



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UN HORNO SOLAR ARTESANAL CON FINES SOLIDARIOS

Autor: Cristina Puente Rueda

Director: María Ana Sáenz Nuño

Director: Juan Luis Zamora Macho

Madrid

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UN HORNO SOLAR
ARTESANAL CON FINES SOLIDARIOS**

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el

curso académico 2020/21 es de mi autoría, original e inédito y

no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido

tomada de otros documentos está debidamente referenciada.

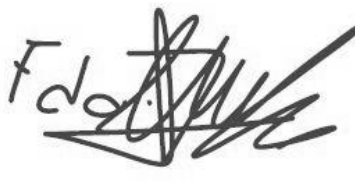


Fdo.: Cristina Puente Rueda

Fecha: 09/06/21

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.  - Fecha 12/06/21

Fdo.:



Fecha: 10 / 06 / 2021

AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESIS O MEMORIAS DE BACHILLERATO

1º. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.

El autor D. Cristina Puente Rueda DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: DISEÑO, CARACTERIZACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN HORNO SOLAR ARTESANAL CON FINES SOLIDARIOS, que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

2º. Objeto y fines de la cesión.

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor **CEDE** a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

3º. Condiciones de la cesión y acceso

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

- a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar “marcas de agua” o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- b) Reproducir la en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- c) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- d) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- e) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- f) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente*).

4º. Derechos del autor.

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

5º. Deberes del autor.

El autor se compromete a:

- a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.
- c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e intereses a causa de la cesión.
- d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción

de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

6°. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.
- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.
- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.
- La Universidad se reserva la facultad de retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a 9 de junio de 2021.

ACCEPTA



Fdo: Cristina Puente Rueda

Motivos para solicitar el acceso restringido, cerrado o embargado del trabajo en el Repositorio Institucional:



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UN HORNO SOLAR ARTESANAL CON FINES SOLIDARIOS

Autor: Cristina Puente Rueda

Director: María Ana Sáenz Nuño

Director: Juan Luis Zamora Macho

Madrid

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UN HORNO SOLAR ARTESANAL CON FINES SOLIDARIOS

Autor: Puente Rueda, Cristina.

Directores: Saenz Nuño, María Ana; Zamora Macho, Juan Luis.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

En este proyecto se ha diseñado y fabricado un horno solar a partir de materiales reciclados capaz de alcanzar más de 125 grados centígrados en un periodo de exposición solar de 6 horas. Las mediciones de temperatura se han registrado a través de una placa de Arduino programada mediante MATLAB Simulink.

Palabras clave: Energía solar, reciclaje, plástico, horno solar, Arduino, Simulink.

1. Introducción

La realización de las tareas de la vida cotidiana en países en vías de desarrollo se dificulta debido mayoritariamente a la falta de medios. La escasez de tecnología es una realidad, en cambio, recursos como madera, tapones de plástico o latas de refresco son relativamente fáciles de obtener en cualquier lugar del mundo. Por ello, este proyecto pretende usar ese tipo de materiales en la fabricación de un horno solar capaz de moldear plástico para crear piezas sencillas, contribuyendo así a su reutilización como parte de un desarrollo sostenible.

2. Definición del Proyecto

El proyecto cuenta con tres partes diferenciadas: diseño y construcción del prototipo, desarrollo del programa de medición de temperatura y análisis de los resultados obtenidos.

Los criterios seguidos para el diseño del prototipo siguen dos líneas: la primera que sean materiales reciclados y accesibles en zonas desfavorecidas y la segunda, que sean capaces de proporcionar el entorno idóneo para recolectar los rayos solares y llegar a una adecuada retención de calor. Los materiales con los que se ha construido el horno son: dos cajones de madera, cartón, bolsas de snacks, un cristal de nevera, pintura negra y elementos de unión: clavos, cinta americana y cola blanca.



Figura 1. Prototipo de horno solar construido con materiales reciclados

3. Descripción del programa

Para la lectura de temperatura hacen falta los siguientes componentes electrónicos: una placa de Arduino UNO, dos termopares tipo K y dos módulos MAX6675, cuyo esquema de conexiones se muestra a continuación.

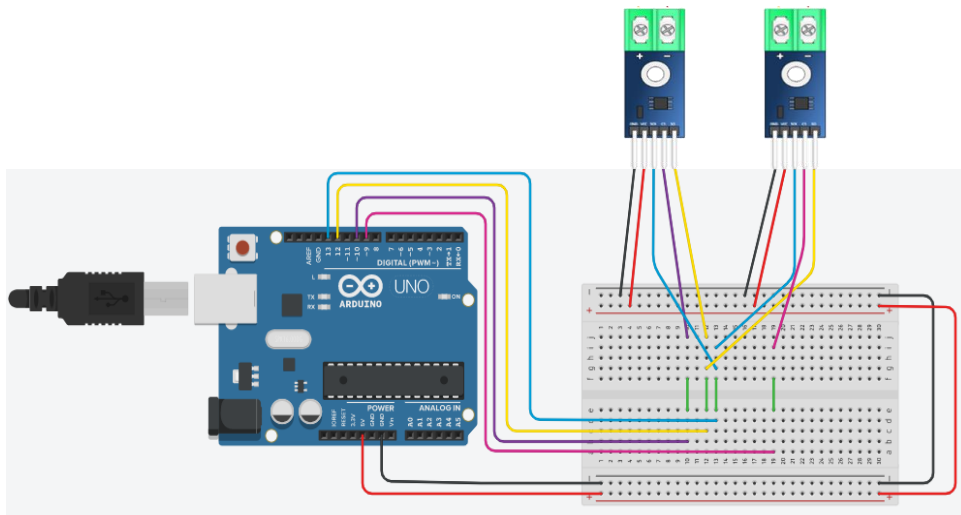


Figura 2. Esquema de conexiones de la placa de Arduino UNO con los sensores

El programa creado mediante Simulink consiste en un bloque principal de la librería de Arduino que permite una comunicación SPI con los sensores. Éste es capaz de leer la temperatura a tiempo real del sensor y tras unos ajustes, representarlo en un Scope. Los datos de temperatura se pueden guardar posteriormente en una variable de Matlab o ser exportados a Excel. El diagrama de bloques que se muestra a continuación es el que permite leer la temperatura de los dos sensores simultáneamente, uno medirá la temperatura interior del horno y otro la temperatura ambiente.

Lectura dos sensores temperatura MAX6675

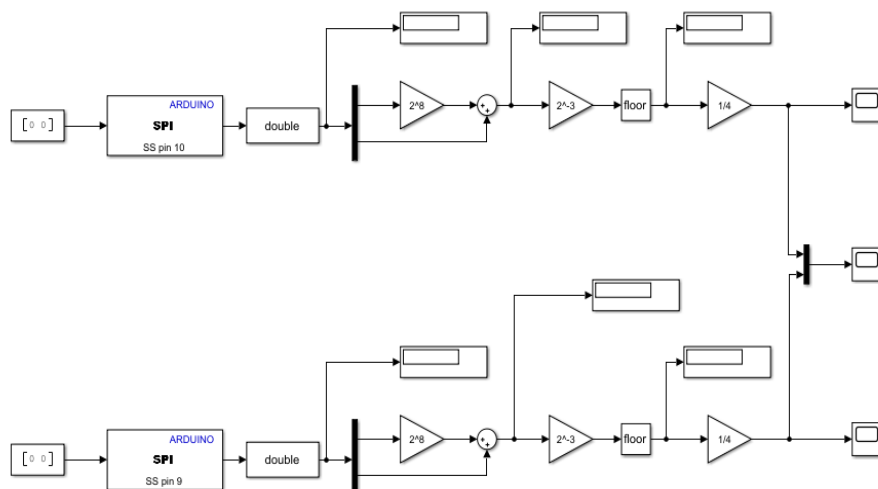


Figura 3. Diagrama de bloques del programa de lectura de temperatura en Simulink

4. Resultados

Se realizaron medidas de la evolución temporal de la temperatura interior en el horno durante siete días. Las gráficas de temperatura siguen todas el mismo patrón: primero una subida muy pronunciada de la temperatura de una duración menor a una hora, después un tiempo de estabilidad a veces perturbada por intervalos nubosos y al final una bajada de temperatura suave hasta aproximarse a una asíntota horizontal que coincide con la temperatura ambiente.

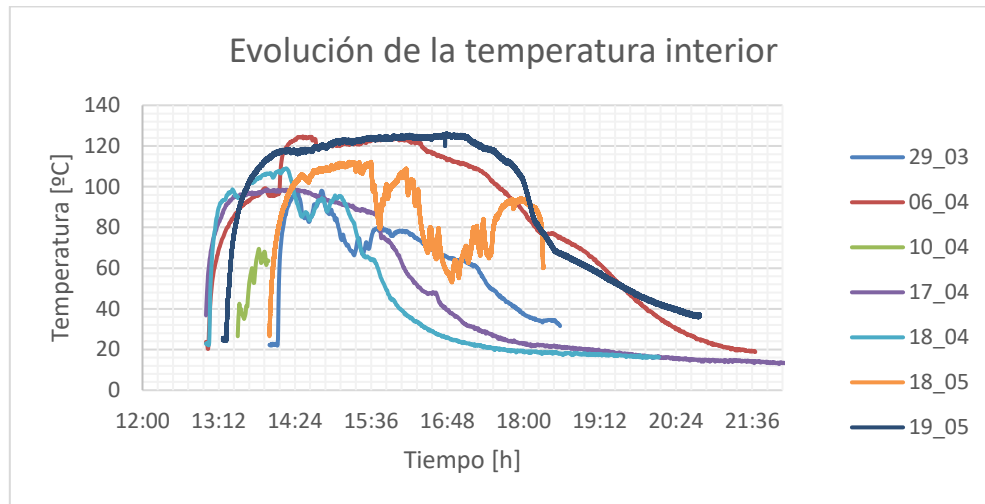


Figura 4. Evolución temporal de la temperatura durante los días medidos

5. Conclusiones

Con este trabajo se ha conseguido emplear materiales reciclados para la construcción de un horno solar que ha superado los 120 grados centígrados. Las conclusiones a las que se ha llegado después del análisis de resultados son tres.

Primera: Mediante materiales reciclados y un sistema de aislamiento imperfecto se pueden llegar a alcanzar temperaturas altas, la máxima registrada se encuentra en 126,25°C. Aunque los materiales reciclados no son idóneos porque cambian las dimensiones y forma de los elementos disponibles, se ha demostrado con este proyecto que se puede llegar a lograr un buen resultado.

Segunda: La radiación que provoca el calentamiento principal en el horno es la radiación directa, la radiación difusa interviene en una parte casi despreciable. Se llega a esta conclusión porque durante intervalos nubosos, cuando no hay radiación directa incidiendo en el horno, se produce un descenso brusco de la temperatura. En los días que no hay nubosidad, el incremento de la temperatura se produce con una pendiente constante y después ésta se mantiene durante un periodo prolongado de tiempo.

Tercera: Otros parámetros como la humedad o el viento tienen su propio efecto sobre el calentamiento del horno. La humedad no es determinante en el calentamiento del horno. Los datos de humedad relativa se recogieron en un primer momento porque se pensó que el porcentaje de humedad relativa era directamente proporcional a la nubosidad, pero se ha demostrado que no es así. El viento dificulta que los reflectores focalicen los rayos solares en el cajón interior del horno, haciendo que éste se caliente de manera más lenta.

DESIGN, CONSTRUCTION AND CHARACTERISATION OF A HANDMADE SOLAR OVEN FOR SOCIAL PURPOSES

Author: Puente Rueda, Cristina.

Supervisors: Saenz Nuño, María Ana; Zamora Macho, Juan Luis.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

ABSTRACT

In this project, a solar oven has been designed and manufactured from recycled materials capable of reaching more than 125 degrees Celsius in a solar exposure period of 6 hours. Temperature measurements have been recorded through an Arduino board programmed using MATLAB Simulink.

Keywords: Solar energy, recycling, plastic, solar oven, Arduino, Simulink.

1. Introduction

The performance of daily life tasks in developing countries is hampered mainly due to the lack of resources. The scarcity of technology is a reality, while resources such as wood, plastic caps or soda cans are relatively easy to obtain anywhere in the world. Therefore, this project aims to use such materials in the manufacture of a solar oven that can mould plastic to create simple pieces, thus contributing to its reuse as part of sustainable development.

2. Project definition

The project has three distinct parts: design and construction of the prototype, development of the temperature measurement programme and analysis of the results obtained.

The criteria followed for the design of the prototype follow two lines: the first one being that they should be recycled and accessible materials in underprivileged areas and the second one, that they must be capable of providing the ideal environment to collect the sun's rays and reach an adequate heat retention. The materials used to build the oven are: two wooden crates, cardboard, snack bags, a fridge glass, black paint, and binding elements: nails, duct tape and glue.

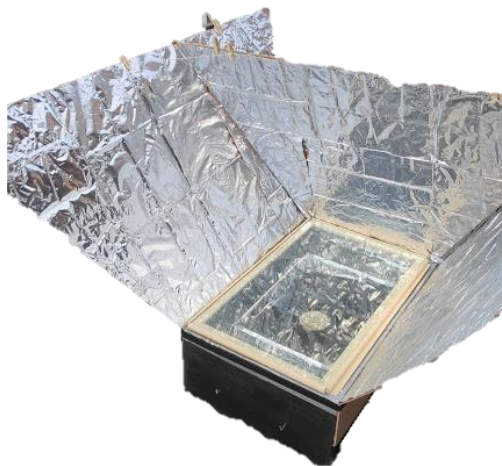


Figure 5. Solar oven prototype made from recycled materials

3. Description of the program

The following electronic components are required for the temperature reading: an Arduino UNO board, two K-type thermocouples and two MAX6675 modules, whose connection diagram is shown below.

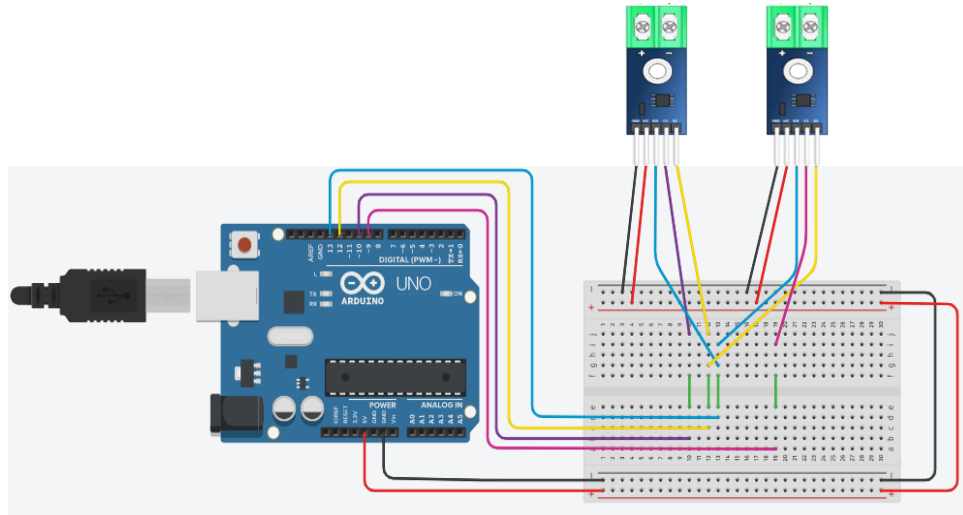


Figure 6. Connection diagram of the Arduino UNO board and the sensors

The program created using Simulink consists of a main block of the Arduino library that allows SPI communication with the sensors. After some adjustments, it can read the real time temperature of the sensor and display it in a Scope. The temperature data can then be saved in a Matlab variable or exported to Excel. The block diagram shown below is the one that allows to read the temperature of the two sensors simultaneously, one will measure the inside temperature of the oven and the other the outside temperature.

Lectura dos sensores temperatura MAX6675

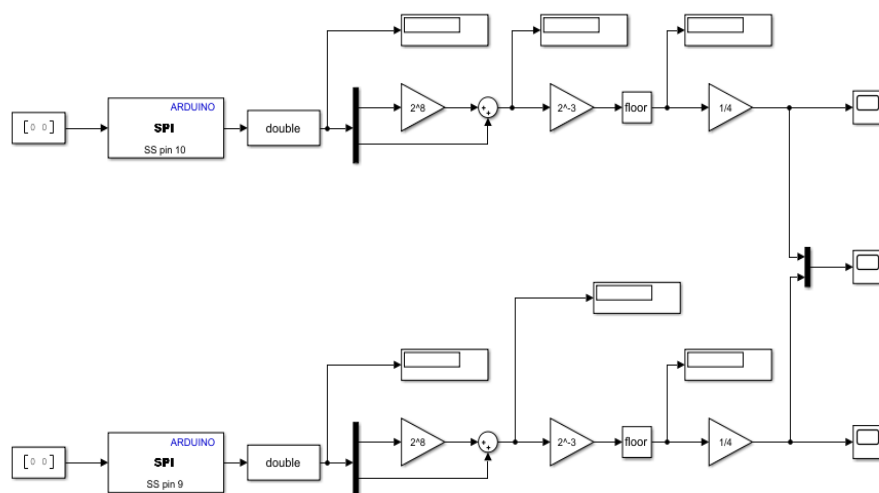


Figure 7. Block diagram of the reading temperature program for two sensors

4. Results

Measurements of the evolution of the temperature inside the oven were carried out over a period of seven days. The temperature graphs all follow the same pattern: first a very steep rise in temperature lasting less than an hour, then a period of stability sometimes disturbed by cloudy intervals and finally a gentle drop in temperature until reaching a horizontal asymptote matching the outside temperature.

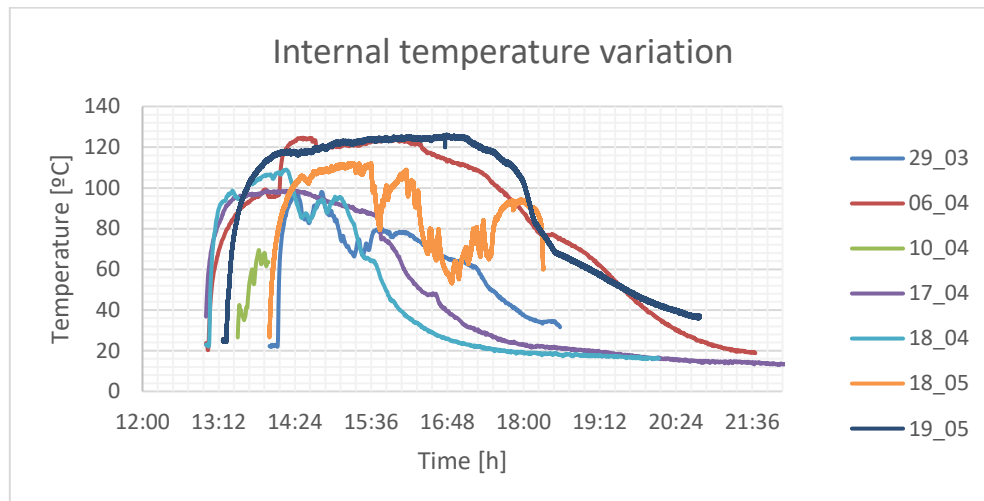


Figure 8. Internal temperature variation

5. Conclusions

This project has successfully used recycled materials for the construction of a solar oven that has risen to over 120 degrees Celsius. The following three conclusions have been reached after analysing the results.

First: Using recycled materials and an imperfect insulation system, high temperatures can be reached, the maximum temperature recorded being 126.25°C. Although recycled materials are not ideal because the dimensions and shape of the available elements vary, it has been proven with this project that a good result can be achieved.

Secondly: The radiation that causes the main heating in the oven is direct radiation, diffuse radiation plays an almost negligible role. This conclusion is reached because during cloudy intervals, when there is no direct radiation reaching the oven, there is a steep drop in temperature. On days when there is no cloud cover, the temperature increase occurs at a constant gradient and is then maintained over a long period of time.

Third: Other parameters such as humidity or wind have their own effect on the warming of the oven. Humidity is not decisive for the oven heating. Relative humidity data was initially collected because it seemed that the percentage of relative humidity was directly proportional to cloudiness, but it has been demonstrated that this is not the case. The wind makes it difficult for the reflectors to focus the sun's rays on the interior of the oven, causing the oven to heat up slower.

Índice de la memoria

Capítulo 1. Introducción	9
1.1 Objetivos	9
1.2 Motivación del proyecto.....	10
1.3 Metodología.....	10
Capítulo 2. Estado de la cuestión.....	13
2.1 Hornos solares artesanales.....	13
2.1.1 Partes	13
2.1.2 Caracterización	18
2.2 Energía solar en el mundo	19
2.2.1 Sáhara Oriental	21
2.2.2 Namibia	21
2.2.3 Somalia.....	22
2.2.4 Kenia, Uganda y Tanzania.....	23
2.3 Campos de refugiados	24
2.4 Análisis de plásticos y moldes.....	26
2.5 Herramientas utilizadas	26
2.5.1 Matlab & simulink.....	27
2.5.2 Solidworks.....	28
Capítulo 3. Memoria del trabajo	30
3.1 Justificación.....	30
3.2 Diseño del prototipo	32
3.2.1 Modelo y planos en solidworks.....	32
3.2.2 Elección de materiales y forma	32
3.3 Proceso de construcción	40
3.3.1 Resumen	40
3.3.2 Vídeo del proceso	50
3.4 Caracterización.....	51
3.4.1 Descripción de hardware	51
3.4.2 Programa en MATLAB Simulink	56
3.5 Resultados	65

Capítulo 4. Conclusiones.....	81
Capítulo 5. Alineación con los objetivos de desarrollo sostenible	83
Capítulo 6. Recursos empleados y presupuesto	85
Capítulo 7. Trabajos futuros	89
Capítulo 8. Bibliografía.....	91

ANEXOS 94

- I. Irradiación Global Horizontal Mundial
- II. Plano Cajón exterior
- III. Plano Cajón Interior
- IV. Datasheet Max 6675
- V. Arduino UNO Schematics

Índice de figuras

Figura 1. Prototipo de horno solar construido con materiales reciclados.....	9
Figura 2. Esquema de conexiones de la placa de Arduino UNO con los sensores	10
Figura 3. Diagrama de bloques del programa de lectura de temperatura en Simulink.....	10
Figura 4. Evolución temporal de la temperatura durante los días medidos.....	11
Figure 5. Solar oven prototype made from recycled materials	12
Figure 6. Connection diagram of the Arduino UNO board and the sensors	13
Figure 7. Block diagram of the reading temperature program for two sensors.....	13
Figure 8. Internal temperature variation	14
Figura 9. Cronograma seguido durante el trabajo	12
Figura 10. Modelo de cajón de madera	14
Figura 11. Cajón recto con cuatro reflectores.....	15
Figura 12. Cajón inclinado con un ángulo β con reflector superior	15
Figura 13. Interior reflectante con base negra de horno solar artesanal	16
Figura 14. Partes del horno solar artesanal.....	16
Figura 15. Diferentes ángulos en los reflectores dependiendo de la geometría del horno ..	17
Figura 16. Puerta trasera de un horno en construcción.....	18
Figura 17. Caracterización de un horno solar mediante la anotación de temperaturas a lo largo de una hora.	18
Figura 18. Promedios mundiales de largo plazo de la irradiación global horizontal [22]...	19
Figura 19. Promedios anuales de la irradiación global horizontal en África [22].....	20
Figura 20. Desierto del Sahara	21
Figura 21. Tuaregs en el desierto	21
Figura 22. Desiertos de Namibia	22
Figura 23. Mapa físico de Somalia.....	23
Figura 24. Zona de los Grandes Lagos de África	24
Figura 25. Campos de refugiados en África	25

Figura 26. Vista aérea del campo de refugiados de Dadaab, Kenia	25
Figura 27. Vista general del campamento de refugiados de Dadaab [17]	26
Figura 28. Entorno de MATLAB 2020a	27
Figura 29. Entorno de Simulink	28
Figura 30. Entorno de SolidWorks	29
Figura 31. Mapa de Irradiación Global Horizontal de Kenia [22]	31
Figura 32. Principales campos de refugiados en Kenia.....	31
Figura 33. Modelo del horno realizado con SOLIDWORKS	32
Figura 34. Cajón principal de madera reutilizada.....	33
Figura 35. Cajón interior de madera reutilizada	33
Figura 36. Interior de bolsas de snacks.....	34
Figura 37. Pintura anticorrosiva TITAN	35
Figura 38. Cristal con plástico de nevera	36
Figura 39. Cristal enmarcado.....	36
Figura 40. Aumento de la cola blanca entre cristal y marco	37
Figura 41. Lateral del cajón con alcayatas	37
Figura 42. Pinzas unidas con cuerda	38
Figura 43. Medidas del reflector grande.....	39
Figura 44. Medidas del reflector pequeño	39
Figura 45. Limpieza de las cajas con agua y jabón	40
Figura 46. Corte de las bolsas de snacks	41
Figura 47. Bolsas de snacks apiladas	41
Figura 48. Pintado del cajón interior	42
Figura 49. Pintado del cajón exterior	42
Figura 50. Forrado del cajón interior.....	43
Figura 51. Forrado del cajón exterior	43
Figura 52. Cajón interior terminado	44
Figura 53. Cajón exterior terminado.....	44
Figura 54. Recorte del cartón	44
Figura 55. Grapado del aluminio al cartón	45

Figura 56. Refectores.....	45
Figura 57. Desprendimiento de la cubierta de plástico del cristal de nevera	46
Figura 58. Cristal sin marco	46
Figura 59. Corte de las maderas con una segueta.....	47
Figura 60. Pegado de los listones del marco con cola blanca.....	47
Figura 62. Pegado del vidrio al marco.....	47
Figura 63. Vidrio enmarcado.....	48
Figura 64. Cajón exterior con listón de madera.....	48
Figura 65. Horno solar con reflectores	49
Figura 66. Vista en planta del horno	49
Figura 67. Sensor interior	50
Figura 68. Sensor exterior	50
Figura 69. Portada del vídeo del proceso de construcción	50
Figura 70. Termopar tipo K empleado	52
Figura 71. Patillaje del conversor AD MAX6675 para sondas termopar K con compensación de unión fría y comunicaciones SPI [24]	53
Figura 72. Sensor MAX6675	53
Figura 73. Placa de Arduino UNO	54
Figura 74. Pinout Arduino UNO	54
Figura 75. Placa de pruebas.....	54
Figura 76. Esquema de conexiones del hardware con un sensor realizado con tinkercad ...	55
Figura 77. Esquema de conexiones del hardware con dos sensores realizado con tinkercad	56
Figura 78. Captura de la barra de herramientas de Matlab 2020a (I).....	56
Figura 79. Desplegable Add-Ons	57
Figura 80. Add-On Explorer.....	57
Figura 81. Simulink Library Browser	58
Figura 82. Diagrama de bloques del programa en Simulink para un sensor	58
Figura 83. Bloque SPI	59
Figura 84. Configuración del bloque Constant.....	59

Figura 85. Configuración del bloque SPI WriteRead.....	59
Figura 86. Bloque double, demux y ganancia 1	60
Figura 87. Ganancia 2, bloque floor y ganancia 3.....	60
Figura 88. Bloque scope	61
Figura 89. Configuración del bloque scope.....	61
Figura 90. Captura del Scope para el día 18 de abril.....	62
Figura 91. Captura de la barra de herramientas de Matlab 2020a (II).....	63
Figura 92. Diagrama de bloques del programa en Simulink para dos sensores	64
Figura 93. Evolución de la temperatura interior los diferentes días	65
Figura 94. Temperatura interior el día 29 de marzo	66
Figura 95. Temperatura exterior, punto de rocío y humedad relativa el día 29 de marzo...	67
Figura 96. Precipitación, nubosidad y presión el día 29 de Marzo	67
Figura 97. Viento el día 29 de Marzo	68
Figura 98. Temperatura interior el día 6 de abril.....	69
Figura 99. Temperatura el día 6 de abril	69
Figura 100. Humedad el día 6 de abril	70
Figura 101. Evolución de la temperatura interior y exterior el 6 de abril	70
Figura 102. Evolución de la temperatura interior el día 10 de abril.....	71
Figura 103. Humedad el día 10 de abril	71
Figura 104. Temperatura ambiente el 10 de abril.....	72
Figura 105. Evolución de la temperatura interior el día 17 de abril.....	73
Figura 106. Temperatura ambiente el día 17 de abril.....	73
Figura 107. Humedad el día 17 de abril	73
Figura 108. Evolución de la temperatura interior y exterior	74
Figura 109. Evolución de la temperatura el 18 de abril	75
Figura 110. Temperatura exterior el 18 de abril.....	75
Figura 111. Humedad el 18 de abril	76
Figura 112. Evolución de temperatura interior y exterior el 18 de abril	76
Figura 113. Evolución de la temperatura el día 18 de mayo	77
Figura 114. Temperatura ambiente el día 18 de mayo	77

Figura 115. Humedad el día 18 de mayo.....	78
Figura 116. Evolución de la temperatura interior y exterior	78
Figura 117. Evolución de la temperatura interior el 19 de mayo	79
Figura 118. Temperatura el 19 de mayo.....	79
Figura 119. Humedad el 19 de mayo.....	80
Figura 120. Evolución de la temperatura el 19 de mayo	80
Figura 121. Objetivos de Desarrollo Sostenible.....	83
Figura 122. Teja diseñada para su fabricación con el horno	90
Figura 123. Conjunto de seis tejas.....	90

Índice de tablas

Tabla 1. Costes de electrónica	86
Tabla 2. Costes de instrumentación.....	87
Tabla 3. Costes de ingeniería.....	87
Tabla 4. Presupuesto general del proyecto	88

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

La realización de las tareas de la vida cotidiana en países en vías de desarrollo se dificulta debido mayoritariamente a la falta de medios. La escasez de tecnología y de herramientas para el desarrollo hace que la brecha cultural entre estos países y los países del primer mundo crezca de manera exponencial.

