



industriales  
etsii

Escuela Técnica  
Superior  
de Ingeniería  
Industrial

# UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

## Diseño y construcción de una casa térmica. Caracterización térmica de materiales.

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

**Autor:** Antonio Cánovas Saura  
**Director:** Javier Padilla Martínez  
**Codirector:** Andrés Cabrera Lozoya

Cartagena, 8 de Julio de 2019



Universidad  
Politécnica  
de Cartagena

# ÍNDICE

1.	Introducción y objetivos .....	6
2.	Construcción casa térmica de paredes intercambiables.....	8
2.1.	Materiales empleados .....	8
2.2.	Estructura exterior.....	9
2.3.	Parte inferior .....	11
2.4.	Parte interior .....	12
2.5.	Parte superior .....	15
3.	Fabricación y situación de elementos externos. ....	18
3.1.	Foco solar.....	18
3.1.1.	Materiales a utilizar .....	19
3.1.2.	Calibración del foco solar.....	20
3.2.	Sistema de refrigeración .....	23
3.2.1.	Material a utilizar.....	23
3.2.2.	Pasos a seguir para su montaje .....	23
3.3.	Sistema de calefacción.....	27
4.	Monitorización de la casa térmica .....	28
4.1.	Sistema de medida de temperatura .....	29
4.1.1.	Material a utilizar.....	29
4.1.2.	Conexionado de los componentes .....	33
4.1.3.	Montaje.....	35
4.2.	Monitorización del sistema de refrigeración .....	40
4.2.1.	Material a utilizar.....	41
4.2.2.	Conexionado de componentes .....	42
4.2.3.	Montaje.....	43
4.3.	Monitorización del sistema de calefacción .....	43
4.3.1.	Material a utilizar.....	44
4.3.2.	Conexionado de los componentes .....	45
4.3.3.	Montaje.....	45
5.	Programación en Arduino de los sistemas de monitorización.....	47
5.1.	Código del sistema de medida de temperatura .....	47
5.2.	Código del sensor de caudal .....	50

5.3.	Código del sensor de corriente.....	53
5.4.	Código unificado.....	55
6.	Entorno LabView. Desarrollo del software.....	61
6.1.	Panel principal .....	61
6.2.	Diagrama de bloques .....	63
6.3.	Simulación de funcionamiento. ....	69
7.	Ensayos para calibración de sistemas de climatización.....	71
7.1.	Ensayos con sistema de calefacción .....	72
7.1.1.	Ensayo con temperatura de consigna 40°C.....	73
7.1.2.	Ensayo con temperatura de consigna 50°C.....	74
7.1.3.	Ensayo con temperatura de consigna 60°C.....	76
7.1.4.	Calibración del sistema de calefacción.....	77
7.2.	Ensayos con sistema de refrigeración .....	78
7.2.1.	Ensayos con temperatura de entrada del fluido a 18°C .....	79
7.2.2.	Ensayos con temperatura de entrada del fluido a 12,5°C .....	83
7.2.3.	Ensayos con temperatura de entrada del fluido a 8°C .....	87
7.2.4.	Calibración sistema de refrigeración .....	91
8.	Conclusiones.....	95
9.	Bibliografía.....	96

## ÍNDICE TABLAS

Tabla 1.	Medidas proceso calibración foco solar. ....	21
Tabla 2.	Cuadrado de potencias medidas en proceso de calibración. ....	22
Tabla 3.	Función pines del convertidor AD. ....	34
Tabla 4.	Calibración sistema refrigeración.....	93

# ÍNDICE FIGURAS

Figura 1. Materiales utilizados en la construcción del habitáculo.....	9
Figura 2. Esquema paneles metacrilato para paredes.....	9
Figura 3. Pared lateral.....	10
Figura 4. Esquema tacos de madera exterior.....	10
Figura 5. Conjunto exterior.....	11
Figura 6. Parte inferior (suelo) del habitáculo.....	11
Figura 7. Esquema tacos de madera interior.....	12
Figura 8. Geometría tacos de madera en tornillos moleteados.....	13
Figura 9. Pletina de acero con tornillo moleteado y taco pequeño de madera.....	13
Figura 10. Parte interior habitáculo.....	14
Figura 11. Alzado, planta y medidas de aislantes de paredes laterales y trasera.....	14
Figura 12. Paneles aislantes de paredes laterales y trasera.....	15
Figura 13. Zona interior de la casa térmica con aislantes incluidos.....	15
Figura 14. Geometría aislante y panel de metacrilato de la zona superior.....	16
Figura 15. Parte superior del habitáculo.....	16
Figura 16. Estructura casa térmica finalizada.....	17
Figura 17. Posición foco solar frente a la estructura de la casa térmica.....	19
Figura 18. Materiales a utilizar para uso del foco solar.....	19
Figura 19. Piranómetro térmico.....	20
Figura 20. Calibración foco solar.....	21
Figura 21. Gráfica calibración del foco solar.....	22
Figura 22. Posición agujeros en pared trasera para introducir serpentín.....	24
Figura 23. Posición agujeros en aislante de pared trasera para introducir serpentín.....	24
Figura 24. Serpentín en el interior del habitáculo.....	25
Figura 25. Agujeros en la pared lateral del frigorífico.....	25
Figura 26. Sistema unión dos tubos.....	26
Figura 27. Sistema refrigeración visto desde el exterior.....	26
Figura 28. Situación interior frigorífico.....	26
Figura 29. Manta eléctrica en interior de casa térmica.....	27
Figura 30. Cuadro de mando de manta eléctrica.....	27
Figura 31. Placa Arduino ATmega 2560.....	30
Figura 32. Sensor PT1000.....	30
Figura 33. Convertidores analógico-digital MAX 31865.....	31
Figura 34. Stripboard con pines Dupont hembra.....	31
Figura 35. Cable fino y flexible y cinta aislante.....	32
Figura 36. Cable de puente macho a hembra y de puente macho a macho.....	32
Figura 37. Soldador y estaño.....	32
Figura 38. Material termo-retráctil.....	33
Figura 39. Conexión de un sensor PT1000.....	33
Figura 40. Conexión de 4 sensores PT1000.....	35
Figura 41. Soldadura de conectores Dupont hembra en Stripboard.....	36
Figura 42. Cables para conexión entre convertidor y sensor.....	36

Figura 43. Material termo-retráctil sobre cables y sensor. ....	37
Figura 44. Patillas de un sensor soldadas a cables. ....	37
Figura 45. Soldaduras recubiertas con material termo-retráctil. ....	38
Figura 46. Conexión convertidor AD - Stripboard - placa Arduino.....	38
Figura 47. Encapsulado de cableado referente a sistema de medida. ....	39
Figura 48. Agujeros en pared trasera, lateral derecha y lateral izquierda, respectivamente. ....	39
Figura 49. Sensores en el interior de la casa térmica.....	40
Figura 50. Sensor de caudal YF-S201.....	41
Figura 51. Racor. ....	41
Figura 52. Teflón. ....	42
Figura 53. Conexión sensor de caudal con placa Arduino. ....	42
Figura 54. Teflón aplicado en los extremos del sensor de caudal. ....	43
Figura 55. Sensor de caudal conectado a sistema de refrigeración. ....	43
Figura 56. Sensor de corriente ACS712. ....	44
Figura 57. Esquema conexión sensor de corriente con placa Arduino. ....	45
Figura 58. Distribución sensor de corriente.....	46
Figura 59. Código Arduino para sensores de temperatura. ....	48
Figura 60. Código Arduino de sensor de caudal. ....	51
Figura 61. Código Arduino de sensor de corriente.....	53
Figura 62. Código completo Arduino.....	58
Figura 63. Panel principal LabView.....	61
Figura 64. Diagrama de bloques completo.....	63
Figura 65. Comunicación con Arduino. ....	63
Figura 66. Bloque VISA serial. ....	64
Figura 67. Conexión bloque lectura. ....	64
Figura 68. Bloque VISA close.....	64
Figura 69. Ciclo While Loop.....	65
Figura 70. Bloques parada While loop. ....	65
Figura 71. Bloques frecuencia toma de datos.....	65
Figura 72. Bloques lectura y tabulación. ....	66
Figura 73. Bloques "Build Array" y "Insert Into Array Function" y "Tabla". ....	67
Figura 74. Tabla de mediciones del panel principal.....	67
Figura 75. Cálculo de valores medios. ....	67
Figura 76. Bloques generación archivos Excel. ....	68
Figura 77. Bloque "Merge Signals Function". ....	68
Figura 78. Bloques nombre archivo. ....	69
Figura 79. Panel principal tras simulación. ....	69
Figura 80. Archivo Excel simulación. ....	70
Figura 81. Interior casa térmica durante ensayos. ....	72
Figura 82. Posición sensores en ensayos con sistema de calefacción. ....	72
Figura 83. Temperaturas de consigna e interior de la casa ensayo 40°C.....	73
Figura 84. Evolución temperatura ensayo 40°C. ....	73
Figura 85. Evolución potencia ensayo 40°C.....	74

Figura 86. Temperatura de consigna e interior de la casa ensayo 50°C. ....	74
Figura 87. Evolución temperatura ensayo 50°C. ....	75
Figura 88. Evolución de potencia ensayo 50°C. ....	75
Figura 89. Temperatura de consigna e interior de la casa ensayo 60°C. ....	76
Figura 90. Evolución temperatura ensayo 60°C. ....	76
Figura 91. Evolución potencia ensayo 60°C. ....	77
Figura 92. Posición sensores en ensayos de refrigeración. ....	78
Figura 93. Temperatura inicial fluido ensayo 18°C. ....	79
Figura 94. Temperatura inicial interior casa ensayo 18°C. ....	79
Figura 95. Evolución temperatura ensayo 18°C caudal 1,2 l/min. ....	80
Figura 96. Evolución temperatura de entrada y de salida de agua ensayo 18°C caudal 1,2 l/min. ....	80
Figura 97. Evolución potencia ensayo 18°C caudal 1,2 l/min. ....	81
Figura 98. Evolución temperatura ensayo 18°C caudal 1,6 l/min. ....	82
Figura 99. Evolución temperatura de entrada y de salida de agua ensayo 18°C caudal 1,6 l/min. ....	82
Figura 100. Evolución potencia ensayo 18°C caudal 1,6 l/min. ....	83
Figura 101. Temperatura inicial fluido ensayo 12,5°C. ....	83
Figura 102. Temperatura inicial interior casa ensayo 12,5°C. ....	84
Figura 103. Evolución temperatura ensayo 12,5°C caudal 1,2 l/min. ....	84
Figura 104. Evolución temperatura de entrada y de salida de agua ensayo 12,5°C caudal 1,2 l/min. ....	85
Figura 105. Evolución potencia ensayo 12,5°C caudal 1,2 l/min. ....	85
Figura 106. Evolución temperatura ensayo 12,5°C caudal 1,6 l/min. ....	86
Figura 107. Evolución temperatura de entrada y de salida de agua ensayo 12,5°C caudal 1,6 l/min. ....	86
Figura 108. Evolución potencia ensayo 12,5°C caudal 1,6 l/min. ....	87
Figura 109. Temperatura inicial fluido ensayo 8°C. ....	87
Figura 110. Temperatura inicial interior casa ensayo 8°C. ....	87
Figura 111. Evolución temperatura ensayo 8°C caudal 1,2 l/min. ....	88
Figura 112. Evolución temperatura de entrada y de salida de agua ensayo 8°C caudal 1,2 l/min. ....	88
Figura 113. Evolución potencia ensayo 8°C caudal 1,2 l/min. ....	89
Figura 114. Evolución temperatura ensayo 8°C caudal 1,6 l/min. ....	89
Figura 115. Evolución temperatura de entrada y de salida de agua ensayo 8°C caudal 1,6 l/min. ....	90
Figura 116. Evolución potencia ensayo 8°C caudal 1,6 l/min. ....	90
Figura 117. Evolución temperatura interior casa ensayos 18°C. ....	91
Figura 118. Evolución temperatura interior casa ensayos 12,5°C. ....	91
Figura 119. Evolución temperatura interior casa ensayos 8°C. ....	92
Figura 120. Evolución temperatura interior casa ensayos caudal 1,2 l/min. ....	93
Figura 121. Evolución temperatura interior casa ensayos caudal 1,6 l/min. ....	93
Figura 122. Temperaturas alcanzadas en los ensayos. ....	94

## 1. Introducción y objetivos

En la actualidad, el desarrollo en eficiencia energética en edificaciones se encuentra en pleno auge, debido a que un gran porcentaje del consumo energético a nivel mundial es el que se produce en este campo. Este problema lleva consigo otros muchos, como el elevado coste económico o el aumento de emisiones de gases que favorecen el efecto invernadero. Por todo ello, se hace necesario proponer soluciones, a partir de las cuáles se pueda reducir este problema en la medida de lo posible.

En muchos casos, la mayoría de edificios están expuestos a climas muy variables. Por ello, sistemas inalterables a condiciones climáticas no son especialmente interesantes. Debido a esto, la utilización de materiales inteligentes, los cuales varían sus propiedades físicas y químicas ante un estímulo externo, surge como una alternativa bastante atractiva.

Este proyecto tiene como objetivo principal desarrollar un modelo, a partir del cual, se puedan realizar diversos ensayos experimentales, en los que se estudie el comportamiento de diferentes materiales, entre estos, los nombrados anteriormente materiales inteligentes. En relación a la eficiencia energética, los materiales termocrómicos, los cuales tienen la capacidad de modular su transmisión (cambiando su color) en función de una temperatura de transición, hacen de ellos, unos materiales de especial interés para su estudio, ya que sus características les permiten poder actuar de aislantes o conductores de energía térmica. Por tanto, un ejemplo de posibles materiales a estudiar mediante este modelo serían los materiales termocrómicos.

El desarrollo de este modelo estará diferenciado en varias etapas:

- Construcción de casa térmica de paredes intercambiables: a partir de diversos materiales, se llevará a cabo la construcción de un habitáculo de geometría cuadrada, que quedará aislado térmicamente debido al recubrimiento interior de aislantes. Además, en el interior irá incluido un sistema de pletinas junto a tornillos moleteados que permitirá el intercambio de las paredes. En la pared frontal se colocará el material que se quiere estudiar.
- Fabricación y calibración de elementos externos: para realizar un estudio lo más cercano a la realidad se introducirán en el modelo una serie de elementos:
  - Un foco con irradiancia calibrada: este foco simulará la radiación solar.
  - Un sistema de refrigeración: basado en una corriente de agua a baja temperatura que circulará a través de un serpentín que se encuentre en el interior del habitáculo.
  - Un sistema de calefacción: basado en una manta eléctrica que estará instalada en el interior de la casa.

Después de instalar todos estos elementos, se deberán calibrar y desarrollar una serie de sistemas que permitan conocer ciertas propiedades durante cada ensayo que se realice, como la temperatura del agua que circula por el serpentín o la temperatura de la manta eléctrica.

- Programación mediante microcontrolador Arduino y Labview: se va a elaborar un sistema de monitorización con el fin de obtener diferentes parámetros que nos permitan realizar ensayos lo más completos posibles. Este sistema de monitorización va a estar formado por las siguientes partes:
  - Sistema de medida de temperatura: mediante una serie de sensores de temperatura, que se situarán en varios puntos de la casa térmica, se controlará la temperatura en todo momento en el interior y exterior de la misma.
  - Sistema de monitorización de refrigeración: a partir de un sensor de caudal, se obtendrá el valor de caudal de agua que circulará a través de los tubos de este sistema. Por otro lado, se utilizarán dos sensores del sistema de medida anterior para conocer la temperatura del agua a la entrada y salida del habitáculo. Con estos valores se podrá obtener el valor de potencia en tiempo real.
  - Sistema de monitorización de calefacción: se utilizará un sensor de corriente para medir la intensidad que circula a través del cable que conecta el cuadro de mando de la manta eléctrica a ésta. De esta forma, se obtendrá la potencia de calefacción en tiempo real.

Todos estos sistemas irán conectados a una placa Arduino, con su posterior programación para obtener todos estos parámetros. Se utilizará el programa Labview para visualizar todos estos parámetros de forma ordenada y cómoda para la persona que lo esté utilizando.

Este proyecto tiene como objetivo final desarrollar un modelo completo y servir de punto de partida para realizar estudios detallados de diversos materiales, en los que se puedan obtener resultados concluyentes de los mismos en referencia a una mejora en eficiencia energética, en primera instancia. La versatilidad y el gran número de parámetros que se tendrán como objeto de estudio, permitirá desarrollar diversos ensayos en los que se busquen resultados relacionados con otros ámbitos, no solo con la búsqueda de una mejora en eficiencia energética.

## 2. Construcción casa térmica de paredes intercambiables

La construcción de esta casa se lleva a cabo como objeto de investigación, con el cual desarrollar gran variedad de ensayos experimentales, a partir de los cuales obtener información relevante con respecto a eficiencia energética en edificación, como objetivo principal.

La casa está formada por las siguientes partes:

- La estructura exterior estará formada por paneles de metacrilato, formando un habitáculo cuadrado. La unión de estos paneles se llevará a cabo mediante tacos de madera, los cuales se situarán en su interior, en las cuatro esquinas del conjunto.
- La parte inferior, el suelo de este conjunto, será fabricado a partir de aislante y un panel de metal como sujeción de este aislante.
- El interior, en el cual se colocan sujeciones en los tacos de madera para anclar las paredes interiores (aislantes y otros).
- La parte superior, que estará formada por aislante y un panel de metacrilato.

A continuación se explica detalladamente los pasos a realizar e información necesaria para la construcción de dicho habitáculo.

### 2.1. Materiales empleados

La lista de materiales, que componen el conjunto del habitáculo, es la siguiente:

- Cinco paneles de metacrilato de color blanco.
  - Tres con anchura 39.2 cm, altura 36.4 cm y grosor 0.5 cm.(1)
  - Uno con anchura 39.2 cm, altura 39.2 cm y grosor 0.5 cm.(2)
  - Uno con anchura 39.2 cm, altura 36.4 cm Y grosor 0.3 cm. Este panel debe tener un agujero cuadrado de 21 cm de lado en su centro. (3)
- Cuatro tacos de madera (25 cm de altura y 6 cm de anchura y profundidad aproximadamente).(4)
- Material aislante (poliuretano de alta densidad).(5)
- Un panel de acero AISI 304 de 39.2 cm de anchura y 39.2cm de altura.(6)
- 32 Tornillos rosca 6.(7)
- 12 Tornillos moleteados rosca 6 de 70 mm de largo (8) y 8 pletinas de acero.
- 4 tuercas de embutir (9).
- 8 tuercas de seguridad autoblocantes.
- 4 arandelas.

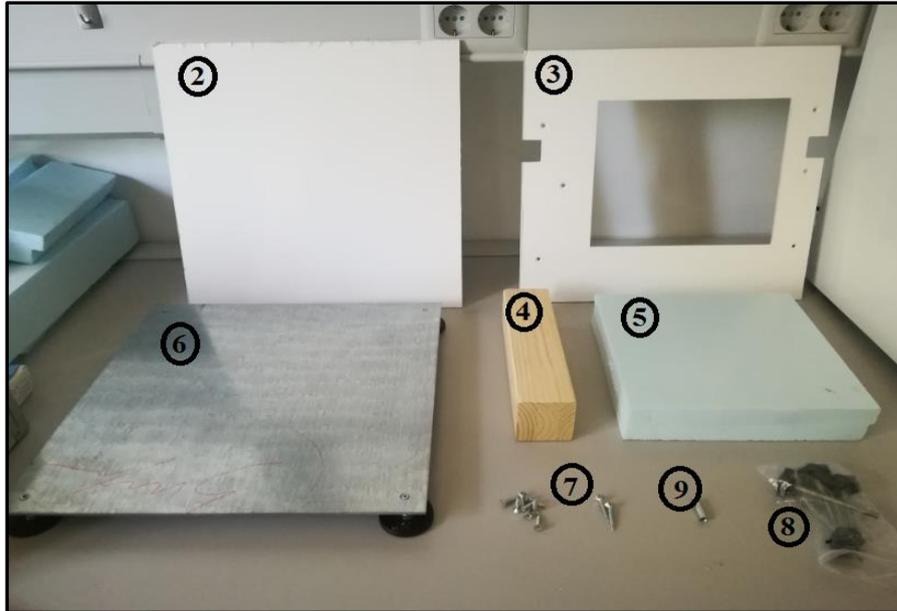


Figura 1. Materiales utilizados en la construcción del habitáculo.

## 2.2. Estructura exterior

Para el montaje del conjunto exterior del habitáculo se utilizan cuatro paneles de metacrilato (1 y 2), cuatro tacos de madera (3) y los tornillos (7) correspondientes para la unión de estos materiales.

Los pasos a seguir son los siguientes:

1. Marcar en los paneles de metacrilato los lugares en los cuales se deben realizar los taladros, y por tanto, donde se llevará a cabo la unión entre los tacos de madera y dichos paneles. Tres de los paneles serán de tipo (1), los cuales serán las paredes laterales y pared trasera del conjunto, y otro panel de tipo (2), que será la pared delantera. En ambos tipos, los taladros se realizan en los mismos puntos.

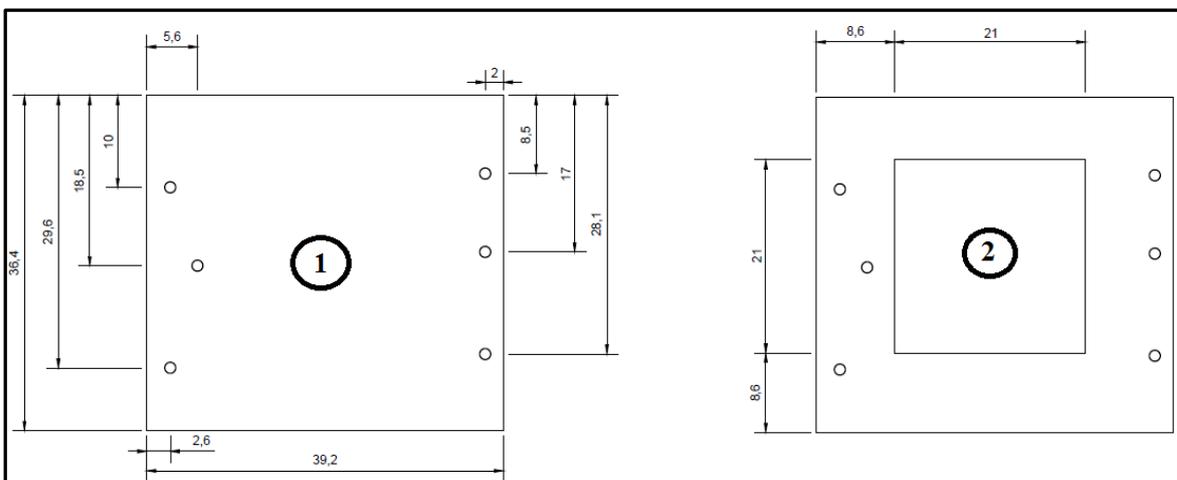


Figura 2. Esquema paneles metacrilato para paredes.

2. Realizar los taladros en las marcas tomadas anteriormente. Los taladros se realizarán con una broca de madera del número 6. Tras realizar todos los taladros, se aplicará el proceso de avellanado a todos ellos, utilizando una broca avellanadora. El objetivo de este proceso radica en que al introducir los tornillos, estos no sobresalgan de los paneles, es decir, la cabeza del tornillo quede en el interior del panel.



Figura 3. Pared lateral.

3. Marcar en los tacos de madera los puntos en los que se llevará a cabo la unión con los paneles. Este proceso es necesario para que todos los tacos queden anclados a la misma altura, debido a que tanto en la parte superior como inferior se colocará aislante y deberán estar todos igualmente nivelados.

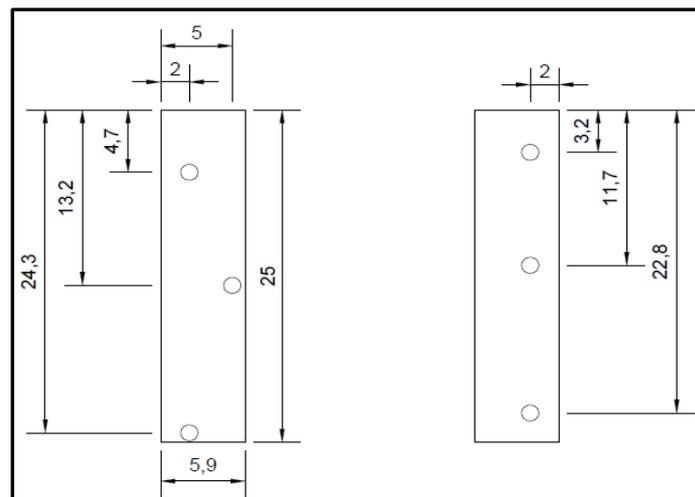


Figura 4. Esquema tacos de madera exterior.

En la figura 2.3 queda reflejado el alzado y perfil de todos los tacos de madera, y de cómo deben quedar distribuidos los puntos de anclaje con los paneles.

4. Anclar los paneles de metacrilato a los tacos de madera mediante los tornillos (7). Para ello utilizar un destornillador de tipo estrella. Este proceso se facilita en gran medida utilizando un taladro atornillador.

El resultado final, tras realizar todos los pasos es el siguiente:

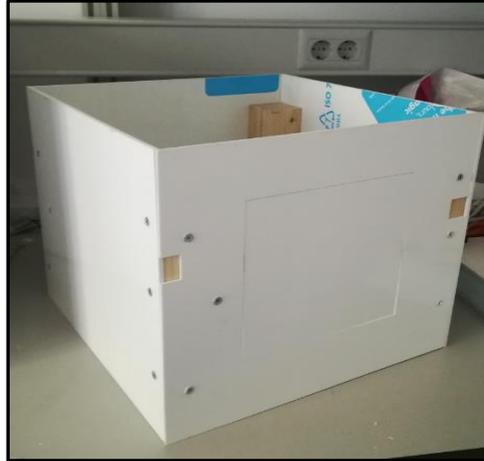


Figura 5. Conjunto exterior.

### 2.3. Parte inferior

Esta zona estará formada por una capa de aislante de grosor de 5 cm. Este aislante tiene como principal objetivo evitar en la medida de lo posible la influencia del ambiente exterior, en el interior del habitáculo, a través de la parte inferior de éste.

Debajo de esta capa de aislante se coloca una placa de acero AISI 304 que posee cuatro “patas” en sus esquinas, que desempeñarán la función de apoyo del habitáculo. De esta forma, esta capa también tendrá la función de adherir el aislante a la parte inferior de los tacos de madera.

Las medidas del aislante y del panel de acero deberán ser tales que se ajusten perfectamente a las paredes del conjunto exterior, consiguiendo de esta manera un mayor aislamiento.



Figura 6. Parte inferior (suelo) del habitáculo.

## 2.4. Parte interior

En el interior se colocan pletinas de acero atornilladas a los tacos de madera. Estos elementos servirán de apoyo a tornillos moleteados, los cuales tendrán la función de fijar los aislantes o paredes intercambiables, que se colocan en el interior de los laterales del montaje, para obtener el mayor aislamiento posible por las zonas laterales.

