

UACM

Universidad Autónoma
de la Ciudad de México

NADA HUMANO ME ES AJENO

COLEGIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN SISTEMAS

ELECTRÓNICOS INDUSTRIALES

**Diseño e implementación de un circuito electrónico
para el monitoreo de variables de temperatura, peso y
humedad en un deshidratador solar de alimentos**

T E S I S

PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE

LICENCIADO EN INGENIERÍA EN SISTEMAS

ELECTRÓNICOS INDUSTRIALES

P R E S E N T A

CARLOS ESCOBAR CHÁVEZ

DIRECTOR **DR. EFRÉN BERNARDO RAMÍREZ SOLÍZ**

CODIRECTOR **DR. FERNANDO GABRIEL ARROYO CABAÑAS**

Ciudad de México, abril de 2026.

SISTEMA BIBLIOTECARIO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE LA CIUDAD DE MÉXICO COORDINACIÓN ACADÉMICA

RESTRICCIONES DE USO PARA LAS TESIS DIGITALES

DERECHOS RESERVADOS[©]

La presente obra y cada uno de sus elementos está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor; por la Ley de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México, así como lo dispuesto por el Estatuto General Orgánico de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México; del mismo modo por lo establecido en el Acuerdo por el cual se aprueba la Norma mediante la que se Modifican, Adicionan y Derogan Diversas Disposiciones del Estatuto Orgánico de la Universidad de la Ciudad de México, aprobado por el Consejo de Gobierno el 29 de enero de 2002, con el objeto de definir las atribuciones de las diferentes unidades que forman la estructura de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México como organismo público autónomo y lo establecido en el Reglamento de Titulación de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México.

Por lo que el uso de su contenido, así como cada una de las partes que lo integran y que están bajo la tutela de la Ley Federal de Derecho de Autor, obliga a quien haga uso de la presente obra a considerar que solo lo realizará si es para fines educativos, académicos, de investigación o informativos y se compromete a citar esta fuente, así como a su autor ó autores. Por lo tanto, queda prohibida su reproducción total o parcial y cualquier uso diferente a los ya mencionados, los cuales serán reclamados por el titular de los derechos y sancionados conforme a la legislación aplicable.

INTEGRACIÓN DEL JURADO

Presidente: Ing. Agustín Ortíz Castro, UACM

Secretario: Ing. Ricardo Galindo Reyes, UACM

Vocal: Dr. Fernando Gabriel Arroyo Cabañas, UACM

1^{er} Suplente: Dr. Cuauhtémoc Guerra Tejeda, UACM

2^{do} Suplente: Dr. Efrén Bernardo Ramírez Solíz, UACM

Plantel de adscripción:

PLANTEL SAN LORENZO TEZONCO, UACM

DIRECTOR DE LA TESIS:

Dr. Efrén Bernardo Ramírez Solíz, UACM

Agradecimientos

Agradezco a todos los compañeros que hicieron el paso por la universidad mas agradable. Los compañeros con los que compartí apuntes, practicas de laboratorio o explicaciones cuando algo no quedaba claro. Los compañeros con los que me quedaba en el laboratorio hasta altas horas de la noche o incluso en época de vacaciones cuando los de otras carreras descansaban y nosotros seguíamos trabajando en cables, circuitos y reportes.

Agradezco a los profesores que genuinamente tenían interes en enseñarnos, los que llegaban temprano, los que raramente faltaban, los que explicaban temas complejos de manera sencilla y entendible, los que planeaban su clase, los que escribían ordenadamente en el pizarrón, los que no improvisaban ni clases ni proyectos. En especial me gustaria agradecer a mi profesor y director de tesis, al profesor investigador Dr. Efrén Bernardo Ramírez, por su dirección y apoyo que fue parte importante en la realización de este proyecto.

Resumen

El presente trabajo busca mejorar la eficiencia y confiabilidad del proceso de conservación de alimentos mediante deshidratación solar, integrando un sistema electrónico a un deshidratador solar.

La deshidratación solar es uno de los métodos de conservación más antiguos de conservación de alimentos. Sin embargo la deshidratación solar en forma tradicional (exposición directa al sol) presenta algunas limitaciones: falta de control y seguimiento sobre la humedad, la temperatura y el peso, lo que afecta la calidad, seguridad e inocuidad de los productos.

En comunidades rurales por ejemplo, el uso de deshidratadores sin monitoreo puede generar resultados inconsistentes y pérdidas económicas. La ausencia de datos en tiempo real impide el seguimiento del proceso de secado, comprometiendo el valor nutricional y comercial de los alimentos; por tanto se propone diseñar y construir un circuito electrónico que integre sensores de humedad, temperatura y peso para monitorear en tiempo real las variables críticas en un deshidratador solar, con el fin de garantizar un secado más uniforme eficiente y sustentable.

Índice general

Capítulo 1: Introducción	9
1.1 Planteamiento del problema.	9
1.2 Justificación	9
1.3 Hipótesis.	9
1.4 Objetivos	10
1.4.1 Objetivo Generales.	10
1.4.2 Objetivosespecíficos.	10
1.5 Metodología.	10
1.6 Organización de la tesis	11
Capítulo 2 Antecedentes.	13
2.1 Historia de la conservación de los alimentos.	13
2.2 Conservación de alimentos	14
2.3 Métodos de conservación de alimentos	15
2.4 Deshidratación de alimentos.	16
2.5 ¿Qué alimentos se pueden deshidratar?.	17
2.6 Qué es la deshidratación solar.	18
2.7 ¿Qué es un deshidratador solar?.	20
Capítulo 3: Diseño y construcción de deshidratador solar.	22
3.1 Dinámica termodinámica del aire.	22
3.2 Mecanismo de deshidratación de alimentos.	28
3.3 Diseño de un deshidratador solar directo.	28
3.4 Construcción de un deshidratador solar pasivo.	31
3.5 Orientación optima del colector en el deshidratador solar.	35
Capítulo 4: Diseño de circuito electrónico de monitoreo y para control de temperatura, humedad y peso.	39
4.1 Parámetros de control.	39
4.2 Sensor SHT20.	39
4.2.1 Conexión y programación del SHT20.	40
4.3 Memorias flash.	41

4.3.1 Tipos de memoria flash.	41
4.3.2 Tarjetas SD.	42
4.3.3 Módulo SD.	42
4.3.4 Programación módulo SD.	43
4.4 Módulo de RTC DS1370 control de tiempo.	44
4.4.1 Programación del módulo RTC DS1370.	45
4.5 Celda de carga.	47
4.5.1 Amplificador Hx711.	50
4.6 Pantalla LCD.	51
4.7 Circuito final de monitoreo.	52
4.8 Circuito control de temperatura on/off con histéresis.	56
4.8.1 Simulación e implementación de circuito ON/OFF con histeresis en multisim.	59
Capítulo 5: Monitoreo de parámetros de sensado.	64
5.1 Arduino nano.	64
5.2 Tipos de comunicación de módulo arduino.	65
5.3 Comunicación I2C.	66
5.3.1 Lectura y escritura en módulo RTC DS1307.	68
5.4 Comunicación SPI.	69
Capítulo 6: Pruebas y resultados.	72
6.1 Pruebas preliminares.	72
6.2 Prueba de deshidratación con pera.	72
6.2.1 Deshidratación de pera, variables temperatura contra humedad	73
6.2.2 Deshidratación de pera, variables de peso contra humedad.	75
6.2.3 Deshidratación de pera, variable peso contra temperatura.	76
6.3 Prueba deshidratación de piña.	77
6.3.1 Gráfica deshidratación de piña variables peso, humedad y temperatura.	77
6.3.2 Deshidratación de piña variables piña contra humedad.	78
6.3.3 Deshidratación de piña, variable humedad y peso.	79
6.3.4 Deshidratación de piña, variable temperatura y peso.	79
Conclusiones.	80
Anexos. Tabla de materiales y costos.	81
Bibliografía.	83