En cambio, recursos como madera, tapones de plástico o latas de refresco son relativamente fáciles de obtener en cualquier lugar del mundo. Por ello, este proyecto pretende usar ese tipo de materiales en la fabricación de un horno solar capaz de moldear plástico, contribuyendo así a su reutilización como parte de un desarrollo sostenible.

Gracias a ello se podrán construir piezas a medida con un bajo coste. Entre los usos que se puede dar a estas piezas está la fabricación de prótesis, elementos básicos de construcción para refugios o el modelado de piezas de recambio de maquinaria sencilla.

1.1 OBJETIVOS

El objetivo principal de este proyecto es el diseño, construcción y caracterización de un horno solar. Para su realización se divide este proyecto en tres objetivos:

Primer objetivo: Diseño del horno para que alcance una temperatura elevada.

Segundo objetivo: Fabricación de un prototipo a partir de materiales reciclados.

Tercer objetivo: Analizar la distribución de la temperatura interior y en relación a la temperatura ambiente a lo largo de un periodo de exposición solar.

1.2 MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

La motivación para la realización de este proyecto es doble. Por un lado, la de proporcionar herramientas y asistencia en lugares de países de desarrollo especialmente afectados como los campos de refugiados, en los que hay una elevada concentración de personas y los recursos son escasos. Por otro lado, se pretende contribuir al reciclaje y la economía circular ya que los materiales usados serán reciclados y la materia prima, plástico. Este ciclo comienza cuando los deshechos de la actividad vital son usados para fabricar otras piezas que, una vez terminada su vida útil, se podrán volver a moldear y darles otro uso.

1.3 METODOLOGÍA

En este apartado se hará un resumen del cronograma seguido en el desarrollo de este proyecto. Para ello se ha dividido el proyecto en varias etapas, que las conforman tareas diversas. Estas etapas y tareas son:

- Búsqueda de información
 - Estado del arte de hornos solares
 - Investigación de aplicaciones del horno
 - Investigación de formas de monitorizar temperatura con Arduino
 - Investigación de plásticos
 - Investigación de construcción del molde
 - Investigación de materiales de construcción
 - Investigación de componentes electrónicos
 - Introducción con Arduino en MATLAB
 - Investigación de aislamiento del horno
- Construcción del prototipo
 - Modelo CAD 3D del horno
 - Construcción del horno
 - Vídeo de proceso de construcción
 - Montaje del vídeo de construcción del horno

- Medición de temperatura
 - Programar lector de temperatura
 - Instalación de sensores exteriores e interiores en el horno
 - Recogida de datos
- Redacción de memoria y resultados
 - Lista de materiales de construcción del horno
 - Lista de recursos
 - Preparar bibliografía de estado del arte
 - ANEXO A (redacción y entrega)
 - Presupuestar material mecánico y electrónico
 - ANEXO B (redacción y entrega)
 - Análisis de resultados y modelo de distribución de temperatura
 - Redacción de la memoria

Para la consecución de estos objetivos se ha seguido el siguiente cronograma, presentado como diagrama de Gantt:

Planificación de las actividades realizadas durante todo el trabajo

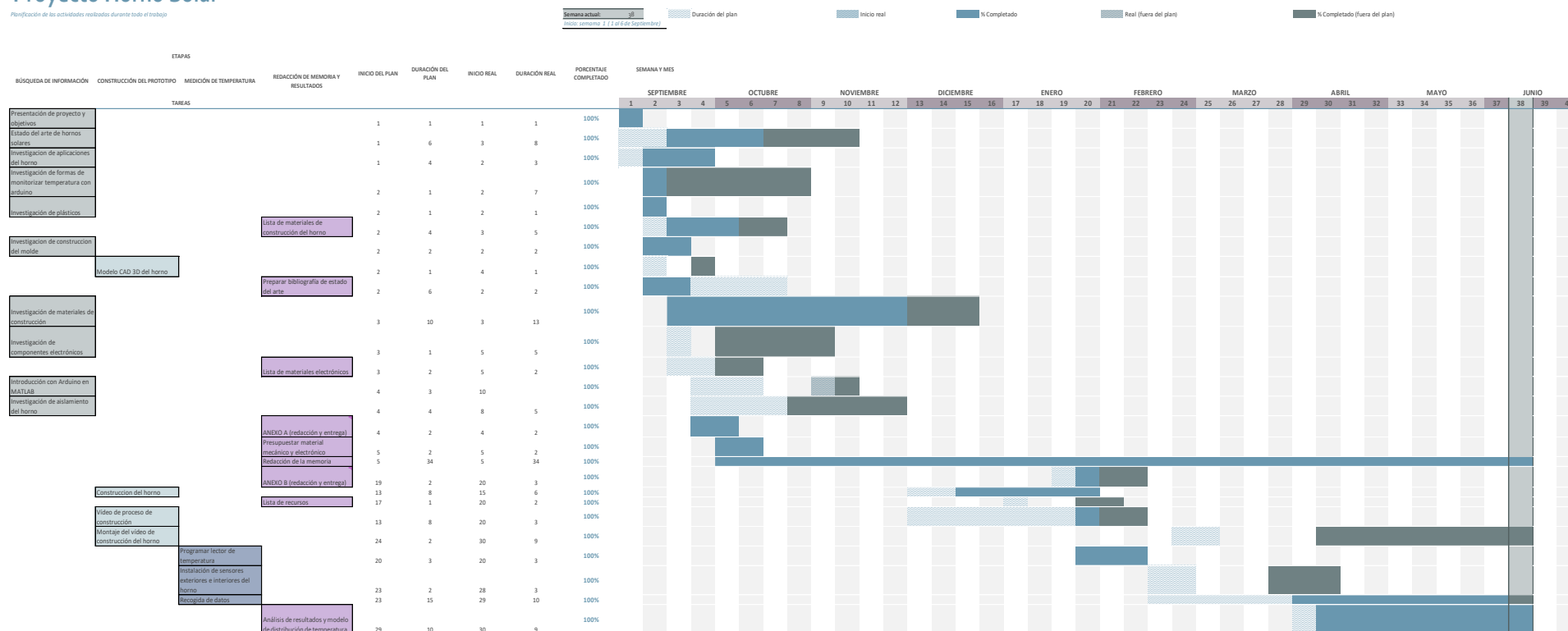


Figura 9. Cronograma seguido durante el trabajo

Capítulo 2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

2.1 HORNOS SOLARES ARTESANALES

Para el diseño del horno, primero se desarrollaron estudios sobre los diferentes tipos de hornos solares artesanales fabricados hasta el momento, poniendo especial interés en los materiales utilizados, las partes que tienen y también cómo se mide la evolución de su temperatura interior.

2.1.1 PARTES

- Cajón principal

El cajón principal del horno tiene como función albergar el recipiente que se calentará a posteriori, además sus paredes reflejan los rayos solares que entran por el material translúcido de la tapa, haciendo que reboten hasta ser absorbidos por el material que se calienta. Sus medidas varían considerablemente entre los diferentes diseños populares.

Los materiales usados hasta la fecha para esta parte del horno, suelen ser madera o cartón, ya que pueden ser fácilmente obtenidos y manipulados para obtener las dimensiones deseadas. Ambos soportan altas temperaturas sin arder (Cartón 250°C y madera 400°C), y son buenos aislantes térmicos.

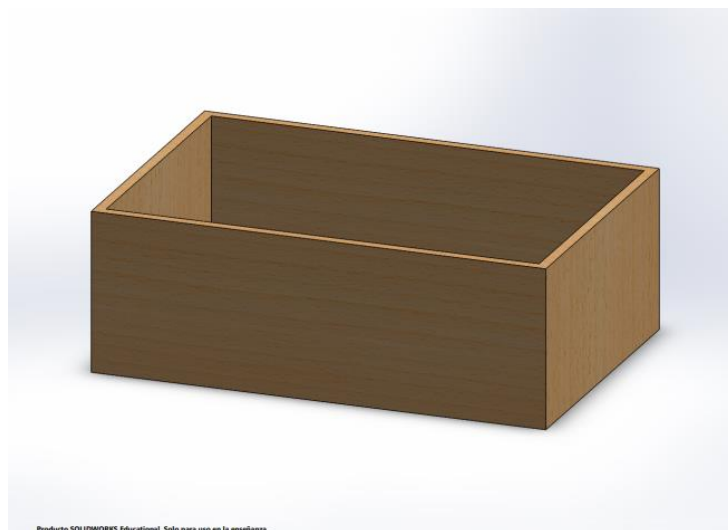


Figura 10. Modelo de cajón de madera

Existe la posibilidad de colocar dos cajones uno en el interior del otro, para que el aire entre ambos actúe como aislante y se reduzca considerablemente la pérdida de calor que abandona el cajón interior. Además de aire, se valora la posibilidad de utilizar otro tipo de aislante como serrín, virutas de madera o papel de periódico entre ambos cajones. Otros aislantes que se usan comúnmente para calefactores y hornos son la lana de roca o lana mineral (SW) y las planchas de poliestireno.

La forma del cajón también es un elemento para tener en cuenta. Se puede recortar la madera para que quede un cajón inclinado, esto permitirá posicionar el horno de forma que los rayos del sol entren directamente y lleguen al elemento a calentar sin rebotar en ninguna pared. Si el cajón es recto, suele llevar elementos reflectores que concentran los rayos solares en el interior de este.



Figura 11. Cajón recto con cuatro reflectores



Figura 12. Cajón inclinado con un ángulo β con reflector superior

○ Interior

El interior del horno debe estar recubierto por un material reflectante, que permite que reboten los rayos solares en él y acaben en el elemento a calentar.

Los materiales utilizados para esta aplicación son generalmente láminas de aluminio o pintura reflectante.

Para la base interior del horno se suele utilizar este material reflectante, o también pintura o cartulina negra. El color negro absorbe todas las longitudes de onda emitidas por el sol y esto facilita que la base se caliente, transmitiendo el calor al recipiente interior.



Figura 13. Interior reflectante con base negra de horno solar artesanal

○ Cubierta

Un elemento fundamental para que los rayos solares puedan introducirse en el cajón es la cubierta. Para ser capaz de ello, ésta debe de ser de un material transparente, como vidrio o plástico. Las cubiertas de vidrio suelen ser más gruesas y por tanto aíslan mejor el calor, impidiendo que se escape por la tapa.



Figura 14. Partes del horno solar artesanal

○ Adhesivo

Para ensamblar todas las partes del horno, se necesita un adhesivo o similar. Los más comunes son cola blanca, cinta americana y silicona. Hay diferentes opciones adecuadas

para elegir adhesivos, pero lo más importante a tener en cuenta es que soporte altas temperaturas, ya que este irá tanto en el interior como en el exterior del horno.

○ Cubierta reflectora externa

Como se ha citado anteriormente, el uso de cubiertas reflectoras externas es bastante frecuente, ya que permite recoger rayos solares viniendo de diferentes direcciones. Para su correcto funcionamiento debe estar posicionada con un cierto ángulo. Ese ángulo varía en función de la posición del sol y las dimensiones de la base y de los reflectores.

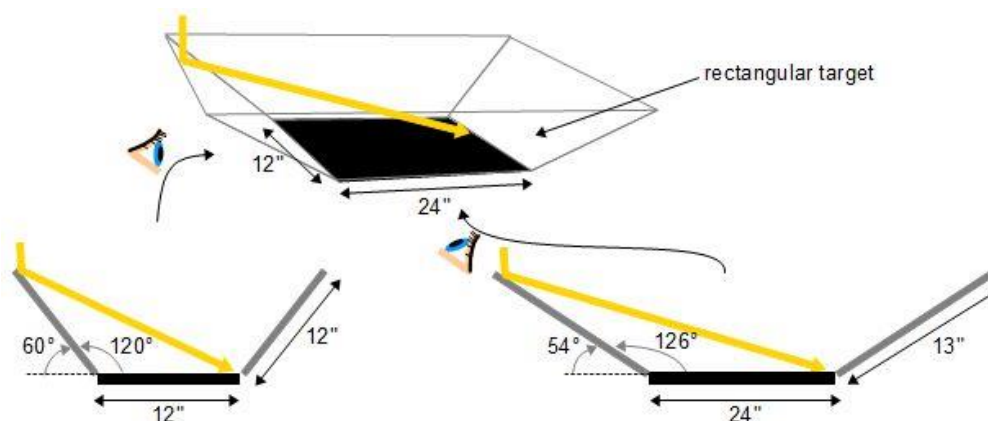


Figura 15. Diferentes ángulos en los reflectores dependiendo de la geometría del horno

○ Puerta trasera

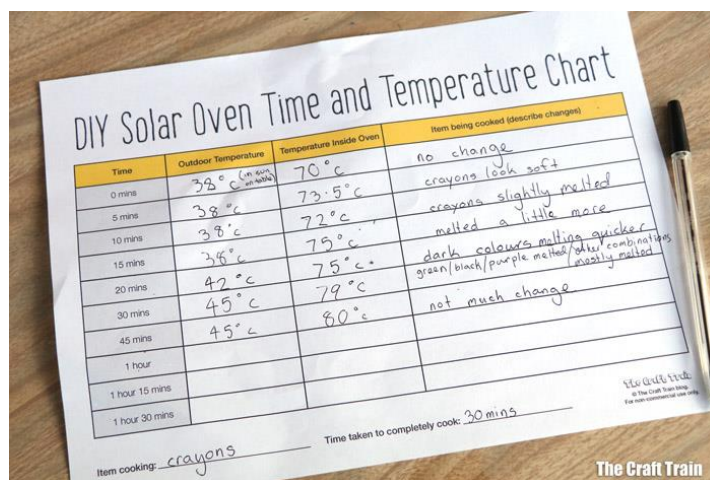
Como parte del cajón exterior, se puede incorporar una puerta trasera para así mantener sellada la cubierta superior y utilizar esta puerta como acceso al interior del horno. Introducir esta puerta presenta una mayor dificultad, pues requiere cortar el cajón exterior para luego instalar el mecanismo de apertura y cierre de la puerta. Además, ha de estar bien fijada al resto del cajón para evitar fugas de calor.



Figura 16. Puerta trasera de un horno en construcción

2.1.2 CARACTERIZACIÓN

La medición de temperatura de los hornos solares artesanales fabricados hasta el momento es prácticamente inexistente. En aquellos que sí incorporan medidor de temperatura, el dispositivo empleado para ello suele ser similar a un termómetro de horno, que permite medir la temperatura instantáneamente y con una precisión muy baja. En cuanto a la recopilación de estas temperaturas a lo largo del tiempo, lo único que se encuentra es la escritura a mano de la temperatura medida en el horno cada pocos minutos, un proceso que está muy lejos de ser automático y sencillo.



Time	Outdoor Temperature	Temperature Inside Oven	Item being cooked (describe changes)
0 mins	38°C	70°C	no change
5 mins	38°C	73.5°C	crayons look soft
10 mins	38°C	72°C	crayons slightly melted
15 mins	38°C	75°C	melted a little more
20 mins	42°C	75°C	dark colours melting quicker
30 mins	45°C	79°C	green/black/purple melted/other combinations
45 mins	45°C	80°C	mostly melted
1 hour			not much change
1 hour 15 mins			
1 hour 30 mins			

Item cooking: crayons

Time taken to completely cook: 30 mins

The Craft Train

Figura 17. Caracterización de un horno solar mediante la anotación de temperaturas a lo largo de una hora.

2.2 ENERGÍA SOLAR EN EL MUNDO

La energía solar es un recurso real y accesible en todas partes del mundo, a continuación, se procede al estudio de la irradiación solar global y posteriormente en el continente africano.

La irradiación global horizontal (GHI) es una forma de medir la cantidad de energía solar aprovechable en la superficie terrestre para generación eléctrica y otras aplicaciones energéticas. Se expresa en forma de kilovatios hora por metro cuadrado.

El mapa adjunto en el ANEXO Parte I1. I representa el promedio total diario/anual de la irradiación global horizontal (GHI) calculado durante un periodo de entre 18 y 25 años. En este mapa se puede observar cómo los niveles mundiales diarios varían entre 2,2 kWh/m², alcanzando estos mínimos en las zonas norte del globo, y 7,4 kWh/m² de máxima que se registran en el desierto del Sáhara, en África del Este y del Sur, Australia, en la Cordillera de los Andes, en México y en la península Arábiga.

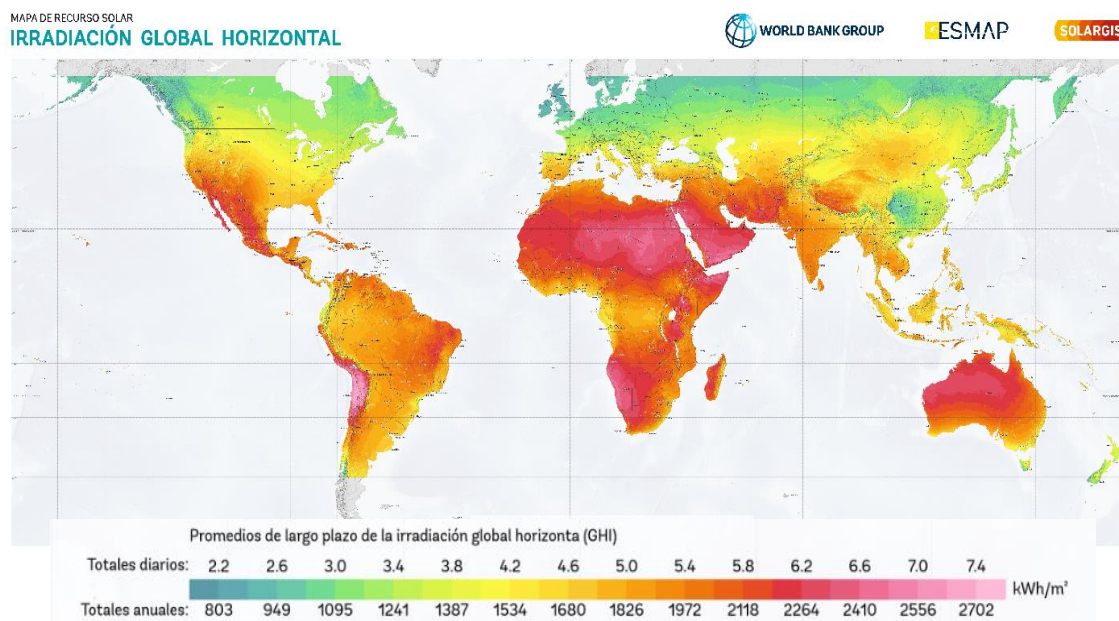


Figura 18. Promedios mundiales de largo plazo de la irradiación global horizontal [22]

Como se puede observar en el mapa, el continente africano recoge en promedio los datos de máxima irradiación solar, esto hace que sea el lugar idóneo para la implantación del horno,

ya que se dan las condiciones ideales: posibilidad de exposición solar prolongada y elevadas cantidades de radiación en todas las épocas del año.

Profundizando en África, o el llamado ‘Continente del Sol’, se observan varias zonas con un gran potencial solar, concretamente cuatro zonas a estudiar. La primera se corresponde con la parte más Oriental del desierto del Sáhara, la segunda con el país de Namibia y territorios fronterizos, la tercera con Somalia y la última con los territorios de Kenia, Uganda y Norte de Tanzania.

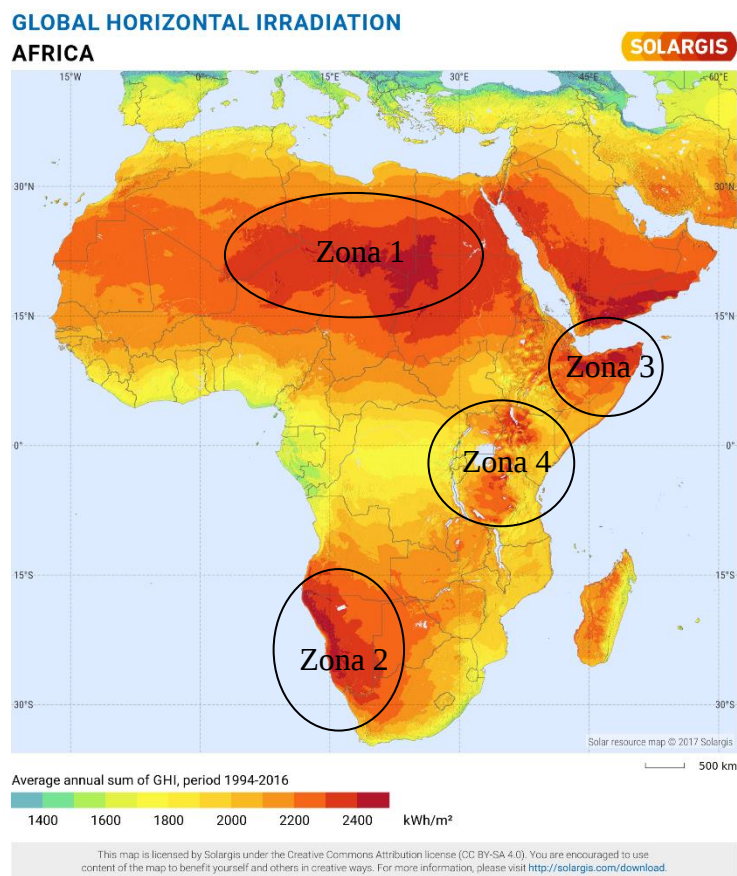


Figura 19. Promedios anuales de la irradiación global horizontal en África [22]

2.2.1 SÁHARA ORIENTAL

Con 9,2 millones de km², el desierto del Sahara es el desierto cálido más grande del mundo. Sus temperaturas rondan entre los 55°C y -15°C a lo largo del día. Estas temperaturas tan extremas y la escasez de agua provocan que esta sea una de las zonas con menos densidad de población de África. Los habitantes del Sahara Oriental son en su mayoría pueblos nómadas, que se dedican a la artesanía (fabricación de alfombras Bereberes y trabajo del cuero) y a la ganadería.



Figura 20. Desierto del Sahara



Figura 21. Tuaregs en el desierto

2.2.2 NAMIBIA

Este país tiene varias ciudades, entre ellas su capital Windhoek que cuenta con 250.000 habitantes. El clima del país es seco y desértico, salvo por la zona norte, dónde se encuentra un parque natural con variedad vegetal y animal de especies de la sabana africana. Salvo por

el norte del país, Namibia se localiza en una zona árida y calurosa, dominada por el desierto del Namib y seguido del desierto del Kalahari. En estos desiertos la temperatura puede alcanzar hasta los 40°C en épocas más calurosas y descender a los 4°C el resto del año. Generalmente la lluvia es escasa y no hay nubosidad a lo largo del día.



Figura 22. Desiertos de Namibia

2.2.3 SOMALIA

Situada en el Cuerno de África, Somalia es el país más oriental del continente africano. El territorio somalí se compone principalmente de llanuras y mesetas y posee un clima cálido a lo largo de todo el año. Las precipitaciones son escasas, siendo el terreno árido en su mayoría aún encontrándose próximo al Océano Índico.



Figura 23. Mapa físico de Somalia

La población somalí se dedica en su mayoría al pastoreo nómada y la única agricultura existente en el país se encuentra próxima a las zonas de los dos ríos principales, dónde hay lluvias moderadas. El país está viviendo actualmente una época de crisis política y social gravísima y muchos habitantes han tenido que desplazarse a campos de refugiados en Kenia.

2.2.4 KENIA, UGANDA Y TANZANIA

El área marcada como ‘Zona 4’ se corresponde con parte de la zona de los Grandes Lagos del continente africano y se encuentra en los países de Kenia, Uganda y Tanzania. Esta zona coincide también con el Gran Valle del Rift, una gran cordillera de origen volcánico. Debido al terreno fértil que le confiere la actividad volcánica pasada y su clima templado causado por la gran altitud sobre el mar, esta zona es de las más densamente pobladas del mundo.

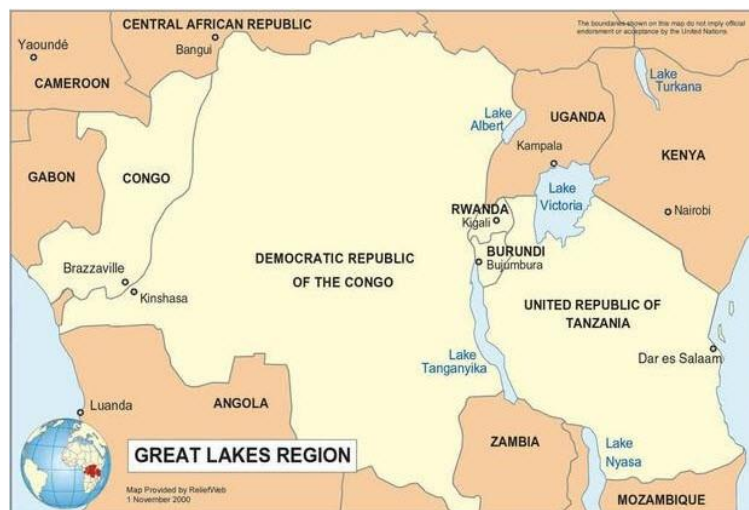


Figura 24. Zona de los Grandes Lagos de África

En la zona próxima al Lago Victoria y los demás lagos, las lluvias son abundantes y hay un clima fresco durante todo el año a pesar de encontrarse en el Ecuador. En cambio, en la zona noreste, el clima es más bien árido y con temperaturas elevadas, aunque menores a las de las zonas que se encuentran a la misma latitud.

2.3 CAMPOS DE REFUGIADOS

Según datos de ACNUR, ya había 79,5 millones de personas desplazadas a la fuerza en el mundo a finales de 2019. Esto es aproximadamente el 1% de la población tiene condición de refugiado. De todas esas personas, el 26% son africanas. Entre las causas que llevan a las personas a huir de sus hogares se encuentran principalmente conflictos armados, desastres naturales o condiciones climatológicas adversas para el desarrollo natural de la vida.

