



SISTEMA PILOTO

AUTOMATIZADO PARA LA COCCIÓN DE ALIMENTOS UTILIZANDO LA ENERGÍA SOLAR EN CURITÍ SANTANDER

*Tnlgo., Técn. Cristhian Ferney Rueda Torres, Aprendiz SENA,
crisferrue@gmail.com*

*MSc., Esp., Ing. Nicolás Javier Rincón Sánchez, Instructor SENNOVA SENA,
nrincons@sena.edu.co
Centro Agroturístico Regional Santander*

Cristhian Ferney Rueda Torres: Técnico en implementación y mantenimiento de equipos electrónicos industriales, Tecnólogo en electrónica, investigador del semillero BIOMECA, SENA, Centro Agroturístico. Regional Santander, emprendedor y comercializador de productos artesanales.

Nicolás Javier Rincón Sánchez : Ingeniero Mecatrónico Cum Laude (UNAB), Especialista en Automatización Industrial (USTA), Magister en Gestión y Dirección de proyectos (USTA), Instructor SENNOVA del Centro Agroturístico SENA. Líder del Grupo de investigación en Tecnología, Innovación y Pedagogía Manuela Beltrán (GITIP – MB), líder del semillero de investigación BIOMECA. Experiencia en gestión, desarrollo, formulación y ejecución de proyectos de investigación, desarrollo e innovación tecnológica. Experiencia en diseño, simulación, ingeniería inversa, prototipado 2D y 3D, automatización e instrumentación industrial. Ejecución de proyectos en las áreas de procesos de manufactura, automatización e instrumentación industrial. Planeación estratégica, coordinación y ejecución de programas de mantenimiento.

Resumen

El consumo energético se ha ido incrementando año tras año, esto es un indicador directo del desarrollo económico e industrial del país, donde a medida que aumenta la calidad de vida, aumenta el gasto energético para producir bienes y servicios; Según la Red de Política de Energía Renovable para el Siglo XXI - REN21 (2021, p.1) el 80% de las necesidades energéticas a nivel mundial son sostenidas por los combustibles fósiles, a su vez existen sectores de población que no pueden acceder a servicios de gas y electricidad por lo que recurren al uso de leña y carbón para la cocción de alimentos, generando impactos negativos en el ambiente. La organización mundial de la salud OMS (2022), indica que se ha calculado que, en 2020, esta contaminación del aire doméstico causó 3,2 millones de defunciones, entre ellas 237.000 de niños menores de 5 años. Es por lo anterior que el objetivo principal de este proyecto era generar una alternativa tecnológica que usara la energía solar, planteando el desarrollo de un sistema piloto automatizado como una alternativa eficiente en el proceso de cocción de alimentos como una solución a la necesidad del Hotel Villa Lucy del municipio de Curití. Para la elaboración de este prototipo se efectuaron varias fases, en donde una de ella fue la recolección de datos a través de fuentes primarias, por medio de la observación de campo y secundarias por medio de vigilancia tecnológica, encontrando experiencias de los habitantes de sitios rurales, zonas no intercomunicadas o de poco acceso a servicios públicos; recopilando información para la elaboración de bosquejos conceptuales, diseños CAD y electrónico, buscando maximizar los aspectos principales como estructura, los materiales con los que se fabricó y sus componentes electrónicos, con el desarrollo del prototipo se efectuó su fase final que fue realizar

pruebas de funcionamiento del dispositivo evidenciando la eficiencia al momento de realizar el proceso de cocción de alimentos, a su vez su sistema de control permitió que no fuera necesario la intervención del usuario durante su proceso; ya que se encargó del seguimiento solar, garantizando una excelente concentración del calor cumpliendo con los requerimientos de temperatura, convirtiéndose en una alternativa viable de solución.

Palabras clave: Cocina Solar, Energía Solar, Automatización, seguimiento solar, diseño mecánico.



Abstract

Energy consumption has been increasing year after year, this is a direct indicator of the economic and industrial development of the country, where as the quality of life increases, energy expenditure increases to produce goods and services; According to Renewable Energy Policy Network for the 21st Century - REN21 (2021, p.1) 80% of the world's energy needs are sustained by fossil fuels, in turn there are sectors of the population that cannot access gas and electricity services, so they use firewood and coal for cooking food, generating negative impacts on the environment., The World Health Organization WHO (2022) indicates that, in 2020, it has been estimated that this domestic air pollution caused 3.2 million deaths, including 237,000 deaths of children under 5 years of age. It is for the above that the main objective of this project was to generate a technological alternative that uses solar energy, proposing the development of an automated pilot system as an efficient alternative in the food cooking process as a solution to the needs of the Hotel Villa Lucy in the municipality of Curití. Several phases were carried out for

the elaboration of this prototype, where one of them was the collection of data through primary sources, through field and secondary observation through technological surveillance, finding experiences of the inhabitants of rural sites, areas not intercommunicated or with little access to public services; collecting information for the elaboration of conceptual sketches, CAD and electronic designs, seeking to maximize the main aspects such as structure, the materials with which it was manufactured and its electronic components, with the development of the prototype its final phase was carried out which was to perform functional tests of the device evidencing the efficiency at the time of carrying out the food cooking process, in turn the intervention of the user was not necessary during its process; since this control was in charge of solar tracking, guaranteeing an excellent concentration of heat complying with the temperature requirements, becoming a feasible solution.

KEYWORDS: Solar Cooking, Solar Energy, Automation, Solar Tracking, Mechanical Design.





1. Introducción

El desarrollo constante de las diferentes actividades humanas requiere energía generalmente obtenida de fuentes no renovables, estas requieren de un ciclo de millones de años para su formación, al ritmo actual de consumo, se agotarán, y dejarán de ser, a corto plazo viables. Nuestro nivel de vida actual sólo demuestra que las necesidades energéticas se encuentran en aumento en todo el mundo, Según el periódico La Republica (2022) Colombia en el año 2021, la demanda de energía eléctrica del Sistema Interconectado Nacional creció 5,51% con respecto al año 2020, con un consumo de 74.116,91 GWh (gigavatios hora), esta cifra de consumo anual representa un nuevo récord histórico y es la variación positiva más alta de la última década. Aun así, hay sectores de la población que no cuentan con acceso a servicios, encuestas realizadas por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE en el año 2020 estiman que el acceso de gas natural en los centros poblados y rural disperso se presentó una cobertura de 14,2% de los hogares (DANE, 2021). Estas cifras son significativamente bajas obligando a la población rural a depender del uso de combustibles como lo son la madera y el carbón para producir el sustento diario de estas familias.

Los bosques en Colombia con respecto a la superficie total del país han venido disminuyendo de manera gradual, según el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en el 2021 se deforestaron 174.103 hectáreas (ha) de bosque, lo que representa un aumento del 1,5 % de este fenómeno en comparación con el año 2020, estos resultados permiten identificar que para el cierre

del año 2021 el país cuenta con 59,5 millones de hectáreas de bosque natural, lo que lo sigue catalogando como un país forestal, donde el 52,1% de superficie continental e insular sigue siendo bosque (Minambiente, 2022).

Pero no son resultados aun favorables, Puesto que la madera sigue siendo un recurso primario, para cumplir necesidades diarias. Esto no es de sorprender puesto que se calcula que la energía de la biomasa como combustible tradicional ascienda una décima parte de la demanda humana de energía, sobre todo en países en desarrollo. En estos hogares normalmente se utilizan fogones abiertos o estufas en mal funcionamiento, la quema de este tipo de materiales libera pequeñas partículas donde su nocividad es perjudicial para la salud humana.