Índice de tablas y gráficas

Tabla 1. Los métodos de conservación de alimentos a través de la historia.	13
Tabla 2. Vida útil el almacenamiento de productos de origen animal y vegetal.	14
Tabla 3. Clasificación de los métodos de conservación.	15
Tabla 4. Tabla de especificaciones del sensor SHT20.	40
Tabla 5. Especificaciones y características del módulo SD.	43
Tabla 6. Conexiones módulo SD.	43
Tabla 7. Conexiones entre Arduino y módulo DS1370.	45
Tabla 8. Especificaciones y características de la celda de carga.	49
Tabla 9. Especificaciones y características pantalla LCD 16 X 2	52
Tabla 10. Temperatura ideal de deshidratación de diferentes alimentos vegetales.	56
Tabla 11: Correspondencia de temperatura y voltajes de salida de la etapa de amplificación.	58
Tabla 12. Características y especificaciones de Arduino nano.	63
Gráfica 1. Irradiación solar sobre una superficie a 19.2° en región de Iztapalapa en años 2022-2023.. . . .	36
Gráfica 2. Deshidratación de pera, variables de peso, humedad y temperatura.	72
Gráfica 3. Deshidratación de pera, variable temperatura contra humedad.	73
Gráfica 4. Temperatura al interior y exterior del deshidratador.	74
Gráfica 5. Deshidratación de pera, variables humedad contra peso.	74
Gráfica 6. Deshidratación de pera, variables peso contra humedad.	75
Gráfica 7. Deshidratación de piña variables de peso, humedad y temperatura.. . . .	76
Gráfica 8. Deshidratación de piña variables de temperatura y humedad.	76
Gráfica 9. Deshidratación de piña, variable humedad contra peso.. . . .	78
Gráfica 10. Deshidratación de piña, temperatura y peso.	79

Capítulo 1. Introducción

1.1 Planteamiento del problema

En diversos entornos rurales y de pequeña escala, los deshidratadores solares son utilizados sin sistemas de monitoreo que permitan asegurar la calidad del proceso. La ausencia de datos en tiempo real sobre la humedad del ambiente y el peso del alimento durante la deshidratación impide realizar ajustes precisos y oportunos, lo que puede traducirse en productos de calidad inconsistente o incluso en pérdidas económicas. Esto genera la necesidad de desarrollar soluciones tecnológicas asequibles que permitan supervisar y controlar el proceso de manera más eficiente

1.2 Justificación

El proceso de deshidratación solar de alimentos representa una alternativa sustentable para la conservación de productos agroalimentarios, especialmente en zonas rurales con acceso limitado a tecnologías avanzadas. Sin embargo, el control inadecuado de variables críticas como la humedad y el peso puede comprometer la calidad y seguridad de los alimentos deshidratados. En este contexto, el diseño de un circuito electrónico que permita monitorear en tiempo real dichas variables contribuirá significativamente a mejorar la eficiencia y confiabilidad del proceso. Este sistema no solo facilitará la toma de decisiones durante la operación del deshidratador solar, sino que también permitirá recopilar datos útiles para la optimización de futuras aplicaciones en el ámbito agroindustrial y tecnológico.

1.3 Hipótesis

Si se diseña e implementa un circuito electrónico capaz de monitorear en tiempo real las variables de temperatura, peso y humedad en un deshidratador solar de alimentos, entonces será posible mejorar el control del proceso de deshidratación, optimizando la calidad final del producto y permitiendo una operación más eficiente y sustentable del sistema.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Diseñar y construir un circuito electrónico para monitorear variables de peso, temperatura y humedad en un deshidratador solar de alimentos.

1.4.2 Objetivos específicos

- Seleccionar sensores electrónicos idóneos para la medición de variables de peso, temperatura y humedad, considerando criterios de precisión, compatibilidad eléctrica y condiciones ambientales del deshidratador solar.
- Diseñar el circuito electrónico integrando los sensores seleccionados con una unidad de adquisición de datos, asegurando la correcta interacción entre los componentes del sistema.
- Desarrollar el prototipo del circuito electrónico en una plataforma de pruebas, con el fin de validar su operatividad preliminar y detectar posibles fallos de diseño.
- Implementar el software de control en un microcontrolador, que permita la adquisición, procesamiento y visualización de datos en tiempo real.
- Realizar pruebas experimentales controladas en el entorno del deshidratador solar para evaluar el desempeño del sistema de monitoreo bajo condiciones reales de operación.
- Analizar e interpretar los datos obtenidos durante las pruebas, proponiendo ajustes al diseño que optimicen la precisión y confiabilidad del sistema.

1.5 Metodología

Este proyecto se desarrolla bajo un enfoque experimental-aplicado, estructurado en las siguientes etapas:

Análisis de requerimientos:

Se identifican las necesidades del sistema de monitoreo, estableciendo los rangos de medición necesarios, la precisión requerida, y las condiciones ambientales del deshidratador solar.

Selección de componentes:

Se investigan, seleccionan y se adquieren los sensores de humedad, peso y temperatura, así como el microcontrolador y los componentes electrónicos necesarios para el diseño del sistema.

Diseño del circuito electrónico:

Se elabora el diseño esquemático del circuito utilizando software de diseño electrónico. El diseño contempla la correcta alimentación y protección de los componentes.

Desarrollo del prototipo:

Se ensambla el circuito sobre una placa de pruebas (protoboard o PCB de desarrollo) y se implementa la programación del microcontrolador para el registro y visualización de datos.

Pruebas y validación:

El prototipo se prueba en un entorno controlado que simula las condiciones reales de funcionamiento del deshidratador solar. Se registran los datos y se evalúa la precisión, estabilidad y confiabilidad del sistema.

Análisis de resultados:

Los datos obtenidos son analizados estadísticamente para validar el correcto funcionamiento del sistema. En caso de ser necesario, se realizan ajustes al diseño del circuito o al código del microcontrolador.

Documentación final:

Se elabora un informe técnico con todos los resultados, análisis y conclusiones del proyecto, incluyendo recomendaciones para mejoras futuras y posibles aplicaciones extendidas.

1.6 Organización de la tesis

El presente trabajo esta organizado en 6 capítulos, el capítulo 1 corresponde a la introducción del problema, es decir describe un breve panorama de cuál es el problema que se tiene y cuál es la posible solución que se propone a través de la hipótesis y objetivos, además de describir el método a seguir para alcanzar dichos objetivos. El capítulo 2 describe los antecedentes del problema, es decir a grandes rasgos describe el problema humano milenario de cómo conservar los alimentos y cómo la deshidratación solar se ha convertido en uno de los métodos más eficaces y eficientes para lograrlo, así como los diferentes tipos de deshidratación solar que existen, finalmente se describe qué es un deshidratador solar y cuál es su funcionamiento. En el capítulo 3 se describe el proceso para construir y diseñar un deshidratador solar casero para el desarrollo del presente trabajo. El capítulo 4 muestra el diseño para construir un sistema electrónico para el monitoreo de las variables de peso, temperatura y

humedad de un deshidratador solar, así como los sensores y características de los sensores utilizados para el presente trabajo. El capítulo 5 muestra la comunicación entre el controlador Arduino y los sensores a través de diversos protocolos de comunicación y la manera de programar dichos sensores así como el procesamiento y presentación final de los datos en hojas de calculo para su análisis. El capítulo 6 muestra los resultados de las pruebas de funcionamiento del sistema de monitoreo del deshidratador solar. Posterior a estos capítulos se muestran las conclusiones finales del presente proyecto así como posibles mejoras futuras.

Capítulo 2. Antecedentes

2.1 Historia de la conservación de alimentos

La necesidad de conservar alimentos es tan antigua como la humanidad misma. Desde tiempos prehistóricos, los seres humanos buscaron métodos para evitar que los alimentos se echaran a perder y garantizar su disponibilidad durante épocas de escasez. Las primeras técnicas fueron simples y aprovechaban elementos naturales: el secado al sol, el ahumado y la salazón permitían alargar la vida útil de carnes, pescados y frutas. Con el tiempo, distintas culturas desarrollaron métodos más complejos como la fermentación, usada tanto en bebidas como en productos lácteos. Durante el siglo XIX, avances científicos como la pasteurización y la invención de la conserva hermética por Nicolas Appert revolucionaron la conservación. Más tarde, en el siglo XX, la refrigeración y la congelación industrial transformaron el almacenamiento y la distribución de alimentos a nivel global. Hoy en día, la conservación combina tradición y tecnología, con métodos que buscan no solo prolongar la vida útil de los productos, sino también preservar su valor nutricional y minimizar el impacto ambiental.