Debido al gran número de personas desplazadas, se han construido campos de refugiados que permiten acoger a estas personas durante un tiempo limitado. Un estudio de ACNUR reveló que la estancia promedio de una persona en un campo de refugiados es de 17 años, datos poco esperanzadores ya que un campo de refugiados no es un lugar idóneo para vivir y usualmente las condiciones son precarias. En África hay más de 10 campos de refugiados activos, la mayoría en la zona Este.

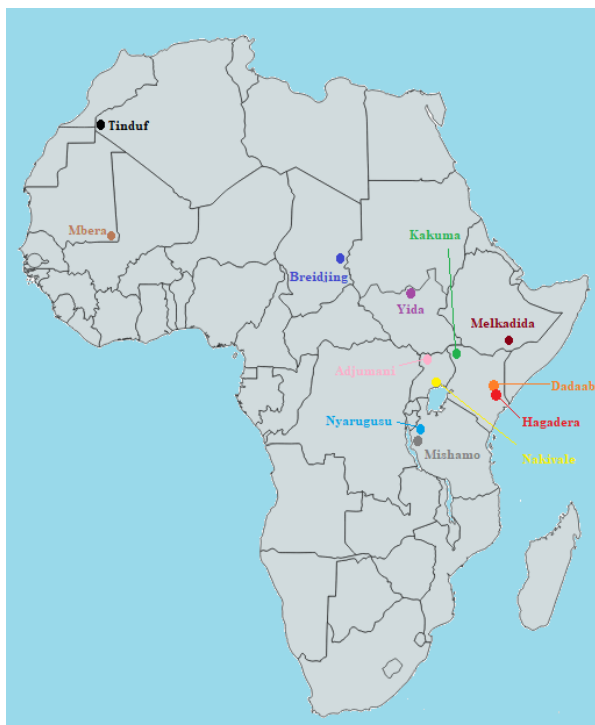


Figura 25. Campos de refugiados en África

El país que cuenta con más refugiados del continente africano es Kenia, que posee 3 asentamientos: Kakuma, Hagadera y Dadaab, siendo este último el mayor campo de refugiados del mundo, con más de 300.000 refugiados somalís.



Figura 26. Vista aérea del campo de refugiados de Dadaab, Kenia



Figura 27. Vista general del campamento de refugiados de Dadaab [17]

2.4 ANÁLISIS DE PLÁSTICOS Y MOLDES

El plástico que se busca debe ser termoplástico, que es aquel que a altas temperaturas puede fundirse, permitiendo luego ser moldeado para formar otras piezas. Las botellas de plástico están formadas por dos tipos diferentes de plástico: el tapón es Polietileno de alta densidad y el cuerpo es de Ftalato de Polietileno. Para las piezas y el proceso de fabricación del que disponemos, usaremos los tapones de las botellas.

Los moldes usados serán latas de aluminio previamente cortadas y conformadas para fundir el plástico en su interior. La ventaja de usar latas es que son fácilmente manipulables y se encuentran en cualquier rincón del mundo.

2.5 HERRAMIENTAS UTILIZADAS

En este apartado se quiere hacer una introducción a las herramientas de software utilizadas para la caracterización del horno y el diseño. Estos programas son MATLAB con el complemento de Simulink y SOLIDWORKS, cuyas licencias de estudiante se han obtenido a través de la Universidad Pontificia de Comillas.

2.5.1 MATLAB & SIMULINK

MATLAB surgió en 1984 de la necesidad de los ingenieros y científicos de disponer de entornos de cálculo más potentes y productivos que los disponibles en la época proporcionados por lenguajes como Fortran y C. Hoy en día MATLAB cuenta con su propio lenguaje, el lenguaje de programación M, y es usado por más de 100.000 organizaciones y 5 millones de usuarios.

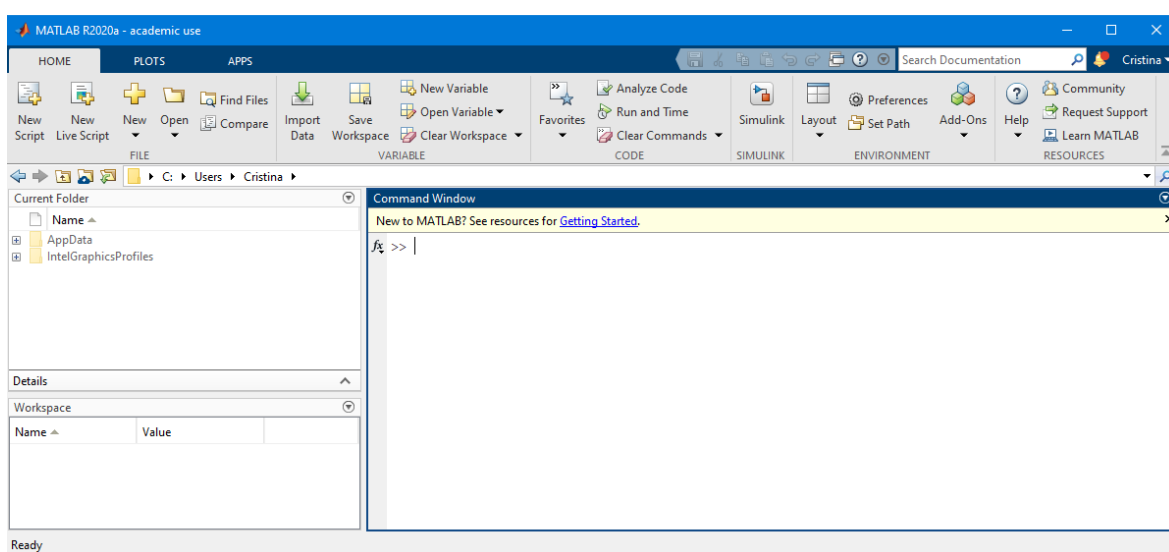


Figura 28. Entorno de MATLAB 2020a

Simulink es un entorno de simulación mediante bloques que permite explorar, hacer pruebas e implementar diseños en una fracción del tiempo que se tardaría en programarlos en C, C++ o código HDL (Hardware description language).

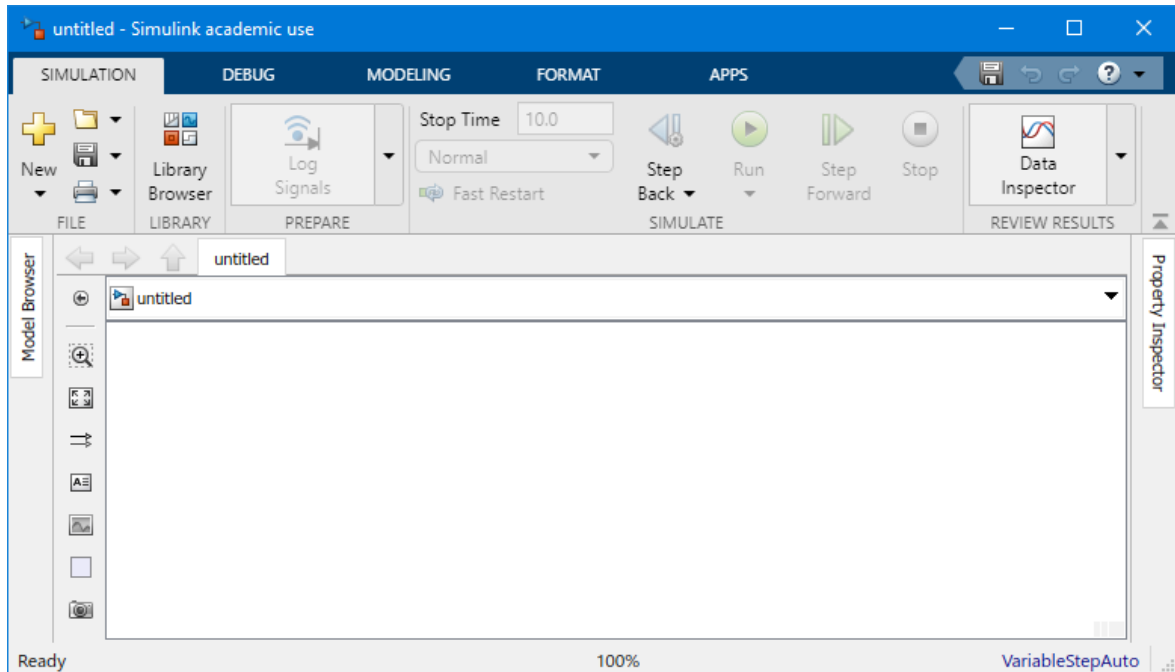


Figura 29. Entorno de Simulink

2.5.2 SOLIDWORKS

SolidWorks fue fundado en 1993, pero no fue hasta noviembre de 1995 cuando salió al mercado la primera versión. Este software de CAD es pionero entre otros porque permite hacer diseños en 3D y está disponible en Windows a un precio asequible: pasó de costar 18mil dólares a 4mil. SolidWorks ha cambiado la forma en la que los ingenieros dan vida a sus creaciones, desde que salió ha tenido 26 versiones diferentes, cada una con más capacidades que su predecesora. Este software además de permitir diseñar de manera intuitiva tiene otros complementos como *Electrical*, dónde se permite introducir circuitos dentro del diseño o *Simulation*, dónde se puede hacer pruebas con cargas, esfuerzos u otras condiciones en las que estarían sometidos los diseños en el mundo real.

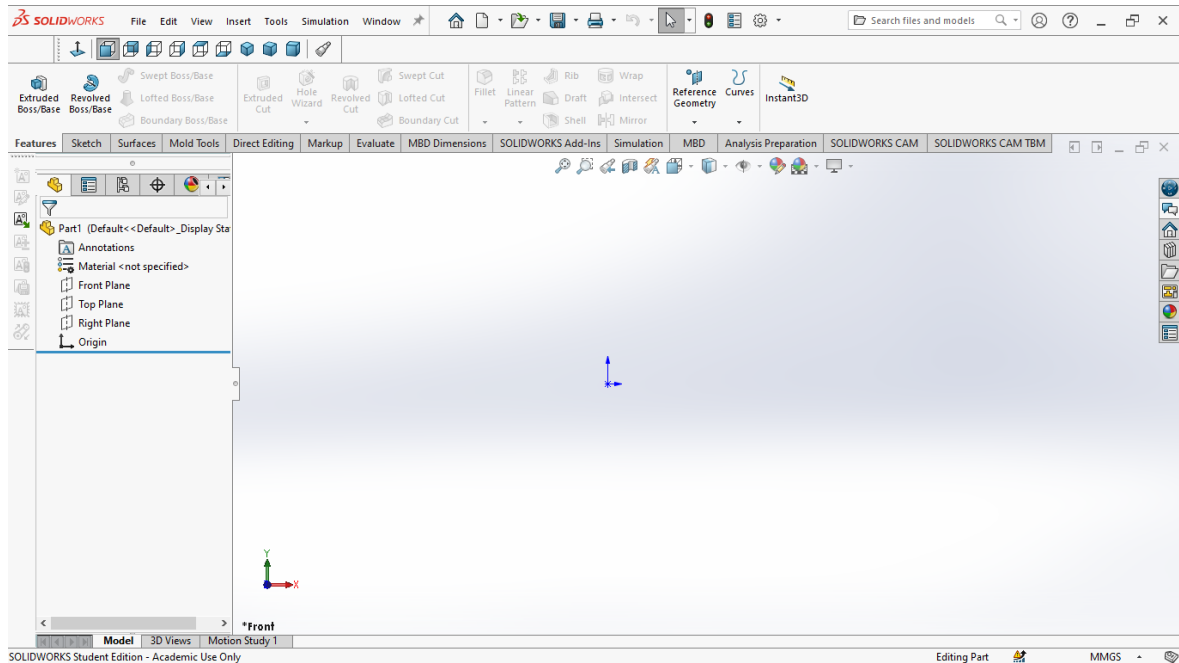


Figura 30. Entorno de SolidWorks

Capítulo 3. MEMORIA DEL TRABAJO

3.1 JUSTIFICACIÓN

Los hornos solares artesanales existentes son utilizados para cocina a baja temperatura en entornos ecológicos o como simples experimentos. En este proyecto se presenta el horno artesanal como una herramienta capaz de jugar un papel fundamental en muchos aspectos del día a día de las personas en países en vías de desarrollo. La ventaja principal del horno artesanal fabricado con materiales reciclados es precisamente que su coste de fabricación es prácticamente inexistente, ya que la materia prima se puede encontrar fácilmente en estas zonas. Además, tiene bajo mantenimiento y la energía de la que se nutre, la energía solar fotovoltaica, es un recurso ilimitado y abundante en estas zonas, mencionadas en el apartado de “Energía solar en el mundo.”

Como lugar de elección para implantar el horno solar artesanal, después de contrastar los datos de radiación solar con los de zonas en emergencia social, se ha optado por Kenia. Este país posee altos niveles de irradiación global horizontal y poca nubosidad lejos de la costa y de la zona de los lagos, haciendo que las temperaturas sean altas y la exposición al sol prolongada. Además, Kenia cuenta con dos de los mayores campos de refugiados del mundo, albergando a más de 400.000 personas en total, cumpliendo así el requisito de ser una zona en peligro de un país en vías de desarrollo.

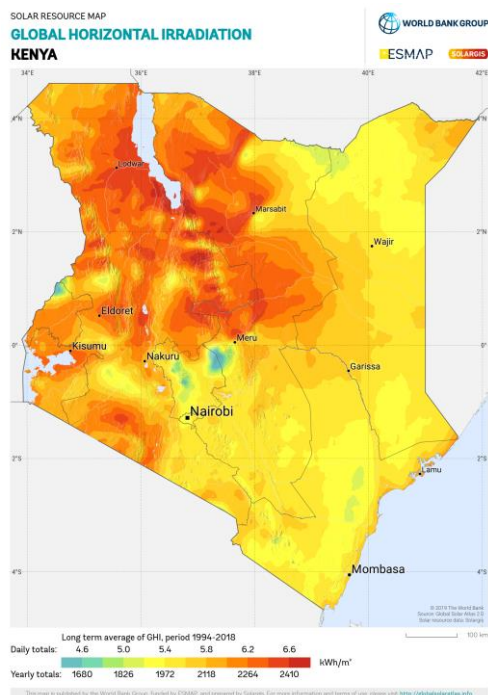


Figura 31. Mapa de Irradiación Global Horizontal de Kenia [22]

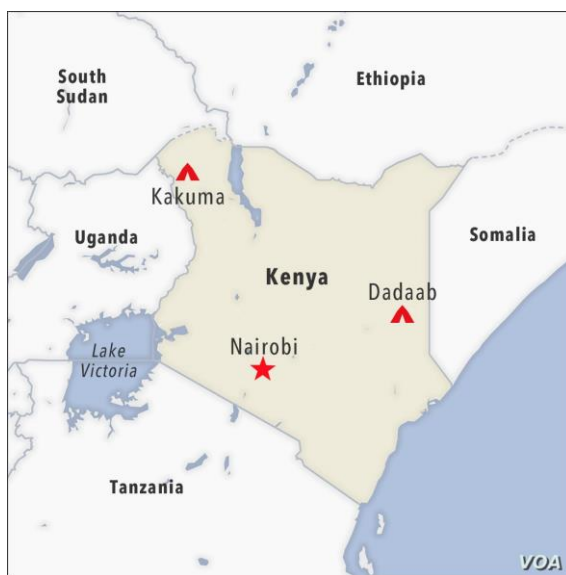


Figura 32. Principales campos de refugiados en Kenia

3.2 DISEÑO DEL PROTOTIPO

3.2.1 MODELO Y PLANOS EN SOLIDWORKS

Un modelo de conjunto de cajón exterior, interior y cristal se construyó con el software de CAD SolidWorks. Los planos de ambos cajones se adjuntan en los ANEXOS.

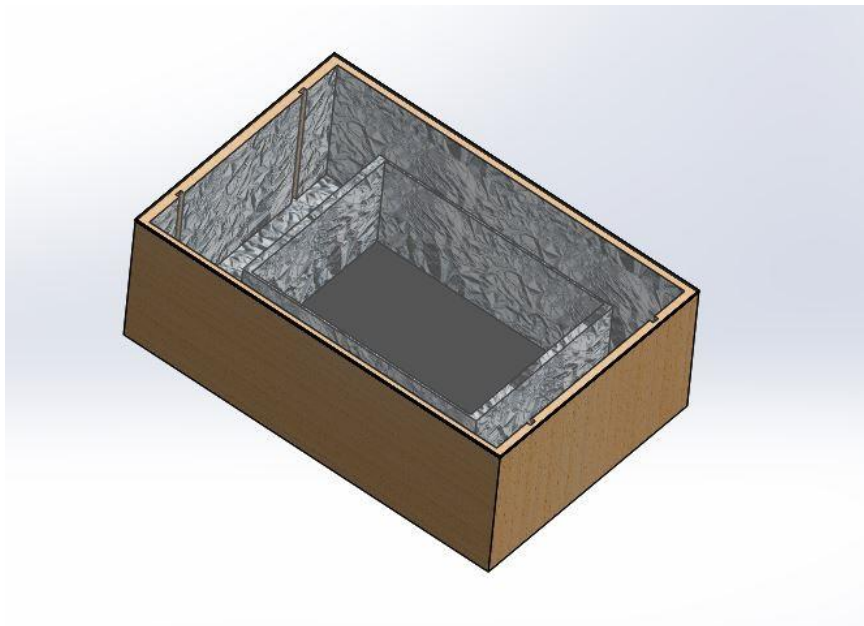


Figura 33. Modelo del horno realizado con SOLIDWORKS

3.2.2 ELECCIÓN DE MATERIALES Y FORMA

Los criterios seguidos para el diseño del prototipo siguen dos líneas: la primera que sean materiales reciclados y accesibles en zonas desfavorecidas y la segunda, que sean capaces de proporcionar el entorno idóneo para recolectar los rayos solares y llegar a una adecuada retención de calor.

Cajón principal y cajón interior

Para el cajón exterior [Figura 34], se opta por utilizar una caja de madera de dimensiones 500x330x175, con un espesor de entre 7mm en el fondo y 9mm en los laterales. La función inicial de esta caja era la de transporte de vino embotellado y fue sencilla de conseguir. Al

estar hecha de madera, facilita su posterior pintado con pintura negra [Figura 49] y también la incorporación de clavos para centrar los deflectores, [Figura 41] explicados más adelante.

El cajón interior [Figura 35] también consta de una caja de madera reutilizada de dimensiones 320x227x133 y con un espesor de 10mm en el fondo y 3mm en los laterales.

El reciclaje de la madera es uno de los más limpios y económicos. No necesita ningún tratamiento del material previo a los físicos con maquinaria, ni tratamientos químicos. [7]

Además, su porosidad hace que sea buen aislante térmico, siendo capaz de retener el calor en el interior de la caja y minimizar las fugas. Estas propiedades de la madera, hacen que la elección de este material para el cajón principal y el interior sea adecuado.



Figura 34. Cajón principal de madera reutilizada



Figura 35. Cajón interior de madera reutilizada

Recubrimiento interior y exterior

Para conseguir que los rayos solares se reflejen y acaben atrapados en el interior del horno, hace falta dos tipos de recubrimientos. Uno será reflectante y otro negro.

El recubrimiento reflectante irá colocado en el interior del cajón exterior, el exterior del cajón pequeño y en los deflectores. Para que cumpla esta función deberá estar formado por un material con una alta reflectividad. El aluminio refleja más de un 90% de la radiación visible, por lo que es un material idóneo para recubrir el interior del horno solar. Además, el aluminio es el metal más abundante de la corteza terrestre, y se puede encontrar en varios productos de nuestro día a día. [11] Para este propósito, se usará el aluminio que se encuentra en la capa interna de bolsas de snacks, previamente vaciadas y lavadas.



Figura 36. Interior de bolsas de snacks

Este tipo de bolsas son complejas de reciclar y en la naturaleza tardan entre 100 y 200 años en degradarse por sí solas. Esto se debe a que tienen hasta siete capas, en las que se intercalan sobre todo el aluminio y diferentes tipos de plástico, como el polipropileno (PP) o el tereftalato de polietileno (PET) [15] Su uso en la construcción del revestimiento del horno, da una nueva vida a este producto que, si no sería incinerado o desechado en un vertedero, pudiendo llegar hasta todo tipo de ecosistemas con las consecuencias que eso conlleva.

El otro tipo de recubrimiento corresponde a uno realizado con pintura negra mate. Lo que se consigue con este tipo de pintura es que toda la radiación que incide sobre ella se absorba, haciendo que la superficie de ésta se caliente. Con esto se consigue que la cara externa del cajón exterior se caliente y minimizar las pérdidas de calor por esas caras. En cambio, en la base del cajón interior, la pintura negra facilita que esa superficie alcance muy altas temperaturas y se transmita el calor hacia el molde por conducción. [13] En este caso se ha podido conseguir una pintura anticalórica. La pintura anticalórica es un tipo de esmalte hecho con resinas especiales que resisten a altas temperaturas, pueden llegar a resistir máximas de entre 350 y 600 °C. Se usa para decorar y proteger objetos que alcancen temperaturas elevadas, tales como: chimeneas, barbacoas, estufas, calderas o tuberías de calefacción por lo que es perfecta para nuestra aplicación. [4]



Figura 37. Pintura anticalórica TITAN

Cubierta

La pieza usada de cubierta debe ser lo suficientemente espesa para retener el calor, pero a la vez transparente para que penetren los rayos solares. Para ello se usará un vidrio de 3mm de espesor. Este cristal antes pertenecía a la balda de una nevera y se ha reacondicionado para este propósito quitándole los bordes de plástico y poniéndole luego un marco de madera para evitar cortes con sus aristas. [Figura 62]



Figura 38. Cristal con plástico de nevera



Figura 39. Cristal enmarcado

Adhesivo

En el proceso de construcción se han usado seis formas de adhesivos diferentes, elegidos en función de las características que requería cada unión y también ajustándose a su disponibilidad en países en zonas desfavorecidas.

Cola blanca: Se ha empleado en el marco del cristal, permitiendo una eficaz adherencia de la madera entre sí y también con el vidrio. [Figura 60]



Figura 40. Aumento de la cola blanca entre cristal y marco

Clavos y alcayatas: Empleados para la unión del listón tope de madera a la caja y también usados para hacer de tope y sujetar los cartones reflectantes exteriores.



Figura 41. Lateral del cajón con alcayatas

Cinta americana: Utilizada para forrar con las bolsas de snacks el interior de los cajones [Figura 50]

Grapas: Fijan el aluminio usado en los reflectores a la base de éstos de cartón.

Pinzas y cuerda: Constituyen un mecanismo regulable y sencillo para ajustar el ángulo de los reflectores con respecto al plano horizontal.



Figura 42. Pinzas unidas con cuerda

Goma elástica: Usada para sujetar los paneles contra la caja exterior. Esta forma de sujeción temporal permite que los paneles se puedan extraer y transportar fácilmente separados del cajón principal.

Cubierta reflectora externa

Compuesta por cuatro paneles recortados en cartón y forrados con aluminio, unido mediante grapas al cartón. Los paneles se fijan entre sí por el sistema de pinzas y cuerda citado anteriormente y al cajón, mediante la goma elástica.

Hay dos paneles trapezoidales de dimensiones 94,5x49,5mm con un extremo rectangular de 49,5x11mm que se une al cajón exterior y dos paneles de 83x33mm, con un extremo rectangular de 33x10,5mm. Estas medidas se eligieron en función del cartón disponible. Se podrían fabricar de diferentes tamaños siempre que permitan la reflexión de los rayos solares al interior del horno.

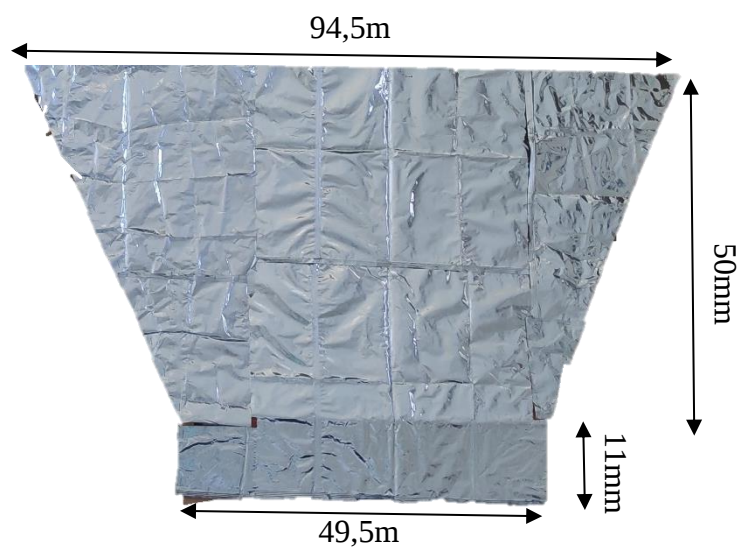


Figura 43. Medidas del reflector grande

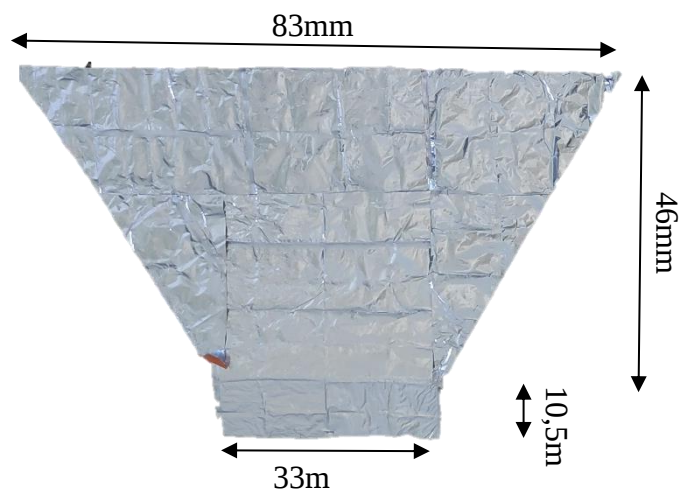


Figura 44. Medidas del reflector pequeño

Puerta trasera

En este caso se ha optado por no incorporar una puerta trasera, ya que el vidrio enmarcado cumple la función de puerta. Además, para poder cortar la madera, serían necesarias herramientas específicas que no están disponibles en cualquier lugar.

3.3 PROCESO DE CONSTRUCCIÓN

3.3.1 RESUMEN

En este apartado se detallarán los pasos seguidos en la construcción del horno, en orden secuencial.

1. Limpieza de las cajas de madera

Antes de proceder a pintar o a unir el aluminio, se limpiaron tanto las cajas de madera como las bolsas. Las cajas se limpiaron ambas con agua y jabón con la ayuda de un cepillo.



Figura 45. Limpieza de las cajas con agua y jabón

2. Corte de las bolsas de snacks

Para tener el aluminio de las bolsas preparado para forrar los cajones, primero se ha realizado un corte en el lateral de cada bolsa y después se han extendido todas las bolsas para evitar las arrugas en el material.



Figura 46. Corte de las bolsas de snacks



Figura 47. Bolsas de snacks apiladas

3. Pintura del fondo del cajón pequeño y los laterales exteriores del cajón grande

La pintura empleada es negro mate extendida con brocha por la superficie previamente limpiada. Después se deja secar unas horas.



Figura 48. Pintado del cajón interior

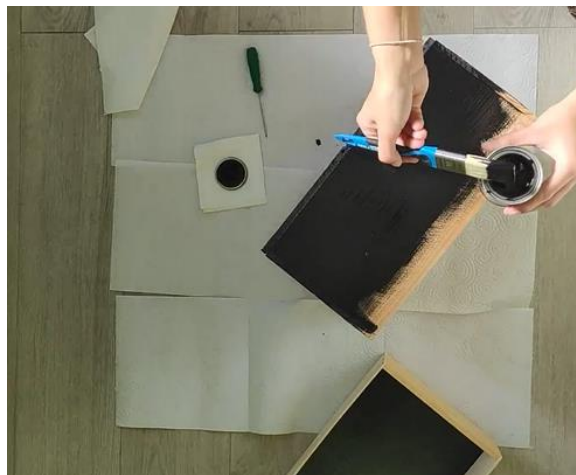


Figura 49. Pintado del cajón exterior

4. Forrado de ambos cajones con aluminio

Se realizaron varias capas de forrado para que no quedaran huecos de madera visibles. Para unir el aluminio a la caja se usó cinta americana.



