo su elevación, permiten determinar la categoría climática de la ciudad según el DB-HE (Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja IETcc, 2022). Este aspecto supondrá una gran importancia, ya que tanto las cargas térmicas, la ventilación y la resistencia térmica de las construcciones de las viviendas deben cumplir con valores específicos establecidos en este documento básico.

Ciudad	Altura de referencia (m)	Zona Climática
Santander	1	C1
Teruel	995	D2
Madrid	589	D3
Málaga	0	A3

Tabla 5. Clasificación en zonas climáticas de cada una de las localizaciones (Ministerio de Transporte, 2020).

4.6 TEMPERATURAS DEL SUELO EN LAS LOCALIZACIONES A ESTUDIAR

El suelo absorbe y emite la energía recibida por radiación solar, precipitaciones y otros efectos atmosféricos, esto genera un equilibrio térmico hasta llegar a temperaturas constantes cuando se han alcanzado una determinada distancia en profundidad (10 m aproximadamente). Además de la profundidad, la temperatura del suelo variará en función de otras variables del suelo, como la conductividad, la difusividad, el calor específico, etc.

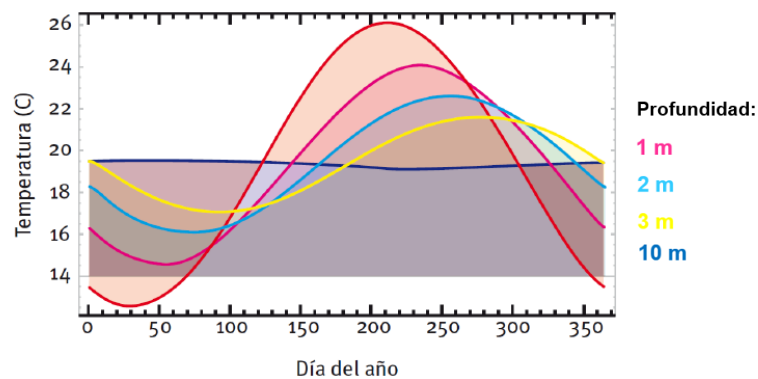


Figura 13. Variación de la temperatura de la Tierra en función de la profundidad a lo largo de un año ((ATECYR), 2008)

En muchas estaciones no se dispone de la temperatura del terreno a 20 cm por lo que se ha establecido una fórmula a través de la temperatura ambiente, para estimar la temperatura del terreno:

$$T_{\text{Terreno}} = 0,0068 * T_{\text{ambiente}}^2 + 0,963 * T_{\text{amb}} + 0,6865 \text{ (}^{\circ}\text{C)}$$

En nuestro caso como la Guía técnica condiciones climáticas exteriores de proyecto (IDAE, 2010) no dispone de las temperaturas del suelo en Málaga a 20 cm de profundidad se ha utilizado la fórmula de aproximación.

Temperaturas del suelo (°C) a una profundidad de 20 cm				
Mes	Ciudades			
	Santander	Teruel	Madrid	Málaga
Enero	9,2	4,2	1,3	6,2
Febrero	10	5,9	1,5	7,4
Marzo	11,8	9	2,7	10,9
Abril	13,5	11,7	4,9	12,8
Mayo	17	15,9	8,6	17,0
Junio	20,1	21,7	15,6	26,4
Julio	22	24,7	19,2	29,0
Agosto	22,6	24,2	18,9	28,4
Septiembre	20,2	14,9	15,1	23,0
Octubre	16,6	14,9	9,5	15,8
Noviembre	12,4	8,6	4,7	9,6
Diciembre	10,1	5	1,9	6,9

Tabla 6. Temperaturas del suelo en las distintas localizaciones. (IDAE, Guía técnica condiciones climáticas exteriores de proyecto, 2010).

5 METODOLOGÍA

5.1 DEFINICIÓN SIMULACIÓN ENERGÉTICA

Se trata de un proceso de análisis de un determinado espacio, ya sea un edificio al completo, una planta, una habitación o un área de este. Para este análisis se utilizan modelos de cálculo computacionales, los cuales nos permiten obtener información detallada del consumo de energía y el rendimiento del sistema en distintas condiciones.

Para realizar esta simulación es necesario establecer geometría y las características físicas del edificio, colocación de espacios, materiales de construcción, las propiedades térmicas, ubicación geográfica y orientación.

Es necesario, suministrar al modelo datos climatológicos, como la temperatura exterior, la radiación solar, la humedad relativa y los patrones de viento para la ubicación específica del sistema a simular. Estos datos han sido recogidos en varios tipos de archivos obtenidos en la propia web de EnergyPlus (EnergyPlus, 2023). El archivo .ddy se trata de un archivo de condiciones de diseño mientras que el archivo .epw contiene los archivos climatológicos a lo largo de varios años de la localización escogida.

También será necesario suministrar al modelo de todo tipo de sistemas, tanto de calefacción, refrigeración y ventilación, teniendo en cuenta los aparatos que se colocarán en cada una de estas instalaciones y en cada uno de los espacios. Es decir, deberemos de especificar los datos técnicos de sistemas de climatización, iluminación, equipos de proceso, sistema de energía renovable. Además de sus especificaciones técnicas como capacidades, eficiencias, caudales, horarios de uso, etc.

Por último, se establecerán los parámetros de simulación, estos son año de simulación, el período durante el cual se quiere realizar la simulación, el intervalo de tiempo en el que se quiere recoger información, condiciones de partida de los distintos elementos, horarios de ocupación, ventilación y uso de los sistemas.

En resumen, la introducción de todos estos datos previos a realizar la simulación hará que esta analice y recoja información precisa de infinitos datos de nuestro modelo energético, proporcionando así una compresión detallada del consumo de energía y rendimiento de nuestro modelo en distintas condiciones.

Pudiendo ver las desventajas y ventajas de nuestro modelo para realizar las modificaciones necesarias en este y así obtener menores costes, mayor optimización de los sistemas y un confort personalizado en función del usuario previo al proyecto que será llevado a cabo en la realidad (ATECYR, 2008).

5.2 CARACTERIZACIÓN DEL EDIFICIO

La caracterización del edificio consiste en definir de forma detallada diversas propiedades y elementos del edificio con el objetivo de modelar con precisión su comportamiento energético. Entre estas propiedades se deberán definir infinidad de aspectos como la geometría, el diseño, la orientación, los materiales utilizados (junto a su orden constructivo), iluminación, equipamiento, etc.

5.2.1 Orientación de la residencia

La orientación de una residencia es un factor crucial a considerar, ya que puede llegar a afectar de forma considerable a la eficiencia energética y el confort térmico del edificio. Esto es debido a factores como la posición de la residencia respecto al sol y al viento, la ventilación natural y la distribución de temperaturas dentro de la casa.

Es importante que la casa esté orientada de forma que las zonas norte y sur minimicen la entrada de sol, esto provoca una disminución de las ganancias solares en la casa, un gran aprovechamiento de la ventilación natural, una mejor iluminación natural y una mejor calidad del aire interior.

Para lograr la eficiencia energética y confort térmico adecuado en España son importantes varios factores:

- Latitud y longitud: puede influir en la posición del sol y la sombra durante el día, es decir, varía la cantidad de luz solar y calor entrante en el edificio. Por lo general, la orientación escogida en la mayoría de los casos es hacia el sur, con el objetivo de aprovechar la cantidad máxima posible de luz solar y calor natural (sobre en las zonas más próxima al norte de la península)
- Topografía del terreno: el impacto de la topografía se hace ver sobre todo en la influencia de la dirección y velocidad del viento, afectando a la mejora de la calidad del aire y la ventilación natural de la vivienda.
- Climatología: el clima del lugar donde se llevará a cabo la construcción puede influir también en la cantidad de luz del sol recibida y calor entrante sobre el edificio. En las zonas del sur de España, la orientación escogida es hacia el norte para disminuir el impacto directo del sol.
- Vegetación: se recomienda una separación adecuada para evitar problemas de humedad y sombra excesiva que pueda disminuir la temperatura de nuestra residencia en ciertos espacios.
- Urbanización: el entorno urbano puede influir al igual que la climatología en características como la sombra, la calidad del aire y la ventilación. Por lo general, no es recomendable construir viviendas en lugares de alta contaminación acústica y atmosférica.

En resumen, a orientación adecuada de una casa en España debe tener en cuenta estos factores para lograr una eficiencia energética y un confort térmico adecuado. De esta forma, se puede mejorar la calidad de vida de sus habitantes y reducir el consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero.

La vivienda analizada en este proyecto se caracteriza por:

Fachada	Superficie (m^2)	Vidrios (m^2)	Orientación
Norte	29,63	0	0°
Sur	22,73	6,9	180
Este	45,3	5,7	90°
Oeste	47,1	3,9	270°

Tabla 7. Detalles de la fachada en función de la orientación.

5.2.2 Geometría del modelo

La vivienda considerada en este trabajo dispone de una superficie total de $122,3 \text{ m}^2$, estos están distribuidos únicamente en una planta dando lugar a un volumen de $454,27 \text{ m}^3$.

Tipo de superficie	Superficie total (m^2)
Suelo	122,3
Fachada (con acristalamiento)	161,26
Cubierta	131,2
Total	414,76

Tabla 8. Detalles de superficies del modelo.

5.3 CONSTRUCCIONES

5.3.1 Envoltente térmica de un edificio

Se compone de los cerramientos del edificio que separan los recintos habitables del ambiente exterior y las particiones interiores que separan los recintos habitables de los no habitables que a su vez estén en contacto con el ambiente exterior (CEPCO, 2008).

Los tres elementos principales de una envoltente térmica son, los cerramientos (cubierta, fachada y suelo), los huecos (acristalamiento y sus marcos) y los puentes térmicos (como elementos de forjado y pilares).

Su función principal consiste en la protección, a través del aislamiento de los componentes constructivos exteriores, reduciendo la transferencia de calor entre el entorno exterior y el interior habitable del edificio. En los meses fríos, evita que el calor generado en el interior escape fácilmente al exterior, manteniendo una temperatura confortable y reduciendo la necesidad de calefacción constante. Mientras que, durante los meses cálidos, impide que el calor del exterior penetre en el interior, lo que disminuye la demanda de sistemas de refrigeración intensa.

El diseño correcto y la elección de materiales adecuados para la envoltente térmica pueden mejorar aún más su eficiencia. Los cerramientos con propiedades adecuadas, el uso de vidrios de alta eficiencia y marcos con bajo coeficiente de transferencia térmica, así como la atención a los puentes térmicos, pueden mejorar significativamente el rendimiento energético.

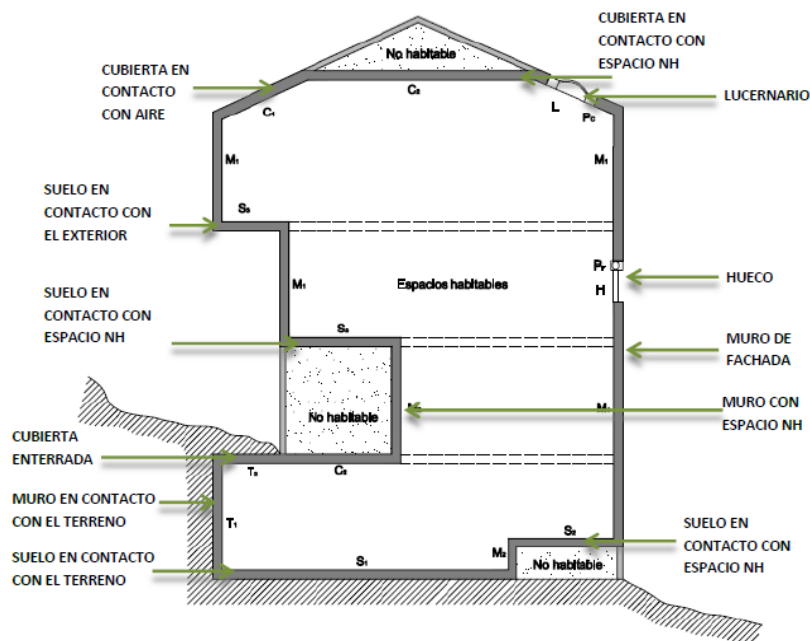


Figura 14. Esquema de la envolvente térmica de un edificio. (EADIC, 2012)

A continuación, se recogen las características de los cerramientos de la vivienda analizada en este trabajo.

Pared exterior

Composición del cerramiento				RE LC AT LH RI
Nº	Material	Espesor (m)	Conductividad λ (W/m * K)	
1	Revoque	0,02	1,4	
2	Ladrillo cerámico	0,115	0,35	
3	Poliestireno expandido (XPS)	0,08	0,038	
4	Ladrillo hueco	0,07	0,32	
5	Revoque	0,015	0,25	
Total		0.3		

Figura 15. Esquema de la pared exterior. (Catálogo de elementos constructivos del CTE, 2010)

Tabla 9. Composición de la pared exterior.

Cubierta

Composición del cerramiento			
Nº	Material	Espesor (m)	Conductividad λ (W/m * K)
1	Teja	0,015	1
2	Capa separadora (fibra de propileno PP)	0,001	0,22
3	Capa de impermeabilización	0,0015	0,042
4	Capa separadora (fibra de propileno PP)	0,001	0,22
5	Aislamiento (XPS)	0,1	0,036
6	Barrera contra el vapor (polietileno baja densidad LDPE)	0,001	0,33
7	FU entrelazado cerámico	0,25	0,9
	Revoque	0,015	1,4
Total		0,3845	

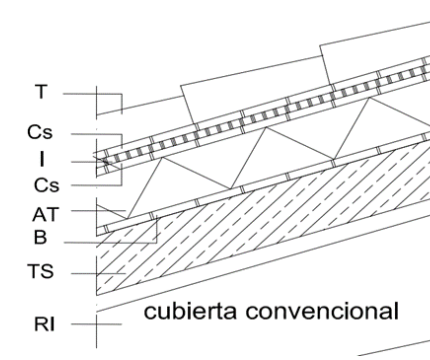


Figura 16. Esquema de la cubierta. (Catálogo de elementos constructivos del CTE, 2010)

Tabla 10. Composición de la cubierta.

Suelo

Composición del cerramiento			
Nº	Material	Espesor (m)	Conductividad λ (W/m * K)
1	Baldosas de gres	0,015	2,3
2	Mortero de cemento	0,05	0,55
3	Hormigón en masa	0,2	1,65
4	XPS expandido	0,12	0,034
5	Lamina polietileno	0,005	0,33
6	Encachado	0,2	2
7	Geotextil	0,001	0,22
Total		0,571	

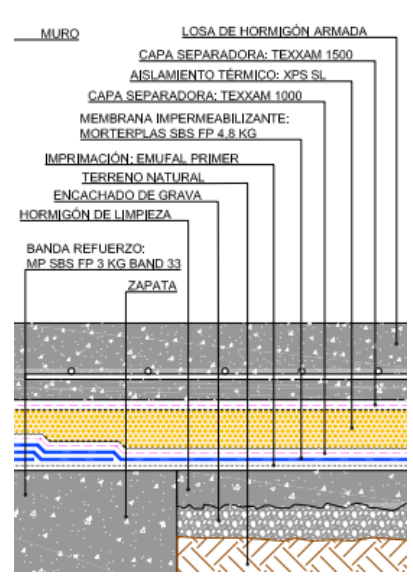


Figura 17. Esquema del suelo. (Lotus.soprema.fr, 2023)

Tabla 11. Composición del suelo.

Una vez analizados los distintos componentes de la envolvente podemos hallar sus resistencias térmicas y por lo tanto sus transmitancias (1) para comprobar el cumplimiento de los requisitos que plantea el DB-HE 1 (5.2.2 Documento básico de ahorro de energía).

$$U * A = \frac{1}{R_T * A} \quad (1)$$

Tipo de superficie	Resistencia térmica ($W/m^2 * ^\circ C$)	Transmitancia ($W/m^2 * ^\circ C$)
Suelo	3,83	0,26
Pared exterior	2,85	0,35
Cubierta	3,11	0,32

Tabla 12. Valores límites de transmitancias en los elementos constructivos. (DA DB-HE 1, 2020)

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_r) 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 18. Valores límite de transmitancia térmica U ($W/m^2 * k$)

Si comparamos las transmitancias resultantes en el modelo con los valores límites establecidos en el DB-HE (Figura 18), las transmitancias térmicas del suelo, la cubierta y la fachada exhiben un nivel de cumplimiento notable respecto a los límites normativos establecidos. De hecho, ofrecen un nivel de aislamiento que supera los estándares requeridos. Por consiguiente, tanto la elección de materiales junto con sus respectivos parámetros, como la composición de la envolvente, han sido seleccionados de manera correcta.

Cualquier componente integrante de la envolvente de un edificio está ensamblado por un material un coeficiente de transmitancia térmica (U), lo que significa que poseen una capacidad definida para facilitar el intercambio de temperaturas entre sus dos caras. Esta capacidad varía en función del número de capas y de las propiedades térmicas inherentes a dichos elementos. Un coeficiente menor se traduce en una mayor protección para el edificio, lo que se traduce en un mayor nivel de confort en el interior.

5.3.2 Elementos constructivos restantes

Pared interior

Composición del cerramiento			
Nº	Material	Espesor (m)	Conductividad λ (W/m * K)
1	Revoque interior	0,015	1,4
2	Ladrillo hueco	0,07	0,32
3	Revoque interior	0,015	1,4
Total		0,1	

Tabla 13. Propiedades de pared interior.

Ventana

Composición del cerramiento							
Nº	Material	Espesor (m)	ε (emisividad)	g (factor solar)	T.L.(%)	R.L.e(%)	Utotal
1	Vidrio	0,004	0,03	0,59	80	12	1.8
2	Cámara de aire	0,1					
3	Vidrio	0,004					

Tabla 14. Propiedades de ventana.

Puerta exterior

Nº	Material	Espesor (m)	Conductividad λ (W/m * K)
1	Panel de madera	0,015	0,29
2	Acero de refuerzo	0,04	50
3	Panel de madera	0,015	0,29
Total		0,07	

Tabla 15. Propiedades de puerta exterior.

Puerta interior

Nº	Material	Espesor (m)	Conductividad λ (W/m * K)
1	Panel de madera	0,045	0,29

Tabla 16. Propiedades de puerta interior.

Puerta de garaje

Nº	Material	Espesor (m)	Conductividad λ (W/m * K)
1	Capa de acero	0,002	50
2	Poliestireno extruido garaje	0,04	0,03
3	Capa de acero	0,002	50
	Total	0,08	

*Tabla 17. Propiedades de puerta de garaje.***5.4 MATERIALES UTILIZADOS**

El uso adecuado de materiales en una vivienda desempeña un papel fundamental en términos de eficiencia térmica y ahorro energético. La correcta elección de los materiales puede tener un impacto significativo en la forma en que la vivienda responde a las fluctuaciones climáticas y en su consumo energético general.

Existen varios factores cruciales como, la conductividad térmica, una baja conductividad aumenta la resistencia térmica y por consiguiente reduce la necesidad de calefacción y refrigeración constante. Otras como la reflectividad y la absorción solar de los materiales influyen en la capacidad de un material para reflejar o absorber la radiación solar, los materiales reflectantes reducen el calor en climas cálidos, mientras que los absorbentes acumulan calor para calefacción pasiva.

Otra de las características a tener en cuenta es el espesor, este influye en la capacidad de aislamiento y la inercia térmica de los componentes constructivos. Un incremento en el espesor de materiales utilizados puede aumentar la resistencia al flujo de calor, lo cual se traduce en una mejora del aislamiento térmico.

Se pueden dividir los materiales utilizados en distintas categorías:

5.4.1 Materiales opacos

N.º	Nombre	Espesor (m)	Conductividad $\left(\frac{W}{m} \cdot K\right)$	Densidad $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$	Calor específico $\left(\frac{J}{kg} \cdot K\right)$
1	Acero de refuerzo puerta exterior	0,04	50	7800	850
2	Baldosas de gres	0,015	0,22	910	1800
3	Capa de acero puerta garaje	0,002	50	7800	850
4	Capa de impermeabilización	0,0015	0,23	1500	1400
5	Capa separadora de fibra de propileno PP	0,0015	0,22	910	1800
6	Encachado de grava	0,2	2	1700	1400
7	Forjado entrevigado cerámico	0,25	0,908	1220	1000
8	Geotextil	0,001	0,22	980	1800
9	Hormigón en masa	0,2	1,65	2300	2000
10	Ladrillo cerámico	0,115	0,35	2170	840
11	Ladrillo hueco	0,07	0,32	770	1000
12	Lámina de polietileno suelo PP	0,005	0,43	27	1400
13	Mortero de cemento	0,05	0,55	1800	1000
14	Panel de madera puerta exterior	0,015	0,29	900	1600
15	Panel de madera puerta interior	0,045	0,29	900	1600
16	Panel XPS puerta garaje	0,04	0,03	55	1400
17	Revoque	0,015	1,4	1858	837
18	Tablero de contrachapado	0,03	0,21	675	1600
19	Teja de arcilla cocida	0,015	1	2200	840
20	XPS cubierta	0,1	0,034	60	1200
21	XPS pared	0,08	0,038	30	1200
22	XPS suelo	0,12	0,038	60	1200

Tabla 18. Materiales opacos utilizados en el modelo energético. (Catálogo de elementos constructivos del CTE, 2010)

Todos los materiales disponen además de las mismas características:

- Factor de absorción térmico: 0,9
- Factor de absorción solar: 0,7
- Factor de absorción de espectro visible: 0,7

5.4.2 Material de acristalamiento

Nombre	Espesor (m)	Transmitancia solar	Transmitancia visible frontal	Transmitancia visible posterior	Conductividad
Cristal simple	0,004	0,837	0,075	0,075	0,9

Tabla 19. Acristalamiento utilizado en el modelo energético. (Catálogo de elementos constructivos del CTE, 2010)

Las reflectancias dispondrán del mismo valor tanto en su parte frontal como posterior:

- Reflectancia solar frontal y posterior: 0,423
- Reflectancia visible frontal y posterior: 0,148

5.4.3 Cámara de aire acristalamientos

Nombre	Tipo de gas	Espesor (m)
Cámara de aire acristalamiento	Aire	0,010

Tabla 20. Cámara de acristalamiento utilizado en el modelo. (Catálogo de elementos constructivos del CTE, 2010)

5.5 DEFINICIÓN DE LAS CARGAS TÉRMICAS

Las cargas térmicas son una serie de parámetros que han de introducirse a nuestro modelo energético, están referidas a aquellas variables o efectos que son capaces de modificar las propiedades en el interior de nuestra vivienda, como la temperatura, humedad o calidad del aire.

5.5.1 Cargas por ocupación

Se trata de introducir al sistema el número de personas que comparten un espacio en un determinado tiempo.

El organismo humano genera calor como resultado de sus procesos metabólicos, y por otro, la transpiración y la exhalación liberan humedad al entorno. Estos factores combinados influyen directamente en la temperatura y en la humedad relativa del espacio circundante. Por tanto, determinar el número de personas para un espacio concreto (*persona/m²*) puede influir de forma razonable en nuestro análisis energético.

Dado que estamos considerando una vivienda unifamiliar, se ha determinado una ocupación máxima de cuatro personas para el conjunto de la vivienda.

Name:

Number of People: 4.000000	People per Space Floor Area: people/m ²	Space Floor Area per Person: m ² /person
Fraction Radiant: 0.600000	Sensible Heat Fraction: 0.612500	Carbon Dioxide Generation Rate: 0.000038 L/s-W

Enable ASHRAE 55 Comfort Warnings: ☐ off

Mean Radiant Temperature Calculation Type:

Figura 19. Introducción de carga de ocupación sobre Open Studio.

5.5.2 Cargas por actividad

Se encuentra relacionado con el concepto de ocupación, pero esta variable se refiere al calor generado por actividades físicas específicas realizadas en un espacio.

Dado que esta carga puede variar significativamente según las rutinas diarias de las personas, al observar los diversos valores basados en la actividad que se muestran en Figura 20, se ha optado por utilizar un valor constante de 90 W/persona a lo largo de todo el día.

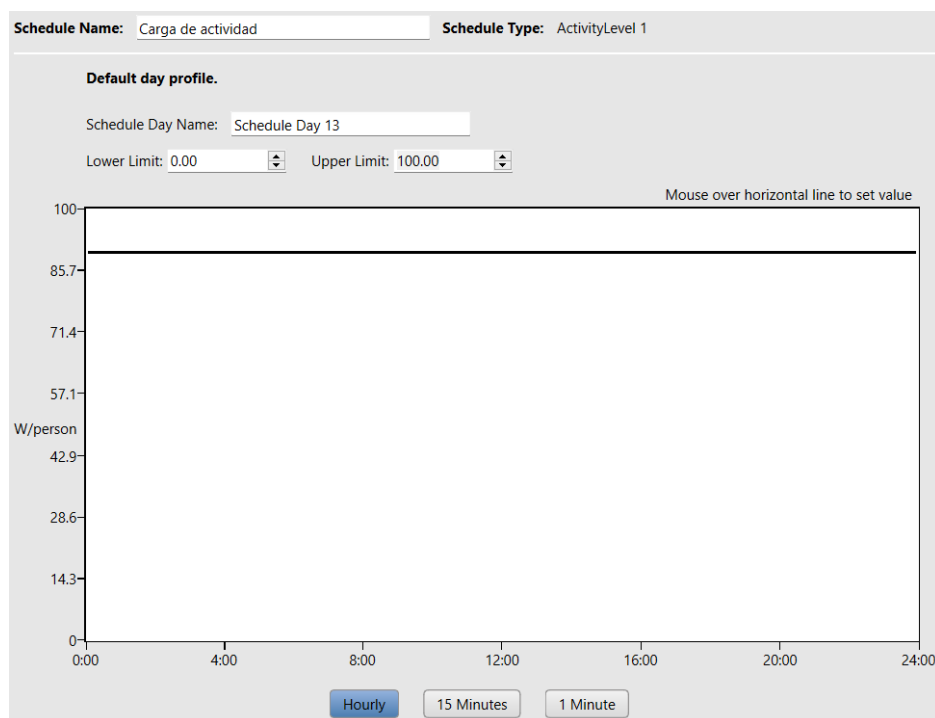


Figura 20. Introducción de carga de actividad en Open Studio.

Actividad metabólica en función de la actividad	Sensible (W/persona)	Latente (W/persona)	met
Durmiendo	50	25	0,76
Tumbado	55	30	0,86
Sentado, sin trabajar	65	35	1,0
De pie, relajado	75	55	1,3
Paseando	75	70	1,5
Andando:			
a 1,6 km/h	50	110	1,6
a 3,2 km/h	80	130	2,1
a 4,8 km/h	110	180	2,9
a 6,4 km/h	150	270	4,2
Bailando moderadamente	90	160	2,5
Atletica en gimnasio (hombres)	210	315	5,0
Atletica en gimnasio (mujeres)	185	280	
Deporte de equipo masculino (valor medio)	290	430	6,9
Deporte de equipo femenino (valor medio)	260	380	
Trabajos:			
Muy ligero, sentado	70	45	1,2
Moderado (en oficinas: valor medio)	75	55	1,3
Sedentario (restaurante, incluidas comidas)	80	80	-
Ligera de pie (industria ligera, de compras, etc)	70	90	1,6
Media de pie (trabajos domésticos, tiendas, etc)	80	120	2,0
Manual	80	140	2,1
Ligero (en fábrica, solo hombres)	110	185	2,8
Ligero (en fábrica, solo mujeres)	100	165	
Pesado (en fábrica, solo hombres)	170	255	4,0
Pesado (en fábrica, solo mujeres)	150	225	
Muy pesado (en fábrica, solo hombres)	185	285	4,5
Muy pesado (en fábrica, solo mujeres)	165	255	

Tabla 21. Calores sensible y latente en función de la actividad realizada por persona. (Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja IETcc, 2022)

5.5.3 Cargas de iluminación

Se refiere a la cantidad de energía necesaria para alimentar las fuentes de luz en un espacio específico. Estas cargas abarcan tanto la iluminación natural como la artificial, y pueden variar según diversos factores, como la cantidad y tipo de luminarias empleadas, la eficiencia de las bombillas o lámparas utilizadas, el diseño del entorno y la necesidad de mantener niveles de iluminación para cumplir con los estándares de seguridad y comodidad específicos.

Las cargas de iluminación desempeñan un papel fundamental en la planificación y el diseño de sistemas de iluminación, ya que influyen en la disposición y selección de las luminarias, la ubicación estratégica de interruptores y controles, y la implementación de estrategias de iluminación específicas, como la iluminación enfocada en tareas o la creación de un ambiente lumínico general.

Teniendo en cuenta el nivel mínimo de iluminación en función de la zona de trabajo según el DB HE 0 (Tabla 22), junto con los consumos típicos de iluminación en una vivienda, se ha seleccionado una carga de iluminación de 3.8 W/m^2 .

Es importante señalar que el software empleado no permite la inserción directa de esta carga en lux (que denota la cantidad de luz proyectada en una superficie y equivale a un Lumen por metro cuadrado). Sin embargo, el DB HE incorpora una tabla que facilita la estimación de la

potencia disipada (W/m^2) a iluminancia media (lux) (Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja IETcc, 2022), *Tabla 23*).

Name:
Iluminacion vivienda

Lighting Power: W **Watts Per Space Floor Area:** W/m^2 **Watts Per Person:** W/person

Fraction Radiant: 0.800000 **Fraction Visible:** 0.200000

Return Air Fraction: 0.000000

Figura 21. Introducción de cargas de iluminación en Open Studio.

Zonas o parte del lugar de trabajo	Nivel mínimo de iluminación (lux)
Zonas donde se ejecuten tareas con:	
1º Bajas exigencias visuales	100
2º Exigencias visuales moderadas	200
3º Exigencias visuales altas	500
4º Exigencias visuales muy altas	1.000
Areas o locales de uso ocasional	50
Areas o locales de uso habitual	100
Vías de circulación de uso ocasional	25
Vías de circulación de uso habitual	50

Tabla 22. Nivel mínimo de iluminación en función de la zona de trabajo. (Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja IETcc, 2022)

Iluminancia media (lux)	Potencia (W/m^2)
100	1
200	2
300	3
400	4
500	5
1000	10

Tabla 23. Aproximación de la potencia disipada a partir de la iluminación media. (Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja IETcc, 2022)

5.5.4 Carga de equipamiento

Hacen referencia a la energía consumida por los diversos aparatos y dispositivos eléctricos en cada una de las zonas del modelo. Estas cargas pueden diferir según el tipo de dispositivo, su propósito, su eficiencia y la manera en que son empleados. El proceso de entrada para estos datos es similar al utilizado en la definición de las cargas de iluminación.

Para las cargas de equipamiento se han tenido en cuenta los siguientes equipos eléctricos:

Equipo	Uso diario (h)	Potencia (W)
Lavadora	1,5	500
Lavavajillas	1,5	1200
Microondas	0,1	900
Vitrocerámica	1,5	1200
Frigorífico	24	130
Congelador	24	110
Plancha	0,5	1200
Horno	0,2	2000
Televisión	5	50
Secador	0,1	1200

Tabla 24. Detalles de dispositivos eléctricos en vivienda.

Cálculo de carga de equipamiento:

$$\text{Carga de equipamiento semanal} = n^{\circ}\text{dias semana} * (\text{uso}_{\text{aparato}} * \text{potencia}_{\text{aparato}})$$

$$\text{Carga de equipamiento semanal} = 80990 \text{ Wh}$$

$$\text{Carga de equipamiento por superficie} = \frac{80990}{122.3} = 662.22 \text{ Wh/m}^2$$

$$\text{Carga de equipamiento horaria por superficie} = \frac{662.22}{7 * 24} = 3.94 \text{ W/m}^2$$

Name: Equipamiento vivienda

Design Level: Watts Per Space Floor Area: 3.90000 W/m² Watts Per Person: W/person

Fraction Latent: 0.000000 Fraction Radiant: 0.700000

Fraction Lost: 0.000000

Figura 22. Introducción de cargas de equipamiento en EnergyPlus

5.5.5 Carga de masa interna

Estas cargas están referidas a los elementos de mobiliario presentes en un espacio específico, estos objetos tienen la capacidad de influir en la temperatura del entorno, ya que pueden absorber y liberar calor. Los materiales de alta densidad, como la madera y el metal, tienen la capacidad de almacenar calor, lo que puede incidir en la distribución térmica en una habitación. Asimismo, su disposición puede impactar en la circulación del aire y en la distribución del calor en el espacio.

Name:
Inercia Mobiliario 20 kJ/m3

Surface Area: m² **Surface Area Per Space Floor Area:** **Surface Area Per Person:** m²/person

Construction:

☒ Inercia Interna

Figura 23. Introducción de carga de masa interna en Open Studio.

5.5.6 Cargas de ventilación

Introduce la cantidad de aire de forma “controlada”, ya sea de forma automática (a través de sensores y medios mecánicos) o simplemente de manera manual mediante la abertura de ventanas en un determinado horario. Este caudal es dependiente de la tasa de ocupación del edificio (considerando a las personas como principal fuente de CO₂ emitido durante la respiración) (Josep Sole, 2019).

Según el DB HS (Documento básico de Salubridad) para conseguir una calidad de aire mínima en la vivienda serán necesarias tres condiciones:

1. En los locales habitables de las viviendas debe aportarse un caudal de aire exterior suficiente para conseguir que en cada local la concentración media anual de CO₂ sea menor que 900 ppm y que el acumulado anual de CO₂ que exceda 1.600 ppm sea menor que 500.000 ppm·h, en ambos casos con las condiciones de diseño del apéndice C.
2. El caudal de aire exterior aportado debe ser suficiente para eliminar los contaminantes no directamente relacionados con la presencia humana. Esta condición se considera satisfecha con el establecimiento de un caudal mínimo de 1,5 l/s por local habitable en los periodos de no ocupación.

3. Las dos condiciones anteriores se consideran satisfechas con el establecimiento de una ventilación de caudal constante acorde con la *Tabla 25*.

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

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

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

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

Tabla 25. Caudales mínimos para ventilación de caudal constante habituales (DB-HS Salubridad, 2022)

Dado que estamos considerando el caso de una vivienda unifamiliar en estudio, llevar a cabo un análisis exhaustivo de las cargas de ventilación en cada espacio resulta ineficiente tanto desde el punto de vista económico como práctico. Por consiguiente, se ha optado por la definición de un único espacio y su correspondiente sistema de ventilación que cubre la totalidad de la vivienda.

Con el objetivo de asegurar una calidad óptima del aire en todos los rincones de la vivienda, se ha implementado una tasa de ventilación uniforme de 5 l/s, es decir, 0,005 m³/s.

5.5.7 Carga por infiltración

Se entiende por infiltraciones los intercambios de aire que no son controlados, es decir que no se producen a través del sistema de ventilación. Las infiltraciones de un edificio se producen por la diferencia de presiones existentes entre el exterior y el interior del edificio (inducidas tanto por el viento, como por la diferente presencia de vapor de agua u otros parámetros) y se realizan a través de todos los elementos pertenecientes a la envolvente térmica (huecos, opacos y pasos de instalaciones o aberturas de admisión), y especialmente a través de las soluciones de encuentros constructivos entre las mismas (Guía de aplicación DB HE 2019, 2022).

En el contexto de este modelo, hemos definido tres categorías de infiltración:

- **Infiltración constante:** se caracteriza por mantener un flujo constante de aire a lo largo del tiempo debido al ingreso ininterrumpido y predecible de aire no deseado a un edificio a través de aberturas y fisuras en su envolvente.
- **Infiltración por ocupación:** se trata de la introducción imprevista de aire exterior que se produce al abrir o cerrar puertas y ventanas, durante el ingreso o salida de personas del edificio, o debido a actividades que ocasionan alteraciones en la presión del aire interior. Esta infiltración es influenciada directamente por las acciones

humanas y puede variar a lo largo del tiempo en función de la ocupación del edificio y las actividades realizadas en su interior.

- **Infiltración nocturna de verano:** en las noches de verano, las temperaturas en el exterior tienden a ser más frescas que dentro del edificio, causando una corriente de aire que fluye desde afuera hacia adentro. Esta infiltración nocturna puede generar una sensación refrescante en el edificio, contribuyendo a disminuir la temperatura interior y a reducir la acumulación de calor durante el día.

Teniendo en cuenta el diseño, las propiedades de la envolvente y las condiciones de DB-HS Salubridad se han establecido las siguientes infiltraciones.

Infiltración constante	Infiltración por ocupación	Infiltración nocturna de verano
0,15 ach	0,00016 m/s	4 ach

Tabla 26. Detalles de infiltraciones.

5.5.8 Carga de sistemas de agua

Esta carga abarca la cantidad de agua utilizada por los diferentes dispositivos de los espacios residenciales. En este caso, se han tenido en cuenta, duchas, lavabos, fregadero, lavadoras, etc.

Para el cálculo de la demanda de ACS se han seguido las indicaciones establecidas dentro del documento básico de ahorro de energía (DB-HE 4), en el cual se encuentran recogidos valores de demanda de agua caliente sanitaria para edificios de uso residencial privado considerando las necesidades de 28 litros/día por persona y una temperatura referencial de 60°C (Ministerios de transportes, 2022).

Por lo tanto, al tratarse nuestro proyecto de una vivienda unifamiliar se han considerado 28 litros al día por persona.

Criterio de demanda	Litros/día·persona
Hospitales y clínicas	55
Ambulatorio y centro de salud	41
Hotel *****	69
Hotel ****	55
Hotel ***	41
Hotel/hostal **	34
Camping	21
Hostal/pensión *	28
Residencia	41
Centro penitenciario	28
Albergue	24
Vestuarios/Duchas colectivas	21
Escuela sin ducha	4
Escuela con ducha	21
Cuarteles	28
Fábricas y talleres	21
Oficinas	2
Gimnasios	21

Figura 24. Demanda orientativa de ACS para usos distintos en residencial privado. (Ministerios de transportes, 2022)

Además de la valoración de la demanda se ha de añadir la ocupación de la vivienda a estudiar, en este caso el número de personas a considerar que residen en la vivienda es 4, dado que existen 3 dormitorios (Ministerios de transportes, 2022).

Una vez disponemos de estos datos previos se determinará el consumo de ACS diario:

$$Caudal_{ACS} = 28 \frac{\text{litros}}{\text{persona} \cdot \text{día}} * 4 \text{ personas} = 112 \frac{\text{litros}}{\text{día}} = 0.004667 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Para la determinación de la demanda térmica de ACS es necesario además de conocer la temperatura a la que se desea obtener el ACS (60°C), conocer la temperatura del agua de red para cada mes del año y localización (Tabla 27).

Ciudad	En.	Febr.	Mzo.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ag.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Santander	10	10	11	11	13	15	16	16	16	14	12	10
Teruel	6	7	8	10	12	15	18	17	15	12	8	6
Madrid	8	8	10	12	14	17	20	19	17	13	10	8
Málaga	12	12	13	14	16	18	20	20	19	16	14	12

Tabla 27. Temperaturas del agua de la red (UNE 94.002/95) (Asociación Técnica Española de Climatización, 2010)

5.6 HORARIOS

Los horarios desempeñan un papel fundamental en la simulación, ya que son responsables de definir las rutinas seguidas por los parámetros físicos y las máquinas dentro del modelo. Estos horarios habilitan las horas de funcionamiento de las cargas térmicas, las temperaturas de los termostatos en las habitaciones y sistemas de climatización, así como otros factores, como los momentos de apertura de ventanas durante las diferentes estaciones del año.

En nuestro proyecto, se presentan diversos tipos de horarios:

- Programa de actividad (Activity Schedule): Este horario captura los datos de actividad de las personas a lo largo del día, abarcando tareas, estudios, trabajo y otras ocupaciones.
- Programa de ocupación (Fractional): A diferencia del horario de actividad, este se enfoca en el tiempo durante el cual las personas están presentes en un espacio determinado. Como se ha definido en las cargas de ocupación (5.5.1 *Cargas por ocupación*) el número de personas que residen en la vivienda son cuatro, este horario nos permite determinar las horas en las que se encuentran todos los residentes tendrá un valor fraccional de "1" mientras que cuando la casa se encuentre vacía el valor será de '0'.
- Programa de iluminación (Fractional): Este programa establece los tiempos de encendido y apagado de la iluminación artificial en los espacios definidos en (5.5.3 *Cargas de iluminación*). Su funcionamiento es igual que en el programa de ocupación, nos permite determinar el porcentaje de iluminación que se utiliza en la vivienda en determinadas horas del día, si a las 22:00 están el 90% de las luces encendidas el valor a introducir es 0.9.
- Programa de equipamiento (Fractional): Este programa establece los horarios de encendido y apagado de cada uno de los dispositivos que componen las distintas instalaciones basándose en (5.5.4 *Carga de equipamiento*). Del mismo modo, que en iluminación y ocupación nos permitirá implementar sobre nuestro modelo el porcentaje de aparatos eléctricos utilizados a lo largo del día.
- Programa de infiltración (Fractional): Este programa define los momentos en los que se produce una apertura en áreas específicas del edificio para permitir la entrada de aire y la entrada de aire por huecos de la vivienda ("fugas"). Por ejemplo, para este último caso se establecerá un valor de "1" debido a que la infiltración en la vivienda se produce de forma constante.

- Programas de calentamiento y enfriamiento (Temperature): Estos horarios establecen los límites de temperatura (mínima y máxima) de los sistemas. En nuestro modelo, se aplica a termostatos de verano e invierno con el fin de lograr un confort adecuado en diferentes épocas del año. También se presentan como "SetPoints" en cada una de las instalaciones de calefacción (HTtgSetp) y refrigeración (ClgSetp) para controlar las temperaturas de entrada y salida, y detectar anomalías o comportamientos irregulares del sistema.
- Programa de vestimenta (Clothing Schedule): Consiste en seleccionar las prendas de vestir a lo largo del período de análisis, con el objetivo de reducir el consumo de los sistemas HVAC.
- Programa de velocidad del aire: Este plan establece modificaciones en la velocidad del aire en diferentes espacios. Este tipo de horario resulta especialmente útil para ajustar las velocidades de salida de los sistemas de ventilación y climatización. Además, es importante tener en cuenta que los valores excesivamente altos de velocidad en áreas específicas pueden afectar al confort deseado debido a la disminución de la sensación térmica.

5.7 ORGANIZACIÓN DE ESPACIOS

Los espacios son las diferentes zonas o áreas de un modelo o edificio que se utilizan para representar las características únicas de cada zona como, por ejemplo, cargas térmicas, cargas de iluminación, cargas de equipos de agua, uso del espacio, localización, etc.

En nuestro caso se han dividido según las zonas de una residencia común, es decir, salón, cocina, baño, habitaciones y garaje, las cuales se han especificado en el diseño arquitectónico de la residencia.

Distribución de las estancias

La disposición de las estancias representa un elemento esencial en el proceso de diseño y planificación de una residencia, puesto que puede tener un impacto significativo en cuanto a la comodidad, funcionalidad y eficiencia energética en la vivienda.