En la siguiente tabla se muestra una breve historia de métodos de conservación utilizados a lo largo de la historia:^[1]

Época	Método de conservación
Tiempos primitivos	Uso de sal, hielo, cal.
Egipcios	Uso de aceites, miel y vinagre
Griegos	Grajeado de frutas y verduras
Siglo XVIII	Uso de borax
Siglo XIX	Pasteurización
Siglo XX	Sistemas de congelación, uso de conservadores químicos, irradiación, liofilización, envasado aséptico, procesos térmicos (alta presión)

Tabla 1. Los métodos de conservación de alimentos a través de la historia

Adaptado de Bello J, (2000, p. 388)

2.2 Conservación de alimentos

La palabra “conservación” se define como “Modo de mantener algo sin merma o alteración”^[2]

La conservación de alimentos consiste entonces en el tratamiento y manejo de los alimentos para detener o atrasar su deterioro.

“Conservar los alimentos consiste en bloquear la acción de los agentes (microorganismos o enzimas) que pueden alterar sus características originarias (aspecto, olor y sabor). Estos agentes pueden ser ajenos a los alimentos (microorganismos del entorno como bacterias, mohos y levaduras) o estar en su interior, como las enzimas naturales presentes en ellos”^[3]

El tratamiento de los alimentos tiene los siguientes objetivos:

- Retrasar la alteración estructural del alimento
- Prolongar la vida útil
- Disminuir los microorganismos que causan el deterioro
- Conservar el valor nutricional
- Aumentar la digestibilidad, palatabilidad, y otras características organolépticas
- Elaborar nuevos productos alimentarios^[4]

Los alimentos tienen un tiempo de vida útil en el cual es seguro su consumo para los humanos. Después de ese periodo de vida útil el alimento comienza a deteriorarse y volverse nocivo. El objetivo de los métodos de conservación es alargar este tiempo de vida útil. A continuación se muestra una tabla que muestra el periodo de vida útil de algunos alimentos.

Alimento fresco	Vida útil
Pescado fresco	Un día
Leche	Dos a tres días
Aves	De uno a dos días
Carne cruda	Cuatro a 5 días
Verdura cruda	Una semana
Raíces comestibles	De siete a veinte días
Frutas	De uno a siete días
Huevos	Tres semanas

Semillas secas	Un año o más
Carne cocida	De uno a dos días

Tabla 2. Vida útil el almacenamiento de productos de origen animal y vegetal^[5]

Adaptado de Desrosier (1997, p.12)

Como puede observarse en la tabla anterior los alimentos tienen solo un periodo relativamente corto para su consumo, fuera de ese periodo pierde valor consumible, lo cual dificulta su comercialización, distribución y almacenamiento. Por ello se necesitan los métodos de conservación, que permiten alargar el periodo de vida útil de los alimentos.

2.3 Métodos de conservación de alimentos

Existen diversos métodos de conservación de alimentos, pueden clasificarse de diversas formas, pueden clasificarse en métodos físicos y métodos químicos de conservación. Los métodos físicos actúan como su nombre lo indica sobre las condiciones físicas de los alimentos o el ambiente para evitar el crecimiento de microorganismos y por consiguiente la descomposición. Algunos métodos pueden ser la refrigeración y congelación, que ralentizan el crecimiento bacteriano; la deshidratación que reduce el contenido de agua que impide el desarrollo de bacterias; la aplicación de calor como la pasteurización que destruye microorganismos; el envasado vacío que elimina el oxígeno que limita la reproducción de bacterias; la irradiación que destruye bacterias y la liofilización que combina la congelación y la deshidratación. Los métodos químicos implican el uso de sustancias químicas naturales o artificiales para evitar el desarrollo de microorganismos en los alimentos. Ejemplos de sustancias químicas es la sal, que sirve para eliminar agua y con ello la proliferación de microorganismos. Otras sustancias que evitan la proliferación de microorganismos son benzoato de sodio, sorboato de potasio, el azucarado.

[6]

Otra forma de clasificar los métodos de conservación de alimentos es por su acción que tienen sobre los microorganismos.

Acción sobre los microorganismos	Forma de actuación	Método empleado
Destrucción	Por acción de calor	Pasteurización Esterilización
	Radiación ionizante	Irradiación
	Acción de antisépticos	Alcohol Ácidos Conservadores químicos

	Acción mecánica	Altas presiones
	Acción mixta: calor mecánica	Cocción-extrusión
Efecto Barrera	Bajas temperaturas	Refrigeración Congelación
	Eliminación de O ₂	Vacío Mezcla de gases inertes Atmósferas controladas
	Reducción de contenido de agua	Deshidratación Liofilización Concentración
	Incorporación de inhibidores	Salazón Inmersión en salmuera Recubrimientos con materias grasas Recubrimiento con azúcar Inmersión en ácidos
Eliminación	Por separación física	Filtración esterilizante Ultrafiltración

Tabla 3. Clasificación de los métodos de conservación

Adaptado de Bello J, (2000, p. 391)

En resumen, los métodos de conservación implican ya sea la destrucción de los microorganismos implicados en la descomposición de los alimentos o la alteración de las condiciones que permiten su desarrollo y reproducción, como por ejemplo la modificación en las condiciones de temperatura o agua.

2.4 Deshidratación de alimentos

El proceso de deshidratación según Vega-Mercado es definido como:

“La deshidratación es el proceso en el cual el agua es removida para detener o reducir la proliferación de microorganismos de descomposición”^[7]

Básicamente el proceso de deshidratación de alimentos consiste en eliminar la mayor parte del agua contenida en los alimentos, con el objetivo de conservarlos por más tiempo. Al reducir el agua, se dificulta el crecimiento de bacterias, hongos y levaduras que causan la descomposición. Según el mismo autor, conviene distinguir alimento deshidratado de alimento seco. Los alimentos deshidratados contienen menos del 2.5% de agua, mientras que los alimentos secos contienen más del 2.5 % de agua.

Para deshidratar los alimentos se pueden usar diversos métodos, algunos de estos métodos son:

- Deshidratación solar: Implica exponer los alimentos al sol para que pierdan su contenido de agua, ya que el agua es una condición necesaria para la proliferación de microorganismos.
- Deshidratación en horno: Implica ajustar el horno a bajas temperaturas para evitar el quemado de los alimentos.
- Liofilización: Implica la sublimación del agua congelada conservando la estructura y nutrientes.
- Secado por gases calientes: Implica poner a los alimentos en contacto con gases calientes, para realizar la deshidratación.
- Secado por contacto o conducción: Es transmitir el calor a través de un medio metálico, lo cual se puede hacer a través de rodillos a los que se exponen los alimentos.
- Deshidratación osmótica: Implica sumergir a las frutas o verduras en una solución azucarada o sal y se desarrolla el fenómeno osmótico que implica que el agua pasa del alimento a la solución.^[7]

2.5 ¿Que alimentos se pueden deshidratar?

Es un amplio rango de alimentos los que se pueden deshidratar, pueden ser frutas como las manzanas los plátanos, mangos, uvas, fresas, piña, arándanos, peras, melocotones, cerezas entre otras. Pueden deshidratarse verduras como las zanahorias, tomates, pimientos, cebollas, ajos, calabazas. Las especias y hierbas deshidratables pueden ser la albahaca, el perejil, romero, orégano, espinacas, tomillo, menta, hierbabuena, lavanda. También se pueden deshidratar carnes, como la carne de res, para producir machaca o carne estilo jerky, pescado como el bacalao seco y también pollo cosido. Otros alimentos susceptibles de ser deshidratados son los hongos o setas, el queso para crear algunos tipos duros, el pan para hacer pan seco o molido, huevos, chiles, café. Como puede observarse la deshidratación de alimentos tiene un amplio espectro de aplicación pues es una gran cantidad de alimentos a los cuales se les puede aplicar este método para poder conservarlos y aumentar su vida útil.^[8]

2.6¿Qué es la deshidratación solar?