En diversos países desarrollados del mundo el furor de las energías renovables ha afianzado en estos territorios una investigación y desarrollo constante en el uso de fuentes no convencionales. El uso de la energía producida por el sol es una excelente alternativa trayendo diferentes ventajas, sin tener efectos no deseados al medio ambiente, esto ha impulsado una gran demanda de tecnología relacionada a este tipo de recurso. Con lo anteriormente expuesto el desarrollo de un sistema de cocina solar automatizada se ha convertido en una alternativa viable y eficiente para la cocción de alimentos. Aquí se encontrará el proceso llevado a cabo paso a paso, donde se demuestre que esta tecnología se puede replicar por un bajo costo en cualquier parte que se tenga acceso a la energía del sol.

2. Metodología

El diseño y construcción de este prototipo se planteó como una solución a la necesidad del Hotel Villa Lucy del municipio de Curití, de hacer más eficientes las cocinas solares existentes en el hotel, con la finalidad de tener un sistema electrónico que permitiera un seguimiento de la cocina hacia donde el sol se encontrará. Los parámetros que se establecieron para el prototipo fueron propuestos por los involucrados, donde se tuvo una charla para determinar cuáles de estas ideas eran viables, en el prototipo que se quería fabricar, como consecuencia de los planteamientos establecidos se procedió a dividir el proyecto en cuatro fases para su total culminación.

En la primera fase se tuvo en cuenta la recolección de datos a través de fuentes primarias, por medio de la observación de campo y secundarias por medio de vigilancia tecnológica, encontrando experiencias de los habitantes de sitios rurales, zonas no intercomunicadas o de

poco acceso a servicios públicos; recopilando información de diferentes tipos de diseños encontrados en el mercado, además de buscar los materiales más utilizados para el diseño de este tipo de tecnología; los materiales que fueron escogidos se seleccionaron por su costo beneficio. En su segunda fase se tuvo en cuenta un diseño de estufa solar tipo caja existente en el hotel para la elaboración de bosquejos conceptuales y diseños CAD, logrando un rediseño de la cocina solar, el cual cumpliría los requerimientos establecidos, además se realizó el diseño mecánico y electrónico del sistema que se encargaría del seguimiento solar. En la tercera fase se fabricaron todas las partes que tendría la estufa solar, al armar dicho dispositivo se decidió que se dividiría en dos esta fase, en una de ellas se enfatizó la parte mecánica y física de la cocina, y la otra estaría dedicada al sistema automatizado y sus pruebas. En la cuarta y última fase se efectuó el ensamblaje del equipo y las pruebas de funcionamiento en condiciones reales.

2.1. Vigilancia tecnológica

Al realizar la fase de investigación se analizó que al ser un rediseño de productos ya existentes lo principal era realizar una búsqueda de las cocinas encontradas en el mercado, así como documentos que permitirán el desarrollo y mejoramiento de este tipo de elemento. Se pudo determinar que existen varios tipos de cocinas solares entre los cuales los más comunes son:

- Estufa tipo caja estufa de concentración.
- Estufa con contenedores parabólicos compuestos.

- Estufa desconcentración indirecta.
- Estufa con concentradores parabólicos compuestos de revolución.

Por medio de la investigación se encontró que en la zona donde se utilizaría el proyecto sería una zona tropical, ya que el municipio de Curití-Santander tiene precipitaciones significativas en la mayoría de los meses del año, y su temporada seca es corta como se puede observar en la figura 1, concluyendo que era necesario que la estufa solar tuviera un sistema de apoyo electrónico para mejorar su rendimiento.

Figura 1. Tabla Climática - Datos Históricos del Tiempo Curití.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	19.3	19.6	19.6	19.3	19.1	19.1	19.2	19.4	19.4	18.9	18.7	19
Temperatura min. (°C)	15.4	15.7	15.9	15.9	15.7	15.4	15.3	15.2	15.3	15.5	15.5	15.4
Temperatura máx. (°C)	24.4	24.9	24.9	24.2	23.8	24	24.2	24.7	24.6	23.8	23.3	23.9
Precipitación (mm)	147	174	269	445	580	564	547	493	383	414	366	208
Humedad(%)	73%	72%	75%	80%	81%	76%	73%	72%	73%	79%	81%	77%
Días lluviosos (días)	16	16	20	21	22	21	22	22	21	22	20	17
Horas de sol (horas)	8.1	8.1	8.1	7.9	8.1	8.5	8.7	8.6	8.5	7.6	7.0	7.7

Data: 1991 - 2021 Temperatura min. (°C), Temperatura máx. (°C), Precipitación (mm), Humedad, Días lluviosos. Data: 1999 - 2019: Horas de sol

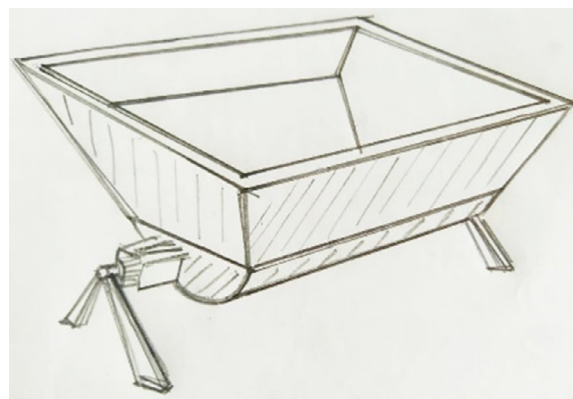
Adaptado de Tabla Climática // Datos Históricos del Tiempo Curití (Climate Data, 2022)

El concepto del diseño es una importante etapa al momento de pensar en la solución del problema planteado por los objetivos del sistema. En esta fase se debe tomar como referencia un diseño práctico del producto teniendo en cuenta: la función, producción, comercio, usuario y consumidor. Enfatizando que el prototipo sea lo más eficiente posible en los ámbitos en el que se desenvolverá. Es útil realizar bocetos del sistema, para así tener una idea base de la cual partir y lograr tener un diseño efectivo.

Al iniciar un diseño se establecen diferentes opciones e ideas, las cuales van acordes a cumplir con los requerimientos del sistema, al tener

claro las especificaciones se plantea un diseño preliminar que se puede observar en la Figura 2.

Figura 2. Diseño conceptual sistema piloto para la cocción de alimentos.



Nota: Creación Propia

2.2. Selección de materiales

Tan importante como el diseño es tener en cuenta los materiales con los cuáles se fabricó la cocina solar, pues son una parte fundamental ya que debían cumplir con solventar tres variables como lo son: reflejar la luz del sol, concentrar el calor y mantener la temperatura y al existir una gran variedad para escoger, se tuvo en cuenta tres parámetros los cuales son accesibilidad, peso y la fácil manipulación, los que fueron escogidos se describen a continuación:

2.2.1. Materiales Mecánicos:

Fibra de vidrio: Material predominante en la estructura de cocina solar, pues su facilidad de adquirir la forma deseada y mantenerla, fue óptima para el desarrollo de la estufa.

Jumbolon: Material resistente al calor, fue el encargado de mantener la temperatura, se ubicó entre las capas de fibra de vidrio.

Película adhesiva reflectante: Material utilizado para reflejar la radiación solar en el interior de la cocina, a pesar de existir gran cantidad de materiales reflectantes, este se seleccionó por la facilidad de su instalación al ser adhesivo.

Acero: material utilizado para la estructura que soporta el peso de la cocina. Mayormente encontrado en las bases de la cocina solar, escogido por ser ligero y resistente.

Onix y Fibra de carbono: Material Utilizado para la fabricación de los engranajes de la caja reductora, esta fabricación se realizó a través de impresión 3D.

2.2.2. Materiales eléctricos

BH1750FVI: Sensor digital de iluminación ambiente con interfaz IC y I2C. Este dispositivo es adecuado para obtener los datos correspondientes de la luz.