La posición, en los tacos de madera, en las que se coloca las pletinas puede ser variable. En este caso, se va a poner en la zona intermedia de éstos:

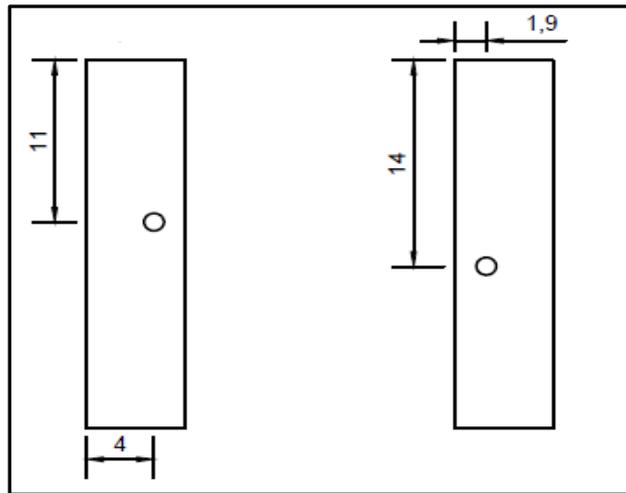


Figura 7. Esquema tacos de madera interior.

La figura 2.7 expone el esquema de los perfiles interiores de los tacos de madera. El perfil de la cara interior del taco de madera es tal que el punto, donde se atornilla la pletina de acero, queda lo más alejado posible del panel lateral.

El contacto entre los tornillos moleteados y la pieza que se colocará en la pared frontal, cuyo objetivo es ajustarla por completo al panel de metacrilato, se llevará a cabo mediante unos tacos pequeños de madera que irán introducidos en dichos tornillos y tendrán la siguiente geometría:

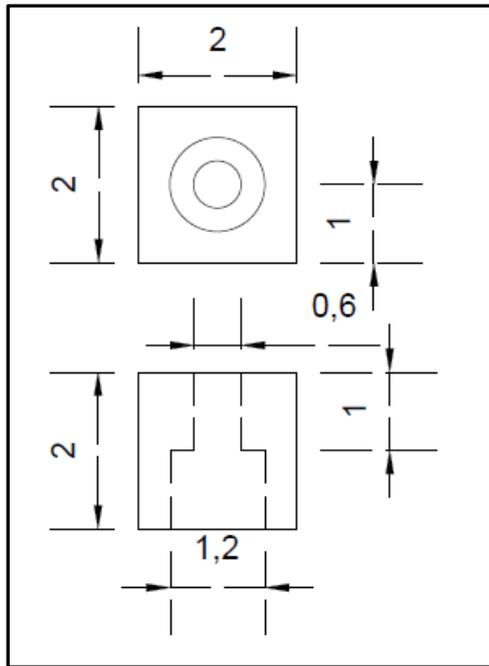


Figura 8. Geometría tacos de madera en tornillos moleteados.

Para realizar los dos agujeros centrales de estos tacos se emplea un taladro con brocas de madera del número 6 y del número 12. Para fijar estos tacos a los tornillos moleteados, se emplea tuercas de seguridad autoblocantes. Tras quedar fijados estos tacos, se coloca en el extremo de estos un trozo de caucho, que recubra por completo el área de contacto del taco de madera con la pared frontal.

Se obtendrá un diseño de la siguiente forma:



Figura 9. Pletina de acero con tornillo moleteado y taco pequeño de madera.

A continuación se atornillan todas las pletinas en la posición correspondiente de los tacos de madera.

Por otro lado, en la parte superior de cada taco de madera que conforma la estructura exterior se introducirá una tuerca de embutir, que servirá como elemento de ayuda para el agarre y sujeción de la parte superior (“techo”) del habitáculo.

Para ello, se realiza un agujero en el centro de la parte superior de cada taco mediante un taladro con broca del número 6. Después de realizar los taladros se introducen las tuercas de embutir embadurnadas de cola, con el fin de quedar fijadas completamente a cada taco de madera.

Tras completar todos estos pasos se obtiene la parte interior de la siguiente forma:

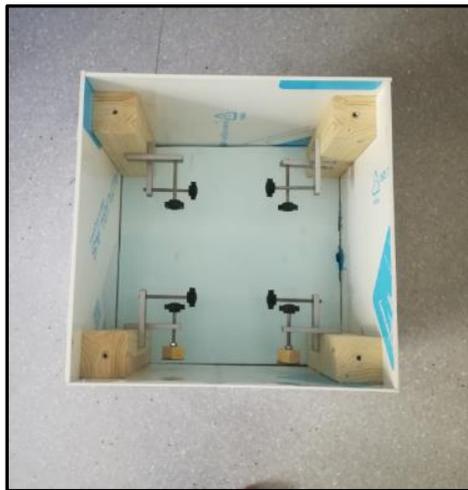


Figura 10. Parte interior habitáculo.

En las paredes laterales y la pared trasera se coloca aislante, nombrado anteriormente. Este aislante debe ajustarse al máximo con el fin de obtener un buen aislamiento. Para ello, cada sección de aislante tomará la siguiente geometría:

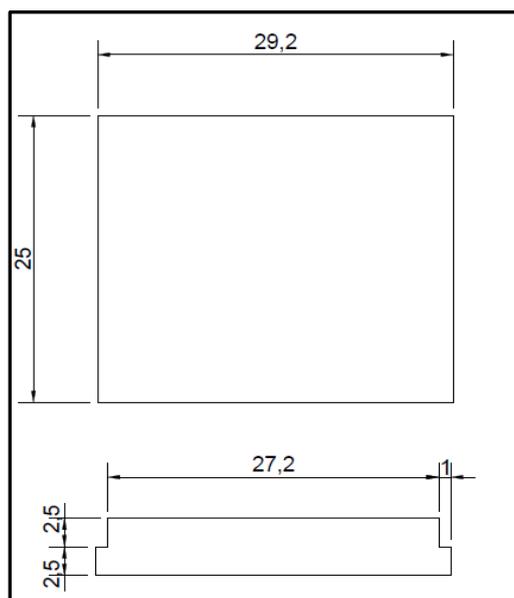


Figura 11. Alzado, planta y medidas de aislantes de paredes laterales y trasera.

Físicamente, estos paneles deben tener un aspecto similar al siguiente:



Figura 12. Paneles aislantes de paredes laterales y trasera.

Estos paneles se colocan en cada pared y se ajustan mediante los tornillos moleteados anclados anteriormente a cada taco de madera a partir de pletinas de acero.

Después de colocar estos paneles y comprobar que ajustan correctamente y las medidas son las indicadas se debe tener una estructura similar a la siguiente:



Figura 13. Zona interior de la casa térmica con aislantes incluidos.

## 2.5. Parte superior

Esta parte está compuesta por una capa de aislante y encima, lo que será “el techo” de la casa, se situará un panel de metacrilato.

En principio, se llevará a cabo la realización de una serie de taladros, mediante una broca del número 6, tanto en el panel de metacrilato como en el aislante, de forma que queden alineados con las posiciones de las tuercas de embutir colocadas en los tacos de

madera. La posición en la cual se deben realizar los taladros en ambos elementos es la siguiente:

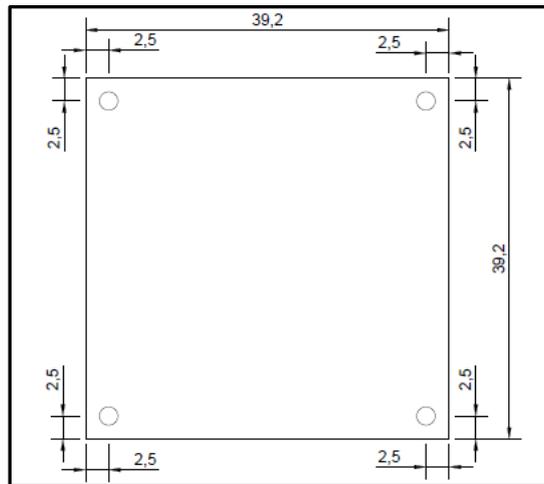


Figura 14. Geometría aislante y panel de metacrilato de la zona superior.

A continuación, se une el aislante al panel de metacrilato mediante pegamento de contacto y se deja secar un par de días. Después de comprobar que ambos elementos están unidos fuertemente, se introduce en cada uno de los agujeros un tornillo moleteado (8). Tras introducirlo, se coloca una arandela y una tuerca de seguridad autoblocante a cada tornillo con el fin de que no se salga en ningún momento de la pieza.

Se obtiene una pieza como la siguiente:



Figura 15. Parte superior del habitáculo.

Esta pieza se coloca encima de los tacos de madera que forman parte de la estructura de la “casa” y queda fijada a estos tacos mediante los tornillos moleteados, que quedan fijados en las tuercas de embutir colocadas anteriormente.

Finalmente, tras colocar esta pieza se tendría finalizada la construcción de la “casa térmica”, la cual tendrá un aspecto similar al siguiente:



Figura 16. Estructura casa térmica finalizada.

### 3. Fabricación y situación de elementos externos.

Con el objetivo de realizar un conjunto de ensayos y estudios de la forma más realista posible, se van a introducir una serie de elementos que simulen la situación en la que se encuentra un edificio o casa en la realidad. El uso de estos elementos va a permitir obtener resultados y conclusiones bastante detalladas, lo cual dará a conocer con mayor exactitud el grado de mejora, desde el punto de vista de la eficiencia energética, de los materiales a estudiar frente a los de uso común.

Como se ha comentado en el primer apartado, el conjunto de elementos es el siguiente:

- Un foco con irradiancia controlada: este foco simulará la radiación solar.
- Un sistema de refrigeración: basado en una corriente de agua a baja temperatura que circulará a través de un serpentín que se encuentre en el interior del habitáculo.
- Un sistema de calefacción: basado en una manta eléctrica que estará instalada en el interior de la casa.

En los próximos apartados se especifica la siguiente información de estos elementos:

- Materiales a utilizar para definir cada elemento en su totalidad.
- Pasos a seguir para su correcta fabricación, en el caso de que fuera necesario realizarla.
- Pasos a seguir para calibrar correctamente los distintos elementos.
- Conclusiones de los resultados de estas calibraciones.

Estos dos últimos apartados en el caso del sistema de refrigeración y el de calefacción, se realizarán en apartados posteriores, ya que necesitarán ciertos recursos para su calibración que se explicarán más adelante.

#### 3.1. Foco solar

La razón por la cual se va a utilizar un foco de luz es para simular la radiación solar. La radiación solar máxima que llega a la superficie terrestre es aproximadamente de unos  $1000 \text{ W/m}^2$ . En este caso, a partir del foco se podrá llegar a alcanzar esta potencia, aunque el espectro de luz y las longitudes de onda de ésta no puedan ser similares. Se va a intentar alcanzar la mayor similitud posible.

El funcionamiento y la función de este foco con respecto a los ensayos va a ser bastante simple. Este foco se colocará enfrente de la pared que contenga el material a estudiar y se dejará conectado durante un tiempo. La aportación de calor por parte del foco, supondrá la elevación de temperatura en la pared en la que incide esta luz y el consecuente aumento de temperatura en el interior del habitáculo.



Figura 17. Posición foco solar frente a la estructura de la casa térmica.

Esta oscilación de temperatura debida a la radiación de este foco, va a ser el primer parámetro que se tendrá en cuenta para evaluar los distintos materiales que se coloquen como objeto de estudio.

A continuación se expone toda la información relevante para poder poner en marcha de la forma correcta este foco en el proyecto.

### ***3.1.1. Materiales a utilizar***

Para llevar a cabo los ensayos incluyendo la función del foco de luz, es necesario utilizar los siguientes materiales:

- Foco con irradiancia controlada. (1)
- Bombilla de 500 W. (2)
- Filtros. (3)
- Piranómetro térmico. (4)
- Polímetro. (5)

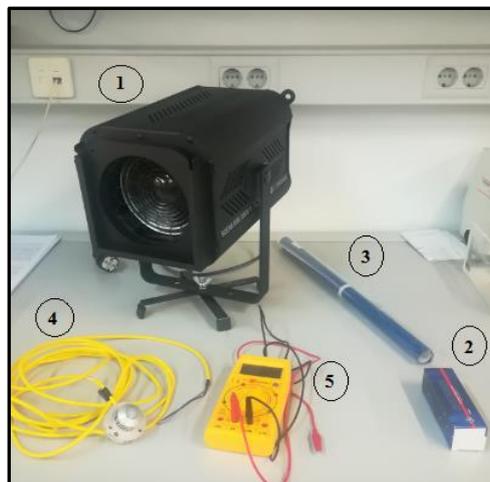


Figura 18. Materiales a utilizar para uso del foco solar.

### 3.1.2. Calibración del foco solar

Antes de poder utilizar el foco para realizar ensayos en los que intervenga, es necesario conocer cuál es su variación de potencia con la distancia. Para poder medir esta potencia y realizar correctamente el proceso de calibración se va a utilizar un piranómetro térmico.

Un piranómetro térmico es un aparato que es capaz de medir la potencia procedente de una radiación en un cierto punto y el resultado obtenido es un valor de tensión que será equivalente a una cierta potencia. Este dispositivo está constituido por una pila termoeléctrica contenida en un alojamiento con dos hemisferas de cristal. La pila termoeléctrica está constituida por una serie de termopares colocados horizontalmente, cuyos extremos están soldados con unas barras de cobre verticales solidarias a una placa de latón maciza. El conjunto está pintado con un barniz negro, para absorber la radiación. El flujo de calor originado por la radiación se transmite a la termopila, generándose una tensión eléctrica proporcional a la diferencia de temperatura entre los metales de los termopares.

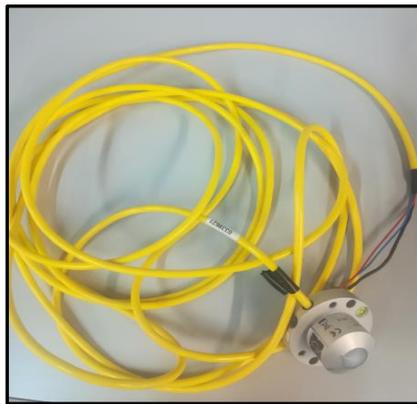


Figura 19. Piranómetro térmico.

En primer lugar, para realizar este proceso de calibración se deberá encender el foco de luz, el cual tendrá una cierta potencia que no será variable. Por ello, se podrá variar la potencia aumentando o reduciendo la distancia del foco con respecto al punto que se evaluará. En nuestro caso el punto a evaluar va a ser la pared frontal de la casa térmica.

El siguiente paso será colocar el piranómetro sobre la pared frontal de esta casa, punto a evaluar. A continuación, se colocará el foco encendido enfrente de esta pared a una distancia en la cual el piranómetro marque una radiación en torno a unos  $1000 \text{ W/m}^2$  (el piranómetro marcará un valor de tensión que se debe transformar a valor de potencia). Este será el primer punto a tener en cuenta.

El siguiente paso será repetitivo: se va alejando el foco con respecto a la pared frontal y se toma una medida cada diez centímetros. En cada medida, se deberá mover el piranómetro por toda la pared hasta obtener el valor mayor de tensión recibido en este

dispositivo. Para poder tener un estudio significativo, se deberán tomar al menos unas siete u ocho medidas.

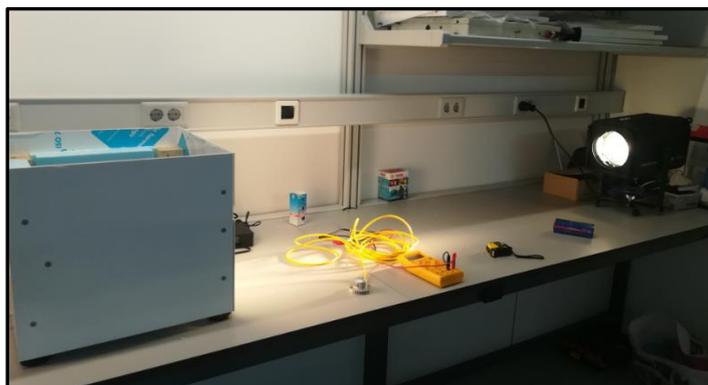


Figura 20. Calibración foco solar.

En nuestro caso, un polímetro que estará conectado al piranómetro, medirá un valor de tensión y el cambio de unidades para conocer el valor de potencia es el siguiente:

$$71,1\mu V = 1 W/m^2$$

Después de realizar todas las medidas, los resultados son los siguientes:

Nº de medida	Distancia entre foco y pared frontal (m)	Tensión medida ( $\mu V/m^2$ )	Potencia medida ( $kW/m^2$ )
1	0,8	77,7	1,092
2	0,9	63,8	0,897
3	1,0	54,6	0,768
4	1,1	46,5	0,654
5	1,2	39,7	0,558
6	1,3	34,5	0,485
7	1,4	30,5	0,429
8	1,5	27,0	0,380

Tabla 1. Medidas proceso calibración foco solar.

En los resultados se puede observar que a medida que aumentamos la distancia, el valor de tensión recogido por el piranómetro es menor, lo que es normal. Sin embargo, lo que nos interesa conocer de este proceso es cuál es la tendencia que sigue esta caída de potencia con respecto a la distancia.

En teoría, el cuadrado de las potencias obtenidas debe decrecer con la distancia de forma exponencial. El cuadrado de estas potencias es el siguiente:

Nº de medida	Distancia entre foco y pared frontal (m)	Cuadrado de la potencia medida (kW <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )
1	0,8	1,194
2	0,9	0,805
3	1,0	0,590
4	1,1	0,428
5	1,2	0,312
6	1,3	0,235
7	1,4	0,184
8	1,5	0,144

Tabla 2. Cuadrado de potencias medidas en proceso de calibración.

Para conocer la tendencia que sigue el cuadrado de la potencia con respecto a la distancia es necesario representar gráficamente ambos parámetros.

La representación gráfica es la siguiente:

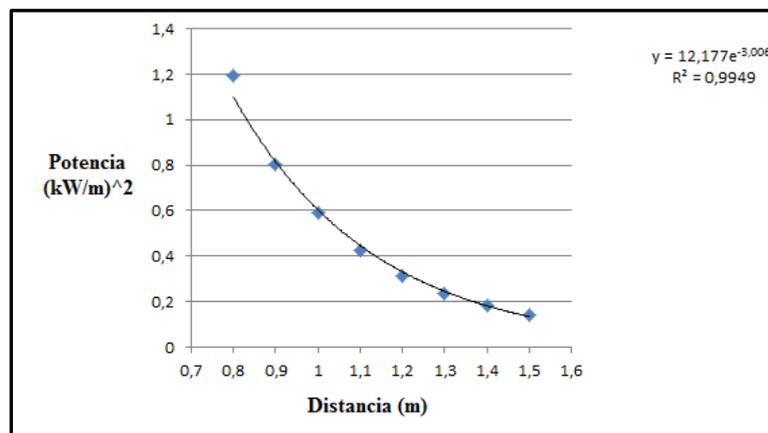


Figura 21. Gráfica calibración del foco solar.

Se observa en la gráfica que efectivamente el cuadrado de las potencias obtenidas decrece de forma exponencial con la distancia.

La ecuación que relaciona ambos parámetros es por tanto exponencial y viene definida por la siguiente expresión:

$$P^2 \text{ (kW}^2/\text{m}^2) = 12,177 * e^{-3,006 * D(m)}$$

A partir del valor de  $R^2$ , coeficiente de regresión, se puede comprobar que el ajuste es muy bueno:

$$R^2 = 0,9949$$

De esta forma quedaría terminado el proceso de calibración del foco solar, pudiendo conocer la distancia necesaria entre el foco y el punto a evaluar en función a la potencia deseada.

### **3.2. Sistema de refrigeración**

Con el objetivo de poder realizar un estudio más completo, se va a introducir un sistema de refrigeración, que como se ha dicho anteriormente, va a estar basado en un conjunto de conductos en forma de serpentín que se encontrarán en el interior del habitáculo y por los cuales circulará una corriente de agua a baja temperatura.

Para mantener el agua a baja temperatura se utilizará un frigorífico pequeño, dentro del cual se encontrará un recipiente lleno de agua. Una serie de tuberías conectarán el agua de este recipiente con el serpentín interno en la casa. El agua será impulsada por una bomba que estará ubicada en el interior del recipiente y estará conectada al conducto que se encuentra unido al serpentín.

A continuación se expone el material necesario y pasos a seguir para el montaje de este sistema.

#### ***3.2.1. Material a utilizar***

El material necesario para formar el sistema de refrigeración en su totalidad es el siguiente:

- Bomba compacta.
- Serpentín de metal.
- Tubería de PVC de 12 mm de diámetro.
- Tubería de PVC de 16 mm de diámetro.
- Frigorífico.
- 6 abrazaderas.
- 2 Racores.
- Agua destilada.
- Recipiente de cristal.
- Teflón.

#### ***3.2.2. Pasos a seguir para su montaje***

Para obtener el sistema montado y listo para su uso, en los diferentes estudios, se deberán seguir los siguientes pasos:

1. Realizar taladros en la pared trasera de PVC del habitáculo y el panel de aislante que va colocado en esta zona: el serpentín, por el cual circulará el agua, irá colocado en el interior de la casa y para poder introducirlo es necesario que quede anclado a alguna pared de la misma. Se ha elegido que esta pared sea la trasera ya que será la posición más cómoda y adecuada para hacerlo, debido a que el foco solar estará situado enfrente de la pared frontal, y la posición en la cual este sistema se verá menos influenciado es si se encuentra montado en la zona trasera de la casa.

Por tanto, para poder introducir este serpentín en el interior de la casa a través de esta pared será necesario taladrar dicha pared. Se realizarán dos taladros, que serán paralelos a la horizontal debido a la geometría del serpentín, ya que este sistema tiene una entrada y una salida. Para que quede fijado de la mejor manera posible este sistema a la pared, los taladros se realizarán con un diámetro relativamente superior al de las tuberías del serpentín. La posición en la que se deben realizar estos dos taladros en la pared, para que el serpentín quede lo más centrado posible y no interfiera ni con la parte inferior ni superior de la casa, es la siguiente:

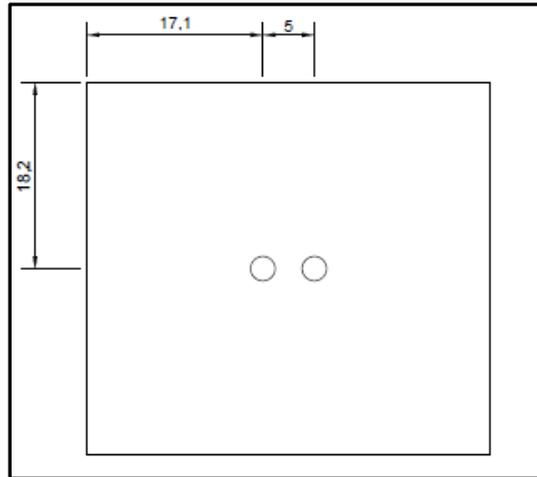


Figura 22. Posición agujeros en pared trasera para introducir serpentín.

También será necesario realizar dos taladros del mismo diámetro en el panel de aislante que se encuentra en esta zona. La posición en la cual se deben realizar estos taladros, para que coincidan con los realizados en la pared de PVC, es la siguiente:

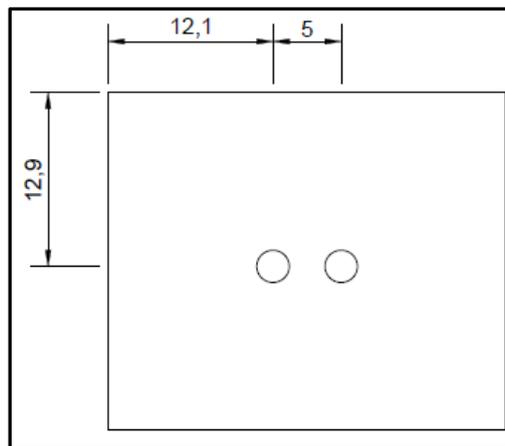


Figura 23. Posición agujeros en aislante de pared trasera para introducir serpentín.

A continuación, se introduce el serpentín a través de los agujeros realizados en la pared y panel de aislante. Después de haber introducido el serpentín, se deberá sellar esta zona, de forma que el habitáculo siga quedando aislado de la mejor forma posible, a partir de silicona.

El resultado, tras realizar este primer paso, deberá ser similar al que se observa en la siguiente imagen:

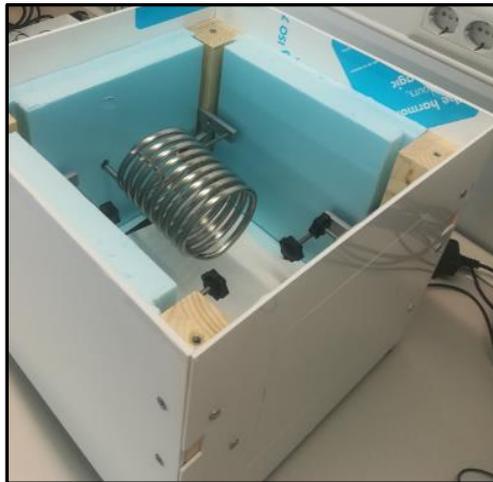


Figura 24. Serpentín en el interior del habitáculo.

2. Realizar agujeros en una pared lateral del frigorífico: en el interior del frigorífico se encontrará un recipiente con agua, la cual irá dirigida hacia el serpentín colocado en el interior de la casa mediante tubos de PVC. La conexión de estos tubos entre el interior del frigorífico y el exterior deberá ser de tal forma que la pérdida térmica del frigorífico sea mínima, para su consumo mínimo.

La manera más sencilla de hacer esto posible es realizando un par de agujeros en la pared del frigorífico más cercana a la casa térmica, de tamaño similar al de los tubos de PVC que los atravesarán. Se realizan dos agujeros, ya que por uno irá un tubo por el que circulará un caudal de agua con sentido hacia el serpentín y otro en el que el caudal de agua circulará en sentido contrario, es decir, se producirá una recirculación continua.



Figura 25. Agujeros en la pared lateral del frigorífico.

3. Conexión tubos entre interior del frigorífico y serpentín: se van a utilizar tubos de PVC de distintos diámetros debido a que en el interior del frigorífico un tubo irá conectado a la bomba, que en nuestro caso es necesario que sea de 16 mm para

conectarlo a ella, y en el exterior los tubos irán conectados al serpentín, cuyo diámetro es de 12 mm.

Para la unión de estos dos tubos, se utilizarán dos racores y varias abrazaderas para evitar la pérdida de agua. Además, en los extremos de los racores se aplicarán varias capas de teflón, que servirán también para evitar posibles pérdidas de agua. Este sistema quedará de la siguiente forma:



Figura 26. Sistema unión dos tubos.