Esta disposición, puede variar en función de las dimensiones de la vivienda, las necesidades y preferencias de sus inquilinos, así como por las características del entorno en el cual está ubicada, por eso se debe considerar, en particular, factores térmicos como la insolación o las sombras, tanto como, las actividades que tendrán lugar en cada ambiente, a fin de disponer las estancias de manera óptima.

Por consiguiente, se sugiere que las áreas de mayor concurrencia de personas o donde se desenvuelven las actividades de mayor duración se sitúen en la fachada sur, a fin de beneficiarse de una mayor comodidad, mientras que los espacios menos frecuentados se ubiquen en la fachada norte. De esta manera, se puede mejorar la calidad de vida de los residentes y reducir el consumo energético de la vivienda (Arquitectura Bioclimática como parte fundamental para el ahorro de energía en edificaciones, 2013).

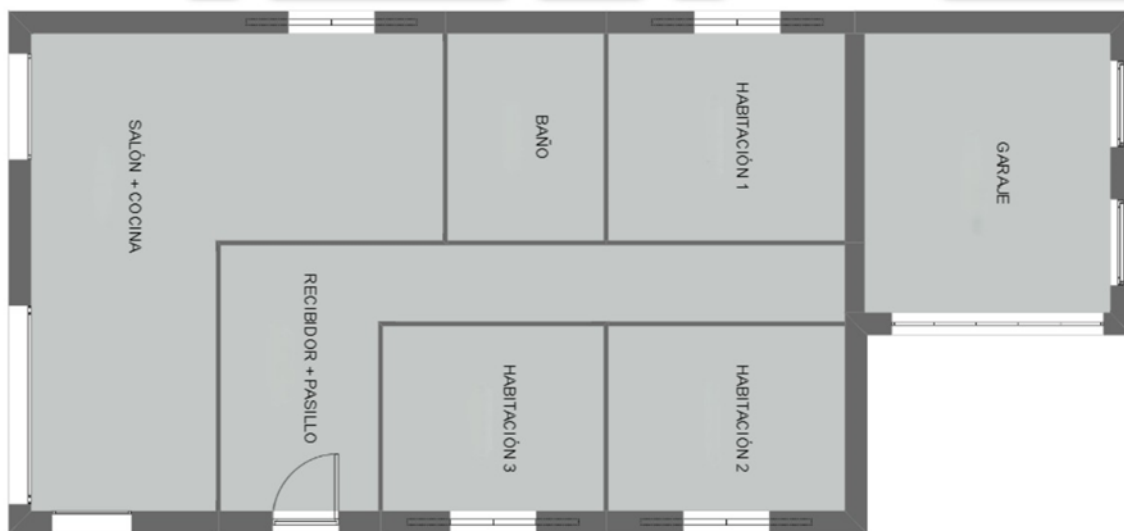


Figura 25. Distribución de estancias en la vivienda.

5.9 PROCEDIMIENTO DE MODELADO EN SKETCHUP Y OPEN STUDIO

5.9.1 Modelado en Sketchup

Comenzaremos dirigiéndonos a Sketchup, en este caso se ha utilizado la versión de prueba más actualizada, Sketchup 2023, como se ha dicho anteriormente este programa está conectado con Open Studio y EnergyPlus a través de extensiones. Estas se han descargado e instalado previamente de forma gratuita de las páginas web de las respectivas aplicaciones (OpenStudio, 2023) (TrimbleInc., 2022). Antes de comenzar la construcción de la vivienda objeto de este TFG, se realizó un diseño 2D de la planta del edificio. Se buscaron diferentes modelos y se realizó el plano inicial de la vivienda a través de una plataforma online cuyo nombre es "Cedreo". Una vez obtenido el diseño del edificio, ésta se crea en Sketchup.

En primer lugar, se realiza la planta de la vivienda, se deben trazar las líneas una a una hasta formar las superficies deseadas. Esto requiere un grado de precisión y atención al detalle, ya que cada línea trazada debe corresponder con las medidas y proporciones correctas de la estructura final (*Figura 26*).

En este caso se ha escogido la segunda opción debido a que el modelo a estudiar es un edificio residencial no complejo, pero en el caso de edificios más complejos, como hospitales, estaciones, aeropuertos, restaurantes, etc., es cierto que puede ser útil importar una imagen del plano cenital para facilitar el proceso de diseño y evitar errores. Sin embargo, incluso en estos casos, es importante verificar que la imagen se corresponda con las medidas y proporciones correctas antes de empezar a trabajar en el diseño de la estructura.

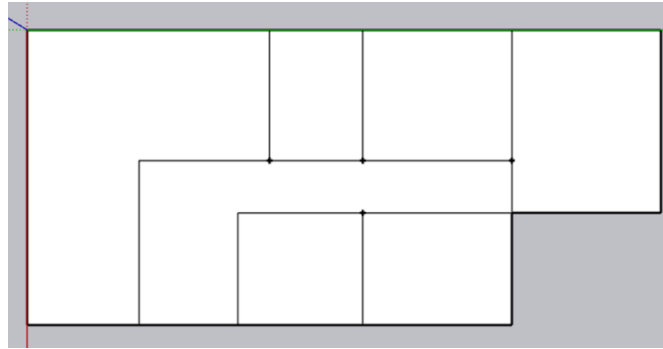


Figura 26. Plano arquitectónico de la residencia en Sketchup

Una vez completado el modelo 2D, es necesario realizar la extrusión de las paredes para darle altura y transformarlo en un modelo 3D. Este proceso implica la elevación de las líneas de la estructura para crear las paredes y producir un modelo tridimensional que permita visualizar el espacio de la estructura. Para ello, se selecciona todo el trazado realizado utilizando una herramienta integrada en el propio Sketchup llamada "Create Space for Diagram" (Figura 27), esta herramienta permite la posibilidad de seleccionar la altura deseada para las paredes de nuestro modelo arquitectónico, en la unidad de medida que se requiere. Además, permite elegir el número de plantas que se desean agregar al edificio, lo que resulta de gran utilidad para la creación de modelos tridimensionales detallados y precisos.

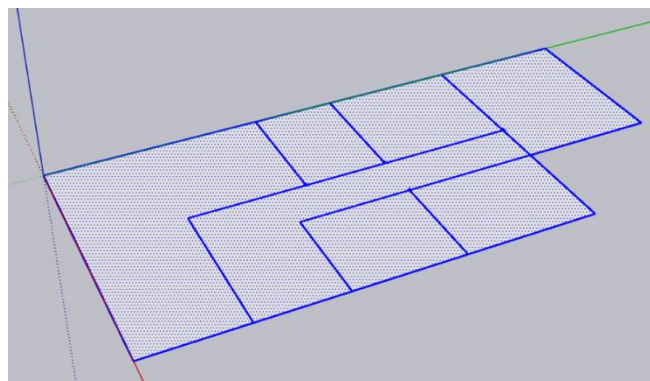


Figura 27. Selección de superficies que conforman el suelo y uso de la herramienta "Create Spaces From Diagram"

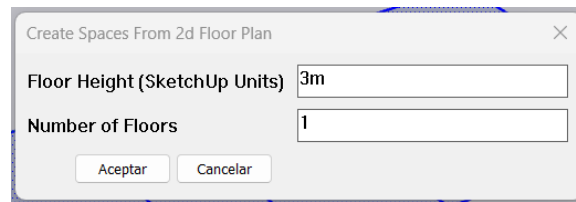


Figura 28. Ventana emergente de la herramienta donde se ha de especificar la altura de las paredes (acompañado con su unidad métrica) y el número de plantas residenciales'

Después de la extrusión de las paredes, el programa Sketchup añade automáticamente superficies para cada habitación, incluyendo el tejado (*Figura 29*). El programa cuenta con varios colores predefinidos para las diferentes superficies, el gris representa el suelo, el amarillo las paredes, el granate el tejado, el marrón las puertas y el azul transparente las ventanas.

Es importante destacar que Sketchup es uno de los programas de diseño más importantes actualmente, y cuenta con herramientas avanzadas de edición que permiten seleccionar cualquier material y aspecto para el diseño, lo que produce modelos arquitectónicos muy realistas. Sin embargo, en el caso de una simulación energética, la estética del edificio no es un factor relevante, por lo que se le puede dar menos importancia.

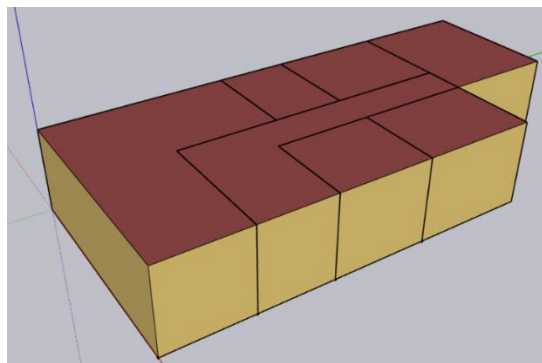


Figura 29. Superficie extruida

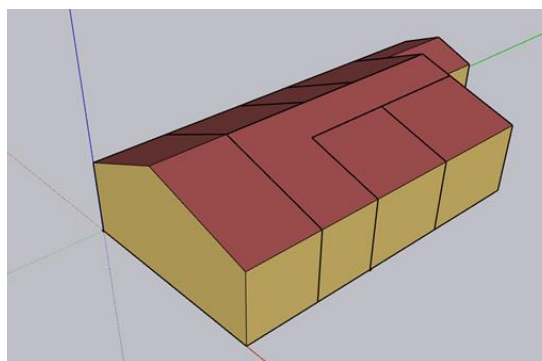


Figura 30. Modelado de tejado a dos aguas en Sketchup.

Después de haber construido la estructura principal de la vivienda, se procede a la colocación de puertas, ventanas y otros elementos adicionales, como puertas de garaje. Es importante tener en cuenta que estos elementos no se deben diseñar directamente sobre el modelo completo, ya que esto puede provocar errores y no mostrar las características asociadas a la puerta predeterminada del programa.

La forma correcta de implementar estos elementos en el modelo es la siguiente:

- Situar en la zona del modelo donde se desea colocar el elemento.
- Colocarse sobre la superficie donde se desea dibujar para que el programa detecte correctamente la superficie añadida.

En el caso de que una de las líneas de la superficie dibujada se encuentre sobre el plano inferior del modelo, el programa la detectará como una puerta. Si ninguna de las líneas del contorno se encuentra sobre la superficie inferior, el programa la tratará como una ventana. Siguiendo este proceso, se pueden diseñar y colocar elementos adicionales de forma precisa y sin errores en el modelo.

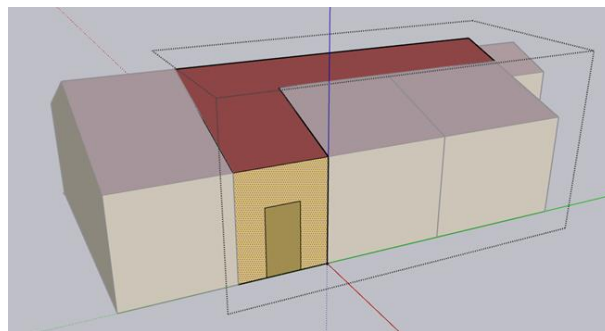


Figura 31. Selección del espacio a modificar

Para una mejor visualización de la zona a modificar, utilizaremos la función "Hide rest of model" que ocultará el resto del modelo mostrándonos únicamente el espacio sobre el que nos encontramos trabajando.



Figura 32. Barra de herramientas de visualización del modelo con la opción de "Hide Rest of Model" marcada

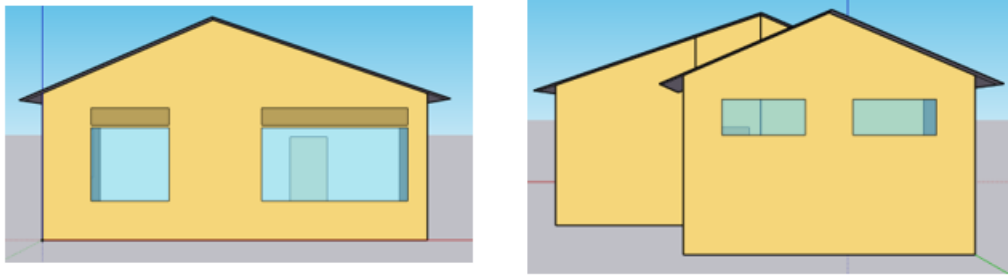


Figura 33. Vistas frontal y posterior

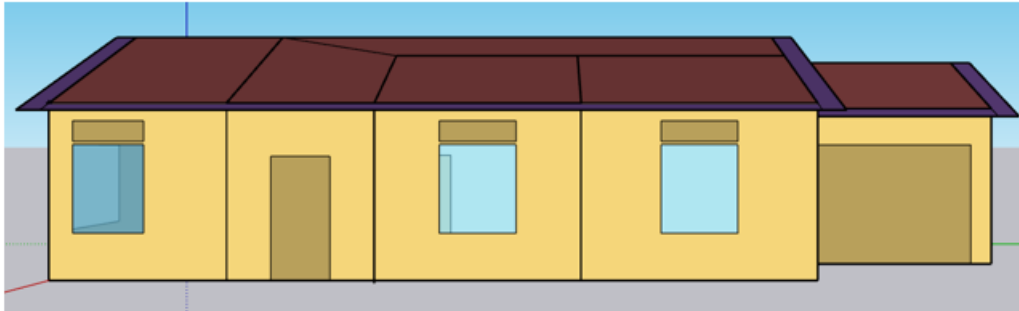


Figura 34. Perfil derecho

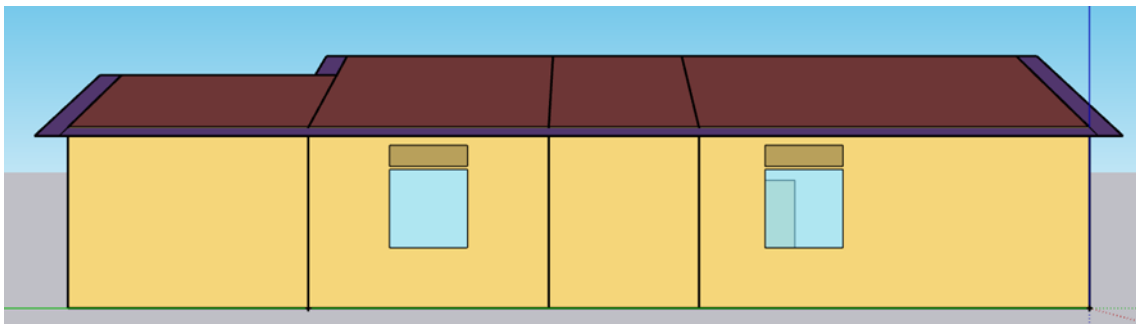


Figura 35. Perfil izquierdo.

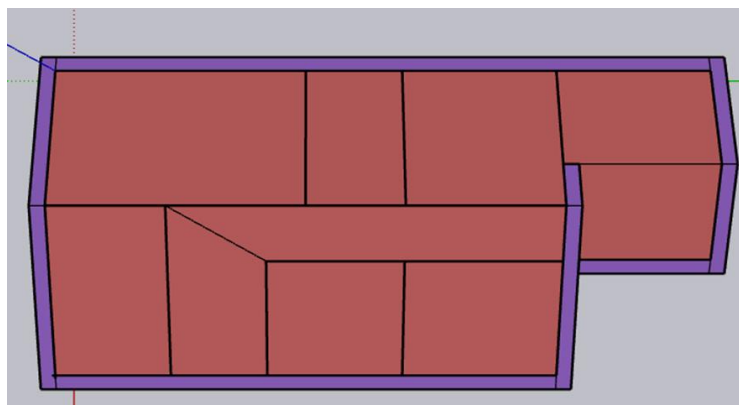


Figura 36. Vista en planta

Es importante tener en cuenta que a partir de un plano 3D, el programa ha establecido de forma predeterminada todas las paredes como exteriores, esto significa que se encuentran bajo condiciones climáticas externas, como el viento, la lluvia y la radiación. Además, las paredes interiores se tratan como paredes individuales, lo que puede generar problemas en la representación del modelo.

Para solucionar este problema, se puede utilizar la opción "Surface Matching", que permite intersecar las superficies comunes para tratarlas como una sola. Los pasos a seguir son los siguientes:

1. Seleccione la opción " Match in Entire Model " (*Figura 38*), ya que el programa utilizará esta opción únicamente a las paredes interiores comunes, puertas, etc.
2. Una vez que todas las superficies estén intersecadas, se utiliza "Match in Entire Model".

De esta manera, se podrán tratar las paredes interiores como paredes compartidas entre los espacios, mejorando la representación del modelo y evitando posibles errores en el diseño.

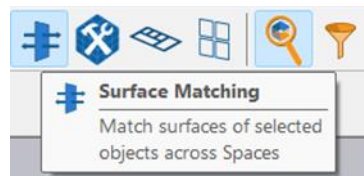


Figura 37. Herramientas de Sketchup con la opción de coincidencia de superficies marcada

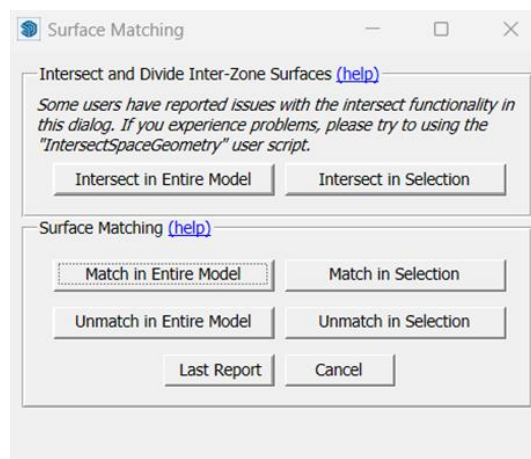


Figura 38. Ventana emergente de la herramienta coincidencia de superficies que nos permitirá intersecar las superficies seleccionadas

Para mejorar la visualización del modelo y observar si todas las superficies se encuentran intersecadas se colocará un plano de corte sobre la extrusión inicial y se desactivará la opción de mostrar relleno de sección (*Figura 39*). De esta manera, se obtendrá una mejor visualización de las paredes y puertas interiores del modelo.

1. Plano de sección
2. Mostrar planos de sección
3. Mostrar cortes de sección
4. Mostrar relleno de sección



Figura 39. Herramientas de visualización para planos de corte

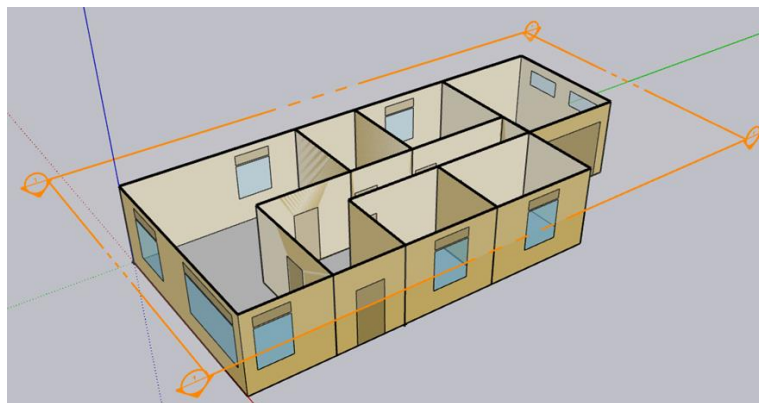


Figura 40. Plano de corte superior de la residencia

En segundo lugar, se procede a seleccionar la opción "Render by border condition", donde se mostrarán las superficies comunes en un tono verde y las no comunes en un tono azul. Debido a la complejidad de esta opción, es importante revisar cuidadosamente cada una de las superficies comunes para evitar posibles errores en la simulación energética.

Para realizar esta revisión, se puede utilizar la extensión de OpenStudio en Sketchup (*Figura 41*), la cual proporciona diversas opciones para analizar el modelo, como el tipo de superficie, la exposición al sol, las caras de cada superficie, etc. De esta manera, se pueden verificar con precisión las características de cada superficie y asegurar una simulación energética precisa y fiable.

Edit Object

OS:Surface

Name
SALON_5

Surface Type
Wall

Construction Name
AA PARED INTERIOR

Space Name
SALON

Outside Boundary Condition
Surface

Outside Boundary Condition Object
PASILLO_2

Sun Exposure
NoSun

Wind Exposure
NoWind

View Factor to Ground
☐ Hard Sized
☒ Autocalculate

Autocalculate

Figura 41. Interfaz de la extensión de Open Studio

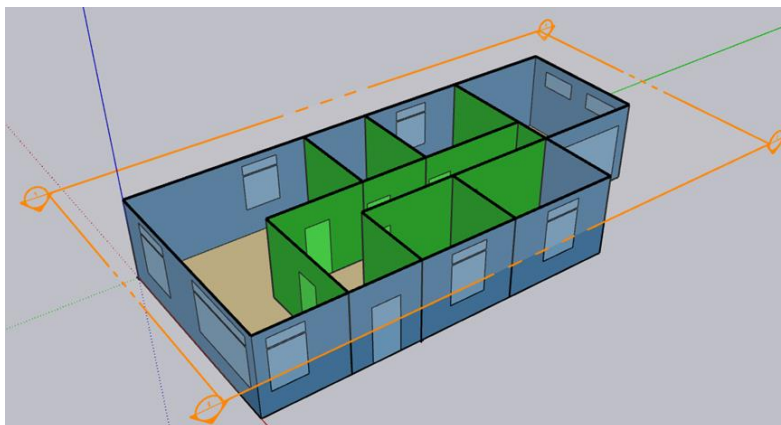


Figura 42. Vista bajo renderizado por condición limite (Render by Boundary Condition)

Como se puede observar, tanto las paredes interiores como las puertas se encuentran de color verde (*Figura 42*) lo cual indica que las paredes comunes son coincidentes y el modelo hasta la fecha ha sido realizado de forma correcta.

A continuación, se procede a seleccionar y designar los tipos de espacios y zonas térmicas del modelo. Para una mejor comprensión, es recomendable renombrar cada una de las superficies, espacios y zonas térmicas, y posteriormente comprobar cada una de ellas utilizando la extensión de Open Studio.

Una vez que se ha creado el modelo, se establecerán los diferentes espacios según se hayan definido en el documento 2D de la vivienda (*Figura 25*). Para ello, se empleará la herramienta "Set Attributes for Selected Spaces" (*Figura 43*), se seleccionará la zona a la que se desea modificar sus propiedades y aparecerá la ventana emergente correspondiente.

En principio, no será necesario modificar todos los campos, sino únicamente los tipos de espacio y las zonas térmicas para asegurar una correcta simulación energética del modelo.

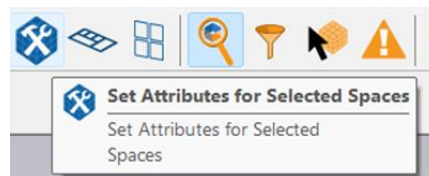


Figura 43. Herramientas de Sketchup para la designación de espacios y zonas térmicas

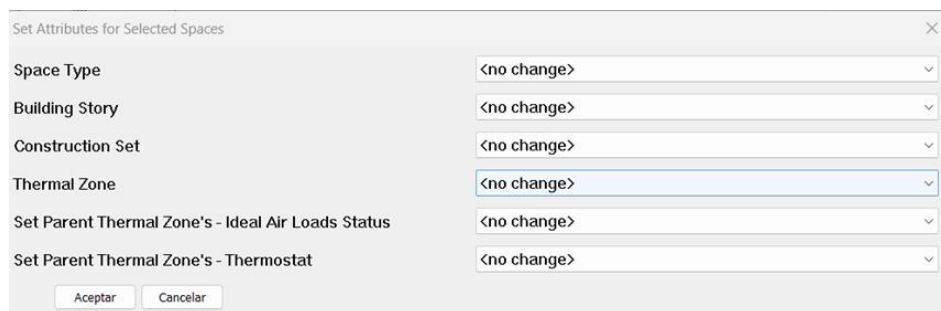


Figura 44. Ventana emergente para la designación de las distintas zonas del modelo

El programa ofrece distintas formas de visualización de nuestro modelo para poder observar si se han definido de forma correcta los distintos espacios, zonas térmicas, tipos de estructuras, etc.

1. Render by Surface Type
2. Render by Boundary Condition
3. Render by Space Type
4. Render by Thermal zone
5. Render by Building Story

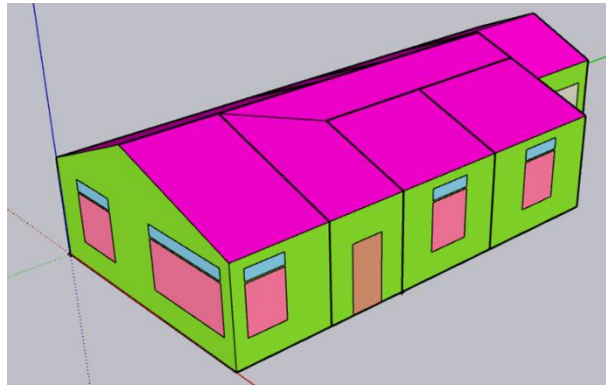
Renderizado por tipo de construcción

Figura 46. Renderizado según el tipo de construcción

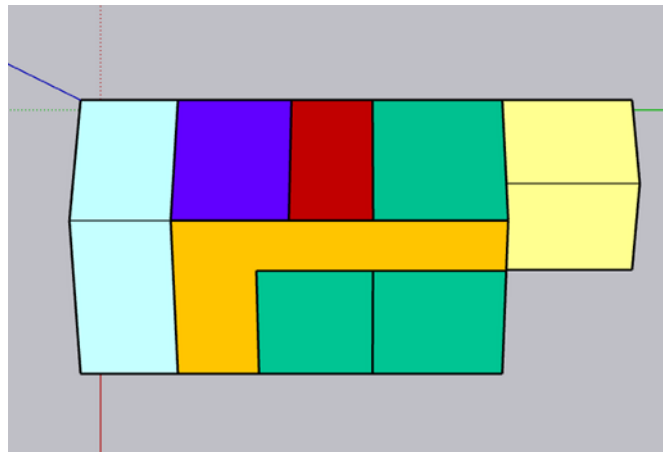
Renderizado por tipo de espacio

Figura 47. Renderizado según el tipo de espacio

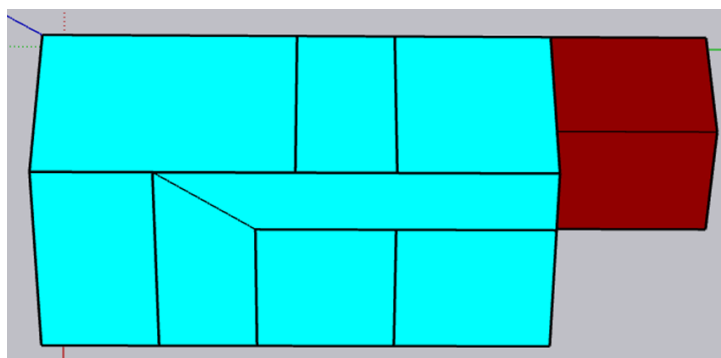
Renderizado por zona térmica

Figura 48. Renderizado según la zona térmica

5.9.3 Introducción de datos en Open Studio

Una vez completado el modelado tridimensional integral de nuestra vivienda unifamiliar, abarcando aspectos como la definición de superficies, tipologías de espacios y áreas térmicas. Con esta base sólida, estamos listos para incorporar los datos climatológicos, los horarios, las cargas térmicas y diseño de los sistemas de climatización altamente especializados, lo que permitirá desarrollar una simulación exhaustiva y precisa de todos los aspectos de nuestra vivienda en su conjunto.

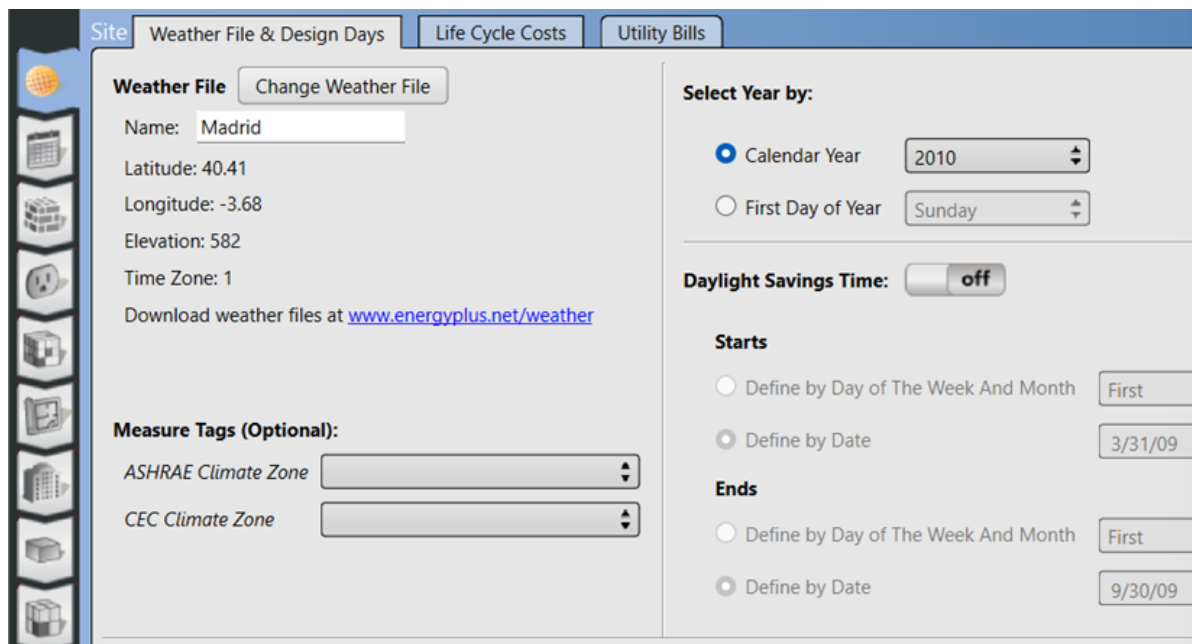
Definición de la climatología y período de simulación

En un primer paso, accedemos a la sección "Site" (*Figura 49*), donde se concentran todas las funciones relacionadas con la importación de archivos de diseño y datos climáticos.

Para incorporar los datos meteorológicos de la ubicación de estudio, nos dirigimos a la opción "Change Weather File" y seleccionamos el archivo .epw descargado previamente de la página oficial de los desarrolladores de la aplicación. Es crucial llevar a cabo una comparación rigurosa entre los datos del archivo y los obtenidos de la fuente original, como geodatos.net, para garantizar su plena concordancia y la exactitud del archivo proporcionado.

En una segunda etapa, debemos optar por un año específico para la simulación, ya que no todos los años presentan las mismas condiciones climáticas en términos de humedad, precipitaciones, nevadas y temperaturas. Este aspecto puede ejercer un impacto significativo en la simulación, especialmente si la residencia está próxima a un curso de agua o en un terreno complejo, o bien si se busca analizar las condiciones climáticas extremas.

En situaciones de este tipo, se puede seleccionar un año en el que se haya registrado alguna anomalía climática para evaluar la vivienda en condiciones extremas. Al hacerlo, se podrá obtener una comprensión más precisa del comportamiento térmico de la vivienda y tomar acciones encaminadas para optimizar su eficiencia energética.



The screenshot displays the 'Weather File & Design Days' configuration window. On the left, a vertical toolbar contains icons for various simulation components. The main panel is divided into several sections: 'Weather File' with a 'Change Weather File' button and input fields for location (Name: Madrid, Latitude: 40.41, Longitude: -3.68, Elevation: 582, Time Zone: 1); a link to 'www.energyplus.net/weather'; 'Measure Tags (Optional)' with dropdowns for 'ASHRAE Climate Zone' and 'CEC Climate Zone'; 'Select Year by:' with 'Calendar Year' selected (2010) and 'First Day of Year' set to 'Sunday'; 'Daylight Savings Time' set to 'off'; 'Starts' with 'Define by Date' selected (3/31/09); and 'Ends' with 'Define by Date' selected (9/30/09).

Figura 49. Menú de Localización: Introducción de datos climatológicos y periodo de simulación

El segundo archivo a importar sería .ddy , este archivo contiene toda la información relativa a los días de diseño, fechas, temperaturas máximas y mínimas, humedades etc.

Los días de diseño en una simulación energética son un periodo de tiempo representativo que se utiliza para analizar y evaluar nuestro modelo bajo condiciones extremas o críticas que puedan tener un impacto significativo en la gestión energética y rendimiento del modelo.

Como el objetivo es analizar los días de condiciones extremas, se analizarán los días donde se alcance tanto la máxima como la mínima, temperatura, radiación solar, humedad y velocidad del viento, es decir, los días correspondientes a verano e invierno. En este caso se han escogidos el día 21 de enero y el día 21 de julio cuando se suelen alcanzar las condiciones climáticas más frías y calurosas.

Design Days Import From DDY

Design Days

Date
Temperature
Humidity
Pressure Wind Precipitation
Solar
Custom

Design Day Name	All	Day Of Month	Month	Day Type
	☐	21 Apply to Selected	7 Apply to Selected	SummerDesignDay Apply to Selected
Madrid Ann Clg .4% Condns DB=>MWB	☐	21	7	SummerDesignDay
Madrid Ann Clg .4% Condns DP=>MDB	☐	21	7	SummerDesignDay
Madrid Ann Clg .4% Condns Enth=>MDB	☐	21	7	SummerDesignDay
Madrid Ann Clg .4% Condns WB=>MDB	☐	21	7	SummerDesignDay
Madrid Ann Htg 99.6% Condns DB	☐	21	1	WinterDesignDay
Madrid Ann Htg Wind 99.6% Condns WS=>MCDB	☐	21	1	WinterDesignDay
Madrid Ann Hum_n 99.6% Condns DP=>MCDB	☐	21	1	WinterDesignDay

Figura 50. Detalles fechas de días de diseño

Definición de horarios

En esta sección, Open Studio ofrece la capacidad de seleccionar todas las variables requeridas para configurar los horarios de cargas térmicas, termostatos de sistemas, actividades...

Para comenzar, se hace clic en el botón "+" ubicado en la esquina inferior izquierda con el fin de crear un nuevo horario. A continuación, Open Studio proporciona la opción de especificar el tipo de horario deseado.

Define New Schedule

Schedule Type

Numeric Type: Continuous (unitless)

Lower Limit: None

Upper Limit: None

Figura 51. Definición de tipo de horario en Open Studio.

Una vez establecido aparecerá la interfaz (Figura 52), donde se encuentran las siguientes características:

1. Tipo de horario
2. Periodo
3. Días de la semana
4. Margen horario
5. Resumen mensual de cada horario

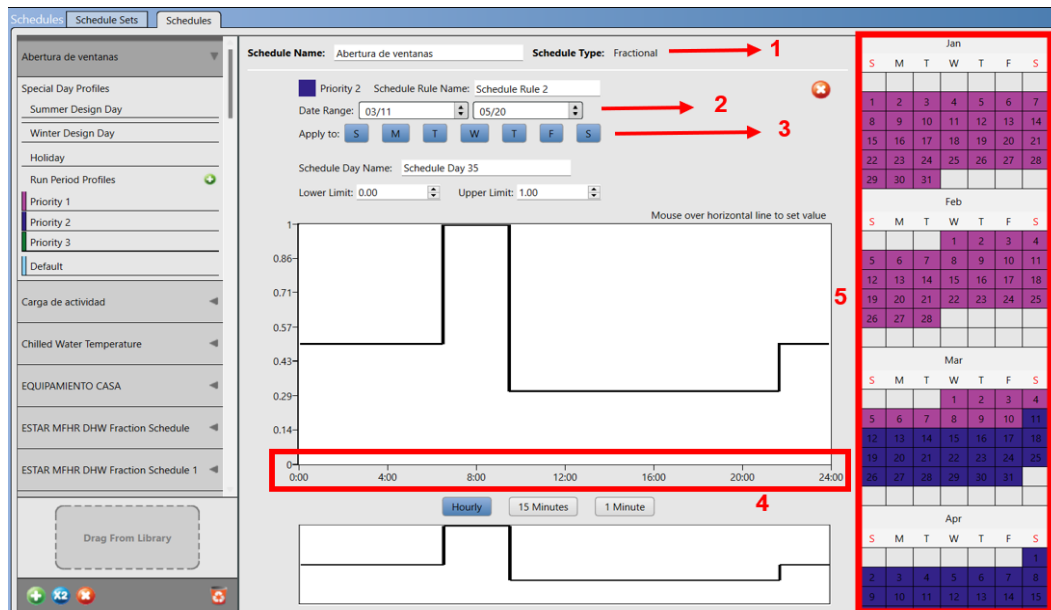


Figura 52. Interfaz de horarios ("Schedules") en Open Studio

Definición de tipos de espacio

En este apartado se introducirán todos los horarios y construcciones referidas a cada uno de los espacios, además de las cargas de ventilación (5.5.6 *Cargas de ventilación*) e infiltración (5.5.7 *Carga por infiltración*).

Space Type Name	All	Rendering Color	Default Construction Set	Default Schedule Set	Design Specification Outdoor Air	Space Infiltration Design Flow Rates	Space Infiltration Effective Leakage Areas
	☐		Apply to Selected	Apply to Selected	Apply to Selected	Apply to Selected	Apply to Selected
ESPACIO VIVIENDA	☐		CONSTRUCCION VIVIENDA		Ventilacion mecanica	Infiltracion ocupación Infiltracion constante 0.15 AC Infiltracion nocturna verano	

Figura 53. Interfaz de tipos de espacio en Open Studio.

Caracterización de superficies

Open Studio ofrece en "Spaces" un resumen de todos los datos constructivos y de cargas de cada una de las zonas de nuestro modelo. Abarca desde la asignación de las zonas en función de tipos de espacios y zonas térmicas, hasta la definición de cada una de las subsuperficies (ventanas, puertas y puerta de garaje) y superficies (paredes, suelos y tejados) que se habían caracterizado en apartados anteriores.

Propiedades (Properties)

En este apartado se clasifican las zonas en función de su nombre, tipo de espacio y zona térmica. En cuanto al resto de campos no es necesario su inclusión ya que se trata de opciones predeterminadas cuyo uso únicamente viene dado en caso de un comportamiento no deseado de la simulación o la no correcta definición de los parámetros iniciales.

Space Name	All	Story	Thermal Zone	Space Type	Default Construction Set	Default Schedule Set	Part of Total Floor Area
BAÑO	☐	Building Story 1	ZONA TERMICA	ESPACIO VIVIENDA			☒
COCINA	☐	Building Story 1	ZONA TERMICA	ESPACIO VIVIENDA			☒
GARAJE	☐	Building Story 2	ZONA TERMICA	ESPACIO VIVIENDA			☒
HABITACION 1	☐	Building Story 1	ZONA TERMICA	ESPACIO VIVIENDA			☒
HABITACION_2	☐	Building Story 1	ZONA TERMICA	ESPACIO VIVIENDA			☒
HABITACION_3	☐	Building Story 1	ZONA TERMICA	ESPACIO VIVIENDA			☒
PASILLO	☐	Building Story 1	ZONA TERMICA	ESPACIO VIVIENDA			☒
SALON	☐	Building Story 1	ZONA TERMICA	ESPACIO VIVIENDA			☒

Figura 54. Interfaz de propiedades principales del modelo en Open Studio.

Cargas térmicas (Loads)

El programa presenta a modo de resumen las cargas térmicas introducidas para cada uno de los espacios.

Space Name	All	Load Name	Multiplier	Definition	Schedule	Activity Schedule (People Only)
BAÑO	☐	Inercia Interna	1.000000	Inercia Mobiliario 20 kJ/m3		
	☐	Ocupacion	1.000000	Ocupacion vivienda	OCUPACION CASA	Carga de actividad
	☐	Iluminación	1.000000	Iluminacion vivienda	LUCES CASA	
	☐	Equipamiento	1.000000	Equipamiento vivienda	EQUIPAMIENTO CASA	
	☐	Infiltracion ocupación			OCUPACION CASA	
	☐	Infiltracion constante 0.15 AC			INFILTRACION CONSTANT	
	☐	Infiltracion nocturna verano			INFILTRACION NOCTURNA	

Figura 55. Interfaz de resumen de cargas térmicas por estancia en Open Studio.

Superficies (Surfaces)

La finalidad de este subapartado es resumir a modo de tabla las superficies de cada una de las zonas del modelo, se ha escogido la zona definida como “Baño” para poder entender mejor la información desplegada en la *Figura 56*.

Space Name	All	Surface Name	Surface Type	Construction	Outside Boundary Condition	Outside Boundary Condition Object	Sun Exposure	Wind Exposure
	☐		Apply to Selected	Apply to Selected	Apply to Selected		Apply to Selected	Apply to Selected
BAÑO	☐	SUELO_BAÑO	Floor	SUELO EN CONTACTO TIEF	Ground		NoSun	NoWind
	☐	BAÑO_2	Wall	PARED INTERIOR	Surface	COCINA_4	NoSun	NoWind
	☐	BAÑO_4	Wall	PARED INTERIOR	Surface	HABITACION_2	NoSun	NoWind
	☐	TEJADO_4	Roof/Ceiling	CUBIERTA	Outdoors		SunExposed	WindExposed
	☐	BAÑO_3	Wall	PARED EXTERIOR	Outdoors		SunExposed	WindExposed
	☐	BAÑO_1	Wall	PARED INTERIOR	Surface	PASILLO_4	NoSun	NoWind

Figura 56. Interfaz de resumen de superficies por estancia en Open Studio

Subsuperficies (Subsurfaces)

Por último, se encuentra el apartado de subsuperficies, este tiene la misma finalidad que el apartado anterior, pero para las superficies que han sido construidas en el modelado 3D sobre otras, es decir, ventanas, puertas y puertas de garaje. En la figura se puede observar de forma clara las subsuperficies del “Baño” y las construcciones asociadas a cada una de estas.

Space Name	All	Subsurface Name	Parent Surface Name	Subsurface Type	Multiplier	Construction	Outside Boundary Condition Object
	☐			Apply to Selected	Apply to Selected	Apply to Selected	
BAÑO	☐	PUERTA_PASILLO	BAÑO_1	Door	1.000000	PUERTA INTERIOR	PUERTA_PASILLO_BAÑO

Figura 57. Interfaz resumen de subsuperficies por estancia

Caracterización de zonas térmicas

En este apartado aparecerán las zonas térmicas seleccionadas para el modelo. En este caso la zona térmica será la zona habitable de la vivienda para colocar un único termostato y controlar la temperatura ambiente de todas las zonas en conjunto y así poder modelar de forma más eficiente los sistemas de climatización. Además, ofrece un pequeño resumen de los nombres de los circuitos utilizados junto a su equipamiento y los termostatos de calefacción y refrigeración.

Name	All	Rendering Color	Turn On Ideal Air Loads	Air Loop Name	Zone Equipment	Cooling Thermostat Schedule	Heating Thermostat Schedule
	☐		☐				
			Apply to Selected		Apply to Selected	Apply to Selected	Apply to Selected
ZONA TERMICA	☐	☐	☐	CIRCUITO DE AIRE	Air Terminal Single Duct	T Refrigeracion constante	T Calefaccion constante 1

Figura 58. Interfaz de zona térmica en Open Studio.