TEMT6000: Sensor de luz ambiente sensible al espectro visible, es analógica la salida del sensor y se puede medir con cualquier microcontrolador.

DS18B20: Sensor digital que permite detectar temperatura utilizando el protocolo 1-Wire para su comunicación este sensor nos permite medir una temperatura de menos -55 grados centígrados a los 125 grados centígrados con una resolución de 9 a 12 bits.

Puente-H L298N: Tarjeta que permite controlar motores DC o paso a paso ideal para este proyecto es compatible con el controlador Arduino y es manejada con un circuito L298.

SA31353: Regulador de voltaje de corriente continua tiene una entrada de 3.2V hasta 40V de tensión y una salida de 1.25V a 35V con una corriente de 3A.

Bateria 12V 7.5 A: Encargada de proporcionar la alimentación tanto para el sistema de control como para el sistema de potencia ya que gracias al convertidor DC se envía una parte hacia el arduino, los sensores y la otra parte será dirigida hacia el motor.

El motor: será el componente encargado de transformar la energía eléctrica en mecánica y así mover la estructura de la estufa solar.

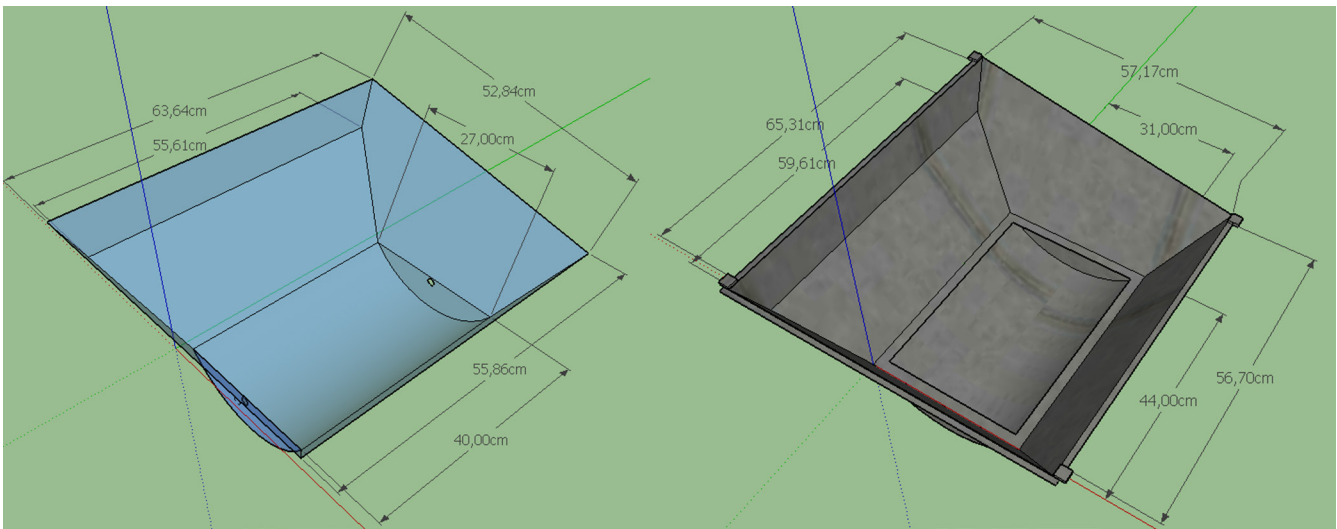
2.3. Diseño, simulación y análisis

2.3.1. Diseño mecánico

La estructura física fue basada en el diseño que se realizó en el planteamiento conceptual, cumpliendo con las características necesarias para ser implementado. Existen algunas variables o factores adicionales que afectan el sistema general que se planteó, entre estos se tienen: el peso, la resistencia, el espacio, el costo y la confiabilidad.

Este diseño se realizó en un software CAD, que permitió simular el movimiento evidenciando las virtudes del prototipo, así como los cambios estructurales para su implementación.

Figura 3. Diseño en CAD sistema piloto para la cocción de alimentos.



Nota: Creación Propia

Para alcanzar las revoluciones por minutos y el torque requerido para garantizar el movimiento de la estructura de la cocina solar, se realizó un diseño de una caja reductora de velocidad, compuesta por 4 engranajes helicoidales que permitieron obtener una disminución de velocidad de 30 rpm a 1.6 rpm, como se muestra en la Tabla 1.

Ecuación 1 Ecuación engranajes.

$$Z_1n_1 = Z_2n_2$$
$$n_2 = \frac{Z_1n_1}{Z_2}$$

Tabla 1 Cálculo de engranajes según rpm.

Tabla 1 Cálculo de engranajes según rpm.			
w1	Z1	w2	Z2
30	10	5	60
w3	Z3	w4	z4
5	20	1.6	60

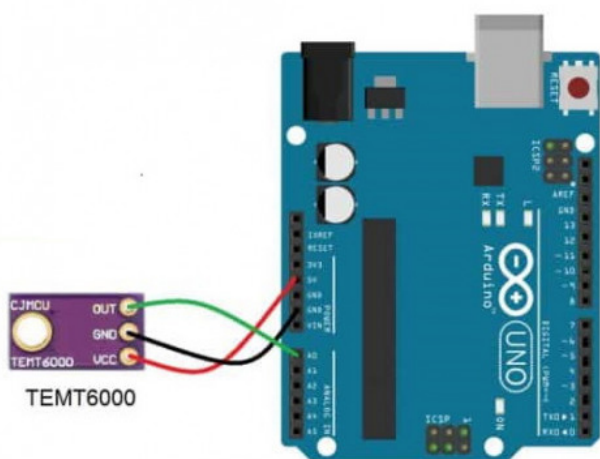
Nota: Creación Propia

2.3.2. Diseño Electrónicos

Desde el punto de vista electrónico lo principal para tener en cuenta para el seguimiento del sol era los sensores que se utilizarían el sistema que lo controlaría y el que generaría el movimiento.

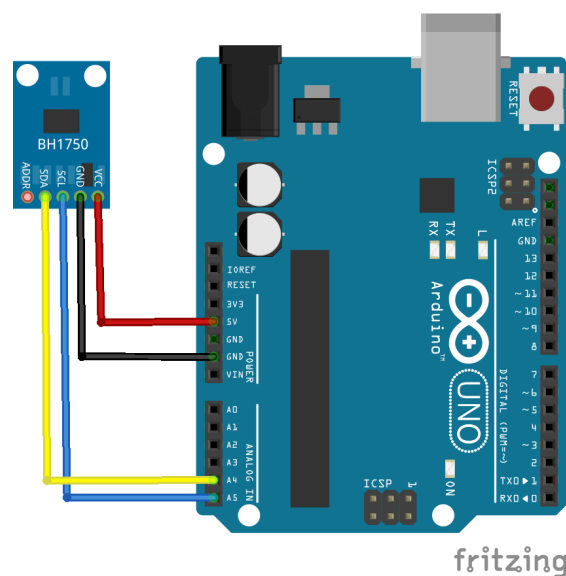
Los sensores principales utilizados fueron BH1750FVI y un sensor de apoyo el cual es TEMA6000. Estos sensores trabajan como una comunicación I2C, el cual sólo permite máximo dos sensores conectados, por eso se encuentra el segundo sensor de apoyo, para generar un encendido de estos dos, lo que realizan estos sensores es detectar la cantidad de lúmenes que se encuentran en el ambiente y por medio de una comparación de los dos sensores, de acuerdo a la posición en la que se encuentra se puede a través del Arduino dar la orden al motor para generar el movimiento.

Figura 4. Conexiones TEMA6000.



Adaptado de Sensor de Luz Ambiental TEMA6000 (Altronics, s.f.)