Las personas han preservado comida por medio de la deshidratación solar. Es uno de los métodos de conservación de alimentos más antiguos conocido por el hombre. El sol se ha usado para secar no solo alimentos también para secar ropa, materiales de construcción entre otros. Las evidencias sugieren que el empleo de este método data de 20 mil años atrás en regiones actuales de China y el este medio. Antiguas civilizaciones como la egipcia deshidrataban una gran cantidad de alimentos como pescado, pollo y vegetales. Otras culturas en otras regiones usaban este método también, por ejemplo, en regiones como América del norte se usaba para deshidratar carne y pescado.^[9]



Figura 1. Antiguos egipcios deshidratando carne.

Tomada de wonderfulthingsart (2025) <https://www.wonderfulthingsart.com/post/symbols-of-celebration>

Existen tres modos de deshidratación solar de alimentos. El secado directo al sol, y el método de secado indirecto. El tercer modo es la combinación de los modos anteriores. En el método directo se colocan los alimentos directamente en el sol. La radiación solar absorbida es convertida en energía térmica y la temperatura del alimento se incrementa y comienza a perder agua por evaporación, con lo que se seca por consecuencia. En este método hay una pérdida considerable de alimentos, primero por los posibles animales que puedan consumir el alimento al aire libre, como pájaros, roedores, insectos. Por otro lado, las condiciones climáticas pueden hacer perder el producto, como por ejemplo lluvias o ventiscas. Además, existe un riesgo de contaminación por elementos como el polvo, basura, hongos o agentes microbianos. Por otro lado, la exposición continua y directa al sol puede hacer perder el color de muchos alimentos. Este modo tiene además otro inconveniente, que se necesita espacio para extender los alimentos a secar, como se observa en la figura 2. ^[10]

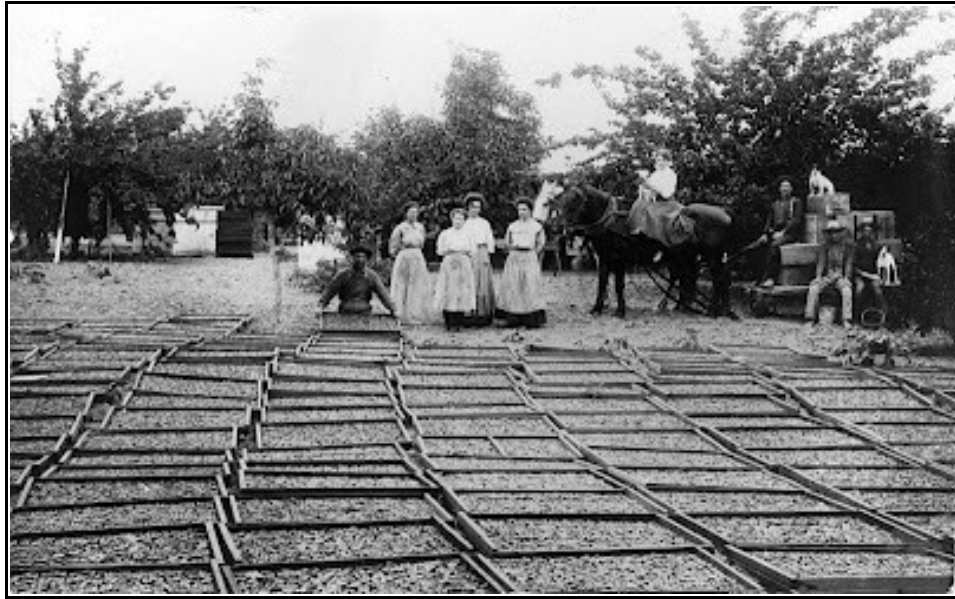


Figura 2. Secado de melocotones en George town 1910.

Tomada de Pediment Publishing (2025) <https://www.pediment.com/products/orange-co-memories-history-book-vol-i>

El modo mixto de deshidratación solar es comúnmente usado en dispositivos llamados como cabinas. Los alimentos son expuestos al sol, pero protegidos por alguna barrera cristalina, por lo que parte de la radiación solar es reflejada nuevamente a la atmósfera. La temperatura del alimento y del aire circundante se incrementa, por lo que se produce la pérdida de agua del alimento, por otro lado, el aire cálido del interior y aire frío proveniente el exterior producen una convección que permite su flujo. Los inconvenientes de las cabinas secadoras, es que tienen poca capacidad, los alimentos se descolaran al estar expuestos a los rayos del sol y el vapor condensado que no puede salir por la barrera cristalina disminuyen la eficiencia de la deshidratación de los alimentos.^[12]

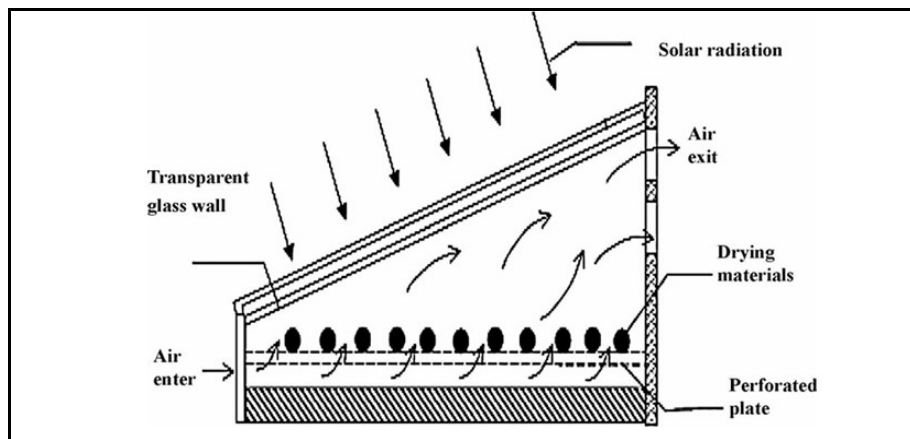


Figura 3. Cabina de deshidratación solar

Tomada de International Journal of Green Energy (2012) <https://doi.org/10.1080/15435075.2012.727113>

En el método indirecto de deshidratación solar el alimento es expuesto de manera indirecta a los rayos del sol. Con esto se evita la decoloración del producto final. En términos generales se compone de una cámara que absorbe los rayos solares y otra cámara contenedora de alimentos o cámara de secado. La cámara que absorbe el calor solar usualmente esta inclinada a 45° para absorber de mejor forma los rayos solares. Una vez que el aire en la cámara de secado se calienta y fluye a la cámara de secado por los alimentos, estos se calientan y pierden humedad en consecuencia, finalmente el aire sale por una salida de ventilación en la parte superior de la cámara de secado.

2.7 ¿Qué es un deshidratador solar?

Un secador solar es un dispositivo que utiliza la energía solar para calentar aire y que se usa para calentar alimentos y con ello disminuir su contenido en agua. Generalmente se compone de dos cámaras una el colector, la parte que absorbe el calor solar y la otra cámara, es el contenedor de alimento, por donde pasa el aire caliente proveniente del colector. Con esto los alimentos no se exponen directamente a la luz del sol lo que reduce el riesgo de quemaduras y además la pérdida de nutrientes. También se evita la pérdida de color por efecto de la radiación solar sobre el alimento. Por otro lado el calor se distribuye de una forma uniforme por la cámara de secado lo que asegura un secado más uniforme del producto.

Existen al menos dos tipos de deshidratadores solares, los deshidratadores solares pasivos y los deshidratadores solares activos. La principal diferencia entre ellos es que en el deshidratador solar pasivo la circulación del aire es natural, se activa por diferencias de temperatura y densidad del aire. Por el otro lado los deshidratadores solares activos utilizan un ventilador para forzar la circulación de aire y por consiguiente acelerar el proceso de deshidratación.^[12]

Otras diferencias son que los deshidratadores solares pasivos requieren de menor mantenimiento pues no tienen partes mecánicas o eléctricas que requieran mantenimiento. Generalmente son más económicos de construir y también de mantener. En la figura 3 se muestra un ejemplo de un deshidratador solar pasivo.