Diseño de sistemas

La interfaz de diseño en Open Studio difiere de los diseños convencionales utilizados en instalaciones habituales o en otras aplicaciones, en las que se puede colocar directamente el cableado y los elementos, este sistema divide los elementos en función del área de los equipos y la zona de demanda por lo que es necesario tener claro cada una de las dos zonas y haber estudiado los diseños básicos habituales del programa antes de indagar en sistemas específicos como los considerados en este estudio.

En este estudio, se analizarán dos instalaciones que tienen la geotermia como base, y ambas comparten el diseño de la bomba de calor geotérmica y la instalación de ACS. La principal diferencia en el diseño de ambas radica en los demás circuitos. Es importante señalar que Open Studio no permite la creación de un sistema que funcione simultáneamente con fluidos calientes y fríos, por lo que se requiere la creación de dos circuitos independientes, uno para agua caliente y otro para agua fría.

Los componentes a utilizar dentro del programa son los siguientes:

- **Bomba de circulación de velocidad variable:** Los circuitos de planta y del condensador deben de disponer de bombas de circulación para poder impulsar el fluido de forma constante a lo largo del circuito.

En este contexto, se ha optado por una bomba de circulación de velocidad variable. Esta elección permite regular la velocidad de impulsión, impidiendo un funcionamiento continuo a máxima potencia. Como resultado, la bomba puede adaptarse de manera más eficiente a la demanda prevista, lo que conlleva considerables ahorros de energía.

- **Acumulador ACS:** Se trata del elemento que funciona en el programa como un depósito de inercia, su función principal es resolver la ecuación diferencial que gobierna el balance energético del tanque de agua.

Los valores auto dimensionados se resuelven en dos tipos de situaciones, cuando el calefactor se encuentra encendido y cuando está apagado, es decir “dentro de ciclo”

y “fuera de ciclo”. Esto permite al usuario detallar características no tan comunes en otros programas como, las pérdidas ambientales y las cargas parásitas (pilotos, termostatos, ventiladores, ...) en cada uno de los ciclos.

Las opciones de control permiten que el calentador realice ciclos, durante el ciclo, el elemento se puede encontrar encendido o apagado.

- El calentador permanece completamente encendido mientras calienta el tanque hasta la temperatura establecida, una vez se alcanza el punto de ajuste, el calentador se apaga.
- El calentador permanece apagado hasta que la temperatura del tanque cae por debajo de la temperatura de “conexión”, es decir, la temperatura de referencia menos la diferencia de temperatura de la banda muerta.

El calentador se enciende y apaga continuamente para mantener la temperatura del tanque dentro de la banda muerta.

- **Intercambiador enterrado:** Este elemento simula el intercambiador enterrado, su función principal es utilizar diferencias finitas para simular cómo se transfiere el calor desde el edificio al terreno, considerando diferentes configuraciones de losas y aislamiento. Para garantizar la estabilidad de la simulación, se requiere un bucle de iteración para converger las temperaturas en el dominio en cada paso de tiempo.

El modelo permite acoplar múltiples superficies horizontales al dominio terrestre, creando una representación equivalente en el suelo. Las condiciones límite se imponen en la interfaz entre las superficies y el suelo, considerando flujos de calor y temperaturas de campo lejano.

La simulación se actualiza en cada paso de tiempo, ya sea cada hora o según las especificaciones del usuario. Los resultados de la simulación se utilizan para el cálculo del equilibrio térmico de la superficie.

- **Batería fría:** El serpentín de refrigeración por agua es capaz de proporcionar una amplia gama de datos, incluyendo condiciones de la corriente de salida y tasas de transferencia de calor, entre otros. Estos datos se generan automáticamente a través del programa al introducir parámetros termodinámicos como temperaturas, caudales máxicos y relaciones de humedad.

El proceso de dimensionamiento de la batería se realiza de manera automática, utilizando las entradas termodinámicas proporcionadas por el usuario y las condiciones de diseño predeterminadas.

Este modelo emplea el enfoque de efectividad NTU (number of transfer units) y asume un intercambiador de calor de flujo cruzado, para representar la transferencia de calor.

- **Batería caliente:** Su funcionamiento es similar que el de una batería fría, pero funcionando en modo calefacción, es decir calentando el agua que pasa por el otro lado del intercambiador.

Este modelo, utiliza el algoritmo de efectividad NTU y asume un intercambiador de calor de flujo cruzado.

- **Fan Coil:** Se compone de un serpentín de enfriamiento o calentamiento, un ventilador y una carcasa que contiene estos componentes.

Las baterías de enfriamiento y calentamiento funcionan igual que se ha descrito anteriormente para este componente, pero a diferencia de su uso en la unidad de tratamiento de aire, es decir, conectando estas a un circuito de agua caliente y agua fría y luego a su vez al circuito de planta de la UTA, únicamente se introducirán en el circuito de agua fría y agua caliente y no se realizará un bucle de planta de ventilación, sino que se especificará en el apartado de zonas térmicas el Fan Coil a incorporar, en este caso Fan Coil con ventilador constante y flujo de fluido variable.

- **Radiador:** Su funcionamiento es igual al de un radiador convencional, pero utilizando temperatura más baja, la entrada de datos se parece a la de la batería caliente, hay un programa de disponibilidad, una UA general y un caudal másico de agua caliente máximo. La unidad está conectada a un circuito de agua caliente (lado de la demanda) con un nodo de entrada y salida. Finalmente, está la tolerancia de convergencia, que es la tolerancia sobre qué tan cerca se encontrará la salida del zócalo con la carga de la zona.
- **Bomba de calor:** Estos sistemas utilizan agua como el medio de transferencia de calor para proporcionar calefacción y refrigeración en edificios. Estos sistemas aprovechan la diferencia de temperatura entre el agua que circula en el subsuelo o en una fuente de agua y el agua que circula en el sistema del edificio para transferir calor o frío. El término se refiere al intercambio de calor entre dos circuitos de agua, uno que extrae o cede calor al entorno y otro que proporciona calefacción o refrigeración en el edificio.

El lado de suministro de la bomba de calor suele estar conectado a un intercambiador de calor terrestre.

- **Controlador de temperatura de ajuste:** Es un dispositivo o sistema diseñado para controlar y mantener una temperatura específica en un entorno o sistema, se ejecutan

una vez por paso de tiempo de HVAC y utilizan la información del paso de tiempo anterior (excepto la carga de zona) para calcular sus puntos de ajuste, este punto de ajuste es definido por el usuario. En este caso controlará las temperaturas de cada una de las instalaciones, es decir, las temperaturas de la bomba de calor geotérmica, el agua caliente sanitaria, el circuito de agua caliente y circuito de agua fría.

- **Controlador de temperatura dual:** Se trata de un tipo de controlador de temperatura, pero en este caso, permite controlar dos temperaturas diferentes de manera independiente en un mismo entorno, sistema o dispositivo.

Este administrador de puntos de ajuste coloca un valor de programación alto y bajo en uno o más nodos. En este caso se ha establecido en la salida de la unidad de tratamiento de aire (UTA) para poder establecer un rango de temperaturas de salida del aire en el espacio.

Los distintos circuitos que van a componer nuestras instalaciones quedarían de la siguiente forma:

Instalación 1:

- Bucle GSHP
- Circuito de agua caliente 1
- Circuito de agua fría 1
- Unidad de tratamiento de aire (UTA)
- Bucle ACS

Instalación 2:

- Bucle GSHP
- Circuito de agua caliente 2
- Circuito de agua fría 2
- Bucle ACS

Se puede observar que ambas instalaciones comparten los circuitos de la GSHP y la instalación de ACS, sin embargo, los demás circuitos, a pesar de estar basados en el mismo concepto, serán distintos para cada una de ellas ya que difieren en los elementos de climatización de la vivienda.

En las siguientes figuras se muestran los esquemas desarrollados en Open Studio para representar las dos instalaciones basadas en energía geotérmica analizadas en este trabajo.

Circuitos comunes

Circuito de bomba geotérmica

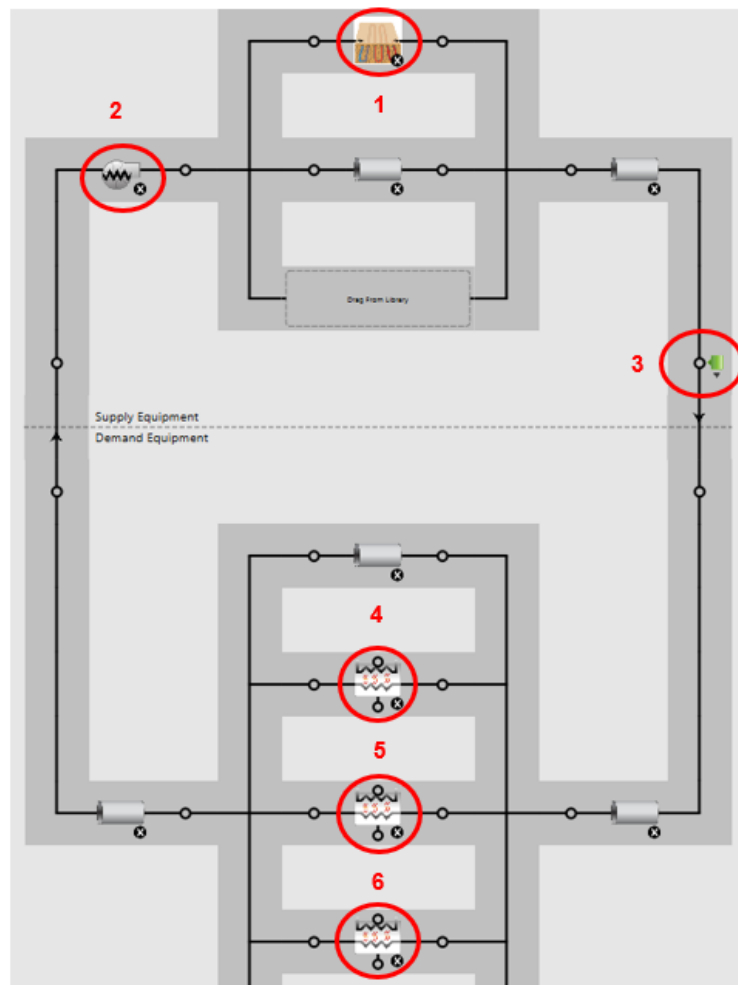


Figura 59. Detalles de diseño del bucle GSHP empleando Open Studio

Nº.	Componente
1	Intercambiador enterrado horizontal de placas
2	Bomba de circulación
3	Controlador de temperatura (GSHP)
4	Bomba de calor agua-agua de calefacción
5	Bomba de calor agua-agua de refrigeración
6	Bomba de calor agua-agua ACS

Tabla 28. Componentes de diseño del bucle GSHP en Open Studio.

Circuito de ACS

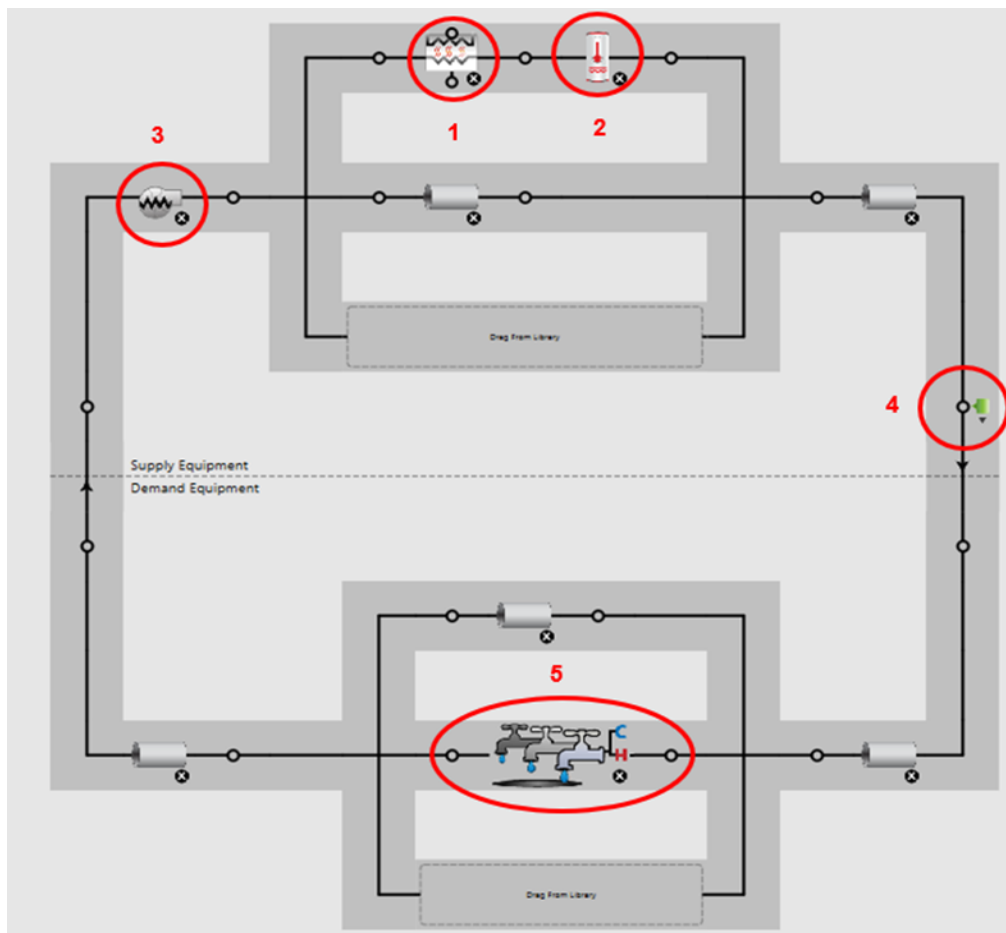


Figura 60. Detalles de instalación de bucle de ACS en Open Studio.

Nº.	Componente
1	Bomba de calor agua-agua ACS
2	Acumulador ACS
3	Bomba de circulación
4	Controlador de temperatura (ACS)
5	Instalación de agua

Tabla 29. Componentes de diseño del bucle de ACS en Open Studio

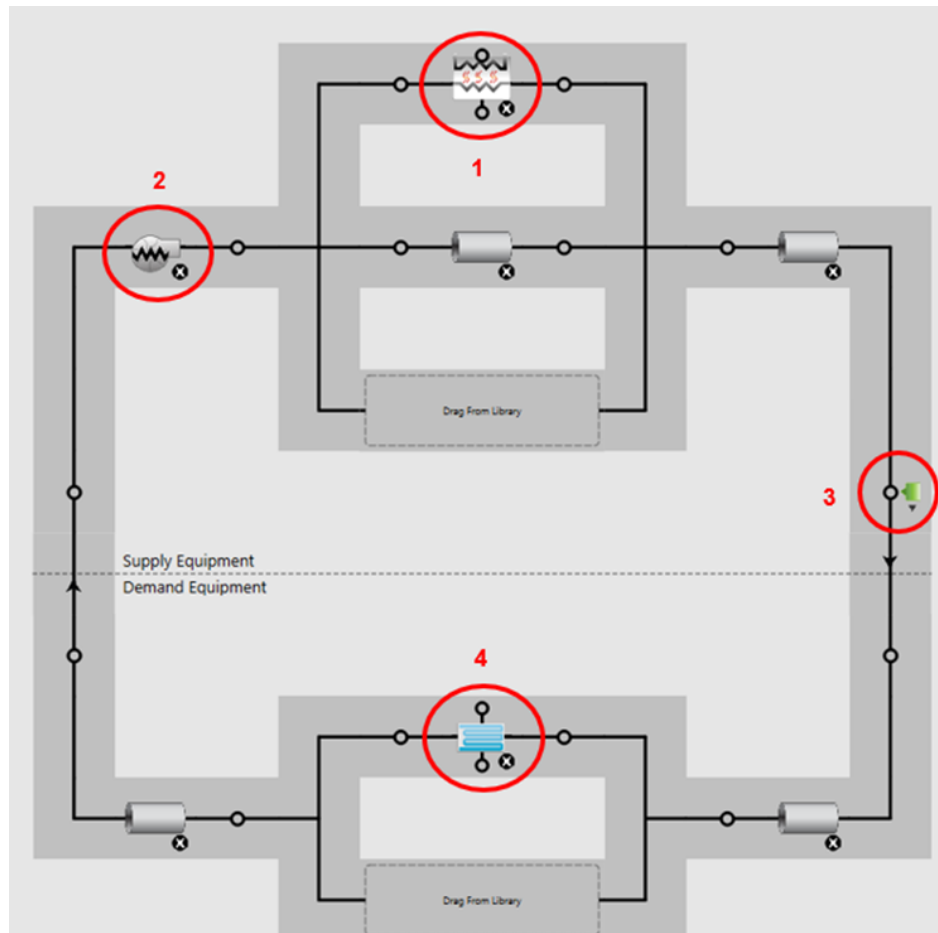
Resto de circuitos de Instalación 1*Circuito de agua fría 1*

Figura 61. Detalles de instalación de circuito de agua fría 1 (refrigeración) en Open Studio.

Nº.	Componente
1	Bomba de calor agua-agua refrigeración
2	Bomba de circulación
3	Controlador de temperatura (agua refrigeración)
4	Batería fría

Tabla 30. Componentes de diseño de circuito de agua fría 1 (refrigeración) en Open Studio

Circuito de agua caliente 1

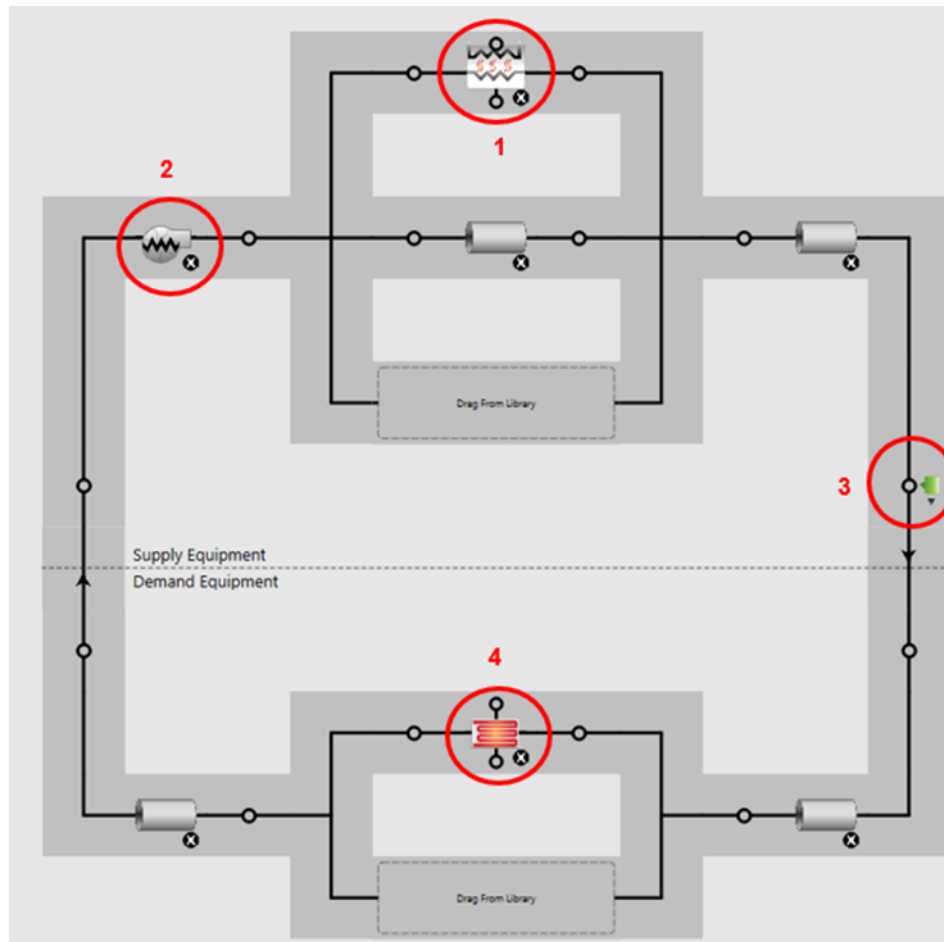


Figura 62. Detalles de instalación de circuito de agua caliente 1 (calefacción) en Open Studio.

Nº.	Componente
1	Bomba de calor agua-agua calefacción
2	Bomba de circulación
3	Controlador de temperatura (calefacción)
4	Batería caliente

Tabla 31. Componentes de diseño de circuito de agua caliente 1 (calefacción) en Open Studio.

Unidad de tratamiento de aire (UTA)

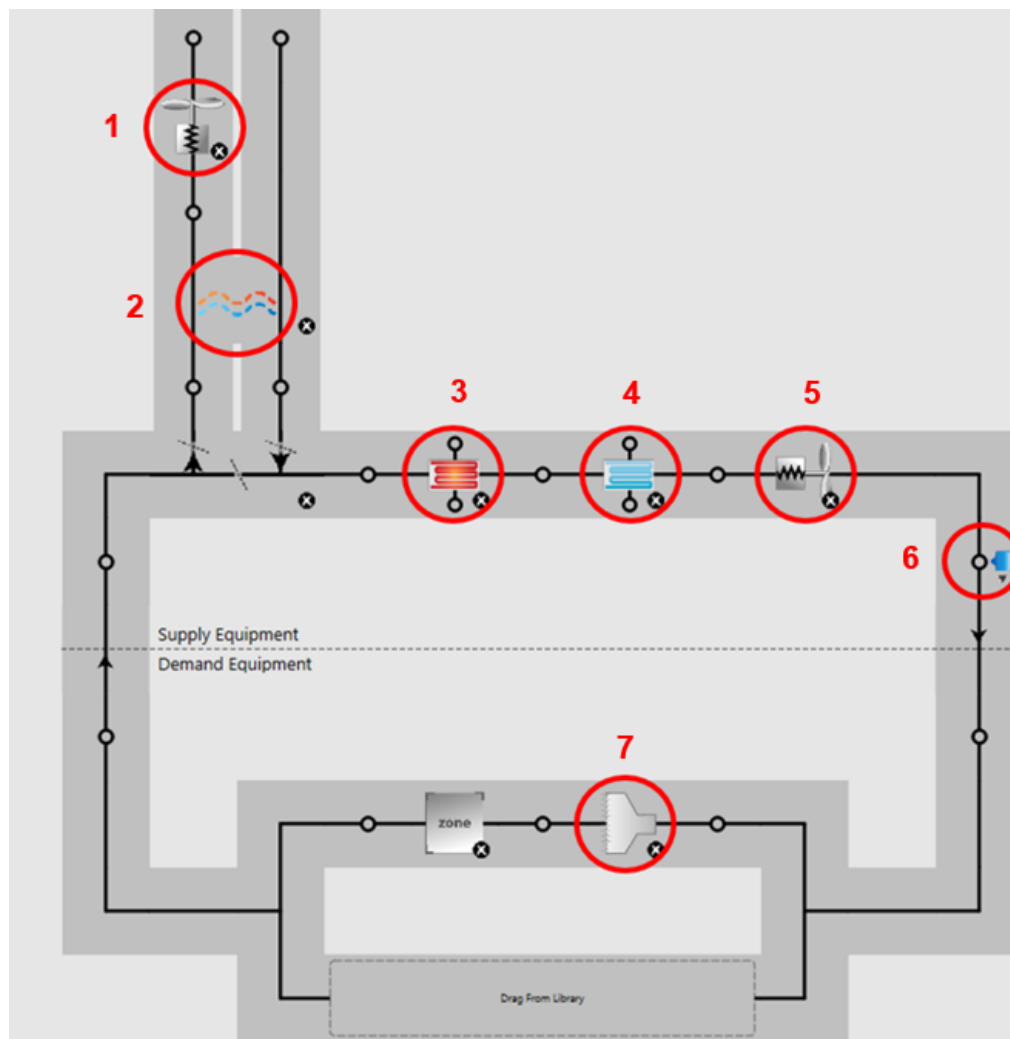


Figura 63. Detalles de diseño de unidad de tratamiento de aire (UTA) en Open Studio.

Nº.	Componente
1	Ventilador de extracción
2	Recuperador de calor
3	Batería caliente
4	Batería fría
5	Ventilador de suministro
6	Controlador de temperatura dual (UTA)
7	Difusor

Tabla 32. Componentes de diseño de unidad de tratamiento de aire (UTA) en Open Studio.

Resto de circuitos de Instalación 2

Circuito de agua fría 2

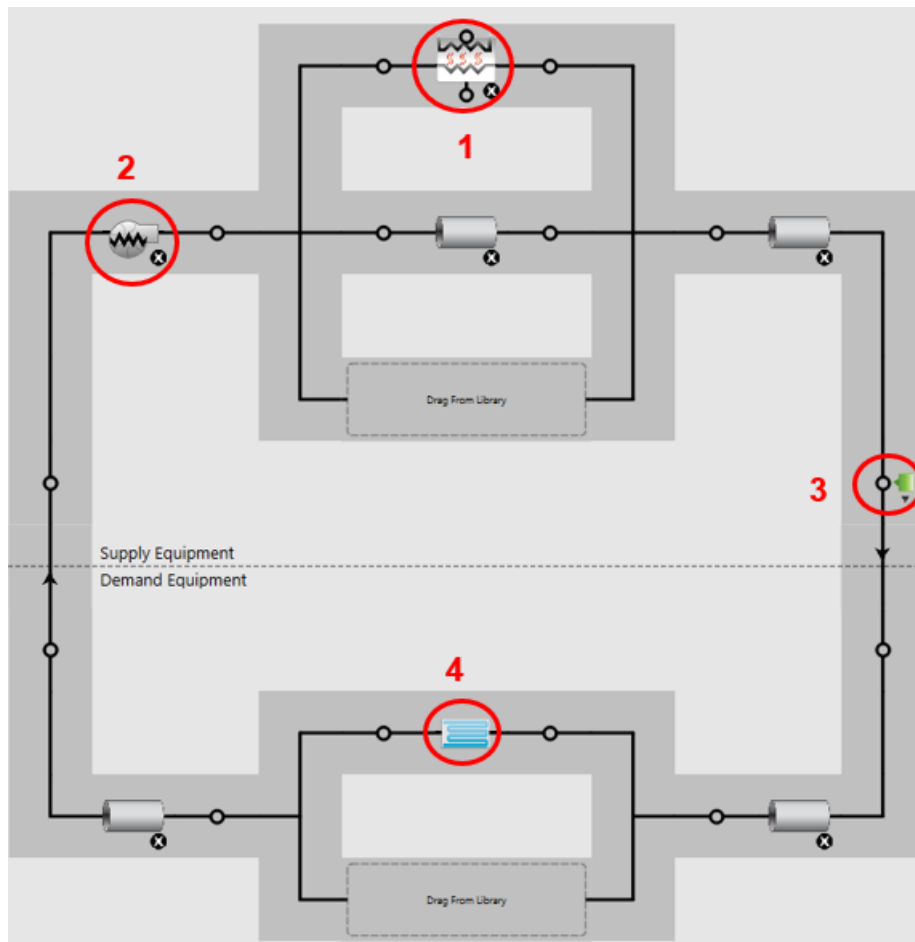


Figura 64. Detalles de instalación de circuito de agua fría 2 (refrigeración) en Open Studio.

Nº.	Componente
1	Bomba de calor agua-agua calefacción
2	Bomba de circulación
3	Controlador de temperatura (calefacción)
4	Batería fría de Fan coil

Tabla 33. Componentes de diseño de circuito de agua fría 2 (refrigeración) en Open Studio.

Circuito de agua caliente 2

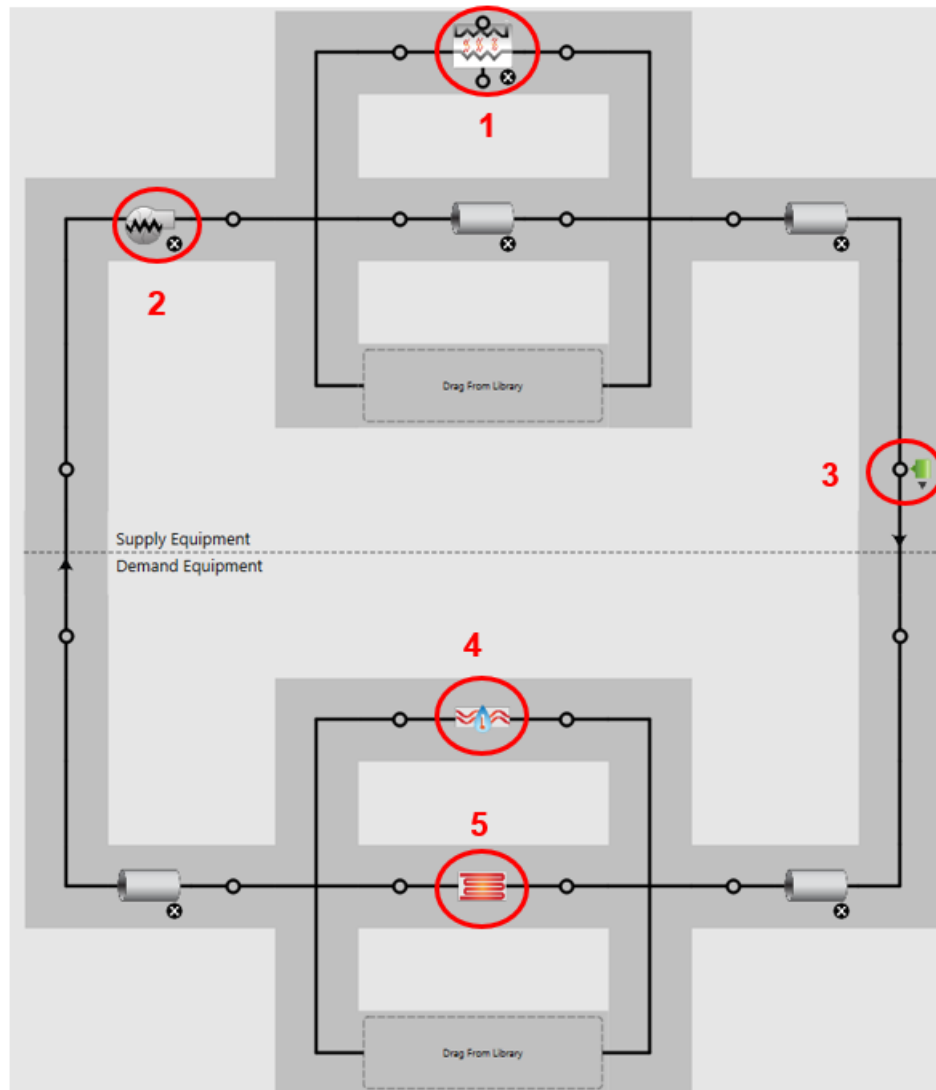


Figura 65. Detalles de instalación de circuito de agua caliente 2 (calefacción) en Open Studio.

Nº.	Componente
1	Bomba de calor agua-agua calefacción
2	Bomba de circulación
3	Controlador de temperatura (calefacción)
4	Batería caliente de Fan coil
5	Radiadores de baja temperatura

Tabla 34. Componentes de diseño de circuito de agua caliente 2 (calefacción) en Open Studio.

6 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Este apartado ofrece un análisis detallado de los resultados obtenidos tras realizar la simulación energética de la vivienda unifamiliar bajo distintas condiciones. Una vez completada toda la secuencia de pasos anteriores se puso en marcha la simulación. Inicialmente, es recomendable realizar una simulación utilizando sistemas ideales con el fin de obtener una visión inicial de los resultados a lo largo del año, incluyendo el consumo de calefacción, refrigeración, iluminación, entre otros aspectos. Se evaluó si los resultados se alineaban de manera coherente con las características de la vivienda, como su construcción, orientación, dimensiones, aislamiento y el clima de cada localización.

Posteriormente, se procedió a la simulación de la vivienda considerando dos tipos de instalaciones basadas en geotermia, en cada una de las ubicaciones seleccionadas. El programa Open Studio proporciona un resumen del consumo energético del edificio en cada una de las zonas del mismo, a lo largo de los distintos meses del año, garantizando que en el interior del edificio la temperatura se encuentra siempre dentro de un rango especificado, de forma que se garantice en todo momento el confort de las personas. Además, se examinan el uso de las bombas de circulación, los ventiladores y otros componentes que conforman las instalaciones térmicas analizadas en este trabajo.

Este enfoque nos permite analizar el comportamiento de la vivienda a lo largo de los distintos meses del año, considerando diversas ubicaciones, lo que afecta a las condiciones climáticas exteriores, así como dos tipos de instalaciones basadas en bomba de calor geotérmica. De esta manera, se puede evaluar la eficiencia energética, viabilidad económica, cumplimiento de los parámetros preestablecidos, y explorar posibles mejoras o ajustes para abordar errores o perfeccionar el modelo.

6.1 RESULTADOS CON SISTEMAS IDEALES

A continuación, se mostrarán los distintos resultados obtenidos a través de la simulación de la vivienda con sistemas ideales. Estos sistemas ideales son representaciones simplificadas que asumen condiciones ideales en cuanto a las fuentes de energía, las cargas, los componentes de transmisión, y descartan las pérdidas de energía. Aunque no son precisos en detalle, proporcionan una primera impresión del rendimiento de nuestro modelo y nos ayudan a analizar y comprender el funcionamiento de nuestra vivienda con mayor facilidad.

6.1.1 Consumo eléctrico

Las cargas de iluminación y equipamiento son las mismas para el modelo y para cada una de las localizaciones. En la siguiente figura se muestra el consumo mensual de las mismas.

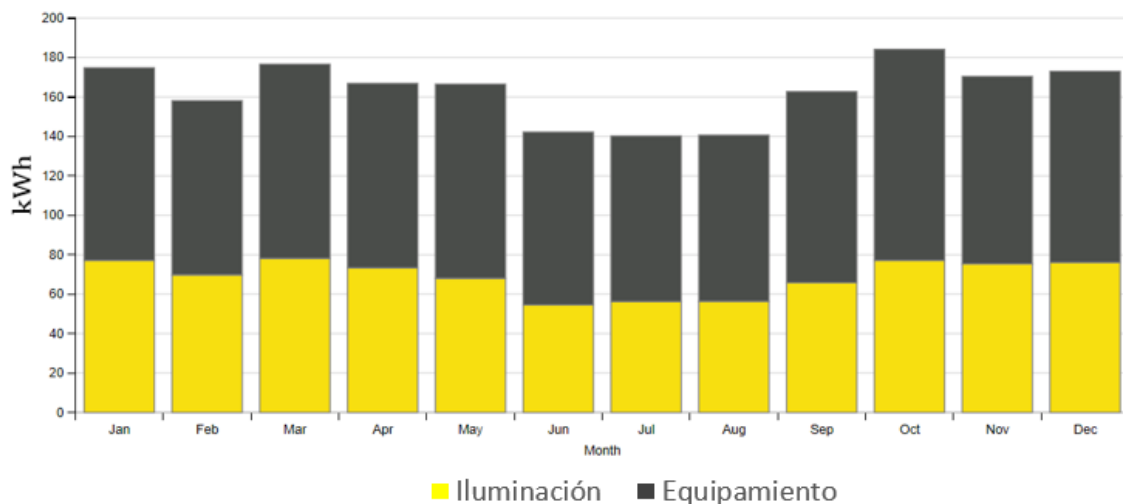


Figura 66. Consumo eléctrico mensual (Iluminación y equipamiento)

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Ilum.	77,15	69,82	78,16	73,37	68,04	54,56	56,28	56,39	65,86	77,15	75,38	76,15	828,31
Equip.	97,71	88,36	98,5	93,54	98,5	87,72	83,97	84,31	96,9	107,06	95,12	96,92	1128,61

Tabla 35. Consumo eléctrico mensual en kWh (Iluminación y equipamiento)

6.2 RESUMEN ENERGÉTICO

6.2.1 Santander

En este apartado se recogen los datos de consumo de energía de la vivienda cuando ésta está ubicada en Santander. En concreto se recogen datos de consumo de energía total, energía por superficie y energía por superficie acondicionada dentro de la cual se tiene en cuenta el consumo en el edificio y el consumo en la fuente.

La energía total se refiere a la cantidad de energía eléctrica utilizada en distintas áreas, como iluminación, calefacción, refrigeración, equipos y sistemas necesarios para el funcionamiento del edificio y la comodidad de sus ocupantes. Las mediciones de energía por superficie total y superficie acondicionada dividen este consumo total entre la superficie de toda la vivienda y la superficie habitable, excluyendo el garaje, respectivamente.

En cuanto a los consumos a los que se encuentran referidas estas energías, el consumo en el edificio hace referencia a la cantidad total de energía utilizada en el interior del edificio a lo

largo del año para mantener las condiciones de comodidad requeridas en el espacio. Esto abarca todos los tipos de energía utilizados durante este período, como electricidad, gas natural, gasóleo, entre otros, aunque para este caso, al tratarse de una instalación térmica que da cobertura a demanda de calefacción, refrigeración y ACS, solo se tendría en cuenta la energía eléctrica utilizada en el periodo tanto para iluminación, como para funcionamiento de los componentes que constituyen la instalación térmica encargada de dar cobertura a la demanda térmica de los usuarios de la vivienda.

Por otro lado, el consumo en la fuente se centra en la energía consumida en el edificio, pero se mide desde la fuente original de origen de la energía. Además de considerar la energía que el edificio utiliza directamente, también tiene en cuenta las pérdidas energéticas que ocurren en la generación, transmisión y distribución de esta energía desde la fuente primaria hasta el edificio. En resumen, el consumo en la fuente evalúa la eficiencia de todo el sistema energético, desde su producción hasta su uso final.

Estos datos son esenciales para evaluar aspectos como, la eficiencia energética del edificio, el impacto ambiental y explorar posibles mejoras en ambos aspectos.

La tabla mostrada a continuación, engloba los consumos del edificio y fuente en función de la energía total y la energía en las distintas superficies:

	Energía total (kWh)	Energía por superficie (kWh/m²)	Energía por superficie acondicionada (kWh/m²)
Consumo en edificio	5280,55	155,42	51,41
Consumo en fuente	16950	138,59	165,04

Tabla 36. Resumen energético anual de la vivienda ubicada en Santander.

Al tratarse de una ciudad con un clima no muy cálido y húmedo, el uso de calefacción será más significativo que el de refrigeración. Para poder observar la notable diferencia entre estos dos valores para la ciudad de Santander se han recopilado sus consumos anuales en la siguiente tabla:

Calefacción (kWh)	2833
Refrigeración (kWh)	492

Tabla 37. Resumen anual de calefacción y refrigeración en Santander.

El consumo de refrigeración se presentará en los meses de verano y el de calefacción en el resto de los meses exceptuando los meses de verano y octubre, esto es debido al clima existente en esta ciudad. Las temperaturas no alcanzan valores muy altos a lo largo del año,

por lo que el consumo de refrigeración es bastante bajo en comparación con las demás ciudades estudiadas. Las siguientes figuras presentan como se encuentran repartidos estos consumos de forma mensual.

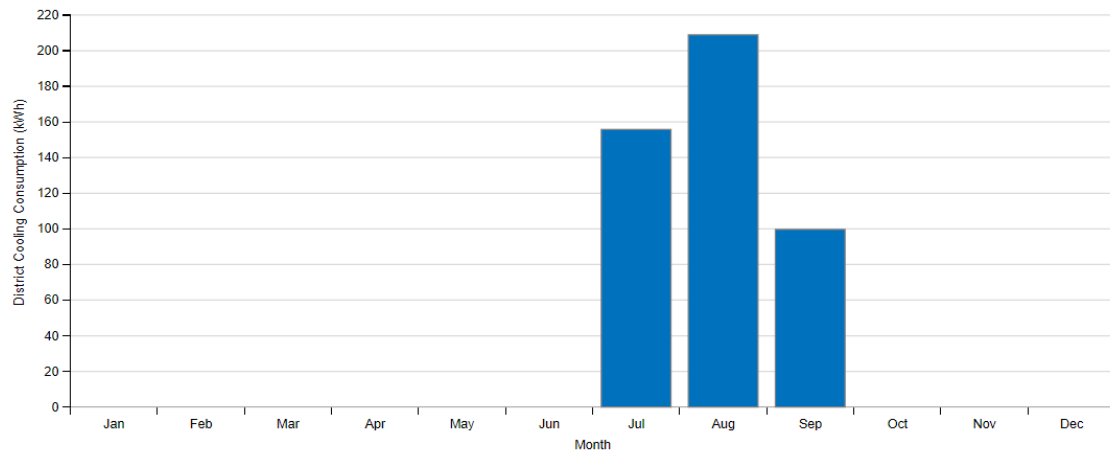


Figura 67. Consumo de refrigeración en Santander con sistemas de climatización ideales.

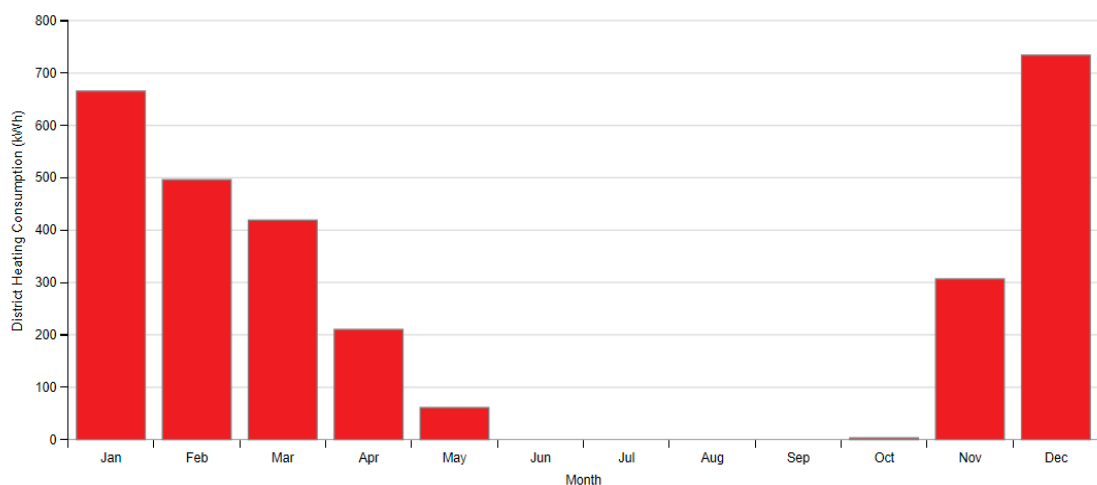


Figura 68. Consumo de calefacción en Santander con sistemas de climatización ideales.