Por último, el sistema de refrigeración podrá observarse desde fuera similar a la siguiente imagen:

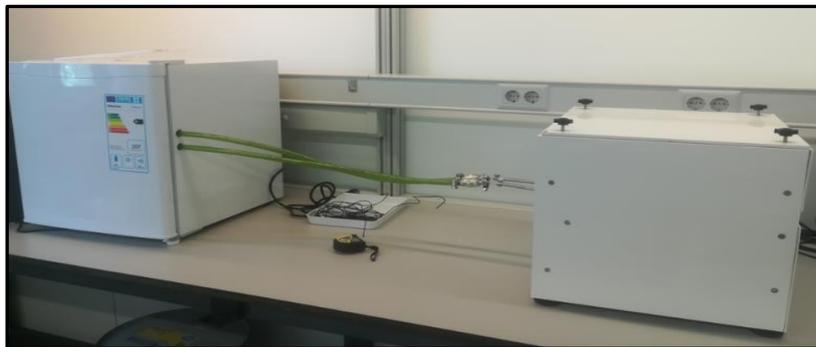


Figura 27. Sistema refrigeración visto desde el exterior.

Internamente en el frigorífico, se tendrá una situación similar a la siguiente figura:



Figura 28. Situación interior frigorífico.

### 3.3. Sistema de calefacción

Para simular un sistema de calefacción, en este caso se va a utilizar una manta eléctrica, la cual se situará sobre el soporte inferior, aislante, de la estructura de la casa térmica.

Este dispositivo se va a introducir al interior del habitáculo por la parte inferior de éste, de forma que no disminuya su aislamiento e interfiera lo menor posible en las diferentes actividades del proyecto.

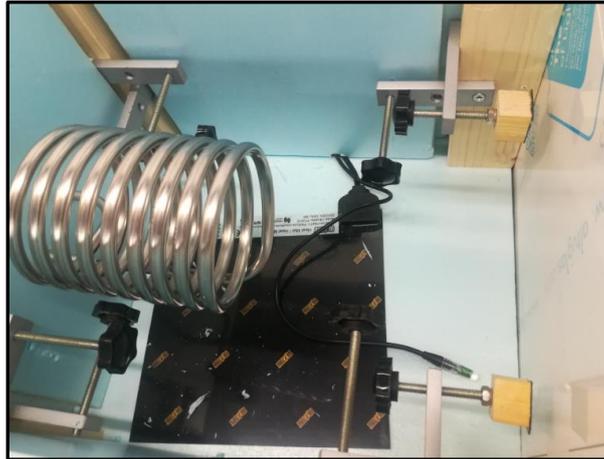


Figura 29. Manta eléctrica en interior de casa térmica.

Este aparato va a estar formado por un cuadro de mando, mediante el cual se puede fijar una temperatura de consigna. A este cuadro de mando estará conectado un sensor de temperatura, que deberá estar colocado en el lugar donde se coloque la manta eléctrica.

El funcionamiento del dispositivo estará basado en alcanzar la temperatura de consigna que se ha seleccionado, variando su potencia en función a la diferencia de temperatura entre la de consigna y la que es medida por el sensor de temperatura.



Figura 30. Cuadro de mando de manta eléctrica.

## 4. Monitorización de la casa térmica

Para realizar ensayos lo más detallados posible y poder obtener resultados concluyentes es necesario estudiar y recopilar información del mayor número de parámetros posible.

Además, para obtener estudios completos, se deberán controlar los principales parámetros que intervienen directamente en los diferentes sistemas utilizados en el proyecto, comentados en apartados anteriores.

Para realizar el control de estos parámetros, se procederá a monitorizar cada parte del proyecto mediante un conjunto de sensores y dispositivos, los cuáles proporcionarán información suficiente para caracterizar los diferentes materiales, como objetos de estudio.

El sistema de monitorización estará dividido en tres partes bien diferenciadas:

- Monitorización de temperatura de las diferentes zonas del habitáculo: un conjunto de sensores estarán distribuidos por las zonas interiores y exteriores del habitáculo, obteniendo la temperatura de los diferentes puntos de la casa.
- Monitorización de potencia del sistema de refrigeración: se colocará un sensor de caudal, caudalímetro, en uno de los tubos de PVC que forman el sistema de refrigeración. Se obtendrá en tiempo real el caudal de este sistema. Por otro lado, se colocarán sensores de temperatura en los tubos de entrada y salida del serpentín, de forma que se obtenga la diferencia de temperatura entre éstos. Estos parámetros serán necesarios para conocer la potencia de refrigeración en todo momento.
- Monitorización de potencia del sistema de calefacción: para obtener este dato, se procederá a conectar un sensor de corriente, el cual obtenga la corriente que circula por el cable que conecta el cuadro de mando del aparato con la manta eléctrica.

El sistema electrónico, que realizará la adquisición y comunicación de los datos obtenidos por los diferentes sensores hasta un PC que recopile toda esta información, es el microcontrolador Arduino, el cual deberá ser programado a partir del programa Arduino.

Toda la información necesaria para realizar el montaje del sistema de monitorización y conexionado de los componentes en la placa Arduino va a quedar reflejada en los siguientes apartados.

## **4.1. Sistema de medida de temperatura**

El principal objetivo de este sistema es obtener el valor de temperatura en todos los puntos significativos en relación a la casa, de forma que no se pierda ningún tipo de información y se puedan realizar ensayos lo más completos posibles.

Este sistema va a estar formado por un conjunto de 14 sensores, los cuales estarán colocados en diferentes puntos, de manera que abarquen todas las partes significativas del habitáculo, tanto en el exterior como interior.

Para realizar esta parte del proyecto se va a utilizar parte de información del trabajo [1], perteneciente a la numeración de la bibliografía.

Esta parte del proyecto estará comprendida por los siguientes apartados:

- **Material a utilizar:** se especificará todo el material necesario para desarrollar correctamente el sistema de medida.
- **Conexión de los componentes:** se ilustrará como deben ir conectados todos los componentes en la placa Arduino.
- **Montaje:** se desarrollará de manera secuencial los pasos a seguir para realizar el montaje de medida y como introducirlo en el interior de la casa térmica.

A continuación, en los siguientes apartados se expone toda esta información, para desarrollar este sistema de forma completa.

### ***4.1.1. Material a utilizar***

El material necesario para realizar por completo este sistema de medida es el siguiente:

- **Placa microcontrolador Arduino:** para elegir el tipo de placa a utilizar se deben tener en cuenta varias características que serán necesarias para poder desarrollar todo el sistema de monitorización, ya que esta placa será la única que se utilice.

Esta placa deberá tener suficientes pines analógicos y digitales para conectar todos los sensores a utilizar. La memoria Ram debe de ser suficiente como para realizar todos los procesos de monitorización a la vez. También se deberá tener en cuenta la memoria flash, ya que si se utiliza un programa muy largo y esta memoria no es suficiente, podría limitar el correcto funcionamiento del proyecto. Estas características son las más importantes a tener en cuenta para la elección correcta de la placa.

Para nuestro proyecto se ha elegido la placa Arduino ATmega 2560. Las principales características de esta placa son las siguientes:

- **Tensión de alimentación:** 5 V.

- Pines digitales: 54 (14 proporcionan salida PWM).
- Entradas analógicas: 16.
- Corriente máxima por pin: 40 mA, 50 mA (si es el pin 3.3 V).
- Memoria flash: 256 KB.
- SRAM: 8KB.
- EEPROM: 4KB.
- Velocidad del reloj: 16 MHZ.

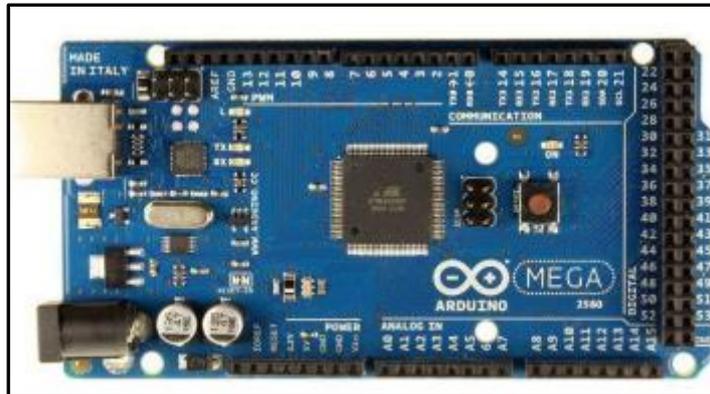


Figura 31. Placa Arduino ATmega 2560.

- Sensor de temperatura PT1000: se van utilizar sensores de temperatura RTD (termorresistente) de platino, cuyo principio físico se basa en la resistividad de los metales, es decir, en la variación de la resistencia de un conductor con la temperatura. El sensor termorresistente de platino elegido para este proyecto se denomina PTC (Positive Temperature Coefficient). Junto a estas siglas se indica la resistencia del sensor, que en nuestro caso hemos elegido sensores con resistencia de 1000  $\Omega$ .

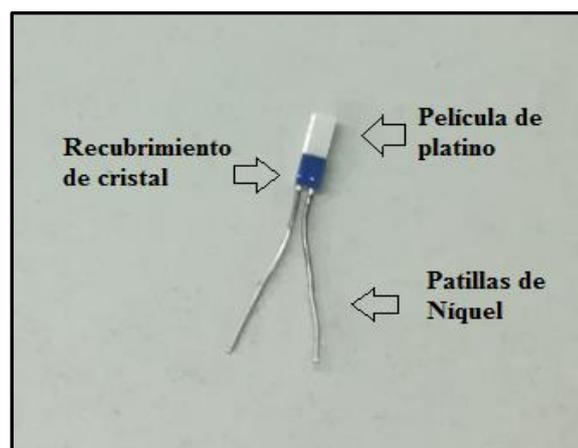


Figura 32. Sensor PT1000.

Serán necesarios 14 sensores PT1000, que serán los que conformen el sistema de medida.

- Convertidores analógico digital MAX 31865: es necesario la utilización de convertidores analógico-digital para aprovechar las ventajas de las resistencias de platino de los sensores utilizados. El convertidor se deberá colocar entre el sensor y la placa de Arduino, donde la entrada es digital. Estos convertidores transforman el valor de resistencia que reciben en un valor de temperatura con una precisión de 0.01°C. Serán necesarios un convertidor por cada sensor, por tanto, 14 convertidores MAX 31865.

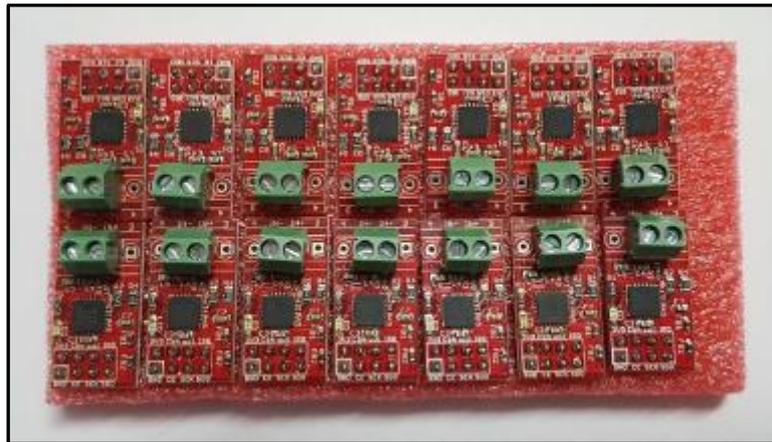


Figura 33. Convertidores analógico-digital MAX 31865.

- Stripboard y conectores Dupont hembra: será necesario usar una placa Stripboard para llevar a cabo el conexionado de todos los sensores con el microcontrolador Arduino. Los conectores Dupont hembra irán soldados a esta placa mediante estaño según el tipo de conexión que se necesite (en próximos apartados se especificará).

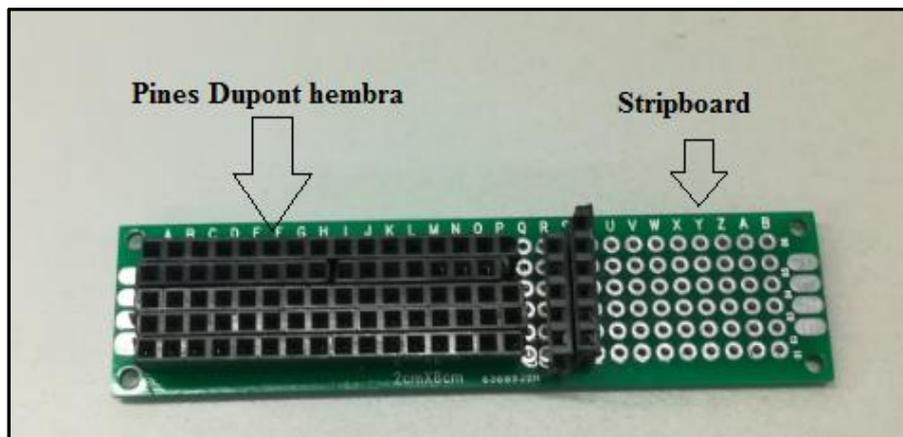


Figura 34. Stripboard con pines Dupont hembra.

- 28 metros de cable fino y flexible y cinta aislante: los sensores se deben conectar a los convertidores mediante cable, que debe ser flexible y fino para poder ser manipulable. En cada sensor irá conectado un cable a cada patilla y estos al convertidor. Son necesarios 28 metros debido a que se ha escogido que cada sensor

se situará a 1 metro de su convertidor, lo que le permita tener movilidad y poder ser manipulado con facilidad cuando éste se encuentre en las zonas de la casa térmica. La cinta aislante es para unir los dos cables de cada sensor, para obtener una distribución más ordenada de la conexión de los sensores con los convertidores.



Figura 35. Cable fino y flexible y cinta aislante.

- Cables de puente macho a hembra y de puente macho a macho: la conexión entre los convertidores y la Stripboard requiere de cables de puente macho a hembra y la conexión entre la stripboard y la placa Arduino requiere cables de puente macho a macho.

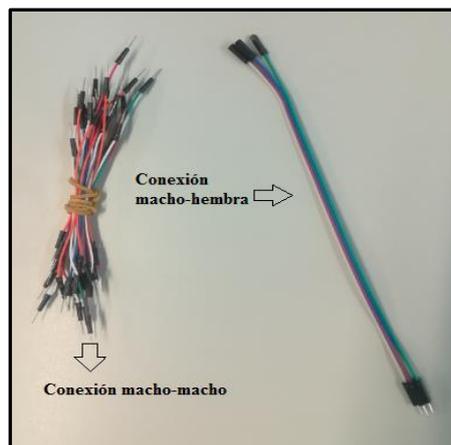


Figura 36. Cable de puente macho a hembra y de puente macho a macho.

- Soldador y estaño: será necesario el uso de un soldador y estaño para realizar la conexión entre los pines Dupont hembra y la stripboard y para unir los cables con las patillas de los sensores.

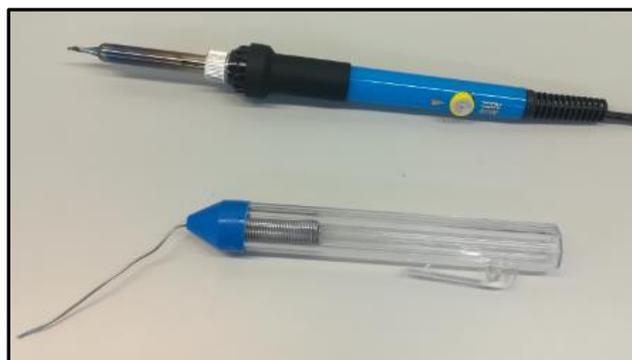


Figura 37. Soldador y estaño.

- **Material termo-retráctil:** este material tendrá la función de recubrir la zona de soldadura entre las patillas de los sensores y los cables que van conectados a los convertidores. Su función será la de evitar que las dos patillas de los sensores se toquen y que la soldadura se rompa. Este material tiene la capacidad de encoger mediante la aportación de calor y ajustarse al objeto que está recubriendo.



Figura 38. Material termo-retráctil.

#### 4.1.2. Conexión de los componentes

La conexión de los sensores PT1000 a la placa Arduino se debe hacer a través de convertidores AD, como se dijo anteriormente. El conexionado de cada sensor con esta placa se muestra en la siguiente imagen:

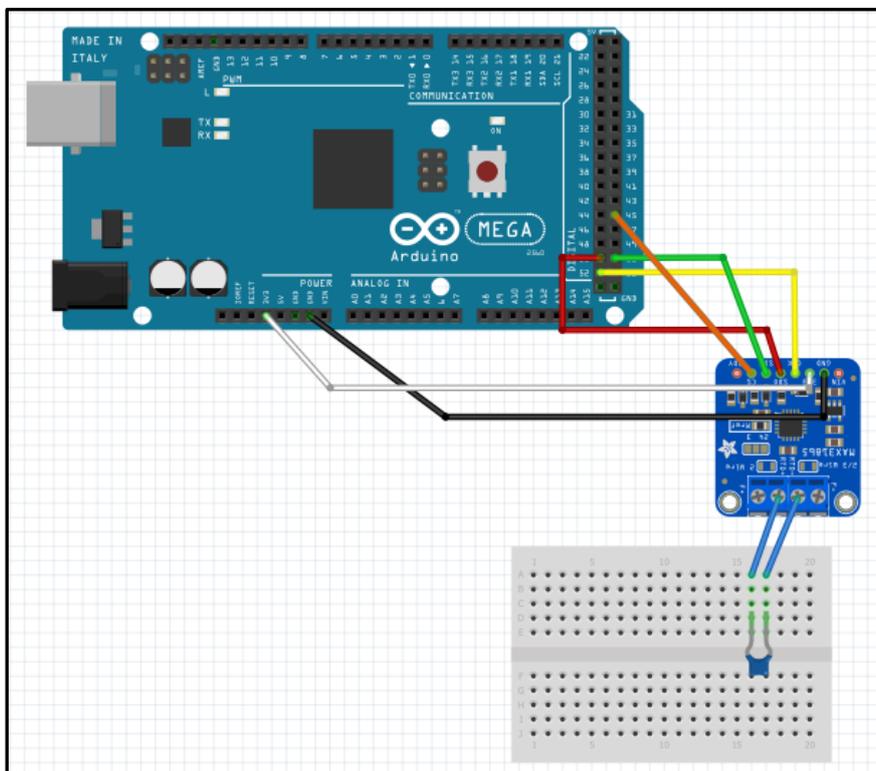


Figura 39. Conexión de un sensor PT1000.

En la siguiente tabla se hace referencia a la función de cada pin del convertidor AD:

<b>Cables</b>	<b>Descripción</b>
<b>Negro y blanco</b>	Se corresponden con la alimentación del convertidor AD y van conectados al GND y al pin de 3.3 V.
<b>Rojo, amarillo y verde</b>	Se corresponden a los pines de comunicación SPI y van conectados a salidas digitales de la placa Arduino. Estos son los pines SDO, CLK y SDI, respectivamente.
<b>Naranja</b>	Se corresponde con el pin de activación y desactivación del convertidor AD. Este es el pin CSN del convertidor AD y va conectado a una salida digital de la placa Arduino.
<b>Azules</b>	Tienen la función de conectar el convertidor AD con el sensor PT1000. Su longitud va a ser la necesaria como para que el sensor pueda tener movilidad suficiente.

Tabla 3. Función pines del convertidor AD.

Los pines de comunicación y alimentación son comunes para todos los sensores que vayan a estar conectados, pero el pin de activación y desactivación de cada convertidor debe ir a una salida digital diferente, es decir es independiente para cada sensor.

Para realizar la conexión de todos los sensores en una misma placa Arduino, la mejor opción es utilizar una placa stripboard, la cual permite realizar cualquier tipo de conexión. En esta placa se conectarán los pines de comunicación y alimentación de todos los sensores.

A continuación se observa el esquema de 4 sensores conectados a la placa Arduino a partir de una placa stripboard:

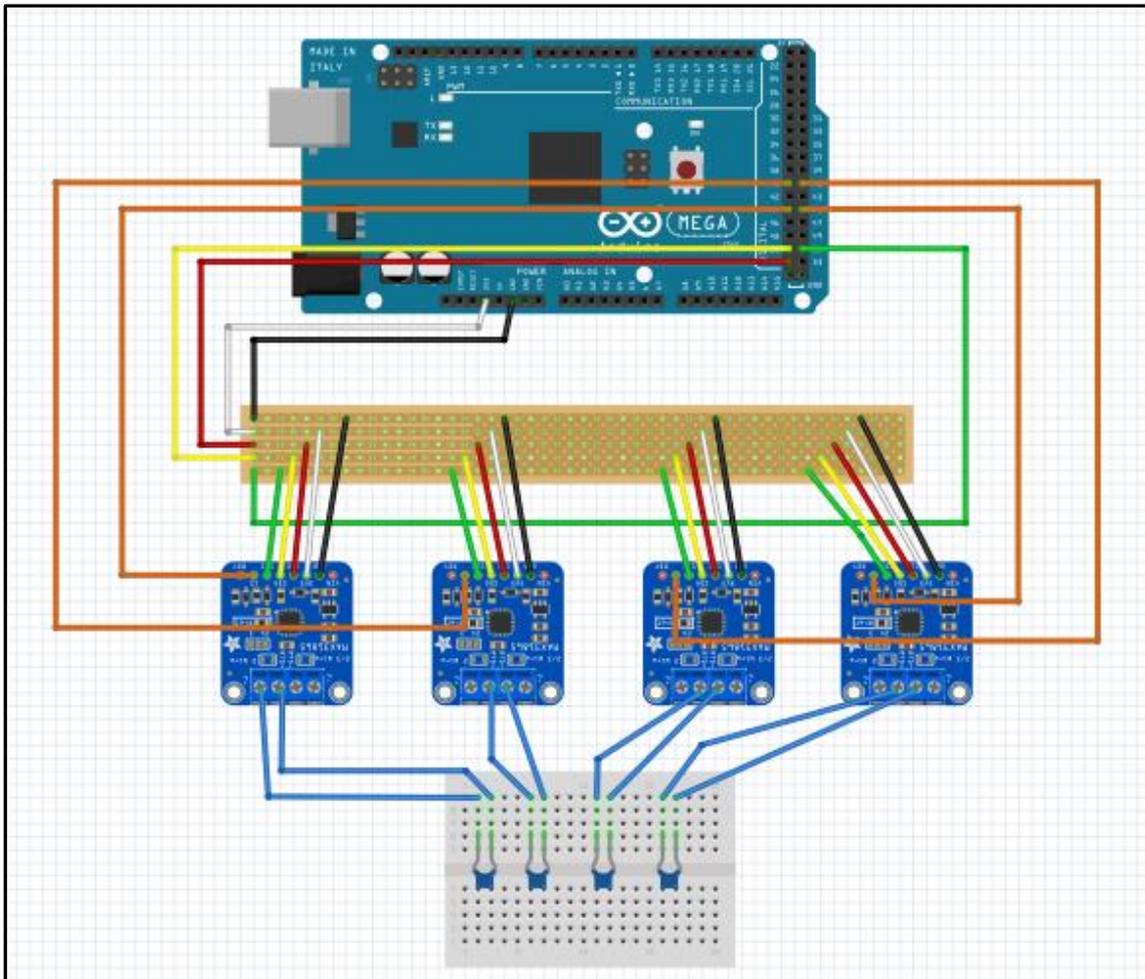


Figura 40. Conexión de 4 sensores PT1000.

En nuestro caso, se van a emplear 14 sensores, por lo tanto, se debe ampliar este conexionado hasta conseguir el de 14 sensores. El modelo a seguir es el de la figura anterior.

En la imagen se puede observar que los pines de comunicación y de alimentación están conectados en la stripboard y se utiliza una conexión en serie para cada pin. Los pines de activación y desactivación de cada sensor van conectados directamente a una salida digital de la placa Arduino.

#### **4.1.3. Montaje**

El montaje del sistema de medida se llevará a cabo realizando los siguientes pasos:

1. Soldadura de conectores Dupont hembra en Stripboard: para obtener la conexión entre los convertidores AD y la placa Arduino mediante una Stripboard, será necesario soldar conectores Dupont hembra a la Stripboard.

Cada convertidor AD necesitará 5 conectores en la Stripboard para conectar los pines de comunicación y de alimentación. Una fila de 5 conectores será necesaria

para conectar la Stripboard con la placa Arduino. Por lo tanto, para el sistema de medida va a ser necesario utilizar 5 filas y 15 columnas de conectores Dupont hembra en la Stripboard (14 convertidores). Los próximos sistemas de monitorización necesitarán conectarse a la alimentación de esta placa Arduino, y para ello también se utilizará como medio de conexión la Stripboard. Por tanto, se deberán incluir al menos dos columnas más de conectores Dupont hembra en la Stripboard.

Como se puede ver en la figura del apartado anterior, donde se observa la conexión de 4 sensores, cada fila de la stripboard deberá estar conectada en serie. Para ello, se soldará mediante estaño cada fila en serie, obteniendo un resultado similar al siguiente:



Figura 41. Soldadura de conectores Dupont hembra en Stripboard.

2. Conexión entre los convertidores AD y sensores PT1000: esta conexión se va a llevar a cabo a partir de cables finos y flexibles, los cuales permitan la total movilidad de los sensores.

La longitud de estos cables de ser tal que no obstaculice la correcta distribución de los sensores por toda la casa térmica. En nuestro caso, se ha elegido una longitud de 1 metro para cada cable. Serán necesarios dos cables para conectar cada sensor y debido a la gran longitud de estos cables se empleará cinta aislante para unirlos, obteniendo de esta forma un montaje ordenado y fácil de manipular.

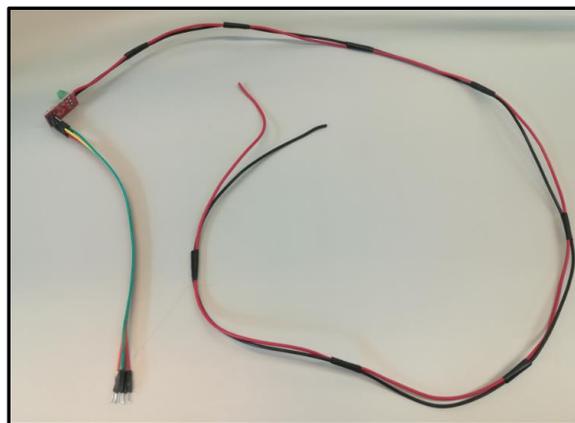


Figura 42. Cables para conexión entre convertidor y sensor.

La conexión entre las patillas de los sensores y los cables se va a realizar a mediante estaño, a partir del uso de un soldador. La soldadura entre estos dos componentes se va a recubrir con material termo-retráctil para evitar cualquier tipo de problema, como que se toquen las dos patillas del sensor. Se van a utilizar dos tubos termo-retráctiles de distinto diámetro, para que el aislamiento de la soldadura y de las patillas de cada sensor sea el mayor posible.

Este material se deberá colocar sobre las patillas de los sensores y los cables antes de realizar la soldadura, lo que permitirá su uso.