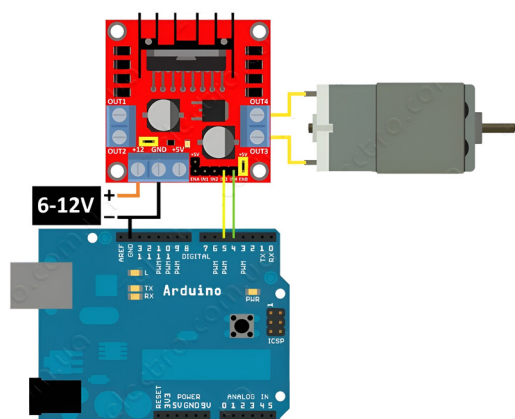
Figura 5. Conexiones BH1750FV.



Adaptado de ARDUINO AND BH1750 SENSOR (Arduino Learning, s.f.)

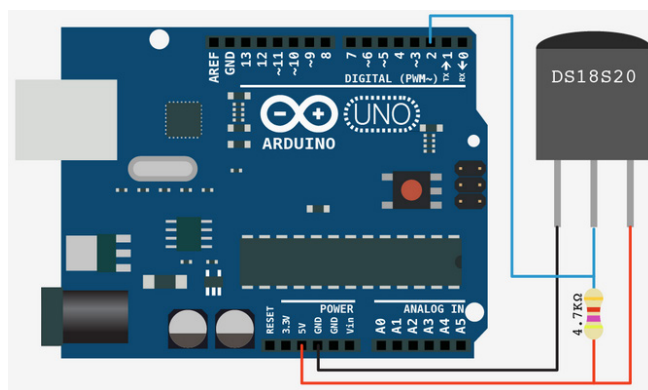
El segundo elemento importante en la parte electrónica es el controlador en este caso se optó por el Arduino por su bajo costo y excelente funcionamiento a través de una programación que se realizó se logra disponer a través de señales la recepción de datos enviados por los sensores, ser procesados y de esta manera controlar el giro de la cocina solar. El motor encontrado en este prototipo es un motor común de corriente continua ese es de 30 revoluciones por minuto está apoyado por dos elementos muy importantes el primero desde el punto de vista electrónico es un puente H el cual nos permite cambiar el sentido de giro del motor además de proporcionar la corriente que necesita el motor para generar movimiento, para asegurarnos de que la cocina tiene la temperatura suficiente para preparar los alimentos se tiene en cuenta una sonda de temperatura.

Figura 6. Conexiones Driver L298N.



Adaptado de Uso de Driver L298N para motores DC y paso a paso con Arduino (Electronilab, 2014)

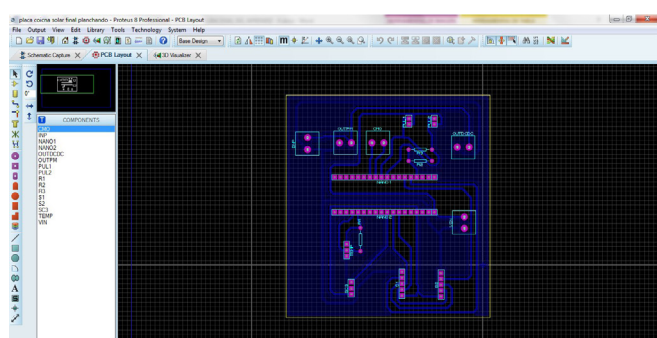
Figura 7. Conexiones DS18B20.



Adaptado de Sensor de temperatura DS18B20 con Arduino (HETPRO, s.f.)

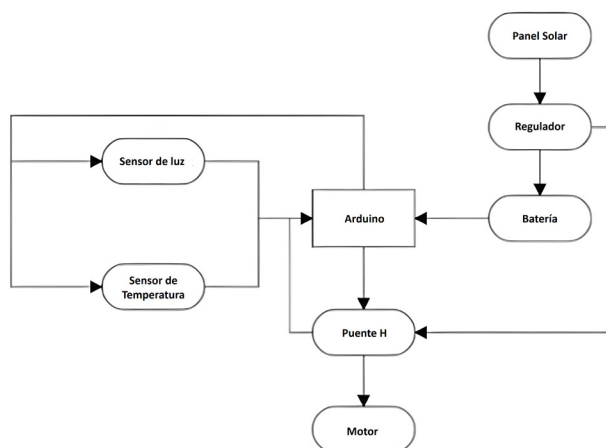
Al existir diferentes tipos de microcontroladores se tomó en cuenta, que el Arduino nano sería la mejor elección para recibir y controlar todo el sistema, pero sería necesario una PCB que integra el microcontrolador y la recepción de los señores y al mismo tiempo pudiera enviar los datos al puente H que controlaría el giro del motor. La creación de esta PCB se hizo de manera artesanal, la cual requiere imprimir el circuito diseñado en Proteus. Con una plancha se adhiere la tinta de la impresión de circuito al PCB y luego de ser retirada se aplica cloruro férrico, para retirar el exceso de cobre y posteriormente se le agregan los elementos al ser soldados con ayuda de un cautoín y estaño.

Figura 8. Diseño de Placa Electrónica



Nota: Creación Propia

Figura 9. Diagrama electrónico sistema piloto para la cocción de alimentos



Nota: Creación Propia

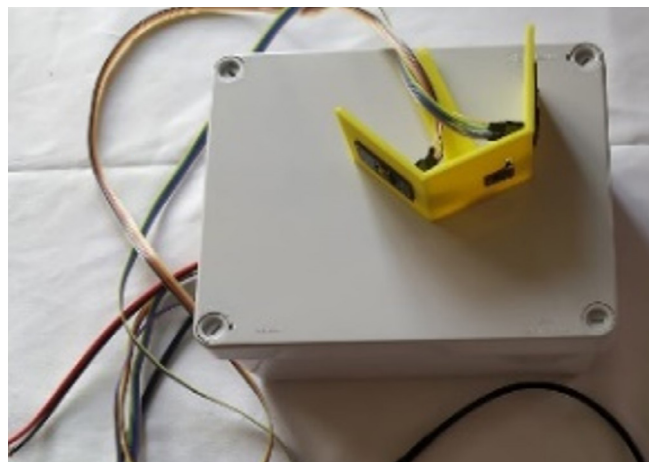
En esta fase al tener escogido los elementos electrónicos que formarían parte del sistema, se realizó la programación de cada uno de estos elementos por aparte, y probar cada uno de los funcionamientos, al tener estos pasos completados se juntan en las programaciones para tener la resolución el seguimiento del sol.

Figura 10. Prototipo sistema piloto para la cocción de alimentos.



Nota: Creación Propia

Figura 11. Caja Electrónica sistema piloto para la cocción de alimentos.



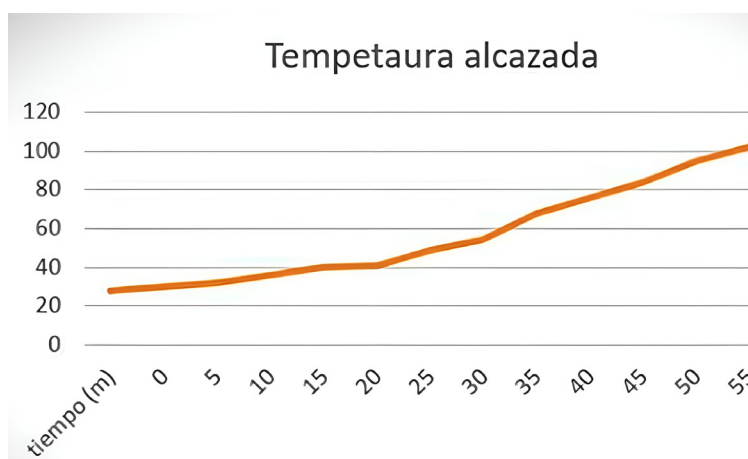
Nota: Creación Propia



3. Análisis de resultados

El prototipo al ser usado obtuvo valores de temperatura óptimos para la cocción de los alimentos como se muestra en la figura 12.