La potencia demandada para calefacción es generalmente más alta en enero y diciembre en Santander, esto es debido a que esta ciudad experimenta sus temperaturas anuales más bajas en estos meses. Además, en invierno los días son más cortos y las noches más largas lo que significa que existe menos incidencia solar, esto sumado a la alta humedad relativa y vientos del norte, la vivienda requiere un mayor esfuerzo de calefacción para contrarrestar las menores temperaturas. Por otro lado, la potencia de refrigeración será mucho menor, esto es debido a que los veranos son muchos más suaves y frescos por lo que variar la temperatura no implicará el mismo consumo energético que en el invierno. La siguiente

gráfica muestra la potencia demandada a lo largo del año en Santander para conseguir la temperatura ambiente del interior dentro del rango de temperaturas establecido:

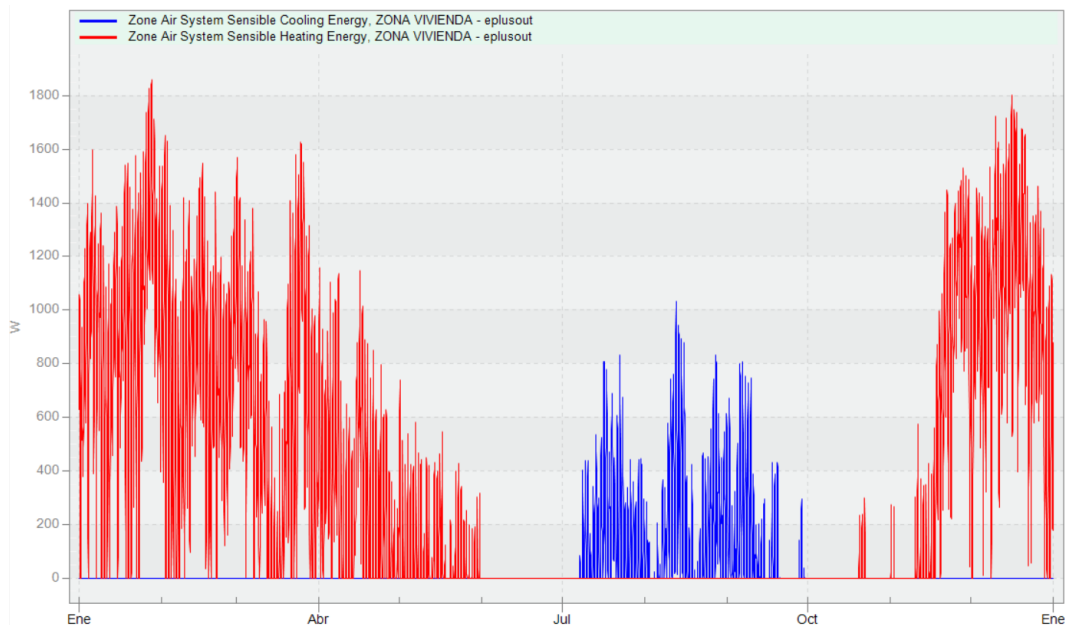


Figura 69. Potencia demandada anualmente de calefacción (rojo) y refrigeración (azul) en Santander.

6.2.2 Teruel

En el siguiente apartado se muestran los resultados correspondientes a la vivienda cuando está localizada en Teruel. Al igual que en la sección anterior, analizamos los consumos energéticos del edificio en sí y su consumo en la fuente de energía, considerando tanto la energía total como la energía relacionada con la superficie total y la superficie acondicionada (excluyendo la superficie del garaje).

Es importante destacar que la demanda energética total en Teruel para lograr un confort térmico adecuado es la más alta entre todas las ubicaciones analizadas. Comparativamente, la demanda energética total en Santander es un 65,96% de la demanda total de Teruel, en Madrid la demanda es el 95,04% de la de Teruel, es decir, son muy similares y en Málaga la demanda es el 77,27% de la de Teruel. Estas diferencias pueden explicarse al considerar las variaciones climáticas detalladas en el apartado de *4 localizaciones*. Teruel, al tener inviernos fríos y veranos cálidos, requiere un mayor consumo de sistemas de climatización y, en consecuencia, una potencia más elevada para mantener el confort térmico. El mayor consumo energético de la vivienda en Teruel viene justificado por las condiciones climáticas extremas que experimenta esta localización a lo largo del año.

	Energía total (kWh)	Energía por superficie (kWh/ m²)	Energía por superficie acondicionada (kWh/ m²)
Consumo en edificio	8008,33	65,47	77,97
Consumo en fuente	25233,33	206,32	245,69

Tabla 38. Resumen energético anual de la vivienda en Teruel.

A diferencia de Santander, cuyo clima es más oceánico con inviernos más suaves y veranos frescos, Teruel dispone de un clima más continental con inviernos más fríos y veranos más cálidos, esto se ve traducido en un aumento en el consumo tanto en calefacción como en refrigeración, específicamente la demanda de calefacción en Teruel es 1,75 veces la de Santander y en cuanto a refrigeración la demanda de Teruel es 2,24 veces la de Santander, es decir más del doble. En la siguiente tabla se muestran los valores obtenidos de estos consumos:

Calefacción (kWh)	4944
Refrigeración (kWh)	1106

Tabla 39. Consumo anual de calefacción y refrigeración en Teruel.

Estos consumos se encuentran divididos mensualmente como se muestra en las figuras de la parte inferior:

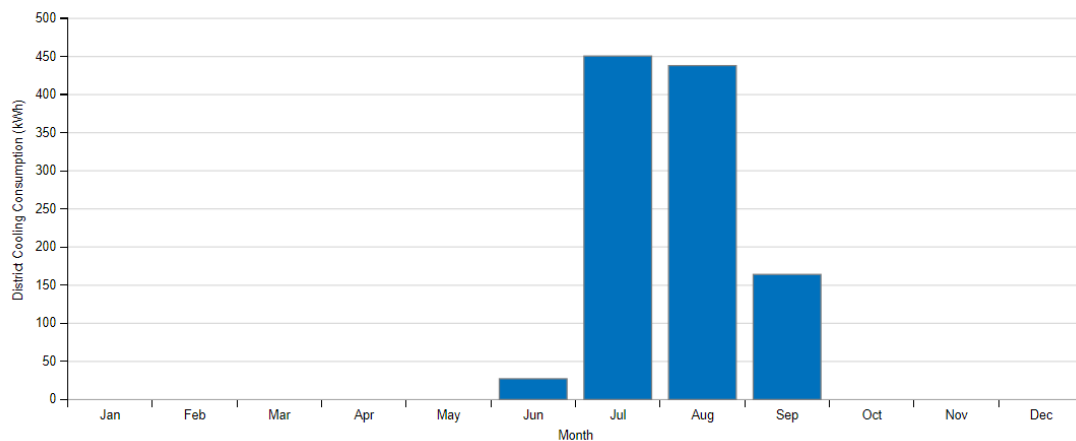


Figura 70. Consumo de refrigeración en Teruel con sistemas de climatización ideales.

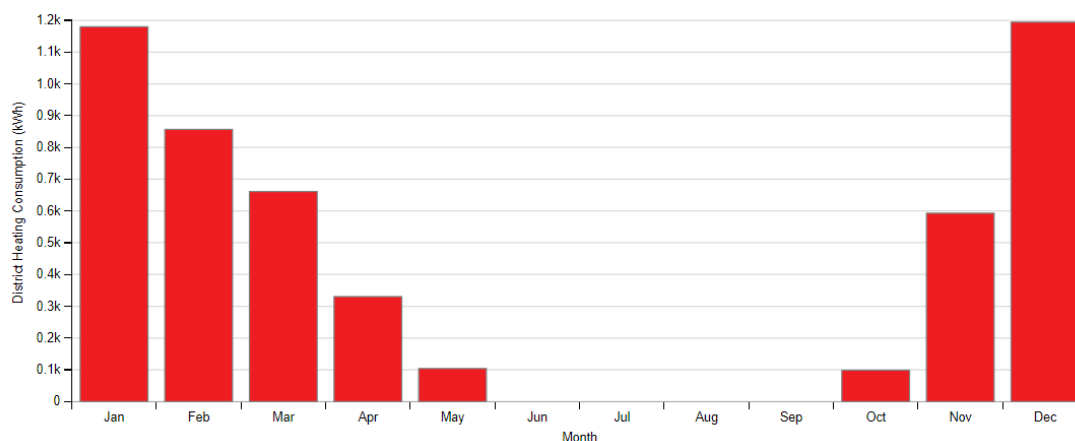


Figura 71. Consumo de calefacción en Teruel con sistemas de climatización ideales.

Analizando la demanda anual de calefacción y refrigeración para Teruel (Figura 72), como era de esperar la mayor demanda de calefacción será en los meses de diciembre y enero cuando las temperaturas alcanzan sus mínimos anuales y su valor será aproximadamente de 3000 kWh, mientras que los picos de demanda más altos en la refrigeración tendrán lugar en julio y agosto, donde se encuentran los días más calurosos del verano. A diferencia de Santander, en Teruel la demanda energética comenzará a aumentar en el mes de junio, debido a su clima continental previamente mencionado. Además, los niveles máximos de demanda de calefacción en Teruel serán los más elevados entre las cuatro ciudades estudiadas, alcanzando un valor de 3000 W. Si se comparan estos picos de demanda de calefacción con las gráficas de las otras ciudades, se aprecia que en Teruel la demanda es 1,66 veces mayor que en Santander, 1,30 veces mayor que en Madrid y 2,5 veces mayor que en Málaga. Nuevamente queda reflejado el impacto de las condiciones climáticas de cada localización en el consumo energético de la vivienda.

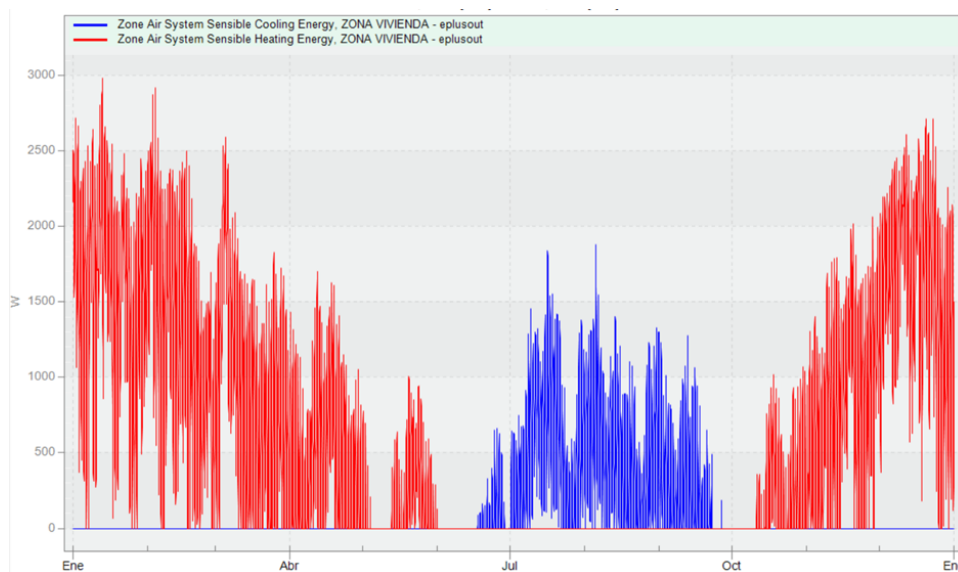


Figura 72. Potencia demandada anualmente de calefacción (rojo) y refrigeración (azul) en Teruel.

6.2.3 Madrid

En la siguiente sección, se detallan los resultados de la vivienda en Madrid, en este caso la energía total será cercana al caso anterior, esto es debido a que Teruel y Madrid se encuentran en una zona climática bastante similar, en el caso de Teruel es D2 y en el caso de Madrid es D3, por lo que es razonable que la mayoría de los resultados establecidos a continuación dispongan de cierto parecido con respecto a la localización anterior.

	Energía total (kWh)	Energía por superficie (kWh/m²)	Energía por superficie acondicionada (kWh/m²)
Consumo en edificio	7608,33	62,2	74,07
Consumo en fuente	20997,22	171,67	204,44

Tabla 40. Resumen energético anual de la vivienda en Madrid.

Para el caso de los consumos de calefacción y refrigeración será respectivamente un 69,84% la demanda de calefacción en Teruel y 1,98 veces mayor que la de Teruel, es decir, prácticamente la demanda de refrigeración en Madrid es el doble que, en Teruel, lo que significa que la necesidad de refrigeración para mantener una temperatura interior confortable en una vivienda en Madrid será más alta y durante un período de tiempo más prolongado. En la siguiente tabla se encuentran recogidos los consumos de climatización:

Calefacción (kWh)	3453
Refrigeración (kWh)	2197

Tabla 41. Consumo anual de calefacción y refrigeración en Madrid.

Para respaldar este aumento en el consumo de refrigeración podemos observar las diferencias entre la *Figura 70* y la *Figura 73*. En esta última, los consumos de refrigeración aumentan casi al doble durante todos los meses de verano. Por otro lado, el invierno en Madrid será más estable, lo que resulta en la eliminación del uso de calefacción en meses como mayo y octubre. En cambio, los meses de diciembre, enero y febrero mantienen valores similares a los de Teruel. Esto sugiere que la menor duración de las temperaturas frías en Madrid contribuye a un menor consumo de calefacción en comparación con Teruel.

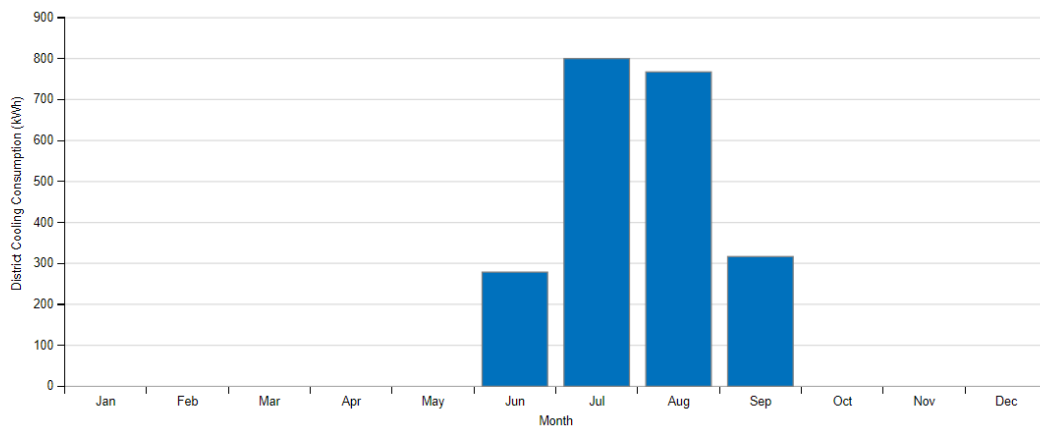


Figura 73. Consumo de refrigeración en Madrid con sistemas de climatización ideales.

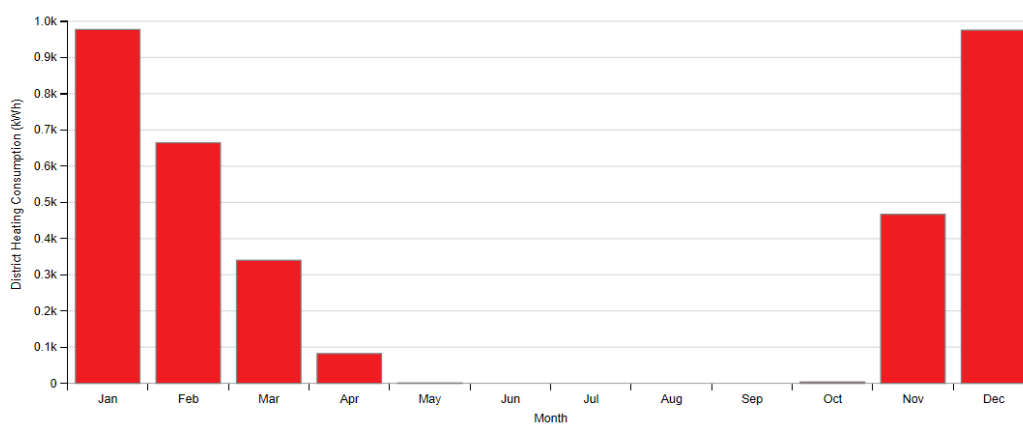


Figura 74. Consumo de calefacción en Madrid con sistemas de climatización ideales.

La siguiente gráfica presenta la potencia demandada tanto de calefacción como de refrigeración para la ciudad de Madrid. Se puede observar que los valores alcanzados no son tan variables como en el resto de las ciudades. En los meses más fríos las temperaturas pueden descender por debajo de los 10 °C en el exterior por lo que la vivienda necesitará una potencia instalada apreciable para conseguir el confort térmico preestablecido, por otro lado, los veranos en Madrid son bastante calurosos alcanzándose en determinadas ocasiones los 40°C por lo que la potencia de refrigeración tan alta obtenida está totalmente justificada.

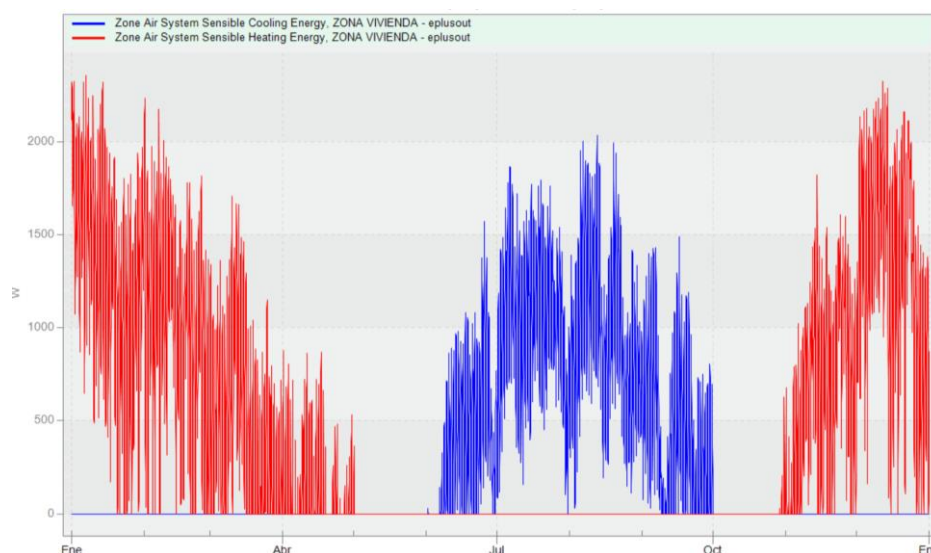


Figura 75. Potencia demandada anualmente de calefacción (rojo) y refrigeración (azul) en Madrid.

6.2.4 Málaga

La última localización estudiada ha sido Málaga, para la cual se han obtenidos los mismos resultados que las secciones anteriores, con el objetivo de observar las distintas variaciones en cada uno de los campos a estudiar.

	Energía total (kWh)	Energía por superficie (kWh/m ²)	Energía por superficie acondicionada (kWh/m ²)
Consumo en edificio	6186,11	50,58	60,24
Consumo en fuente	11569,44	94,59	112,64

Tabla 42. Resumen energético anual de la vivienda en Málaga.

Lo que diferencia esta localización del resto, es que casi la totalidad del uso de energía se destina a la refrigeración, como se puede observar en la *Tabla 43*, donde la demanda de refrigeración representa aproximadamente el 64% del consumo total de energía en el edificio. Esta distribución se explica por la excelente capacidad de aislamiento térmico de la vivienda. Al ubicarse en una región caracterizada por un clima cálido y seco durante la mayor parte del año, la demanda de calefacción es mínima, mientras que la de refrigeración abarca la mayor parte del consumo en sistemas de climatización.

Calefacción (kWh)	353
Refrigeración (kWh)	3875

Tabla 43. Consumo anual de calefacción y refrigeración en Málaga.

En las siguientes figuras se encuentra representado este consumo dividido de forma mensual, como se puede apreciar los valores de calefacción son minúsculos, además de solo estar presentes en los meses de diciembre, enero, febrero y marzo.

Por otro lado, la refrigeración estará presente casi los mismos que en el resto de las ciudades estudiadas. Pero los valores de consumo son bastante más altos haciendo que su total respecto al resto de ciudades sea 7,87 veces mayor que en Santander, 3,51 veces mayor que en Teruel y 1,76 veces mayor que en Madrid.

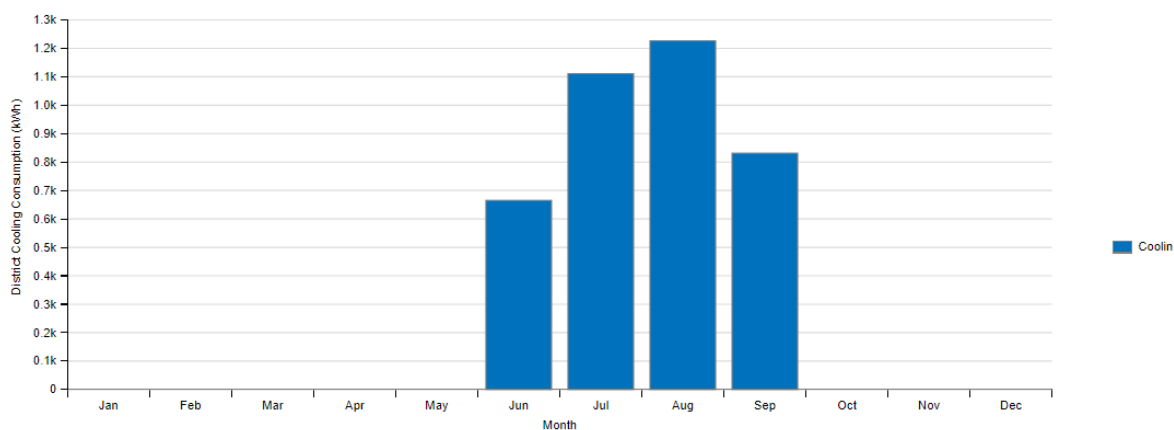


Figura 76. Consumo de refrigeración en Málaga con sistemas de climatización ideales.

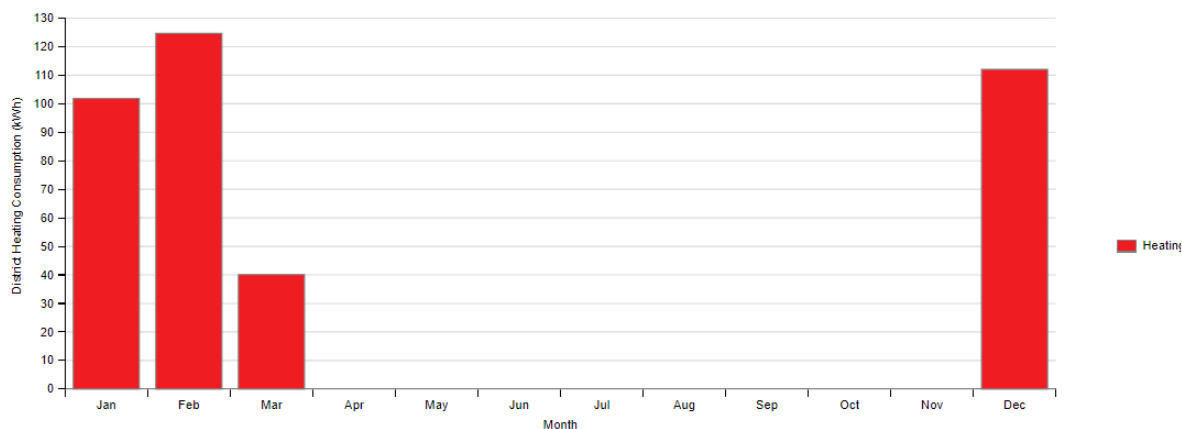


Figura 77. Consumo de calefacción en Málaga con sistemas de climatización ideales.

En la gráfica que se muestra a continuación se encuentra representada la potencia de demanda para la calefacción y refrigeración, estas se encuentran completamente asociadas a las mayores y menores temperaturas de Málaga a lo largo del año. Como se puede observar en la Figura 78 el pico de demanda de refrigeración alcanza el máximo de todas las ciudades a estudiar, siendo este de 2200 W, esto es debido a las altas temperaturas que se alcanzan

en verano las cuales hacen que los dispositivos necesiten más potencia para hacer que la temperatura del interior de la vivienda sea igual o inferior a 24°C.

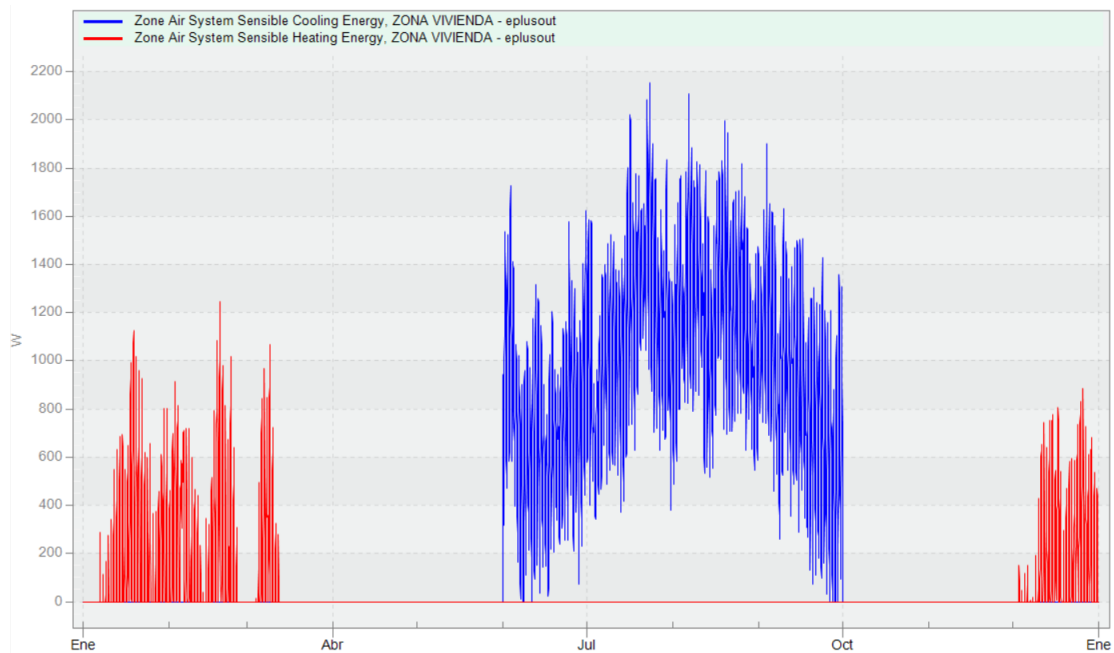


Figura 78. Potencia demandada anualmente de calefacción (rojo) y refrigeración (azul) en Málaga.

6.2 GANANCIAS Y PÉRDIDAS TÉRMICAS EN LA VIVIENDA

Las ganancias y pérdidas por superficie en una vivienda se refieren a los flujos de calor que entran o salen de la estructura de una casa a través de sus superficies, como paredes, techos, ventanas y suelos. Estos flujos de calor desempeñan un papel crucial en la regulación de la temperatura interior y la eficiencia energética de la vivienda. En otras palabras, representan la cantidad de calor que una vivienda puede ganar o perder debido a la diferencia de temperaturas entre el interior y el exterior, y son fundamentales para lograr un ambiente interior cómodo y sostenible.

Las ganancias se refieren a la cantidad de calor que ingresa al interior de la estructura desde fuentes externas, como la radiación solar, el calor transmitido desde el suelo o el ambiente exterior más cálido. Estas ganancias son beneficiosas en estaciones frías, ya que ayudan a elevar la temperatura interior de la vivienda de manera natural y reducir la necesidad de calefacción. Un ejemplo de ganancia sería, la luz solar que entra por las ventanas y calienta los espacios del interior.

En el gráfico circular se presentan los distintos tipos de ganancias y su influencia sobre el modelo.

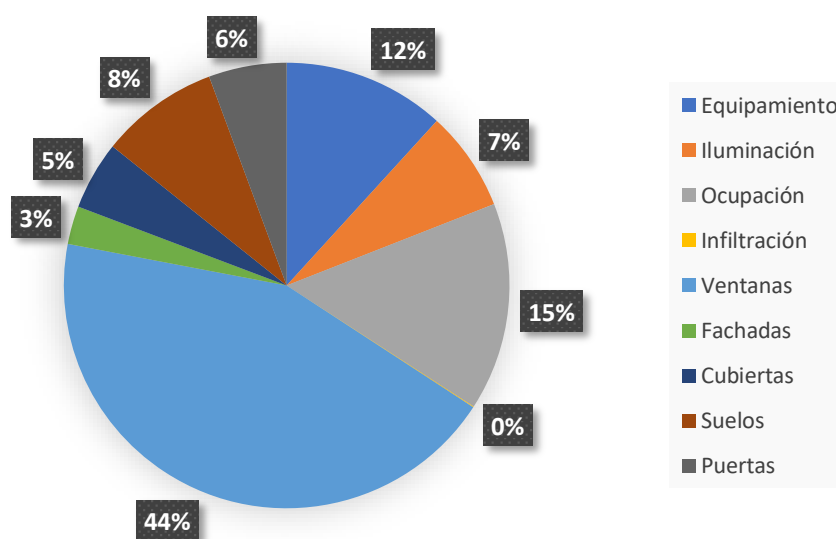


Figura 79. Gráfico circular del desglose anual de ganancias.

Para disponer de estas ganancias de una forma más detallada Open Studio ofrece los valores de cada tipo de ganancia de forma anual.

Ganancias por:	Cantidad (kWh)
Equipamiento	1128,6
Iluminación	697,5
Ocupación	1447,9
Infiltración	5,4
Ventanas	4198,2
Fachadas	265,2
Cubiertas	476,7
Suelos	826,0
Puertas	542,3

Tabla 44. Desglose anual de ganancias

Para analizar el impacto de estas ganancias en las diferentes estaciones del año, se puede hacer referencia a la *Figura 79*. Es importante resaltar que, durante el verano, las ganancias son ligeramente reducidas porque se toman medidas para que esto se dé así. En concreto lo que se hace es de acuerdo con la programación definida, que las persianas de las ventanas se cierran casi por completo cuando están expuestas a una alta radiación solar, evitando un exceso de calor en el interior de la vivienda y, como resultado, una mayor demanda de refrigeración.

Los elementos de protección solar como las persianas son fundamentales para regular la cantidad de luz solar y calor que ingresan en el interior de la vivienda y así disminuir la carga de refrigeración. Además, si estas se encuentran construidas con un buen material podrán actuar de aislante térmico en invierno reteniendo el calor del interior y así disminuir también la carga de calefacción.

En la Tabla 42 se desglosan por meses las ganancias térmicas que tienen lugar en la vivienda.

Ganancias por:	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Equipamiento	97,7	88,4	98,5	93,5	98,5	87,7	84,0	84,3	96,9	107,1	95,1	96,9
Iluminación	65,0	58,8	65,8	61,8	57,3	45,9	47,4	47,5	55,5	65,0	63,5	64,1
Ocupación	123,1	111,0	121,3	121,6	121,3	117,8	125,0	121,3	119,7	123,1	117,8	125,0
Infiltración	0,1	0,3	0,3	0,1	0,1	0,2	0,7	1,1	1,2	0,5	0,2	0,5
Ventanas	346,0	396,8	0,4	518,3	365,1	253,0	277,7	276,1	248,6	353,4	371,2	286,7
Fachadas	7,5	10,8	0,5	17,3	21,2	29,3	38,1	35,3	29,9	30,5	17,9	7,4
Cubiertas	4,0	8,3	0,6	35,2	51,6	75,6	93,4	77,6	51,2	34,8	18,5	1,6
Suelos	147,8	60,0	0,7	74,8	43,0	19,1	9,3	23,2	48,8	102,7	147,3	61,6
Puertas	32,7	37,5	0,8	52,5	59,9	55,7	62,6	58,1	39,1	31,8	29,8	35,7

Tabla 45. Desglose mensual de ganancias en kWh.

Las pérdidas se refieren a la cantidad de energía que se disipa o escapa de una vivienda debido a diversas causas, como la conducción de calor a través de las estructuras, la infiltración de aire no controlada, la radiación térmica y otros factores. Estas pérdidas representan una parte significativa del consumo energético en un edificio y son esenciales de entender para buscar soluciones que nos permitan su reducción, para así mejorar la eficiencia energética y reducir los costos asociados. A continuación, se muestra un gráfico circular donde se resalta la importancia de cada tipo de pérdida.

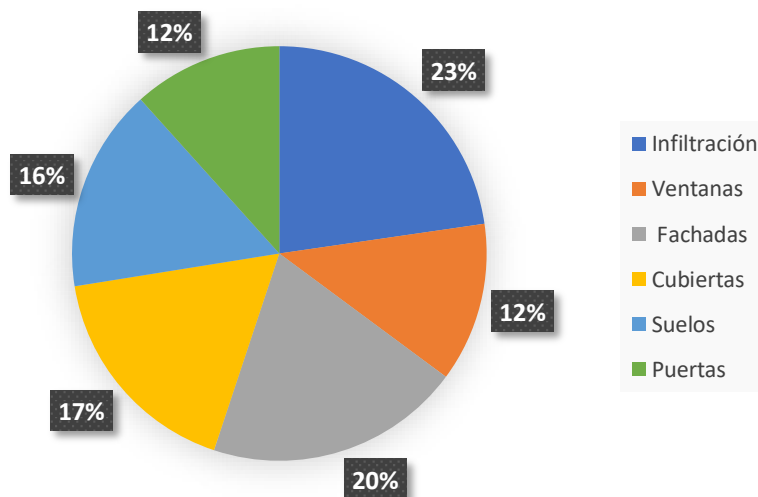


Figura 80. Gráfico circular de pérdidas anuales.

Para obtener una comprensión más precisa y buscar soluciones para reducir estas pérdidas de energía, es crucial cuantificar el valor de cada tipo de pérdida. Por lo general, las mayores pérdidas se originan a través de la infiltración de aire, principalmente causada por defectos en la construcción, así como a través de huecos en ventanas y puertas que se mantienen abiertas en momentos ineficientes. Además, las pérdidas en las fachadas y cubiertas suelen ser más pronunciadas que en el suelo, debido a la exposición a factores climáticos externos como el viento, la lluvia y la nieve.

Tipo de pérdidas	Cantidad (kWh)
Infiltración	2477,4
Ventanas	1356,8
Fachadas	2177,7
Cubiertas	1894,4
Suelos	1731,0
Puertas	1272,7

Tabla 46. Desglose anual de pérdidas.

A continuación, se muestra su impacto a lo largo del año en cada uno de los meses. Como bien se ha resaltado anteriormente, los factores climatológicos externos juegan un papel importante a la hora de causar pérdidas de calor en la vivienda, debido a su “impacto” sobre fachadas, cubiertas y ventanas.

Perdidas por:	Ene	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Infiltración	307.7	261.1	280.6	247.3	191.2	132.7	121.8	119.6	132.9	164.3	232.6	285.6
Ventanas	179.6	142.2	143.5	119.7	89.6	64.9	63.8	67.2	78.8	102.8	140.0	164.8
Fachadas	292.3	235.8	253.8	214.2	154.1	98.1	86.5	89.9	103.8	149.6	230.8	268.7
Cubiertas	284.3	232.0	234.0	175.3	108.3	53.6	46.8	54.7	74.0	131.3	219.2	281.1
Suelos	83.5	115.2	175.4	168.6	150.4	190.2	227.3	173.7	120.9	128.7	94.4	102.5
Puerta	167.2	167.8	125.2	135.0	114.2	88.5	63.8	63.6	65.2	75.0	96.9	134.0

Tabla 47. Desglose mensual de pérdidas (kWh).

6.3 RESULTADOS DE LA INSTALACIÓN 1

En este apartado se recogen los resultados obtenidos de realizar el mismo proceso de análisis que para la simulación de los sistemas ideales, pero en este caso se ha creado una instalación basada en geotérmica que utiliza una unidad de tratamiento de aire para calentar y enfriar la vivienda. Para entender mejor de que sistemas se trata y cuál es su diseño dentro del programa se deben de tener presentes los conceptos de los apartados 3.1 *Bomba de calor geotérmica (GSHP) que alimenta unidad de tratamiento de aire (UTA)* y *Diseño de sistemas*. A diferencia de una instalación ideal, en esta simulación no se obtendrán datos simplificados u orientativos, sino que se obtendrán los datos lo más aproximado posibles a los que se obtendrán si se lleva a cabo la ejecución de la instalación térmica en la vivienda. Al incluir la instalación térmica empleada para cubrir la demanda de calefacción y refrigeración de la vivienda, aparecen nuevas variables, como consumos de las bombas, ventiladores, auto dimensionado de aparatos, etc.

6.3.1 Santander

En esta sección se analizarán los resultados de la instalación 1 (bomba de calor geotérmica con UTA) en la ciudad de Santander. En primer lugar, se mostrará un resumen tanto del consumo del edificio como el de la fuente de donde proviene dicha energía, colocando estas en función de la energía total o el espacio a estudiar, ya sea para la vivienda al completo (energía por superficie) o la vivienda excluyendo el garaje (energía por superficie acondicionada).

	Energía total (kWh)	Energía por superficie (kWh/m ²)	Energía por superficie acondicionada (kWh/ m ²)
Consumo en edificio	5109,42	41,78	49,75
Consumo en fuente	16184,01	132,33	157,59

Tabla 48. Resumen energético de la vivienda situada en Santander.

Para una visualización más sencilla de cómo se encuentra repartida esta energía, se presenta el siguiente gráfico circular. En este aparece una gran diferencia de consumo en cuanto a calefacción con respecto al resto de variables, y en particular con la refrigeración. Si volvemos atrás sobre la Tabla 36, podemos observar cómo los resultados obtenidos para sistemas ideales en Santander son similares a los del comportamiento de la vivienda con esta instalación. Únicamente, se añaden los consumos de agua caliente sanitaria (Water systems),

los consumos de los ventiladores de la unidad de tratamiento (Fans) y bombas de circulación (Pumps).

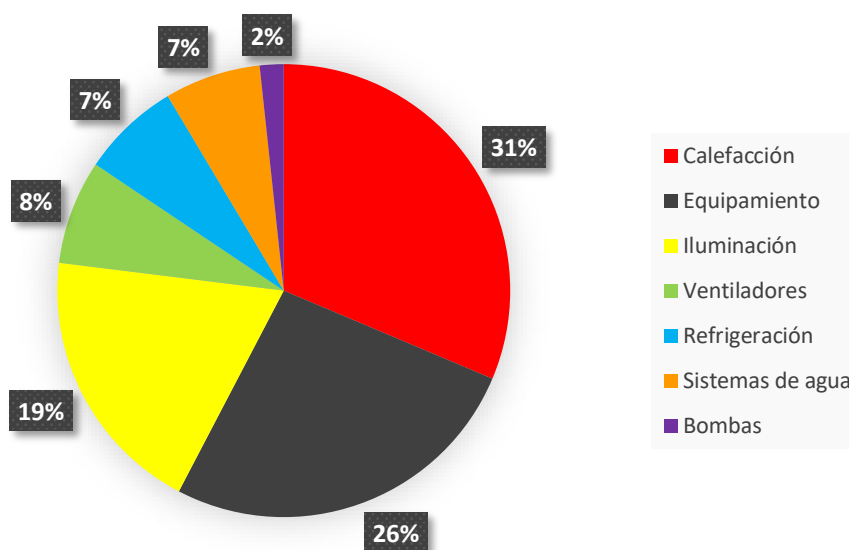


Figura 81. Consumo de energía final según uso en Santander.

En la siguiente tabla se muestran los valores de la *Figura 81* de forma más detallada. Se destaca que el consumo total es notablemente reducido en Santander, ubicándose como el más bajo entre las ciudades objeto de estudio. Esta situación se explica en parte por el clima suave que caracteriza el verano en Santander.

Calefacción (kWh)	1602
Equipamiento (kWh)	1344
Iluminación (kWh)	986
Ventiladores (kWh)	380
Refrigeración (kWh)	360
Sistemas de agua (kWh)	350
Bombas (kWh)	87

Tabla 49. Resumen anual de consumos de la vivienda situada en Santander

A continuación, se presenta una tabla que desglosa los diversos consumos mensuales y sus respectivos valores. Es relevante destacar que no se ha identificado ningún error en la simulación con respecto a la calefacción y la refrigeración, ya que no se activan en los meses en los que no son necesarios, resultando en un valor de 0 en tales casos.

Entre los aspectos más destacados, se observa que los meses con mayor consumo de calefacción son diciembre, enero y febrero, lo cual concuerda plenamente con los meses fríos de un invierno en Santander. Por otro lado, la refrigeración se utiliza exclusivamente en julio, agosto y septiembre. Esto se debe a que, en el norte de España, los veranos son considerablemente más suaves y tardíos en comparación con el resto de la península, y las temperaturas raramente superan los 30°. Como resultado, el sistema de refrigeración no funciona durante la misma cantidad de tiempo que en otras regiones.

	En	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ag	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Calefacción (kWh)	413,52	285,73	234,27	120,21	0	0	0	0	0	0	199,31	348,89	1601,7
Refrigeración (kWh)	0	0	0	0	0	39,91	101,93	141,2	76,76	0	0	0	359,8
Ventiladores (kWh)	32,27	29,14	32,27	31,23	32,27	31,23	32,27	32,27	31,23	32,27	31,23	32,27	379,95
Bombas (kWh)	8,02	7	6,77	7,22	7,62	7,08	7,12	7,23	6,96	7,34	7,12	7,9	87,38
Sistemas de agua (kWh)	29,81	26,95	29,84	28,88	29,84	28,88	29,84	29,84	28,88	29,84	28,88	29,84	351,32
Iluminación (kWh)	90,68	83,14	93,08	89,76	78,29	64,97	67,09	67,09	79,62	90,68	89,76	93,08	987,24
Equipamiento (kWh)	115,42	105,22	117,3	113,27	115,42	104,46	100,2	100,2	117,44	127,67	113,27	117,3	1347,17

Tabla 50. Resumen mensual de consumos de la vivienda situada en Santander

6.3.2 Teruel

En este apartado se muestran los resultados obtenidos para la ciudad de Teruel, al igual que en el apartado anterior se analizarán los distintos consumos en función de la energía por superficie de la vivienda, aunque el parámetro más indicativo será el de la energía total.

	Energía total (kWh)	Energía por superficie (kWh/m ²)	Energía por superficie acondicionada (kWh/m ²)
Consumo en edificio	7072,22	57,82	68,85
Consumo en fuente	22397,22	183,12	218,07

Tabla 51. Resumen energético de la vivienda situada en Teruel.

En este gráfico se muestran los distintos consumos utilizados en la vivienda a lo largo del año en Teruel.