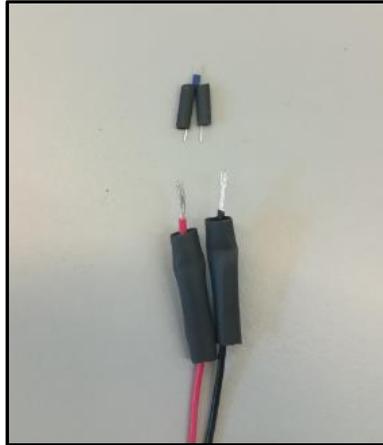


Figura 43. Material termo-retráctil sobre cables y sensor.

A continuación, se suelda cada cable a una patilla del sensor, con especial cuidado de no calentar de forma excesiva el material termo-retráctil, ya que si se calienta demasiado este quedará ajustado y no podrá colocarse sobre la soldadura.

El resultado de este proceso de soldadura será similar al que se observa en la siguiente imagen:

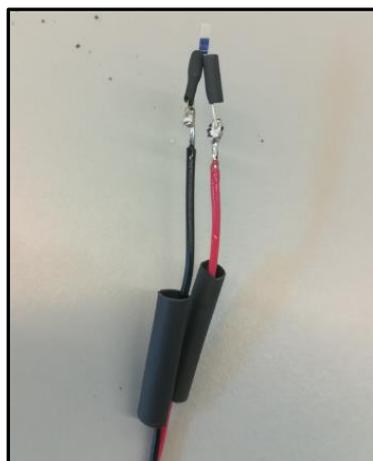


Figura 44. Patillas de un sensor soldadas a cables.

Por último, se coloca el material termo-retráctil sobre la soldadura y se le aplica calor, de forma que éste quede totalmente ajustado, protegiendo la soldadura.

Después de aplicar calor y quedar ajustado este material, el resultado será el siguiente:



Figura 45. Soldaduras recubiertas con material termo-retráctil.

3. Conexión convertidor AD - Stripboard - placa Arduino: los convertidores AD se conectarán a la Stripboard a partir de cables de puente macho a hembra. La conexión entre la Stripboard y la placa Arduino se realizará a partir de cables de puente macho a macho.

A continuación se expone el ejemplo de esta conexión con un sensor. Para el caso de los demás sensores, se repetirá el mismo tipo de conexión.

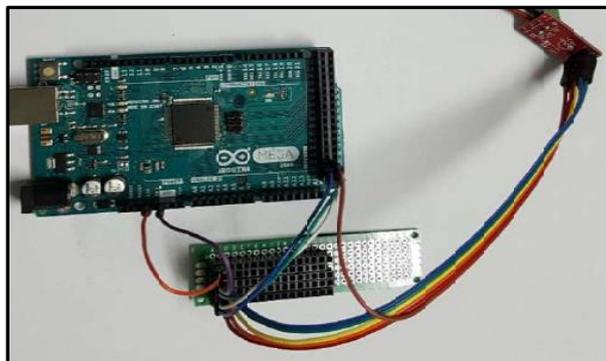


Figura 46. Conexión convertidor AD - Stripboard - placa Arduino.

Se puede observar en la imagen que 5 de los cables que salen del convertidor van a la Stripboard y otro va directamente a la placa Arduino. Este es el que va conectado al pin de activación y desactivación del sensor, como se explicó en el apartado “conexión de los componentes”.

4. Encapsulado de cableado y demás componentes del sistema de medida: después de realizar todas las conexiones necesarias y tener conectados todos los sensores a la placa Arduino, todos estos componentes se colocarán en el interior de recipientes de plástico con el fin de facilitar su manipulación si fuera necesario

A continuación se expone una imagen en la cual se observa este sistema de encapsulado.

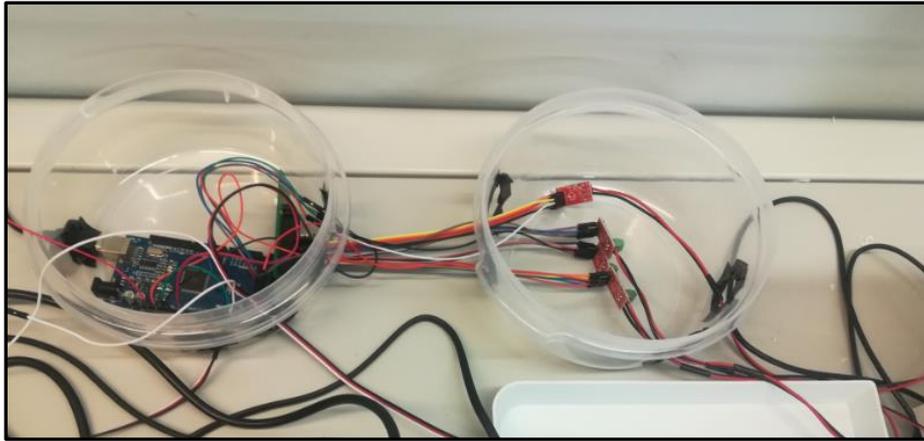


Figura 47. Encapsulado de cableado referente a sistema de medida.

En este caso se ha realizado la conexión de 4 sensores como ejemplo. Los demás sensores se conectarían de la misma manera.

5. Introducción de sensores al interior de la casa térmica: parte de los sensores se situarán en la parte exterior del habitáculo, pero varios de ellos se colocarán en el interior de éste. Por ello, se debe encontrar una zona por la cual introducirlos, de forma que se mantenga el máximo aislamiento de la casa.

En nuestro caso, se realizarán dos agujeros en la pared trasera y un agujero en cada pared lateral. Estos agujeros estarán situados a la misma altura de la zona de contacto entre los aislantes colocados en las paredes y la parte superior de la casa. La posición de estos agujeros en las paredes de metacrilato va a ser la siguiente:

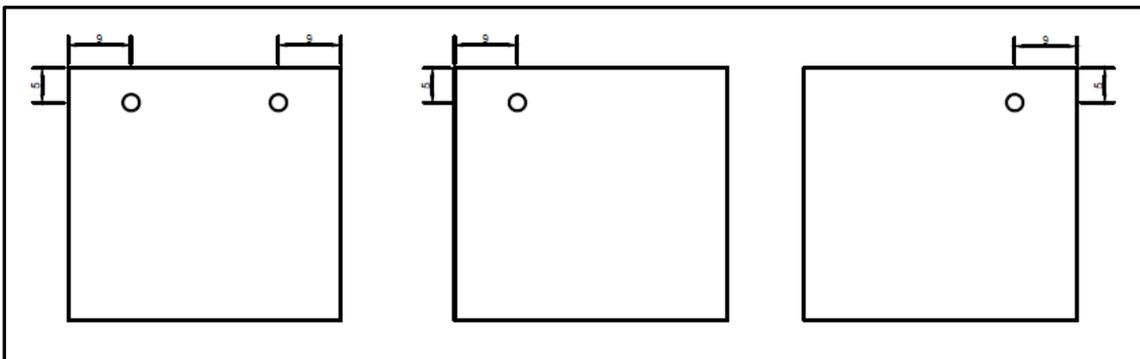


Figura 48. Agujeros en pared trasera, lateral derecha y lateral izquierda, respectivamente.

Los agujeros van a tener un diámetro suficiente para introducir por cada uno de ellos 2 o 3 sensores sin problemas.

Se ha introducido 1 sensor como ejemplo por cada agujero y el resultado observado en el interior del habitáculo es el siguiente:

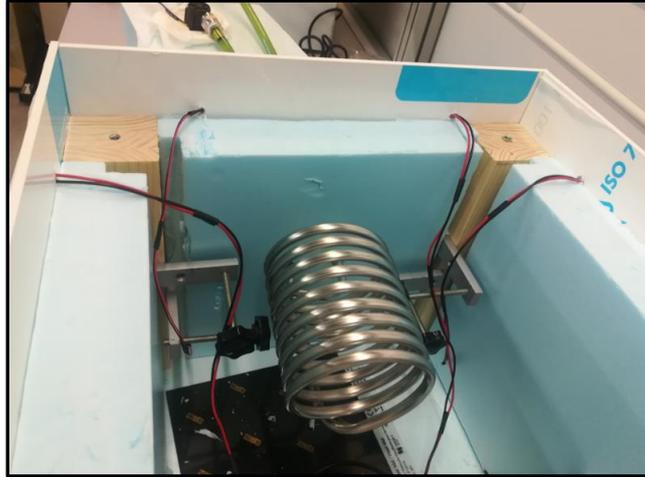


Figura 49. Sensores en el interior de la casa térmica.

## 4.2. Monitorización del sistema de refrigeración

Como se explicó en apartados anteriores, el sistema de refrigeración a estar basado en una corriente de agua a baja temperatura que va a circular a través de un serpentín que se encontrará en el interior de la casa térmica. Esta agua va a provenir de un frigorífico que la mantendrá a baja temperatura.

El objetivo de la monitorización de este sistema es obtener la potencia de refrigeración consumida.

La potencia consumida, entre dos puntos, de un circuito por el que circula un fluido es la siguiente:

$$P = m_{fluido} * Cp_{fluido} * \Delta T;$$

Dónde:

-P: Potencia (kW);

- $m_{fluido}$ : Caudal del fluido (Kg/s);

- $Cp_{fluido}$ : Calor específico fluido (J/Kg\*K);

- $\Delta T$ : Diferencia de temperatura entre dos puntos (K);

Por tanto, para poder hallar este parámetro, por un lado se deberá obtener el caudal de agua que circula por el serpentín, y por otro, la diferencia de temperatura entre el punto de entrada del serpentín y el punto de salida, con respecto a la casa térmica.

Para obtener el caudal, se va a utilizar un sensor de caudal conectado al tubo que conecta la bomba con el tubo del serpentín.

Este sensor de caudal irá conectado a la misma placa Arduino que el sistema de medida de temperatura. Mediante esta placa y su correspondiente programación en el programa Arduino, se obtendrá el valor de este caudal.

Para calcular la diferencia de temperatura entre el punto inicial y final del serpentín se van a utilizar 2 sensores de temperatura, de los utilizados para el sistema de medida de temperatura. Estos irán pegados por el exterior de los tubos del serpentín. La diferencia de temperatura entre el agua que circula por el interior de los tubos y el exterior de éstos va a ser muy pequeña. Además, estos sensores son bastantes sensibles, por tanto, el valor que recibamos por estos sensores tendrá un error muy pequeño, en comparación con el valor real de la temperatura del agua.

A continuación, se especifica el material necesario, el conexionado del sensor de caudal y el montaje para obtener este sistema de monitorización por completo.

#### ***4.2.1. Material a utilizar.***

El material que va a componer este sistema de monitorización es el siguiente:

- Sensor de caudal: el caudalímetro que se va a utilizar para desarrollar los ensayos es el modelo YF-S201. La conexión es de un diámetro de media pulgada. Puede medir desde 1 l/min hasta 30 l/min, con una sensibilidad de 0,01. La bomba a utilizar proporciona un caudal entre este rango, por tanto este sensor será válido.



Figura 50. Sensor de caudal YF-S201.

- 2 Racor: estos elementos van a tener la función de conectar los extremos del sensor de caudal con el tubo por el que circula el agua.



Figura 51. Racor.

- Teflón: este se colocará en los extremos del sensor de caudal, donde se conectan los racores, con el fin de evitar la pérdida de agua.



Figura 52. Teflón.

- Cables de puente macho a macho: estos serán necesarios para realizar la conexión entre el sensor de caudal y la placa Arduino.
- Placa Arduino: el sensor se conectará a esta placa para su posterior programación. Se utilizará la misma placa que la utilizada para el sistema de medida de temperatura.
- Sensores de temperatura: se utilizarán dos de los sensores vistos en el apartado anterior.

#### 4.2.2. Conexión de componentes

El conexionado del sensor de caudal con la placa Arduino va a ser el siguiente:

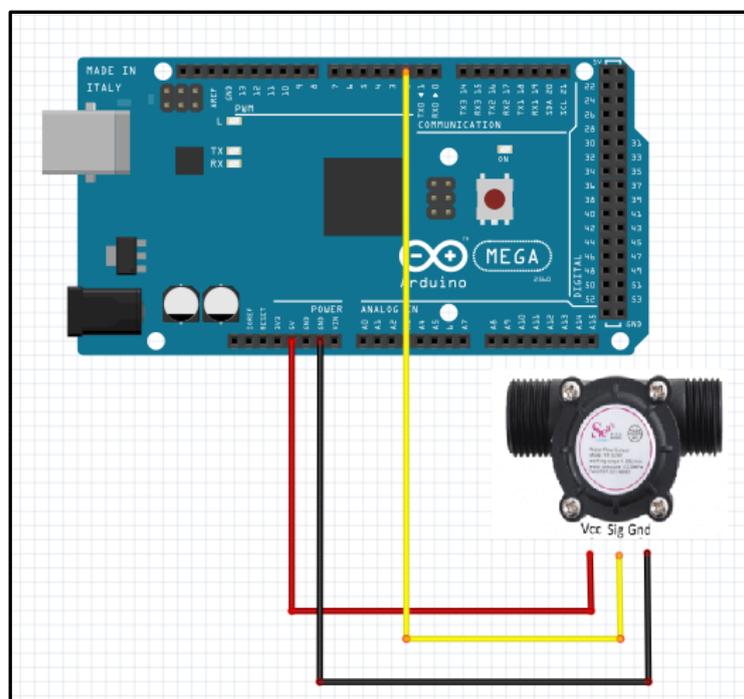


Figura 53. Conexión sensor de caudal con placa Arduino.

Los cables rojo y negro se corresponden con la alimentación del sensor y el amarillo con el pin de comunicación entre el sensor y la placa Arduino.

### 4.2.3. Montaje

En primer lugar, se aplican varias capas de teflón a los extremos del sensor de caudal, de forma que este quede compacto y adherido completamente a estos extremos:



Figura 54. Teflón aplicado en los extremos del sensor de caudal.

A continuación, se conecta cada extremo a un racor, para poder hacer la conexión de este sensor con un tubo del sistema de refrigeración.

Lo siguiente será cortar el tubo en el cual se quiere conectar este sensor de caudal e introducirlo entre los extremos que hayan quedado de este tubo, obteniendo un sistema de la siguiente forma:



Figura 55. Sensor de caudal conectado a sistema de refrigeración.

Por último, se realiza el conexionado entre el sensor y la placa Arduino siguiendo el esquema visto en el apartado anterior.

### 4.3. Monitorización del sistema de calefacción

Este sistema se basa en una manta eléctrica, situada en el interior de la casa térmica, que estará conectada a la red. De este sistema, se hace interesante calcular la potencia que consumirá para conseguir llegar a una cierta temperatura, en general, calcular la potencia que gasta en todo momento.

Para alcanzar este objetivo, obtener el valor de potencia, es necesario monitorizar este sistema de alguna forma. En nuestro caso, se va a utilizar un sensor de corriente, a partir del cual se va a calcular la intensidad que circula a través del cable que conecta el cuadro de mando de la manta eléctrica con ella.

Una vez conocido este valor de intensidad y conociendo el valor de tensión, que al ser de la red es de 220 V, se puede conocer la potencia:

$$P = I * U;$$

Dónde:

- P: potencia de calefacción (W);
- I: intensidad que pasa a través del sensor de corriente (A);
- U: tensión de la red eléctrica (220 V);

A continuación, se especifica el material necesario, conexionado de los componentes y el montaje de este sistema.

#### **4.3.1. Material a utilizar**

El material necesario para desarrollar este sistema de monitorización es el siguiente:

- Sensor de corriente: el sensor que se va a utilizar para llevar a cabo los ensayos es el modelo ACS712. Este sensor va a tener una capacidad de medir intensidad entre -5 y 5 A, por lo que es bidireccional. Su sensibilidad es de 185 mV/A.



Figura 56. Sensor de corriente ACS712.

- Soldador y estaño: se necesitará soldar con estaño para realizar la conexión del sensor de corriente con el cable de la manta eléctrica.
- Cables de puente macho a hembra: se utilizarán para realizar la conexión entre sensor de corriente y placa Arduino.



La conexión entre los extremos de este cable y el sensor se realizará por medio de otros dos cables que irán soldados mediante estaño con los extremos del cable cortado. Los extremos contrarios de estos dos cables irán conectados al sensor de corriente, obteniéndose una distribución similar a la siguiente:

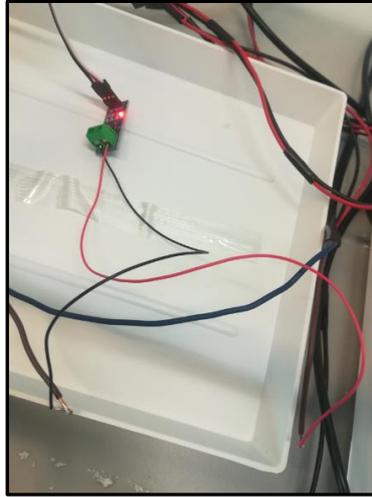


Figura 58. Distribución sensor de corriente.

Por último, este sensor se conecta a la placa Arduino a partir de cables de puente macho a hembra siguiendo el conexionado expuesto en el apartado anterior.

## 5. Programación en Arduino de los sistemas de monitorización.

Para poner en funcionamiento los sistemas de monitorización establecidos en el apartado anterior es necesaria la programación de cada uno de ellos. El programa que se va a utilizar para realizar dicha programación es Arduino. A partir de él se realizará la adquisición de datos.

A continuación se especifica el código programado para cada sistema de monitorización y finalmente se explicará el código unificado de todos ellos para que funcionen de forma simultánea.

### 5.1. Código del sistema de medida de temperatura

El código que se va a exponer a continuación está programado para recoger la temperatura de 4 sensores. Para el uso de los 14 sensores que completarían este sistema, únicamente sería ampliar el código siguiendo los mismos pasos. [1]

En primer lugar, será necesario incluir dos librerías en el código de Arduino para realizar la programación de estos sensores:

- Librería SPI.h (Serial Peripheral Interface): esta librería es la que permite comunicar dispositivos, en nuestro caso sensores, con Arduino. Mediante la conexión SPI habrá siempre un dispositivo maestro (microcontrolador Arduino, en este caso) que controla los dispositivos periféricos (sensores de temperatura en nuestro caso).
- Librería MAX 31865.h: es la librería GNU (General Public License) para el control del convertidor analógico-digital. Esta librería contiene la programación para poder controlar el convertidor AD desde Arduino.

Después de incluir estas librerías en el entorno Arduino, se escribe el código correspondiente para la programación de estos sensores.

El código es el siguiente:

```

#include <MAX31865.h>
#include <SPI.h>

#define RTD_CS_PIN1 40
#define RTD_CS_PIN2 41
#define RTD_CS_PIN3 44
#define RTD_CS_PIN4 45

MAX31865_RTD rtd(MAX31865_RTD::RTD_PT1000, RTD_CS_PIN1, 3875 );
MAX31865_RTD rtd2(MAX31865_RTD::RTD_PT1000, RTD_CS_PIN2, 3875 );
MAX31865_RTD rtd3(MAX31865_RTD::RTD_PT1000, RTD_CS_PIN3, 3875 );
MAX31865_RTD rtd4(MAX31865_RTD::RTD_PT1000, RTD_CS_PIN4, 3875 );

String Temp;

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  SPI.begin();
  SPI.setClockDivider(SPI_CLOCK_DIV16);
  SPI.setDataMode(SPI_MODE3);

  delay(100);

  rtd.configure( true, true, false, false, MAX31865_FAULT_DETECTION_NONE, true, true, 0x0000, 0x7fff);
  rtd2.configure( true, true, false, false, MAX31865_FAULT_DETECTION_NONE, true, true, 0x0000, 0x7fff);
  rtd3.configure( true, true, false, false, MAX31865_FAULT_DETECTION_NONE, true, true, 0x0000, 0x7fff);
  rtd4.configure( true, true, false, false, MAX31865_FAULT_DETECTION_NONE, true, true, 0x0000, 0x7fff);

}

void loop() {
  rtd.read_all( );
  rtd2.read_all( );
  rtd3.read_all( );
  rtd4.read_all( );

  double T1 = rtd.temperature( );
  double T2 = rtd2.temperature( );
  double T3 = rtd3.temperature( );
  double T4 = rtd4.temperature( );
  Temp =(String) T1;
  Temp = (String)T2 +Temp;
  Temp = (String)T3 +Temp;
  Temp = (String)T4 +Temp;

  Serial.println(Temp);
}

```

Figura 59. Código Arduino para sensores de temperatura.

Lo primero, después de haber incluido las dos librerías anteriores, va a ser declarar los pines que van a ir conectados a cada una de las salidas de los sensores, por lo que

tendremos 4. A cada salida se le va a asignar un pin de Arduino distinto, que para estos sensores va a ser un pin digital.

```
#define RTD_CS_PIN1 40
#define RTD_CS_PIN2 41
#define RTD_CS_PIN3 44
#define RTD_CS_PIN4 45
```

A continuación, se definen las RTD, es decir, los sensores PT1000, mediante el siguiente comando:

```
MAX31865_RTD rtd(MAX31865_RTD::RTD_PT1000, RTD_CS_PIN1, 3875 );
MAX31865_RTD rtd2(MAX31865_RTD::RTD_PT1000, RTD_CS_PIN2, 3875 );
MAX31865_RTD rtd3(MAX31865_RTD::RTD_PT1000, RTD_CS_PIN3, 3875 );
MAX31865_RTD rtd4(MAX31865_RTD::RTD_PT1000, RTD_CS_PIN4, 3875 );
```

Este comando se repetirá tantas veces como sensores estén conectados.

La siguiente función que aparece es “Void Setup”, que es la dedicada a establecer la configuración para el funcionamiento correcto del bucle posterior (“Void Loop”). En esta función se especifica la configuración serial, que va a ser de 11520 baudios, que es la recomendada para los convertidores AD. También se va a iniciar la comunicación mediante SPI y se configura el reloj de esta para sincronizar la lectura de los sensores según lo recomendado por el fabricante.

Por último, en esta función se configura cada RTD definida anteriormente.

```
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  SPI.begin();
  SPI.setClockDivider(SPI_CLOCK_DIV16);
  SPI.setDataMode(SPI_MODE3);

  delay(100);

  rtd.configure( true, true, false, false, MAX31865_FAULT_DETECTION_NONE, true, true, 0x0000, 0x7fff);
  rtd2.configure( true, true, false, false, MAX31865_FAULT_DETECTION_NONE, true, true, 0x0000, 0x7fff);
  rtd3.configure( true, true, false, false, MAX31865_FAULT_DETECTION_NONE, true, true, 0x0000, 0x7fff);
  rtd4.configure( true, true, false, false, MAX31865_FAULT_DETECTION_NONE, true, true, 0x0000, 0x7fff);

}
```

La última función va a ser “Void Loop”, la cual va a repetirse de forma continuada como un bucle. En esta función lo primero va a ser ejecutar el comando de lectura de las RTD. A continuación, el valor de cada sensor se almacena en una variable de tipo “double”.

Después de tener estas variables con los datos de temperatura, se juntan todas en una variable de la forma “String”, la cual almacenará todos los valores de temperatura en forma de cadena.

Por último, se declara la función que permite sacar por el monitor serie esta cadena y guardar los valores en el microcontrolador, y se establece el tiempo de espera, en milisegundos, para volver a repetir la función “Void Loop”.

```
void loop() {
  rtd.read_all( );
  rtd2.read_all( );
  rtd3.read_all( );
  rtd4.read_all( );

  double T1 = rtd.temperature( );
  double T2 = rtd2.temperature( );
  double T3 = rtd3.temperature( );
  double T4 = rtd4.temperature( );
  Temp = (String) T1;
  Temp = (String)T2 +Temp;
  Temp = (String)T3 +Temp;
  Temp = (String)T4 +Temp;

  Serial.println(Temp);

  delay(3000);

}
```

## 5.2. Código del sensor de caudal

Se ha utilizado información relativa a la página de Internet [3] expuesta en la bibliografía.

El código para programar de forma correcta el sensor de caudal es el siguiente:

```
const int sensor = 2; // Pin digital para el sensor de flujo YF-S201
float litros_min; // Variable que almacena el caudal (L/hora)
volatile int pulsos = 0; // Variable que almacena el número de pulsos
unsigned long tiempoAnterior = 0; // Variable para calcular el tiempo transcurrido
unsigned long pulsos_Acumulados = 0; // Variable que almacena el número de pulsos acumulados

String Caudal;
void flujo()
{
  pulsos++; // Incrementa en una unidad el número de pulsos
}

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  Serial.begin(115200);
  pinMode(sensor, INPUT); // Pin digital como entrada con conexión PULL-UP interna
  // Inicializo el LCD 2004
  interrupts(); // Habilito las interrupciones
  // Interrupción INT0, llama a la ISR llamada "flujo" en cada flanco de subida en el pin digital 2
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(sensor), flujo, RISING);
  tiempoAnterior = millis();
}
```

```

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:

  if(millis() - tiempoAnterior > 1000)
  {
    // Realizo los cálculos
    tiempoAnterior = millis(); // Actualizo el nuevo tiempo
    pulsos_Acumulados += pulsos; // Número de pulsos acumulados
    litros_min = (pulsos / 7.5); // Q = frecuencia * 60/ 7.5 (L/Hora)
    // Cada 450 pulsos son un litro
    pulsos = 0;
    Caudal= (String)litros_min;
    Serial.print(Caudal);

  }
}

```

Figura 60. Código Arduino de sensor de caudal.

En primer lugar, se definen las variables que van a ser necesarias para desarrollar el programa completo.

La primera variable va a definir el pin digital al cual va a conectarse el sensor de caudal. La siguiente variable va a ser la que guarde el valor de caudal. Ésta será de tipo “float”, obteniendo un valor con una sensibilidad de hasta la centésima.

```

const int sensor = 2; // Pin digital para el sensor de flujo YF-S201
float litros_min; // Variable que almacena el caudal (L/hora)

```

Para funciones posteriores, va a ser necesario conocer el número de pulsos que el sensor mide durante un tiempo determinado. Por tanto, se define una variable que almacene este dato, que va a ser del tipo “volatile int”. Este tipo de variable se activa a partir de interrupciones, las cuales van a ser utilizadas más adelante en el código.

A continuación, se definen dos variables de tipo “unsigned long”, las cuales almacenan valores enteros y positivos. En una de las variables se va a almacenar el valor de tiempo transcurrido y en la otra el número acumulado de pulsos.

La última variable a definir va a ser la que guarde el valor de caudal, pero en forma de cadena, por tanto va a ser de tipo “String”.

```

unsigned long tiempoAnterior = 0; // Variable para calcular el tiempo transcurrido
unsigned long pulsos_Acumulados = 0; // Variable que almacena el número de pulsos acumulados

String Caudal;

```

La próxima función es la encargada de aumentar el número de pulsos, los cuáles irán aumentando más o menos rápido en función del tipo de sensor.

```

void flujo()
{
  pulsos++; // Incrementa en una unidad el número de pulsos
}

```

La siguiente parte es el “Void Setup”, que solo se ejecuta en una ocasión, al comienzo de la simulación. Lo primero que se declara va a ser la configuración serial, que va a ser de 115200 baudios. A continuación, se llama al pin al que está conectado el sensor y se define una función, que a partir de la declaración de una interrupción, pone en marcha la función anterior “flujo” encargada de incrementar el número de pulsos.