Figura 12 Temperatura Cocina Solar.



Nota: Creación Propia

La creación de este dispositivo cumple con los principios de funcionamiento dando al usuario la opción de reemplazar la cocina tradicional en lugares donde no haya acceso a electricidad o gas, que utilicen el carbón y la madera como fuente de energía para cocinar los alimentos. Es importante tener en cuenta que al no ser un método corriente le tomara al usuario un tiempo adaptarse a esa nueva manera de procesar los alimentos.

De los procesos realizados para la fabricación de este prototipo se evidenció que los sistemas de apoyo son necesarios para mantener la eficiencia en zonas donde la climatología no permita un excelente funcionamiento. De acuerdo con lo anterior es necesario siempre realizar un estudio anterior de la zona donde se utilizará pues esto determinará el tipo de cocina solar que se utilizará y si es necesario que se integré un sistema automatizado para el seguimiento solar.

En cuanto el diseño electrónico es importante tener en cuenta que los sensores que actualmente se utilizan para la medición de luz son sensibles por lo que es necesario tomar medidas para reducir esta sensibilidad ya que afectan el control del dispositivo. El sistema de alimentación se realiza a través de una batería la cual es alimentada por un panel solar así que sigue sin requerir ningún tipo de conexión por parte de la red local.

Es importante tener en cuenta que este tipo de proyecto está, enfocado en la construcción de un producto que puede ser utilizado en zonas de difícil acceso resistente al agua y al polvo, pero se deben realizar los mantenimientos adecuados para mantener su eficiencia esto permitirá a la familia que lo utilice dejar de depender de energías no renovables





4. Discusión y conclusiones

El rediseño tomado a partir de una cocina solar tipo caja optimizada a la zona tropical, la cual se le hicieron las modificaciones necesarias, cumplió con los requerimientos que se establecieron, mostrando funcionamiento eficiente, al momento de concentrarse y mantener el calor y así poder cocinar los alimentos.

El diseño propuesto en este proyecto mantiene como prioridad el que el prototipo sea desmontable, esto se logró a través de tornillos los cuales permitían que la cocina tuviera puntos de acople modificables, a través de éstos se pudo mantener un dispositivo de fácil transporte y una viable manipulación.

Al momento de ser utilizado el prototipo mostro autonomía propia, la cual permitiría al usuario realizar otras actividades mientras que se realizaba la cocción de los alimentos este método evita que se pierdan nutrientes y vitaminas.

Al no tener que recurrir a otro tipo de energía fuera de la solar, el dispositivo es recomendable para usar en hogares que utilicen la leña o carbón como combustible, igualmente hay que tener en cuenta qué se debe realizar una capacitación para el uso de este tipo de tecnología.

5. Referencias Bibliográficas

- Altronics. (s.f.). Sensor de Luz Ambiental TEMT6000 [Fotografía]. Altronics. <https://altronics.cl/sensor-luz-temt6000>.
- Arduino Learning. (s.f.). ARDUINO AND BH1750 SENSOR [Fotografía]. Arduino Learning. <http://arduinolearning.com/code/arduino-bh1750-sensor.php>
- Climate Data. (2022). Tabla Climática // Datos Históricos del Tiempo Curití [Fotografía]. Climate Data. <https://es.climate-data.org/america-del-sur/colombia/santander/curiti-50194/#climate-graph>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE. (2021). Indicadores de calidad de vida de los Colombianos en 2020. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/salud/calidad-de-vida-ecv/encuesta-nacional-de-calidad-de-vida-ecv-2020>
- Electronilab. (2014). Uso de Driver L298N para motores DC y paso a paso con Arduino [Fotografía]. Electronilab. <https://electronilab.co/tutoriales/tutorial-de-uso-driver-dual-l298n-para-motores-dc-y-paso-a-paso-con-arduino/>
- La Republica. (2022, 18 de enero). Demanda de energía en 2021 marcó récord histórico al totalizar 74.116,91 GW hora. La Republica. <https://www.larepublica.co/economia/demanda-de-energia-en-2021-marco-record-historico-al-totalizar-74-116-91-gw-hora-3288298>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – Minambiente (2022, 15 de julio). Se reduce y se contiene la deforestación en Colombia durante los últimos cuatro años. Minambiente. <https://www.minambiente.gov.co/bosques-biodiversidad-y-servicios-ecosistemicos/se-reduce-y-se-contiene-la-deforestacion-en-colombia-durante-los-ultimos-cuatro-anos/>
- Organización Mundial de la Salud – OMS (2022, 27 de julio). Contaminación del aire doméstico y salud. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/household-air-pollution-and-health>
- Herramientas Tecnológicas Profesionales - HETPRO. (s.f.). Sensor de temperatura DS18B20 con Arduino [Fotografía]. <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/sensor-de-temperatura-ds18b20/>
- Red de Política de Energía Renovable para el Siglo XXI - REN21(2021, 15 de junio). Hagamos de las energías renovables un indicador clave de rendimiento en todas las actividades económicas [Comunicado de prensa] https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/REN21_GSR2021_PressRelease_Spanish.pdf
- Fotografías:<https://mipueblocreadordecultura.blogspot.com/2018/10/curiti-pueblo-de-tejedores.html>





AUTOMATED PILOT

SYSTEM FOR COOKING FOOD USING SOLAR ENERGY IN CURITI SANTANDER

*Tnlgo., Técn. Cristhian Ferney Rueda Torres, Aprendiz SENA,
crisferrue@gmail.com*

*MSc., Esp., Ing. Nicolás Javier Rincón Sánchez, Instructor SENNOVA SENA,
nrrincons@sena.edu.co
Centro Agroturístico Regional Santander*

Cristhian Ferney Rueda Torres: Technician in implementation and maintenance of industrial electronic equipment, electronics technologist, researcher of the BIOMECA seedbed, SENA, Centro Agroturistico. Regional Santander, entrepreneur, and salesperson of handicraft products.

Nicolás Javier Rincón Sánchez : Mechatronic Engineer -Cum Laude (UNAB), Post grad. Specialist in Industrial Automation (USTA), Master's Degree in management and project management (USTA), SENNOVA Instructor of the Centro Agroturistico SENA. Leader of the Research Group in Technology, Innovation and Pedagogy Manuela Beltrán (GITIP - MB), leader of the research group BIOMECA. Experience in management, development, formulation and execution of research, development, and technological innovation projects. Experience in design, simulation, reverse engineering, 2D and 3D prototyping, automation and industrial instrumentation. Execution of projects in the areas of manufacturing processes, automation and industrial instrumentation. Strategic planning, coordination and execution of maintenance programmes.



1. Introduction

The constant development of different human activities requires energy, generally obtained from non-renewable sources, which require a cycle of millions of years for their development; at the current rate of consumption, they will be exhausted and will cease to be viable in the short term. According to the newspaper La Republica (2022) Colombia in the year 2021, the demand for electrical energy of the National Interconnected System grew 5.51% with respect to the year 2020, with a consumption of 74,116.91 GWh (gigawatt hours), this figure of annual consumption of 74,116.91 GWh (gigawatt hours). It represents a new historical record and is the highest positive variation in the last decade. Even so, there are sectors of the population that do not have access to services, surveys conducted by the National Administrative Department of Statistics DANE in 2020 estimate that access to natural gas in populated centres and dispersed rural areas had a coverage of 14.2% of households (DANE, 2021). These figures are significantly low, forcing the rural population to depend on the use of fuels such as wood and charcoal to produce the daily sustenance of these families.