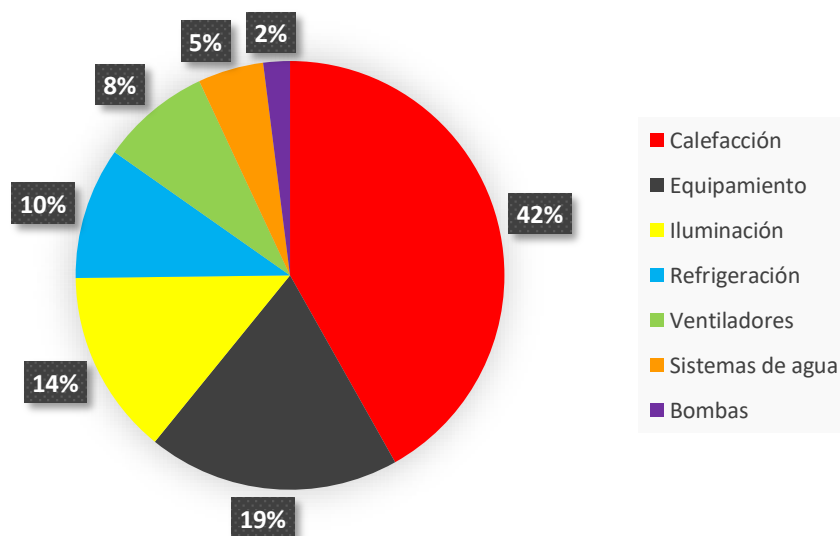


Figura 82. Consumo de energía final según uso en Teruel.

Al comparar esta situación con la de Santander, se evidencian cambios notables. En particular, los sistemas de calefacción y refrigeración han experimentado un incremento significativo de 1,84 y 1,95 más mayores, respectivamente, esto es debido principalmente a su clima más frío en invierno y más cálido en verano.

Calefacción (kWh)	2958
Equipamiento(kWh)	1344
Iluminación (kWh)	986
Refrigeración (kWh)	703
Ventiladores(kWh)	586
Sistemas de agua (kWh)	350
Bombas (kWh)	142

Tabla 52. Resumen anual de consumos de la vivienda situada en Teruel.

Para obtener una representación más clara de estos consumos a lo largo del año y su impacto en las diferentes estaciones, presentamos la tabla en la parte inferior de esta página. Entre los resultados más destacados, se encuentra el hecho de que Teruel registra el consumo de calefacción más elevado entre las ciudades analizadas, el cual se alcanza en enero con un valor de 686,61 kWh. Esto representa un aumento de 1,66 veces con respecto al consumo de calefacción en Santander, 1,15 veces el consumo más alto en Madrid y 5,05 veces más demanda de calefacción que en Málaga en el mismo período.

	En	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ag	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Calefacción (kWh)	686,61	515,71	346,02	198,85	57,23	0	0	0	0	43,13	428,32	681,13	2957
Refrigeración (kWh)	0	0	0	0	0	66,47	286,25	280,01	68,45	0	0	0	701,18
Ventiladores (kh)	49,76	44,94	49,76	48,15	49,76	48,15	49,76	49,76	48,15	49,76	48,15	49,76	585,86
Bombas (kWh)	12,49	11,16	12,14	11,6	11,78	11,42	12,03	11,99	11,45	11,69	11,87	12,5	142,12
Sistemas de agua (kWh)	29,82	26,95	29,84	28,88	29,84	28,88	29,84	29,84	28,88	29,84	28,88	29,84	351,33
Iluminación (kWh)	91,88	83,14	93,08	87,37	81,03	64,97	67,02	67,16	78,43	91,88	89,76	90,68	986,4
Equipamiento (kWh)	116,36	105,22	117,3	111,4	117,3	104,46	100	100,4	115,39	127,5	113,27	115,42	1344,02

Tabla 53. Resumen mensual de consumos de la vivienda situada en Teruel.

6.3.3 Madrid

En este apartado se muestran los datos de la vivienda cuando se encuentra localizada en Madrid. Como podemos apreciar en la Tabla 54, la energía utilizada para el funcionamiento correcto de la vivienda sobre esta ciudad será algo menor que en Teruel, por lo que se será la segunda ubicación estudiada que conlleve a un mayor coste energético y por tanto un mayor coste económico de operación.

	Energía total (kWh)	Energía por superficie (kWh/m ²)	Energía por superficie acondicionada (kWh/ m ²)
Consumo en edificio	6758,33	55,25	65,8
Consumo en fuente	21402,77	175	208,39

Tabla 54. Resumen energético de la vivienda situada en Madrid.

A través del gráfico mostrado a continuación, se puede observar la distribución de la energía utilizada en la vivienda. Se aprecia que la demanda de calefacción en Madrid es el 79,24% de la demanda en Teruel, con respecto a la refrigeración, su demanda en Madrid es 1,41 veces superior a la de Teruel. Esto es debido a las altas temperaturas que experimenta Madrid en verano, situándose entre las ciudades interiores más calurosas de España.

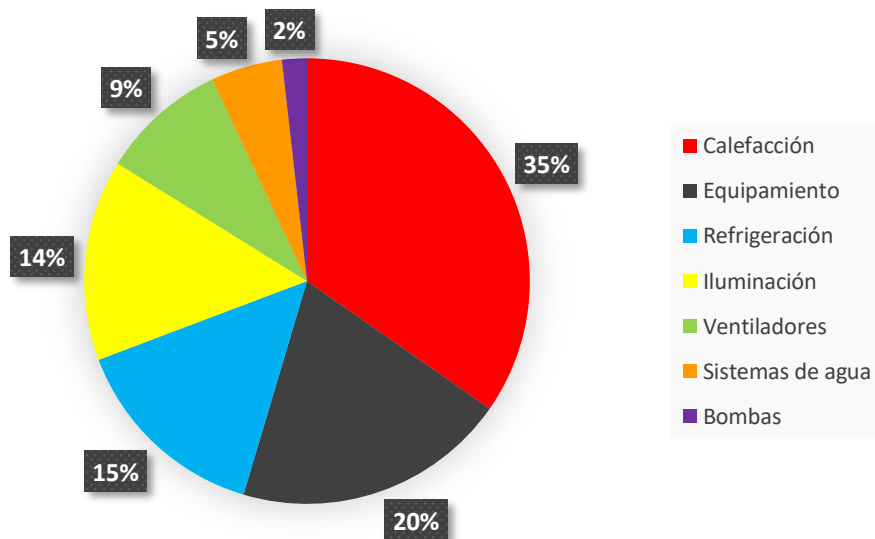


Figura 83. Consumo de energía final según uso en Madrid.

Calefacción (<i>kWh</i>)	2344
Equipamiento (<i>kWh</i>)	1344
Refrigeración (<i>kWh</i>)	989
Iluminación (<i>kWh</i>)	986
Ventiladores (<i>kWh</i>)	619
Sistemas de agua (<i>kWh</i>)	350
Bombas (<i>kWh</i>)	122

Tabla 55. Resumen anual de consumos de la vivienda situada en Madrid.

La similitud en el consumo de calefacción entre Madrid y Teruel se debe a que ambas ciudades experimenten inviernos en los que la temperatura disminuye, lo que lleva a la necesidad de utilizar sistemas de calefacción para mantener el confort en los edificios. Sin embargo, Teruel muestra un consumo de calefacción ligeramente superior en comparación con Madrid. Esto se debe a que Teruel tiene inviernos más fríos y rigurosos en términos de temperaturas bajas. En estas condiciones climáticas más extremas, las personas necesitan utilizar la calefacción durante más tiempo y a una intensidad mayor para contrarrestar el frío, lo que se refleja en los valores mensuales de consumo.

En cuanto al consumo de refrigeración, la situación es inversa. Madrid experimenta veranos más cálidos y soleados en comparación con Teruel. Las altas temperaturas en Madrid durante los meses de verano hacen que sea necesario utilizar sistemas de refrigeración para mantener las condiciones interiores cómodas y frescas. Por lo tanto, el consumo de refrigeración en Madrid es más alto en estos meses cálidos, en contraste con Teruel, donde los veranos son más suaves y no se requiere tanto uso de refrigeración.

	En	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ag	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Calefacción (kWh)	584,31	437,33	270,37	119,88	7,52	0	0	0	0	16,21	312,97	593,98	2342,57
Refrigeración(kWh)	0	0	0	0	0	100,27	379,66	373,01	134,51	0	0	0	987,45
Ventiladores (kWh)	52,71	47,61	52,71	51,01	52,71	51,01	52,71	52,71	51,01	52,71	51,01	52,71	620,62
Bombas (kWh)	84,99	76,72	84,72	81,7	83,12	77,16	78,38	78,37	76,44	83,49	82,11	85,01	972,21
Sistemas de agua (kWh)	29,81	26,95	29,84	28,88	29,84	28,88	29,84	29,84	28,88	29,84	28,88	29,84	351,32
Iluminación (kWh)	91,88	83,14	93,08	87,37	81,03	64,97	67,02	67,16	78,43	91,88	89,76	90,68	986,4
Equipamiento (kWh)	116,36	105,22	117,3	111,4	117,3	104,46	100	100,4	115,39	127,5	113,27	115,42	1344,02

Tabla 56. Resumen mensual de consumos de la vivienda situada en Madrid.

6.3.4 Málaga

En esta sección, se presentan los resultados de la simulación de una vivienda ubicada en la ciudad de Málaga. Es importante destacar que la energía total consumida se acerca a la cifra obtenida para Santander, aunque es ligeramente superior, concretamente 1,05 veces superior. Sin embargo, es fundamental tener en cuenta que los patrones de consumo energético son significativamente diferentes debido a las variaciones climáticas entre ambas ciudades.

	Energía total (kWh)	Energía por superficie (kWh/m ²)	Energía por superficie acondicionada (kWh/m ²)
Consumo en edificio	5364,22	43,86	52,23
Consumo en fuente	16877,77	138	164,33

Tabla 57. Resumen energético de la vivienda situada en Málaga.

El siguiente gráfico ilustra la distribución de los consumos de energía en la vivienda. Como era de esperar, la mayor proporción de consumo corresponde a la refrigeración debido a las elevadas temperaturas que prevalecen en la ciudad de Málaga y su clima mediterráneo. Por otro lado, los inviernos en Málaga son suaves y con escasas lluvias, lo que justifica el bajo uso de calefacción en comparación con otras ciudades estudiadas.

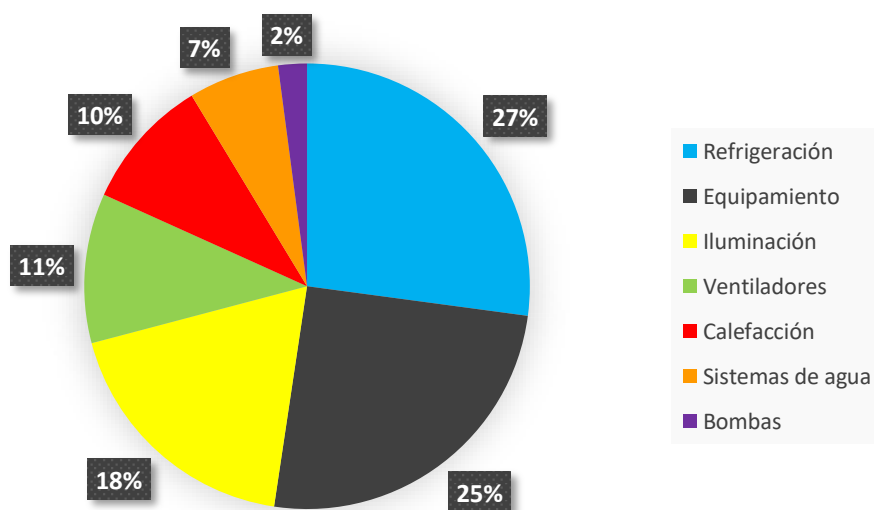


Figura 84. Consumo de energía final según uso en Málaga.

En la siguiente tabla se presentan los valores exactos de cada una de las variables. Se resalta el consumo de refrigeración en Málaga siendo este el mayor de todas las ciudades a estudiar, en concreto es 4,01 veces superior a la demanda de refrigeración en Santander, algo más

del doble que la demanda en Teruel (2,05 veces) y 1,46 veces mayor que la demanda de refrigeración en Madrid.

Refrigeración (kWh)	1444
Equipamiento (kWh)	1344
Iluminación (kWh)	986
Ventiladores (kWh)	578
Calefacción (kWh)	511
Sistemas de agua (kWh)	350
Bombas (kWh)	111

Tabla 58. Resumen anual de consumos de la vivienda situada en Málaga.

En este apartado se presentan mensualmente los datos de consumo de diversas variables para la ciudad de Málaga. En la siguiente tabla, se puede observar que el consumo mensual de refrigeración en Málaga destaca claramente en comparación con otras ciudades estudiadas, siendo el más elevado. En agosto, este consumo alcanzó los 490,93 kWh, superando a los consumos más altos de refrigeración en Santander en 3,48 veces, en 1,71 veces al consumo en Teruel y en 1,29 veces al consumo en Madrid.

	En	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ag	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Calefacción (kWh)	135,86	129,27	67,34	0	0	0	0	0	0	0	14,93	156,52	503,92
Refrigeración (kWh)	0	0	0	0	0	205,79	440,54	490,93	302,08	0	0	0	1439,34
Ventiladores (kWh)	49,11	44,36	49,11	47,52	49,11	47,52	49,11	49,11	47,52	49,11	47,52	49,11	578,21
Bombas (kWh)	9,66	8,74	9,59	9,19	9,49	9,1	9,57	9,58	9,14	9,46	9,18	9,71	112,41
Sistemas de agua (kWh)	29,81	26,95	29,84	28,88	29,84	28,88	29,84	29,84	28,88	29,84	28,88	29,84	351,32
Iluminación (kWh)	91,88	83,14	93,08	87,37	81,03	64,97	67,02	67,16	78,43	91,88	89,76	90,68	986,4
Equipamiento (kWh)	116,36	105,22	117,3	111,4	117,3	104,46	100	100,4	115,39	127,5	113,27	115,42	1344,02

Tabla 59. Resumen mensual de consumos de la vivienda situada en Málaga.

6.4 RESULTADOS DE LA INSTALACIÓN 2

En esta sección, se presentan los resultados obtenidos tras llevar a cabo la simulación de la vivienda utilizando la segunda instalación en las cuatro localizaciones consideradas en este trabajo (Santander, Teruel, Madrid, Málaga). En este escenario, se continúa empleando una bomba de calor geotérmica, como en la primera instalación. No obstante, en esta ocasión, la bomba geotérmica estará vinculada a radiadores de baja temperatura y fan coils para la climatización de los espacios habitables de la vivienda. Es fundamental contar con un conocimiento previo sobre el esquema de la instalación (Documento. Anexos) y su posterior diseño en Open Studio para comprender los resultados obtenidos.

6.4.1 Santander

En esta sección, se examinarán los resultados de la simulación realizada en la ciudad de Santander. Inicialmente, se presentará un resumen en la Tabla 60 que aporta una visualización general de los consumos del edificio y el consumo de la fuente, desglosados según la energía total y las energías asociadas a distintas áreas del edificio. Concretamente, se analizarán las superficies totales del edificio y el área habitable, es decir excluyendo el garaje. Esto nos permitirá disponer de una visión inicial de la eficiencia energética de la vivienda.

	Energía total (kWh)	Energía por superficie (kWh/m ²)	Energía por superficie acondicionada (kWh/m ²)
Consumo en edificio	5418,25	123,08	52,76
Consumo en fuente	17160,6	140,31	167,09

Tabla 60. Resumen energético de la vivienda situada en Santander.

El consumo total se divide en diversas categorías, incluyendo calefacción, refrigeración, ventiladores, bombas y sistemas de agua. Cada ciudad analizada se caracterizará por su distinto nivel de consumo en estas áreas, determinado principalmente por su ubicación geográfica y las condiciones climáticas que experimenta. En este caso se puede apreciar perfectamente como el consumo de calefacción es la categoría predominante respecto al otro tipo de consumos. Este fenómeno se atribuye al invierno frío que caracteriza a la ciudad de Santander, influenciado por su clima oceánico.

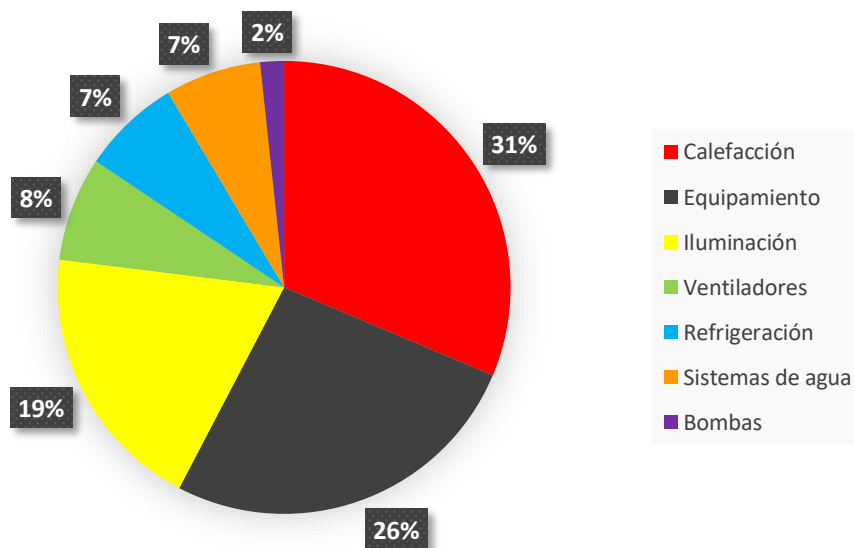


Figura 85. Consumo de energía final según uso en Santander.

En la siguiente tabla se muestran los valores de los distintos consumos:

Calefacción (kWh)	1788
Equipamiento (kWh)	1344
Iluminación (kWh)	986
Ventiladores (kWh)	460
Refrigeración (kWh)	414
Sistemas de agua (kWh)	350
Bombas (kWh)	76

Tabla 61. Resumen anual de consumos de la vivienda situada en Santander.

Los valores reflejados en la tabla inferior proporcionan una visión detallada de la distribución del consumo de calefacción a lo largo del año. Destaca que los meses de diciembre y enero, los más fríos en Santander, registran un notable aumento en el uso de calefacción.

En cambio, el consumo de refrigeración no se presenta hasta julio, extendiéndose hasta septiembre, pero con valores comparativamente bajos en relación con otras ciudades de España. Este patrón se atribuye a los suaves veranos de Santander y a la moderada oscilación de temperaturas experimentada en esta época del año.

	En.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ag.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Total
Calefacción (kWh)	444,12	320,15	266,62	143,33	0	0	0	0	0	0	224,45	388,97	1787,64
Refrigeración (kWh)	0	0	0	0	0	48,73	115,97	162,42	87,04	0	0	0	414,16
Ventiladores (kWh)	39,18	35,38	37,92	38,74	37,92	37,92	39,18	39,18	37,92	39,18	37,92	39,18	459,62
Bombas (kWh)	7,08	6,42	7,03	6,64	6,44	5,26	6,18	6,3	5,72	5,61	6,63	7,11	76,42
Sistemas de agua (kWh)	29,81	26,95	29,84	28,88	29,84	28,88	29,84	29,84	28,88	29,84	28,88	29,84	351,3
Iluminación (kWh)	91,88	83,14	93,08	87,37	81,03	64,97	67,02	67,16	78,43	91,88	89,76	90,68	986,4
Equipamiento (kWh)	116,36	105,22	117,3	111,4	117,3	104,46	100	100,4	115,39	127,5	113,27	115,42	1344

Tabla 62. Resumen mensual de consumos de la vivienda situada en Santander.

6.4.2 Teruel

En este apartado se llevará a cabo el mismo proceso que para el apartado anterior, es decir se analizarán tanto el consumo del edificio como el consumo en fuente en función de la energía total y la energía por superficie de la vivienda para así obtener un resumen inicial de los valores obtenidos para esta ciudad.

Como bien se ha recalcado anteriormente, el parámetro más indicativo es el consumo del edificio en función de la energía total, ya que es el utilizado normalmente para determinar la eficiencia energética de las viviendas. En este caso Teruel presenta el valor más alto respecto a las demás ciudades estudiadas, esto se debe principalmente a su climatología, la cual se trata de un clima continental, en el que los inviernos son los más fríos de la península y los veranos se encuentran entre los más calurosos. Lo que se traduce en mayores oscilaciones térmicas y, por lo tanto, mayor uso de los sistemas de climatización.

	Energía total (kWh)	Energía por superficie (kWh/m ²)	Energía por superficie acondicionada (kWh/m ²)
Consumo en edificio	7563,88	61,85	73,65
Consumo en fuente	23958,33	195,89	233,27

Tabla 63. Resumen energético de la vivienda situada en Teruel.

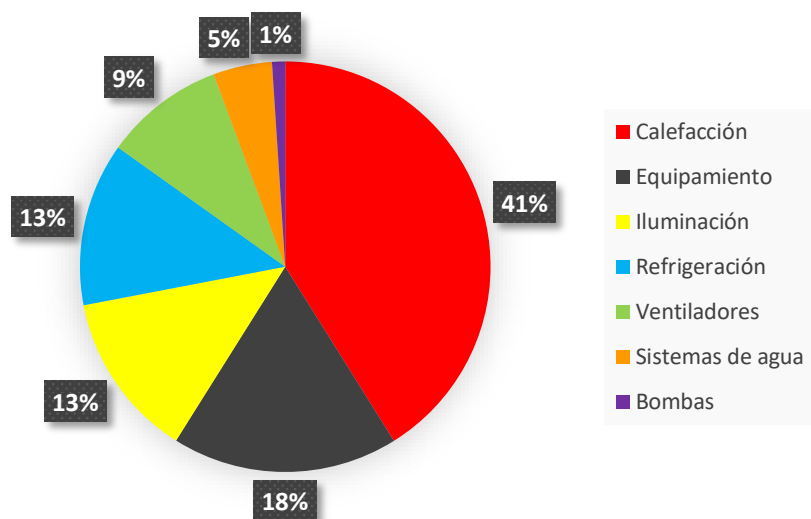


Figura 86. Consumo de energía final según uso en Teruel.

Verificando lo nombrado al inicio del apartado respecto a los veranos e inviernos en la ciudad de Teruel, podemos observar en la siguiente tabla como los valores de calefacción y refrigeración hacen en su conjunto el valor más alto de consumo en sistemas de climatización respecto al resto de ciudades estudiadas.

Calefacción (<i>kWh</i>)	3100
Equipamiento (<i>kWh</i>)	1344
Iluminación (<i>kWh</i>)	986
Refrigeración (<i>kWh</i>)	975
Ventiladores (<i>kWh</i>)	714
Sistemas de agua (<i>kWh</i>)	350
Bombas (<i>kWh</i>)	97

Tabla 64. Resumen anual de consumos de la vivienda situada en Teruel.

Al igual que en Santander los consumos de calefacción mensuales más altos se encuentran en los meses de diciembre y enero, alcanzando el valor máximo de consumo mensual entre todas las ciudades analizadas, superando al de Santander en 1,73 veces, al de Madrid en 1,26 veces y al de Málaga en 1,48 veces.

En lo que respecta a la refrigeración, el inicio del uso de dispositivos de enfriamiento coincide con el aumento de las temperaturas por encima de los 25°C a partir de junio. Esta circunstancia, combinada con la baja humedad, difiere de Santander, donde el uso de aparatos de refrigeración comienza en julio y concluye a finales de septiembre. Destaca el elevado consumo de refrigeración en julio y agosto, especialmente en el primero de estos meses, alcanzando hasta los 401,89 kWh. Este valor se posiciona entre los meses con los índices más altos de consumo de refrigeración.

	En.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ag.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Total
Calefacción (kWh)	714,38	538,93	371,89	211,28	61,19	0	0	0	0	44,55	453,54	703,53	3099,29
Refrigeración (kWh)	0	0	0	0	0	91,35	401,89	386,27	92,76	0	0	0	972,27
Ventiladores (kWh)	60,52	54,66	60,52	58,57	60,52	58,57	60,52	60,52	58,57	60,52	58,57	60,52	712,58
Bombas (kWh)	9,24	8,28	8,99	7,9	6,89	6,89	8,87	8,87	6,94	6,46	8,86	9,23	97,42
Sistemas de agua (kWh)	29,82	26,95	29,84	28,88	29,84	28,88	29,84	29,84	28,88	29,84	28,88	29,84	351,33
Iluminación (kWh)	91,88	83,14	93,08	87,37	81,03	64,97	67,02	67,16	78,43	91,88	89,76	90,68	986,4
Equipamiento (kWh)	116,36	105,22	117,3	111,4	117,3	104,46	100	100,4	115,39	127,5	113,27	115,42	1344,02

Tabla 65. Resumen mensual de consumos de la vivienda situada en Teruel.

6.4.3 Madrid

En este segmento se presentan los datos derivados de las simulaciones realizadas para una vivienda ubicada en la ciudad de Madrid. Estos datos, recogidos en la Tabla 66 de la simulación, son comparables con los analizados previamente, revelando una notable similitud con los resultados obtenidos para la ciudad de Teruel. Aunque esta similitud inicial podría sugerir la posibilidad de ubicar la vivienda tanto en Madrid como en Teruel, es crucial tener en cuenta que los sistemas de climatización difieren significativamente entre ambas ciudades.

	Energía total (kWh)	Energía por superficie (kWh/m ²)	Energía por superficie acondicionada (kWh/ m ²)
Consumo en edificio	7422,22	60,69	72,27
Consumo en fuente	23508,33	192,22	228,9

Tabla 66. Resumen energético de la vivienda situada en Madrid.

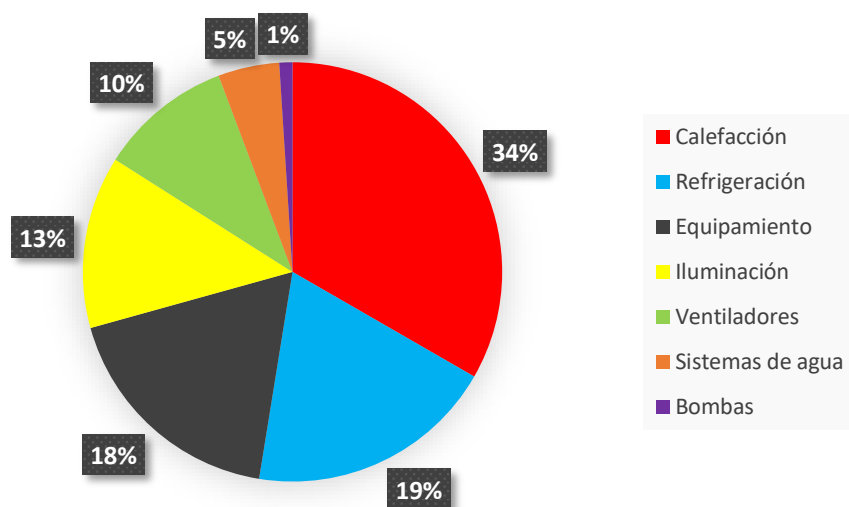


Figura 87. Consumo de energía final según uso en Madrid.

En este escenario, la refrigeración adquiere una relevancia significativa al superar el consumo del equipamiento doméstico (nevera, congelador, televisión, etc), ubicándose aproximadamente 1000 kWh por debajo de la calefacción. Es en este aspecto donde Madrid se distingue notoriamente de Teruel, dado que los veranos en la capital española son más cálidos, con temperaturas más elevadas durante los meses de verano. Por lo tanto, es completamente lógico que el consumo en esta categoría se vea incrementado en comparación con Teruel. Específicamente, en Madrid es el 79,48% del de Teruel, mientras que la demanda de refrigeración es 1,46 veces superior a la existente en Teruel.

Calefacción (kWh)	2464
Refrigeración (kWh)	1422
Equipamiento (kWh)	1344
Iluminación (kWh)	986
Ventiladores (kWh)	761
Sistemas de agua (kWh)	350
Bombas (kWh)	94

Tabla 67. Resumen anual de consumos de la vivienda situada en Madrid

Con el fin de realizar un análisis más detallado de los diversos consumos en la Ciudad de Madrid y destacar sus diferencias con respecto a otras ciudades estudiadas, se presenta en la siguiente tabla un desglose de los distintos consumos. Se observa que los consumos elevados de calefacción durante los meses de diciembre y enero son una característica común en todas las ciudades. Por otro lado, en cuanto a la refrigeración, los mayores consumos se registran en julio y agosto, siendo julio el mes con el consumo más alto en Madrid, alcanzando los 549,74 kWh.

Para diferenciar mejor a Teruel de Madrid, se analizarán los picos de demanda de cada ciudad. En Madrid, el uso de calefacción en enero tiene un valor que es el 85,2% del valor de demanda de calefacción para este mes en Teruel, mientras que la demanda de refrigeración en julio es un 1,36 veces superior a la de Teruel.

	En.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ag.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Total
Calefacción (kWh)	608,69	460,35	291	130,26	6,25	0	0	0	0	15,22	334,98	617,07	2463,82
Refrigeración (kWh)	0	0	0	0	0	142,89	549,74	537,14	191,56	0	0	0	1421,33
Ventiladores (kWh)	64,68	58,42	64,68	62,59	64,68	62,59	64,68	64,68	62,59	64,68	62,59	64,68	761,54
Bombas (kWh)	7,04	6,33	6,9	6,28	4,59	5,87	7,03	7,03	6,23	4,71	6,72	7,04	75,77
Sistemas de agua (kWh)	29,81	26,95	29,84	28,88	29,84	28,88	29,84	29,84	28,88	29,84	28,88	29,84	351,32
Iluminación (kWh)	91,88	83,14	93,08	87,37	81,03	64,97	67,02	67,16	78,43	91,88	89,76	90,68	986,4
Equipamiento (kWh)	116,36	105,22	117,3	111,4	117,3	104,46	100	100,4	115,39	127,5	113,27	115,42	1344

Tabla 68. Resumen mensual de consumos de la vivienda situada en Madrid.

6.4.5 Málaga

Finalmente, se muestran los resultados de la simulación en la ciudad de Málaga. El consumo del edificio se sitúa en un punto intermedio en comparación con las ciudades estudiadas. Esta variación se explica por el hecho de que Santander registra el valor más bajo debido a su clima suave, mientras que Madrid y Teruel alcanzan los valores más altos debido a sus climas más continentales. La siguiente tabla proporciona datos detallados del edificio, ofreciendo una visión preliminar de la demanda energética de la vivienda en esta ciudad.

	Energía total (kWh)	Energía por superficie (kWh/m ²)	Energía por superficie acondicionada (kWh/ m ²)
Consumo en edificio	6119,44	50,02	59,57
Consumo en fuente	19375	158,43	188,66

Tabla 69. Resumen energético de la vivienda situada en Málaga.

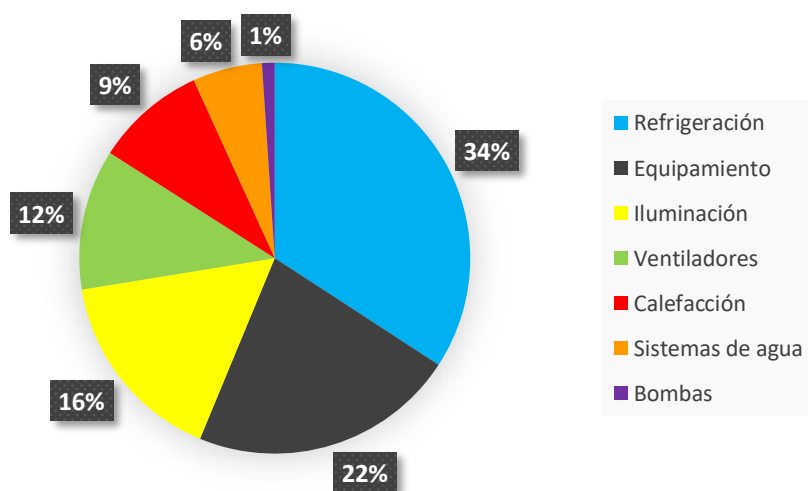


Figura 88. Consumo de energía final según uso en Málaga.

La elección de la ciudad de Málaga para llevar a cabo la simulación se basó principalmente en sus elevadas temperaturas durante el verano, lo que nos permitió analizar el comportamiento de la vivienda ante condiciones exteriores de calor intenso. La siguiente tabla presenta los datos de diversos consumos y sus valores, destacando especialmente la notable importancia de la refrigeración en comparación con otras categorías y con las ciudades estudiadas. En Málaga, el consumo de refrigeración es el más elevado, alcanzando un valor de 2089 kWh, lo que representa 5,05 veces la demanda en Santander, 2,14 veces mayor que la demanda en Teruel y 1,47 veces más que la demanda registrada en Madrid.

Refrigeración (kWh)	2089
Bombas (kWh)	1344
Iluminación (kWh)	986
Ventiladores (kWh)	708
Calefacción (kWh)	561
Sistemas de agua (kWh)	350
Bombas (kWh)	81

Tabla 70. Resumen anual de consumos de la vivienda situada en Málaga.

Para analizar los picos de consumo mensual, se presenta la siguiente tabla que detalla los diversos tipos de consumos a lo largo del año. Lo más notable son los bajos consumos de calefacción, los cuales son mínimos en comparación con otras ciudades. Esta disparidad se explica razonablemente debido a que las temperaturas a lo largo del año no son tan bajas como en las otras ciudades estudiadas. Es particularmente destacable el elevado consumo de refrigeración en los meses de julio y agosto, alcanzando niveles máximos en todas las simulaciones realizadas. En concreto, en agosto se registra un consumo de 725,5 kWh, que es 4,46 veces superior a la demanda de refrigeración existente en Santander, 1,80 veces superior a la de Teruel y 1,31 veces superior a la de Madrid.

	En.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ag.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Total
Calefacción (kWh)	150,99	144,41	73,42	0	0	0	0	0	0	0	14,08	174,83	557,73
Refrigeración (kWh)	0	0	0	0	0	292,35	638,08	725,5	432,17	0	0	0	2088,1
Ventiladores (kWh)	60,22	54,39	60,22	58,28	60,22	58,28	60,22	60,22	58,28	60,22	58,28	60,22	709,05
Bombas (kWh)	7,02	6,43	6,31	5,39	5,51	7,32	7,85	7,81	7,38	5,51	5,62	7,27	79,42
Sistemas de agua (kWh)	29,81	26,95	29,84	28,88	29,84	28,88	29,84	29,84	28,88	29,84	28,88	29,84	351,32
Iluminación (kWh)	91,88	83,14	93,08	87,37	81,03	64,97	67,02	67,16	78,43	91,88	89,76	90,68	986,4
Equipamiento (kWh)	116,36	105,22	117,3	111,4	117,3	104,46	100	100,4	115,39	127,5	113,27	115,42	1344,02

Tabla 71. Resumen mensual de consumos de la vivienda situada en Málaga.

A modo de resumen, se presenta una gráfica conjunta de los consumos energéticos medios anuales de las dos instalaciones de bomba de calor geotérmica, en las cuatro ubicaciones, con el objetivo de determinar si una de las instalaciones es significativamente más eficiente que la otra en todas las localidades, o si por el contrario poseen rendimientos similares en lugares con distinta climatología.

Se observa que el consumo de ambas instalaciones en todas las ciudades es bastante similar. Sin embargo, el consumo de la instalación 1 es ligeramente inferior en todas las localizaciones aquí consideradas, siendo un 6,04% menor en Santander, un 6,50% en Teruel, un 8,94% en Madrid y un 12,93% en Málaga.

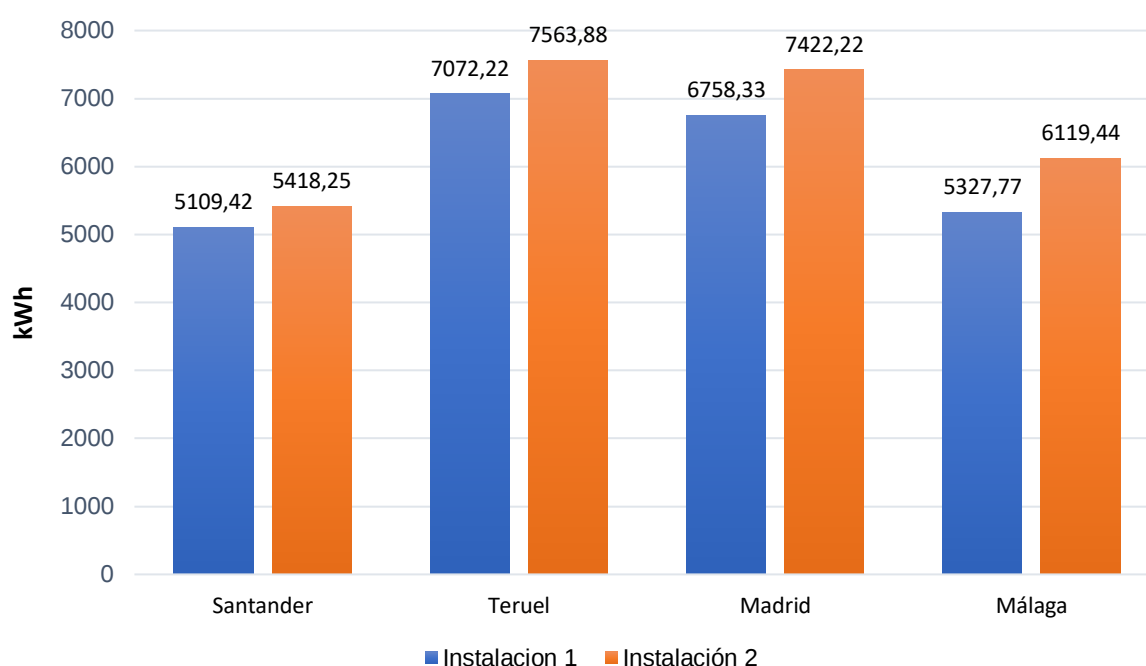


Figura 89. Consumo anual de las instalaciones en cada una de las ciudades

6.5 INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA AMBIENTE MEDIA EN LOS CONSUMOS

Con el propósito de examinar cómo incide la temperatura ambiente media mensual en los consumos de las instalaciones bajo estudio en las distintas ciudades a estudiar, se han elaborado los siguientes gráficos, los cuales ilustran los consumos en relación con las temperaturas promedio documentadas en cada ubicación. Estas representaciones gráficas posibilitarán una comprensión más detallada de cómo afecta la temperatura media al consumo de las instalaciones y por lo tanto a su eficiencia, facilitando la detección de tendencias y patrones que podrían tener notables repercusiones en términos de eficiencia energética. A través de este análisis, se aspira a evaluar el desempeño de las instalaciones en diferentes entornos climáticos, con la intención de ver si el consumo de cada instalación es igual de sensible a la temperatura ambiente del lugar donde está la instalación.

6.5.1 Santander

En esta sección se detallan los consumos de refrigeración y calefacción en relación con la temperatura ambiente promedio mensual de Santander. Se llevó a cabo un análisis exhaustivo de los consumos de ambas instalaciones para evaluar la sensibilidad de cada una ante variaciones de la temperatura ambiente.

Se han calculado los coeficientes de determinación (R^2) para cada una de las instalaciones y así indicar la variabilidad del consumo en función de la temperatura ambiente. Para este caso de refrigeración, disponemos de una gráfica de dispersión creciente en la que los valores de estos coeficientes son cercanos a 1, lo cual significa que la línea de tendencia exponencial se ajusta casi perfectamente a los puntos de la gráfica (*Figura 90*). En términos prácticos, para ambas instalaciones, un aumento de la temperatura media mensual de 1°C aumenta un 50% del consumo de refrigeración de la vivienda.

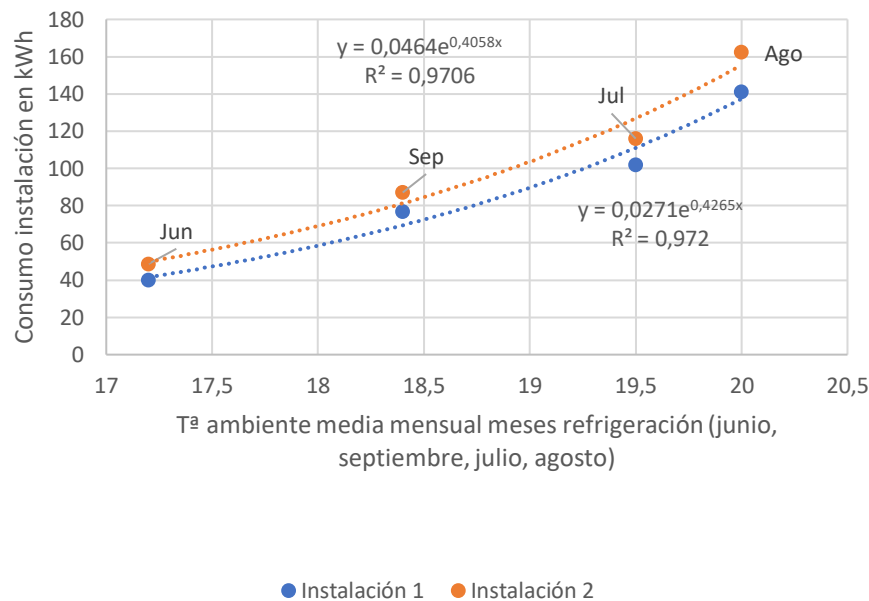


Figura 90. Consumos de refrigeración frente a T^a ambiente en Santander.

A continuación, se expone el gasto de calefacción en función de la temperatura promedio en Santander. Al igual que en el análisis de la refrigeración, se observa que ambas instalaciones muestran coeficientes de determinación cercanos a uno, aunque en este caso son algo menores. Desde un punto de vista práctico cada vez que la temperatura disminuya 1°C el consumo de calefacción aumenta alrededor del 50%.

Como se observa en la *Figura 91*, diciembre, presenta un consumo superior al de febrero a pesar de que la temperatura ambiente es mayor. Esto es debido principalmente a las horas solares de los meses de febrero y la frecuencia de días soleados, que hace que la radiación solar sea más intensa en estos y por ende la vivienda reciba más calor por sus superficies reduciendo así la necesidad del uso de calefacción. Adicionalmente, febrero cuenta con 3 días menos que diciembre, lo que equivale a 72 horas menos en las cuales podría ser necesario el uso de la calefacción.

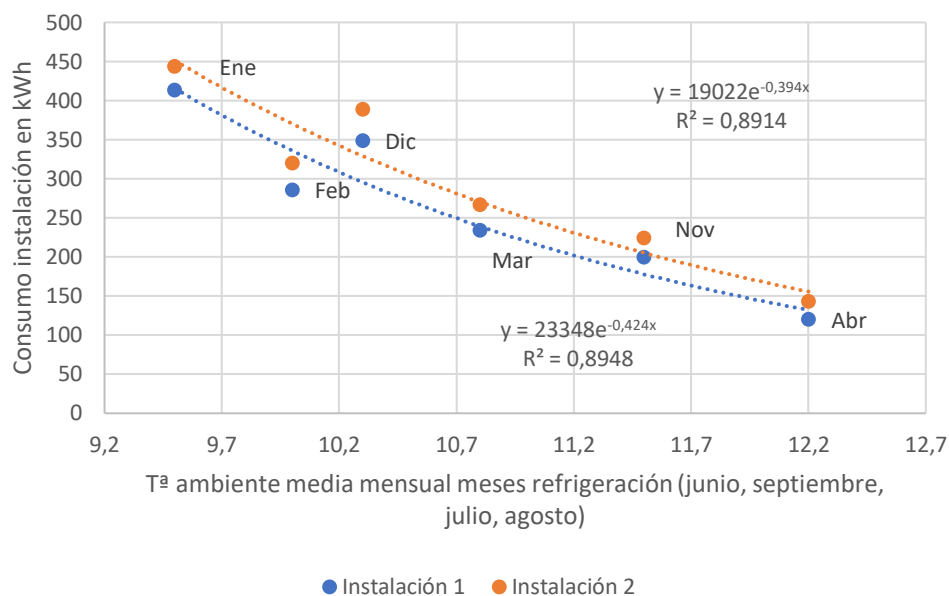


Figura 91. Consumos de calefacción frente a Tª ambiente en Santander.