Por último, se almacena dentro de la variable *tiempoAnterior* el valor de “millis()”, función que devuelve el número de milisegundos que han transcurrido desde que el Arduino se ha reseteado. Se va a utilizar este dato para controlar el tiempo entre medidas.

```
void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  Serial.begin(115200);
  pinMode(sensor, INPUT); // Pin digital como entrada con conexión PULL-UP interna
  // Inicializo el LCD 2004
  interrupts(); // Habilito las interrupciones
  // Interrupción INT0, llama a la ISR llamada "flujo" en cada flanco de subida en el pin digital 2
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(sensor), flujo, RISING);
  tiempoAnterior = millis();
}
```

La última parte corresponde a la función “Void Loop”, la cual va a repetirse en bucle de forma continuada.

En su interior se define una función de tipo “if” que se activará cada segundo y obtendrá el número de pulsos recogidos por el sensor en este segundo. El valor de caudal en litros/minutos será este número de pulsos dividido por una constante que variará según el modelo de sensor. En nuestro caso, este sensor utiliza una constante de 7,5 por segundo, es decir, si el número de pulsos se ha recogido durante dos segundos, para obtener el valor del caudal se debe dividir este valor de pulsos por 15.

El valor del caudal se almacena en la variable de tipo “String” *Caudal*.

Por último, se declara la función que permite sacar por el monitor serie esta cadena y guardar los valores en el microcontrolador.

```
void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:

  if(millis() - tiempoAnterior > 1000)
  {
    // Realizo los cálculos
    tiempoAnterior = millis(); // Actualizo el nuevo tiempo
    pulsos_Acumulados += pulsos; // Número de pulsos acumulados
    litros_min = (pulsos / 7.5); // Q = frecuencia * 60/ 7.5 (L/Hora)
    // Cada 450 pulsos son un litro
    pulsos = 0;
    Caudal= (String)litros_min;
    Serial.print(Caudal);
  }
}
```

### 5.3. Código del sensor de corriente

Se ha utilizado información relativa a la página de Internet [2] expuesta en la bibliografía.

El código correspondiente a la programación de este sensor es el siguiente:

```
float Sensibilidad=0.185; //sensibilidad en mV/A para nuestro sensor
float offset=0.0115;
String Intensidad;
String Potencia;

float get_corriente()
{
  float voltajeSensor;
  float corriente=0;
  long tiempo=millis();
  float Imax=0;
  float Imin=0;
  while(millis()-tiempo<500)//realizamos mediciones durante 0.5 segundos
  {
    voltajeSensor = analogRead(A0) * (5.000 / 1023.000);//lectura del sensor
    corriente=0.9*corriente+0.1*((voltajeSensor-2.527)/Sensibilidad); //Ecuación para obtener la corriente
    if(corriente>Imax)Imax=corriente;
    if(corriente<Imin)Imin=corriente;
  }
  return(((Imax-Imin)/2)-offset);
}

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  Serial.begin(115200);
}

void loop() {

  float Ip=get_corriente()*1000;//obtenemos la corriente pico
  float Irms=Ip*0.707; //Intensidad RMS = Ipico/(2^1/2)
  float P=Irms*220.0/1000;
  // P=IV watts

  Intensidad = (String)Ip;
  Potencia = (String)P;

  Serial.print(Intensidad);
  Serial.print(Potencia);

  delay(500);
}
```

Figura 61. Código Arduino de sensor de corriente.

Al principio, se definen las principales variables que van a utilizarse durante el programa.

El valor de sensibilidad va a estar asociado al sensor utilizado. En nuestro caso, este valor va a ser de 0.185 mV/A. Esta variable se va a utilizar en funciones posteriores para hallar el valor de corriente, cometiendo el menor error posible.

La siguiente variable es el *offset*. El valor de esta variable está asociado a la corriente obtenida por este sensor cuando el sistema al que está conectado se encuentra en reposo, es decir, sin funcionamiento. Este valor es debido a la amplitud de ruido que está presente. Para obtener esta variable, primero se coloca el valor de *offset* a 0 y el valor obtenido de corriente será el valor final del *offset*. En nuestro caso, este valor final va a ser de 0.0115 A.

Las últimas variables que se definen son las de *intensidad* y *potencia*, las cuales almacenarán los valores de corriente y potencia en formato "String".

```
float Sensibilidad=0.185; //sensibilidad en mV/A para nuestro sensor
float offset=0.0115;
String Intensidad;
String Potencia;
```

La corriente que se va a medir en nuestro caso es corriente alterna, por eso va a ser necesario utilizar una función que realice varias mediciones, de forma que se pueda obtener el valor de pico de esta intensidad.

Por tanto, para la obtención del valor de corriente a partir de la información aportada por el sensor, se introduce la siguiente función:

```
float get_corriente()
{
  float voltajeSensor;
  float corriente=0;
  long tiempo=millis();
  float Imax=0;
  float Imin=0;
  while(millis()-tiempo<500)//realizamos mediciones durante 0.5 segundos
  {
    voltajeSensor = analogRead(A0) * (5.000 / 1023.000);//lectura del sensor
    corriente=0.9*corriente+0.1*((voltajeSensor-2.527)/Sensibilidad); //Ecuación para obtener la corriente
    if(corriente>Imax) Imax=corriente;
    if(corriente<Imin) Imin=corriente;
  }
  return(((Imax-Imin)/2)-offset);
}
```

Este algoritmo consiste en realizar mediciones durante medio segundo, lo que equivale a realizar medidas durante 30 ciclos. Durante este tiempo, se obtienen las lecturas máximas y mínimas de corriente y el promedio entre estas dos va a ser la corriente de pico. Por último, a este valor se le resta el *offset* para eliminar la amplitud de ruido que está presente cuando la corriente es 0.

Esta función calcula el valor de corriente en cada medición utilizando un filtro paso bajo, que es similar a realizar un promedio de 10 muestras.

```
corriente=0.9*corriente+0.1*((voltajeSensor-2.527)/Sensibilidad); //Ecuación para obtener la corriente
```

A continuación, en la parte “Void Setup” se establece la configuración serial que va a ser de 115200 baudios, al igual que en los códigos anteriores.

```
void setup() {  
  // put your setup code here, to run once:  
  Serial.begin(115200);  
}
```

La última parte va a ser el “Void Loop”. Dentro de esta función, se llama al valor de corriente obtenido en la función anterior y se almacena en una variable.

A continuación se obtiene la potencia. Para ello, primero se debe hallar la intensidad eficaz, que es la intensidad de pico por 0,707. La potencia (W) va a ser esta intensidad eficaz por la tensión (220V).

Por último, se almacenan los valores de intensidad de pico y de potencia en las variables de tipo “String” *Intensidad* y *Potencia*, respectivamente, y mediante la función *Serial.print()* se guardan en el microcontrolador.

```
void loop() {  
  
  float Ip=get_corriente()*1000;//obtenemos la corriente pico  
  float Irms=Ip*0.707; //Intensidad RMS = Ipico/(2^1/2)  
  float P=Irms*220.0/1000;  
  // P=IV watts  
  
  Intensidad = (String)Ip;  
  Potencia = (String)P;  
  
  Serial.print(Intensidad);  
  Serial.print(Potencia);  
  
  delay(500);  
}
```

#### 5.4. Código unificado

Para realizar los diferentes ensayos, se van a utilizar de forma simultánea el sistema de medida de temperatura y los sistemas de refrigeración y calefacción en muchas ocasiones. Para conseguir recibir datos de todos ellos, se hace necesario crear un código que permita la programación de todos los sistemas, de forma que puedan funcionar simultáneamente.

Este código va a ser la unión de todos los códigos expuestos anteriormente, introduciendo ciertas variaciones y complementos que permitirán su uso correctamente.

El código completo es el siguiente:

```

#include <MAX31865.h>
#include <SPI.h>

#define RTD_CS_PIN1 40
#define RTD_CS_PIN2 41
#define RTD_CS_PIN3 44
#define RTD_CS_PIN4 45

MAX31865_RTD rtd1(MAX31865_RTD::RTD_PT1000, RTD_CS_PIN1, 3875 );
MAX31865_RTD rtd2(MAX31865_RTD::RTD_PT1000, RTD_CS_PIN2, 3875 );
MAX31865_RTD rtd3(MAX31865_RTD::RTD_PT1000, RTD_CS_PIN3, 3875 );
MAX31865_RTD rtd4(MAX31865_RTD::RTD_PT1000, RTD_CS_PIN4, 3875 );

String Temp;
String T11;
String T22;
String T33;
String T44;
int x=0;
String y;

//Sensor de corriente
float Sensibilidad=0.185; //sensibilidad en V/mA para nuestro sensor
float offset=0.115;

String Intensidad;
String Potencia;

//Caudalimetro
const int sensor = 2; // Pin digital para el sensor de flujo YF-S201
float litros_min; // Variable que almacena el caudal (L/min)
volatile int pulsos = 0; // Variable que almacena el número de pulsos
unsigned long tiempoAnterior = 0; // Variable para calcular el tiempo transcurrido
unsigned long pulsos_Acumulados = 0;

void flujo()
{
  pulsos++; // Incrementa en una unidad el número de pulsos
}

String Caudal;

void setup() {
  // Sensores
  Serial.begin(115200);
  SPI.begin();
  SPI.setClockDivider(SPI_CLOCK_DIV16);
  SPI.setDataMode(SPI_MODE3);

  delay(100);

  rtd1.configure( true, true, false, false, MAX31865_FAULT_DETECTION_NONE, true, true, 0x0000, 0x7fff);
  rtd2.configure( true, true, false, false, MAX31865_FAULT_DETECTION_NONE, true, true, 0x0000, 0x7fff);
  rtd3.configure( true, true, false, false, MAX31865_FAULT_DETECTION_NONE, true, true, 0x0000, 0x7fff);
  rtd4.configure( true, true, false, false, MAX31865_FAULT_DETECTION_NONE, true, true, 0x0000, 0x7fff);

  // Caudalimetro
  pinMode(sensor, INPUT); // Pin digital como entrada con conexión PULL-UP interna
  // Inicializo el LCD 2004
  interrupts(); // Habilito las interrupciones
  // Interrupción INT0, llama a la ISR llamada "flujo" en cada flanco de subida en el pin digital 2
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(sensor), flujo, RISING);
  tiempoAnterior = millis();
  // put your setup code here, to run once:
}

```

```

//Sensor de corriente
float get_corriente()
{
  float voltajeSensor;
  float corriente=0;
  long tiempo=millis();
  float Imax=0;
  float Imin=0;
  while(millis()-tiempo<500)//realizamos mediciones durante 0.5 segundos
  {
    voltajeSensor = analogRead(A0) * (5.000 / 1023.000);//lectura del sensor
    corriente=0.9*corriente+0.1*((voltajeSensor-2.527)/Sensibilidad); //Ecuación para obtener la corriente
    if(corriente>Imax) Imax=corriente;
    if(corriente<Imin) Imin=corriente;
  }
  return(((Imax-Imin)/2)-offset);
}

void loop()
{
  y = (String)x;

  //Sensores
  rtd.read_all( );
  rtd2.read_all( );
  rtd3.read_all( );
  rtd4.read_all( );

  float T1 = rtd.temperature( );
  float T2 = rtd2.temperature( );
  float T3 = rtd3.temperature( );
  float T4 = rtd4.temperature( );
  T11 = (String)T1;
  T22 = (String)T2;
  T33 = (String)T3;
  T44 = (String)T4;

  if(T1<10)
  {
    T11 = (String)y +(String)T11;
  }
  if(T2<10)
  {
    T22 = (String)y +(String)T22;
  }
  if(T3<10)
  {
    T33 = (String)y +(String)T33;
  }
  if(T4<10)
  {
    T44 = (String)y +(String)T44;
  }
  Temp =(String)T11;
  Temp = Temp +(String)T22;
  Temp = Temp +(String)T33;
  Temp = Temp +(String)T44;
}

```

```

//Caudalimetro
if(millis() - tiempoAnterior > 1000)
{
  // Realizo los cálculos
  tiempoAnterior = millis(); // Actualizo el nuevo tiempo
  pulsos_Acumulados += pulsos; // Número de pulsos acumulados
  litros_min = (pulsos / 112.5); // Q = frecuencia/ 7.5 (L/min)
  // Cada 450 pulsos son un litro
  pulsos = 0;
  Caudal= (String)litros_min;
  float Pref = (litros_min/60)*4.18*(T4-T3)*1000;
  if(Pref<100)
  {
    (String)Pref= (String)y +(String)Pref;
  }
  Temp = Temp + (String)Caudal;
  Temp = Temp + (String)Pref;
}

//Sensor de corriente

float Ip=get_corriente()*1000;//obtenemos la corriente pico
float Irms=Ip*0.707; //Intensidad RMS = Ipico/(2^1/2)
float P=Irms*220.0/1000;
// P=IV watts

Intensidad = (String)Ip;
Potencia = (String)P;
if(Ip<10)
{
  Intensidad = (String)y +(String)Intensidad;
}

Temp = Temp +(String)Intensidad;
Temp = Temp +(String)Potencia;

Serial.println(Temp);
delay(14500);
// put your main code here, to run repeatedly:
}

```

Figura 62. Código completo Arduino.

Las variaciones y complementos introducidos en este código con respecto a los vistos en apartados anteriores son los siguientes:

- El sensor de caudal se encarga de medir pulsos y el tiempo entre cada uno varía en función del caudal. En este código, el número de pulsos va a estar sumándose continuamente hasta llegar a la función donde se determina este caudal. En esta función se extrae este número de pulsos y la variable que los contabiliza vuelve a 0 y empieza a contar de nuevo. Por tanto es necesario conocer cuánto tiempo tarda el código en llegar a esta función en cada medida. Según este código, al final del programa hay un *delay* de 14,5 segundos y en mitad del código hay una función de tipo *While* que mantendrá la lectura del código durante medio segundo en esa función. Por tanto, en este caso el tiempo que tarda el programa en llegar a la función que calcula el caudal, cada vez que realiza una medida, es de 15 segundos. Por ello, el cálculo del caudal va a ser el número de pulsos obtenidos entre la constante multiplicada por 15 (debido a que la constante aportada es para calcular el

caudal a partir del número de pulsos medidos en un segundo, y en este caso la constante es de 7,5).

```
//Caudalimetro
if(millis() - tiempoAnterior > 1000)
{
    // Realizo los cálculos
    tiempoAnterior = millis(); // Actualizo el nuevo tiempo
    pulsos_Acumulados += pulsos; // Número de pulsos acumulados
    litros_min = (pulsos / 112.5); // Q = frecuencia/ 7.5 (L/min)
    // Cada 450 pulsos son un litro
    pulsos = 0;
    Caudal= (String)litros_min;
    float Pref = (litros_min/60)*4.18*(T4-T3)*1000;
    if(Pref<100)
    {
        (String)Pref= (String)y +(String)Pref;
    }
    Temp = Temp + (String)Caudal;
    Temp = Temp + (String)Pref;
}
}
```

- Uno de los resultados que se ha implementado en este código es la potencia de refrigeración. Esta potencia va a ser calculada a partir de las temperaturas de entrada y salida del agua en el serpentín. En nuestro caso, estas temperaturas corresponden a T4 y T3, respectivamente. Éstas son las asociadas a los sensores que se han colocado en la entrada y salida del serpentín.

```
float Pref = (litros_min/60)*4.18*(T4-T3)*1000;
```

- Los resultados obtenidos por este código, van a ser visualizados a través del programa Labview. Para ello, primero deben ser exportados a este programa. Para exportarlos, el dato que guarde el microcontrolador debe ser una cadena que contenga todos los valores que deseamos visualizar.

Por esta razón, se debe crear una variable de tipo “String” que vaya concatenando uno a uno los diferentes valores de temperaturas, caudal, intensidad y potencia. En este caso esta variable se le ha llamado *Temp*. Esta será la única variable que va a guardar el microcontrolador, y por tanto, exportar a Labview.

```
Temp =(String)T11;
Temp = Temp +(String)T22;
Temp = Temp +(String)T33;
Temp = Temp +(String)T44;

Temp = Temp + (String)Caudal;
Temp = Temp + (String)Pref;

Temp = Temp +(String)Intensidad;
Temp = Temp +(String)Potencia;

Serial.println(Temp);
```

- En Labview los valores obtenidos van a llegar en forma de cadena y como caracteres. Por tanto, para diferenciar cada uno, se separará esta cadena en función a la posición de estos caracteres. Esta separación dependerá del número de caracteres

que posea cada valor obtenido. La programación de esta separación de caracteres en Labview es estática, es decir, para separar correctamente los diferentes valores, siempre deben ocupar la misma posición de la cadena. Por ejemplo, si se define que el primer valor de temperatura va a ocupar 5 caracteres, siempre debe hacerlo, sino se desajustarán las posiciones de cada valor y los datos visualizados por Labview serán incorrectos.

Por tanto, se debe asegurar que todos los valores de temperatura, caudal, intensidad y potencias obtenidos en la cadena siempre ocupen la misma posición.

En el caso de temperaturas, éstas no van a bajar de 0°C y no superarán los 100°C en los ensayos. Por tanto, podrán tener 4 o 5 caracteres, en función si son inferiores a 10°C (por ejemplo 5,65°C) o superiores (por ejemplo 25,57). Para obtener siempre el mismo número de caracteres, se va a definir una función que implemente un 0 a la izquierda a aquellos valores de temperatura que sean inferiores a 10°C, de forma que siempre se tengan 5 caracteres en cada valor de temperatura.

```
if(T1<10)
{
  T11 = (String)y +(String)T11;
}
if(T2<10)
{
  T22 = (String)y +(String)T22;
}
if(T3<10)
{
  T33 = (String)y +(String)T33;
}
if(T4<10)
{
  T44 = (String)y +(String)T44;
}
Temp = (String)T11;
Temp = Temp +(String)T22;
Temp = Temp +(String)T33;
Temp = Temp +(String)T44;
```

Esto se repetirá para las variables en las que pueda ocurrir lo mismo, como intensidad de corriente o potencia de refrigeración.

```
if(Pref<100)
{
  (String)Pref= (String)y +(String)Pref;
}

if(Ip<10)
{
  Intensidad = (String)y +(String)Intensidad;
}
}
```

En el caso del caudal, nunca va a superar los 10 l/min en nuestros ensayos, su número de caracteres siempre será de 4, por lo que no se añadirá nada. En el caso de la potencia de calefacción ocurrirá lo mismo.

## 6. Entorno LabView. Desarrollo del software

LabView es una herramienta diseñada especialmente para monitorizar, controlar, automatizar y realizar cálculos complejos de señales analógicas y digitales capturadas a través de tarjetas de adquisición de datos y puertos serie. Por esta razón, este programa es ideal para la adquisición de datos a partir del microcontrolador Arduino. Además, como principal ventaja, mediante este programa se podrá crear una pantalla en la que se visualicen los datos de forma sencilla y entendible para el usuario. [1]

En nuestro entorno LabView se van a tener dos partes bien diferenciadas:

- Panel principal: es la interfaz que aparece para comunicarse con el usuario una vez se abra el programa. En esta se incluyen todos los elementos necesarios para el funcionamiento del mismo.
- Diagrama de bloques: esta parte corresponde a la programación que se va a desarrollar en este programa. Se desarrollará del tal forma que se extraigan los datos del microcontrolador Arduino y se comuniquen al panel principal, de forma que se puedan visualizar correctamente y en tiempo real.

A continuación, se exponen y explican detalladamente las diferentes partes que conforman nuestro entorno LabView y una simulación de cómo se visualizarían los datos en este panel principal y en una hoja Excel.

### 6.1. Panel principal

El panel principal va a tener la siguiente forma e imagen:

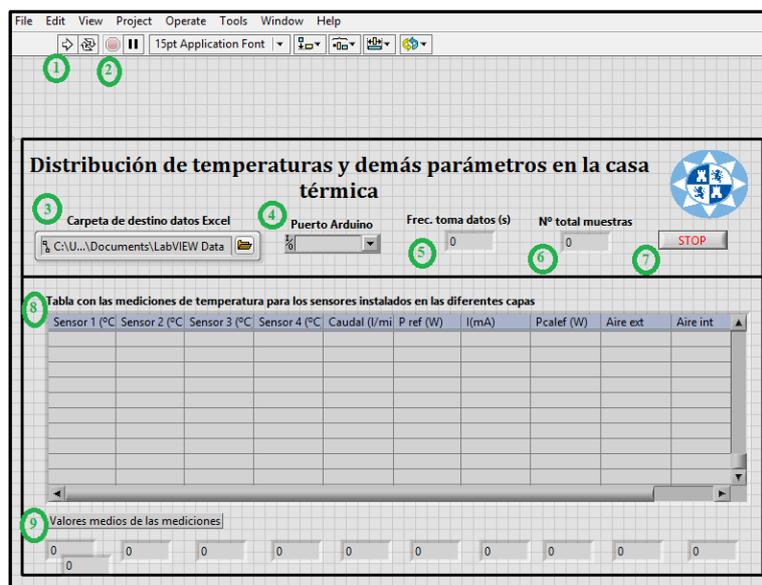


Figura 63. Panel principal LabView.

Los diferentes elementos que aparecen en este panel son los siguientes:

1. Run: botón integrado en el software, sirve para poner en marcha el programa.
2. Abort execution: botón integrado en el software, tiene la función de parar el programa y reiniciarlo, para que al volver a pulsar “Run” comience desde el principio.
3. Carpeta de destino datos Excel: en este apartado se especifica la carpeta en la cual se guardarán los archivos Excel que se van a crear después de cada medida.
4. Puerto Arduino: de forma automática esta función va a detectar el puerto usb que se encuentra conectado y se debe aceptar el puerto correspondiente donde se encuentre conectado el microcontrolador Arduino, en el caso de que hubieran otros conectados.
5. Frecuencia toma de datos: aquí se debe indicar la frecuencia de toma de datos, es decir, el tiempo que pasará entre cada medida. Para que las medidas sean en tiempo real, se debe colocar el mismo tiempo que Arduino. Esto quiere decir que si Arduino tarda en realizar cada medida 15 segundos, si se quieren las medidas en tiempo real, se debe colocar cada 15 segundos también en este apartado. Esto es debido a que el microcontrolador Arduino guarda todas las medidas realizadas desde que se inicia y las va enviando continuamente. Por ejemplo, si se establece cada 30 segundos en LabView y cada 15 segundos en Arduino, a los 30 segundos aparecerían las medidas tomadas por Arduino a los 15 segundos y al minuto aparecerían las medidas tomadas a los 30 segundos, y así sucesivamente.
6. N° total de muestras: número de medidas que se desean obtener de cada variable. Por ejemplo, si se quieren obtener 20 lecturas de medida de cada sensor se debe colocar “20”.
7. Stop: sirve para detener la ejecución del programa. Al volver a iniciarlo, se toman valores desde el inicio. Tiene la misma función que “Abort execution”, pero dentro del panel programado.
8. Tabla de mediciones: en las columnas se representan las diferentes variables a estudiar y en cada fila aparecen tomadas estas medidas en el tiempo establecido.
9. Valores medios: aparecen los valores medios de cada variable debajo de la columna correspondiente a las medidas de la variable.

## 6.2. Diagrama de bloques

La programación en LabView se desarrolla mediante diagramas de bloques. En nuestro caso, el diagrama de bloques correspondiente es el siguiente:

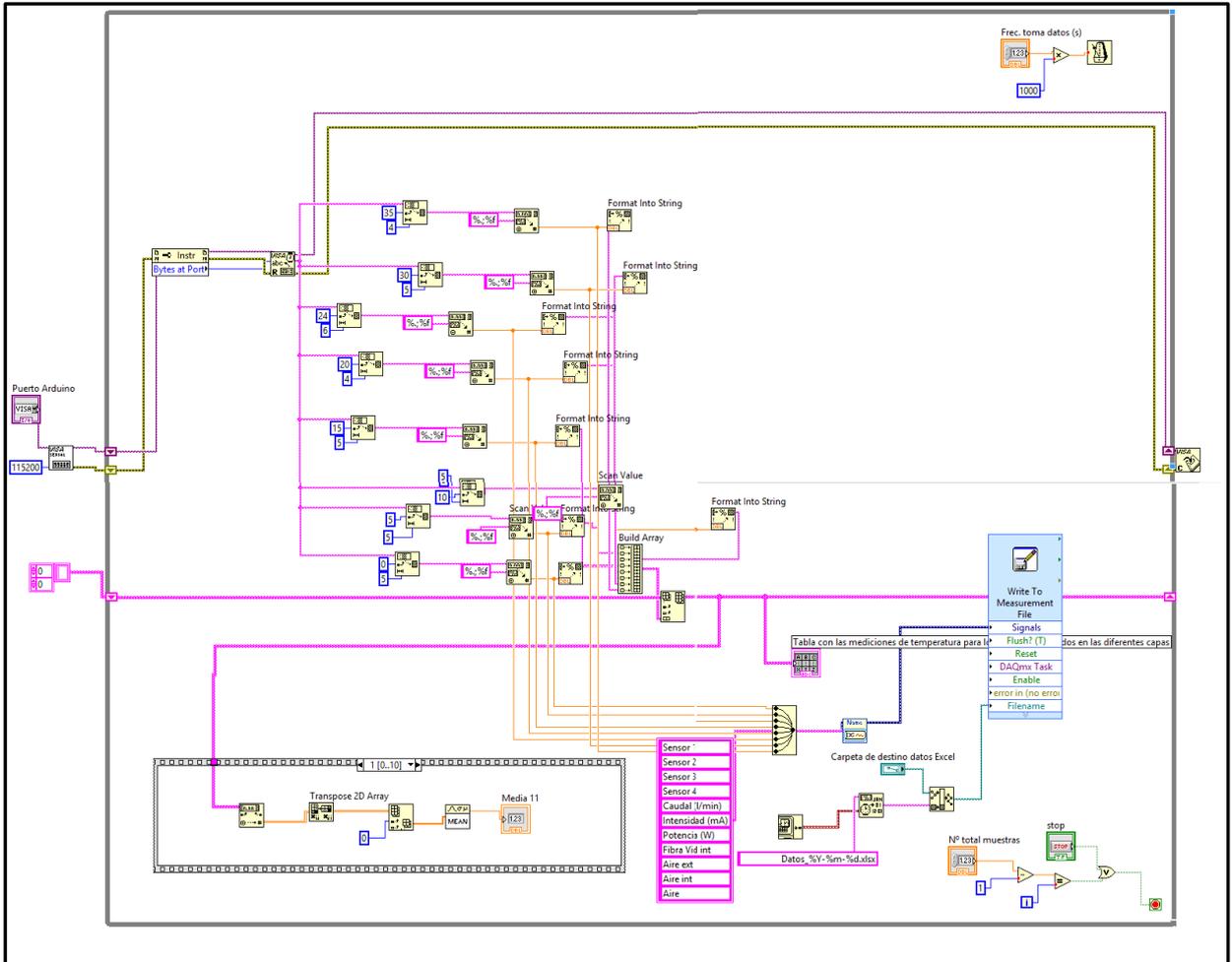


Figura 64. Diagrama de bloques completo.