According to the Ministry of Environment and Sustainable Development, 174,103 hectares (ha) of forest were deforested in 2021, which represents an increase of 1.5% compared to 2020. These results show that by the end of 2021 the country will have 59.5 million hectares of natural

forest, which continues to classify it as a forested country, where 52.1% of the continental and insular surface is still forest (Minambiente, 2022). However, the results are not yet favourable, since wood is still a primary resource, to meet daily needs. This is not surprising since biomass energy as a traditional fuel is estimated to account for one tenth of human energy demand, especially in developing countries. In these households, open fires or malfunctioning cookers are often used, burning such materials releases small particles where their harmfulness is detrimental to human health.

In several developed countries around the world, the renewable energy craze has led to constant research and development in the use of non-conventional sources. The use of energy produced by the sun is an excellent alternative bringing different advantages, without having undesirable effects on the environment, this has driven a great demand for technology related to this type of resource. With the above mentioned, the development of an automated solar cooking system has become a viable and efficient alternative for cooking food. Here you will find a step-by-step process that demonstrates that this technology can be replicated at low cost anywhere there is access to solar energy.

2. Methodology

The design and construction of this prototype was proposed as a solution to the need of the Hotel Villa Lucy in the municipality of Curitiba, to make the existing solar cookers in the hotel more efficient, with the aim of having an electronic system that would allow the cooker to follow where the sun would be. The parameters that were established for the prototype were proposed by those involved, where a talk was held to determine which of these ideas were viable in the prototype that was to be manufactured, as a result of the approaches established, the project was divided into four phases for its total completion.

The first phase took into account the collection of data through primary sources, by means of field observation and secondary sources through technology watch, finding experiences of the inhabitants of rural areas, areas that are not interconnected or have little access to public services; compiling information on different types of designs found on the market, as well

as looking for the materials most commonly used for the design of this type of technology; the materials that were chosen were selected for their cost-benefit. In the second phase, an existing box-type solar cooker design in the hotel was taken into account for the elaboration of conceptual sketches and CAD designs, achieving a redesign of the solar cooker, which would meet the established requirements, in addition to the mechanical and electronic design of the system that would be responsible for solar tracking. In the third phase, all the parts of the solar cooker were manufactured. When the device was assembled, it was decided that this phase would be divided into two: one of them would focus on the mechanical and physical part of the cooker, and the other would be dedicated to the automated system and its tests. In the fourth and final phase, the equipment was assembled and tested under real conditions.

2.1. Technological surveillance

When carrying out the research phase, it was analysed that as it was a redesign of existing products, the main thing was to carry out a search of the cookers found on the market, as well as documents that would allow the development and improvement of this type of element. It was determined that there are several types of solar cookers among which the most common are:

- Box type cooker, concentrating cooker.
- Cooker with compound parabolic containers.

- Indirect deconcentration cooker.
- Cooker with compound parabolic concentrators of revolution.

Through the research it was found that the area where the project would be used would be a tropical zone, since the municipality of Curití-Santander has significant rainfall in most months of the year, and its dry season is short as can be seen in figure 1, concluding that it was necessary for the solar cookstove to have an electronic support system to improve its performance. Figura 1.

Figure 1. Climatic Table - Curití Weather Historical Data.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	19.3	19.6	19.6	19.3	19.1	19.1	19.2	19.4	19.4	18.9	18.7	19
Temperatura min. (°C)	15.4	15.7	15.9	15.9	15.7	15.4	15.3	15.2	15.3	15.5	15.5	15.4
Temperatura máx. (°C)	24.4	24.9	24.9	24.2	23.8	24	24.2	24.7	24.6	23.8	23.3	23.9
Precipitación (mm)	147	174	269	445	580	564	547	493	383	414	366	208
Humedad(%)	73%	72%	75%	80%	81%	76%	73%	72%	73%	79%	81%	77%
Días lluviosos (días)	16	16	20	21	22	21	22	22	21	22	20	17
Horas de sol (horas)	8.1	8.1	8.1	7.9	8.1	8.5	8.7	8.6	8.5	7.6	7.0	7.7

Data: 1991 - 2021 Temperatura min. (°C), Temperatura máx. (°C), Precipitación (mm), Humedad, Días lluviosos. Data: 1999 - 2019: Horas de sol

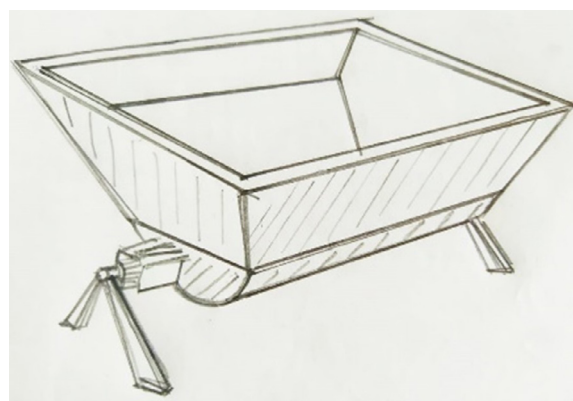
Adapted from Climate Table // Curiti Weather Historical Data (Climate Data, 2022)

The design concept is an important stage when thinking about the solution of the problem posed by the system objectives. In this phase, a practical design of the product should be taken as a reference, taking into account: function, production, trade, user and consumer. Emphasis should be placed on making the prototype as efficient as possible in the areas in which it will be used. It is useful to make sketches of the system, in order to have a basic idea from which to start and achieve an effective design.

When starting a design, different options and ideas are established, which are in accordance with the requirements of the system, and once

the specifications are clear, a preliminary design is proposed, which can be seen in Figure 2

Figure 2. Conceptual design pilot system for cooking food.



Note: Own creation

2.2. Selection of materials

As important as the design is to take into account the materials with which the solar cooker was made, as they are a fundamental part as they had to meet three variables such as: reflect the sunlight, concentrate the heat and maintain the temperature and as there is a great variety to choose from, three parameters were taken into account which are accessibility, weight and easy handling, those that were chosen are described below:

2.2.1. Mechanical materials:

Fibreglass: Predominant material in the solar cooker structure, as its ease of acquiring the desired shape and maintaining it, was optimal for the development of the cooker.

Jumbolon: Heat resistant material, it was in charge of maintaining the temperature, it was placed between the layers of fibreglass.

Reflective adhesive film: Material used to reflect solar radiation inside the cooker. Despite the existence of a large number of reflective materials, this was selected because it is easy to install as it is adhesive.

Steel: material used for the structure that supports the weight of the kitchen. Mostly found in the bases of the solar cooker, chosen for being light and resistant.

Onyx and carbon fibre: Material used to manufacture the gears of the gearbox, which was manufactured using 3D printing.

2.2.2. Electrical equipment

BH1750FVI: Digital ambient light sensor with IC and I2C interface. This device is suitable for obtaining the corresponding light data.

TEMT6000: Ambient light sensor sensitive to the visible spectrum, the sensor output is analogue and can be measured by any microcontroller.

DS18B20: Digital sensor that allows us to detect temperature using the 1-Wire protocol for its communication, this sensor allows us to measure a temperature from minus -55 degrees Celsius to 125 degrees Celsius with a resolution of 9 to 12 bits.

H-Bridge L298N: Card which allows to control DC or stepper motors ideal for this project is compatible with the Arduino controller and is driven by a L298 circuit.

SA31353: DC voltage regulator has an input of 3.2V up to 40V voltage and an output of 1.25V to 35V with a current of 3A.

Battery 12V 7.5 A: In charge of providing the power supply for both the control system and the power system since thanks to the DC converter a part is sent to the arduino, the sensors and the other part will be directed to the motor.

The motor: will be the component responsible for transforming electrical energy into mechanical energy and thus move the structure of the solar cooker.