6.5.2 Teruel

A continuación, se muestran los resultados obtenidos para un análisis similar en la ciudad de Teruel.

El comportamiento de las instalaciones en las ciudades a estudiar es bastante similar, como se puede comparar en la Figura 90 y Figura 92. Aunque en este caso se observa un comportamiento que a primera vista puede parecer extraño, en el mes de junio a pesar de constar de mayor temperatura que septiembre dispone de un pequeño decremento en el consumo respecto a septiembre, esto puede ser causado por la variabilidad en las condiciones meteorológicas diarias, la radiación solar, la humedad y otros factores climatológicos. Además, los cambios en las tendencias climáticas podrían también incidir en el comportamiento térmico y así causar esta ligera diferencia.

En términos prácticos el aumento de consumo en función de la temperatura es alrededor del 40% por cada 1°C de temperatura.

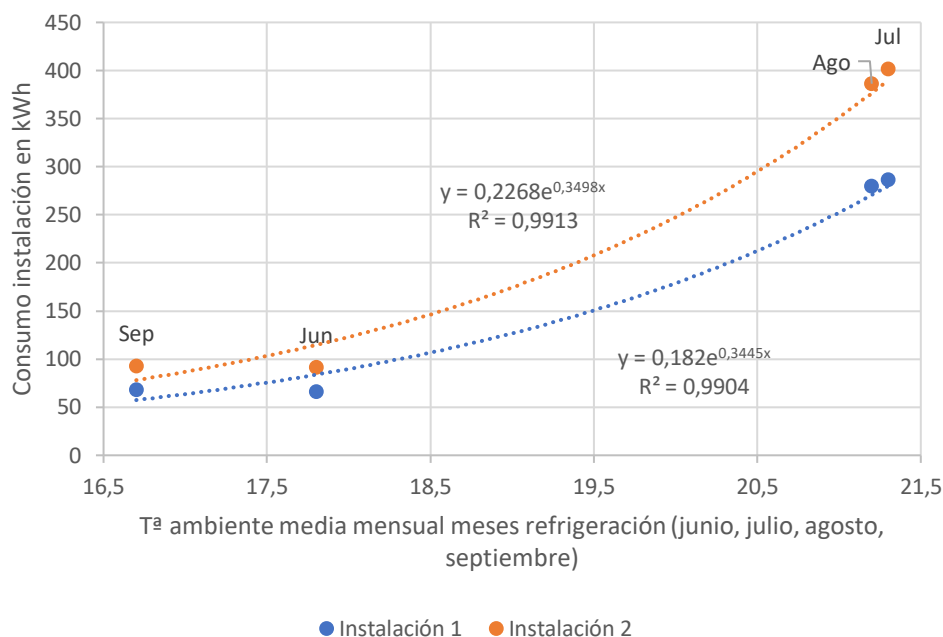


Figura 92. Consumos de refrigeración frente a T^a ambiente en Teruel

En lo que respecta a la calefacción, observamos que las líneas de tendencia son decrecientes y se encuentran bastante ajustadas a los puntos. Esto señala una fuerte relación entre las variables, lo que significa que a medida que la temperatura aumenta, el consumo de calefacción tiende a disminuir exponencialmente, obteniéndose que un aumento de 1°C de la temperatura ambiente exterior supone una reducción de aproximadamente el 30% en el consumo de calefacción.

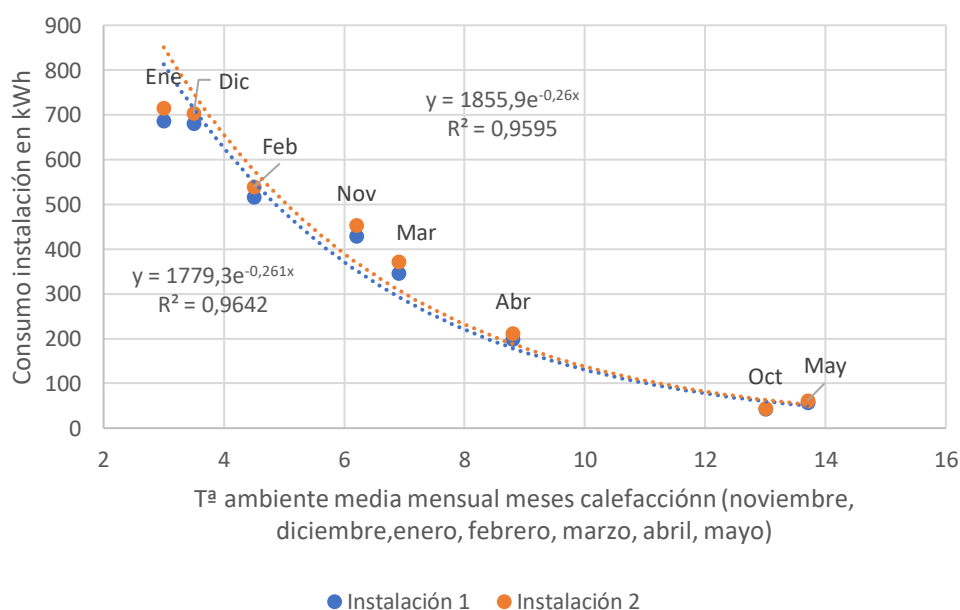


Figura 93. Consumos de calefacción frente a T^a ambiente en Teruel.

6.5.3 Madrid

En esta sección, se analizarán las relaciones existentes entre los diferentes consumos para la temperatura exterior de la ciudad de Madrid.

En la gráfica siguiente se representa el consumo de refrigeración para las instalaciones 1 y 2 en relación con las temperaturas promedio durante los meses de verano. Al igual que en otras ciudades, los coeficientes de determinación son casi del valor de uno, mientras que la línea de tendencia dispone de una exponencial algo menor, aumentando el consumo de refrigeración de forma exponencial en más del 36%.

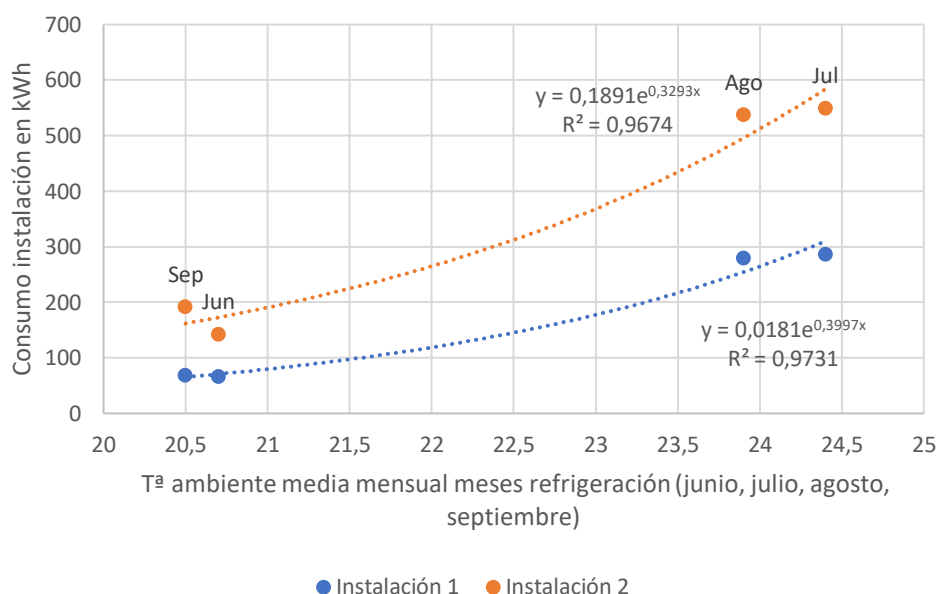


Figura 94. Consumos de refrigeración frente a Tª ambiente en Madrid.

A continuación, se muestra el consumo de calefacción en función de la temperatura ambiente, en este caso, el consumo presenta algo de menor relación en la instalación 2 que en los casos anteriores. Nuevamente vuelve a obtenerse que un aumento de 1°C de la temperatura ambiente exterior reduce de forma considerable el consumo energético de calefacción haciéndolo aproximadamente un 30%.

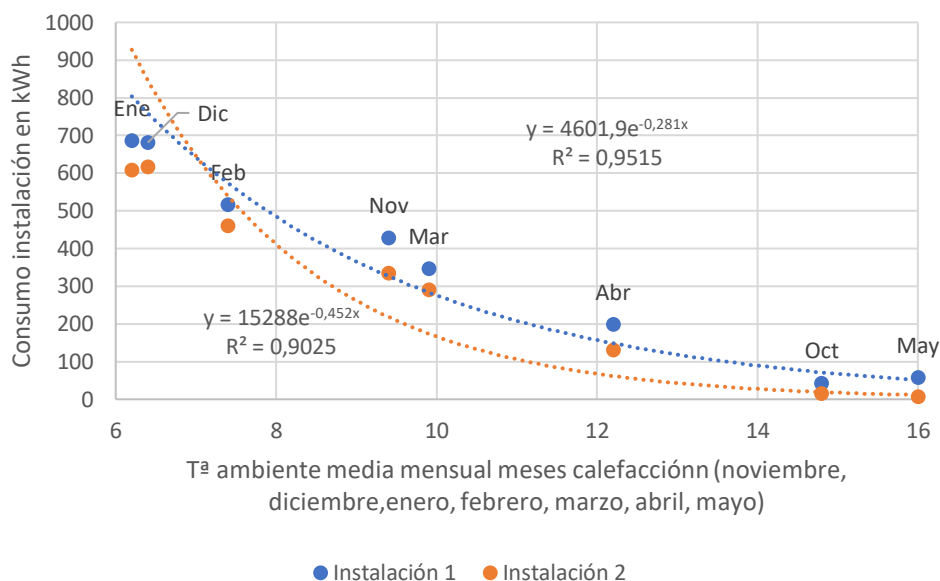


Figura 95. Consumos de calefacción frente a T^a ambiente en Madrid.

6.5.4 Málaga

En esta sección, se presentan los diversos consumos en relación con la temperatura promedio en la última ciudad analizada, Málaga.

En la siguiente figura se representa el consumo de refrigeración en función de la temperatura promedio en los meses de verano. Podemos observar como el consumo de refrigeración aumenta a medida que aumenta la temperatura, expresamente este aumenta de forma exponencial en más del 30% por cada incremento de 1°C.

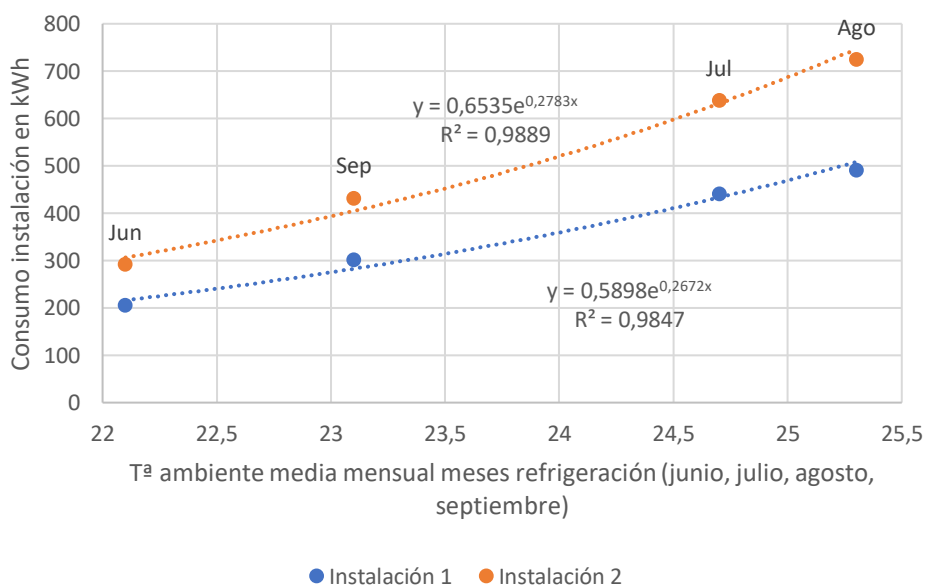


Figura 96. Consumos de refrigeración frente a T^a ambiente en Málaga.

En la *Figura 97* se presenta la relación entre los consumos de calefacción de ambas instalaciones y las temperaturas exteriores. Al igual que en el caso de Santander (*Figura 91*) aunque la temperatura de enero sea menor que en diciembre, la frecuencia solar ayuda a satisfacer parte de la demanda de calefacción y hace que el consumo en este mes sea menor. Se observa que por cada aumento de 1°C de la temperatura ambiente exterior, el consumo energético de la instalación de calefacción se reduce alrededor del 50%.

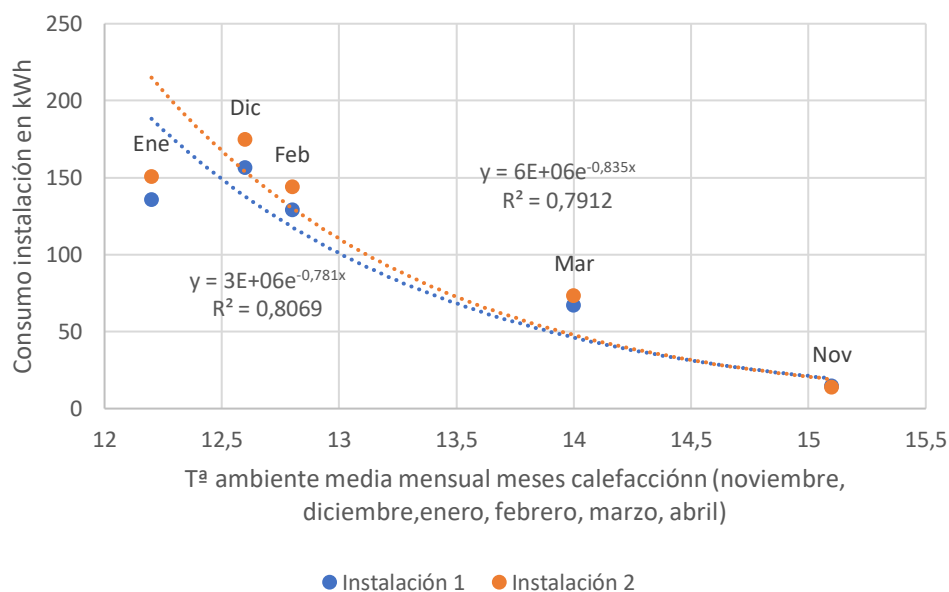


Figura 97. Consumos de calefacción frente a Tª ambiente en Málaga.

En conclusión, la sensibilidad de ambas instalaciones tanto para refrigeración como para calefacción es bastante similar en todas las ciudades estudiadas.

7 COSTE ECONÓMICO DE OPERACIÓN E INVERSIÓN

Dado que la vivienda objeto de estudio únicamente utiliza como fuente de energía la energía eléctrica, será necesario estudiar el coste de operación de cada una de las instalaciones en sus respectivas ciudades para así observar si la temperatura ambiente afecta de igual manera a estos costes.

Tras explorar diversas opciones de proveedores, se ha seleccionado a Endesa como la empresa más económica. Esta ofrece una tarifa de discriminación horaria con precios diferenciados para distintos intervalos a lo largo del mes. A continuación, se detallan los costos asociados a cada horario.

Coste	Precio	Unidades
Fijo	12	€/mes
Horas pico (10:00-14:00 y 18:00-22:00)	0,168	€/kWh
Horas valle (0:00-8:00 y fin de semana)	0,0944	€/kWh
Horas llano (8:00-10:00, 14:00-18:00 y 22:00-24:00)	0,124	€/kWh
IVA	21	%

Tabla 72. Costes de electricidad de la empresa “Endesa”. (Tarifasgasluz, 2023)

Estos datos han sido incorporados a una extensión de Open Studio, lo que ha habilitado para calcular los diversos costes de cada mes a lo largo del año y así determinar el coste económico de la instalación en cada una de las ciudades objeto de estudio.

7.1 COSTE ECONÓMICO DE OPERACIÓN DE LA INSTALACIÓN 1

En este apartado, se detallan los distintos consumos de electricidad, destacando los cargos por energía, los cuales están directamente relacionados con los costos asociados a la cantidad de electricidad consumida. Estos cargos se determinan en base a la tasa de consumo de kilovatios-hora, variando según los diferentes horarios establecidos a lo largo del mes.

Adicionalmente, se presentan los cargos por servicio, los cuales se incluyen en la facturación para cubrir los gastos generales relacionados con la prestación del servicio eléctrico. Este cargo por servicio engloba diversos componentes, como el mantenimiento de la infraestructura de la red eléctrica, la gestión del servicio al cliente, la lectura de medidores, la facturación y otros costos operativos.

7.1.1 Santander

En la siguiente tabla se encuentran desglosados estos costes económicos junto con la aplicación de su respectivo impuesto (IVA) para cada uno de los meses. Cómo se puede observar los costes están directamente relacionados con los consumos de la Tabla 50, donde estos alcanzan sus máximos en los meses de enero y diciembre, y como consecuencia estos meses serán los que conlleven una factura de mayor valor.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Cargos de energía (€)	80,83	68,52	68,49	55,16	40,08	30,59	35,72	37,25	38,21	37,94	58,26	82,12	633,16
Cargos por servicio (€)	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	144,00
Subtotal (€)	92,83	80,52	80,49	67,16	52,08	42,59	47,72	49,25	50,21	49,94	70,26	94,12	777,16
Impuestos (€)	19,49	16,91	16,9	14,1	10,94	8,94	10,02	10,34	10,54	10,49	14,75	19,76	163,2
Total (€)	112,32	97,43	97,4	81,26	63,01	51,53	57,74	59,59	60,75	60,42	85,02	113,88	940,36

Tabla 73. Coste económico de operación de la instalación 1 de la vivienda en Santander.

7.1.2 Teruel

En esta sección, se exponen los datos de los costos económicos mensuales en la ciudad de Teruel. Como era de esperar, estos costos son superiores a los de la ciudad de Santander, lo cual se atribuye al mayor consumo energético y, por consiguiente, a un gasto más elevado. En particular, Teruel es la ciudad que más coste económico necesita a lo largo del año para la instalación basada en la unidad de tratamiento de aire (instalación 1), en concreto es 1,3 veces mayor en comparación con Santander, un 1,03 veces mayor que Madrid y 1,24 veces mayor que en Málaga.

Además, se observa que la variación entre los meses de invierno y verano no es tan marcada como en el caso de Santander. Este fenómeno se debe principalmente a la climatología continental de Teruel, caracterizada por inviernos fríos y veranos cálidos.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Cargos de energía (€)	118,13	94,1	77,96	58,23	43,74	41,69	67,97	68,87	45,5	44,98	86,69	116,29	864,15
Cargos por servicio (€)	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	144
Subtotal (€)	130,13	106,1	89,96	70,23	55,74	53,69	79,97	80,87	57,5	56,98	98,69	128,29	1008,15
Impuestos (€)	27,33	22,28	18,89	14,75	11,71	11,28	16,79	16,98	12,08	11,97	20,72	26,94	211,71
Total (€)	157,46	128,38	108,85	84,98	67,44	64,97	96,76	97,85	69,58	68,95	119,41	155,23	1219,86

Tabla 74. Coste económico de operación de la instalación 1 de la vivienda en Teruel.

7.1.3 Madrid

En esta sección, se aplicará el mismo análisis que en los casos previos, pero enfocado en la ciudad de Madrid. Al comparar la Tabla 74 y la Tabla 72, se observa una similitud significativa en los costos durante todos los meses. Esta similitud se atribuye a las condiciones climáticas semejantes en ambas ciudades, siendo la principal diferencia que los inviernos son más cálidos en Teruel, mientras que los veranos son más calurosos en Madrid. Esto se observa perfectamente reflejado en los costes económicos de operación de las dos tablas (Tabla 74 y Tabla 75).

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Cargos de energía (€)	106,7	85,54	70,02	49,23	38,5	45,7	79,25	78,92	53,52	42,31	74,29	106,56	830,54
Cargos por servicio (€)	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	144
Subtotal (€)	118,7	97,54	82,02	61,23	50,5	57,7	91,25	90,92	65,52	54,31	86,29	118,56	974,54
Impuestos (€)	24,93	20,48	17,22	12,86	10,61	12,12	19,16	19,09	13,76	11,4	18,12	24,9	204,65
Total (€)	143,63	118,03	99,24	74,09	61,11	69,81	110,41	110,01	79,28	65,71	104,41	143,46	1179,19

Tabla 75. Coste económico de operación de la instalación 1 de la vivienda en Teruel.

7.1.4 Málaga

Por último, se ha analizado el coste económico de operación de la instalación 1 en la ciudad de Málaga, a diferencia del resto de ciudades esta presenta sus mayores gastos en los meses de verano, esto concuerda a la perfección con los veranos extremadamente calurosos que presenta esta ciudad, alcanzado en algunas ocasiones las temperaturas más altas de la península. Por tanto, esto se traduce en un mayor uso de los sistemas de climatización y por ende un mayor gasto en esos meses de verano. Es destacable que el coste de operación total anual sea similar al de Santander, aunque este se encuentre repartido totalmente distinto debido a la diferencia climatológica.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Cargos de energía (€)	53,46	49,02	46,5	36,73	37,47	58,3	84,57	93,03	72,68	40,25	39,29	54,98	666,26
Cargos por servicio (€)	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	144
Subtotal (€)	65,46	61,02	58,5	48,73	49,47	70,3	96,57	105,03	84,68	52,25	51,29	66,98	810,26
Impuestos (€)	13,75	12,81	12,28	10,23	10,39	14,76	20,28	22,06	17,78	10,97	10,77	14,06	170,16
Total (€)	79,21	73,83	70,78	58,97	59,86	85,06	116,85	127,08	102,46	63,23	62,06	81,04	980,42

Tabla 76. Coste económico de operación de la instalación 1 de la vivienda en Málaga.

7.2 COSTE ECONÓMICO DE OPERACIÓN DE LA INSTALACIÓN 2

7.2.1 Santander

En esta sección, se presenta un desglose detallado de los costos de energía resultantes de la operación de la instalación 2 a lo largo del año en Santander. Al igual que en la instalación anterior y en cualquier análisis similar, se observa que los costos más elevados siempre se registran durante los meses de invierno. Esto se atribuye a las temperaturas invernales en la ciudad de Santander, que generan una demanda considerable de electricidad, principalmente destinada al uso de sistemas de calefacción.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Cargos de energía (€)	86,67	73,22	72,28	57,1	42,97	30,97	37,54	40,62	39,14	38,84	61,5	85,21	666,05
Cargos por servicio (€)	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	144
Subtotal (€)	98,67	85,22	84,28	69,1	54,97	42,97	49,54	52,62	51,14	50,84	73,5	97,21	810,05
Impuestos (€)	20,72	17,9	17,7	14,51	11,54	9,02	10,4	11,05	10,74	10,68	15,43	20,41	170,11
Total (€)	119,39	103,11	101,97	83,61	66,52	52	59,94	63,67	61,88	61,51	88,93	117,62	980,17

Tabla 77. Coste económico de operación de la instalación 2 de la vivienda en Santander.

7.2.2 Teruel

En el caso de Teruel, los gastos se verán incrementados en todos los meses en comparación con Santander. Aunque se mantiene la característica de que los meses de mayor consumo son diciembre y enero, en este escenario los costos son mayores debido a los inviernos más fríos que experimenta esta ciudad.

Teruel es la ciudad en la que el coste económico de operación de la instalación térmica es mayor, concretamente 1,32 veces mayor que el de Santander, casi es igual al de Madrid (1,01 veces mayor), y 1,18 veces mayor que el de Málaga.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Cargos de energía (€)	121,11	97,84	81,5	61,84	44,13	45,69	82,88	83,6	49,66	45,01	91,28	121,53	926,08
Cargos por servicio (€)	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	144
Subtotal (€)	133,11	109,84	93,5	73,84	56,13	57,69	94,88	95,6	61,66	57,01	103,28	133,53	1070,08
Impuestos (€)	27,95	23,07	19,64	15,51	11,79	12,11	19,93	20,08	12,95	11,97	21,69	28,04	224,72
Total (€)	161,07	132,91	113,14	89,35	67,92	69,8	114,81	115,67	74,61	68,98	124,97	161,57	1294,8

Tabla 78. Coste económico de operación de la instalación 2 de la vivienda en Teruel.

7.2.3 Madrid

En la siguiente tabla se muestran los costes económicos mensuales de operación de la instalación 2 en la ciudad de Madrid. Aunque el coste anual únicamente difiera de un 1,25 % respecto a Teruel, este coste económico de operación se encuentra diferentemente repartido, en Madrid el coste es mayor en verano mientras que en Teruel el coste es mayor en invierno, esto es debido a la diferencia de la climatología entre las dos ciudades, la cual se encuentra bien definida en el apartado 4 *Localizaciones*.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Cargos de energía (€)	110,83	89,36	73,59	51,34	39,11	52,15	101,67	100,49	61,97	42,98	78,03	110,5	912,03
Cargos por servicio (€)	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	144
Subtotal (€)	122,83	101,36	85,59	63,34	51,11	64,15	113,67	112,49	73,97	54,98	90,03	122,5	1056,03
Impuestos (€)	25,8	21,29	17,97	13,3	10,73	13,47	23,87	23,62	15,53	11,55	18,91	25,73	221,77
Total (€)	148,63	122,65	103,57	76,65	61,84	77,62	137,55	136,11	89,51	66,52	108,94	148,23	1277,8

Tabla 79. Coste económico de operación de la instalación 2 de la vivienda en Madrid.

7.2.4 Málaga

En esta sección, se proporcionan los costes económicos de operación de la instalación 2 en la ciudad de Málaga. En particular, se destacan las facturas más elevadas durante el verano en comparación con otras ciudades. En concreto, Málaga cuenta con un valor máximo de 163,52 €, que es 2,57 veces superior al valor máximo en el verano de Santander, 1,41 veces superior al valor máximo en verano en Teruel y 1,19 veces mayor que el valor máximo en verano en Madrid.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Cargos de energía (€)	56,13	51,58	47,99	37,19	37,95	70,26	109,66	123,4	89,6	40,75	39,92	58	762,43
Cargos por servicio (€)	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	144
Subtotal (€)	68,13	63,58	59,99	49,19	49,95	82,26	121,66	135,4	101,6	52,75	51,92	70	906,43
Impuestos (€)	14,31	13,35	12,6	10,33	10,49	17,27	25,55	28,43	21,34	11,08	10,9	14,7	190,35
Total (€)	82,44	76,93	72,59	59,53	60,44	99,54	147,21	163,83	122,94	63,82	62,82	84,7	1096,78

Tabla 80. Coste económico de operación de la instalación 2 de la vivienda en Málaga.

A modo de resumen, se ha elaborado un gráfico comparativo de los costos totales de operación para cada una de las ciudades, evaluando sus valores en cada una de las instalaciones.

Como se puede apreciar, el coste económico de operación es ligeramente inferior en todas las ciudades cuando se considera la primera instalación. Al comparar la *Figura 98* y *Figura 89*, se observa cómo los costes son completamente coherentes y están directamente vinculados al consumo energético de las instalaciones.

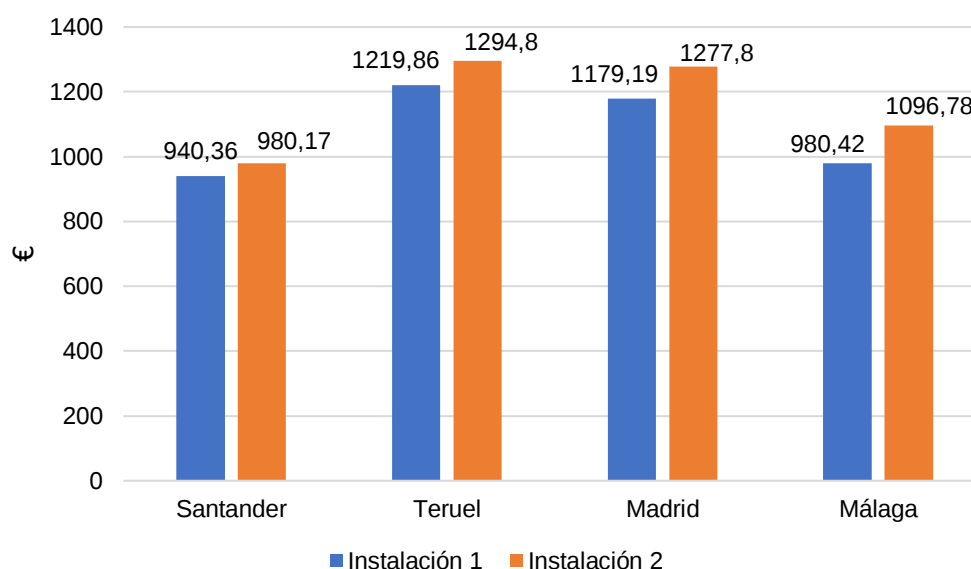


Figura 98. Coste económico de operación anual en cada una de las ciudades en función de la instalación.

7.3 INVERSIÓN

El objetivo de esta sección es proporcionar una estimación económica de los diversos equipos que componen la implementación y operación de los sistemas geotérmicos aquí estudiados. Se han analizado los costes iniciales de instalación, los gastos previos a la puesta en marcha y legalización, así como los relacionados con la mano de obra. A través de este análisis, se pretende examinar la inversión inicial de cada instalación para determinar cuál de ellas presenta una mayor viabilidad económica.

Para elegir los distintos componentes de las instalaciones y determinar sus precios, se ha utilizado la herramienta online de cálculo de instalaciones de la empresa BAXI (BAXI, 2023) especializada en la fabricación e instalación de sistemas de climatización.

El uso de esta herramienta ha permitido obtener una estimación del presupuesto inicial de inversión de cada una de las instalaciones aquí consideradas.

En primer lugar, se ha realizado el presupuesto de instalación de la bomba de calor geotérmica, el cual es el mismo para ambas instalaciones.

Descripción	Cantidad (Ud.)	Precio unitario (€)	Precio total (€)
Bomba de calor geotérmica Vaillant flexoTHERM exclusive VWF 57 Pozo Cerrado 400 V + sensoCOMFORT VRC 720F	1	8270,00	8.270,00
Depósito acumulador solar de doble serpentín AS 200-2 E	1	1640,00	1640,00
Vaso de expansión para circuitos de A.C.S. VASOFLEX/S	1	102,00	102,00
Grupo de seguridad FLEXBRANE I 3/4"	1	38,20	38,20
Kit aislamiento modo frío MIT	1	212,00	212,00
Kit válvula de 3 vías calefacción/ACS	1	269,00	269,00
Sonda ACS	1	55,00	55,00
Depósito de inercia ASA 140-IN	1	869,00	869,00
		Total	11.455,20

Tabla 81. Presupuesto de instalación de bomba de calor geotérmica.

En segundo lugar, se han creado la *Tabla 82* y *Tabla 83*, en las que se detallan el presupuesto correspondiente a cada una de las instalaciones, para así poder realizar una comparación y llegar a una evaluación de su viabilidad económica.

Descripción	Cantidad (Ud.)	Precio unitario (€)	Precio total (€)
Unidad de tratamiento de aire, modelo TKM-50	1	4321,00	4321,00
Válvula de zona motorizada de 3 y 2 vías de 3/4"	7	190,00	1330,00
Circulador QUANTUM ECO 32	1	822,00	822,00
Difusor XARTO R	7	101,00	707,00
Conducto de aire de chapa galvanizada 0,3x1m (incluye accesorios de uniones)	38	11,19	425,22
Conducto de regulación VAV 0,3x1 m SVA-R de MADEL	7	364,00	2548,00
		Total	9.013,22

Tabla 82. Presupuesto de la instalación 1.

En la siguiente tabla se encuentra el presupuesto de la instalación 2 desglosado en la parte de calefacción (radiadores) y en la parte de refrigeración (fan coils).

Descripción	Cantidad (Ud.)	Precio unitario (€)	Precio total (€)
Instalación de radiadores			
Radiador Ferroli Europa C 600 x7 elementos	3	164,78	494,34
Radiador Ferroli Europa C 600 x8 elementos	1	188,32	188,32
Radiador Ferroli Europa C 600 x6 elementos	1	141,24	141,24
Radiador Ferroli Europa C 600 x4 elementos	1	94,15	94,15
Radiador Ferroli Europa C 600 x3 elementos	2	70,62	141,24
Accesorios ARA ALUM. 1/2" I	9	8,91	98,01
Soporte acero alicatar para radiadores	18	2,00	44,00
Llave NT bitubo termostática 1/2"	9	27,00	216,00
Detentor 1/2" escuadra M18	9	10,3	113,30
Enlace de compresión con rosca M18	18	4,00	88,00
Llave NT bitubo termostaticable 1/2" escuadra M18	3	12,80	38,40
Instalación de fan coils			
Unidad fan coil con motor DC (Inverter) de techo, modelo IQC40 a 2 tubos	7	690	4830,00
Válvula de zona motorizada de 3 y 2 vías de 3/4"	7	190	1330,0
Circulador QUANTUM ECO 1045	1	378	378,00
		Total	8159,58

Tabla 83. Presupuesto de la instalación 2.

En la siguiente tabla se exponen los costes totales de ambas instalaciones:

Tipo de instalación	Descripción	Precio (€)
Instalación 1	Bomba geotérmica	11.450,20
	Unidad de tratamiento de aire	9.013,22
	Total	20.355,42
Instalación 2	Bomba geotérmica	11.450,20
	Radiadores + Fan coils	8.159,58
	Total	19.609,78

Tabla 84. Comparación de inversión inicial entre ambas instalaciones.

La diferencia de inversión inicial es de 853,64 €, siendo más económica la 2ª instalación desde el punto de vista de inversión inicial.

Es importante señalar que la elección entre ambas instalaciones puede depender de las condiciones climáticas, y esto se vincula directamente con el tiempo necesario para recuperar la inversión. Este período puede variar significativamente entre ciudades, influenciado por los costos de operación de cada una. En el caso específico de Málaga, como se muestra en la *Figura 98*, existe una mayor diferencia en los costes de operación entre las dos instalaciones en comparación con el resto de las ciudades, siendo siempre el coste de operación de la instalación 1 inferior al de la instalación 2.

Para determinar la elección de la instalación más adecuada para cada localización analizada, se han calculado los tiempos de recuperación de la mayor inversión inicial que requiere la instalación 1 frente a la 2 en cada una de las cuatro localizaciones evaluadas, revelando cómo estos varían según los costos de operación específicos de cada ubicación.

Ciudades	Santander	Teruel	Madrid	Málaga
Tiempo de recuperación de la diferencia de inversión inicial considerando los costes de operación (años)	21 años y 6 meses	11 años y 5 meses	8 años y 8 meses	7 años y 4 meses

Tabla 85. Tiempo de recuperación de la inversión.

Considerando estos datos, se puede concluir que, en ciudades con climas más cálidos, como Málaga y Madrid, resulta más rentable optar por la instalación 1. El menor coste de operación de la instalación 1 frente al de la 2, hace posible que se pueda recuperar la mayor inversión inicial que requiere la instalación 1 frente a la 2 en un período de años asumible. Por el

contrario, en ciudades con climas no tan cálidos, como Teruel y especialmente Santander, el tiempo necesario para recuperar la mayor inversión inicial requerida por la instalación 1 hace más aconsejable optar por la instalación 2 aunque sus costes de operación son ligeramente superiores a los de la instalación 1.

7 BIBLIOGRAFÍA

Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE), (2008). *Guía técnica de procedimientos y aspectos de la simulación de instalaciones térmicas en*. Madrid. Obtenido de IDAE: https://www.idae.es/sites/default/files/documentos/publicaciones_idae/documentos_13_guia_tecnica_procedimientos_y_aspectos_de_la_simulacion_termicas_en_edificios_72a7f4d6.pdf [Último acceso: abril 2023]

AEMET. (2018). *Agencia Estatal de Meteorología*. Madrid.

Arnabat, I. (20 de Diciembre de 2007). Los aceites POE en la refrigeración y el aire acondicionado. *Caloryfrio.com*. Obtenido de <https://www.caloryfrio.com/refrigeracion-frio/aceites-poe-refrigeracion-aire-acondicionado.html> [Último acceso: abril 2023]

Asociación Técnica Española de Climatización, A. (2010). *Guía técnica agua caliente sanitaria central*. Madrid.

CEPCO, I. E. (Mayo de 2008). *Codigotecnico.org*. Obtenido de https://www.codigotecnico.org/pdf/Programas/CEC/CAT-EC-v05.0_MAYO08.pdf [Último acceso: mayo 2023]

Tarroja, E. Ciencias de la Construcción IETcc. (2022). *Guía de aplicación DB HE 2019*.

Construcción, I. E. (2010). *Catálogo de elementos constructivos del CTE*.

Construmática. (29 de Noviembre de 2021). Movimiento de tierras. *Construmática.com*. Obtenido de https://www.construmatica.com/construpedia/Movimiento_de_Tierras

CSIC, I. d. (2022). *Codigotecnico.org*. Obtenido de <https://www.codigotecnico.org/QueEsCTE/Presentacion.html> [Último acceso: marzo 2023]

Data, C. (2023). Datos climáticos mundiales. *Climate data*. Obtenido de <https://es.climate-data.org/> [Último acceso: marzo 2023]

Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. (2022). *Documento Básico de ahorro de energía. DB-HE 4*. Madrid. Obtenido de <https://www.codigotecnico.org/DocumentosCTE/AhorroEnergia.html> [Último acceso: marzo 2023]

Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. (2022). *Documento Básico de Salubridad DB-HS 6*. Madrid. Obtenido de <https://www.codigotecnico.org/DocumentosCTE/AhorroEnergia.html> [Último acceso: marzo 2023]

EADIC. (28 de Noviembre de 2012). La envolvente térmica del edificio, *Eadic.com*. Obtenido de <https://eadic.com/blog/entrada/la-envolvente-termica/> [Último acceso: febrero 2023]

Energía Junta Castilla y León, E. (2023). Sistemas de intercambio geotérmico, *energia.jycl.es*. Obtenido de <https://energia.jcyl.es/web/es/energias-renovables-ordenacion-energetica/sistemas-intercambio-geotermico.html> [Último acceso: marzo 2023]

EnergyPlus. (2023). *EnergyPlus.net*. Obtenido de <https://energyplus.net/> [Último acceso: julio 2023]

Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. (2022). *Documento básico de seguridad estructural y cimentos, DB SE-C*. Madrid. Obtenido de <https://www.codigotecnico.org/DocumentosCTE/AhorroEnergia.html> [Último acceso: marzo 2023]

I.N.M. (2023). *Humedad relativa en España*.

Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE), (Junio de 2010). *Agua Caliente Sanitaria Central*. Madrid. Obtenido de https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_08_Guia_tecnica_agua_caliente_sanitaria_central_906c75b2.pdf [Último acceso: marzo 2023]

Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE), (2010). *Guía técnica condiciones climáticas exteriores de proyecto*. Madrid.

Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE), (2012). *Guía técnica de Diseño de sistemas de intercambio geotérmico de circuito cerrado*. Madrid.

Sole J. (7 de Noviembre de 2019). Transferencia de aire a través de la envolvente; parámetros olvidados de la eficiencia energética, *E-eficiencia.com*. Obtenido de <https://e-eficiencia.com/transferencia-de-aire-a-traves-envolvente/> [Último acceso: abril 2023]

Menjívar, M. R. (5 de Diciembre de 2013). *Arquitectura Bioclimática como parte fundamental para el ahorro de energía en edificaciones*. Obtenido de <https://rd.udb.edu.sv/server/api/core/bitstreams/44f40a11-1c3e-46a5-b0fc-4f0898d8f09d/content> [Último acceso: junio 2023]

Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. (2022). *Documento de Apoyo al Documento Básico de Ahorro de Energía DA DB-HE 1*. Obtenido de <https://www.codigotecnico.org/DocumentosCTE/AhorroEnergia.html> [Último acceso: marzo 2023]

Neves, R. (2020). Techno-economic analysis of geothermal system in residential building in Memphis, Tennessee. *Revista de Ingeniería a la Construcción* 27, 26.

OpenStudio. (2023). *Openstudio.net*. Obtenido de <https://openstudio.net/> [Último acceso: marzo 2023]

PCC Group. (22 de Abril de 2022). *Products.pcc.eu*. Obtenido de <https://www.products.pcc.eu/es/blog/propiedades-y-usos-del-etilenglicol/#:~:text=El%20etilenglicol%20es%20el%20componente,alta%20viscosidad%20y%20sabor%20dulce>. [Último acceso: marzo 2023]

Pérez, M. R. (2021). *Ejemplo práctico I DB HE*. Madrid.

TrimbleInc. (2022). *Sketchup.com*. Obtenido de <https://www.sketchup.com/es/industries/architecture> [Último acceso: marzo 2023]

Vaillant. (2023). *La bomba de calor mas respetuosa del medioambiente*. Obtenido de Vaillant: www.vaillant.es

DOCUMENTO 2:

ANEXOS

ÍNDICE ANEXOS

DOCUMENTO 2: ANEXOS	158
1 DIMENSIONAMIENTO DE LAS INSTALACIONES	160
1.1 BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA (GSHP) ALIMENTANDO UNIDAD DE TRATAMIENTO DE AIRE (UTA)	161
1.1.1 Instalación de bomba de calor geotérmica.....	161
1.1.2 Unidad de tratamiento de aire (UTA).....	163
1.1.3 Circuito de agua caliente (calefacción)	167
1.1.3 Circuito de agua fría (refrigeración)	169
1.2 BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA (GSHP) ALIMENTANDO RADIADORES DE BAJA TEMPERATURA	171
1.2.1 Instalación de bomba de calor geotérmica.....	171
1.2.2 Circuito de calefacción.....	173
1.2.3 Circuito de refrigeración	175
2 HORARIOS UTILIZADOS	178
3 COMPROBACIÓN DE CARGAS TÉRMICAS	180

1 DIMENSIONAMIENTO DE LAS INSTALACIONES

A diferencia de los sistemas ideales en los que el programa establece los sistemas, sin realizar su diseño y de forma más simplificada. Para llevar a cabo la simulación de las dos instalaciones a estudiar será necesario disponer de un conocimiento previo del funcionamiento del sistema, es decir, se deben de tener claros los conceptos expuestos en los apartados 3.1 *Bomba de calor geotérmica (GSHP) que alimenta unidad de tratamiento de aire (UTA)* y 3.2 *Bomba de calor geotérmica que alimenta radiadores de baja temperatura y sistema de refrigeración basado en fan coils* además de sus respectivos esquemas reales de la *Figura 7* y *Figura 8*. Cabe destacar que en Open Studio estos circuitos disponen de una forma de diseño poco habitual o real, por lo que es necesario estudiar previamente realizar circuitos más sencillos antes de pasar a diseñar sistemas basados en instalaciones de bomba geotérmica.