Figura 50. Forrado del cajón interior



Figura 51. Forrado del cajón exterior

Resultado de los dos cajones:



Figura 52. Cajón interior terminado



Figura 53. Cajón exterior terminado

5. Recorte del cartón y forrado con aluminio para crear los reflectores



Figura 54. Recorte del cartón



Figura 55. Grapado del aluminio al cartón

Resultado de los reflectores:



Figura 56. Reflectores

6. Limpieza y desarmado del recubrimiento del cristal

Para quitar el plástico que tenía el cristal se emplearon unos alicates. El marco se desprendió fácilmente y la limpieza se hizo cuidadosamente para no dañar el vidrio.



Figura 57. Desprendimiento de la cubierta de plástico del cristal de nevera



Figura 58. Cristal sin marco

7. Enmarcado del cristal

Para crear el marco del cristal se compró un listón de madera con perfil de escuadra. Gracias a esta forma, fue sencillo crear un tope para sujetar el cristal en su sitio. Se cortaron cuatro piezas con una següeta, y luego se pegaron con cola blanca para madera.



Figura 59. Corte de las maderas con una segueta

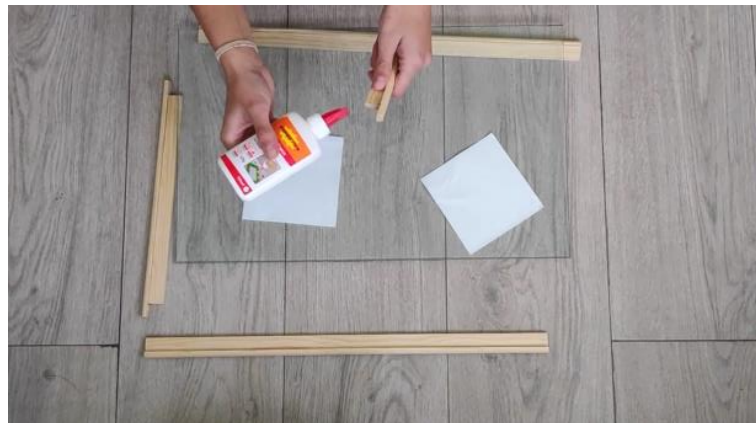


Figura 60. Pegado de los listones del marco con cola blanca

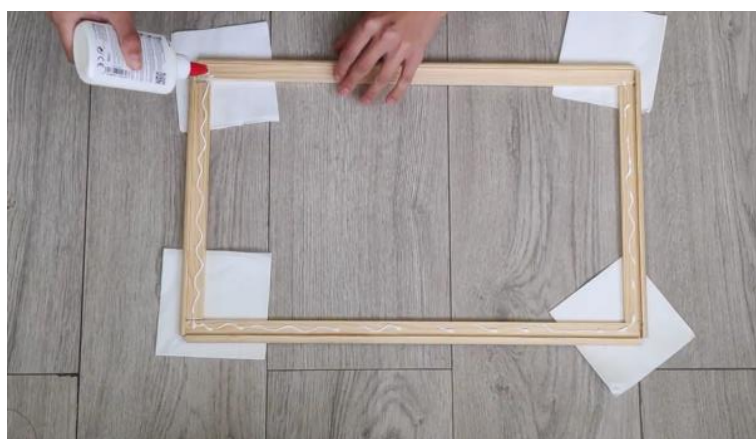


Figura 61. Pegado del vidrio al marco

Resultado final del vidrio enmarcado:



Figura 62. Vidrio enmarcado

8. Recorte y añadido del listón de madera al cajón exterior

Como todos los materiales han sido reutilizados y ninguno se ha comprado, no encajaban a la perfección. Entre el cajón exterior y el cristal enmarcado (tapa) había una holgura de unos dos centímetros. Para conseguir hacer la cerradura lo más hermética posible, se optó por clavar un listón de madera en la parte interior del horno con clavos.



Figura 63. Cajón exterior con listón de madera

Resultado final de la construcción del horno:



Figura 64. Horno solar con reflectores



Figura 65. Vista en planta del horno

Los sensores se colocan uno en el interior del horno y el otro en el exterior, identificados mediante un cartel en el que se lee “horno” o “ambiente”.

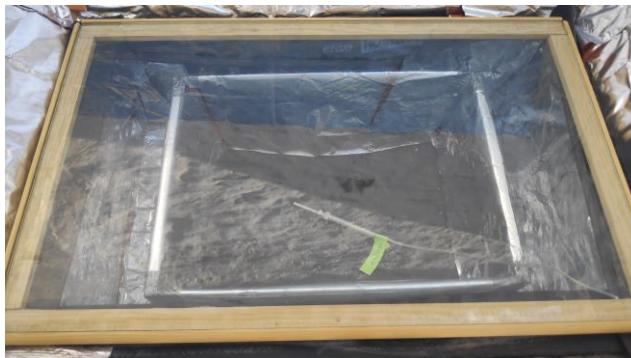


Figura 66. Sensor interior

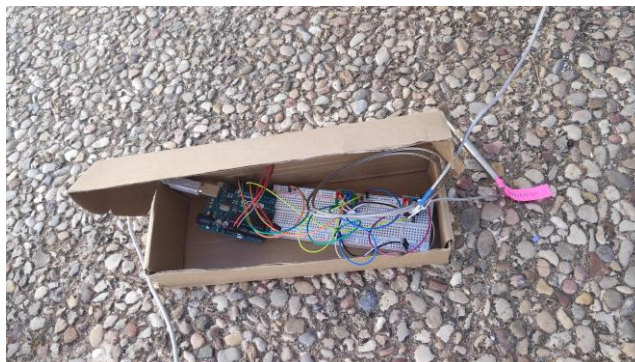


Figura 67. Sensor exterior

3.3.2 VÍDEO DEL PROCESO

El vídeo del proceso de construcción se encuentra disponible pinchando en la siguiente imagen:



Figura 68. Portada del vídeo del proceso de construcción

3.4 CARACTERIZACIÓN

3.4.1 DESCRIPCIÓN DE HARDWARE

Para realizar las medidas de temperatura en el interior del horno, se han usado sensores SPI del tipo Max6675, junto con termopares tipo K. Los sensores se encuentran conectados a una breadboard que llega a una placa de Arduino UNO.

3.4.1.1 Termopar tipo K

Un termopar está compuesto por dos hilos de metales con electronegatividades muy diferentes, unidos por un extremo formando la unión caliente. Esta unión se coloca en el punto de medición de temperatura. En el otro extremo, ambos metales se encuentran separados y recibe el nombre de unión fría. Al calentarse la junta de medición, se provoca una tensión eléctrica aproximadamente proporcional a la temperatura (efecto termoeléctrico/efecto Seebeck). Esta fuerza electromotriz aparece tanto por la diferencia de temperatura entre punto caliente y punto frío, como por la diferencia de electronegatividades entre ambos metales. La señal del termopar mide por tanto, la fuerza electromotriz asociada a la diferencia de temperaturas entre la unión caliente y la unión fría, y no a la temperatura absoluta. [3] [25]

Las limitaciones del termopar son tres:

1. La medida de esta tensión resultante es muy baja (del orden de microvoltios) por lo que no se puede conectar directamente a un microcontrolador sin antes ser amplificada.
2. La tensión no es directamente proporcional a la temperatura, sino que hace falta hacer una linealización y equipararla a una distribución lineal.
3. Para obtener la temperatura absoluta requiere una compensación de la unión fría.

El termopar utilizado es un termopar tipo K (cromel/alumel). El cromel es una aleación de Níquel y Cromo y el alumel de Níquel y Aluminio. Tiene un rango de medición entre -180°C y $+1300^{\circ}\text{C}$ y es el tipo más utilizado debido a su buena relación entre precio y prestaciones.



Figura 69. Termopar tipo K empleado

3.4.1.2 Módulo MAX6675

El módulo MAX6675 es un conversor analógico-digital que da solución a los tres problemas que presentan los termopares y además usa un bus SPI de comunicación. Este tipo de comunicación hace que sea sencillo conectarlo con un microcontrolador y permite leer varios módulos en paralelo.

Teóricamente puede medir temperaturas entre 0°C y 1024°C, pero su rango de medición más preciso (margen de error de 3°C) se da entre 20 y 700 grados centígrados.

3.4.1.2.1 Comunicación SPI

La comunicación SPI (Serial Peripheral Interface) se utiliza para transmitir información entre circuitos integrados de equipos electrónicos a través de un flujo de bits regulados por un reloj. En este tipo de comunicación son necesarios dos roles: uno de ‘Maestro’ que lo asume en este caso la placa de Arduino, y otro de ‘Esclavo’ que corresponde al módulo MAX6675. El maestro recibe la información de uno o varios esclavos, mientras los últimos sólo pueden comunicarse con el maestro. [1] [5] [14] [19]

En el SPI se da una comunicación síncrona mediante cuatro señales:

- SCLK (Clock): Con cada pulso del reloj se lee o se envía un bit de información.
- MOSI (Master Output Slave Input): Salida de datos del Maestro y entrada al Esclavo.
- MISO (Master Input Slave Output): Salida de datos del Esclavo y entrada al Maestro.
- SS/Select: Selección o activación del Esclavo.

3.4.1.2.2 Anatomía del Módulo MAX6675

Estos componentes tienen cinco terminales para conexiones y dos uniones para el termopar (unión fría y unión caliente). Las cinco conexiones son:

- SO: Salida de datos SPI (MISO)
- CS: Selección de dispositivo SPI
- SCK: Pulso de reloj SPI (SCLK)
- VCC: Alimentación de 3V a 5,5V
- GND: Conexión a tierra 0V

masa 0 V	GND	1	MAX6675	8	NC	no conectado
termopar negativo (alumel)	-T	2		7	SO	salida datos SPI (MISO)
termopar positivo (cromel)	+T	3		6	CS	selección de dispositivo SPI
alimentación de 3,0 a 5,5 V	VCC	4		5	SCK	pulso de reloj SPI (SCLK)

Figura 70. Patillaje del conversor AD MAX6675 para sondas termopar K con compensación de unión fría y comunicaciones SPI [24]



Figura 71. Sensor MAX6675

3.4.1.3 Conexiones con la placa de Arduino UNO



Figura 72. Placa de Arduino UNO

El microcontrolador empleado es un Arduino UNO, que tiene 14 entradas y salidas digitales, de las cuales 6 pueden ser usadas como salidas PWM (Pulse Wide Modulation). El pinout especial para comunicación SPI se encuentra en los pines 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO) y 13 (SCK).

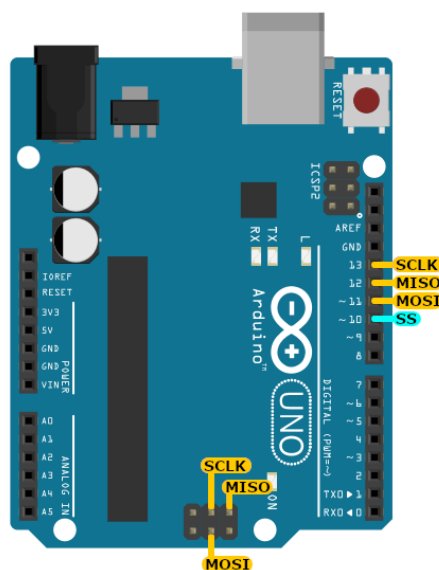


Figura 73. Pinout Arduino UNO

Para realizar las conexiones de manera más sencilla y permitir que se conecten varios dispositivos SPI, se emplea una placa de pruebas o breadboard, que es un tablero con orificios que se encuentran conectados entre sí de manera interna. Esto hace que se puedan insertar componentes electrónicos y cables.

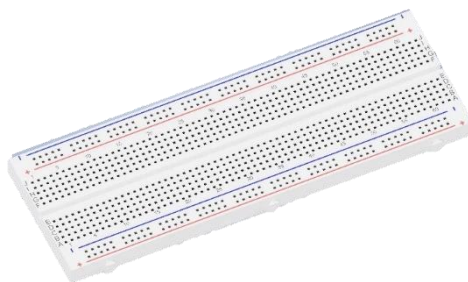


Figura 74. Placa de pruebas

Las conexiones entre todos los componentes se muestran en el siguiente esquema realizado con tinkercad, un software online de diseño 3D, electrónica y creación de código perteneciente a las herramientas de Autodesk.

Este software es accesible en la siguiente página: <https://www.tinkercad.com/>

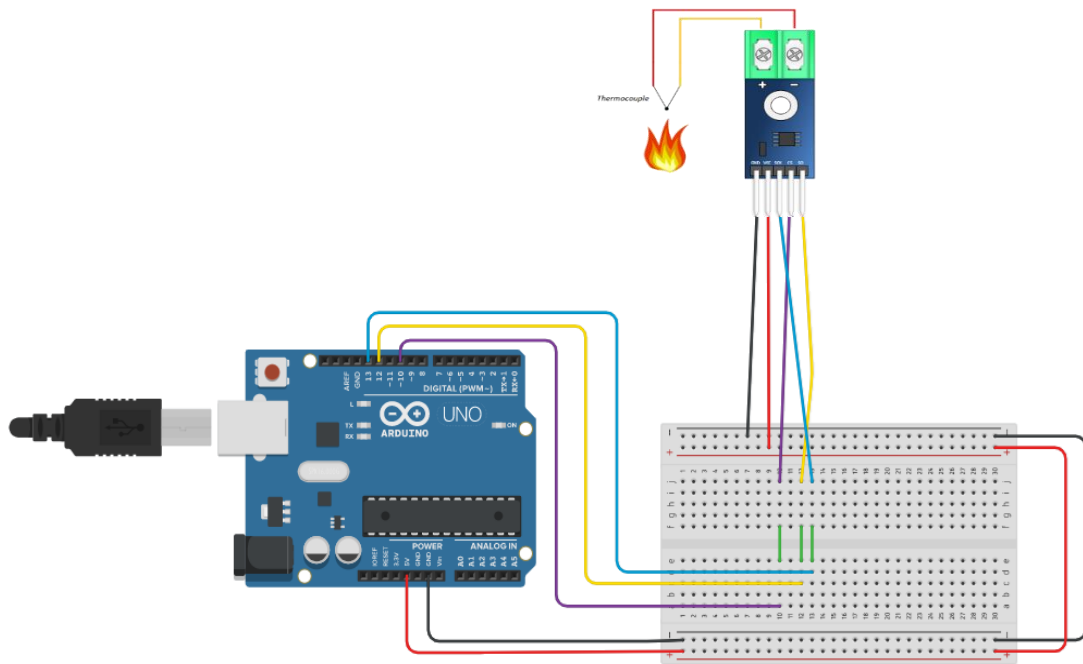


Figura 75. Esquema de conexiones del hardware con un sensor realizado con tinkercad

Para más de un sensor, las conexiones SO, SCK, VCC y GND son compartidas, mientras que habrá que usar un pin diferente para el CS (chip select), que se definirá más adelante en el bloque SPI del programa.

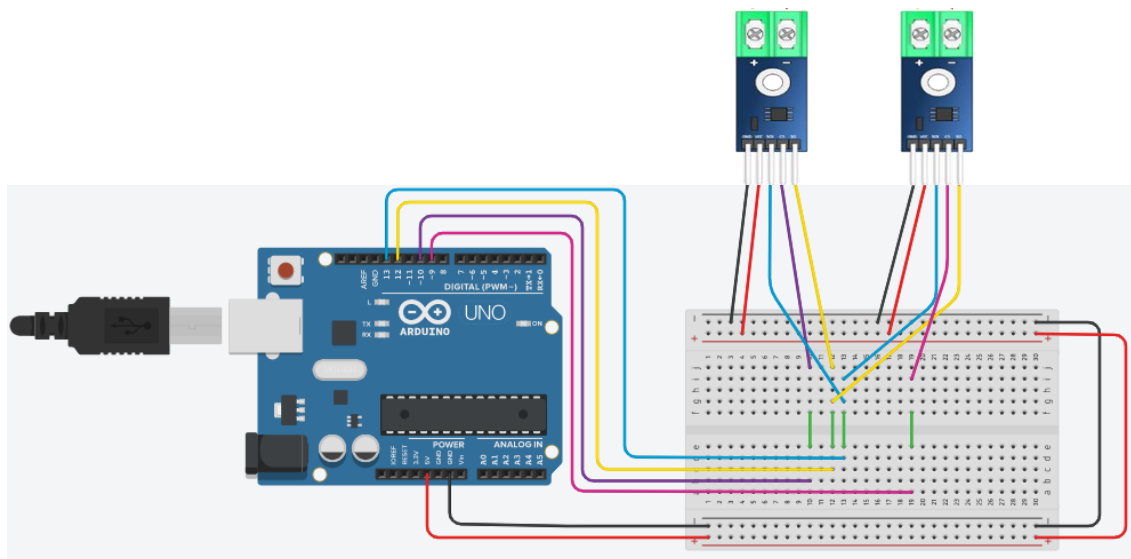


Figura 76. Esquema de conexiones del hardware con dos sensores realizado con tinkercad

3.4.2 PROGRAMA EN MATLAB SIMULINK

La programación en la placa de Arduino se ha realizado a través de Simulink. Este complemento de MATLAB ha resultado muy útil ya que se puede realizar el esquema de lo que se quiere programar mediante diagramas de bloques y se genera el código directamente en el microcontrolador. Otra ventaja es que tiene bloques enfocados directamente a Arduino y comunicaciones SPI, aunque estos hay que descargarlos antes. El proceso por el cual se obtiene la librería de Arduino para Simulink 2020a se explica detalladamente a continuación.

3.4.2.1 Descarga de la librería Arduino para Simulink

1. En el entorno de Matlab, ir a la pestaña HOME y en la parte de ENVIRONMENT hacer click en Add-Ons.

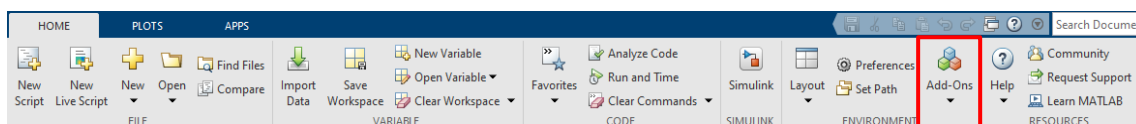


Figura 77. Captura de la barra de herramientas de Matlab 2020a (I)

2. Aparecerá un desplegable, seleccionar Get Add-Ons.

Estos complementos amplían las capacidades de MATLAB®, ya que proporcionan otras funcionalidades para tareas y aplicaciones específicas, como la conexión con dispositivos de hardware, algoritmos adicionales y apps interactivas. Los complementos están disponibles en MathWorks® y en la comunidad global de usuarios de MATLAB y abarcan una amplia variedad de recursos, incluidos productos, apps, toolboxes y paquetes de soporte.

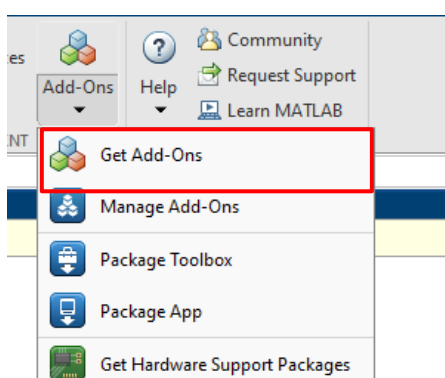


Figura 78. Desplegable Add-Ons

3. Con la ventana Add-On Explorer, introducir 'Arduino Simulink' en la barra de búsquedas

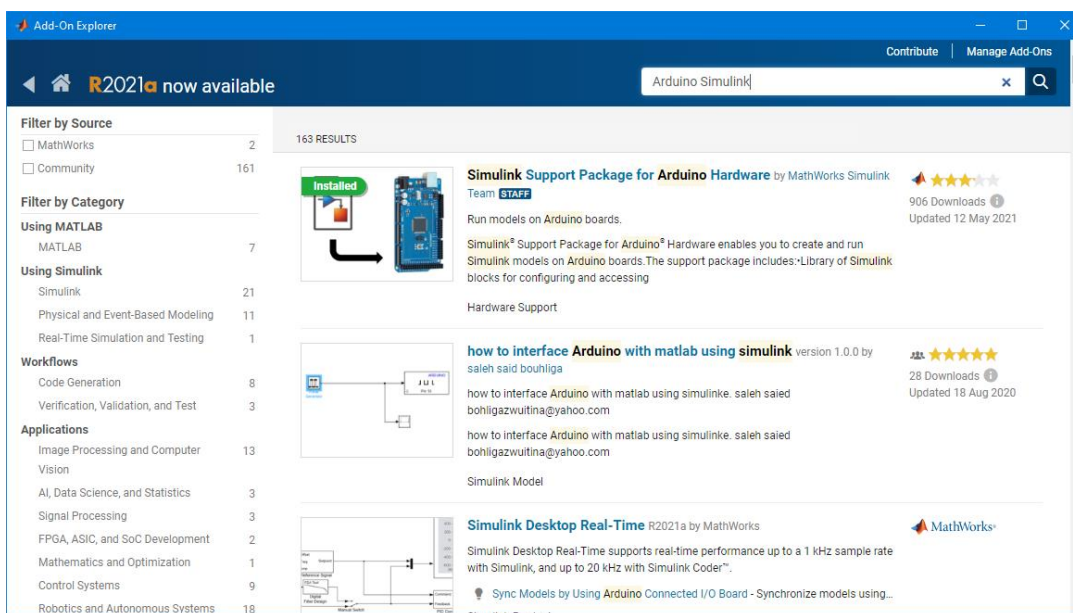


Figura 79. Add-On Explorer

4. Instalar y configurar el ‘Simulink Support Package for Arduino Hardware’
5. En la librería de bloques de Simulink aparecerá la opción de utilizar los bloques del paquete instalado. En este programa se usa el ‘SPI WriteRead’

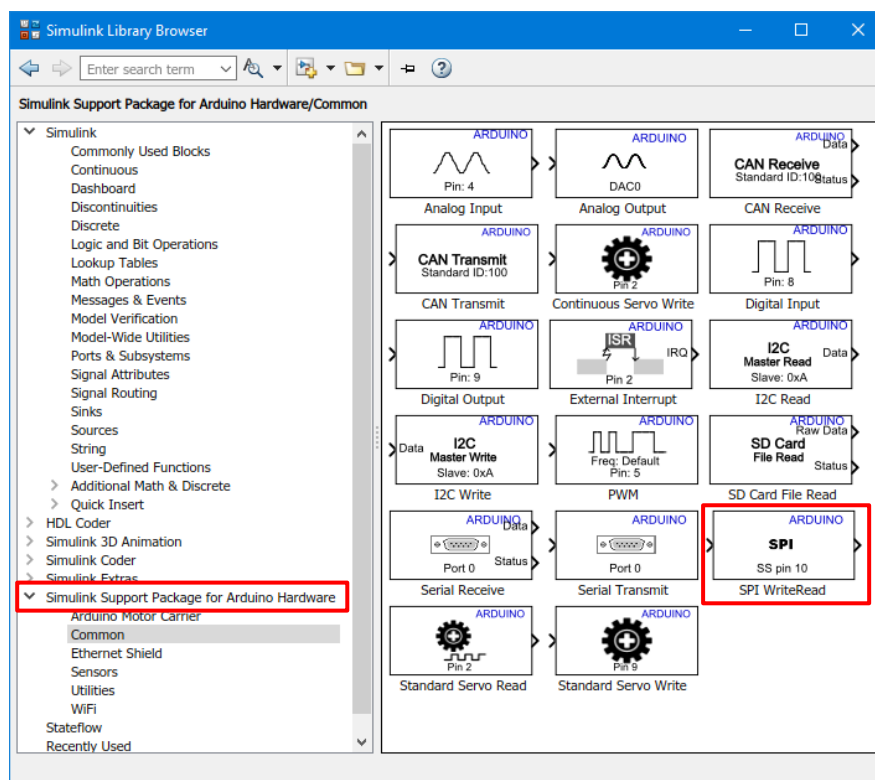


Figura 80. Simulink Library Browser

Con el paquete de Arduino para Simulink instalado, a continuación se explica detalladamente el diagrama de bloques para un sensor, con los bloques que lo componen.

Ese es el programa básico a partir del cual se podrá duplicar en paralelo para simular varios sensores, como se verá más adelante.

Lectura sensor temperatura MAX6675

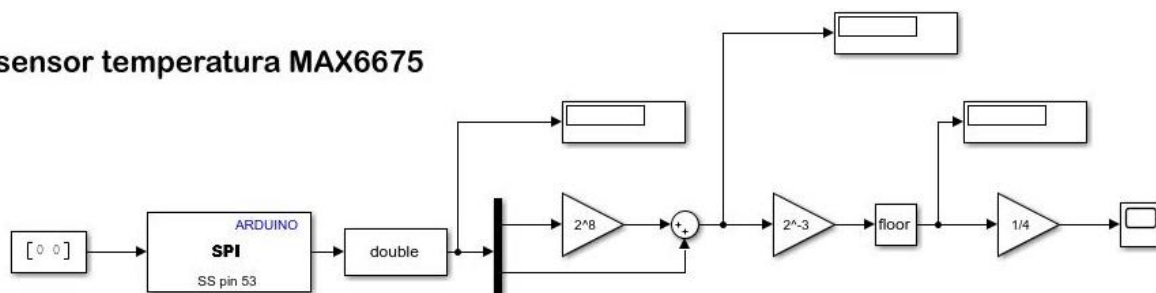


Figura 81. Diagrama de bloques del programa en Simulink para un sensor

3.4.2.2 Explicación del programa y bloques

3.4.2.2.1 Lector SPI



Figura 82. Bloque SPI

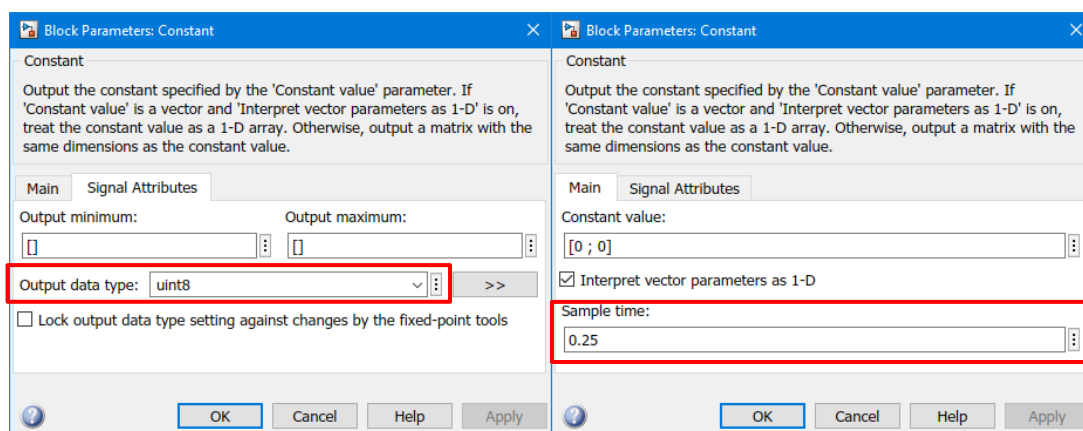


Figura 83. Configuración del bloque Constant

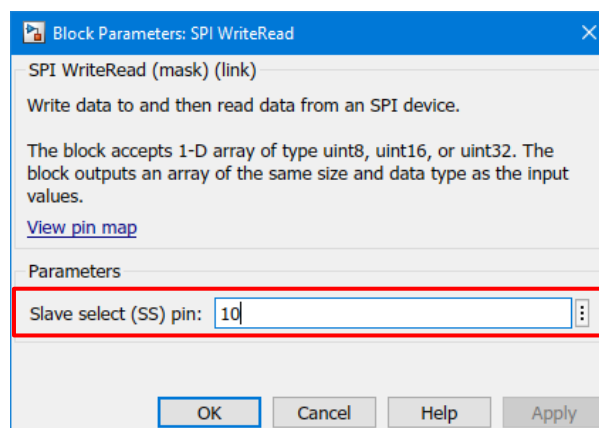


Figura 84. Configuración del bloque SPI WriteRead

Primero, el bloque SPI lee en cada periodo de muestreo (0.25s) dos bytes correspondientes a la medida en el registro con dirección 0. Cada byte puede ser un número entero entre 0 y 255, ya que es del tipo uint8. El pin de Slave Select (SS) ha de corresponder con el pin al que se haya conectado el CS (Chip select) del módulo.