A continuación se detalla el funcionamiento de cada parte del código de este diagrama de bloques:

- Comunicación con Arduino.

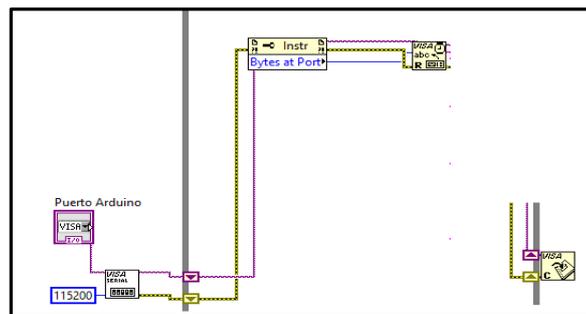


Figura 65. Comunicación con Arduino.

En primer lugar, se debe conectar Arduino con LabView. La comunicación se realizará a través de conexión USB, a la cual el microcontrolador enviará las medidas y las recogerá LabView.

Para esta comunicación se utiliza el bloque “VISA”. Para poder utilizarlo se deben instalar los drivers NI-VISA. Tras la instalación, se podrá utilizar esta función en el diagrama de bloques, obteniendo la conexión entre Arduino y LabView vía USB.

En esta parte se establece la configuración serial de nuestro programa, que es de 115200 baudios (debe coincidir con la programada en Arduino).

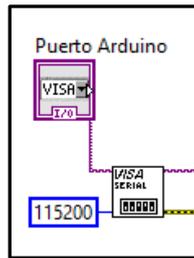


Figura 66. Bloque VISA serial.

A continuación, las siguientes funciones se encargan de contar el número de bytes que se están enviando al puerto USB y de leer el número especificado de bytes que se le indica.

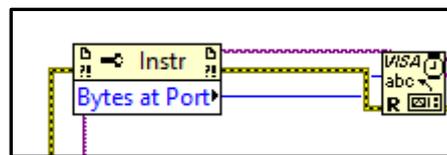


Figura 67. Conexión bloque lectura.

Por último, se encuentra la función de cierre del dispositivo conectado a USB. Al terminar el ciclo de ejecución, el programa la conexión con Arduino.

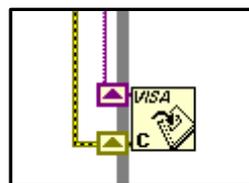


Figura 68. Bloque VISA close.

- Ciclo While Loop.



Figura 69. Ciclo While Loop.

Esta función sirve para hacer que una serie de instrucciones se repitan una cantidad de veces, si una afirmación es verdadera. Todo lo que se repetirá es lo que se encuentre dentro de este ciclo. Esta afirmación, es decir, la condición para que este ciclo se siga repitiendo o se pare va conectada a un botón de Stop que aparece abajo a la derecha.

A esta función se le puede asignar que continúe repitiéndose si la afirmación es verdadera o que pare si lo es. En nuestro caso se le va a asignar “Stop if true”, es decir, que pare si la afirmación es verdadera.

La condición utilizada es que si el número total de muestras establecido en el panel de control es superior al número total de muestras leídas, el ciclo se sigue repitiendo. En el caso de no ser así, el ciclo se para. La otra forma de parar este ciclo es pulsando el botón de “Stop” del panel principal.

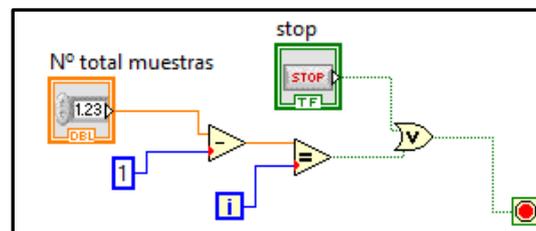


Figura 70. Bloques parada While loop.

- Frecuencia toma de datos.

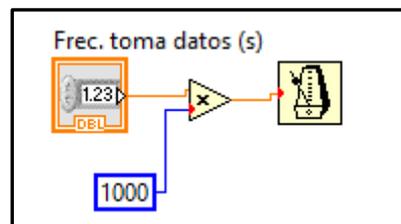


Figura 71. Bloques frecuencia toma de datos.

Esta función recoge el tiempo entre cada medida expuesto en el panel principal por el usuario. Este valor que se encuentra en segundos es multiplicado por 1000 y se conecta a la estructura “Wait until”, que establece cada cuanto tiempo se repetirá el ciclo “While Loop”.

- Lectura y tabulación de valores.

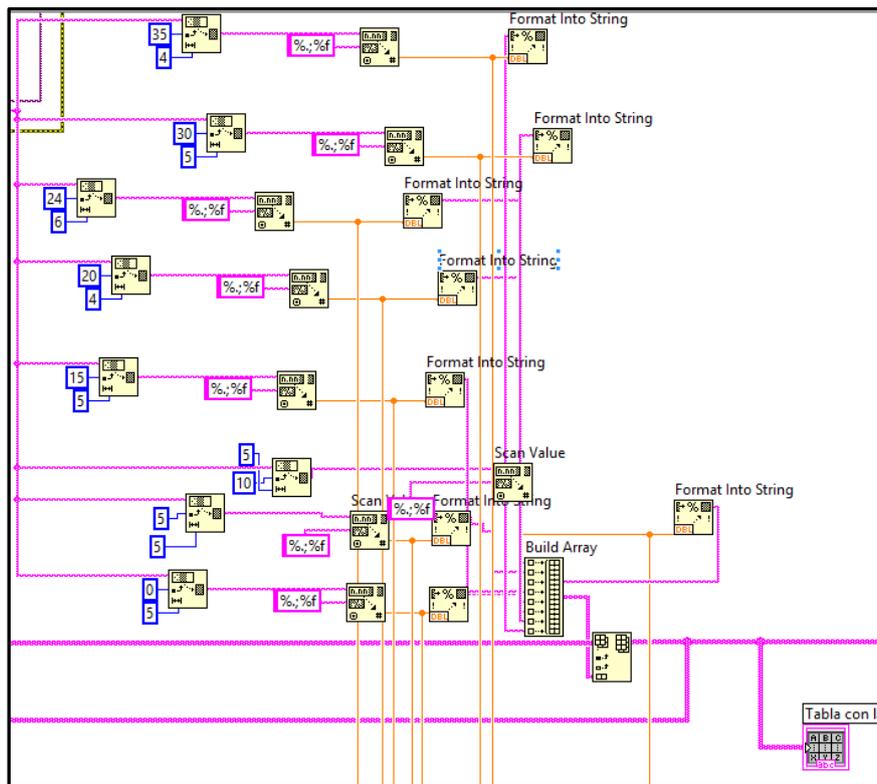


Figura 72. Bloques lectura y tabulación.

La información que llega a LabView procedente de Arduino es una cadena donde se encuentran concatenadas todas las medidas. En este proyecto, se van a obtener las medidas de temperatura de 4 sensores, de caudal procedente del sensor de caudal, de potencia de refrigeración, de intensidad procedente del sensor de corriente y de potencia de calefacción. Por ello se tendrán 8 datos distintos en cada medida.

Por lo tanto, como se puede observar en la figura anterior, hay 8 ramas. La información que llega al principio de cada rama es la cadena entera, es decir, todos los valores juntos.

El primer bloque de cada rama se encarga de separar esta cadena y obtener el dato de la variable deseada. Para ello, primero se coloca la posición que ocupa el primer carácter del valor deseado y a continuación se coloca el número de caracteres que ocupa dicho valor. Por esta razón, el número de caracteres de cada variable debe ser siempre el mismo, de lo contrario, se desajustaría la posición, y la separación de las variables se realizaría de forma incorrecta.

El segundo bloque se encarga de transformar este valor extraído, de formato “String” a formato decimal. La salida de este bloque se utilizará posteriormente para almacenarlo en la hoja Excel que se generará.

El tercer bloque vuelve a transformar este valor de formato decimal a formato “String”, para poder almacenarlo posteriormente en un vector. Por ello, las salidas del tercer



terminado el anterior. En el interior de esta función se introduce la programación necesaria para realizar la media de cada variable.

En la parte superior de esta función se coloca el número de diagramas que van a encontrarse en este proceso, es decir, el número de variables a las que debe calcular el valor medio en cada medida. En este caso se han colocado 11, aunque vayan a ser 8, por si en el futuro se amplían las variables a estudiar. No importa que el número sea mayor, pero no puede ser inferior.

Los valores medios se colocarán debajo de cada columna correspondiente de la tabla, como se puede observar en la figura 63.

- Almacenamiento y generación de archivo Excel.

Las lecturas realizadas por LabView se van a guardar en un archivo Excel, con el objetivo de visualizarlas de la forma más clara posible y poder trabajar con ellas, para sacar gráficas u otros resultados a partir de las mismas.

La programación necesaria para la generación de estos archivos Excel es la siguiente:

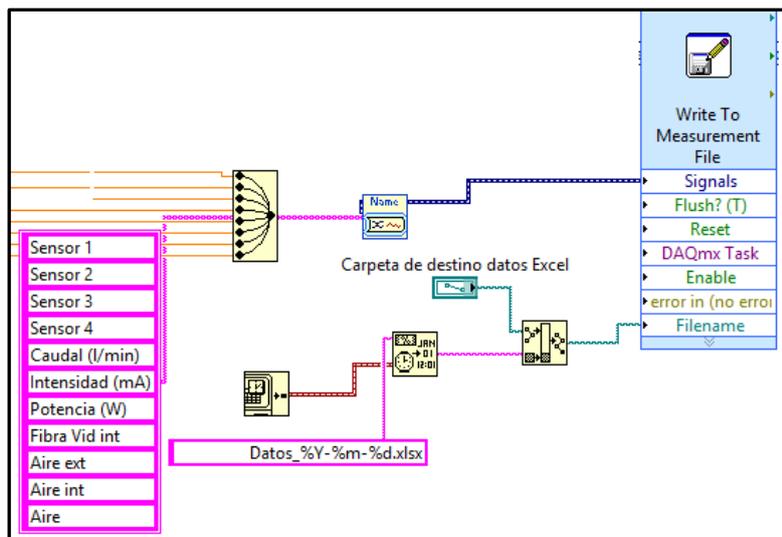


Figura 76. Bloques generación archivos Excel.

En primer lugar, se unen todas las lecturas, las cuales llegan en formato decimal, mediante la función "Merge signals Function".

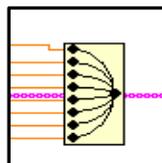


Figura 77. Bloque "Merge Signals Function".

A estas señales se les añade una cabecera en cada columna, donde se indica el nombre de la variable, mediante el array que se encuentra colocado abajo a la izquierda de la figura 76.

Para la combinación de ambas señales se emplea la función “Write to Measurement File”, que se encarga de escribir el archivo. En esta función se configura el nombre del archivo, carpeta de destino del archivo y el formato de salida del archivo, que en nuestro caso es formato Excel.

Por último, el archivo se nombrará con la fecha del día que se realiza. Hay que llevar especial cuidado con esta parte, porque si se especifica que también incluya la hora y minutos en los que se realiza la medición, el programa te generará un archivo Excel cada minuto. Por tanto, si se quiere obtener un archivo Excel por cada medición, lo más recomendado será que solo se muestre la fecha en que se realizó.

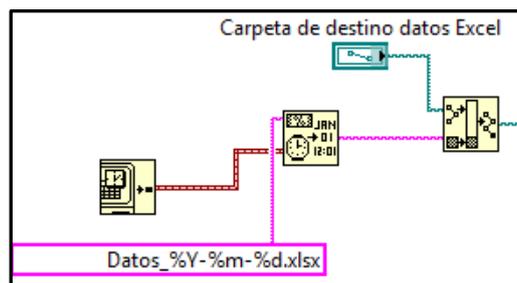


Figura 78. Bloques nombre archivo.

### 6.3. Simulación de funcionamiento.

Antes de realizar ningún tipo de ensayo, se va a realizar una simulación conectando todos los sistemas, forma que se observe que todo funciona correctamente y no existe ningún error de programación.

Para esta simulación, se coloca un tiempo entre muestras de 15 segundos (debe ser el mismo que en Arduino) y un número de muestras aleatorio. Cuando se quiera, se realiza la parada con el botón Stop y nos cercioramos de que también funciona.

Una vez completada la simulación, los resultados en el panel principal fueron los siguientes:

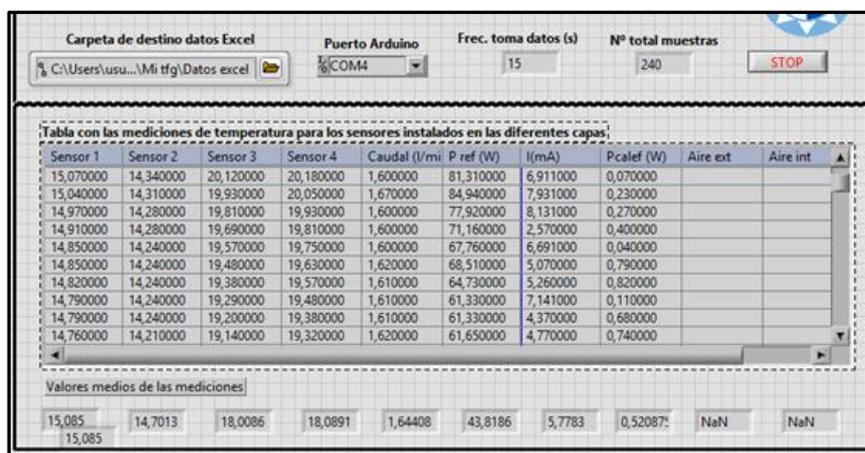


Figura 79. Panel principal tras simulación.

El archivo Excel obtenido de esta simulación tiene el siguiente aspecto:

Time	Sensor 1	Sensor 2	Sensor 3	Sensor 4	Caudal (l/mi)	P ref (W)	I (mA)	P cale (W)
16/01/1904 00:00:00,000	17,59	16,95	21,79	21,82	1,53	113,07	9,851	0,53
27/06/2019 16:40:47,312	16,89	15,86	21,58	21,64	1,56	112,06	6,9	1,07
27/06/2019 16:41:02,311	16,4	15,28	21,39	21,42	1,56	122,62	7,13	1,11
27/06/2019 16:41:17,312	16,01	14,88	21,15	21,21	1,56	122,6	3,98	0,62
27/06/2019 16:41:32,311	15,76	14,7	20,97	21,03	1,58	117,28	6,26	0,97
27/06/2019 16:41:47,312	15,55	14,55	20,75	20,82	1,58	110,57	7,18	1,12
27/06/2019 16:42:02,312	15,4	14,49	20,54	20,66	1,59	101,08	8,21	1,28
27/06/2019 16:42:17,312	15,28	14,4	20,39	20,51	1,59	97,72	6,34	0,99
27/06/2019 16:42:32,311	15,19	14,4	20,24	20,33	1,59	87,6	7,821	0,22
27/06/2019 16:42:47,313	15,07	14,34	20,12	20,18	1,6	81,31	6,911	0,07
27/06/2019 16:43:02,311	15,04	14,31	19,93	20,05	1,67	84,94	7,931	0,23
27/06/2019 16:43:17,312	14,97	14,28	19,81	19,93	1,6	77,92	8,131	0,27
27/06/2019 16:43:32,312	14,91	14,28	19,69	19,81	1,6	71,16	2,57	0,4
27/06/2019 16:43:47,313	14,85	14,24	19,57	19,75	1,6	67,76	6,691	0,04
27/06/2019 16:44:02,312	14,85	14,24	19,48	19,63	1,62	68,51	5,07	0,79
27/06/2019 16:44:17,312	14,82	14,24	19,38	19,57	1,61	64,73	5,26	0,82
27/06/2019 16:44:32,313	14,79	14,24	19,29	19,48	1,61	61,33	7,141	0,11
27/06/2019 16:44:47,312	14,79	14,24	19,2	19,38	1,61	61,33	4,37	0,68
27/06/2019 16:45:02,313	14,76	14,21	19,14	19,32	1,62	61,65	4,77	0,74
27/06/2019 16:45:17,313	14,76	14,24	19,08	19,26	1,61	57,91	7,461	0,16
27/06/2019 16:45:32,313	14,73	14,21	19,02	19,2	1,62	58,231	1,751	0,83
27/06/2019 16:45:47,311	14,76	14,21	18,96	19,14	1,61	61,31	6,39	0,99

Figura 80. Archivo Excel simulación.

En la columna de la izquierda se visualiza la fecha y hora en la cual ha sido realizada cada medida. En las siguientes columnas aparecen las medidas de cada variable.

## 7. Ensayos para calibración de sistemas de climatización

Para conocer cuál es grado de relevancia e importancia de los sistemas de climatización y cómo van a interferir en las condiciones de temperatura en el interior de la casa térmica, se van a llevar a cabo una serie de ensayos experimentales.

En estos ensayos se van a tener en cuenta ciertas variables de cada sistema, las cuales cambiarán en cada ensayo y se observarán los efectos producidos en el interior del habitáculo.

Se estudiará cada sistema de climatización por separado, es decir, no van a funcionar simultáneamente. Por lo tanto, se podrán diferenciar dos tipos de ensayos:

- Ensayos con sistema de calefacción: la única variable que va a cambiar en cada ensayo va a ser la temperatura de consigna. Se realizarán varios ensayos con temperaturas de consignas diferentes, partiendo siempre con la misma temperatura exterior. Se estudiará el tiempo necesario, en cada ensayo, para alcanzar una temperatura que se mantenga en modo estacionario (no tiene por qué ser la de consigna) y la potencia consumida durante los ensayos.
- Ensayos con sistema de refrigeración: dos variables serán las que cambien en los ensayos. Por un lado, se modificará la temperatura de entrada del agua al interior de la casa térmica, y por otro lado, se variará el caudal de este fluido. Para cada temperatura elegida se realizarán dos ensayos, cada uno de ellos con un caudal distinto. De esta forma, en cada ensayo se estudiará la temperatura alcanzada, en modo estacionario, en el interior del habitáculo, el tiempo necesario para alcanzar dicha temperatura y la potencia consumida.

Todos estos ensayos siempre deberán iniciarse con una temperatura en el interior de la casa térmica similar, de forma que se observen de forma clara las diferencias entre cada uno de ellos.

A través de estas pruebas se obtendrán datos relevantes de cómo afectan estos sistemas al conjunto de la casa térmica. De esta forma, si se quieren alcanzar unas ciertas condiciones en el interior de esta casa, se conocerá que sistema activar, cuáles son las variables a introducir en este sistema y el tiempo necesario para alcanzar estas condiciones.

Para la realización de estos ensayos se utilizarán los sistemas de monitorización incorporados en los sistemas de climatización. A partir de ellos se obtendrán todos los resultados.

En todos estos ensayos, en el interior de la pared frontal de la casa se va a colocar un panel aislante similar a los que se encuentran en las demás paredes, de forma que se obtenga el máximo aislamiento posible.

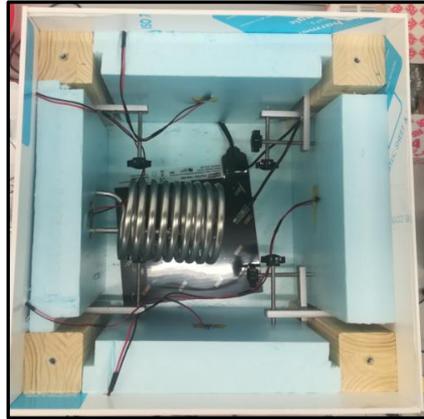


Figura 81. Interior casa térmica durante ensayos.

A continuación, se expone la información relevante a estos ensayos, con sus respectivos resultados.

### **7.1. Ensayos con sistema de calefacción**

Para la obtención de datos en estos ensayos se utilizará:

- 4 sensores de temperatura: cada uno estará colocado en un panel aislante distinto en el interior de la casa. A partir de estos sensores se sabrá en todo momento la evolución de temperatura en cada ensayo. Se utilizan 4 sensores para obtener valores de temperatura más exactos. Se realizará la media de estos 4 sensores en cada medida y ese será el valor a tener en cuenta.

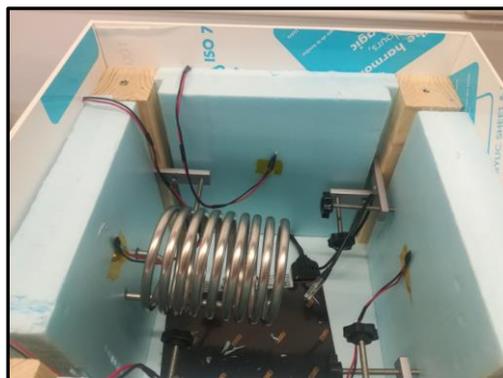


Figura 82. Posición sensores en ensayos con sistema de calefacción.

Estos sensores irán adheridos a los paneles aislantes mediante cinta aislante conductora.

- Sensor de corriente: este sensor irá conectado a la manta eléctrica, proporcionando la intensidad que circula por la misma. A partir de esta intensidad se hallará la potencia consumida por la manta.

Se van a realizar tres ensayos, colocando la temperatura de consigna a 40°C, 50°C y 60°C, respectivamente. En todos estos ensayos la temperatura inicial en el interior del habitáculo será de 25°C aproximadamente.

Cada ensayo durará 2 horas y el tiempo entre cada medida va a ser de 30 segundos (se deberá establecer tanto en LabView como en Arduino), de forma que se observe la evolución de temperatura y potencia con claridad. Por lo tanto, se obtendrán 240 medidas de cada variable en cada ensayo.

### 7.1.1. Ensayo con temperatura de consigna 40°C

Antes de comenzar el ensayo, la temperatura en el interior de la casa térmica era de 26.3°C.



Figura 83. Temperaturas de consigna e interior de la casa ensayo 40°C.

Tras cumplirse las dos horas del ensayo, la evolución de temperatura en el interior de la casa térmica fue la siguiente (medidas tomadas de los 4 sensores colocados en el interior de la casa):

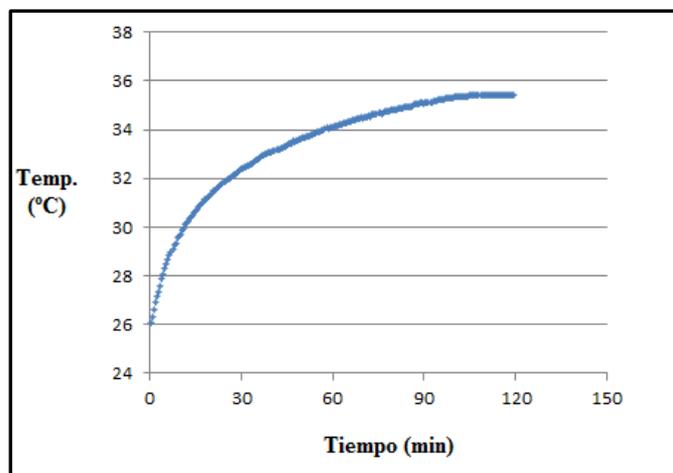


Figura 84. Evolución temperatura ensayo 40°C.

En esta gráfica se observa el período transitorio de este ensayo, ya que a partir de este momento la temperatura se mantiene en modo estacionario, en torno a unos 35°C. La temperatura de consigna es superior a la temperatura máxima alcanzada, esto es debido a que este dispositivo no tiene suficiente potencia como para alcanzar dicha temperatura.

La evolución de la potencia consumida durante el ensayo es la siguiente:

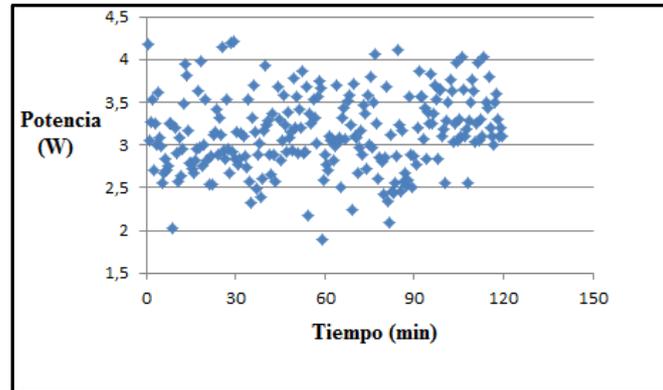


Figura 85. Evolución potencia ensayo 40°C.

En la gráfica se aprecia una nube de puntos muy dispersa que oscila entre un valor mínimo de 2 W aproximadamente y un valor máximo de 4,5 W. Esto es debido a que la corriente que circula a través del cable que se estudia es alterna, y la programación para hallarla se basa en una suma de puntos, elegidos según la frecuencia de la onda. Por esta razón, esta intensidad no se mantiene estable, y por lo tanto, tampoco la potencia. La potencia media durante el ensayo es de 3,14 W.

### 7.1.2. Ensayo con temperatura de consigna 50°C.

La temperatura en el interior de la casa térmica al inicio de este ensayo es de 25,4°C.



Figura 86. Temperatura de consigna e interior de la casa ensayo 50°C.

Después de las dos horas de ensayo, los resultados fueron muy similares a los obtenidos en el ensayo anterior, como se puede observar en la siguiente gráfica, en la que se representa la evolución de temperatura en el interior de la casa durante este ensayo.

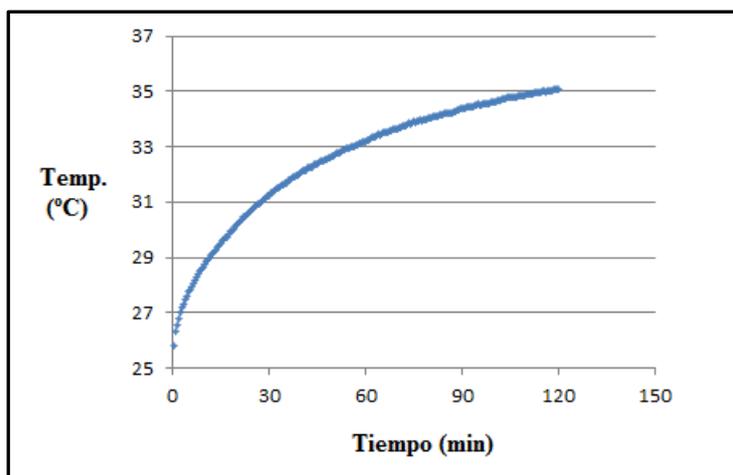


Figura 87. Evolución temperatura ensayo 50°C.

El período transitorio dura el mismo tiempo que en el ensayo anterior (2 horas) y la temperatura alcanzada vuelve a ser de 35°C aproximadamente. Se ha dejado durante más tiempo conectado y la temperatura se ha mantenido estable.