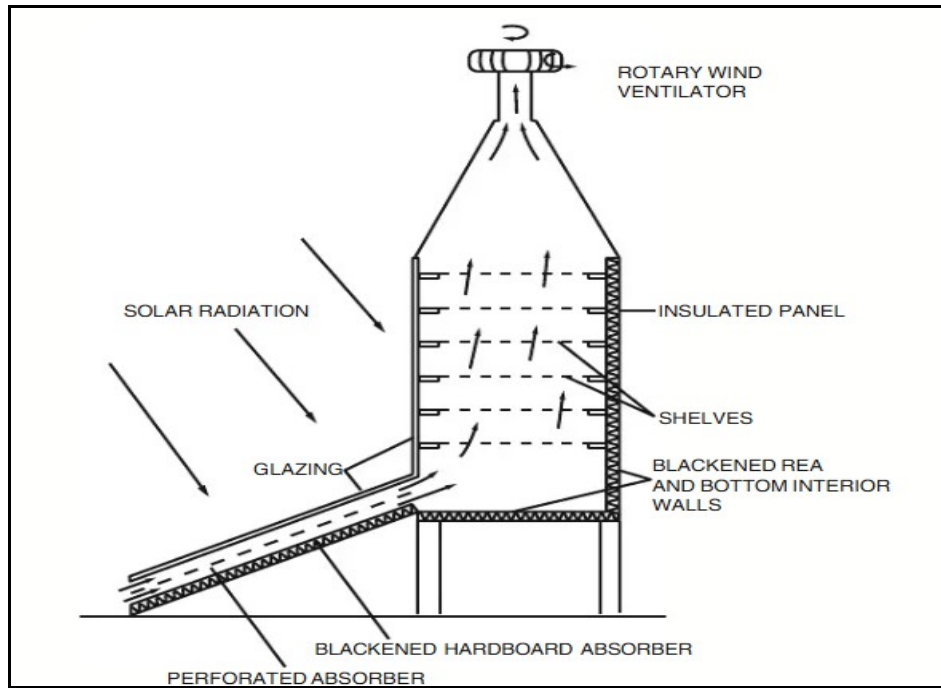


Figura 4. Deshidratador solar pasivo.

Tomada de International Journal of Green Energy (2012) <https://doi.org/10.1080/15435075.2012.727113>

En el caso de los deshidratadores solares activos requieren de mayor mantenimiento debido a que contienen partes eléctricas o mecánicas como motores. Son más costosos de construir por lo general; sin embargo son más eficientes en el proceso de secado, ya que hacen fluir el aire con mayor rapidez, además pueden desempeñarse de mejor forma en climas húmedos o en climas fríos.

Capítulo 3

Diseño y construcción de deshidratador solar

3.1 Dinámica termodinámica del aire

La transferencia de calor es el proceso mediante el cual la energía térmica se transfiere de un sistema a otro debido a una diferencia en la temperatura. Existen 3 tipos de transferencia del calor:^[13]

- Conducción
- Convección
- Radiación

La conducción es el proceso mediante el cual la energía calorífica se transmite a través de un material sólido por contacto directo debido a la colisión entre átomos y moléculas. Ejemplo de ello es cuando el extremo de una barra metálica se calienta al dejar su otro extremo expuesto a la llama de una vela. La plancha eléctrica es otro ejemplo, pues se transmite el calor del metal hacia la tela.

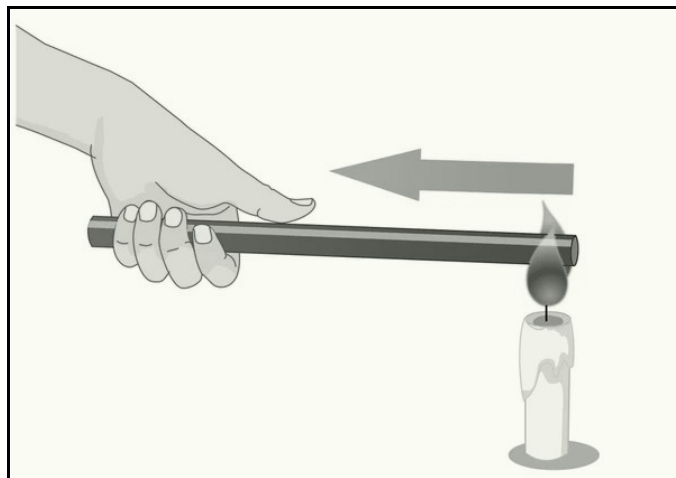


Figura 5. Conducción de calor en una barra metálica

Tomada de Metal Supermakets (2024) <https://www.metalsupermarkets.com/what-does-thermal-conductivity-mean/>

La transferencia del calor por radiación es el proceso mediante el cual la energía calorífica se transmite a través de ondas electromagnéticas. Especialmente infrarrojas, sin necesidad de un medio material para propagarse. La radiación a diferencia de la conducción puede ocurrir aun en el vacío. Ejemplos de radiación es el calentamiento de la tierra debido a la energía del sol. El calor que se siente al estar cerca de una fogata aun cuando no se tenga contacto directo con las llamas (figura 5).

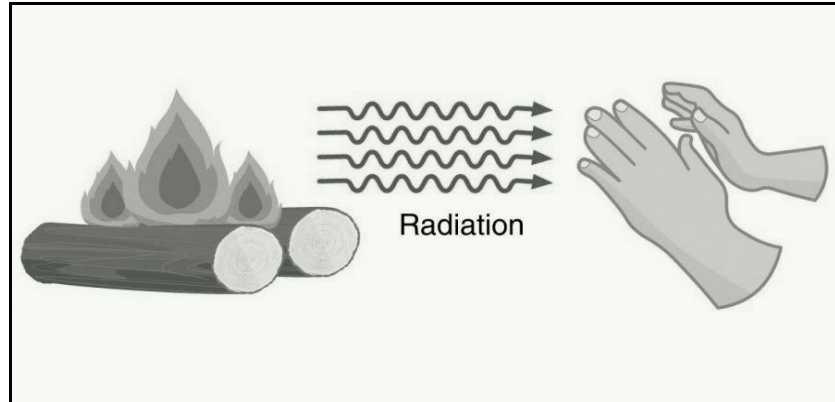


Figura 6. Transmisión de calor por radiación

Tomado de Insulation stop (2023) <https://insulationstop.com/what-is-a-radiant-barrier/>

En el deshidratador solar tanto la transferencia de calor por conducción como por radiación son importantes, por un lado el colector del deshidratador recibe el calor del sol por medio de radiación, con lo cual se permite calentar el aire en el colector. El aire caliente al entrar en contacto con los alimentos transfiere calor por medio de conducción, pues el contacto directo de las moléculas del aire transfiere energía por contacto directo a las moléculas de los alimentos.

La convección es un proceso a través del cual se transfiere el calor, el cual implica el movimiento de fluidos líquidos o gaseosos. La convección puede ser de dos tipos:

- Natural
- Forzada

La convección forzada es cuando el movimiento del fluido es generado por medios externos como por ejemplo ventiladores o bombas, los cuales fuerzan el flujo de un fluido cálido.

La convección natural es cuando el movimiento de fluido se debe a diferencias de densidad originadas por diferencias de temperatura, cuando un fluido se calienta de manera desigual. Al calentar

un fluido sus partículas se agitan con mayor rapidez, lo cual aumenta la energía cinética, además el fluido se expande, con lo cual la densidad disminuye, así que el fluido tiende a ascender, el fluido más frío que tiene mayor densidad se desplaza hacia abajo, el resultado es la aparición de corrientes de convección que distribuyen el calor.

La fuerza de flotación de un fluido se expresa a través de la siguiente formula:

$$F_e = g\beta(T_s - T_\infty)V\rho$$

Donde:

- g = aceleración de la gravedad.
- β = coeficiente de expansión térmica del fluido.
- T_s = temperatura de la superficie caliente.
- T_∞ = temperatura del fluido lejano (más frío).
- V = volumen característico del fluido.
- ρ = densidad del fluido.