El bloque SPI se encuentra dentro de la librería específica de Arduino, descargada previamente.

3.4.2.2.2 Double y demux y primera ganancia

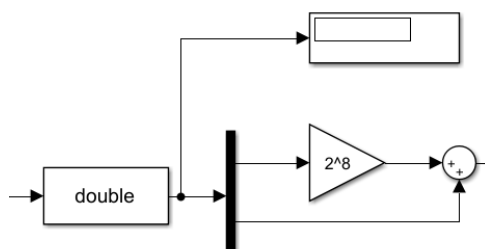


Figura 85. Bloque double, demux y ganancia 1

En esta parte, primero se cambia el tipo de número de uint8 a double (el formato numérico predeterminado en Matlab). El siguiente paso es usar el bloque demux, que es representado por la barra vertical. Este permite separar señales vectoriales en escalares o en vectores menores. La función de este bloque en este programa es la de extraer el byte 1 y el byte 2 para hacer un cálculo de temperatura teniendo en cuenta que el byte 1 es el más significativo y el otro el menos significativo. La medida resultante sería $2^8 \cdot \text{byte1} + \text{byte2}$.

A su vez, se tiene un display antes de hacer el cálculo de la medida y después, para identificar los cambios.

3.4.2.2.3 Segunda ganancia, floor y tercera ganancia

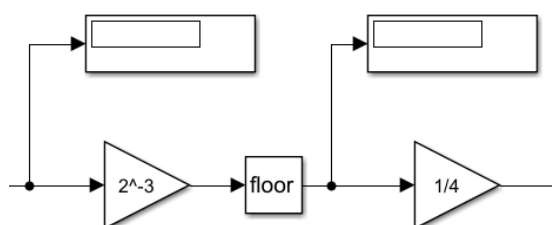


Figura 86. Ganancia 2, bloque floor y ganancia 3

A continuación, se eliminan los últimos tres bits que no forman parte de la medida, multiplicando por 2^{-3} y aplicando el bloque floor, que toma el entero inferior.

Por último, se aplica una escala 1/4 para tener la medida real en grados, ya que el sensor devuelve un valor de cuartos de grado.

3.4.2.2.4 Scope

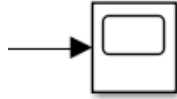


Figura 87. Bloque scope

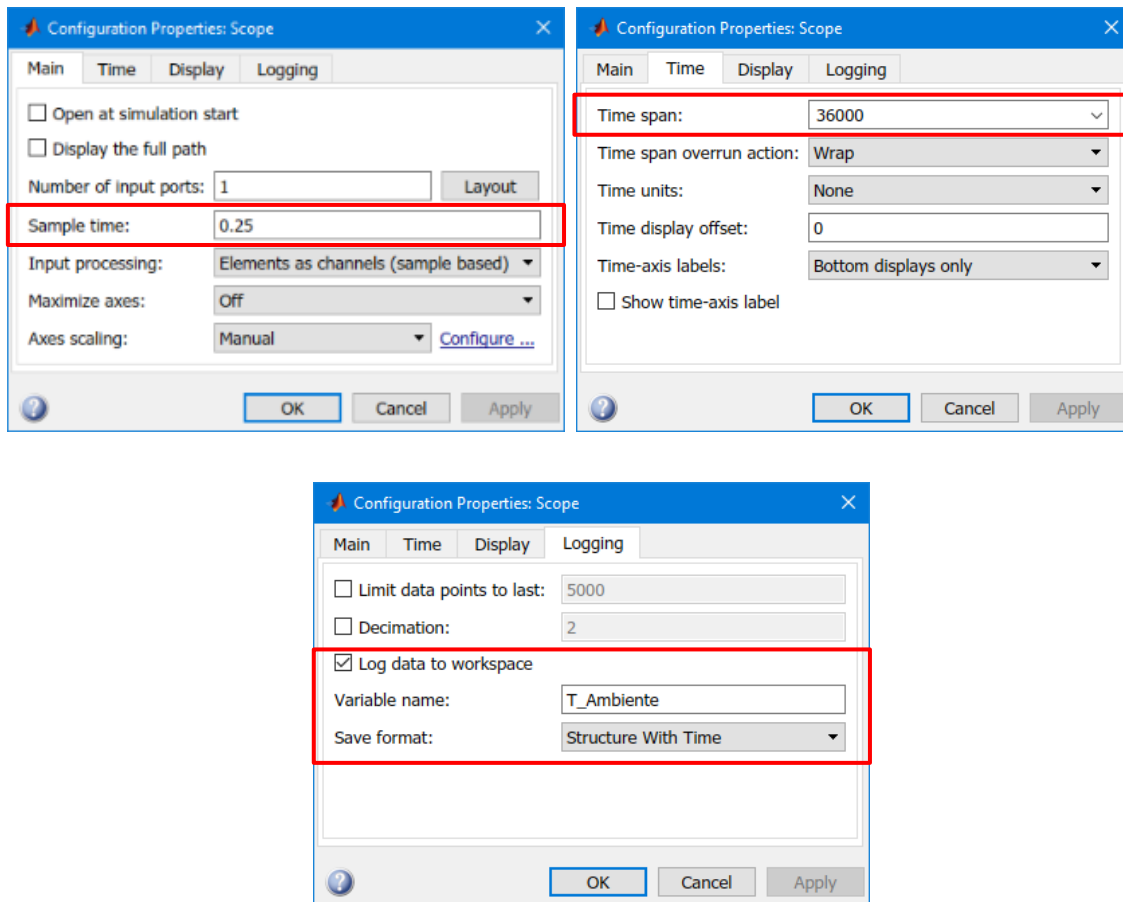


Figura 88. Configuración del bloque scope

El scope permite la visualización de los datos de temperatura en tiempo real. Se debe configurar de tal modo que el 'Sample Time' coincida con el introducido en la constante para la lectura del sensor SPI, sino los datos estarán desfasados. El 'Timespan' representa el final del eje x, es decir, hasta qué valor de tiempo se va a representar la gráfica.

Por último, habrá que configurar este bloque para que guarde la lectura de la señal de temperatura en una variable dentro del workspace del programa. Dentro de la pestaña ‘Logging’, se seleccionará esta opción, eligiendo el nombre de la variable y su formato. Guardarlo como una estructura con tiempo permite tener los valores tanto de tiempo como de temperatura ordenados y compactos dentro de la misma.

La siguiente figura representa una muestra de temperaturas capturada directamente desde la pantalla del scope después de parar el programa. En el eje horizontal se representan los segundos transcurridos y en el vertical la temperatura alcanzada en grados.

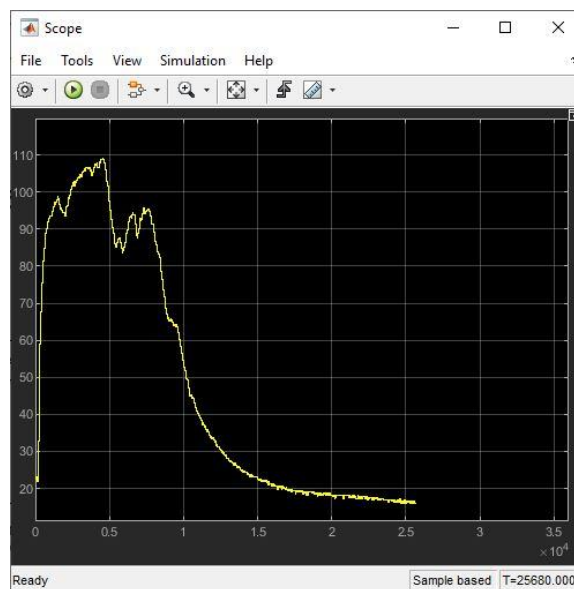


Figura 89. Captura del Scope para el día 18 de abril

3.4.2.3 Guardado y exportación de datos

Los datos guardados en las estructuras mencionadas anteriormente se quedan grabados en el workspace de Matlab. Después de ejecutar el programa y registrar los datos, es recomendable salvar directamente el workspace entero, que quedará como un programa de datos con extensión ‘.m’ y se podrá abrir directamente desde Matlab sin necesidad de tener el diagrama de bloques de simulink abierto.

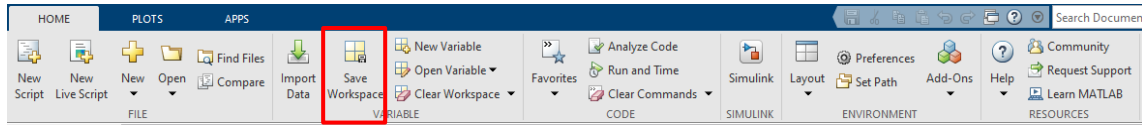


Figura 90. Captura de la barra de herramientas de Matlab 2020a (II)

Otra opción muy útil es exportar las variables directamente a un documento de Excel. Para ello se extraen los datos de la estructura y se guardan en una variable genérica (en el ejemplo será la variable *a*) con el comando *squeeze*. El código que se deberá insertar en la ventana de comandos de Matlab es el siguiente:

```
a=squeeze(Nombre_estructura.signals.values);  
xlswrite('Nombre_archivo.xlsx',a,'Hoja1','A1');
```

El primer comando guarda los valores registrados en la estructura creada a partir del scope en un vector columna llamado '*a*'. La segunda línea de código genera un archivo de Excel llamado *Nombre_archivo* donde escribe esta variable '*a*' en la primera hoja y empezando por la casilla A1.

3.4.2.4 Programa para más de un sensor

A partir de este programa base, se puede crear un programa para varios sensores simplemente duplicándolo y haciendo un display con ambas señales al final. Lo único que habrá que modificar respecto al primer programa, será el pin al que se conecta el CS del módulo en el bloque SPI y el nombre de la señal guardada en el scope.

Lectura dos sensores temperatura MAX6675

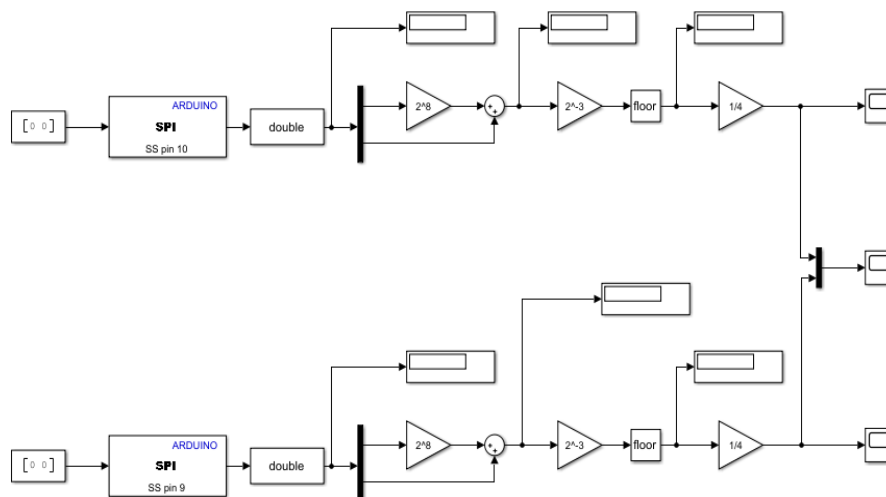


Figura 91. Diagrama de bloques del programa en Simulink para dos sensores

3.5 RESULTADOS

Se han registrado los valores de temperatura exterior e interior del horno en los siguientes días en los que las condiciones climatológicas lo han permitido:

- Marzo: 29
- Abril: 6,10,17,18
- Mayo: 18,19

Los datos de temperatura interior del horno se han registrado mediante el programa en Arduino previamente explicado. En cuanto a los registros de temperatura exterior, los primeros datos fueron obtenidos en la página de AEMET y el tiempo.es y a partir del día 17 de Abril, los datos de temperatura ambiente se obtuvieron también mediante el programa en Arduino.

A continuación, se presenta una gráfica conjunta de la variación de temperatura a lo largo del tiempo de muestreo.

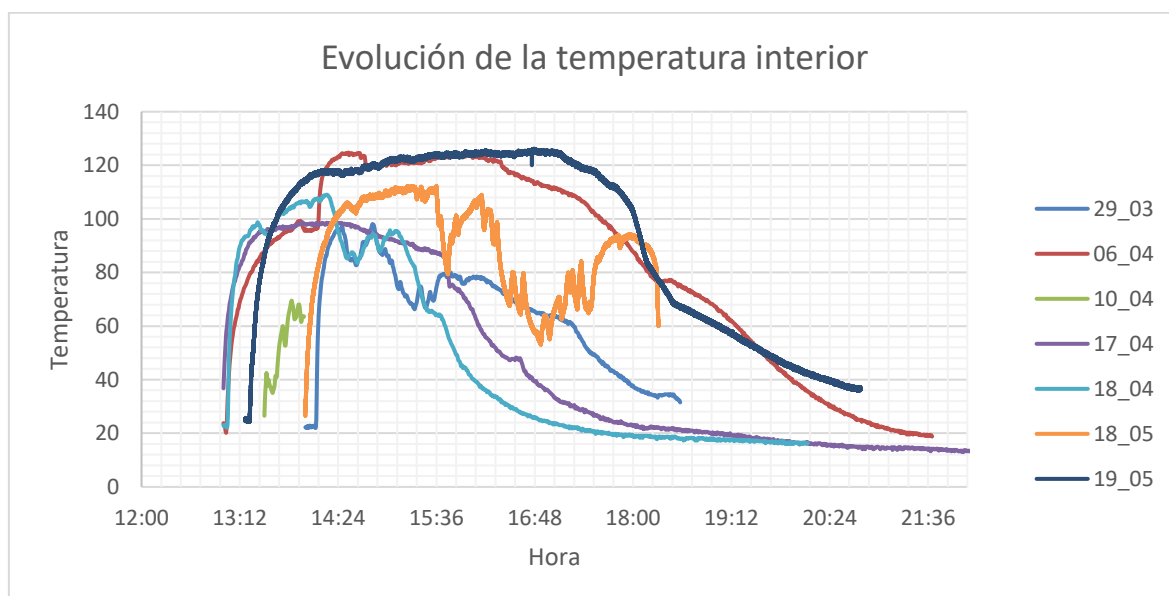


Figura 92. Evolución de la temperatura interior los diferentes días

Cómo se puede observar, la temperatura en el interior del horno varía prácticamente de la misma manera en los diferentes días. Primero hay una zona de crecimiento muy pronunciada,

después se estabiliza y dependiendo de los intervalos nubosos esta estabilización dura más o menos. Por último, según decae la incidencia solar ya entrada la tarde, la temperatura comienza a descender lentamente hasta que se iguala con la temperatura exterior.

29/03/21

Registro de temperatura interior del horno:

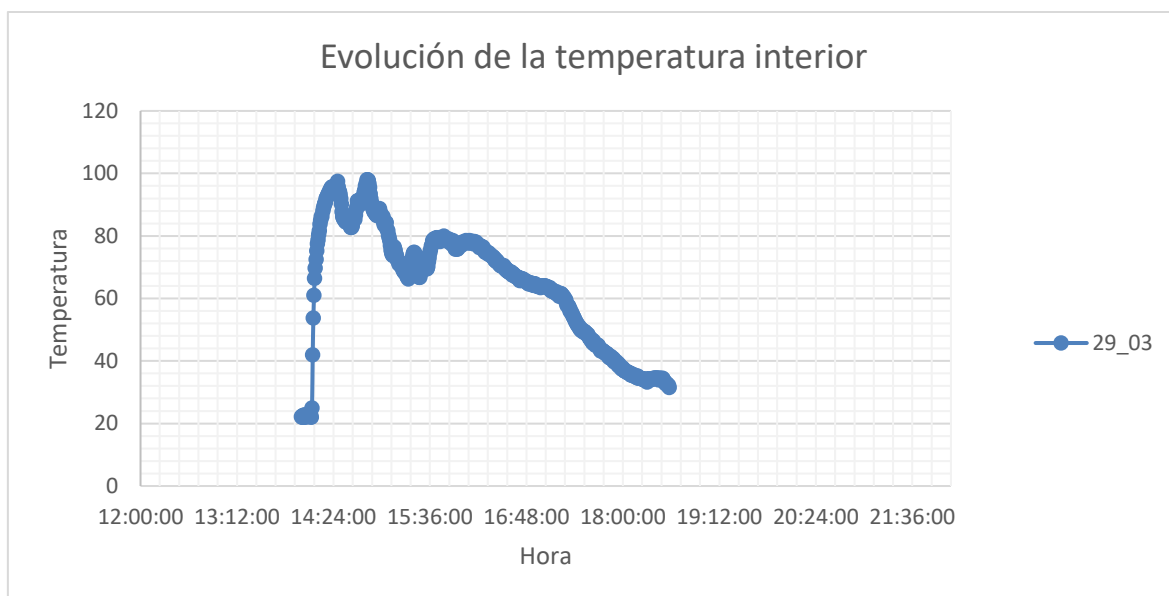


Figura 93. Temperatura interior el día 29 de marzo

Registro de temperatura exterior del horno:

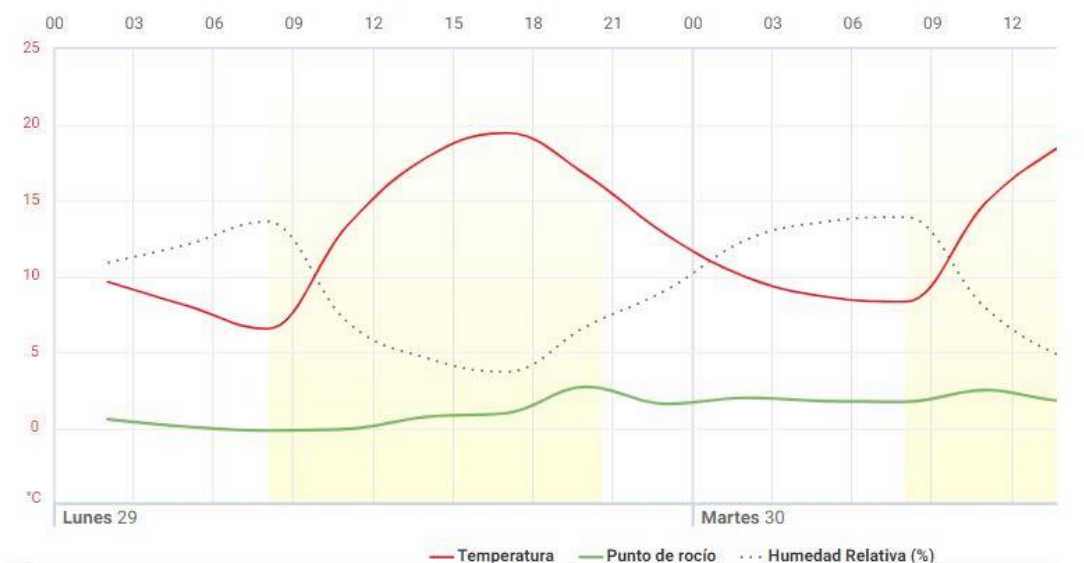


Figura 94. Temperatura exterior, punto de rocío y humedad relativa el día 29 de marzo

Otros registros meteorológicos:

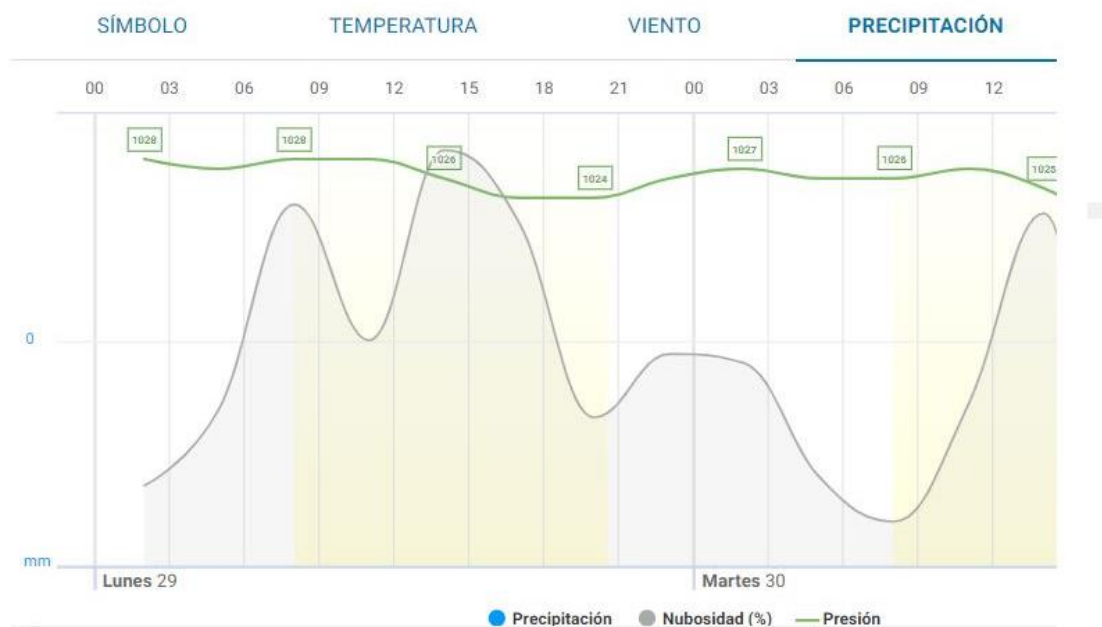


Figura 95. Precipitación, nubosidad y presión el día 29 de Marzo

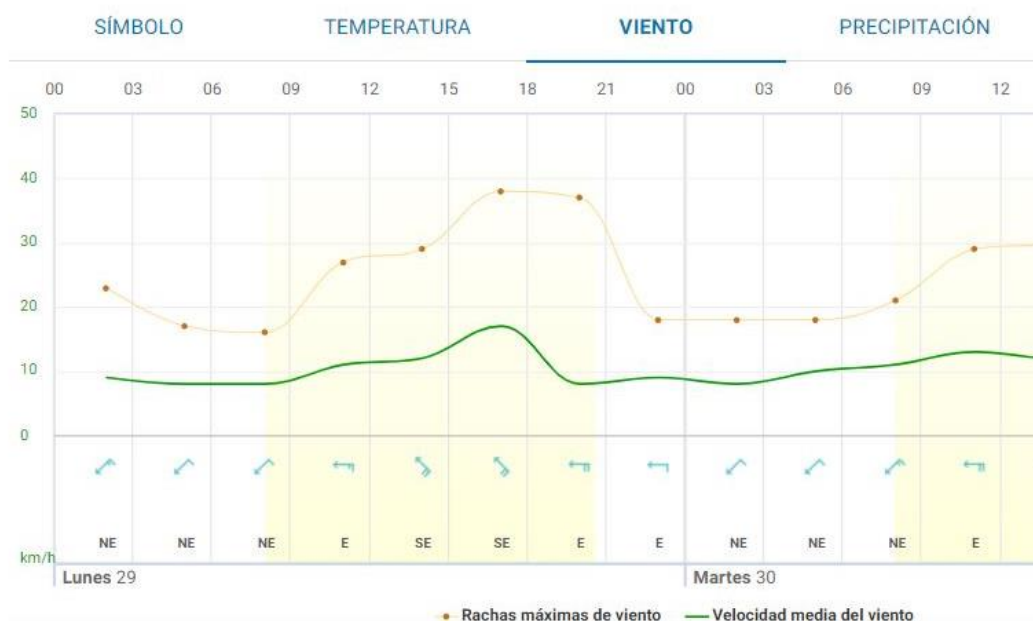


Figura 96. Viento el día 29 de Marzo

Observaciones: Contrastando la gráfica de nubosidad [Figura 95] con la de la temperatura registrada [Figura 93], se encuentra un pico de bajada en la temperatura alrededor de las 15:30h, que coincide con un pico de nubosidad registrado. Esto era de esperar ya que el horno se calienta gracias a los rayos del sol. Cabe destacar que la temperatura no desciende en picado durante las horas de nubosidad, sino que se enfría lentamente. Esto es debido a que el horno tiene un aislamiento que funciona, haciendo que pueda retener un poco el calor en las horas menos luminosas. Además, este día fue ventoso, haciendo que los reflectores no pudieran mantener bien su posición para concentrar el calor, por eso se observa que la temperatura media alcanzada es menor que la de los días posteriores. A su vez, la temperatura exterior máxima que se alcanza es de 20°C a las 16 pm, que no coincide con el pico de temperatura interior cuyo máximo es 98°C, que se da a las 14:50h. De esto se puede deducir que si no hubiera sido por la nubosidad, la temperatura interior habría seguido aumentando, ya que no había llegado al máximo.