Para realizar estas últimas instalaciones se han realizado los sistemas definidos en *Diseño de sistemas*. Estos están formados por distintos elementos como intercambiadores, bombas de circulación e intercambiadores entre otros. La mayoría de los parámetros vienen de forma predeterminada por el programa, mientras que los más dependientes de la instalación a analizar son auto dimensionados por el otro programa.

1.1 BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA (GSHP) ALIMENTANDO UNIDAD DE TRATAMIENTO DE AIRE (UTA)

1.1.1 Instalación de bomba de calor geotérmica

Resumen general

Descripción	Valor	Ud.
Tipo de fluido	Etileno	
Concentración de glicol	30	%
Temperatura máxima del circuito	100	C
Temperatura mínima del circuito	0	C
Caudal máximo del circuito	auto	m^3/s
Volumen del circuito de la instalación	auto	m^3
Esquema de distribución de carga	optimo	
Tipo de circuito	condensador	
Temperatura de salida del circuito de diseño	55	C
Diferencia de temperatura del circuito de diseño	5,5	K

Tabla 86. Datos de entrada circuito de bomba geotérmica.

Intercambiador enterrado horizontal

Descripción	Valor	Ud.
Caudal de diseño	0,004	m^3/s
Longitud de zanja en dirección axial a la tubería	75	m
Nº de zanjas	2	
Separación horizontal entre tuberías	0,5	m
Diámetro interior de la tubería	0,016	m
Diámetro exterior de la tubería	0,02667	m
Profundidad de enterramiento	1,25	m
Conductividad térmica del suelo	1,08	W/m*K
Densidad del suelo	962	kg/m^3
Calor específico del suelo	2576	J/kg*K
Conductividad térmica de la tubería	0,3895	W/m*k
Densidad de la tubería	641	kg/m^3
Calor específico de la tubería	2405	J/kg*K
Contenido de humedad del suelo (%)	30	%
Contenido de humedad del suelo en saturación (%)	50	%

Tabla 87. Datos de entrada de intercambiador enterrado horizontal.

Bomba de circulación

Descripción	Valor	Ud.
Caudal nominal	Auto	m^3/s
Altura nominal de la bomba	19600	Pa
Consumo de energía nominal	auto	W
Eficiencia del motor	0,9	%
Fracción de pérdidas de potencia de la bomba al fluido	0	
Coeficiente 1 de la curva de rendimiento de carga parcial	0	
Coeficiente 2 de la curva de rendimiento de carga parcial	1	
Coeficiente 3 de la curva de rendimiento de carga parcial	0	
Coeficiente 4 de la curva de rendimiento de carga parcial	0	
Tipo de control de la bomba	Intermitente	
Fracción de pérdidas por radiación de la envolvente del edificio	0.5	
Método de dimensionamiento de la potencia de diseño	potencia por caudal por presión	
Potencia de diseño en el eje por unidad de caudal	348701,1	Pa
Potencia de diseño en el eje	1,282051282	

Tabla 88. Datos de entrada bomba de circulación de la GSHP.

Bomba de calor de calefacción

Descripción	Valor	Ud.
Caudal de referencia del lado de carga	auto	m^3/s
Caudal de referencia del lado de la fuente	auto	m^3/s
Capacidad de calefacción de referencia	auto	W
Consumo de potencia de calefacción de referencia	auto	W
COP	4,9	

Tabla 89. Datos de entrada bomba de calor de calefacción.

Bomba de calor de refrigeración

Descripción	Valor	Ud.
Caudal de referencia del lado de carga	auto	m^3/s
Caudal de referencia del lado de la fuente	auto	m^3/s
Capacidad de calefacción de referencia	auto	W
Consumo de potencia de calefacción de referencia	auto	W
COP	5,3	

Tabla 90. Datos de entrada bomba de calor de refrigeración.

Bomba de calor ACS

Descripción	Valor	Ud.
Caudal de referencia del lado de carga	auto	m^3/s
Caudal de referencia del lado de la fuente	auto	m^3/s
Capacidad de calefacción de referencia	auto	W
Consumo de potencia de calefacción de referencia	auto	W
COP	4,9	

Tabla 91. Datos de entrada bomba de calor ACS.

Controlador de temperatura

Descripción	Valor	Ud.
Temperatura	41	°C

Tabla 92. Datos de entrada controlador de temperatura de GSHP.

1.1.2 Unidad de tratamiento de aire (UTA)

Resumen general

Descripción	Valor	Ud.
Caudal de diseño de aire de retorno	auto	m^3/s
Caudal de aire de retorno (expresado como fracción del caudal de suministro)	1	
Tipo de carga a dimensionar	sensible	
Caudal de diseño de aire exterior	auto	m^3/s
Relación del flujo de aire máxima del sistema de calefacción central	0,3	
Temperatura de diseño de precalentamiento	7	°C
Relación de humedad de diseño de precalentamiento	0,008	kg_{H_2O}/kg_{aire}
Temperatura de diseño de preenfriamiento	12,8	°C
Relación de humedad de diseño de preenfriamiento	0,008	kg_{H_2O}/kg_{aire}
Temperatura de diseño del aire de suministro del sistema de refrigeración central	12,8	°C
Temperatura de diseño del aire de impulsión del sistema de calefacción central	40	°C
100% de aire exterior en sistema de refrigeración	si	
100% de aire exterior en sistema de calefacción	si	
Relación de diseño de humedad del aire de suministro al sistema de refrigeración central	0,0085	kg_{H_2O}/kg_{aire}
Relación de diseño de humedad del aire de suministro al sistema de calefacción central	0,008	kg_{H_2O}/kg_{aire}

Tabla 93. Datos de entrada unidad de tratamiento de aire (UTA)

Controlador de aire exterior

Descripción	Valor	Ud.
Caudal mínimo de aire exterior	auto	m^3/s
Caudal máximo de aire exterior	auto	m^3/s
Tipo de control del recuperador	bulbo seco fijo	
Tipo de acción de control sobre el recuperador	caudal mínimo con bypass	
Temperatura de bulbo seco máxima límite del recuperador	28	°C
Entalpía máxima límite del recuperador	6400	J/kg
Temperatura de rocío máxima límite del recuperador	esta vacío	°C
Temperatura de bulbo seco máxima límite del recuperador	-100	°C
Tipo de bloqueo	no hay bloqueo	
Tipo de límite mínimo	mínimo fijo	
Tipo de control utilizado para optimizar la recuperación de calor	bypass cuando está dentro de los límites del recuperador	

Tabla 94. Datos de entrada controlador de aire exterior.

Ventilador de extracción

Descripción	Valor	Ud.
Eficiencia total del ventilador	0,9	
Aumento de presión	230	Pa
Caudal máximo	auto	m^3/s
Método de caudal mínimo de entrada para determinación de potencia del ventilador	Fraccional	
Fracción mínima de flujo de potencia del ventilador	0,25	
Eficiencia del motor	0,93	
Fracción del calor del motor añadida a la corriente de aire	1	
Coeficiente de potencia 1 del ventilador	0,0407	
Coeficiente de potencia 2 del ventilador	0,088	
Coeficiente de potencia 3 del ventilador	-0,073	
Coeficiente de potencia 4 del ventilador	0,94	
Coeficiente de potencia 5 del ventilador	0	

Tabla 95. Datos de entrada ventilador de extracción.

Ventilador de suministro

Descripción	Valor	Ud.
Eficiencia total del ventilador	0,9	
Aumento de presión	70	Pa
Caudal máximo	auto	m^3/s
Método de caudal mínimo de entrada para determinación de potencia del ventilador	Fraccional	
Fracción mínima de flujo de potencia del ventilador	0,25	
Eficiencia del motor	0,93	
Fracción del calor del motor añadida a la corriente de aire	1	
Coeficiente de potencia 1 del ventilador	0,0407	
Coeficiente de potencia 2 del ventilador	0,088	
Coeficiente de potencia 3 del ventilador	-0,073	
Coeficiente de potencia 4 del ventilador	0,94	
Coeficiente de potencia 5 del ventilador	0	

Tabla 96. Datos de entrada ventilador de suministro.

Batería caliente

Descripción	Valor	Ud.
Valor del área multiplicado por el factor U	auto	W/K
Caudal máximo de agua	auto	m^3/s
Capacidad nominal	auto	W
Temperatura nominal del agua de entrada	41	°C
Temperatura nominal del aire de entrada	10	°C
Temperatura nominal del agua de salida	35	°C
Temperatura nominal del aire de salida	21	°C
Relación de transferencia de calor por convección entre el lado del aire y el lado del agua	0,5	

Tabla 97. Datos de entrada batería caliente

Batería fría

Descripción	Valor	Ud.
Caudal de agua de diseño	auto	m^3/s
Caudal de aire de diseño	auto	m^3/s
Temperatura de diseño del agua de entrada	auto	$^{\circ}C$
Temperatura de diseño del aire de entrada	auto	$^{\circ}C$
Temperatura de diseño del aire de salida	auto	$^{\circ}C$
Contenido de humedad de diseño del aire interior	auto	kg_{H_2O}/kg_{aire}
Contenido de humedad de diseño del aire exterior	auto	kg_{H_2O}/kg_{aire}
Tipo de análisis	simple	
Configuración del intercambiador de calor	flujo cruzado	

Tabla 98. Datos de entrada batería fría.

Controlador de temperatura dual

Descripción	Valor	Ud.
Temperatura mínima de aire de impulsión	10	$^{\circ}C$
Temperatura máxima de aire de impulsión	31	$^{\circ}C$

Tabla 99. Datos de entrada controlador de temperatura de temperatura dual.

1.1.3 Circuito de agua caliente (calefacción)

Resumen general

Descripción	Valor	Ud.
Caudal de diseño de aire de retorno	auto	m^3/s
Caudal de aire de retorno (expresado como fracción del caudal de suministro)	1	
Tipo de carga a dimensionar	sensible	
Caudal de diseño de aire exterior	auto	m^3/s
Relación del flujo de aire máxima del sistema de calefacción central	0,3	
Temperatura de diseño de precalentamiento	7	°C
Relación de humedad de diseño de precalentamiento	0,008	kg_{H_2O}/kg_{aire}
Temperatura de diseño de preenfriamiento	12,8	°C
Relación de humedad de diseño de preenfriamiento	0,008	kg_{H_2O}/kg_{aire}
Temperatura de diseño del aire de suministro del sistema de refrigeración central	12,8	°C
Temperatura de diseño del aire de impulsión del sistema de calefacción central	40	°C
100% de aire exterior en sistema de refrigeración	si	
100% de aire exterior en sistema de calefacción	si	
Relación de diseño de humedad del aire de suministro al sistema de refrigeración central	0,0085	kg_{H_2O}/kg_{aire}
Relación de diseño de humedad del aire de suministro al sistema de calefacción central	0,008	kg_{H_2O}/kg_{aire}

Tabla 100. Datos de entrada circuito de calefacción.

Bomba de calor calefacción

Descripción	Valor	Ud.
Caudal de referencia del lado de carga	auto	m^3/s
Caudal de referencia del lado de la fuente	auto	m^3/s
Capacidad de calefacción de referencia	auto	W
Consumo de potencia de calefacción de referencia	auto	W
COP	4.9	

Tabla 101. Datos de entrada bomba de calor de calefacción.

Bomba de circulación

Descripción	Valor	Ud.
Caudal nominal	Auto	m^3/s
Altura nominal de la bomba	19600	Pa
Consumo de energía nominal	auto	W
Eficiencia del motor	0,9	%
Fracción de pérdidas de potencia de la bomba al fluido	0	
Coeficiente 1 de la curva de rendimiento de carga parcial	0	
Coeficiente 2 de la curva de rendimiento de carga parcial	1	
Coeficiente 3 de la curva de rendimiento de carga parcial	0	
Coeficiente 4 de la curva de rendimiento de carga parcial	0	
Tipo de control de la bomba	Intermitente	
Fracción de pérdidas por radiación de la envolvente del edificio	0.5	
Método de dimensionamiento de la potencia de diseño	potencia por caudal por presión	
Potencia de diseño en el eje por unidad de caudal	348701,1	Pa
Potencia de diseño en el eje	1,282051282	

Tabla 102. Datos de entrada de bomba de circulación.

Batería caliente

Descripción	Valor	Ud.
Valor del área multiplicado por el factor U	auto	W/K
Caudal máximo de agua	auto	m^3/s
Capacidad nominal	auto	W
Temperatura nominal del agua de entrada	41	°C
Temperatura nominal del aire de entrada	10	°C
Temperatura nominal del agua de salida	35	°C
Temperatura nominal del aire de salida	21	°C
Relación de transferencia de calor por convección entre el lado del aire y el lado del agua	0,5	

Tabla 103. Datos de entrada batería caliente.

Controlador de temperatura

Descripción	Valor	Ud.
Temperatura	41	°C

Tabla 104. Datos de entrada controlador de temperatura de circuito de calefacción.

1.1.4 Circuito de agua fría (refrigeración)

Resumen general

Descripción	Valor	Ud.
Tipo de fluido	agua	m^3/s
Concentración de glicol	0	
Temperatura máxima del circuito	100	°C
Temperatura mínima del circuito	0	°C
Caudal máximo del circuito	auto	m^3/s
Caudal mínimo del circuito	0	m^3/s
Volumen del circuito de la instalación	auto	m^3
Esquema de distribución de carga	optimo	
Dimensionamiento		
Tipo de circuito	Refrigeración	
Temperatura de salida del circuito de diseño	7	°C
Diferencia de temperatura del circuito de diseño	5	K

Tabla 105. Datos de entrada circuito de refrigeración.

Bomba de circulación

Descripción	Valor	Ud.
Caudal nominal	Auto	m^3/s
Altura nominal de la bomba	19600	Pa
Consumo de energía nominal	auto	W
Eficiencia del motor	0,9	%
Fracción de pérdidas de potencia de la bomba al fluido	0	
Coeficiente 1 de la curva de rendimiento de carga parcial	0	
Coeficiente 2 de la curva de rendimiento de carga parcial	1	
Coeficiente 3 de la curva de rendimiento de carga parcial	0	
Coeficiente 4 de la curva de rendimiento de carga parcial	0	
Caudal mínimo	0	m^3/s
Tipo de control de la bomba	Intermitente	
Fracción de pérdidas por radiación de la envolvente del edificio	0.5	
Método de dimensionamiento de la potencia de diseño	potencia por caudal por presión	
Potencia de diseño en el eje por unidad de caudal	348701,1	Pa
Potencia de diseño en el eje por unidad de altura	1,282051282	

Tabla 106. Datos de entrada bomba de circulación.

Bomba de calor refrigeración

Descripción	Valor	Ud.
Caudal de referencia del lado de carga	auto	m^3/s
Caudal de referencia del lado de la fuente	auto	m^3/s
Capacidad de calefacción de referencia	auto	W
Consumo de potencia de calefacción de referencia	auto	W
Caudal de referencia del lado de carga	5,3	

Tabla 107. Datos de entrada bomba de calor refrigeración.

Batería fría

Descripción	Valor	Ud.
Caudal de agua de diseño	auto	m^3/s
Caudal de aire de diseño	auto	m^3/s
Temperatura de diseño del agua de entrada	7	°C
Temperatura de diseño del aire de entrada	21	°C
Temperatura de diseño del aire de salida	10	°C
Contenido de humedad de diseño del aire interior	auto	kg_{H_2O}/kg_{aire}
Contenido de humedad de diseño del aire exterior	auto	kg_{H_2O}/kg_{aire}
Tipo de análisis	simple	
Configuración del intercambiador de calor	Flujo cruzado	

Tabla 108. Datos de entrada batería fría.

Controlador de temperatura

Descripción	Valor	Ud.
Temperatura	7	°C

Tabla 109. Datos de entrada de controlador de temperatura de circuito de refrigeración.

1.2 BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA (GSHP) ALIMENTANDO RADIADORES DE BAJA TEMPERATURA

1.2.1 Instalación de bomba de calor geotérmica

Resumen general

Descripción	Valor	Ud.
Tipo de fluido	Etileno	
Concentración de glicol	30	%
Temperatura máxima del circuito	100	°C
Temperatura mínima del circuito	0	°C
Caudal máximo del circuito	auto	m^3/s
Caudal mínimo del circuito	0	m^3/s
Volumen del circuito de la instalación	auto	m^3
Esquema de distribución de carga	optimo	
Dimensionamiento		
Tipo de circuito	condensador	
Temperatura de salida del circuito de diseño	55	°C
Diferencia de temperatura del circuito de diseño	5,5	K

Tabla 110. Datos de entrada bomba de calor geotérmica.

Intercambiador enterrado horizontal

Descripción	Valor	Ud.
Caudal de diseño	0,004	m^3/s
Longitud de zanja en dirección axial a la tubería	75	m
Nº de zanjas	2	
Separación horizontal entre tuberías	0,5	m
Diámetro interior de la tubería	0,016	m
Diámetro exterior de la tubería	0,02667	m
Profundidad de enterramiento	1,25	m
Conductividad térmica del suelo	1,08	W/m*K
Densidad del suelo	962	kg/m^3
Calor específico del suelo	2576	J/kg*K
Conductividad térmica de la tubería	0,3895	W/m*k
Densidad de la tubería	641	kg/m^3
Calor específico de la tubería	2405	J/kg*K
Contenido de humedad del suelo (%)	30	%
Contenido de humedad del suelo en saturación (%)	50	%

Tabla 111. Datos de entrada intercambiador enterrado horizontal.

Bomba de circulación

Descripción	Valor	Ud.
Caudal nominal	Auto	m^3/s
Altura nominal de la bomba	19600	Pa
Consumo de energía nominal	auto	W
Eficiencia del motor	0,9	%
Fracción de pérdidas de potencia de la bomba al fluido	0	
Coeficiente 1 de la curva de rendimiento de carga parcial	0	
Coeficiente 2 de la curva de rendimiento de carga parcial	1	
Coeficiente 3 de la curva de rendimiento de carga parcial	0	
Coeficiente 4 de la curva de rendimiento de carga parcial	0	
Caudal mínimo	0	m^3/s
Tipo de control de la bomba	Intermitente	
Fracción de pérdidas por radiación de la envolvente del edificio	0.5	
Método de dimensionamiento de la potencia de diseño	potencia por caudal por presión	
Potencia de diseño en el eje por unidad de caudal	348701,1	Pa
Potencia de diseño en el eje por unidad de altura	1,282051282	

Tabla 112. Datos de entrada bomba de circulación de bomba geotérmica.

Bomba de calor de calefacción

Descripción	Valor	Ud.
Caudal de referencia del lado de carga	auto	m^3/s
Caudal de referencia del lado de la fuente	auto	m^3/s
Capacidad de calefacción de referencia	auto	W
Consumo de potencia de calefacción de referencia	auto	W
COP	4,9	

Tabla 113. Datos de entrada bomba de calor de calefacción.

Bomba de calor refrigeración

Descripción	Valor	Ud.
Caudal de referencia del lado de carga	auto	m^3/s
Caudal de referencia del lado de la fuente	auto	m^3/s
Capacidad de calefacción de referencia	auto	W
Consumo de potencia de calefacción de referencia	auto	W
COP	5,3	

Tabla 114. Datos de entrada de bomba de calor de refrigeración.

Bomba de calor ACS

Descripción	Valor	Ud.
Caudal de referencia del lado de carga	auto	m^3/s
Caudal de referencia del lado de la fuente	auto	m^3/s
Capacidad de calefacción de referencia	auto	W
Consumo de potencia de calefacción de referencia	auto	W
COP	4,9	

Tabla 115. Datos de entrada de bomba de calor ACS.

Controlador de temperatura

Descripción	Valor	Ud.
Temperatura	55	°C

Tabla 116. Controlador de temperatura de GSHP.

1.2.2 Circuito de calefacción

Resumen general

Descripción	Valor	Ud.
Caudal de diseño de aire de retorno	auto	m^3/s
Caudal de aire de retorno (expresado como fracción del caudal de suministro)	1	
Dimensionamiento		
Tipo de carga a dimensionar	sensible	
Caudal de diseño de aire exterior	auto	m^3/s
Relación del flujo de aire máxima del sistema de calefacción central	0,3	
Temperatura de diseño de precalentamiento	7	°C
Relación de humedad de diseño de precalentamiento	0,008	kg_{H_2O}/kg_{aire}
Temperatura de diseño de preenfriamiento	12,8	°C
Relación de humedad de diseño de preenfriamiento	0,008	kg_{H_2O}/kg_{aire}
Temperatura de diseño del aire de suministro del sistema de refrigeración central	12,8	°C
Temperatura de diseño del aire de impulsión del sistema de calefacción central	40	°C
100% de aire exterior en sistema de refrigeración	si	
100% de aire exterior en sistema de calefacción	si	
Relación de diseño de humedad del aire de suministro al sistema de refrigeración central	0,0085	kg_{H_2O}/kg_{aire}
Relación de diseño de humedad del aire de suministro al sistema de calefacción central	0,008	kg_{H_2O}/kg_{aire}

Tabla 117. Datos de entrada de circuito de calefacción.

Bomba de circulación

Descripción	Valor	Ud.
Caudal nominal	Auto	m^3/s
Altura nominal de la bomba	15690	Pa
Consumo de energía nominal	auto	W
Eficiencia del motor	0,9	%
Fracción de pérdidas de potencia de la bomba al fluido	0	
Coeficiente 1 de la curva de rendimiento de carga parcial	0	
Coeficiente 2 de la curva de rendimiento de carga parcial	1	
Coeficiente 3 de la curva de rendimiento de carga parcial	0	
Coeficiente 4 de la curva de rendimiento de carga parcial	0	
Fracción de pérdidas por radiación de la envolvente del edificio	0.5	
Método de dimensionamiento de la potencia de diseño	Potencia por caudal por presión	
Potencia de diseño en el eje por unidad de caudal	348701,1	Pa
Potencia de diseño en el eje	1,282051282	

Tabla 118. Datos de entrada bomba de circulación

Bomba de calor calefacción

Descripción	Valor	Ud.
Caudal de referencia del lado de carga	auto	m^3/s
Caudal de referencia del lado de la fuente	auto	m^3/s
Capacidad de calefacción de referencia	auto	W
Consumo de potencia de calefacción de referencia	auto	W
COP	4.8	

Tabla 119. Datos de entrada de entrada de bomba de calor de calefacción.

Batería caliente

Descripción	Valor	Ud.
Valor del área multiplicado por el factor U	auto	W/K
Caudal máximo de agua	auto	m^3/s
Capacidad nominal	auto	W
Temperatura nominal del agua de entrada	82,2	°C
Temperatura nominal del aire de entrada	16,6	°C
Temperatura nominal del agua de salida	71,1	°C
Temperatura nominal del aire de salida	32,2	°C
Relación de transferencia de calor por convección entre el lado del aire y el lado del agua	0,5	

Tabla 120. Datos de entrada de bomba de calefacción.

Controlador de temperatura

Descripción	Valor	Ud.
Temperatura	55	°C

Tabla 121. Datos de entrada controlador de temperatura de circuito de calefacción.

1.2.3 Circuito de refrigeración**Resumen general**

Descripción	Valor	Ud.
Tipo de fluido	agua	m^3/s
Concentración de glicol	0	
Temperatura máxima del circuito	100	°C
Temperatura mínima del circuito	0	°C
Caudal máximo del circuito	auto	m^3/s
Caudal mínimo del circuito	0	
Volumen del circuito de la instalación	auto	°C
Esquema de distribución de carga	optimo	
Dimensionamiento		
Tipo de circuito	refrigeración	
Temperatura de salida del circuito de diseño	10	°C
Diferencia de temperatura del circuito de diseño	5	K

Tabla 122. Datos de entrada circuito de refrigeración

Bomba de calor agua-agua

Descripción	Valor	Ud.
Caudal de referencia del lado de carga	auto	m^3/s
Caudal de referencia del lado de la fuente	auto	m^3/s
Capacidad de calefacción de referencia	auto	W
Consumo de potencia de calefacción de referencia	auto	W
COP	4.8	

Tabla 123. Datos de entrada de bomba de calor.

Bomba de circulación

Descripción	Valor	Ud.
Caudal nominal	Auto	m^3/s
Altura nominal de la bomba	19600	Pa
Consumo de energía nominal	auto	W
Eficiencia del motor	0,9	%
Fracción de pérdidas de potencia de la bomba al fluido	0	
Coeficiente 1 de la curva de rendimiento de carga parcial	0	
Coeficiente 2 de la curva de rendimiento de carga parcial	1	
Coeficiente 3 de la curva de rendimiento de carga parcial	0	
Coeficiente 4 de la curva de rendimiento de carga parcial	0	
Caudal mínimo	0	m^3/s
Tipo de control de la bomba	Intermitente	
Fracción de pérdidas por radiación de la envolvente del edificio	0.5	
Método de dimensionamiento de la potencia de diseño	potencia por caudal por presión	
Potencia de diseño en el eje por unidad de caudal	348701,1	Pa
Potencia de diseño en el eje	1,282051282	

Tabla 124. Datos de la bomba de circulación de circuito de refrigeración.

Batería fría

Descripción	Valor	Ud.
Caudal de agua de diseño	auto	m^3/s
Caudal de aire de diseño	auto	m^3/s
Temperatura de diseño del agua de entrada	auto	°C
Temperatura de diseño del aire de entrada	auto	°C
Temperatura de diseño del aire de salida	auto	°C
Contenido de humedad de diseño del aire interior	auto	kg_{H_2O}/kg_{aire}
Contenido de humedad de diseño del aire exterior	auto	kg_{H_2O}/kg_{aire}
Tipo de análisis	simple	
Configuración del intercambiador de calor	flujo cruzado	

Tabla 125. Datos de entrada de batería fría.

Controlador de temperatura

Descripción	Valor	Ud.
Temperatura	7	C

Tabla 126. Datos de entrada circuito de refrigeración.

ACS

Resumen

Descripción	Valor	Ud.
Tipo de fluido	agua	
Concentración de glicol	0	%
Temperatura máxima del circuito	60	°C
Temperatura mínima del circuito	10	°C
Caudal máximo del circuito	auto	m^3/s
Volumen del circuito de la instalación	auto	m^3
Esquema de distribución de carga	optimo	
Dimensionamiento		
Tipo de circuito	calefacción	
Temperatura de salida del circuito de diseño	35	°C
Diferencia de temperatura del circuito de diseño	50	K

Tabla 127. Datos de entrada del circuito ACS

Bomba de circulación

Descripción	Valor	Ud.
Caudal nominal	Auto	m^3/s
Altura nominal de la bomba	19600	Pa
Consumo de energía nominal	auto	W
Eficiencia del motor	0,9	%
Fracción de pérdidas de potencia de la bomba al fluido	0	
Coefficiente 1 de la curva de rendimiento de carga parcial	0	
Coefficiente 2 de la curva de rendimiento de carga parcial	1	
Coefficiente 3 de la curva de rendimiento de carga parcial	0	
Coefficiente 4 de la curva de rendimiento de carga parcial	0	
Caudal mínimo	0	m^3/s
Tipo de control de la bomba	Intermitente	
Fracción de pérdidas por radiación de la envolvente del edificio	0.5	
Método de dimensionamiento de la potencia de diseño	potencia por caudal por presión	
Potencia de diseño en el eje por unidad de caudal	348701,1	Pa
Potencia de diseño en el eje	1,282051282	

Tabla 128. Datos de entrada de bomba de circulación del circuito ACS

Acumulador ACS

Descripción	Valor	Ud.
Volumen del tanque	0,171	m ³
Banda muerta de diferencia de temperatura	2	K
Temperatura máxima	82	°C
Tipo de control del calentador	ciclo	
Capacidad máxima del calentador	0,1	W
Consumo de combustible parásito durante el apagado del ciclo	20	W
Fracción de calor parásito al tanque durante el apagado del ciclo	0,8	
Tipo de combustible del calentador	Electricidad	
Eficiencia térmica del calentador	0,95	
Consumo de combustible parásito durante el encendido del ciclo	40	W
Tiempo de recuperación	1,5	h

Tabla 129. Datos de entrada de circuito de ACS.

Controlador de temperatura

Descripción	Valor	Ud.
Temperatura	60	°C

Tabla 130. Controlador de temperatura.

2 HORARIOS UTILIZADOS

Las figuras mostradas en este apartado presentan a modo de resumen los horarios predeterminados en Open Studio para las cargas térmicas y la demanda de agua caliente sanitaria. Estas representaciones detallan las franjas horarias destinadas al uso de iluminación, electrodomésticos, ocupación y actividades, así como otros horarios específicos, como la infiltración de aire en diferentes momentos y meses del año. Además, se destacan las variaciones en la demanda energética a lo largo del día.

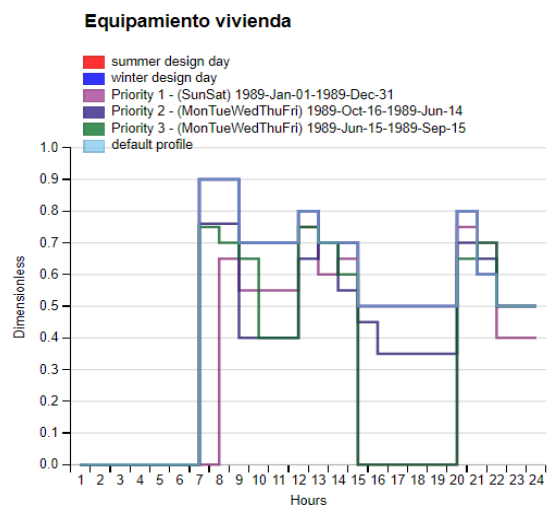


Figura 99. Horario de equipamiento.

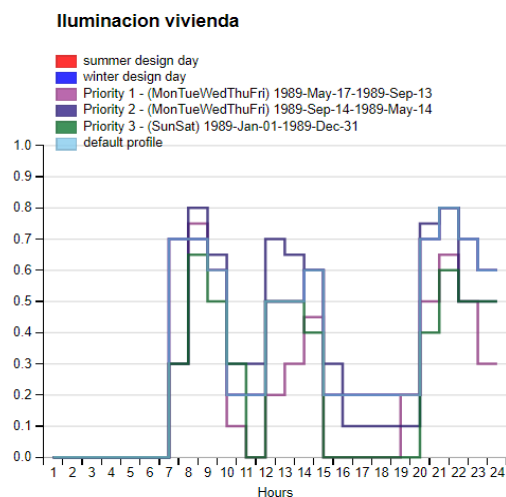


Figura 100. Horario de iluminación.

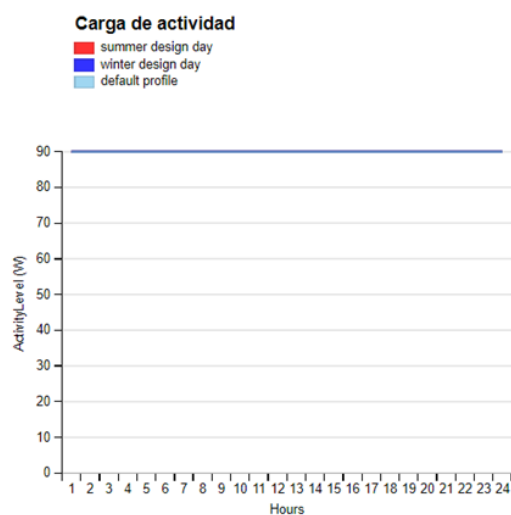


Figura 101. Horario de actividad.

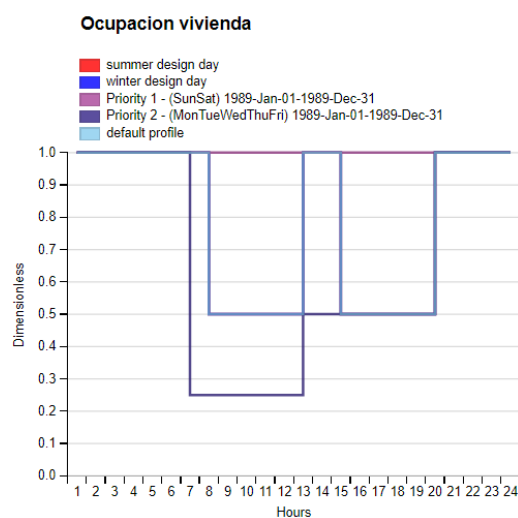


Figura 102. Horario de ocupación.

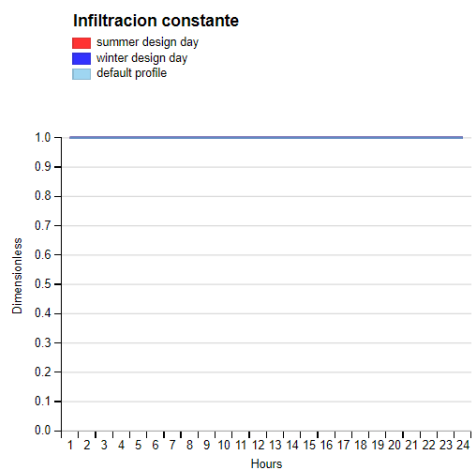


Figura 103. Horario de infiltración constante.

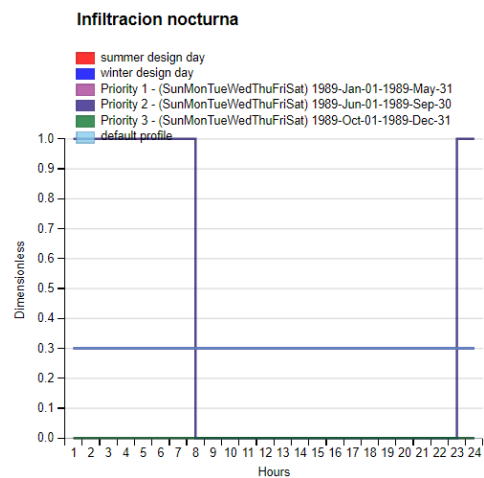


Figura 104. Horario de infiltración nocturna.

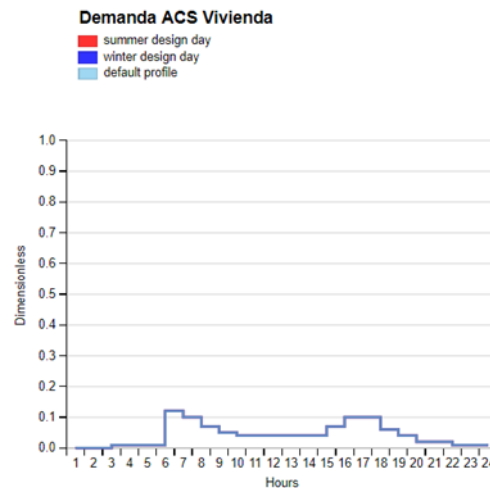


Figura 105. Horario de demanda ACS.

3 COMPROBACIÓN DE CARGAS TÉRMICAS

Para comprobar si las cargas térmicas establecidas en el programa en *5.5 Definición de las cargas térmicas* han sido definidas de forma correcta y no existe ningún error en el modelo referido a este aspecto, una vez realizada la simulación se observarán los gráficos de cargas resultantes en el modelo, las cuales en este caso coinciden con lo calculado.

- La gráfica azul representa la variación en la demanda de calefacción a lo largo del año debido a la presencia de los residentes en la vivienda y sus actividades en su interior.
- La gráfica roja ilustra la cantidad de calor generado por la iluminación de la vivienda, la cual depende de la potencia de las luces y su horario de funcionamiento.
- La gráfica verde muestra la energía térmica producida por los electrodomésticos y equipamiento de la vivienda, y esto está relacionado con la potencia utilizada y el horario de uso de estos dispositivos.
- La gráfica amarilla representa las pérdidas de calor a lo largo del año debido a la infiltración de aire en la vivienda, teniendo en cuenta factores como la infiltración constante, nocturna y las variaciones estacionales.
- La gráfica violeta describe la ventilación controlada de la vivienda, que contribuye al flujo de aire y al intercambio de calor en el interior.

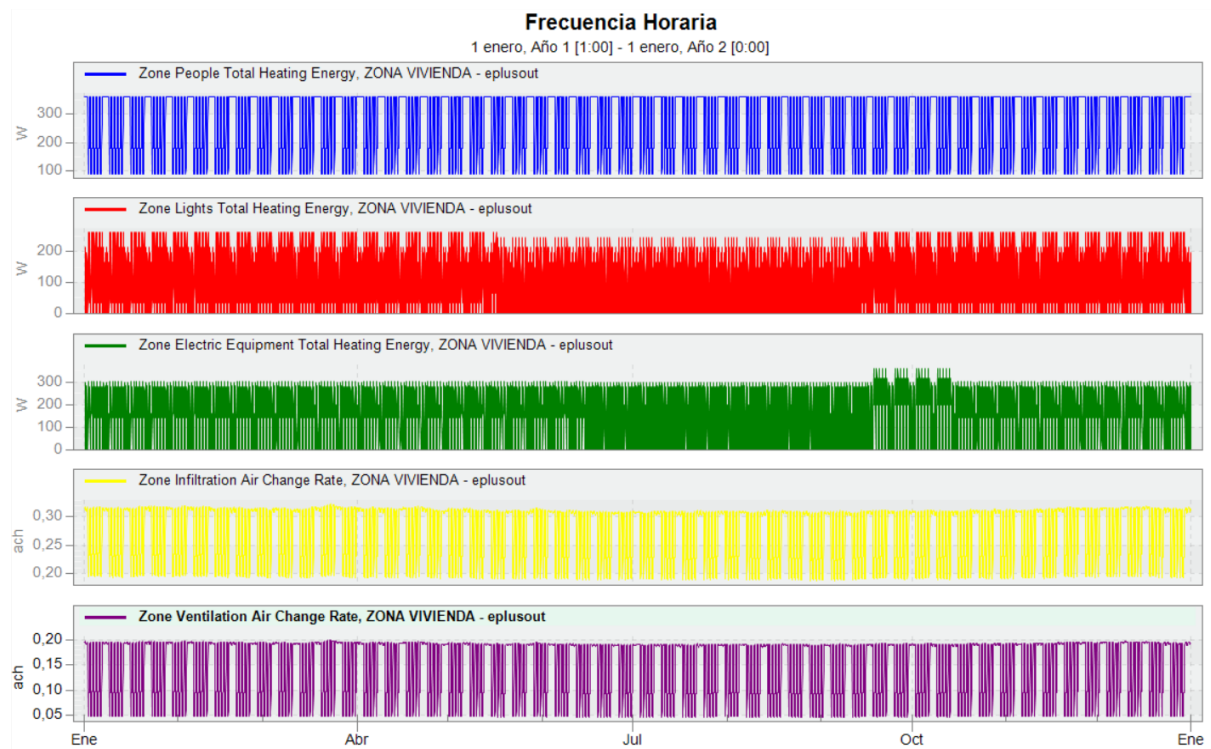


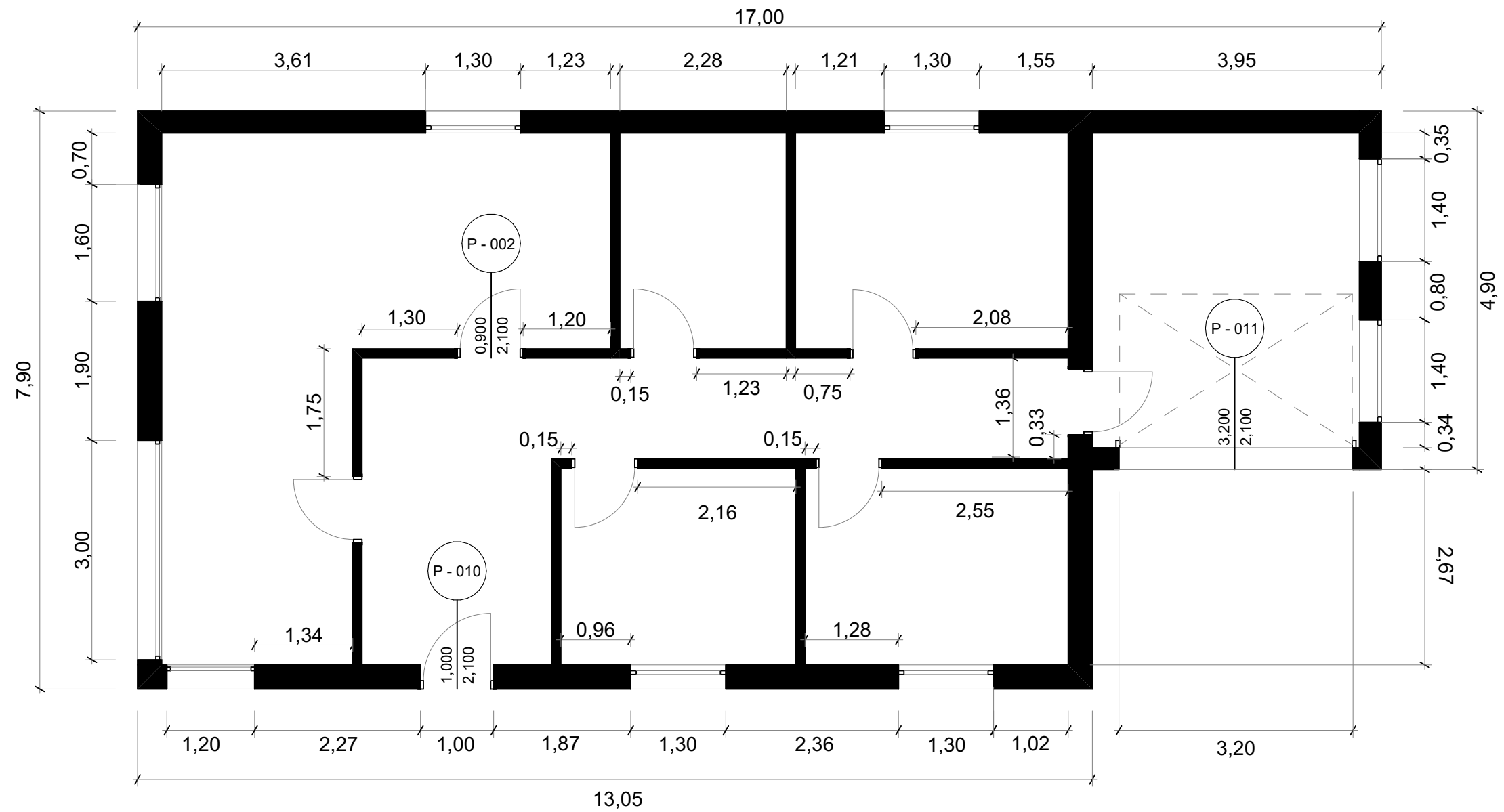
Figura 106. Comprobación de cargas térmicas.