Es la fórmula del principio de Arquímedes aplicado a la fuerza de flotación en fluidos. El principio Arquímedes señala que:

“Un cuerpo total o parcialmente sumergido en un fluido, recibe un empuje hacia arriba, igual al peso del volumen del fluido que desaloja”. ^[14]

Gráficamente como se muestra en la figura 6, si un objeto tiene una fuerza de peso mayor a la fuerza de empuje del fluido hacia arriba, entonces el objeto se hunde, si por el contrario la fuerza del peso del objeto es menor a la fuerza de empuje del fluido entonces el objeto flota. Si la fuerza del peso del objeto es igual a la fuerza de empuje del fluido, el objeto no se hunde ni flota, permanece sumergido en equilibrio con el fluido.

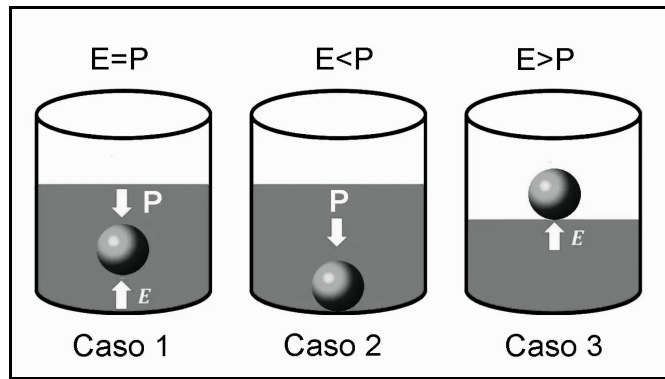


Figura 7. Efecto del principio de Arquímedes sobre tres objetos de diferentes densidades

Tomada de Universidad de Zaragoza (2024) <https://ocw.unizar.es/ocw/mod/page/view.php?id=5465>

Cuando se trata de objetos el principio de Arquímedes se expresa como:

$$F_e = gV\rho$$

Donde: F_e = La fuerza de empuje

g = Aceleración por la gravedad (9.81m/s^2)

V = Volumen del fluido desalojado (m^3)

ρ = Densidad del fluido (Kg/m^3)

Para el caso de la fórmula de la convección se agrega la diferencia en las temperaturas, expresando que entre mayor sea la diferencia en las temperaturas del fluido frío y el fluido caliente mayor será la fuerza empuje y más rápida será la circulación de convección.

Puede afirmarse que en un deshidratador solar los tres tipos de transferencia de calor son importantes en su funcionamiento, la transferencia por convección permite la circulación del aire sin agentes mecánicos, la transferencia por radiación causa la diferencia de temperatura del aire frío y caliente, lo que inicia el flujo del aire por el interior del deshidratador, el contacto del aire caliente que circula con los alimentos efectúa su deshidratación por efecto de la transferencia de calor por conducción.

3.2 Mecanismo de deshidratación de alimentos

La deshidratación causa deterioro en el valor nutricional de los alimentos, el diseño y operación de un sistema de deshidratador debe considerar minimizar este deterioro. Hay diversos factores que

controlan el ritmo al cual el alimento se deshidrata, los cuales se pueden agrupar en las siguientes categorías:^[23]

- Factores relacionados a la naturaleza del alimentos
- Factores relacionados con el diseño del deshidratador
- Factores relacionados a las condiciones del procesado

Específicamente para la deshidratación con aire caliente hay tres factores relacionados entre si que controlan la capacidad del aire para remover agua de los alimentos:

1. La cantidad de agua que tiene el aire
2. La temperatura del aire
3. La cantidad de aire que pasa por la comida

La humedad que contiene el aire se mide en humedad absoluta y humedad relativa. Entre más alta temperatura tenga el aire o menor sea la humedad relativa del aire, el agua se evapora con mayor velocidad de alguna superficie. En cuanto a la velocidad entre mayor sea la velocidad del aire mayor es la velocidad de secado; esto se debe a que el alimento está rodeado por una ligera capa de aire, la cual dificulta la transferencia de calor entre el aire que se mueve por convección y el alimento, entre más lento se mueva el aire por convección la capa de aire estática que rodea el alimento es mayor y por lo tanto menor es la transferencia de calor al alimento en consecuencia es menor la velocidad de la deshidratación. Cuando el alimento comienza a perder agua por el calor del aire de convección parte de esa agua se queda en la capa de aire que rodea el alimento, esta barrera de aire se vuelve más delgada cuando el aire por convección se mueve a mayor velocidad. En resumen las siguientes tres características son necesarias para un deshidratado eficaz y eficiente:

- Aire con poca humedad
- Aire con alta temperaturas
- Rapidez en la velocidad del aire

Etapas de deshidratación de alimentos en deshidratador solar:

Cuando el alimento es puesto en un deshidratador solar hay un periodo inicial en el cual la temperatura permanece constante antes de aumentar, este periodo se llama “Período constante”. La temperatura del alimento es similar a la temperatura del aire. Cuando el contenido de agua es crítico la velocidad de deshidratación se vuelve nula, este periodo se conoce como período de caída, en este período el movimiento de agua del interior del alimento hacia la superficie se decrementa, y la superficie se deshidrata. El proceso entero de deshidratación solar de los alimentos en un deshidratador se muestra en la siguiente gráfica :^[15]

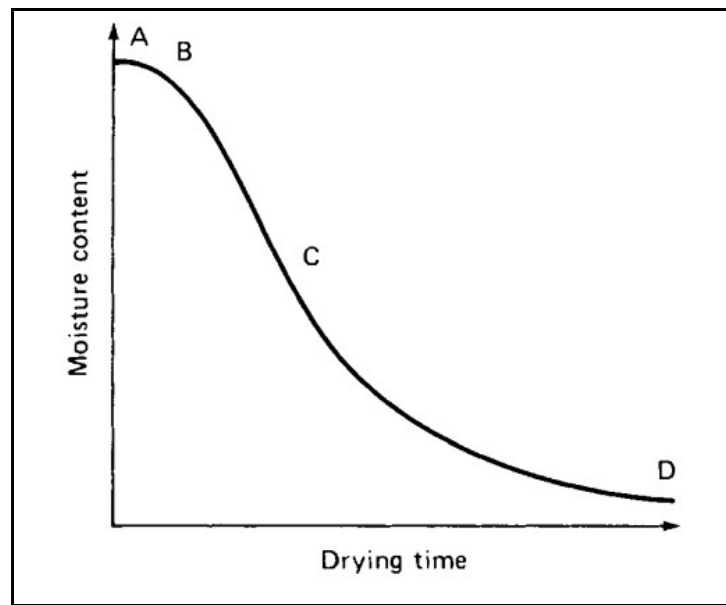


Figura 8. Curvas de secado de alimento en un deshidratador solar

Tomado de Fellows (2022, p.45)

Como puede observarse en la gráfica hay un período inicial A donde la humedad del alimento es casi constante, llega un período B en el cual empieza una creciente deshidratación hasta que llega un período D en el cual la deshidratación es casi nula.

El tiempo que le toma a un alimento llegar al período de caída es difícil de predecir, depende del tamaño del alimento y de la temperatura del aire, otros factores que influyen en el tiempo del secado es la estructura del alimento, como por ejemplo la dirección de las fibras en los vegetales, así como también el contenido de azúcares, sal u otras sustancias que aumentan la viscosidad del alimento, la viscosidad dificulta la deshidratación del alimento. Otros factores que también pueden influir es la distribución y la cantidad de alimento que se coloca en el deshidratador. En la practica las curvas de

deshidratación mostradas más arriba pueden variar de alimento en alimento y según condiciones ambientales.

3.3 Diseño de un deshidratador solar indirecto

Existen diversos modelos de deshidratadores solares indirectos, varían en dimensión, capacidad producción, materiales, y formas. En general tienen los siguientes elementos:

1. Cámara de secado: Es la cámara que contiene el alimento a deshidratar.
2. Colector de aire caliente. Es el compartimiento que absorbe la radiación solar.
3. Bandejas: Sostienen los alimentos y permiten el paso de aire
4. Canal de aire: Conduce el aire caliente hacia la cámara de secado
5. Salida de aire: Permite la circulación y escape de la humedad

Hay diversos factores en el diseño que hacen más eficiente y eficaz la deshidratación, como por ejemplo el ángulo de inclinación del colector (figura 8), el ángulo ideal es aquel en el que pueda recibir de manera más directa los rayos del sol, la posición correcta del colector debe ser en dirección sur en el hemisferio norte y a un ángulo óptimo para la mayor captación de radiación solar durante todo el día.