06/04/21

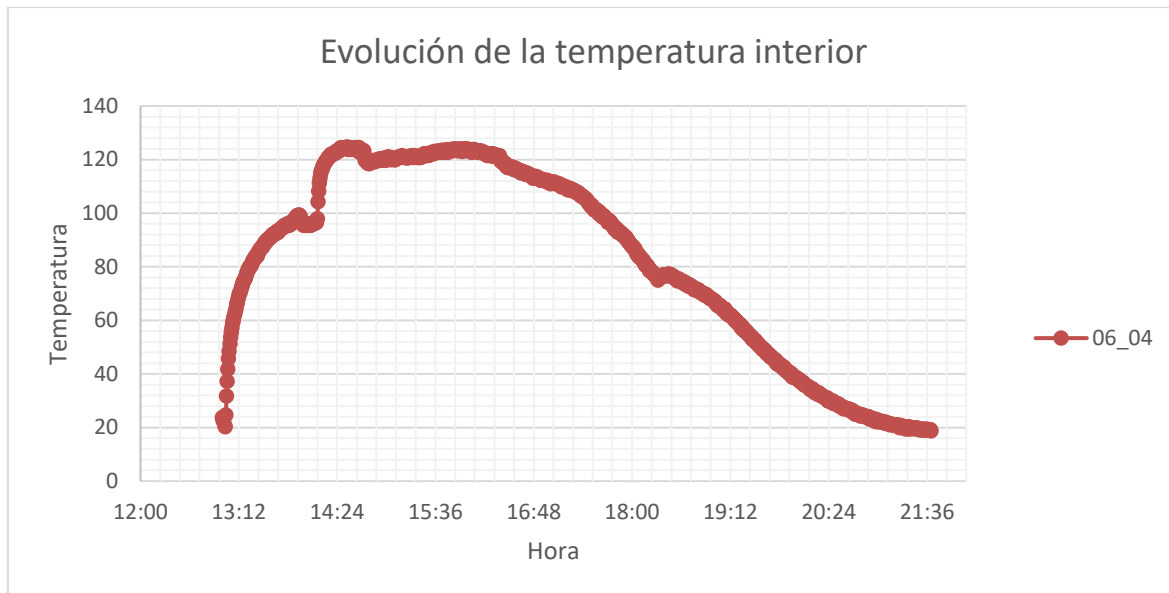


Figura 97. Temperatura interior el día 6 de abril

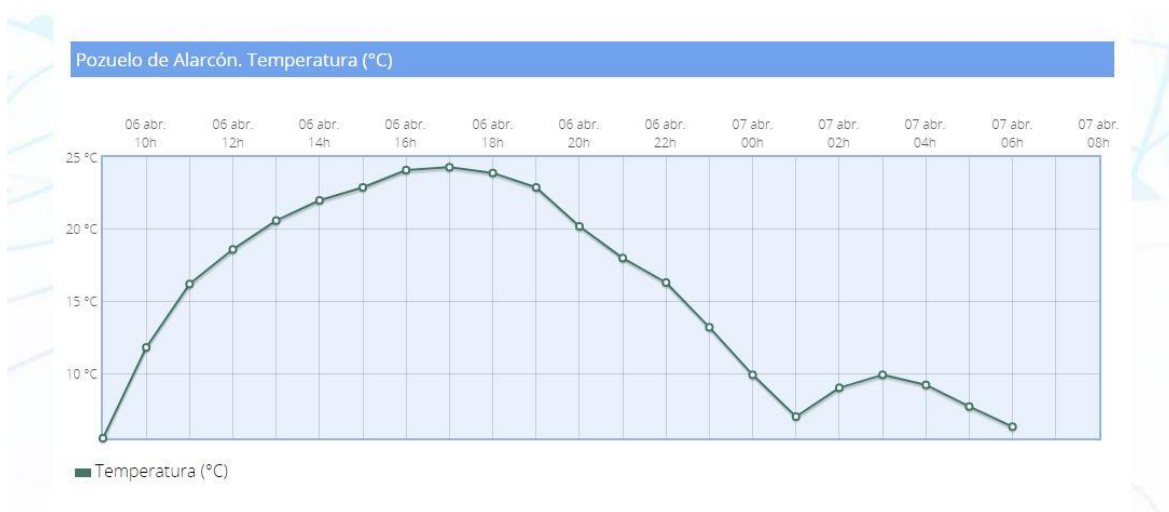


Figura 98. Temperatura el día 6 de abril

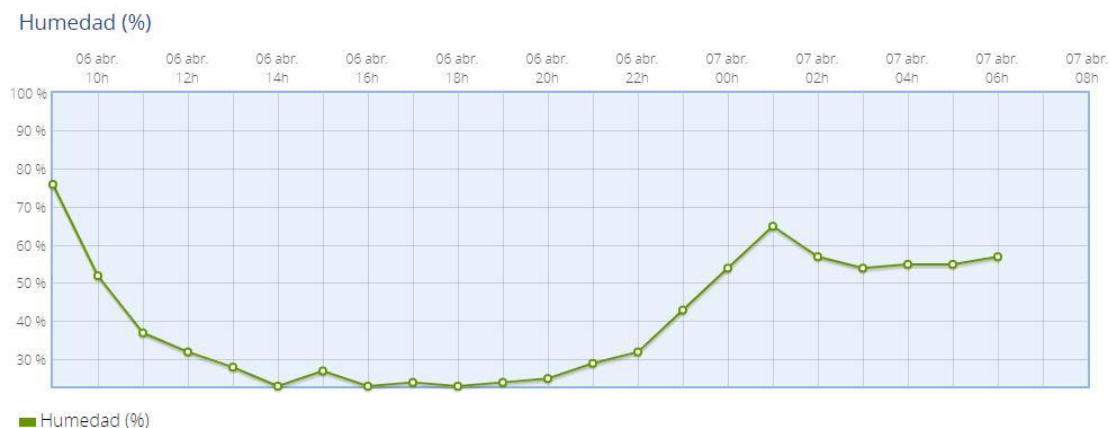


Figura 99. Humedad el día 6 de abril

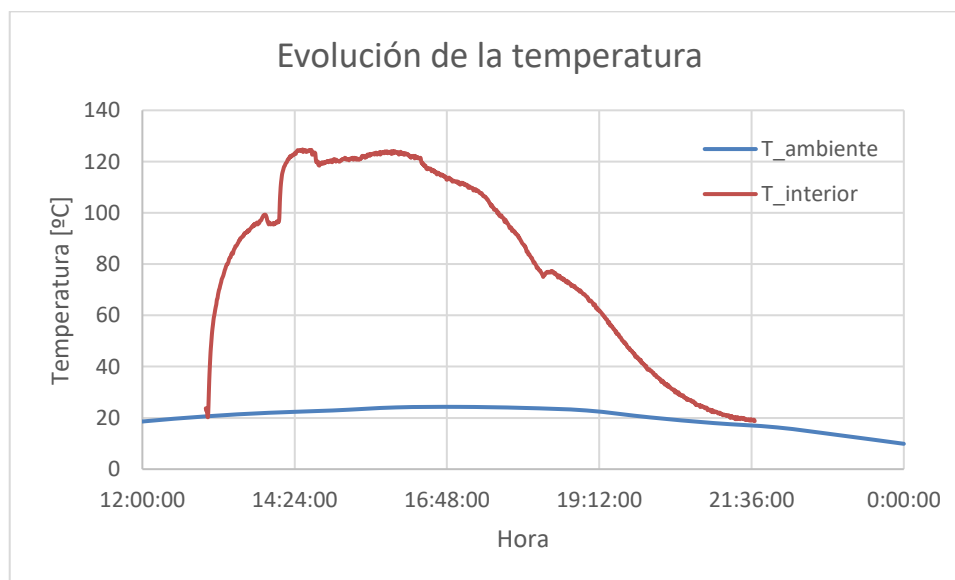


Figura 100. Evolución de la temperatura interior y exterior el 6 de abril

Observaciones: Este día era soleado y en el cuaderno de experimentos se apuntó que a las 14h se cambió en ángulo de los reflectores para que estuvieran mejor orientados al sol. Este cambio se hizo porque se observó que la temperatura se empezaba a estabilizar a esta hora en torno a 95°C. Este cambio se ve directamente reflejado en una subida pronunciada de la temperatura hasta alcanzar los 124°C. En un principio no se pensaba que los reflectores bien orientados pudieran suponer un cambio tan drástico, pero tras el resultado obtenido este día y los siguientes se vio que así era.

10/04/21

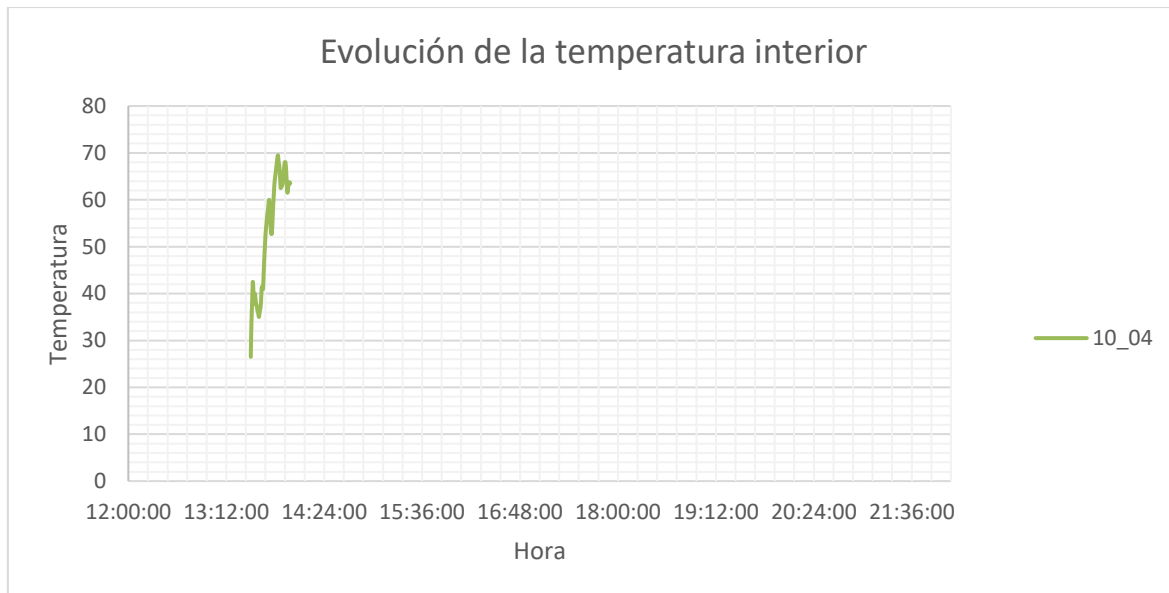


Figura 101. Evolución de la temperatura interior el día 10 de abril

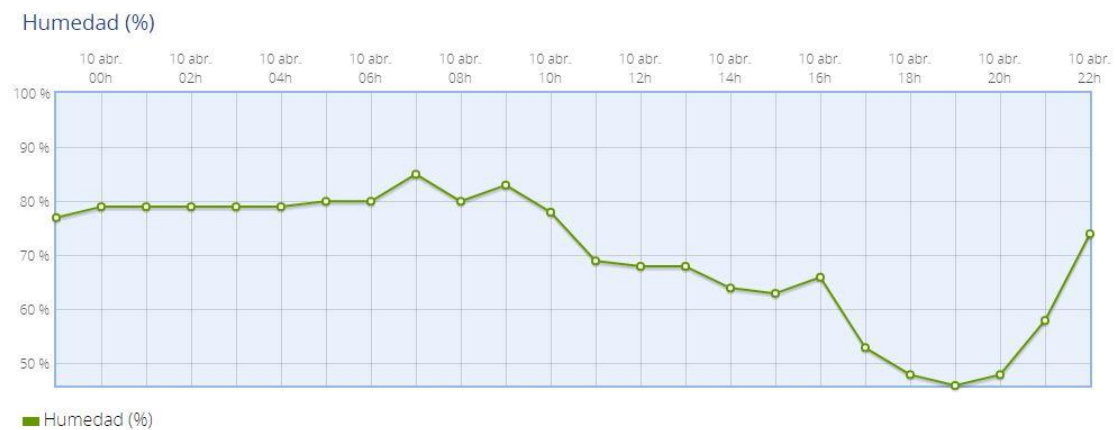


Figura 102. Humedad el día 10 de abril

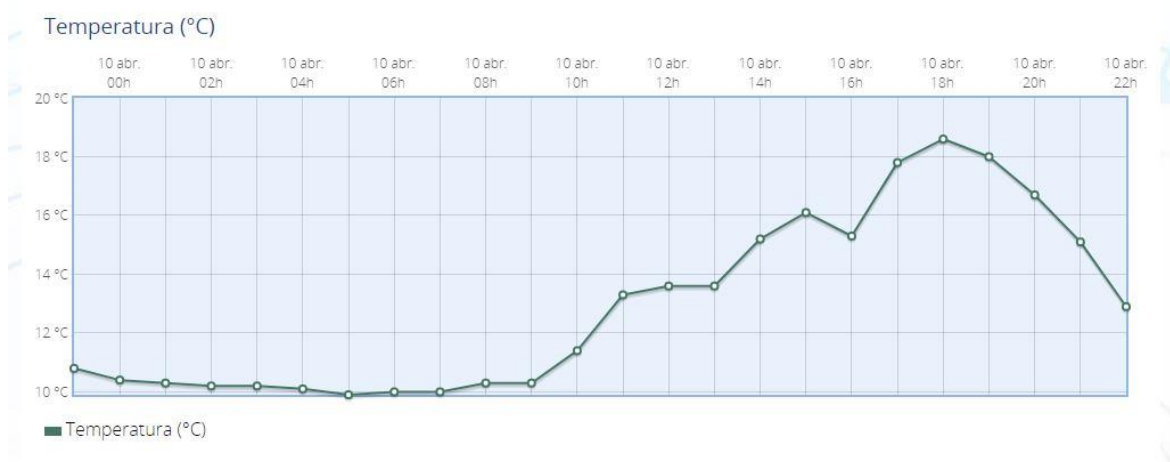


Figura 103. Temperatura ambiente el 10 de abril

Observaciones: El registro de temperatura este día es muy corto porque a partir de las 15h empezó a llover y se tuvo que parar la recogida de datos y poner el horno y sensores bajo resguardo. De todas formas, se puede observar cómo en sólo media hora de exposición solar, el horno se calentó hasta los 70 grados. También se intuye que los picos que presenta esa subida irregular se deben a los intervalos nubosos de ese día, ya que como se ha comentado anteriormente, la incidencia solar directa sobre los reflectores es fundamental para el calentamiento del horno.

17/04/21

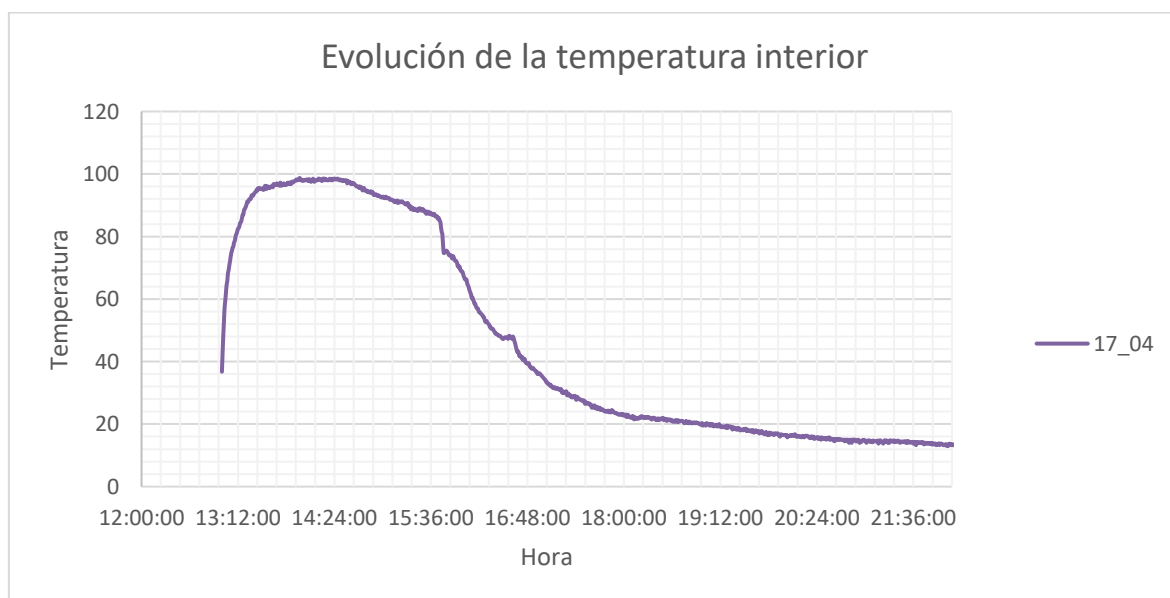


Figura 104. Evolución de la temperatura interior el día 17 de abril



Figura 105. Temperatura ambiente el día 17 de abril



Figura 106. Humedad el día 17 de abril

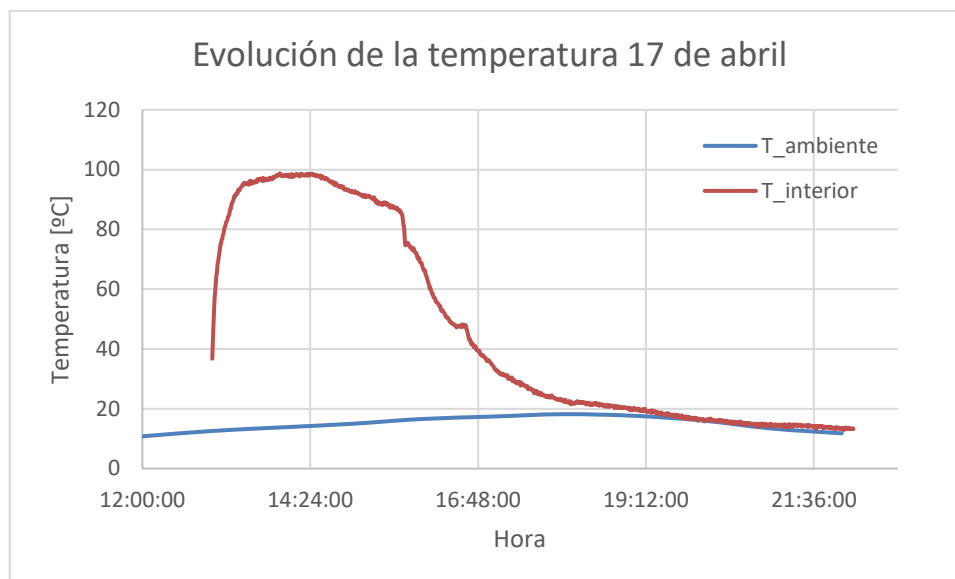


Figura 107. Evolución de la temperatura interior y exterior

Observaciones: El 17 de abril fue un día bastante seco, con un pico de humedad por la mañana, pero después soleado y sin nubosidad. La temperatura ambiente era fresca, no llegando a superar los 20 grados en ningún momento, en cambio el horno alcanzó 99°C a las 14:30h. En la Figura 107 se observa claramente la función de aislante que cumplen la madera y el vidrio. Gracias a que no se escapa el calor, se puede calentar hasta 90 grados en media hora, y después la curva de descenso es mucho más relajada, llegando a enfriarse 70 grados en 5 horas. Al final del día, cuando ya no hay rayos solares incidiendo sobre el horno, desciende la temperatura hasta igualarse completamente a la temperatura exterior. Se empiezan a parecer a partir de las 19h y siguen ambas decreciendo a la par.

18/04/21

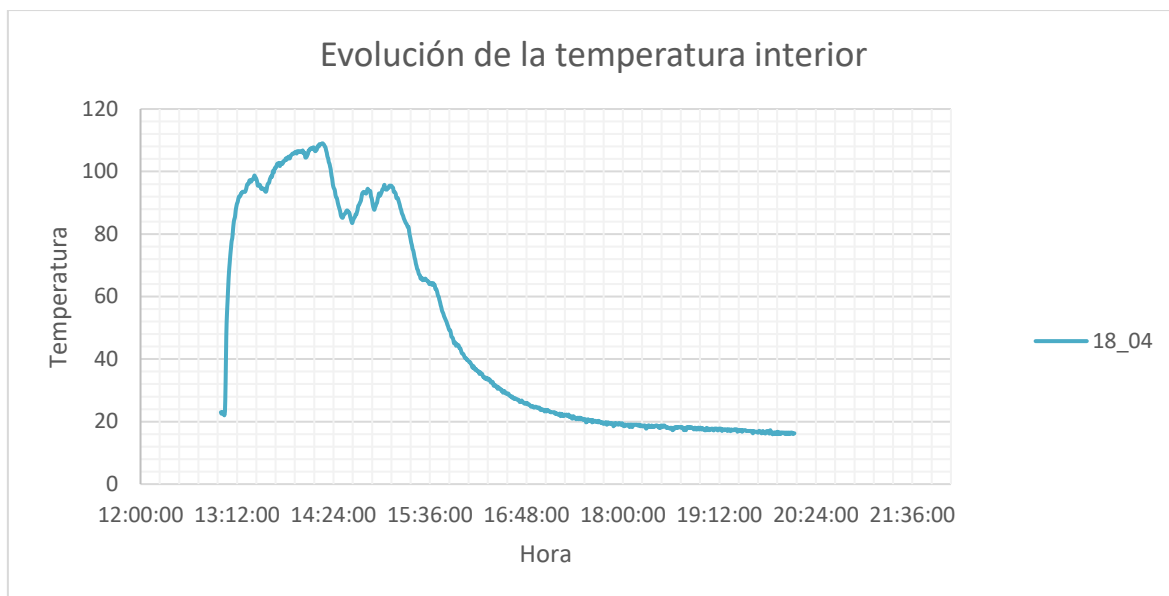


Figura 108. Evolución de la temperatura el 18 de abril



Figura 109. Temperatura exterior el 18 de abril



Figura 110. Humedad el 18 de abril

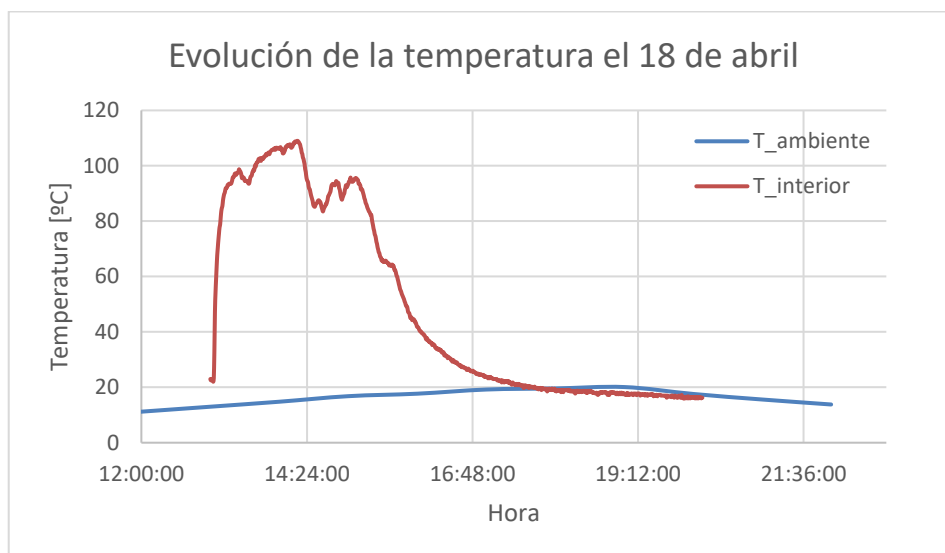


Figura 111. Evolución de temperatura interior y exterior el 18 de abril

Observaciones: Esta gráfica tiene la misma forma que las anteriores, también con picos de subida irregulares debido a que el cielo no estaba completamente despejado. La subida de temperatura es muy rápida, llegando a 100 grados en media hora. A partir de las 18h se empieza a igualar con la temperatura ambiente.

18/05/21

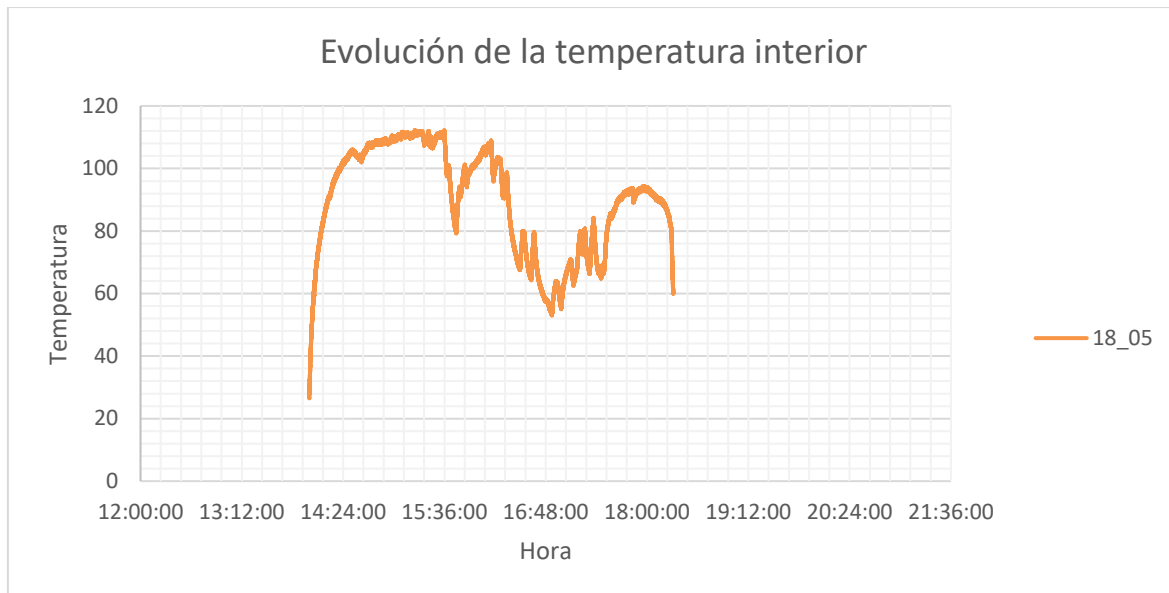


Figura 112. Evolución de la temperatura el día 18 de mayo

Pozuelo de Alarcón.

Temperatura (°C)



Figura 113. Temperatura ambiente el día 18 de mayo



Figura 114. Humedad el día 18 de mayo

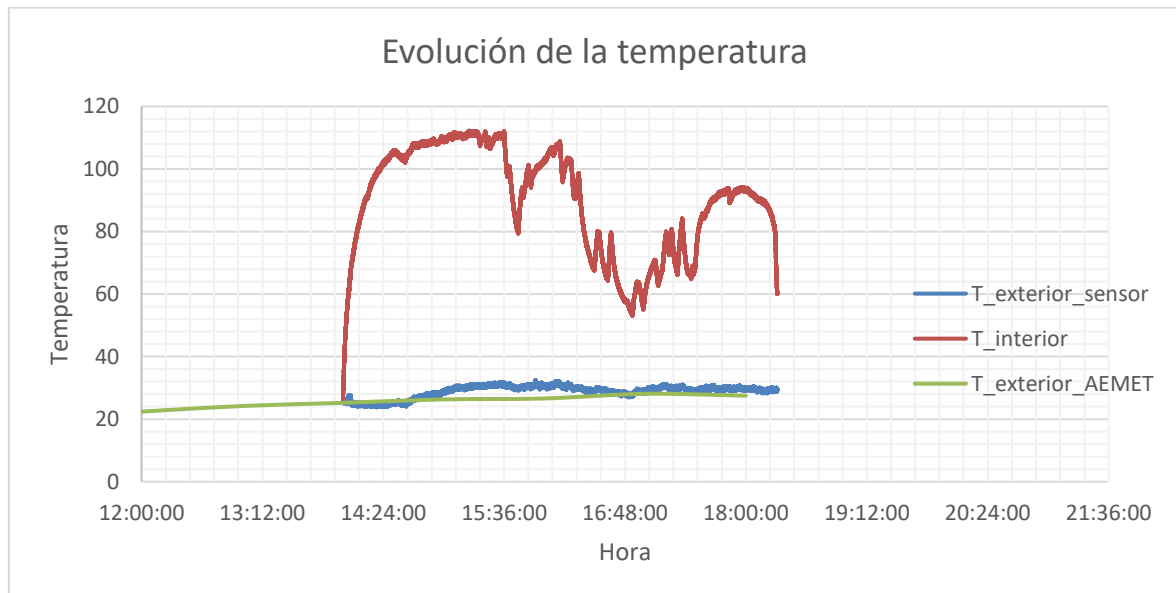


Figura 115. Evolución de la temperatura interior y exterior

Observaciones: Esta medida es la primera que se toma con dos sensores: uno se coloca dentro del horno y otro en el exterior. La medida exterior no es muy fiable, ya que no se pudo mantener el sensor en el aire sin tocar nada, y la punta estaba en contacto con una piedra que se calentaba con el sol a su vez. Pero a efectos prácticos sigue la misma tendencia que la proporcionada por AEMET. Este día había mucha nubosidad por lo que aparecen esos picos tan característicos en la temperatura propios de intervalos nubosos en los que el horno no recibe radiación solar y se empieza a enfriar. Es interesante ver cómo la pendiente de subida

después de los picos es prácticamente igual, ya que a plena exposición solar, el horno tarda un tiempo constante en llegar a la máxima temperatura.