DOCUMENTO 3:

PLANOS

ÍNDICE PLANOS

DOCUMENTO 3: PLANOS	182
PLANO 1. PLANTA BAJA	184
PLANO 2. ALZADO ESTE	185
PLANO 3. ALZADO SUR	186
PLANO 4. ALZADO OESTE	187
PLANO 5. ALZADO NORTE	188
PLANO 6. INSTALACIÓN BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA Y UNIDAD DE TRATAMIENTO DE AIRE	189
PLANO 7. INSTALACIÓN BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA CON RADIADORES DE BAJA TEMPERATURA	190

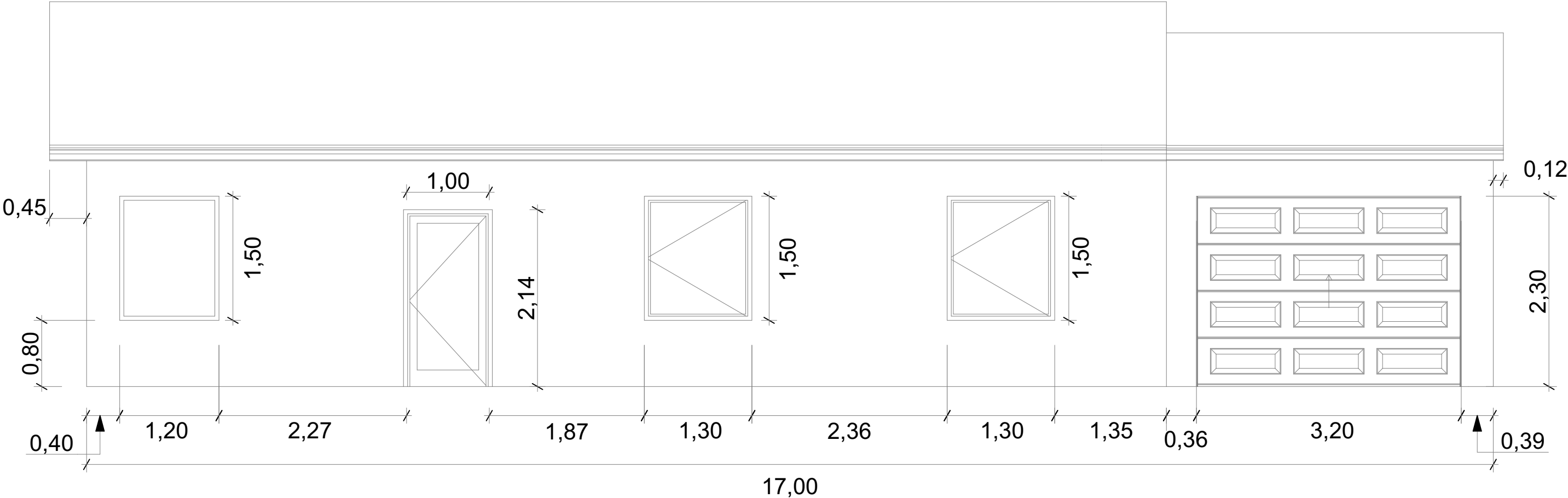


Todos los muros exteriores son de un grosor de 0,3 m

Todos los muros interiores son de un grosor de 0,125 m

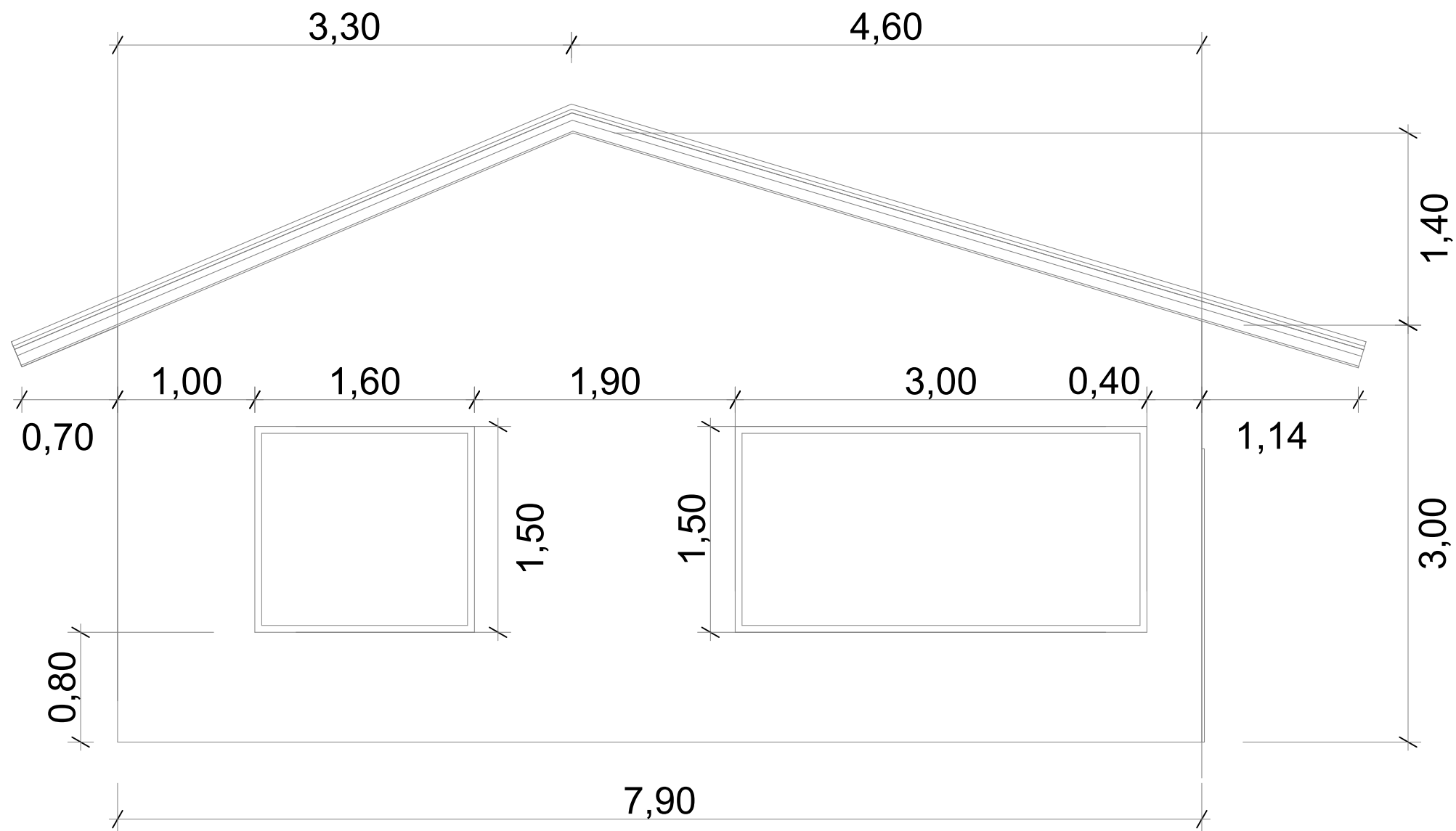
Todas las puertas interiores siguen la acotación de la puerta P-002

 UNIVERSIDAD DE CANTABRIA E.T.S. Ingenieros Industriales y de Telecomunicaciones Estudio energético y económico de instalaciones con bomba de calor geotérmica para cobertura de demanda térmica en vivienda unifamiliar Proyecto de Fin de Grado 			
Autor	Pablo Ceballos Martínez	Revisado	Pablo Ceballos Martínez
Plano nº :	Título del plano:		Fecha:
1	Planta baja		30/11/2023
			Escala:
			1:70



Los dinteles de todas las ventanas son de una longitud de 0,8 m

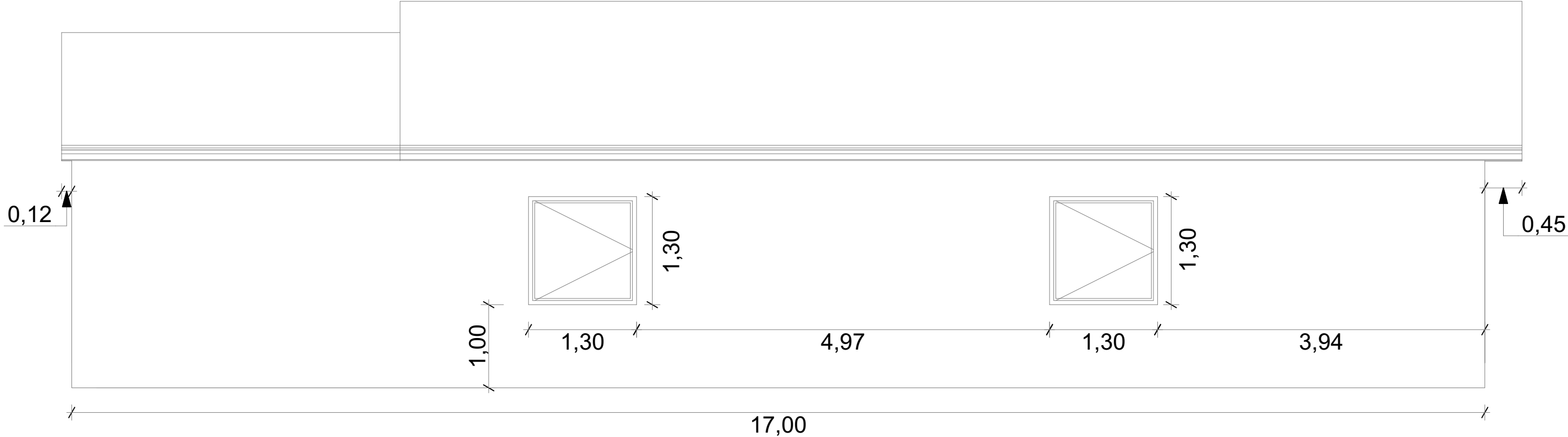
 UNIVERSIDAD DE CANTABRIA E.T.S. Ingenieros Industriales y de Telecomunicaciones Estudio energético y económico de instalaciones con bomba de calor geotérmica para cobertura de demanda térmica en vivienda unifamiliar Proyecto de Fin de Grado 			
Autor	Pablo Ceballos Martínez	Revisado	Pablo Ceballos Martínez
Plano nº :	Título del plano:		Fecha:
2	Alzado este		30/11/2023
			Escala:
			1:50



Ambos umbrales de las ventanas son de 0,8 m

El espesor de la cubierta es de 0,38 m

 UNIVERSIDAD DE CANTABRIA E.T.S. Ingenieros Industriales y de Telecomunicaciones Estudio energético y económico de instalaciones con bomba de calor geotérmica para cobertura de demanda térmica en vivienda unifamiliar Proyecto de Fin de Grado 			
Autor	Pablo Ceballos Martínez	Revisado	Pablo Ceballos Martínez
Plano nº :	Título del plano:	Fecha:	
3	Alzado sur	30/11/2023	
		Escala:	
		1:40	



Ambos umbrales de las ventanas son de 1 m

 UNIVERSIDAD DE CANTABRIA E.T.S. Ingenieros Industriales y de Telecomunicaciones Estudio energético y económico de instalaciones con bomba de calor geotérmica para cobertura de demanda térmica en vivienda unifamiliar Proyecto de Fin de Grado 			
Autor	Pablo Ceballos Martínez	Revisado	Pablo Ceballos Martínez
Plano nº : 4	Título del plano: Alzado oeste	Fecha: 30/11/2023	
		Escala: 1:50	

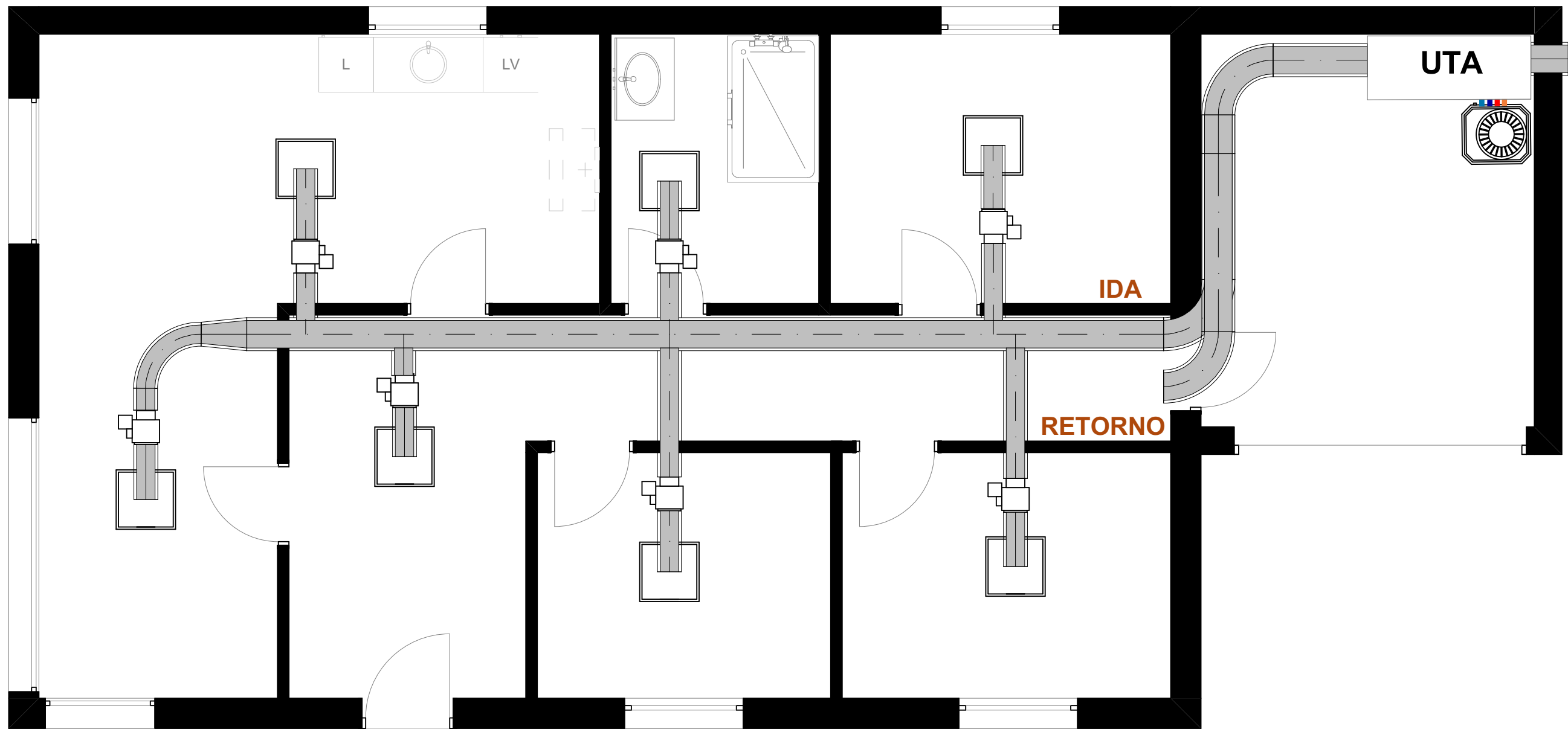
El espesor de la cubierta tanto de la vivienda como del garaje tiene un espesor de 0,8 m



E.T.S. Ingenieros Industriales y de Telecomunicaciones
Estudio energético y económico de instalaciones con bomba
de calor geotérmica para cobertura de demanda térmica en
vivienda unifamiliar
Proyecto de Fin de Grado

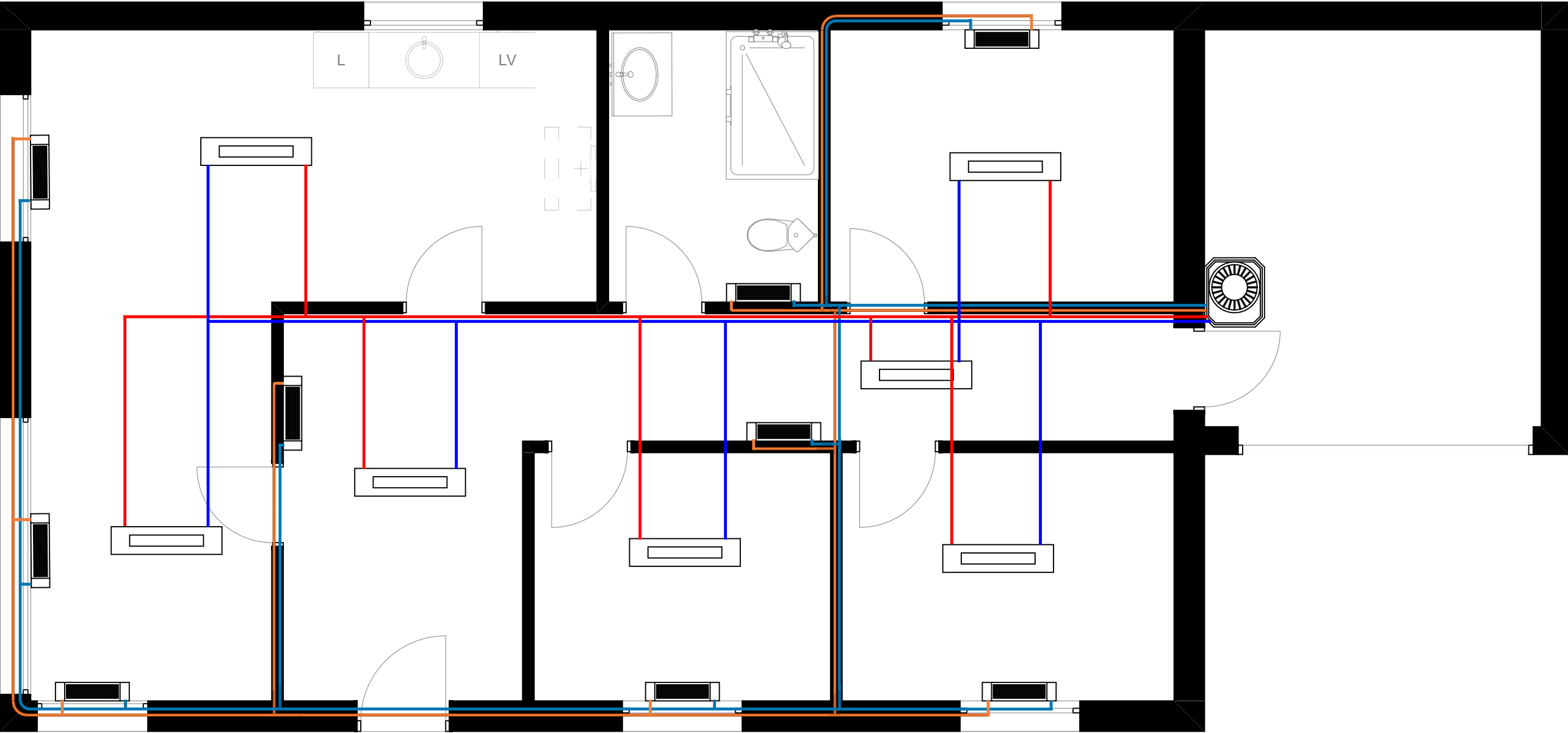


Autor	Pablo Ceballos Martínez	Revisado	Pablo Ceballos Martínez
Plano nº :	Título del plano:		Fecha:
5	Alzado norte		30/11/2023
			Escala:
			1:40



LEYENDA			
	Difusor de aire		Bomba de calor
	Sistema VAV		
L	Lavadora		
LV	Lavavajillas		
	Campana extractora		

 UNIVERSIDAD DE CANTABRIA E.T.S. Ingenieros Industriales y de Telecomunicaciones Estudio energético y económico de instalaciones con bomba de calor geotérmica para cobertura de demanda térmica en vivienda unifamiliar Proyecto de Fin de Grado 			
Autor	Pablo Ceballos Martínez	Revisado	Pablo Ceballos Martínez
Plano nº :	Título del plano:		Fecha:
6	Plano en planta de la instalación 1		02/12/2023
			Escala:
			1:50



LEYENDA			
	Radiador de baja temperatura		Bomba de calor
	Campana extractora		Fan coil de techo
L	Lavadora		Circuito de agua fría fan coils
LV	Lavavajillas		Circuito de agua caliente fan coils
	Circuito de agua caliente radiadores		
	Circuito de agua fría radiadores		

 UNIVERSIDAD DE CANTABRIA E.T.S. Ingenieros Industriales y de Telecomunicaciones Estudio energético y económico de instalaciones con bomba de calor geotérmica para cobertura de demanda térmica en vivienda unifamiliar Proyecto de Fin de Grado 			
Autor	Pablo Ceballos Martínez	Revisado	Pablo Ceballos Martínez
Plano nº :	Título del plano:		Fecha:
7	Plano en planta de la instalación 2		02/12/2023
			Escala:
			1:50

DOCUMENTO 4:

PLIEGO DE

CONDICIONES

ÍNDICE PLIEGO DE CONDICIONES

DOCUMENTO 4: PLIEGO DE CONDICIONES.....	191
1 OBJETO.....	193
2 CONDICIONES Y NORMATIVA DE CARÁCTER GENERAL.....	193
2.1 CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN.....	193
2.2 DOCUMENTO BÁSICO DE AHORRO DE ENERGÍA (DB-HE)	194
2.3 DOCUMENTO BÁSICO DE SALUBRIDAD (DB-HS).....	195
3 CONDICIONES PARTICULARES.....	196
3.1 CONDICIONES ADMINISTRATIVAS	196
3.2 CONDICIONES LEGALES	197
3.3 CONDICIONES FACULTATIVAS	198
3.4 PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS	198

1 OBJETO

El presente documento tiene como finalidad establecer las especificaciones técnicas y requisitos que deben cumplirse para la ejecución del Trabajo de Fin de Grado titulado “Estudio energético y económico de instalaciones con bomba de calor geotérmica para cobertura de demanda térmica en vivienda unifamiliar”.

Este proyecto se centra en la evaluación de una vivienda unifamiliar, incluyendo todos los aspectos relaciones con el aislamiento y climatización con el objetivo de analizar la eficiencia y la rentabilidad de la instalación de sistemas con base geotérmica en distintas localizaciones de España. Además, describe las condiciones generales, legales, administrativas y técnicas bajo las cuales se llevará a cabo el proyecto. Cualquier modificación o adición a este documento deberá realizarse de común acuerdo entre todas las partes involucradas y será documentada de manera formal. Para abarcar todos estos aspectos, se encuentra organizado en varias secciones que abordan diferentes aspectos del proyecto, incluyendo regulaciones legales, responsabilidades administrativas, requisitos técnicos y otros aspectos relevantes.

2 CONDICIONES Y NORMATIVA DE CARÁCTER GENERAL

Para llevar a cabo la simulación de la vivienda, es esencial tener en cuenta la totalidad de las normativas vigentes relacionadas con la construcción de viviendas, abordando aspectos que abarcan desde la edificación, ventilación, eficiencia energética hasta la salubridad, entre otros.

Dado que se trata exclusivamente de una simulación energética y no se profundiza en detalles específicos, no se analizarán de forma exhaustiva los documentos de Seguridad contra Incendios (DB-SI), Protección contra el Ruido (DB-HR) y Seguridad y Accesibilidad en el Uso (DB-SUA).

2.1 CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN

El Código Técnico de la Edificación (CTE) es el marco normativo que establece las exigencias básicas de calidad que deben cumplir los edificios en relación con los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad establecidos en la Ley 38/1999 de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación (LOE), es decir, para los requisitos básicos de “seguridad estructural”, “seguridad en caso de incendio”, “seguridad de utilización”, “higiene, salud y protección del medio ambiente”, “protección contra el ruido” y “ahorro de energía y aislamiento térmico” (CSIC, 2022).

El CTE es de aplicación a las obras de nueva construcción e intervenciones en los edificios existentes, ya sean ampliaciones, reformas o cambios de uso. En caso de inviabilidad o incompatibilidad para cumplir estrictamente lo exigido reglamentariamente, en este tipo de intervenciones el CTE permite cierta flexibilidad establecida tanto a nivel general como específico en función del requisito afectado. Debiendo justificarse el nivel de prestación finalmente alcanzado, junto con los condicionantes de uso y mantenimiento del edificio derivados de dicha adecuación (CSIC, 2022).

Este código se divide en dos partes:

- Se abarcan detalladamente todos los apartados referentes a las exigencias básicas de la seguridad estructural (incendios, uso, estabilidad, protección acústica, ...)
- En la segunda parte se encuentran los documentos básicos (DB), guías técnicas para llevar a cabo a la práctica las exigencias encontradas en la primera parte.

Cada uno de los DB dispone de la caracterización y cuantificación de las exigencias básicas correspondientes y sus respectivos procedimientos para el cumplimiento reglamentario.

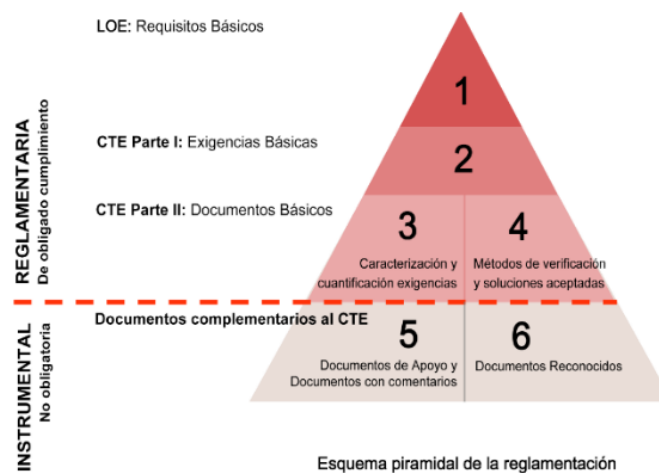


Figura 107. Esquema piramidal de reglamentación. (CSIC, 2022)

En este trabajo se han aplicado únicamente las exigencias establecidas en el Documento Básico de Ahorro de Energía y en el Documento Básico de Salubridad.

2.2 DOCUMENTO BÁSICO DE AHORRO DE ENERGÍA (DB-HE)

Este documento desempeña un papel de gran relevancia en este proyecto, ya que abarca de manera integral todas las normativas y descripciones pertinentes a la eficiencia energética.

Las secciones de este DB se corresponden con las exigencias básicas de HE 0 a HE 6.

- **Exigencia básica HE 0: Limitación del consumo energético**

Se establece una limitación en el consumo energético de edificios según su zona climática, su propósito y, en el caso de edificios existentes, las modificaciones realizadas. Se prioriza el uso de energía renovable para cubrir gran parte de las necesidades energéticas.

- **Exigencia básica HE 1: Condiciones para el control de la demanda energética**

Los inmuebles contarán con una estructura térmica que reducirá la demanda de energía primaria para lograr el confort térmico, considerando el clima local, los períodos de verano e invierno, el propósito del edificio y, en edificios previos, el alcance de las modificaciones realizadas.

- **Exigencia básica HE 2: Condiciones de las instalaciones térmicas**

Las instalaciones térmicas de las que dispongan los edificios serán apropiadas para lograr el bienestar térmico de sus ocupantes.

- **Exigencia básica HE 3: Condiciones de las instalaciones de iluminación**

Los edificios dispondrán de instalaciones de iluminación adecuadas a las necesidades de sus usuarios y a la vez eficaces energéticamente, así como de un sistema de regulación que optimice el aprovechamiento de la luz natural en las zonas que reúnan unas determinadas condiciones.

- **Exigencia básica HE 4: Contribución mínima de energía renovable para cubrir la demanda de agua caliente sanitaria (ACS)**

Los edificios satisfarán parte de sus necesidades de ACS empleando energía de fuentes renovables.

2.3 DOCUMENTO BÁSICO DE SALUBRIDAD (DB-HS)

Los requisitos y procedimientos que sean de llevar a cabo para cumplir las exigencias básicas de la salubridad en una vivienda se encuentran recogidas en este documento. Es decir, este documento asegura la higiene, salud y protección medioambiental a través del cumplimiento de las siguientes exigencias (DB-HS Salubridad, 2022):

- **Exigencias básicas HS 1: Protección frente a la humedad**

Se reducirá de manera efectiva el riesgo a que el interior de los edificios y sus envolventes sufran una exposición indebida al agua o la humedad, independientemente de su origen, que podría derivar de diversos factores como las

precipitaciones atmosféricas, el ascenso de agua desde el suelo, la formación de condensación, etc.

- **Exigencias básica HS 2: Recogida y evacuación de residuos**

Los edificios dispondrán de áreas y recursos destinados a la disposición de residuos, de acuerdo con el sistema público de recolección.

- **Exigencia básica HS 3: Calidad del aire interior**

Los edificios deben contar con sistemas de ventilación eficientes para eliminar los contaminantes generados durante su uso normal y garantizar un flujo adecuado de aire fresco, tanto para mantener la calidad del aire interior como para evitar la contaminación en áreas exteriores.

En cuanto a las instalaciones térmicas, la evacuación de los productos de combustión deberá realizarse principalmente a través de la cubierta del edificio, independientemente del tipo de combustible o aparato utilizado, siguiendo las regulaciones específicas sobre instalaciones térmicas.

- **Exigencia básica HS 4: Suministro de agua**

Los edificios estarán equipados con sistemas apropiados para proporcionar un suministro sostenible de agua potable a las instalaciones sanitarias, asegurando caudales adecuados para su funcionamiento sin comprometer la calidad del agua.

3 CONDICIONES PARTICULARES

3.1 CONDICIONES ADMINISTRATIVAS

1. **Objeto.** El siguiente pliego de condiciones recoge los requisitos y especificaciones necesarias para llevar a cabo un Trabajo de Fin de Grado sobre un análisis técnico-económico de una vivienda unifamiliar a través de la simulación con los programas Open Studio y EnergyPlus.
2. **Participantes:** El análisis será llevado a cabo por el estudiante Pablo Ceballos Martínez.
3. **Duración:** El trabajo de fin de grado se desarrollará durante un periodo de dos cuatrimestres.
4. **Alcance:** El Trabajo de Fin de Grado incluirá, pero no se limitará a, los siguientes aspectos:
 - Definición clara del contexto y alcance del proyecto.

- Recopilación de datos relevantes para la simulación.
- Desarrollo de un modelo de simulación energética utilizando software apropiado.
- Ejecución de simulaciones y análisis de resultados.
- Propuesta de medidas de eficiencia energética basadas en los resultados de la simulación.
- Documentación y presentación del Trabajo de Fin de Grado.

5. Documentación Requerida: El estudiante proporcionará todo el contenido que sea necesario para el análisis y entendimiento del proyecto, entre los cuales deben encontrarse: cálculos, programas utilizados, procedimientos, planos y otros materiales adicionales.

3.2 CONDICIONES LEGALES

- 1. Normativa aplicable:** El estudiante y el tutor académico deberán cumplir con todas las normativas y regulaciones vigentes de la Universidad de Cantabria donde se lleva a cabo el TFG.
- 2. Confidencialidad:** La información y recursos utilizados para la realización de este trabajo será mantenida de forma confidencial y únicamente se podrá utilizar con fines académicos. Se mantendrá la privacidad de los datos y resultados obtenidos. No se divulgará ni se compartirá esta información con terceros sin el consentimiento por escrito del estudiante o el tutor.
- 3. Propiedad Intelectual:** Los derechos de autor y propiedad intelectual del TFG pertenecerán al estudiante, esto incluye todos los contenidos presentes en el documento, la simulación energética realizada y los planos pertenecientes a la vivienda estudiada. Cabe destacar, que se solicitará el consentimiento para la divulgación de cualquier información relacionada con el trabajo, siempre respetando las políticas de la Universidad de Cantabria.
- 4. Responsabilidad Legal:** Tanto el estudiante como el tutor asumen el compromiso del cumplimiento legislativo, regulatorio y normativo aplicable en la realización del proyecto, eximiendo a la Universidad de Cantabria de cualquier responsabilidad legal que pueda surgir.

3.3 CONDICIONES FACULTATIVAS

1. **Colaboraciones Externas:** El estudiante dispondrá de la posibilidad de solicitar colaboraciones externas para obtener información de campos en los que tanto el estudiante como su tutor no dispongan del conocimiento suficiente, a sea mediante la búsqueda de asesoramiento de un experto en el área relevante o mediante la obtención de información sobre esos temas, asegurándose de cumplir con las regulaciones establecidas por la Universidad de Cantabria.
2. **Recursos Adicionales:** El estudiante tendrá la facultad de solicitar recursos adicionales, como el software especializado. Se deberá obtener la aprobación correspondiente y asegurar el correcto uso y cuidado de dichos recursos.
3. **Escenarios de Simulación Adicionales:** Se ha considerado la inclusión de cuatro escenarios de simulación en distintas localizaciones en España, que representarán el impacto de factores como el aislamiento, instalaciones, ventilación y construcción en diferentes zonas climáticas. Así se proporciona una visión más completa de las opciones disponibles para la optimización energética.
4. **Análisis de Sensibilidad:** Se realizará un análisis de sensibilidad que examinará la variación de los resultados para distintas zonas y con distinto aislamiento, para así poder observar la diferencia de resultados en función de los cambios realizados y la importancia de un correcto aislamiento para conseguir un gran ahorro energético.
5. **Comparación con Normativas Energéticas:** se compararán los resultados obtenidos de la simulación con las normativas nombradas anteriormente con el propósito de corroborar el cumplimiento y la eficiencia del edificio con las regulaciones actuales.

3.4 PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS

1. **Software de Simulación:** Los resultados de simulación energética aquí recogidos, son los obtenidos de la utilización de distintos softwares, en concreto: Sketchup, Open Studio y Energy Plus. El empleo de otras herramientas no garantiza la obtención de los mismos resultados y conclusiones aquí recogidos.
2. **Recopilación de Datos:** El Estudiante será el encargado de recopilar los datos necesarios para la simulación, incluyendo datos climáticos, características de los materiales empleados en las construcciones, disposición constructiva, ventilación acorde a cada espacio de la vivienda y multitud de datos con respecto a los aparatos de climatización. Es importante que la información recopilada sea de fuentes fiables y actualizadas.

3. **Modelado Preciso:** El estudiante deberá desarrollar un modelo de simulación preciso que represente fielmente el sistema o el entorno energético que se está estudiando. Se espera que el modelo incluya todos los parámetros relevantes y que sea capaz de proporcionar resultados confiables.
4. **Escenarios de Simulación:** Se requerirá que el estudiante defina y ejecute un conjunto de escenarios de simulación que aborden diferentes condiciones y variables, como variaciones climáticas, cambios en la carga energética y posibles soluciones de eficiencia energética.
5. **Análisis de Resultados:** Se deberá de realizar un análisis detallado de los resultados obtenidos en la simulación para cada una de las localizaciones climáticas escogidas, incluyendo razonamientos para todos los apartados estadísticos y conclusiones de los resultados de las diferentes variables como consumos, picos de demanda, temperatura del aire, etc.
6. **Conclusiones y Recomendaciones:** Para una mayor compresión y visualización de los datos se realizarán graficas apoyadas por tablas y comentarios con el objetivo de aportar conclusiones de los resultados que se han obtenido. Además, se recogerán una serie de recomendaciones como el horario de apertura de ventanas para una mejor ventilación o cambios en el aislamiento para distintas climatologías.
7. **Presentación de Resultados:** Los resultados del proyecto se presentarán de manera clara y facilitando una fácil comprensión de los mismos.
8. **Cumplimiento de Normativas:** Todas las normativas y regulaciones pertinentes en relación con la simulación energética y cualquier otro aspecto del proyecto han de ser cumplidas.

DOCUMENTO 5:

PRESUPUESTO

ÍNDICE PRESUPUESTO

DOCUMENTO 5: PRESUPUESTO	200
1 CUADRO DE PRECIOS Nº2.....	202
2 CUADRO DE PRECIOS Nº1.....	206
3 PRESUPUESTO	207
3.1 PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL	207
3.2 PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA	207

1 CUADRO DE PRECIOS Nº2

ESTUDIO Y DOCUMENTACIÓN					
Nº Orden	Descripción		Uds.	Precio /Ud.	Total (€)
1	ESTUDIO PREVIO Y DOCUMENTACIÓN				
01.01	h	Conceptos básicos y generalidades sobre la simulación energética	10	10	100
		TOTAL PARTIDA 01.01.....			100
01.02	h	Estudio de la variación climatológica en diferentes zonas de España	2,5	10	25
		TOTAL PARTIDA 01.02.....			25
01.03	h	Estudio de sistemas de climatización con base geotérmica	15	10	150
		TOTAL PARTIDA 01.03.....			150
01.04	h	Estudio del Código Técnico de la Edificación (CTE)	8	10	80
		TOTAL PARTIDA 01.04.....			80
01.05	h	Estudio del Documento Básico de Ahorro Energético (DB-HE)	8	10	80
		TOTAL PARTIDA 01.05.....			80
01.06	h	Estudio del Documento Básico de Salubridad (DB-HS)	2	10	20
		TOTAL PARTIDA 01.06.....			20
01.07	h	Estudio del Ejemplo DB-HE 2019 como modelo de referencia	6	10	60
		TOTAL PARTIDA 01.07.....			60

01.08	h	Estudio de materiales y sus respectivas características térmicas	25	10	250
		TOTAL PARTIDA 01.08.....			250
01.09	h	Estudio del catálogo de elementos constructivos para la elección del aislamiento	3	10	30
		TOTAL PARTIDA 01.09.....			30
01.10	h	Estudio del funcionamiento del software "Archicad 2023"	4	10	40
		TOTAL PARTIDA 01.10.....			40
01.11	h	Estudio del funcionamiento del software "Sketchup 2023"	5	10	50
		TOTAL PARTIDA 01.11.....			50
01.12	h	Estudio del funcionamiento del software "Open Studio"	80	10	800
		TOTAL PARTIDA 01.12.....			800
01.13	h	Estudio del funcionamiento de "Energy Plus"	10	10	100
		TOTAL PARTIDA 01.13.....			100
01.14	h	Estudio de importación y uso de mediciones externas sobre Open Studio	3	10	30
		TOTAL PARTIDA 01.14.....			30
		TOTAL CAPÍTULO 01.....			1815

MODELADO 3D DE LA VIVIENDA					
Nº Orden	Descripción		Uds.	Precio /Ud.	Total (€)
2	MODELADO 3D DE LA VIVIENDA				
02.01	h	Realización de bocetos previos de la vivienda en todas las orientaciones	10	10	100
		TOTAL PARTIDA 02.01.....			100
02.02	h	Elección de orientación y distribución de estancias	1	10	10
		TOTAL PARTIDA 02.02.....			10
02.03	h	Creación de planos definitivos a través de la herramienta "Archicad 2023"	15	10	150
		TOTAL PARTIDA 02.03.....			150
02.04	h	Creación del modelo 3D en Sketchup 2023	8	10	80
		TOTAL PARTIDA 02.04.....			80
		TOTAL CAPÍTULO 02.....			340

DISEÑO Y SIMULACION					
Nº Orden	Descripción		Uds.	Precio /Ud.	Total (€)
3	DISEÑO Y SIMULACIÓN				
03.01	h	Obtención de archivos climatológicos anuales de las localizaciones escogidas	1	10	10
		TOTAL PARTIDA 03.01.....			10
03.02	h	Definición de horarios de ventilación	2	10	20
		TOTAL PARTIDA 03.02.....			20
03.03	h	Elección de elementos constructivos	3	10	30
		TOTAL PARTIDA 03.03.....			30
03.04	h	Recopilación de propiedades térmicas de materiales	8	10	80
		TOTAL PARTIDA 03.04.....			80

03.05	h	Comprobación del aislamiento de la vivienda	0,5	10	5
		TOTAL PARTIDA 03.05.....			5
03.06	h	Cálculo de cargas térmicas: actividad, ocupación, iluminación, equipamiento y uso de agua.	6	10	60
		TOTAL PARTIDA 03.06.....			60
03.07	h	Definición de horarios de cargas térmicas	2	10	20
		TOTAL PARTIDA 03.07.....			20
03.08	h	Programación de temperaturas y horarios de los termostatos	0,5	10	5
		TOTAL PARTIDA 03.08.....			5
03.09	h	Definición de infiltración y ventilación en distintas zonas de la vivienda	2	10	20
		TOTAL PARTIDA 03.09.....			20
03.10	h	Definición de horarios de ventilación	1	10	10
		TOTAL PARTIDA 03.10.....			10
03.11	h	Diseño de modelo con sistemas ideales en Open Studio	30	10	300
		TOTAL PARTIDA 03.11.....			300
03.12	h	Diseño de modelo con bomba de calor geotérmica (GSHP) que alimenta unidad de tratamiento de aire (UTA)	3	10	30
		TOTAL PARTIDA 03.12.....			30
03.13	h	Diseño de modelo con bomba de calor geotérmica (GSHP) que alimenta radiadores de baja temperatura y fan coils	3	10	30
		TOTAL PARTIDA 03.13.....			30
03.14	h	Simulación de los modelos en distintas localizaciones	2	10	20
		TOTAL PARTIDA 03.14.....			20

03.15	h	Análisis de resultados obtenidos para cada una de las instalaciones	8	10	80
		TOTAL PARTIDA 03.15.....			80
03.15	h	Establecimiento de recomendaciones	3	10	30
		TOTAL PARTIDA 03.15.....			30
		TOTAL CAPÍTULO 03.....			720

MEMORIA					
Nº Orden	Descripción		Uds.	Precio /Ud.	Total (€)
4	ELABORACIÓN DE LA MEMORIA				
04.01	h	Redacción del documento	60	10	600
		TOTAL PARTIDA 01.01.....			600
		TOTAL CAPÍTULO 04.....			600

2 CUADRO DE PRECIOS Nº1

Cuadro de Precios Nº 1			
Nº Orden	Designación de la unidad	Precio en cifras	Precio en letras
1	ESTUDIO PREVIO Y DOCUMENTACIÓN	1815,00 €	Cuatrocientos euros
2	MODELADO 3D DE LA VIVIENDA	340,00 €	Cuatrocientos noventa euros
3	DISEÑO Y SIMULACIÓN	720,00 €	Quinientos treinta y cinco euros
4	ELABORACIÓN DE LA MEMORIA	600,00 €	Seiscientos euros

3 PRESUPUESTO

3.1 PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL

PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL	
CAPÍTULO	CANTIDAD (€)
CAPÍTULO 1. ESTUDIO Y DOCUMENTACIÓN	1815
CAPÍTULO 2. MODELADO 3D DE LA VIVIENDA	340
CAPÍTULO 3. DISEÑO Y SIMULACIÓN	720
CAPÍTULO 4. MEMORIA.....	600
TOTAL PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL (PM).....	3475

3.2 PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA

PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA	
CONCEPTO	CANTIDAD (€)
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL (PM).....	3.475,00
GASTOS GENERALES (13% SOBRE PM)	451,75
BENEFICIO INDUSTRIAL (6% SOBRE PM)	208,5
TOTAL PARCIAL (BASE IMPONIBLE)	4.125,25
IVA (21%)	868,4
TOTAL PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA.....	4.993,65

El presupuesto de ejecución por contrata de este proyecto asciende a 4993,65€.