[15]

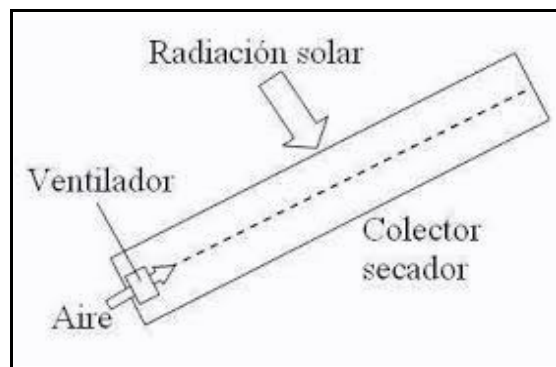


Figura 9. Ángulo inclinación del colector

Tomado de Passamai (2006, p.2)

Hay diseños de deshidratadores solares que no toman en cuenta esta inclinación, logran su propósito de deshidratar alimentos pero esta inclinación permite una mayor eficiencia en la deshidratación de los alimentos, en la figura 9 se observa el diseño de un deshidratador en forma L que no contempla este ángulo del colector.

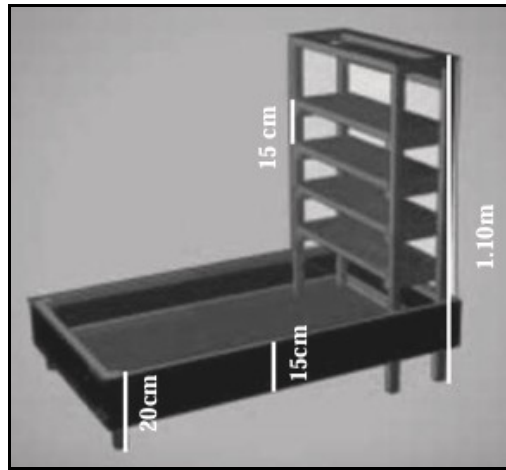


Figura 10. Deshidratador solar en forma de L

Tomada de Ingeniería sin fronteras (2017) <https://esf-cat.org/wp-content/uploads/2017/06/Manual-Tecnologia-para-la-Transformacion-Agropecuaria-Deshidratador-Solar-ESF-1.pdf>

Otros factores en el diseño que pueden influir es el tamaño del colector, entre mayor sea su área, mayor será su capacidad de absorción de aire caliente.

Otro factor que puede influir en la absorción de calor son los materiales. Los materiales oscuros y con buena conductividad térmica como el aluminio pintado de negro absorben más la radiación solar que circula por el sistema. ^[12]

El aislamiento térmico también influye en la deshidratación, un aislamiento térmico reduce las pérdidas de calor hacia el ambiente especialmente en climas fríos o con viento. Si no hay buen aislamiento térmico se perderá calor y la temperatura interna será más inestable.

También se debe considerar la distancia entre las bandejas, bandejas muy densas o muy apiladas sin espacio entre ellas impiden el flujo del aire y salida de la humedad reduciendo la eficiencia del secado.

Hay factores mínimos que también influyen en la eficiencia del secado como por ejemplo la forma que tiene el colector de aire. Se ha estudiado que los colectores que tienen el mismo tamaño en la entrada y salida de aire absorben más calor que aquellos que varían en tamaño, por ejemplo en la siguiente imagen los colectores tipo 1,3,5 absorben más calor que los colectores 2,4,6. ^[29]

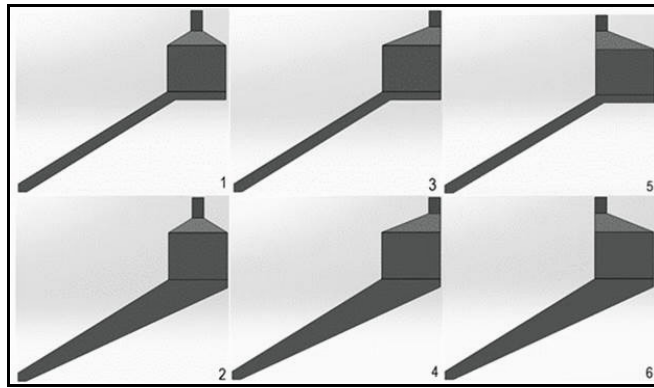


Figura 11. Colectores planos y colectores asimétricos

Tomada de Revista Ingeniera Agrícola (2019) <https://www.redalyc.org/journal/5862/586262449006/html/>

Para este proyecto se construyo un deshidratador solar con características generales, con las siguientes medidas:

Colector: 1 metro de largo X 20 de alto X 60 cm de ancho. Inclinação de 19.2 grados (La selección de esta inclinación es por el ángulo de latitud donde se colocara, en Iztapalapa latitud 19°3'. En el capítulo 3.4 se describe el motivo de la selección de este ángulo).

Cámara de secado: 1.2m de alto, 60cm de ancho, 40cm fondo. Con 6 bandejas con separación de 15 cm.

Gráficamente las dimensiones son las siguientes:

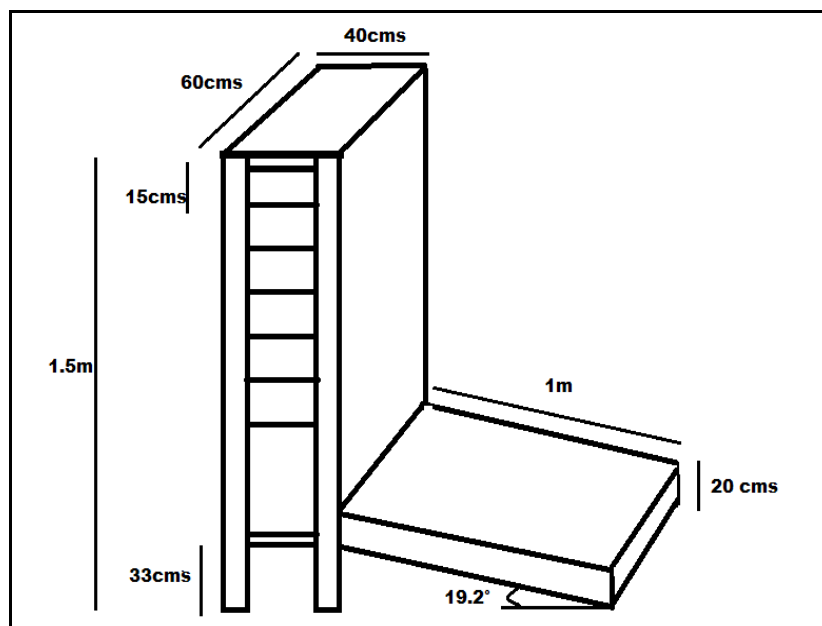


Figura 12. Medidas para deshidratador solar pasivo de alimentos

(Elaboración propia)

3.4 Construcción del deshidratador solar pasivo

Para la estructura se utilizaron 5 ángulos de 3/4" x 1/8" x 6m; la estructura metálica puede darle una mayor estabilidad y durabilidad al deshidratador solar. La siguiente imagen muestra la estructura armada del deshidratador solar.



Figura 13. Estructura del deshidratador solar
(Elaboración propia)

Para el cuerpo se usaron laminas de triplay de 3 milímetros, dado que es una lamina muy delgada, se colocaron en doble para cada pared, para el colector se colocó en la parte superior un vidrio de cristal templado con cinta espuma de vinilo para recargar el cristal con suavidad sobre el metal.

Las siguientes imágenes muestran el proceso de colocado del triplay, en la figura 14 se muestra el tapizado del contenedor de alimentos y en la figura 15 se muestra el tapizado del colector, pintando la base de color negro.



Figura 14. Colocación de laminas de triplay en deshidratador solar

(Elaboración propia)



Figura 15. Colocación de espuma vinilo sobre colector

(Elaboración propia)

La base del colector se pinta de negro porque eso permite absorber la radiación solar, colores blancos reflejan los rayos del sol, y colores negros retienen la radiación solar por lo que calientan con mayor eficiencia el aire del colector. El vidrio se coloca de cristal templado porque resiste mejor a los impactos posibles que pueda recibir, así como a los cambios de temperatura, hay de diferentes grosores, el que se colocó fue un vidrio de 97 x 57 cm con un grosor de 5mm.