19/05/21

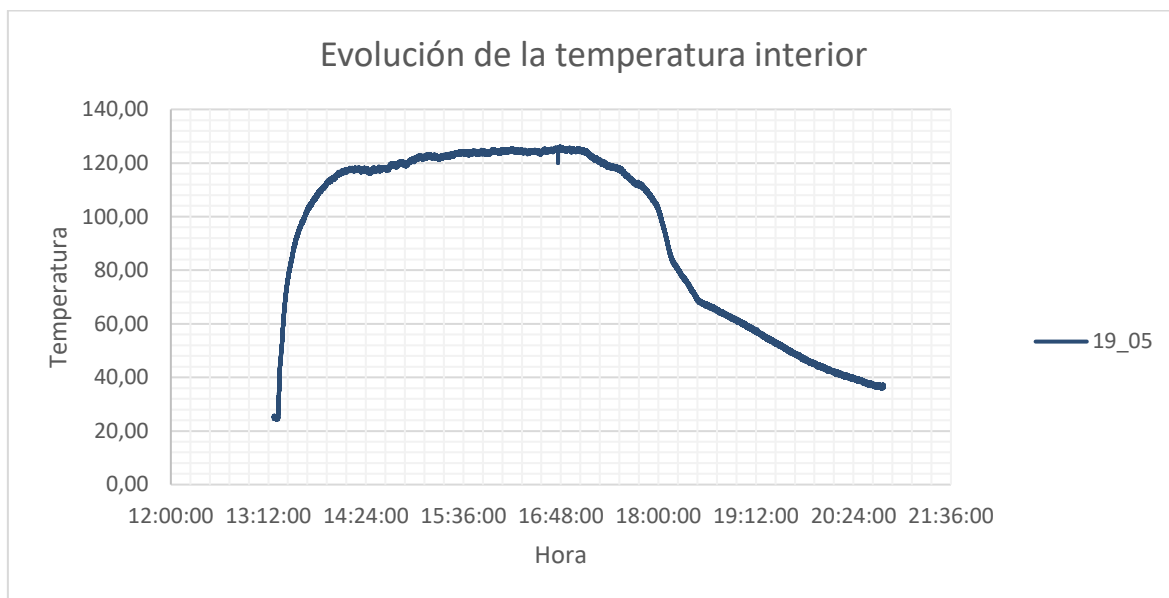


Figura 116. Evolución de la temperatura interior el 19 de mayo



Figura 117. Temperatura el 19 de mayo



Figura 118. Humedad el 19 de mayo

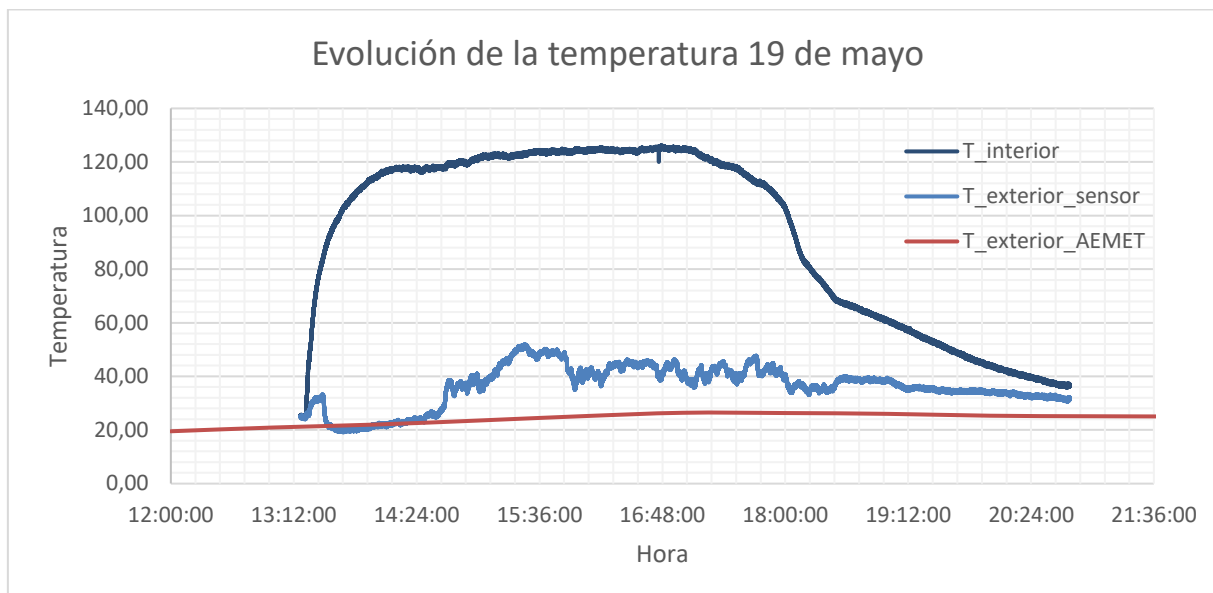


Figura 119. Evolución de la temperatura el 19 de mayo

Observaciones: Esta lectura refleja a la perfección qué sucedería en el horno en un día completamente despejado. Primero se observa la pendiente de subida pronunciada, después unas 4 horas dónde la temperatura permanece constante en un rango entre 110 y 130 grados y por último, comienza a descender la temperatura hacia una asíntota que coincide con la temperatura exterior. Se observa una meseta tan prolongada en el tiempo debido a que el cielo estaba despejado en su totalidad y no hay ni una nube que pudiera tapar la radiación incidente en el horno.

Capítulo 4. CONCLUSIONES

Con este trabajo se ha conseguido emplear materiales reciclados para la construcción de un horno solar que ha superado los 120 grados centígrados. Tras analizar los datos registrados de temperatura se llegan a las siguientes conclusiones:

Primera: Mediante materiales reciclados y un sistema de aislamiento imperfecto se pueden llegar a alcanzar temperaturas altas, la máxima registrada se encuentra en 126,25°C. Aunque los materiales reciclados no son idóneos porque hay que amoldarse a las dimensiones y forma de los elementos disponibles, se ha demostrado con este proyecto que se puede llegar a lograr un buen resultado.

Segunda: La radiación que provoca el calentamiento principal en el horno es la radiación directa, la radiación difusa interviene en una parte casi despreciable. Se llega a esta conclusión porque durante intervalos nubosos cuando no hay radiación directa incidiendo en el horno, se produce un descenso brusco de la temperatura. En los días que no hay nubosidad, el incremento de la temperatura se produce de manera constante y después ésta se mantiene durante un periodo prolongado de tiempo.

Tercera: Otros parámetros como la humedad o el viento tienen su propio efecto sobre el calentamiento del horno. La humedad no es determinante en el calentamiento del horno. Los datos de humedad relativa se recogieron en un primer momento porque se pensó que el porcentaje de humedad relativa era directamente proporcional a la nubosidad, pero se ha demostrado que no es así. El viento dificulta que los reflectores focalicen los rayos solares en el cajón interior del horno, haciendo que éste se caliente de manera más lenta.

Teniendo en cuenta los objetivos previamente marcados:

Primer objetivo: Diseño del horno para que alcance una temperatura elevada.

A partir de los materiales disponibles, se ha conseguido realizar un diseño eficiente y que permita alcanzar valores altos de temperatura. Este diseño consiste en una estructura

principal formada por dos cajones de madera recubiertos con papel de aluminio obtenido de bolsas de snacks, y un cristal de nevera enmarcado cumpliendo la función de tapa. Para conseguir una focalización de los rayos solares en el interior del cajón, se ha construido unos reflectores de cartón forrados también con papel de aluminio de bolsas de snacks.

Segundo objetivo: Fabricación de un prototipo a partir de materiales reciclados.

Se pudo conseguir los materiales reciclados necesarios para la construcción del prototipo y se construyó este, empleando también otros materiales no reciclados pero fáciles de obtener como cinta americana, clavos y listones de madera.

Tercer objetivo: Analizar la distribución de la temperatura interior y en relación a la temperatura ambiente a lo largo de un periodo de exposición solar.

Por último, gracias al programa realizado mediante Simulink en la placa de Arduino y con los sensores de temperatura, se logró medir la distribución de temperatura a lo largo de diferentes días y compararla con la temperatura exterior.

Capítulo 5. ALINEACIÓN CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) constituyen un llamamiento universal a la acción para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y mejorar las vidas y las perspectivas de las personas en todo el mundo.¹ La Agenda para el Desarrollo Sostenible, redactada en 2015, aspira a alcanzar estos 17 objetivos para el año 2030.



Figura 120. Objetivos de Desarrollo Sostenible

Este proyecto, mediante su alineación con los objetivos, pretende servir de impulso para generar las transformaciones necesarias en el entorno en el que está destinado, a la vez que busca servir de ejemplo para otros proyectos ingenieriles en el ámbito sostenible.

Los objetivos que más se alinean con este proyecto son los siguientes:

¹ Naciones Unidas, La Agenda para el Desarrollo Sostenible.

(#7) Energía asequible y no contaminante

La radiación solar es una fuente de energía limpia y renovable, accesible en cualquier lugar del planeta. Además, su uso para este fin es gratuito, haciendo que sea asequible para cualquier persona. Esta energía a su vez es limpia, ya que su uso no genera ningún residuo.

(#13) Acción por el clima

La acumulación de plástico en océanos, vertederos e incluso en núcleos urbanos se considera una emergencia a nivel mundial. Para llegar a paliar el efecto que esto tiene sobre los ecosistemas y el desarrollo natural de la vida, es necesario tomar conciencia sobre ello y empezar a actuar individualmente, poniendo especial énfasis en el reciclaje y la reutilización de estos plásticos.

Por esta razón, las piezas estarán fabricadas a partir de plástico desechado, contribuyendo a limpieza del entorno mientras se concientiza a la población de que estos materiales son un recurso en sí, que ofrece una infinidad de posibilidades.

(#10) Reducción de las desigualdades

Con el horno se pueden llegar a fabricar prótesis de mano, que facilitan enormemente las tareas del día a día en aquellos que necesitan una. Esto contribuye a que estas personas tengan igualdad de oportunidades con otras de su misma edad, género o condición.

Otro uso de las piezas salidas del horno es como material de construcción. Estas se emplearían en la construcción de refugios de emergencia o como estructura para las tiendas de campaña en campos de refugiados, reduciendo así desigualdades entre personas con diferentes medios dentro de la misma comunidad.

Capítulo 6. RECURSOS EMPLEADOS Y PRESUPUESTO

En este apartado se hará una valoración del coste real del proyecto, valorando los diferentes elementos: los materiales de construcción, los componentes electrónicos usados para la caracterización, la instrumentación y el coste de ingeniería del proyecto. Se debe tener en cuenta que, si se quiere construir el horno en una zona en vías de desarrollo, sólo procederá el coste de materiales de construcción, ya que el resto de los costes son únicamente empleados en la elaboración y estudio de este proyecto para el ámbito académico.

A continuación, se presenta la lista de materiales empleados para la construcción del horno. La mayoría de estos son reciclados, por lo que no se muestra su precio. Para aquellos que no lo son, se adjunta el precio entre paréntesis.

- Cinta americana (4€)
- Vidrio
- Caja de madera grande
- Caja de madera pequeña
- Cartón
- Bolsas de snacks con interior de aluminio
- Listones de madera
- Clavos (3€)
- Pintura negra anticalórica (7€)
- Cuerda
- Pinzas (1€)
- Tapones de plástico
- Latas de refresco
- Cola blanca (3€)
- Neumático de bicicleta
- Goma elástica

TOTAL MATERIALES CONSTRUCCIÓN: 18€

Componentes para la caracterización:

<i>Elemento</i>	<i>Precio unitario (€)</i>	<i>Unidades</i>	<i>Subtotal (€)</i>
Placa de Arduino UNO	15	1	15
Termopar tipo K	7,99	2	15,98
Módulo MAX6675	4,73	2	9,46
Cable USB A-B	1,60	1	1,60
Cables electrónica	3,99	1	3,99
TOTAL ELECTRÓNICA			46,03

Tabla 1. Costes de electrónica

Instrumentación:

Los costes de las licencias de estudiante de MATLAB y SOLIDWORKS corren a cargo de la Universidad y no ha sido pedir las específicamente para realizar el proyecto porque ya estaban contratadas así que suponen un coste nulo para el proyecto. El ordenador personal costó 400€ pero tras 10 años de uso está completamente amortizado y el coste que supone al proyecto también es nulo.

<i>Aparato</i>	<i>Precio licencia (€) / Precio unitario (€)</i>	<i>Horas de uso</i>	<i>Coste real para el proyecto (€)</i>
MATLAB & Simulink v.2020	69	100	-
SOLIDWORKS v.2020	119,79	20	-
Ordenador personal	400	530	-
TOTAL INSTRUMENTACIÓN			-

Tabla 2. Costes de instrumentación

Ingeniería:

El precio por hora trabajada de un ingeniero graduado se ha estimado en 15€. En la siguiente tabla se muestran los costes de las diferentes tareas realizadas.

<i>Tarea</i>	<i>Tiempo empleado (horas)</i>	<i>Coste (€/hora)</i>	<i>Subtotal (€)</i>
Búsqueda de información	150	15	2250
Construcción del prototipo	30	15	450
Medición de temperatura	100	15	1500
Redacción de memoria y resultados	300	15	4500
TOTAL INGENIERÍA			8700

Tabla 3. Costes de ingeniería

Presupuesto general del proyecto

<i>Elemento</i>	<i>Subtotal (€)</i>
Material de construcción	18
Electrónica	46,03
Instrumentación	0
Ingeniería	8700
TOTAL	8764,03 €

Tabla 4. Presupuesto general del proyecto

Capítulo 7. TRABAJOS FUTUROS

Aunque se han completado los tres objetivos puestos anteriormente para este trabajo, los materiales reciclados y la reutilización de plástico está a la orden del día.

Para seguir este trabajo de investigación, se podría mejorar el aislamiento del horno y seguir haciendo pruebas hasta que alcance los 160 grados centígrados. Para mejorar la retención de calor se podría estudiar diferentes tipos de aislamiento para colocarlos entre los dos cajones. Materiales posibles para cumplir la función de aislante y que a la vez sean reciclados pueden ser: corcho, serrín, papel o fibras naturales. Cuando llegue a la temperatura necesaria para que el plástico sea moldeable, se podrían empezar a fabricar piezas de plástico a partir de tapones reciclados y medir su resistencia mediante diferentes ensayos.

A su vez, se podrían estudiar los diferentes usos de las piezas creadas: podrían ser tejas o ladrillos para refugios de emergencia, partes de prótesis o recambios de maquinaria pequeña.

La posibilidad de fabricar piezas para construcción sencilla como tejas o ladrillos se exploró inicialmente, pero debido al volumen de trabajo que suponía cumplir todos los objetivos marcados, se dejó para una posible continuación de éste. Se llegó a un diseño de teja, sencillo de fabricar mediante los moldes fabricados con latas de refresco ya que eran todo caras planas y a su vez fáciles de encajar entre sí. A continuación, se muestran dos imágenes del diseño realizado en SolidWorks de una teja y de un conjunto de seis tejas ensambladas.

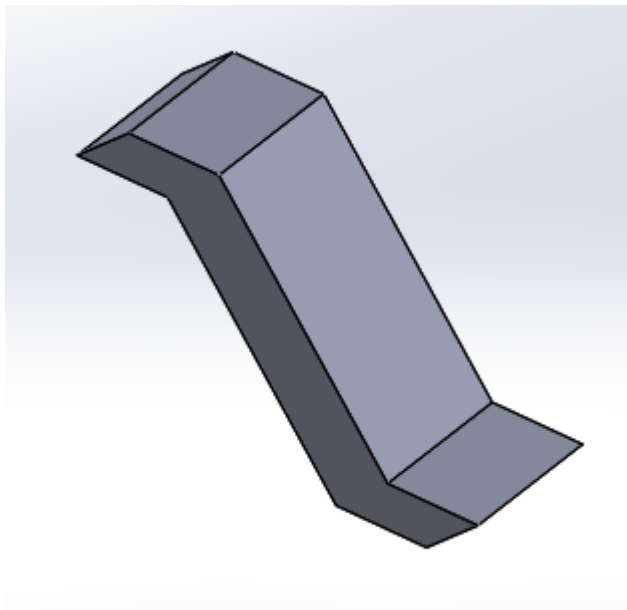


Figura 121. Teja diseñada para su fabricación con el horno

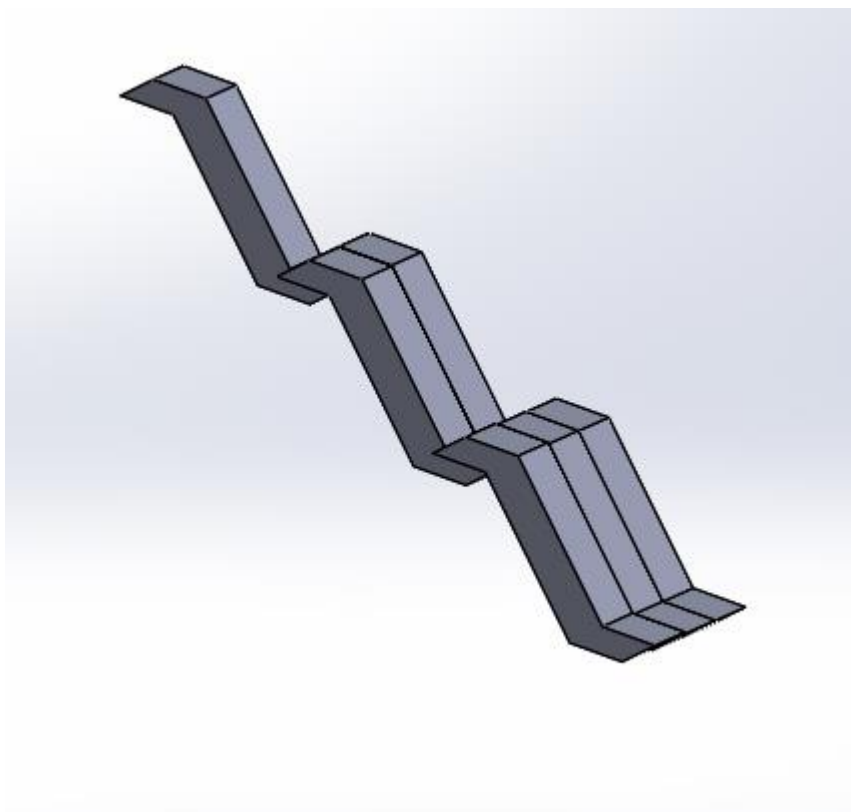


Figura 122. Conjunto de seis tejas

Capítulo 8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] *Aprendiendo Arduino*. (13 de Noviembre de 2016). Obtenido de Bus SPI:
<https://aprendiendoarduino.wordpress.com/category/bus-spi/>
- [2] *Aventura África*. (s.f.). Obtenido de El clima en Namibia:
<https://www.aventuraafrica.com/blog/namibia/el-clima-en-namibia>
- [3] *Blog instrumentación*. (26 de Agosto de 2014). Obtenido de Cómo funciona un termopar: <https://www.bloginstrumentacion.com/productos/temperatura/cmo-funciona-termopar/>
- [4] Carvajal, M., & Vicente, M. (s.f.). *Leroy Merlin*. Obtenido de ¿Qué es la pintura anticalórica y para qué se utiliza?: <https://comunidad.leroymerlin.es/t5/Bricopedia-Reparaci%C3%B3n-y/Qu%C3%A9-es-la-pintura-antical%C3%B3rica-y-para-qu%C3%A9-se-utiliza/ta-p/46658>
- [5] *Circuit Basics*. (s.f.). Obtenido de How to use the SPI Communication on the Arduino: <https://www.circuitbasics.com/how-to-set-up-spi-communication-for-arduino/>
- [6] *Cocina solar*. (7 de Octubre de 2009). Obtenido de Materiales reflectantes (para tus cocinas y hornos solares):
<https://cocinasolar.wordpress.com/2009/10/07/materiales-reflectantes-para-tus-cocinas-y-hornos-solares/>
- [7] Ecoembes. (27 de Agosto de 2018). *¿Cómo se recicla la madera vieja? ¿Dónde depositarla?* Obtenido de <https://ecoembesdudasreciclaje.es/donde-se-recicla-la-madera/>
- [8] *EcuRed*. (s.f.). Obtenido de Matlab: <https://www.ecured.cu/MATLAB>

- [9] Ehret, C. (2002). *The Civilizations of Africa*. University Press of Virginia.
- [10] *El Tamiz*. (27 de 12 de 2007). Obtenido de Conoce tus elementos - El aluminio: <https://eltamiz.com/2007/12/27/conoce-tus-elementos-el-aluminio/>
- [11] Ferroli. (30 de Diciembre de 2015). *¿Por qué se habla del aluminio como el “metal ecológico”?* Obtenido de <https://blog.ferroli.es/por-que-se-habla-del-aluminio-como-el-metal-ecologico/>
- [12] *Forestal maderera*. (2017). Obtenido de La madera es un excelente aislante térmico: <https://www.forestmaderera.com/la-madera-excelente-aislante-termico/#:~:text=La%20raz%C3%B3n%20por%20la%20cual,del%20calor%20y%20la%20electricidad.>
- [13] Incropera, F. P., & DeWitt, D. P. (s.f.). *Fundamentos de transferencia de calor*. Pearson.
- [14] Luis Llamas. (14 de Mayo de 2016). Obtenido de El bus SPI en Arduino: <https://www.luisllamas.es/arduino-spi/#:~:text=En%20caso%20de%20usar%20Arduino,el%20bus%20SPI%20es%20sencillo.>
- [15] Martín, A. (21 de Mayo de 2018). *Las bolsas de patatas fritas: cuando lo malo no está sólo en el interior*. Obtenido de https://www.elespanol.com/ciencia/medio-ambiente/20180518/bolsas-patatas-fritas-malo-no-solo-interior/308219541_0.html
- [16] Mathworks. (s.f.). *Matlab student licence*. Obtenido de https://es.mathworks.com/store/link/products/student/SV?s_tid=ac_buy_sv_but1
- [17] Molano, E. S. (s.f.). Dadaab, el mayor campo de refugiados del mundo. ABC. Obtenido de <https://www.abc.es/internacional/20130721/abci-dadaab-mayor-campo-201307201838.html>

- [18] Naciones Unidas. (s.f.). *Objetivos de desarrollo sostenible*. Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/development-agenda/>
- [19] *Polaridad*. (27 de Julio de 2016). Obtenido de MAX6675. Conversor analógico-digital para sondas de termopar K con compensación de unión fría y comunicaciones SPI.: <http://polaridad.es/max6675-termopar-k-thermocouple-temperatura-compensacion-union-fria-spi-arduino/>
- [20] *Proyecto Arduino*. (s.f.). Obtenido de Arduino UNO R3: <https://proyectoarduino.com/arduino-uno-r3/>
- [21] *Scan2cad*. (s.f.). Obtenido de A brief history of SolidWorks: <https://www.scan2cad.com/cad/solidworks-history/>
- [22] *Solargis*. (s.f.). Obtenido de Mapas de recursos solares y datos GIS: <https://solargis.com/es/maps-and-gis-data/download>
- [23] Tlilxayac. (s.f.). *Vivir en un campo de refugiados en África*. Obtenido de <https://tlilxayac.com/vivir-en-un-campo-de-refugiados-en-africa/>
- [24] *Wikipedia*. (11 de Febrero de 2020). Obtenido de Serial Peripheral Interface: https://es.wikipedia.org/wiki/Serial_Peripheral_Interface
- [25] *Wikipedia*. (22 de Febrero de 2021). Obtenido de Termopar: <https://es.wikipedia.org/wiki/Termopar#Linealizaci.C3.B3n>

ANEXOS

I. IRRADIACIÓN GLOBAL HORIZONTAL MUNDIAL

II. PLANO CAJÓN EXTERIOR

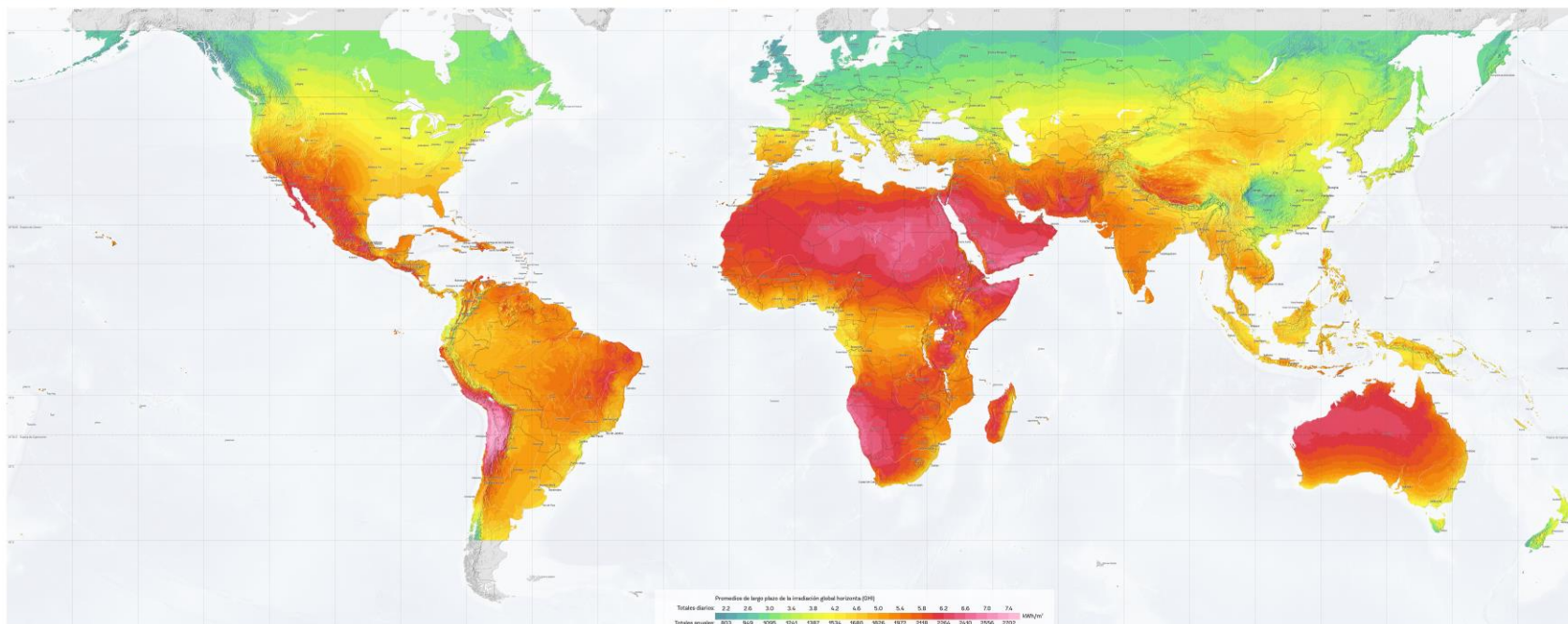
III. PLANO CAJÓN INTERIOR

IV. DATASHEET MAX 6675

V. ARDUINO UNO SCHEMATICS

MAPA DE RECURSO SOLAR

IRRADIACIÓN GLOBAL HORIZONTAL



ACERCA DE

El Grupo Banco Mundial ha publicado este mapa de recurso solar empleando datos de Global Solar Atlas (GSA) para apoyar el crecimiento de la energía solar en países objetivo. Este trabajo está financiado por Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP), un fondo fiduciario de múltiples donantes administrado por el Grupo Banco Mundial y apoyado por 15 donantes asociados. Forma parte de la iniciativa Global ESMAP de mapas de recursos de energías renovables, a cual contribuye la biomasa, hidroeléctrica, solar y eólica. Este mapa ha sido preparado por Solargis bajo un contrato con el Banco Mundial, y está basado en una base de datos de recurso solar propia y gestión perteneciente a Solargis.

Para obtener mapas e información adicional, por favor visite:

<http://globalsolaratlas.info>

DESCRIPCIÓN

Este mapa de recurso solar proporciona un resumen de la energía solar estimada disponible para generación eléctrica y otras aplicaciones energéticas. Representa el promedio del total diario anual de la irradiación global horizontal (GHI) calculado para un período desde 1981/1989/2007 (según la región geográfica) hasta 2019. La base de datos de recurso solar subyacente está calculada a partir de datos atmosféricos y satelitales con una granularidad de 10, 15 y 30 minutos. Los efectos del terreno están considerados con una resolución espacial nominal de 250 m.

Hay una incertidumbre asociada a la estimación de GHI, como resultado del limitado potencial de validación del modelo a nivel regional debido a la falta de mediciones de tierra de alta calidad, y cuyo valor se estima que podrá variar según la región de 4% a 8% aproximadamente.

GHI es el parámetro de mayor importancia en el cálculo de la producción de energía y evaluación del rendimiento para tecnologías fotovoltaicas (PV) de placas planas.