En términos de potencia consumida, la evolución de la misma durante el ensayo es la siguiente:

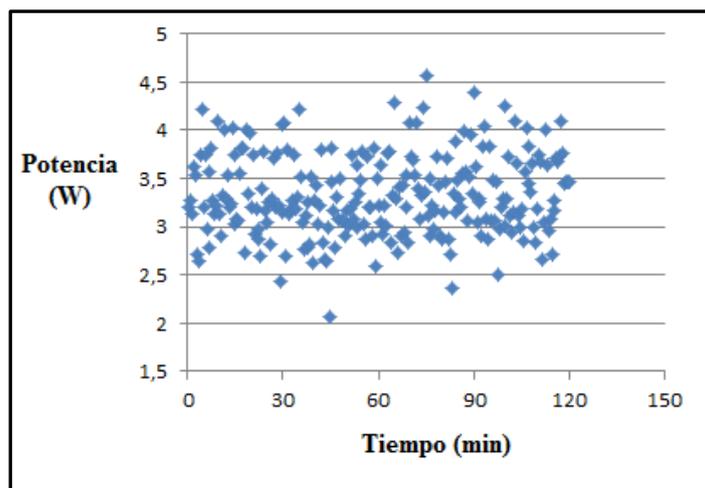


Figura 88. Evolución de potencia ensayo 50°C.

En esta última gráfica se observa una nube de puntos similar al del ensayo anterior, con valores mínimos en torno a 2 W y valores máximos en torno a 4,5 W. La razón por la que la potencia no se mantiene constante es la misma que en el anterior ensayo. La potencia media en este ensayo es de 3,3 W. Por lo tanto, el consumo de potencia es prácticamente el mismo en ambos ensayos, lo cual es normal ya que la temperatura final alcanzada es la misma para los dos.

### 7.1.3. Ensayo con temperatura de consigna 60°C

La temperatura en el interior de la casa antes de iniciar el ensayo es de 24,3°C.



Figura 89. Temperatura de consigna e interior de la casa ensayo 60°C.

Tras realizar este último ensayo, se obtienen resultados muy similares a los obtenidos en los ensayos anteriores, como va a quedar reflejado en las siguientes gráficas.

La primera de ellas muestra la evolución de la temperatura en el interior del habitáculo durante el ensayo.

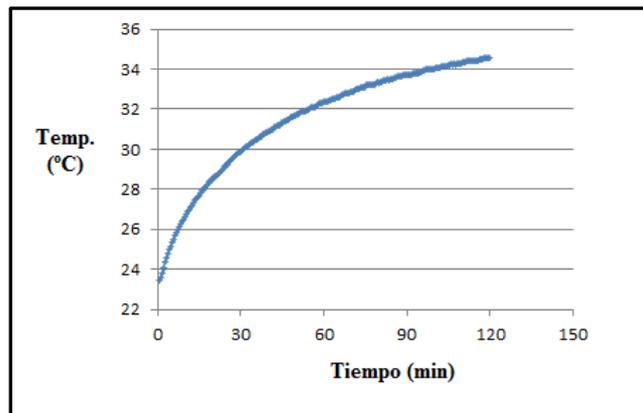


Figura 90. Evolución temperatura ensayo 60°C.

En esta gráfica vuelven a encontrarse resultados muy parecidos a los anteriores. El período transitorio dura el mismo tiempo y la trayectoria de la evolución de temperatura es muy similar. La temperatura alcanzada en modo estacionario sigue siendo de aproximadamente 35°C.

Este resultado confirma que a través de este dispositivo, en este habitáculo, la mayor temperatura que se puede alcanzar es de 35°C, partiendo de unos 25°C inicialmente.

En términos de potencia consumida, se vuelve a obtener una gráfica muy similar.

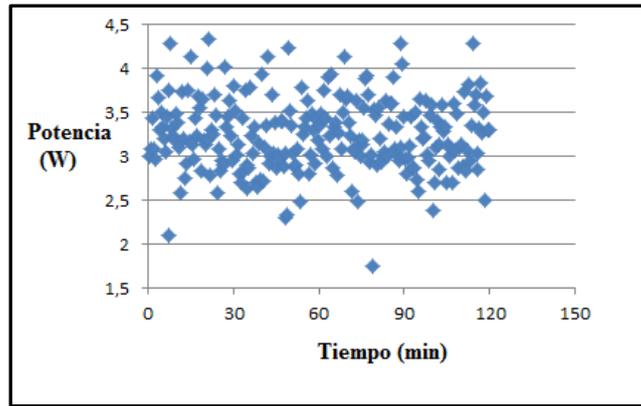


Figura 91. Evolución potencia ensayo 60°C.

Se vuelve a obtener una nube de puntos que oscilan entre 2 W y 4,5 W. En este caso, la potencia media es de 3,25 W. El consumo de potencia es prácticamente el mismo en los tres ensayos, lo que tiene sentido ya que la evolución de temperatura en el interior de la casa es la misma.

#### **7.1.4. Calibración del sistema de calefacción**

Tras los resultados obtenidos, se pueden deducir las siguientes afirmaciones, partiendo con una temperatura en el interior de la casa térmica en torno a 25°C:

- Si la temperatura de consigna supera 35°C, el sistema estará funcionando de forma continua a su máximo nivel.
- Si la temperatura de consigna es igual o superior a 35°C, la temperatura que se alcanzará en el interior del habitáculo va a ser de 35°C aproximadamente, por lo que será la máxima temperatura que se pueda alcanzar con este dispositivo. El tiempo requerido para llegar a esta temperatura será de 2 horas, es decir, duración del período transitorio.
- La potencia máxima que es capaz de consumir la manta eléctrica va a ser en torno a 4,5 W y una potencia media máxima de 3,3 W aproximadamente.

Si la temperatura de consigna fuera inferior a 35°C, el dispositivo comenzaría a su nivel máximo consumiendo el mismo nivel de potencia que el visto anteriormente, y a medida que se fuera acercando la temperatura del interior del habitáculo a la de consigna, la potencia se iría reduciendo. Esta variación de potencia está controlada por el cuadro de control de la manta, que podría hasta apagar este dispositivo si detecta que se ha alcanzado la temperatura de consigna, y volvería a encenderlo si la temperatura bajaría, para volver a alcanzarla.

## 7.2. Ensayos con sistema de refrigeración

En estos ensayos, la obtención de datos se ha llevado a cabo a partir de los siguientes componentes:

- 4 sensores: se van a utilizar 2 sensores, colocados sobre la superficie de dos paneles aislantes, para conocer la evolución de temperatura en el interior de la casa. Otros 2 sensores se colocarán adheridos al serpentín, uno al comienzo de éste y otro al final. Para ello, se utilizará cinta adhesiva conductora. Estos últimos dos sensores serán los que proporcionen la temperatura del fluido a la entrada y salida del habitáculo, de forma que se pueda obtener la potencia consumida en el interior de éste.

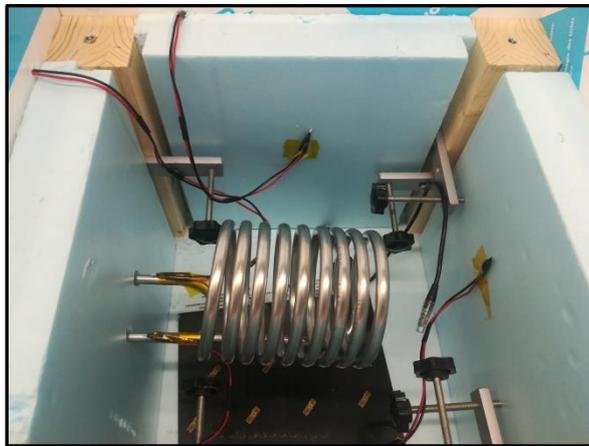


Figura 92. Posición sensores en ensayos de refrigeración.

Estos sensores no van a estar en contacto con el fluido, por tanto la temperatura proporcionada por éstos no será totalmente exacta, ya que existirá una cierta pérdida y diferencia entre la temperatura real del fluido y la temperatura de la superficie de las tuberías del serpentín. A pesar de ello, se van a utilizar debido a que esta diferencia no va a ser excesivamente grande y los resultados que se obtendrán serán muy cercanos a la realidad.

- Sensor de caudal: se utilizará este dispositivo comentado en apartados anteriores para conocer el valor de caudal en cada ensayo, variable a tener en cuenta para hallar el valor de potencia.

Al inicio de cada ensayo se fijará el caudal del fluido y la temperatura de entrada del fluido. Para cada temperatura elegida se realizarán dos ensayos, cada uno de ellos con un caudal diferente. Se realizarán ensayos para tres temperaturas del fluido distintas. Por lo tanto, se realizarán 6 ensayos. Para poder compararlos, la temperatura en el interior de la casa al inicio de cada ensayo deberá ser similar.

Las temperaturas de entrada del fluido que se van a fijar al inicio de cada ensayo van a ser 18°C, 12,5°C y 8°C. Los caudales van a ser de 1,6 l/min y de 1,2 l/min.

Se van a realizar medidas de temperatura y caudal cada 15 segundos durante 1 hora en cada ensayo. De esta forma, se obtendrá la evolución de temperatura en el interior de la casa, la evolución de temperatura del fluido a la entrada y salida de la misma y la evolución de la potencia consumida. Se volverán a obtener 240 medidas de cada variable en cada ensayo, al igual que los ensayos con el sistema de calefacción.

### ***7.2.1. Ensayos con temperatura de entrada del fluido a 18°C***

Para conocer la temperatura de entrada del fluido se ha utilizado un termómetro digital y como se observa en la siguiente imagen, la temperatura del agua al inicio del ensayo era de 18,1°C. Para estos dos ensayos, se ha colocado el nivel del frigorífico a 1 (tiene 7 niveles).



Figura 93. Temperatura inicial fluido ensayo 18°C.

En los dos ensayos realizados con esta temperatura de agua, la temperatura inicial en el interior de la casa térmica era de 23,4°C, tal y como se observa en este mismo termómetro, pero esta vez tomando la temperatura en el interior del habitáculo.



Figura 94. Temperatura inicial interior casa ensayo 18°C.

- Ensayo con caudal de 1,2 l/min.

Tras realizar este ensayo, se han obtenido una serie de gráficas que caracterizan los aspectos más importantes a tener en cuenta.

La primera gráfica obtenida representa la evolución de temperatura en el interior del habitáculo. Los datos representados van a ser el valor medio de la temperatura medida por los dos sensores adheridos a los paneles aislantes en el interior de la casa.

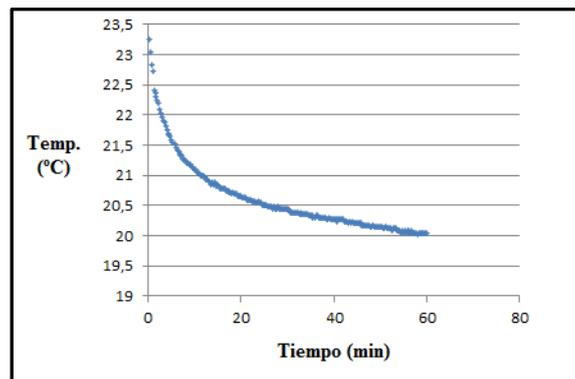


Figura 95. Evolución temperatura ensayo 18°C caudal 1,2 l/min.

En la gráfica se observa el período transitorio de evolución de la temperatura, en el cual la temperatura del habitáculo baja desde 23°C hasta 20°C. Posteriormente, esta temperatura se mantiene constante, es decir, alcanza el estado estacionario.

En la siguiente gráfica se aprecia la evolución de temperatura de entrada y de salida del fluido al interior de la casa.

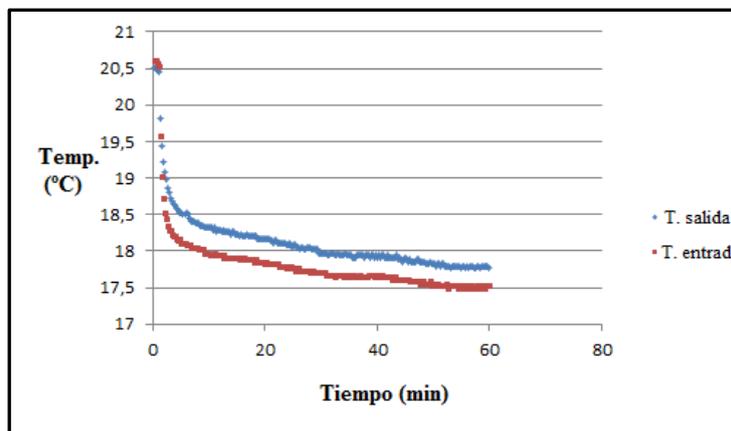


Figura 96. Evolución temperatura de entrada y de salida de agua ensayo 18°C caudal 1,2 l/min.

En esta última figura se observa el estado transitorio de la evolución de estas temperaturas, ya que a partir de la primera hora se mantienen estables en el tiempo.

Los sensores encargados de la obtención de estas temperaturas, se encuentran adheridos a la superficie de la tubería del serpentín. Por ello, hasta pasados unos minutos no alcanzan la temperatura real a la que circula el fluido a través de las tuberías, como se observa en esta gráfica.

El agua es recirculada, es decir, este fluido vuelve al mismo lugar del que sale, con una temperatura obviamente superior. Debido a esto, sería normal que la temperatura de entrada del agua al interior del habitáculo se incrementará a lo largo del ensayo. En este caso no es así y sigue bajando, debido a que el recipiente, donde se encuentra el agua, se encuentra en el interior del frigorífico, el cual sigue enfriando y por lo tanto bajando la temperatura del agua. La temperatura de llegada del agua al recipiente no es demasiado elevada con respecto a la de entrada, y por ello, el efecto del frigorífico tendría más importancia en la evolución de las mismas, tal y como se refleja en la gráfica.

La diferencia entre estas temperaturas se mantiene prácticamente constante durante todo el ensayo, excepto los primeros 10 minutos, como va a poder confirmarse en la próxima gráfica.

La siguiente gráfica refleja la evolución de la potencia de refrigeración a lo largo del ensayo.

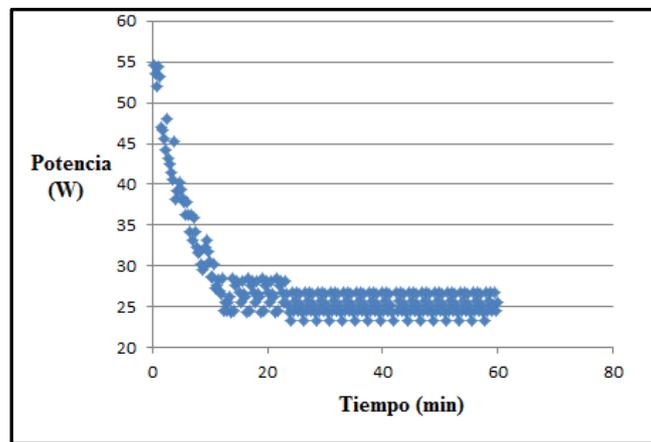


Figura 97. Evolución potencia ensayo 18°C caudal 1,2 l/min.

Para el cálculo de esta potencia, las variables a utilizar son: la diferencia de temperaturas del fluido, entre la entrada y la salida del habitáculo, el caudal de este fluido y el poder calorífico del mismo. En este caso, la única variable que cambia durante el ensayo es la diferencia de temperaturas.

Después de los primeros 10 minutos, se observa que esta potencia se mantiene constante aproximadamente, tal y como se reflejaba en la gráfica anterior, donde también se apreciaba que la diferencia de temperaturas se mantenía constante después de los primeros 10 minutos. La potencia media consumida durante este ensayo es de 28 W.

- Ensayo con caudal de 1,6 l/min.

La primera gráfica representa la evolución de temperatura en el interior de la casa, obtenida de la misma forma que en el ensayo anterior.

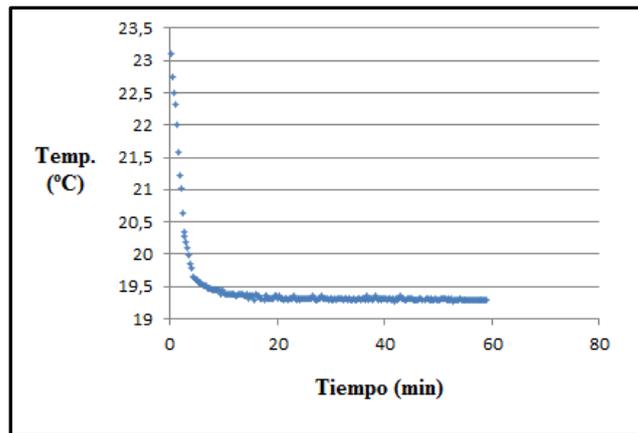


Figura 98. Evolución temperatura ensayo 18°C caudal 1,6 l/min.

En este ensayo, el estado transitorio es relativamente muy corto, si es comparado con el ensayo anterior. En este caso, a partir de los 15 minutos, la temperatura se mantiene estable. Además, la temperatura que alcanza el modo estacionario es de 19,35°C, que son 0,65°C menos que en el ensayo anterior.

La razón de esta diferencia de resultados es el caudal. Al ser un mayor caudal, la potencia aportada será mayor, como se podrá ver en las próximas gráficas. Además, la evolución de temperaturas de entrada y de salida del fluido al interior de la casa va a tener una gran importancia.

Esta evolución se puede observar en la siguiente gráfica.

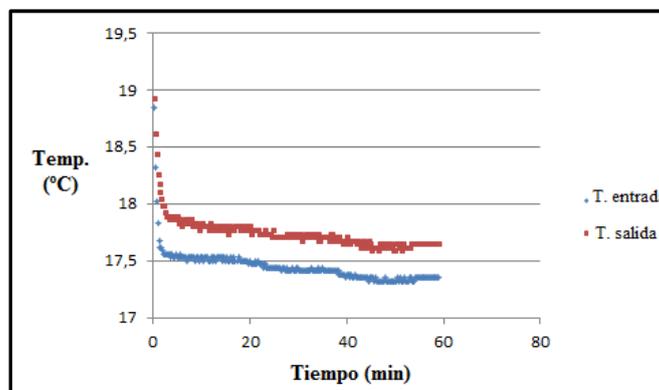


Figura 99. Evolución temperatura de entrada y de salida de agua ensayo 18°C caudal 1,6 l/min.

En este caso, se observa como estas temperaturas se mantienen mucho más estables que anteriormente. Esto es debido a que la importancia del fluido recirculado aumenta. Esto es normal, ya que el caudal es más elevado que anteriormente y el salto de temperaturas que se genera en el interior del habitáculo es prácticamente el mismo.

Por lo tanto, en este ensayo la importancia del frigorífico, enfriando, y la del fluido recirculado, calentando, se equipara, obteniendo como consecuencia una evolución de temperaturas mucho más constante que en el ensayo anterior.

Por esta razón, la evolución de temperatura en el interior de la casa es tal y como se observa en la figura 97.

A continuación queda representada la evolución de potencia de refrigeración durante este ensayo.

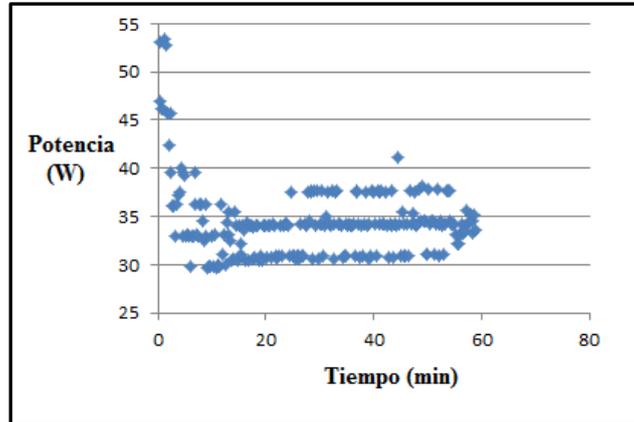


Figura 100. Evolución potencia ensayo 18°C caudal 1,6 l/min.

En este ensayo, la potencia se mantiene entre 30 W y 40 W tras el período transitorio, debido a que el salto de temperaturas va oscilando entre 3 y 4 décimas de grado. La oscilación es tan pequeña que se podría que el consumo es prácticamente constante durante la parte estacionaria del ensayo. La potencia media consumida en este ensayo es de 34,4 W.

Como se ha mencionado anteriormente, el salto de temperaturas es prácticamente el mismo en ambos ensayos, pero la potencia media de este último es superior debido al caudal, que es mayor.

### 7.2.2. Ensayos con temperatura de entrada del fluido a 12,5°C

La temperatura del agua al inicio de los dos ensayos a realizar es de 12,5°C, tal y como se observa en la siguiente imagen. Para estos dos ensayos se ha colocado el nivel del frigorífico a 3.



Figura 101. Temperatura inicial fluido ensayo 12,5°C.

La temperatura en el interior del habitáculo al inicio de estos ensayos es de 22,3°C, como se observa en la siguiente imagen.



Figura 102. Temperatura inicial interior casa ensayo 12,5°C.

- Ensayo con caudal de 1,2 l/min.

La primera gráfica muestra la evolución de temperatura en el interior del habitáculo a lo largo del ensayo.

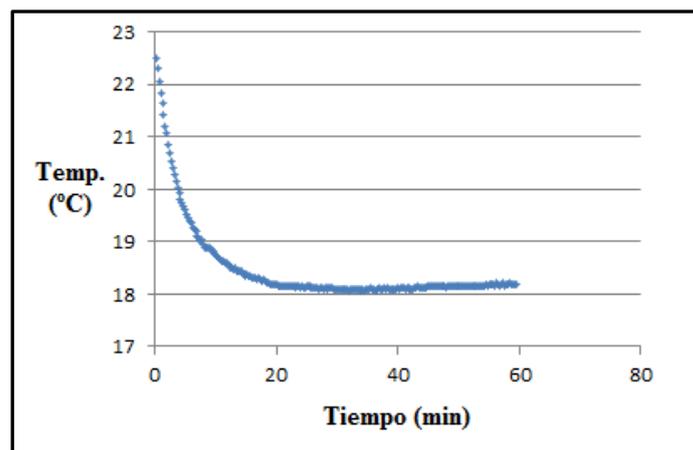


Figura 103. Evolución temperatura ensayo 12,5°C caudal 1,2 l/min.

El período transitorio dura aproximadamente unos 25 minutos. A partir de este momento, la temperatura se estabiliza en torno a 18°C. En los últimos 20 minutos se aprecia como la temperatura aumenta levemente. Esto estará producido por la evolución y salto de temperaturas entre la entrada y salida del fluido con respecto al habitáculo.

Este pequeño aumento de temperatura muestra que la importancia del caudal recirculado es ligeramente superior a la del frigorífico en el período final del ensayo.

A continuación, en la siguiente gráfica se observa la evolución del salto de temperaturas mencionado en el párrafo anterior.

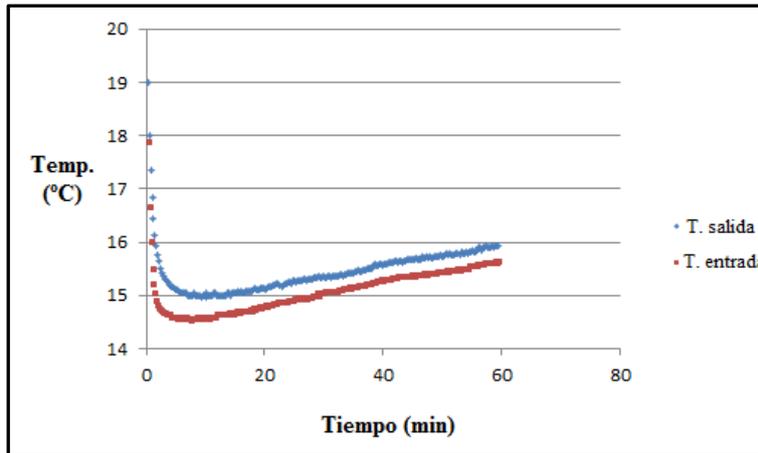


Figura 104. Evolución temperatura de entrada y de salida de agua ensayo 12,5°C caudal 1,2 l/min.

Al igual que en los ensayos anteriores, los sensores obtienen la temperatura real del fluido tras unos minutos, por la misma razón.

En este caso, ambas temperaturas representadas aumentan considerablemente. Este resultado muestra que aunque el frigorífico se encuentre en funcionamiento, la importancia del caudal recirculado es más importante. En la gráfica expuesta anterior, donde se representa la evolución de temperatura en el interior de la casa, este es el efecto que argumenta el fenómeno comentado anteriormente, aunque en esta gráfica se aprecia de forma mucho más leve.

En términos de potencia, la siguiente gráfica muestra la evolución de la misma.

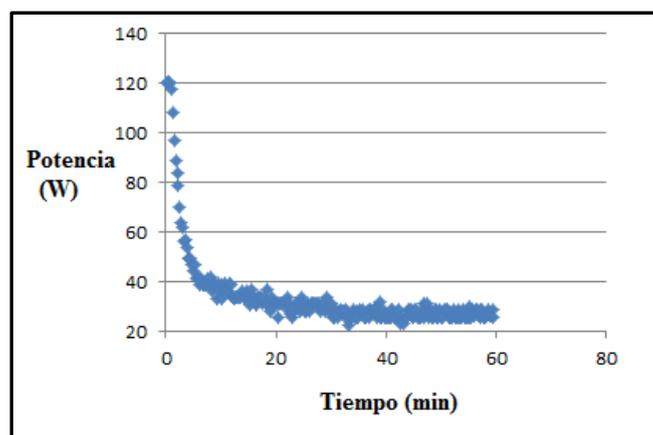


Figura 105. Evolución potencia ensayo 12,5°C caudal 1,2 l/min.

En esta gráfica se corrobora que la potencia se mantiene relativamente constante a partir de los primeros minutos, momento en el cual la temperatura en el interior de la casa comienza a mantenerse constante. Además, en la gráfica que muestra el salto de temperaturas, este se mantiene prácticamente constante a partir de los 20 minutos.

La potencia de refrigeración media en este ensayo es de 34 W.

- Ensayo con caudal de 1,6 l/min.

La evolución de temperatura en el interior del habitáculo se muestra en la siguiente gráfica:

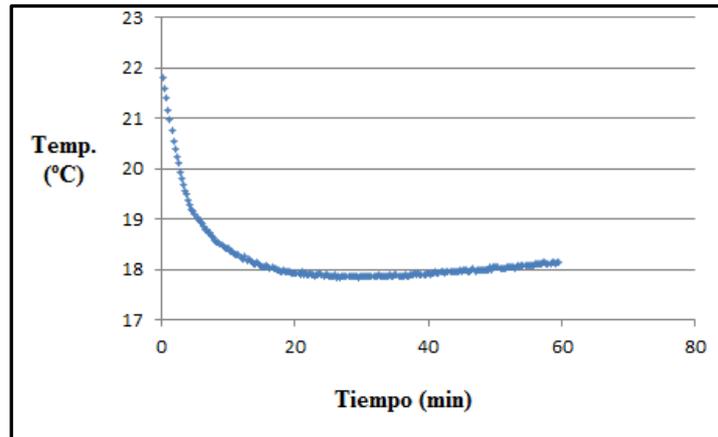


Figura 106. Evolución temperatura ensayo 12,5°C caudal 1,6 l/min.