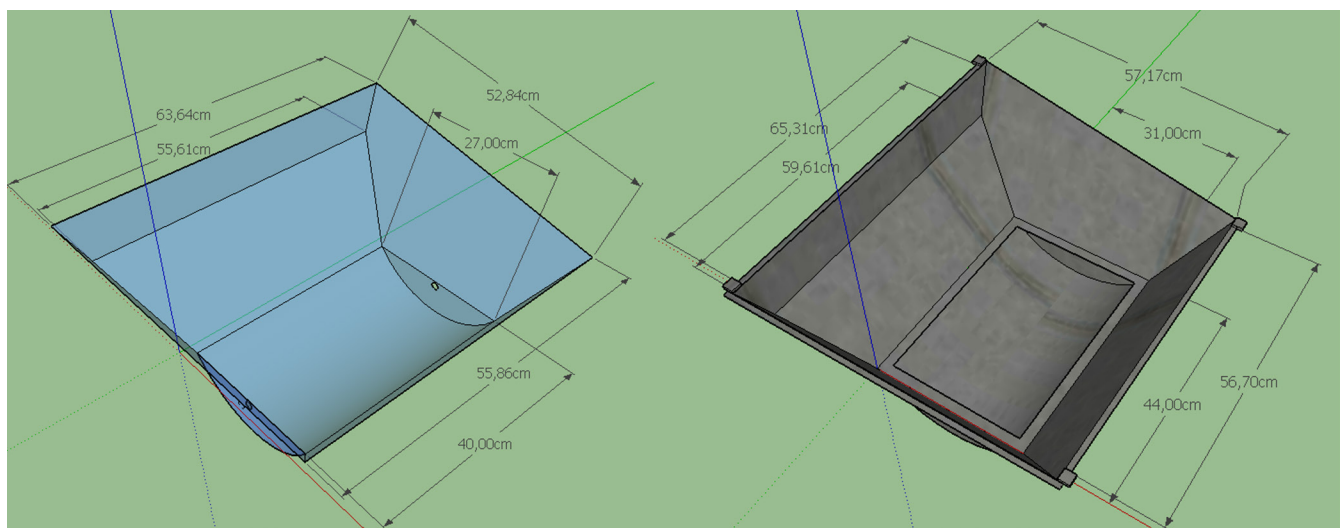
2.3. Design, simulation and analysis

2.3.1. Mechanical design

The physical structure was based on the design that was made in the conceptual approach, fulfilling the necessary characteristics to be implemented. There are some additional variables or factors that affect the general system that was proposed, among these are: weight, resistance, space, cost and reliability.

This design was carried out in CAD software, which allowed the movement to be simulated, demonstrating the virtues of the prototype, as well as the structural changes for its implementation.

Figure 3. CAD design of pilot system for cooking food.



Note: Own creation

To achieve the revolutions per minute and the torque required to guarantee the movement of the solar cooker structure, a speed reducer box was designed, consisting of 4 helical gears that allowed a decrease in speed from 30 rpm to 1.6 rpm, as shown in Table 1.

Equation 1. Gear equation.

$$Z_1 n_1 = Z_2 n_2$$

$$n_2 = \frac{Z_1 n_1}{Z_2}$$

Table 1 Calculation of gears according to rpm.

Table 1 Calculation of gears according to rpm.			
w1	Z1	w2	Z2
30	10	5	60
w3	Z3	w4	z4
5	20	1.6	60

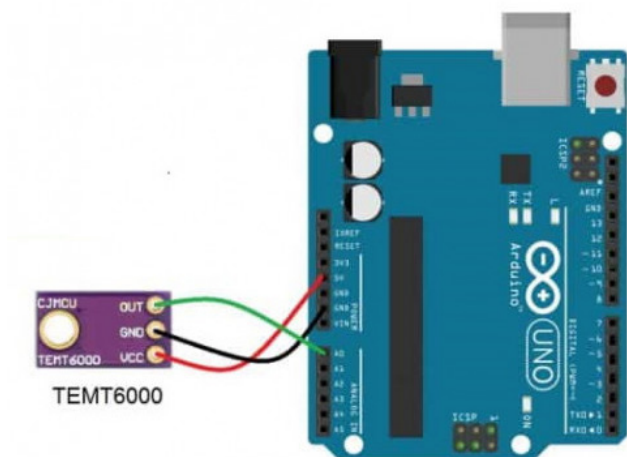
Note: Own creation

2.3.2. Electronic Design

From the electronic point of view the main thing to take into account for the sun tracking was the sensors that would be used, the system that would control it and the one that would generate the movement.

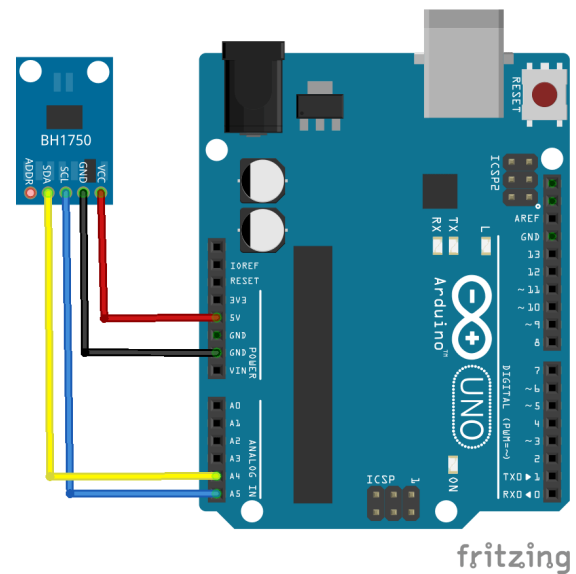
The main sensors used were BH1750FVI and a backup sensor which is TEMENT6000. These sensors work as an I2C communication, which only allows a maximum of two sensors connected, that is why the second sensor is support, to generate an ignition of these two, what these sensors do is to detect the amount of lumens that are in the environment and through a comparison of the two sensors, according to the position in which it is located can through the Arduino give the order to the engine to generate the movement.

Figure 4. TEMENT6000 connections.



Adapted from TEMENT6000 Ambient Light Sensor (Altronics, n.d.)

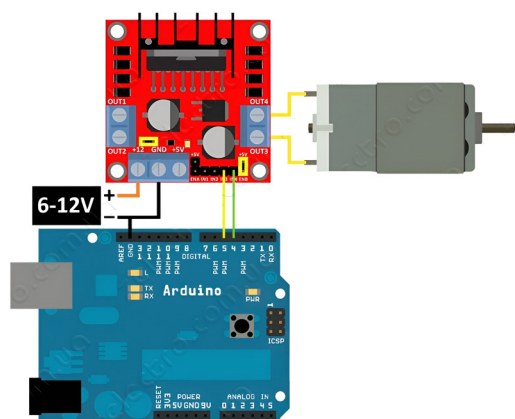
Figure 5. BH1750FV connections.



Adapted from ARDUINO AND BH1750 SENSOR (Arduino Learning, n.d.)

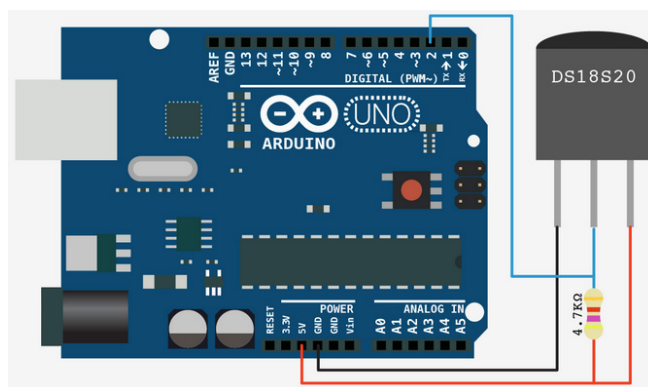
The second important element in the electronic part is the controller in this case we opted for the Arduino for its low cost and excellent performance through a programming that was performed is achieved through signals through the reception of data sent by the sensors, be processed and thus control the rotation of the solar cooker. The motor found in this prototype is a common DC motor that is 30 revolutions per minute is supported by two very important elements the first from the electronic point of view is an H-bridge which allows us to change the direction of rotation of the motor in addition to providing the current needed by the motor to generate movement, to ensure that the kitchen has sufficient temperature to prepare food is taken into account a temperature probe.