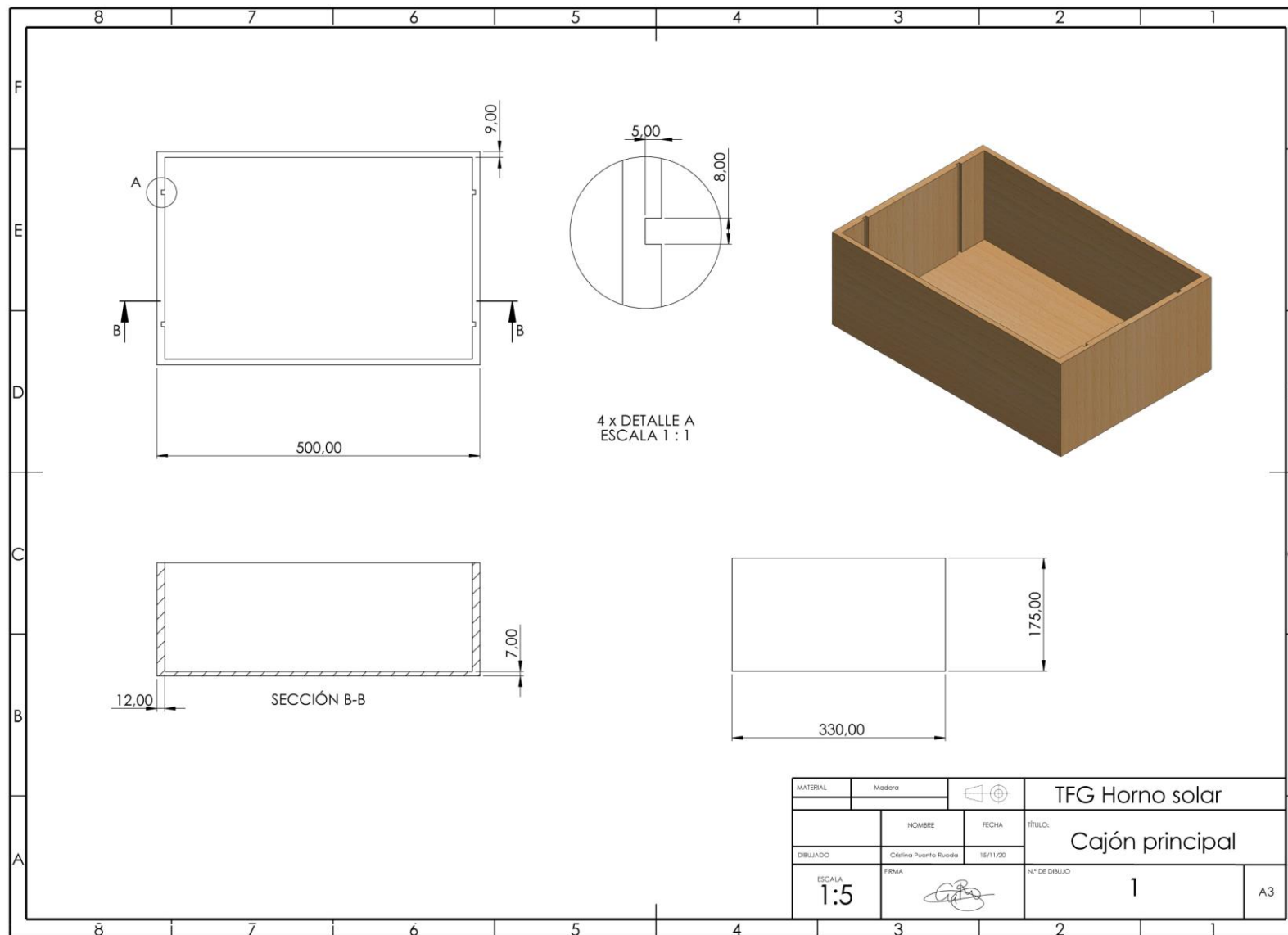
Copyright © 2024
 The World Bank
 1818 F Street NW, Washington DC 20036, USA
 El Grupo Banco Mundial ha publicado este mapa de recurso solar empleando datos de Global Solar Atlas (GSA) para apoyar el crecimiento de la energía solar en países objetivo. Este trabajo está financiado por Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP), un fondo fiduciario de múltiples donantes administrado por el Grupo Banco Mundial y apoyado por 15 donantes asociados. Forma parte de la iniciativa Global ESMAP de mapas de recursos de energías renovables, a cual contribuye la biomasa, hidroeléctrica, solar y eólica. Este mapa ha sido preparado por Solargis bajo un contrato con el Banco Mundial, y está basado en una base de datos de recurso solar propia y gestión perteneciente a Solargis.

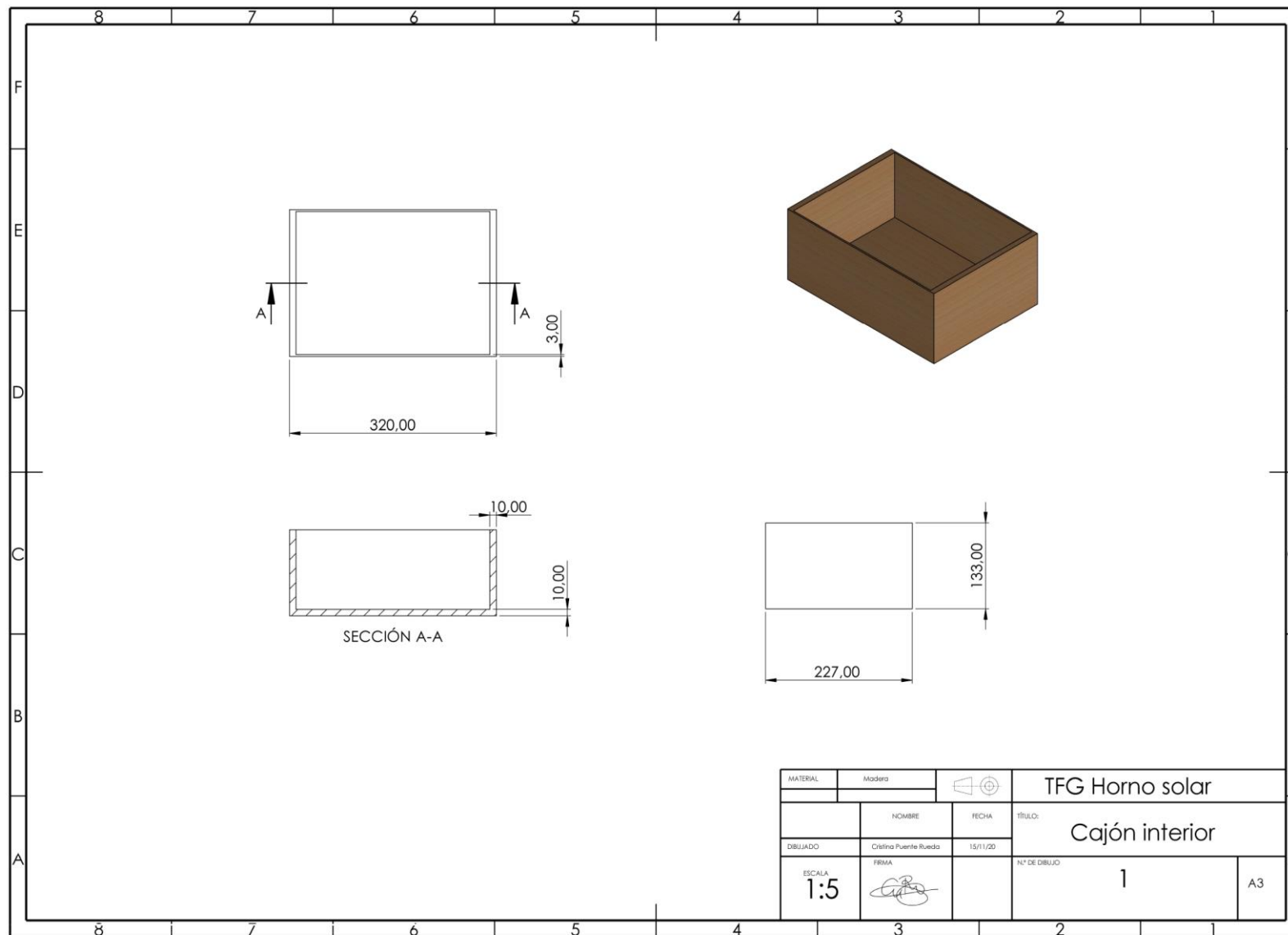
Este mapa de recurso solar proporciona un resumen de la energía solar estimada disponible para generación eléctrica y otras aplicaciones energéticas. Representa el promedio del total diario anual de la irradiación global horizontal (GHI) calculado para un período desde 1981/1989/2007 (según la región geográfica) hasta 2019. La base de datos de recurso solar subyacente está calculada a partir de datos atmosféricos y satelitales con una granularidad de 10, 15 y 30 minutos. Los efectos del terreno están considerados con una resolución espacial nominal de 250 m.

Hay una incertidumbre asociada a la estimación de GHI, como resultado del limitado potencial de validación del modelo a nivel regional debido a la falta de mediciones de tierra de alta calidad, y cuyo valor se estima que podrá variar según la región de 4% a 8% aproximadamente.

GHI es el parámetro de mayor importancia en el cálculo de la producción de energía y evaluación del rendimiento para tecnologías fotovoltaicas (PV) de placas planas.

Copyright © 2024
 The World Bank
 1818 F Street NW, Washington DC 20036, USA
 El Grupo Banco Mundial ha publicado este mapa de recurso solar empleando datos de Global Solar Atlas (GSA) para apoyar el crecimiento de la energía solar en países objetivo. Este trabajo está financiado por Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP), un fondo fiduciario de múltiples donantes administrado por el Grupo Banco Mundial y apoyado por 15 donantes asociados. Forma parte de la iniciativa Global ESMAP de mapas de recursos de energías renovables, a cual contribuye la biomasa, hidroeléctrica, solar y eólica. Este mapa ha sido preparado por Solargis bajo un contrato con el Banco Mundial, y está basado en una base de datos de recurso solar propia y gestión perteneciente a Solargis.





EVALUATION KIT AVAILABLE

MAX6675

Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)

General Description

The MAX6675 performs cold-junction compensation and digitizes the signal from a type-K thermocouple. The data is output in a 12-bit resolution, SPI™-compatible, read-only format.

This converter resolves temperatures to 0.25°C, allows readings as high as +1024°C, and exhibits thermocouple accuracy of 8LSBs for temperatures ranging from 0°C to +700°C.

The MAX6675 is available in a small, 8-pin SO package.

Applications

- Industrial
- Appliances
- HVAC

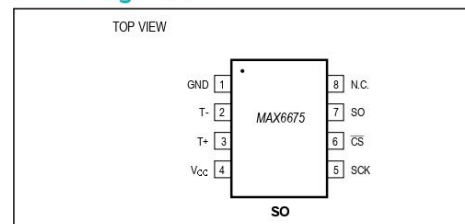
Features

- Direct Digital Conversion of Type -K Thermocouple Output
- Cold-Junction Compensation
- Simple SPI-Compatible Serial Interface
- 12-Bit, 0.25°C Resolution
- Open Thermocouple Detection

Ordering Information

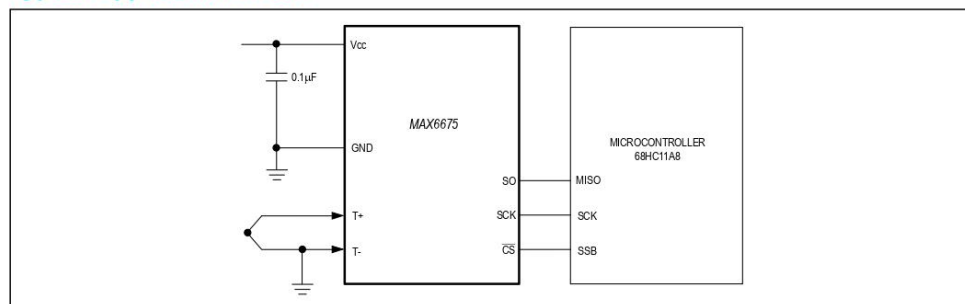
PART	TEMP RANGE	PIN-PACKAGE
MAX6675ISA	-20°C to +85°C	8 SO

Pin Configuration



SPI is a trademark of Motorola, Inc.

Typical Application Circuit



19-2235; Rev 2; 4/14

MAX6675

Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)

Absolute Maximum Ratings

Supply Voltage (V_{CC} to GND)	-0.3V to +6V	Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
SO, SCK, CS, T-, T+ to GND	-0.3V to V_{CC} + 0.3V	Junction Temperature	+150°C
SO Current	50mA	SO Package	
ESD Protection (Human Body Model)	± 2000 V	Vapor Phase (60s)	+215°C
Continuous Power Dissipation ($T_A = +70^\circ\text{C}$)	471mW	Infrared (15s)	+220°C
8-Pin SO (derate 5.88mW/°C above +70°C)	471mW	Lead Temperature (soldering, 10s)	+300°C
Operating Temperature Range	-20°C to +85°C		

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

Electrical Characteristics

($V_{CC} = +3.0$ V to +5.5V, $T_A = -20^\circ\text{C}$ to +85°C, unless otherwise noted. Typical values specified at +25°C.) (Note 1)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Temperature Error		$T_{\text{THERMOCOUPLE}} = +700^\circ\text{C}$, $T_A = +25^\circ\text{C}$ (Note 2)	$V_{CC} = +3.3$ V	-5	+5	LSB
			$V_{CC} = +5$ V	-6	+6	
		$T_{\text{THERMOCOUPLE}} = 0^\circ\text{C}$ to $+700^\circ\text{C}$, $T_A = +25^\circ\text{C}$ (Note 2)	$V_{CC} = +3.3$ V	-8	+8	
			$V_{CC} = +5$ V	-9	+9	
		$T_{\text{THERMOCOUPLE}} = +700^\circ\text{C}$ to +1000°C, $T_A = +25^\circ\text{C}$ (Note 2)	$V_{CC} = +3.3$ V	-17	+17	
			$V_{CC} = +5$ V	-19	+19	
Thermocouple Conversion Constant				10.25		$\mu\text{V}/\text{LSB}$
Cold-Junction Compensation Error		$T_A = -20^\circ\text{C}$ to $+85^\circ\text{C}$ (Note 2)	$V_{CC} = +3.3$ V	-3.0	+3.0	°C
			$V_{CC} = +5$ V	-3.0	+3.0	
Resolution				0.25		°C
Thermocouple Input Impedance				60		k Ω
Supply Voltage	V_{CC}		3.0		5.5	V
Supply Current	I_{CC}			0.7	1.5	mA
Power-On Reset Threshold		V_{CC} rising	1	2	2.5	V
Power-On Reset Hysteresis				50		mV
Conversion Time		(Note 2)		0.17	0.22	s
SERIAL INTERFACE						
Input Low Voltage	V_{IL}				$0.3 \times V_{CC}$	V
Input High Voltage	V_{IH}			$0.7 \times V_{CC}$		V
Input Leakage Current	I_{LEAK}	$V_{IN} = \text{GND or } V_{CC}$			± 5	μA
Input Capacitance	C_{IN}			5		pF

MAX6675

Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)

Electrical Characteristics (continued)

($V_{CC} = +3.0V$ to $+5.5V$, $T_A = -20^\circ C$ to $+85^\circ C$, unless otherwise noted. Typical values specified at $+25^\circ C$.) (Note 1)

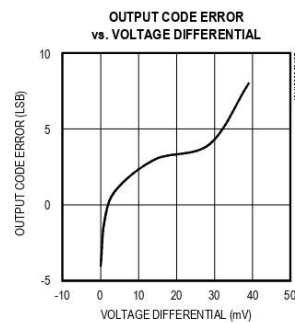
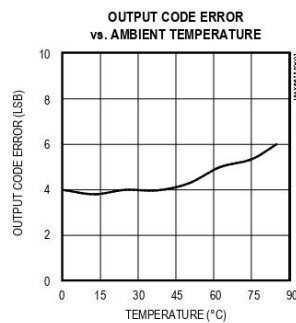
PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Output High Voltage	V_{OH}	$I_{SOURCE} = 1.6mA$	$V_{CC} - 0.4$			V
Output Low Voltage	V_{OL}	$I_{SINK} = 1.6mA$			0.4	V
TIMING						
Serial Clock Frequency	f_{SCL}				4.3	MHz
SCK Pulse High Width	t_{CH}		100			ns
SCK Pulse Low Width	t_{CL}		100			ns
CSB Fall to SCK Rise	t_{CSS}	$C_L = 10pF$	100			ns
CSB Fall to Output Enable	t_{DV}	$C_L = 10pF$			100	ns
CSB Rise to Output Disable	t_{TR}	$C_L = 10pF$			100	ns
SCK Fall to Output Data Valid	t_{DO}	$C_L = 10pF$			100	ns

Note 1: All specifications are 100% tested at $T_A = +25^\circ C$. Specification limits over temperature ($T_A = T_{MIN}$ to T_{MAX}) are guaranteed by design and characterization, not production tested.

Note 2: Guaranteed by design. Not production tested.

Typical Operating Characteristics

($V_{CC} = +3.3V$, $T_A = +25^\circ C$, unless otherwise noted.)



MAX6675

Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)

Pin Description

PIN	NAME	FUNCTION
1	GND	Ground
2	T-	Alumel Lead of Type-K Thermocouple. Should be connected to ground externally.
3	T+	Chromel Lead of Type-K Thermocouple
4	V _{CC}	Positive Supply. Bypass with a 0.1µF capacitor to GND.
5	SCK	Serial Clock Input
6	$\overline{CS}$	Chip Select. Set $\overline{CS}$ low to enable the serial interface.
7	SO	Serial Data Output
8	N.C.	No Connection

Detailed Description

The MAX6675 is a sophisticated thermocouple-to-digital converter with a built-in 12-bit analog-to-digital converter (ADC). The MAX6675 also contains cold-junction compensation sensing and correction, a digital controller, an SPI-compatible interface, and associated control logic.

The MAX6675 is designed to work in conjunction with an external microcontroller (µC) or other intelligence in thermostatic, process-control, or monitoring applications.

Temperature Conversion

The MAX6675 includes signal-conditioning hardware to convert the thermocouple's signal into a voltage compatible with the input channels of the ADC. The T+ and T- inputs connect to internal circuitry that reduces the introduction of noise errors from the thermocouple wires.

Before converting the thermoelectric voltages into equivalent temperature values, it is necessary to compensate for the difference between the thermocouple cold-junction side (MAX6675 ambient temperature) and a 0°C virtual reference. For a type-K thermocouple, the voltage changes by 41µV/°C, which approximates the thermocouple characteristic with the following linear equation:

$$V_{OUT} = (41\mu V / ^\circ C) 5 (T_R - T_{AMB})$$

Where:

V_{OUT} is the thermocouple output voltage (µV).

T_R is the temperature of the remote thermocouple junction (°C).

T_{AMB} is the ambient temperature (°C).

Cold-Junction Compensation

The function of the thermocouple is to sense a difference in temperature between two ends of the thermocouple wires. The thermocouple's hot junction can be read from 0°C to +1023.75°C. The cold end (ambient temperature of the board on which the MAX6675 is mounted) can only range from -20°C to +85°C. While the temperature at the cold end fluctuates, the MAX6675 continues to accurately sense the temperature difference at the opposite end.

The MAX6675 senses and corrects for the changes in the ambient temperature with cold-junction compensation. The device converts the ambient temperature reading into a voltage using a temperature-sensing diode. To make the actual thermocouple temperature measurement, the MAX6675 measures the voltage from the thermocouple's output and from the sensing diode. The device's internal circuitry passes the diode's voltage (sensing ambient temperature) and thermocouple voltage (sensing remote temperature minus ambient temperature) to the conversion function stored in the ADC to calculate the thermocouple's hot-junction temperature.

Optimal performance from the MAX6675 is achieved when the thermocouple cold junction and the MAX6675 are at the same temperature. Avoid placing heat-generating devices or components near the MAX6675 because this may produce cold-junction-related errors.

Digitization

The ADC adds the cold-junction diode measurement with the amplified thermocouple voltage and reads out the 12-bit result onto the SO pin. A sequence of all zeros means the thermocouple reading is 0°C. A sequence of all ones means the thermocouple reading is +1023.75°C.

MAX6675

Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)

Applications Information

Serial Interface

The *Typical Application Circuit* shows the MAX6675 interfaced with a microcontroller. In this example, the MAX6675 processes the reading from the thermocouple and transmits the data through a serial interface. Force $\overline{CS}$ low and apply a clock signal at SCK to read the results at SO. Forcing $\overline{CS}$ low immediately stops any conversion process. Initiate a new conversion process by forcing $\overline{CS}$ high.

Force $\overline{CS}$ low to output the first bit on the SO pin. A complete serial interface read requires 16 clock cycles. Read the 16 output bits on the falling edge of the clock. The first bit, D15, is a dummy sign bit and is always zero. Bits D14–D3 contain the converted temperature in the order of MSB to LSB. Bit D2 is normally low and goes high when the thermocouple input is open. D1 is low to provide a device ID for the MAX6675 and bit D0 is three-state.

Figure 1a is the serial interface protocol and Figure 1b shows the serial interface timing. Figure 2 is the SO output.

Open Thermocouple

Bit D2 is normally low and goes high if the thermocouple input is open. In order to allow the operation of the open thermocouple detector, T₋ must be grounded. Make the ground connection as close to the GND pin as possible.

Noise Considerations

The accuracy of the MAX6675 is susceptible to power-supply coupled noise. The effects of power-supply noise can be minimized by placing a 0.1μF ceramic bypass capacitor close to the supply pin of the device.

Thermal Considerations

Self-heating degrades the temperature measurement accuracy of the MAX6675 in some applications. The magnitude of the temperature errors depends on the thermal conductivity of the MAX6675 package, the

mounting technique, and the effects of airflow. Use a large ground plane to improve the temperature measurement accuracy of the MAX6675.

The accuracy of a thermocouple system can also be improved by following these precautions:

- Use the largest wire possible that does not shunt heat away from the measurement area.
- If small wire is required, use it only in the region of the measurement and use extension wire for the region with no temperature gradient.
- Avoid mechanical stress and vibration, which could strain the wires.
- When using long thermocouple wires, use a twisted-pair extension wire.
- Avoid steep temperature gradients.
- Try to use the thermocouple wire well within its temperature rating.
- Use the proper sheathing material in hostile environments to protect the thermocouple wire.
- Use extension wire only at low temperatures and only in regions of small gradients.
- Keep an event log and a continuous record of thermocouple resistance.

Reducing Effects of Pick-Up Noise

The input amplifier (A1) is a low-noise amplifier designed to enable high-precision input sensing. Keep the thermocouple and connecting wires away from electrical noise sources.

Chip Information

TRANSISTOR COUNT: 6720
PROCESS: BiCMOS

MAX6675

Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)

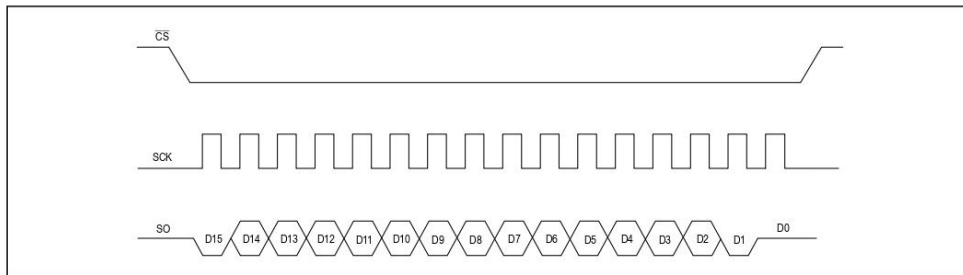


Figure 1a. Serial Interface Protocol

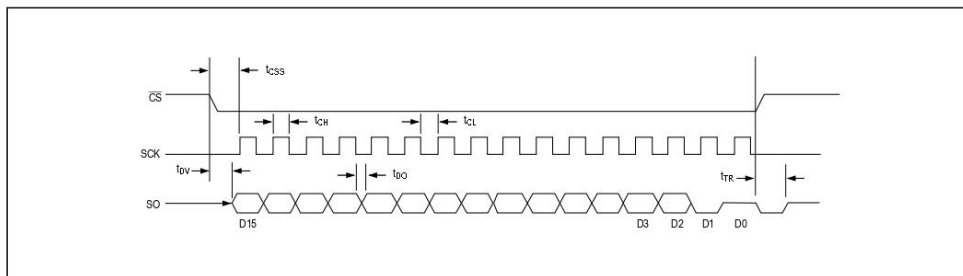


Figure 1b. Serial Interface Timing

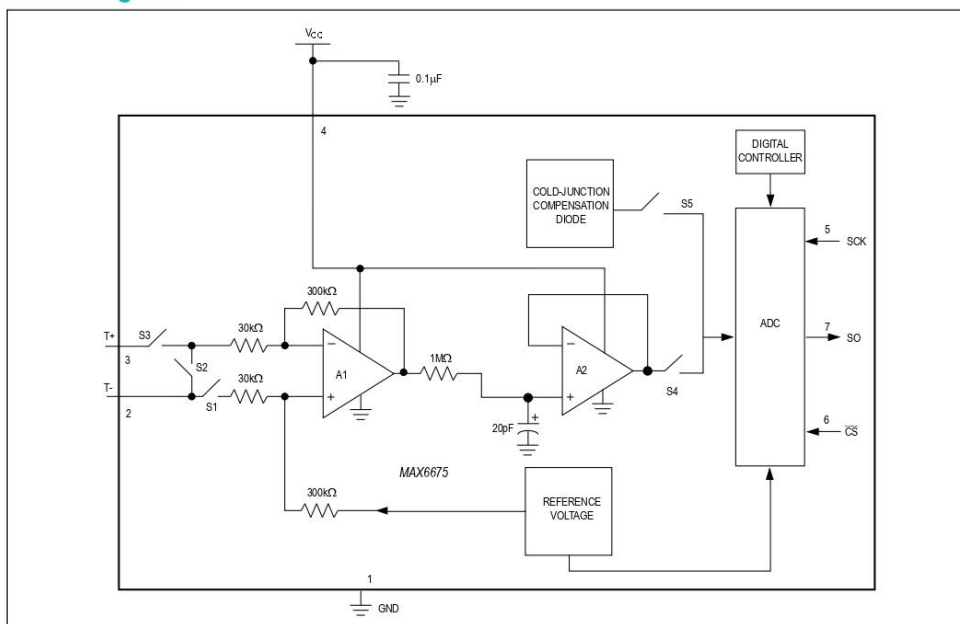
BIT	DUMMY SIGN BIT	12-BIT TEMPERATURE READING												THERMOCOUPLE INPUT	DEVICE ID	STATE
Bit	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
	0	MSB											LSB		0	Three-state

Figure 2. SO Output

MAX6675

Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)

Block Diagram



Package Information

For the latest package outline information and land patterns (footprints), go to www.maximintegrated.com/packages. Note that a "+", "#", or "-" in the package code indicates RoHS status only. Package drawings may show a different suffix character, but the drawing pertains to the package regardless of RoHS status.

PACKAGE TYPE	PACKAGE CODE	OUTLINE NO.	LAND PATTERN NO.
8 SO	S8+2	21-0041	90-0096

MAX6675 Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)

Revision History

REVISION NUMBER	REVISION DATE	DESCRIPTION	PAGES CHANGED
2	4/14	Removed automotive reference	1

For pricing, delivery, and ordering information, please contact Maxim Direct at 1-888-629-4642, or visit Maxim Integrated's website at www.maximintegrated.com.

Maxim Integrated cannot assume responsibility for use of any circuitry other than circuitry entirely embodied in a Maxim Integrated product. No circuit patent licenses are implied. Maxim Integrated reserves the right to change the circuitry and specifications without notice at any time. The parametric values (min and max limits) shown in the Electrical Characteristics table are guaranteed. Other parametric values quoted in this data sheet are provided for guidance.

Maxim Integrated and the Maxim Integrated logo are trademarks of Maxim Integrated Products, Inc. © 2014 Maxim Integrated Products, Inc. | 8