La temperatura más baja alcanzado es de 17,89°C. Esta temperatura se obtiene a partir de los primeros 25 minutos. En este momento, esta temperatura comienza aumentar muy levemente. Esto es debido, como ocurría anteriormente, que el hecho de recircular el caudal supone un efecto mayor al del frigorífico. Este efecto se podrá ver mucho más amplificado en la evolución de las temperaturas de entrada y salida del fluido.

Esta evolución se muestra en la siguiente gráfica:

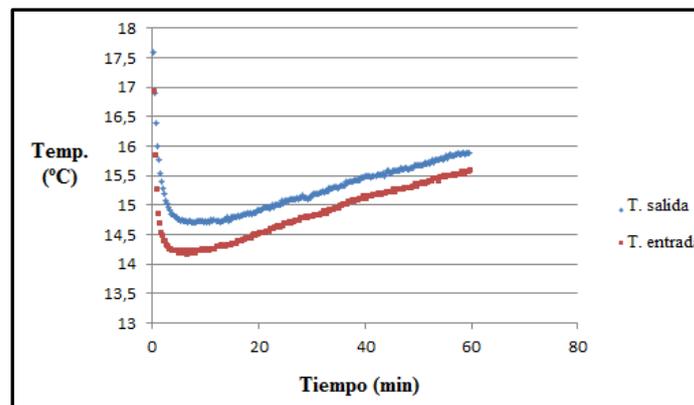


Figura 107. Evolución temperatura de entrada y de salida de agua ensayo 12,5°C caudal 1,6 l/min.

En esta gráfica se verifica lo dicho anteriormente, la temperatura va incrementándose a lo largo del ensayo debido a que el efecto del caudal recirculado es superior al efecto del frigorífico funcionando.

En esta gráfica se observa también que el salto de temperaturas se mantiene prácticamente constante a partir de la mitad del ensayo.

Esta afirmación se podrá comprobar en la siguiente gráfica, donde se muestra la evolución de potencia consumida en el interior del habitáculo durante este ensayo.

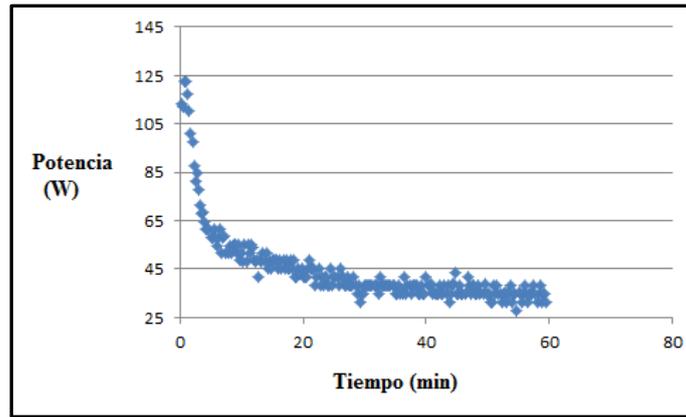


Figura 108. Evolución potencia ensayo 12,5°C caudal 1,6 l/min.

La potencia media de refrigeración obtenida es de 44,7 W. En esta gráfica se observa que a partir de los primeros 25 minutos aproximadamente, el valor de potencia se mantiene constante, resultado que concuerda con las dos gráficas vistas anteriormente pertenecientes a este ensayo.

### 7.2.3. Ensayos con temperatura de entrada del fluido a 8°C

Al inicio de estos dos ensayos, se midió la temperatura del agua, para cerciorarse que era la indicada. El nivel del frigorífico colocado en este caso era de 5.



Figura 109. Temperatura inicial fluido ensayo 8°C.

En referencia a la temperatura inicial referente al interior de la casa, se mantuvo a la misma que en el ensayo anterior, es decir, antes de realizar estos dos ensayos la temperatura era de 22,3°C.



Figura 110. Temperatura inicial interior casa ensayo 8°C.

- Ensayo con caudal de 1,2 l/min.

La primera gráfica que se va a mostrar, al igual que anteriormente, es la evolución de la temperatura en el interior del habitáculo.

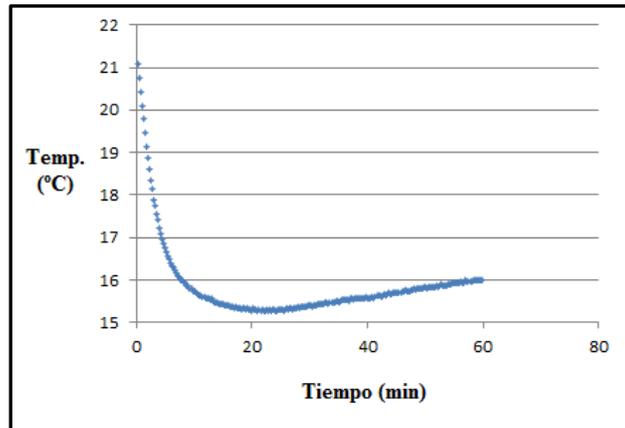


Figura 111. Evolución temperatura ensayo 8°C caudal 1,2 l/min.

En este ensayo se muestra que la temperatura más baja alcanzada se da a los 20 minutos de comenzar el ensayo y se encuentra en torno a 15,3°C. A partir de este momento comienza a aumentar de forma notable, con una pendiente superior a la observada en ensayos anteriores. Este incremento vuelve a ser debido al efecto producido por el caudal recirculado, que según se observa en los ensayos, gana importancia a medida que se baja la temperatura del fluido. Este efecto se observará de forma mucho más clara en la siguiente gráfica.

La siguiente figura muestra la evolución del salto de temperaturas máximo del fluido en el interior del habitáculo.

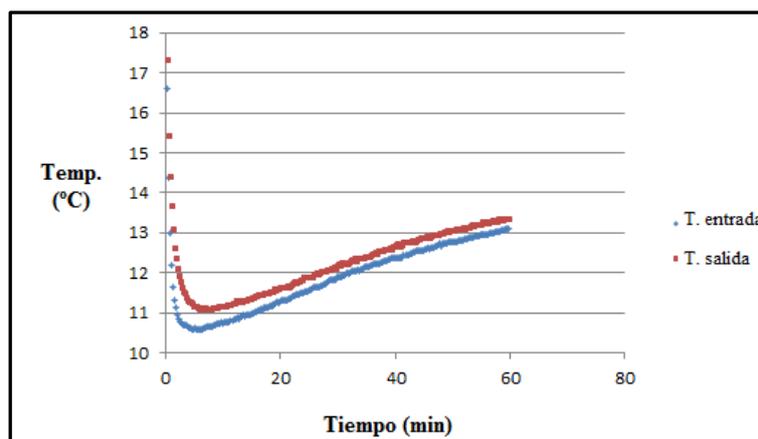


Figura 112. Evolución temperatura de entrada y de salida de agua ensayo 8°C caudal 1,2 l/min.

En esta gráfica se observa como el incremento de temperatura a lo largo del ensayo es bastante elevado, más que en los anteriores ensayos. Tras este resultado, se puede confirmar que a medida que se reduce la temperatura del fluido, la importancia del caudal recirculado (calentando), gana importancia.

El valor de potencia evoluciona de forma similar a ensayos anteriores. Tal y como se muestra en la última gráfica, el salto de temperaturas se estabiliza a partir de la mitad del ensayo. Esto quedará demostrado en la siguiente gráfica.

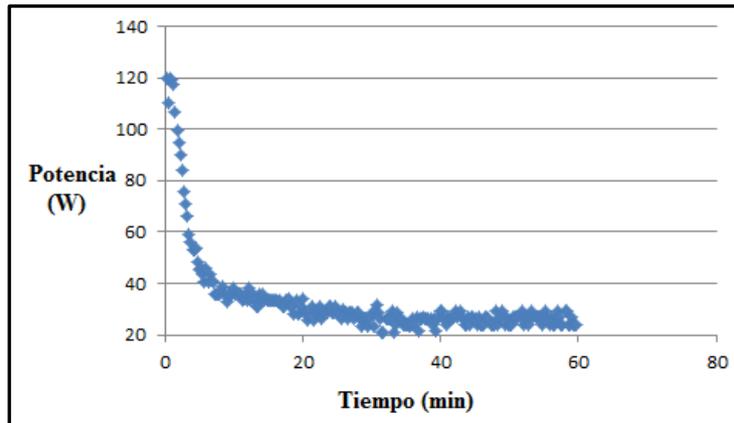


Figura 113. Evolución potencia ensayo 8°C caudal 1,2 l/min.

Tal y como se esperaba, el valor de potencia va reduciéndose hasta mantenerse estable a partir de la mitad del ensayo.

El valor medio de potencia en este ensayo es de 33,3 W.

- Ensayo con caudal de 1,6 l/min.

Se va a comenzar valorando la evolución de la temperatura en el interior de la casa. La gráfica que la representa es la siguiente.

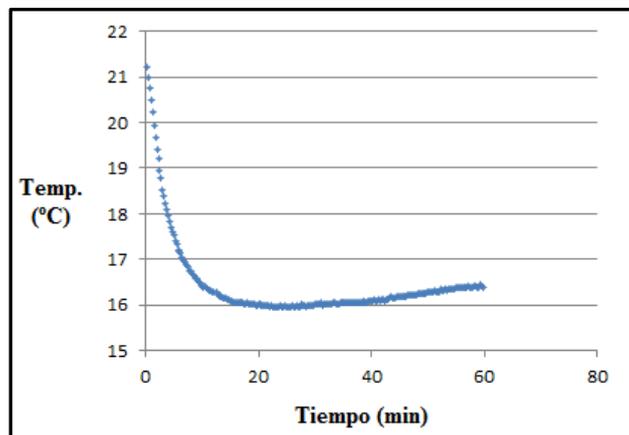


Figura 114. Evolución temperatura ensayo 8°C caudal 1,6 l/min.

La temperatura más baja se alcanza a partir de los primeros 20 minutos. Esta temperatura es levemente inferior a 16°C. Posteriormente, esta temperatura comienza a aumentar de forma notable. Vuelve a ocurrir el mismo fenómeno observando en el ensayo anterior.

En la siguiente gráfica, donde se muestra la evolución del salto de temperaturas en el interior de la casa, se corrobora este fenómeno.

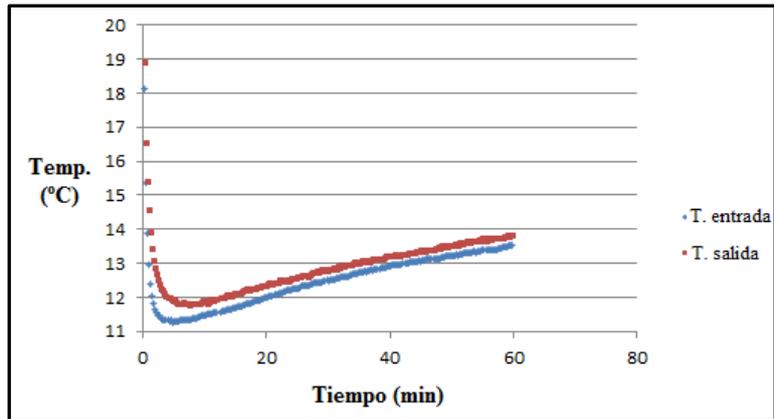


Figura 115. Evolución temperatura de entrada y de salida de agua ensayo 8°C caudal 1,6 l/min.

En esta gráfica se vuelve a mostrar lo que se había predicho anteriormente. El salto de temperaturas comienza a mantenerse estable a partir de la mitad del ensayo aproximadamente, y las temperaturas de entrada y de salida evolucionan aumentando su valor debido al efecto del caudal recirculado.

El valor de potencia consumida comenzará a mantenerse estable al mismo tiempo que el salto de temperaturas, tal y como se muestra en la siguiente figura.

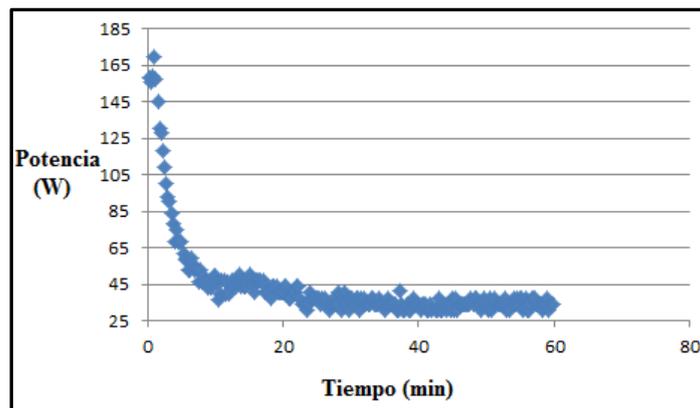


Figura 116. Evolución potencia ensayo 8°C caudal 1,6 l/min.

Esta potencia comienza muy alta, debido a la gran diferencia de temperatura entre el fluido y el exterior. Pero rápidamente se observa como comienza a mantenerse estable, tal y como se había previsto.

El valor medio de potencia en este ensayo es de 44 W.

#### 7.2.4. Calibración sistema de refrigeración

Para realizar la calibración de este sistema, es decir, conocer como fluctúa este sistema en función del caudal fijado y la temperatura inicial del fluido, se van obtener una serie de gráficas en las que se observen comparaciones entre los ensayos.

En primer lugar, se van a comparar, para una misma temperatura inicial del fluido, ensayos a diferentes caudales. La variable a comparar va a ser la evolución de temperatura en el interior del habitáculo.

A continuación se exponen estas gráficas.

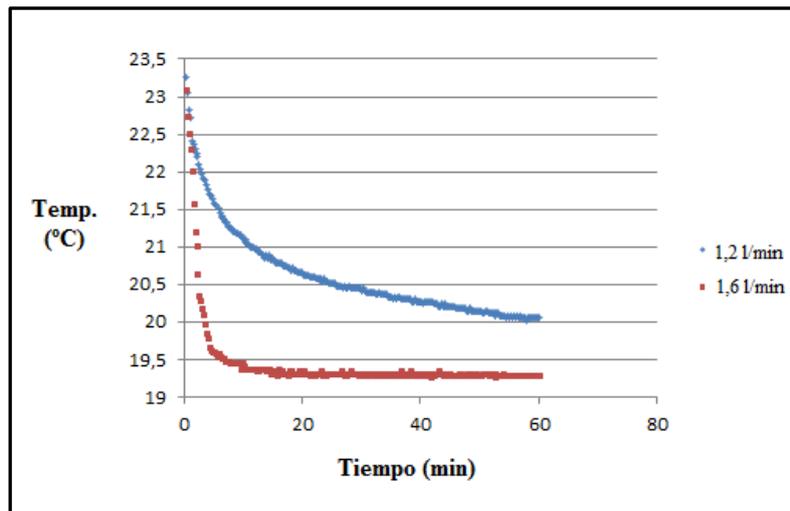


Figura 117. Evolución temperatura interior casa ensayos 18°C.

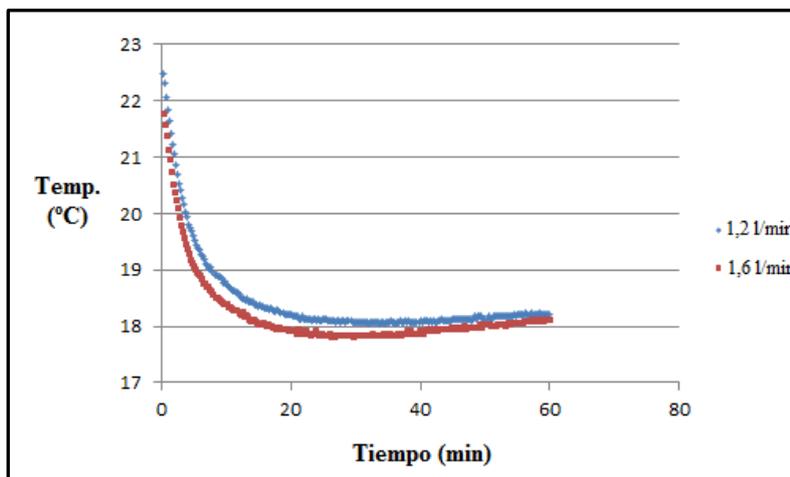


Figura 118. Evolución temperatura interior casa ensayos 12,5°C.

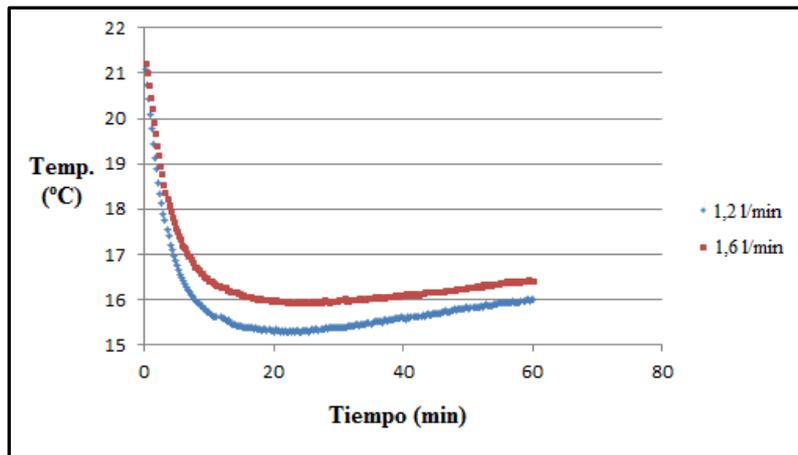


Figura 119. Evolución temperatura interior casa ensayos 8°C.

Lo primero a remarcar es que, tal y como se ha visto en apartados anteriores, en todos los ensayos se ha comprobado que el aumento de caudal siempre ha aumentado la relevancia del caudal recirculado, en términos de calentar el fluido en uso durante el ensayo.

En estas gráficas se pueden observar los siguientes aspectos:

- En los ensayos realizados con temperatura inicial del fluido a 18°C, se ha obtenido una mayor bajada de temperatura con un caudal de 1,6 l/min, debido a que la potencia es este último ensayo era mayor que en el otro. Además, como se ha visto en apartados anteriores, en estos dos ensayos, la importancia del caudal recirculado tenía menor importancia que el enfriamiento realizado por el frigorífico. Por esta razón, al consumir mayor potencia el ensayo con caudal de 1,6 l/min, el enfriamiento producido en el interior de la casa es mayor.
- En los ensayos realizados con temperatura inicial del fluido a 12,5°C, las temperaturas más bajas alcanzadas han sido mediante un caudal de 1,6 l/min. Pero en estos ensayos la diferencia entre estas temperaturas han sido bastante menores. Esto es debido, como se ha visto en apartados anteriores, a que la importancia del caudal recirculado ha aumentado con respecto a los ensayos anteriores. Por lo tanto, aunque la potencia con un caudal de 1,6 l/min sea bastante mayor que con un caudal de 1,2 l/min, el efecto del caudal recirculado prácticamente lo compensa y los resultados son muy similares.
- En los ensayos realizados con temperatura inicial del fluido a 8°C, las temperaturas más bajas se han alcanzado con un caudal de 1,2 l/min. En estos ensayos, la relevancia del caudal recirculado es mucho mayor que en los anteriores, tal y como se ha visto en apartados anteriores, lo cual prueba que, aunque con un caudal de 1,6 l/min la potencia consumida sea mayor que con un caudal de 1,2 l/min, las temperaturas más bajas se alcancen con este último.

A continuación, se compara, para un mismo caudal, evolución de temperatura en el interior de la casa variando la temperatura inicial del fluido.

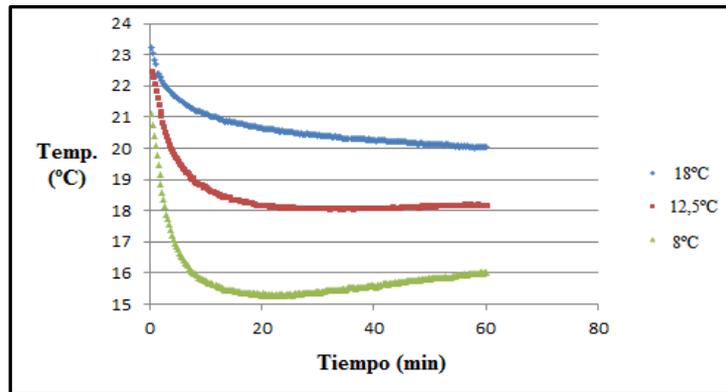


Figura 120. Evolución temperatura interior casa ensayos caudal 1,2 l/min.

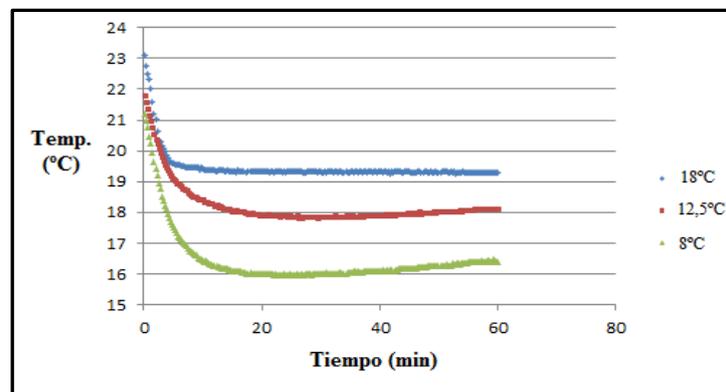


Figura 121. Evolución temperatura interior casa ensayos caudal 1,6 l/min.

En los ensayos realizados con un caudal de 1,2 l/min se observa que, a medida que se baja la temperatura del fluido, la diferencia entre las temperaturas alcanzadas en cada ensayo se va incrementando. En los ensayos realizados con caudal de 1,6 l/min se observa que, a medida que se baja la temperatura del fluido, la diferencia entre las temperaturas alcanzadas en cada ensayo va disminuyendo.

De todos los ensayos realizados, se obtiene la siguiente información:

Temp. inicial fluido (°C)	Caudal (l/min)	Temp. inicial en interior de la casa (°C)	Temp. alcanzada en interior de la casa (°C)	Tiempo hasta alcanzar temp. (min)	Potencia media consumida (W)
18,1	1,2	23,4	20,0	60	28,0
18,1	1,6	23,4	19,3	15	34,4
12,5	1,2	22,3	18,0	25	34,0
12,5	1,6	22,3	17,9	25	44,7
8,1	1,2	22,3	15,3	20	33,3
8,1	1,6	22,3	16,0	20	44,0

Tabla 4. Calibración sistema refrigeración.

Gráficamente se muestra la temperatura alcanzada en cada ensayo frente a la temperatura inicial del fluido, obteniéndose la siguiente figura:

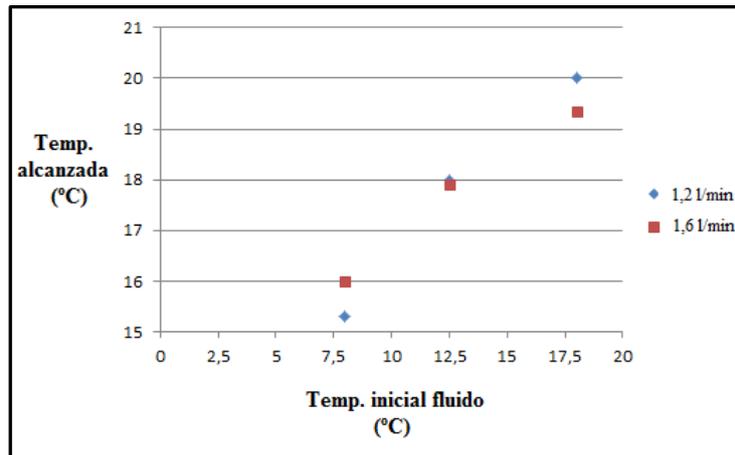


Figura 122. Temperaturas alcanzadas en los ensayos.

## 8. Conclusiones

Tras la realización del presente trabajo, por un lado se ha desarrollado un modelo práctico basado en un habitáculo en forma de cubo totalmente equipado con diversos sistemas de climatización, además de estar completamente aislado térmicamente del exterior mediante paneles aislantes. Por otro lado, se ha desarrollado un sistema de monitorización para controlar la evolución de temperatura en el interior de este habitáculo y monitorizar los sistemas de climatización, de forma que se puedan conocer el valor de sus variables en todo momento.

Después de completar la fabricación y programación de este equipo, se han desarrollado una serie de ensayos para conocer los efectos de los sistemas de climatización en el interior de esta casa, además de para comprobar que todo funcionaba correctamente.

Tras la finalización de todos estos ensayos y poder haber trabajado con el equipo completo, se pueden deducir las siguientes características del mismo:

- En términos logísticos, la estructura de las diferentes partes del habitáculo, así como la distribución del mismo y de los sistemas de climatización facilita el manejo y manipulación del equipo. De esta forma, el usuario podrá realizar cambios en el mismo con suma facilidad.
- En cuanto al sistema de monitorización, el entorno Arduino (donde se ha llevado a cabo la programación de este sistema) presenta un fácil manejo para poder introducir cambios o tener que realizar cambios en alguno de los ensayos a realizar en el futuro. Por otro lado, el programa a utilizar por el usuario (LabView) presenta la gran ventaja de poseer un panel principal en el cual se especifica cada una de las funciones a realizar por el mismo. Este panel será muy intuitivo y fácil de utilizar por el usuario. Por último, los datos son obtenidos en Archivo Excel, lo cual es muy útil para realizar cálculos posteriores con los mismos, e incluso para obtener gráficas.
- En última instancia, se han desarrollado una serie de ensayos para la calibración de los sistemas de climatización. Los resultados de estos ensayos permitirán al usuario conocer que valores dar a las diferentes variables de estos sistemas para obtener unas condiciones determinadas en el interior del habitáculo, y poder saber cuál será el tiempo que se tardará en alcanzarlas.

Para finalizar, como última observación remarcar que este equipo será el punto de partida para la posterior realización de diversos ensayos experimentales en los que se estudien las características de diferentes materiales, así como sus respuestas a diversos fenómenos, tales como el foco solar simulando radiación solar o los sistemas de climatización.

## 9. Bibliografía

Para desarrollar ciertos aspectos del sistema de medida de temperatura y la programación del mismo y los demás sistemas de monitorización, así como para el desarrollo en el entorno LabView, se ha recurrido a diversas páginas en Internet.

1. SERRANO NAVARRO, José Manuel. Universidad Politécnica de Cartagena. Trabajo Fin de Máster: “Sistema de medida y linealización de temperaturas en tiempo real mediante sensores con resistencia de platino usando el microcontrolador Arduino”.
2. NAYLAMP MECHATRONICS. Tutorial sensor de corriente ACS712. [Consulta: 20 de Mayo de 2019].

Disponible en: [https://naylampmechatronics.com/blog/48\\_tutorial-sensor-de-corriente-ac712.html](https://naylampmechatronics.com/blog/48_tutorial-sensor-de-corriente-ac712.html)

3. LLAMAS, Luis. Ingeniería informática y diseño. Medir caudal de agua con Arduino y caudalímetro. [Consulta: 25 de Mayo de 2019].

Disponible en: <https://www.luisllamas.es/caudal-consumo-de-agua-con-arduino-y-caudalimetro/>