Figure 6. L298N Driver Connections.



Adapted from Using Driver L298N for DC and stepper motors with Arduino (Electronilab, 2014)

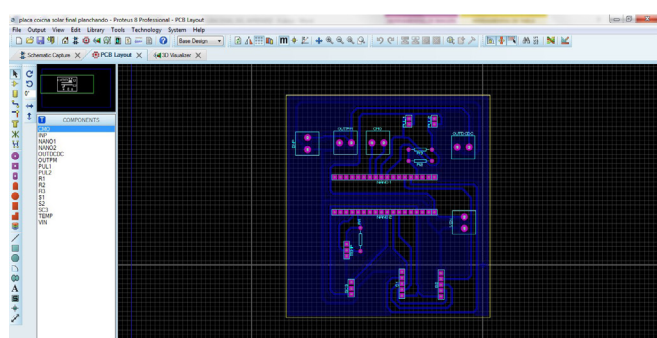
Figure 7. DS18B20 connections.



Adapted from DS18B20 Temperature Sensor with Arduino (HETPRO, n.d.)

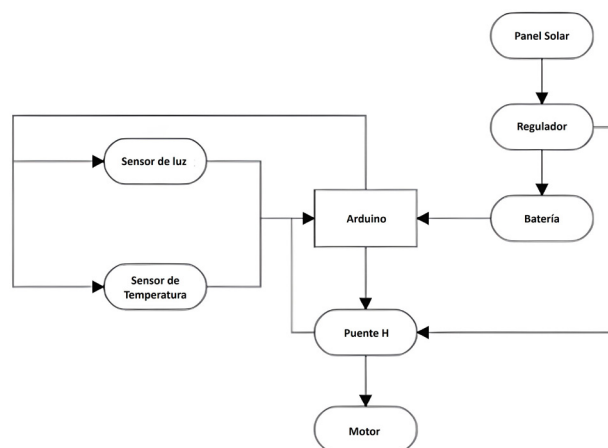
As there are different types of microcontrollers, it was considered that the Arduino nano would be the best choice to receive and control the whole system, but it would be necessary to create a PCB that integrates the microcontroller and the reception of the lords and at the same time could send the data to the H-bridge that would control the rotation of the motor. The creation of this PCB was done in a handmade way, which requires printing the designed circuit in Proteus. With a plate, the ink from the circuit printing is adhered to the PCB and after being removed, ferric chloride is applied to remove the excess copper and then the elements are added to be soldered with the help of a soldering iron and tin.

Figure 8. Electronic Board Design



Note: Own creation

Figure 9. Pilot system electronic diagram for cooking food



Note: Own creation

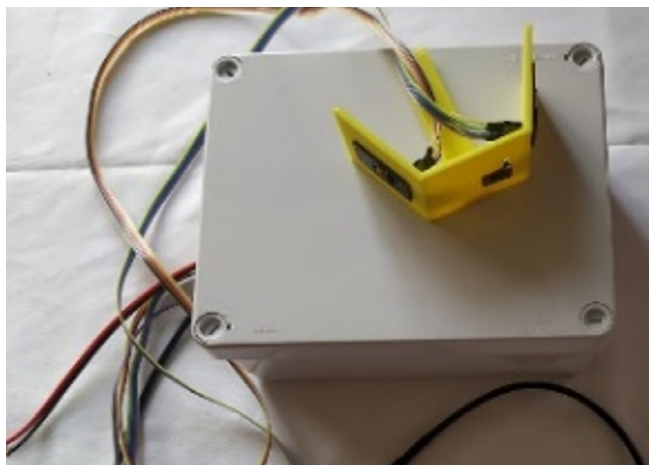
In this phase, having chosen the electronic elements that would form part of the system, the programming of each of these elements was carried out separately, and each of the functions was tested. Once these steps had been completed, they were put together in the programming to have the resolution and monitoring of the sun.

Figure 10. Prototype pilot system for cooking food.



Note: Own creation

Figure 11. Electronic box of the pilot system for cooking food.

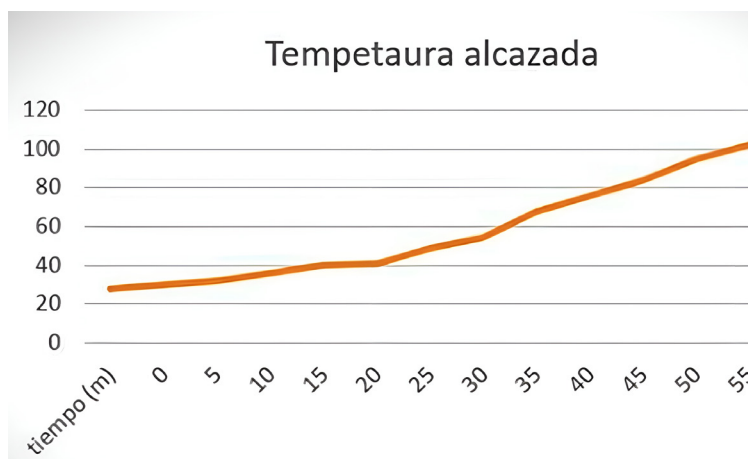


Note: Own creation



The prototype when used obtained optimum temperature values for the cooking of the food.

Figure 12 Temperature Solar Cooker.



Note: Own creation

The creation of this device complies with the principles of operation giving the user the option to replace the traditional cooker in places where there is no access to electricity or gas, using coal and wood as a source of energy for cooking food. It is important to bear in mind that as it is not an ordinary method it will take the user some time to adapt to this new way of processing food. From the processes carried out for the manufacture of this prototype, it became evident that support systems are necessary to maintain efficiency in areas where the climate does not allow for excellent operation. In accordance with the above, it is always necessary to carry out a previous study of the area where it will be used, as this will determine the type of solar cooker to be used and whether it is necessary to integrate an automated system for solar tracking.

Regarding the electronic design, it is important to highlight that the sensors currently used for light measurement are sensitive, so it is necessary to take measures to reduce this sensitivity as it affects the control of the device. The power system is powered by a battery which is powered by a solar panel, so it still does not require any connection to the local grid.

It is important to consider that this type of project is focused on the construction of a product that can be used in areas of difficult access, resistant to water and dust, but the appropriate maintenance must be carried out to maintain its efficiency, which will allow the family that uses it to stop depending on non-renewable energies.





4. Discussion and conclusions

The redesign taken from a box-type solar cooker optimised to the tropical zone, which was modified as necessary, met the requirements that were established, showing efficient operation, when concentrating and maintaining heat and thus being able to cook the food.

The design proposed in this project maintains as a priority that the prototype is detachable, this was achieved through screws which allowed the cooker to have modifiable coupling points, through these it was possible to maintain a device that was easy to transport and viable to handle.

When the prototype was used, it showed its own autonomy, which would allow the user to carry out other activities while the food was being cooked. This method avoids the loss of nutrients and vitamins.

By not having to resort to other types of energy other than solar energy, the device is recommended for use in homes that use wood or coal as fuel, although it should also be borne in mind that training must be provided for the use of this type of technology.