Figura 16. Construcción final del deshidratador solar
(Elaboración propia)

Como puede observarse en la figura 16, al colector se le coloca malla mosquitera a su entrada, para evitar el ingreso de insectos u otro tipo de animales al interior del deshidratador solar. Para ingresar la fruta se diseñó una puerta que se eleva para permitir la entrada de los alimentos. Los marcos se hicieron con tiras de triplay apiladas en cuatro hileras para darle fuerza y resistencia al marco; a los marcos se les colocó malla mosquitera, con cuadros de rendija de 1mm x 1mm.



Figura 17. Marcos en proceso de creación de tripay con malla mosquitera
(Elaboración propia)



Figura 18. Colocación de fruta al interior del
deshidratador (Elaboración propia)



Figura 19. Manzana en deshidratación

Como puede observarse en la figura 18 y 19, la fruta se ingresa por una puerta a un costado del deshidratador solar. En esta prueba se colocó manzana en rebanadas.

3.5 Orientación óptima del colector en el deshidratador solar.

Para la orientación del deshidratador solar se deben de considerar dos ángulos, el ángulo de elevación y el ángulo de azimut. El ángulo azimut es el ángulo en el plano horizontal, tomando como dirección de origen el norte; el sur es la dirección a la que debe direccionarse el colector, dado que el sol se mueve a lo largo del día de este a oeste siempre ubicado en dirección al sur, como puede verse en la siguiente figura.^[17]

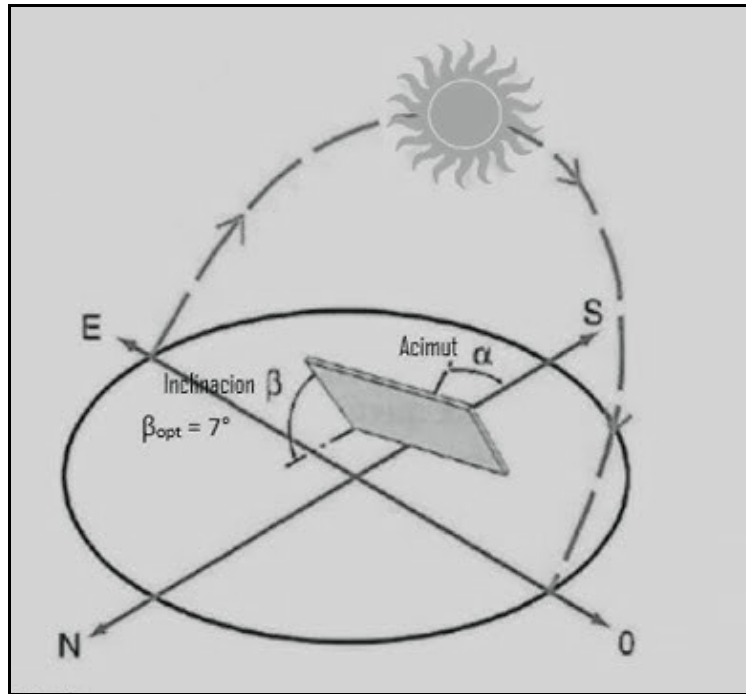


Figura 20. Ángulo del recorrido solar

Tomado de Energizando Colombia (2020) <https://www.youtube.com/watch?v=p6mVb7y2aiY&t=3s>

En cuanto a la inclinación del colector con respecto al ángulo β hay diversas formas de calcular el ángulo adecuado, no hay un método o fórmula específica, algunos métodos consideran la época del año y datos climáticos locales.

El primer método es el basado en la latitud. La regla es la siguiente, para una mayor captación de radiación solar anual, la superficie debe estar inclinada en el mismo ángulo que la latitud. Para la ubicación del deshidratador tenemos una latitud de $19^{\circ}.21'$, ese sería el ángulo del colector. Si se considera que en invierno el ángulo de dirección del sol es bajo se consideran 15° más, es decir: $\text{Ángulo óptimo invierno} = \text{Latitud} + 15^{\circ} = 24^{\circ}.21'$, este sería el ángulo ideal del colector en esa época del año. En verano donde el ángulo de elevación del sol es mayor se deben restar 15° , es decir:

Ángulo óptimo Verano = Latitud - 15° = $4^{\circ},21'$; este sería el ángulo óptimo de inclinación con respecto al ángulo β para el colector en esa época del año.

Hay algunos autores que proponen algunas fórmulas para cada estación del año:^[18]

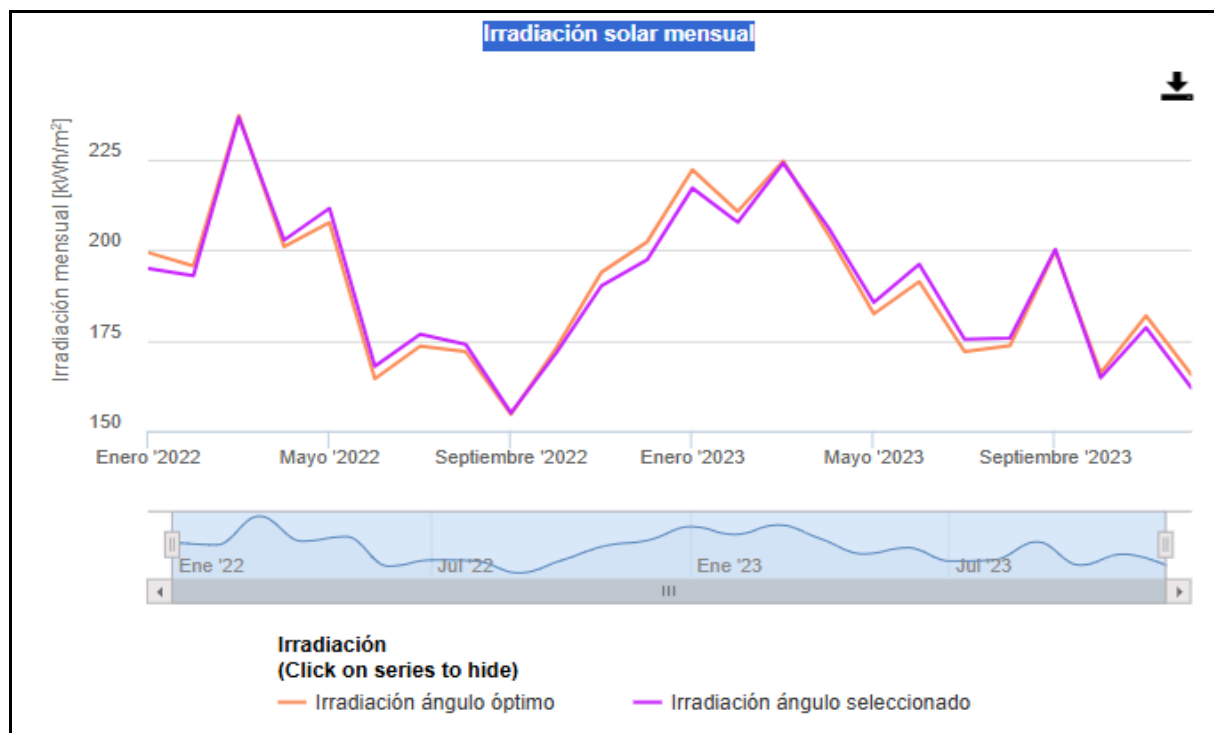
Ángulo óptimo Invierno = Latitud x 0.9 + 29°

Ángulo óptimo verano = Latitud x 0.9 - $23,5^{\circ}$

Ángulo óptimo primavera y otoño = Latitud - 2.5°

Ángulo óptimo anual = $3,7 + (0.69 \times \text{latitud})$

Se considero para el ángulo del colector la fórmula Ángulo = latitud, es decir 19.2° , considerando los datos históricos de la captación solar de la zona de Iztapalapa de la base de datos Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) de la Comisión Europea, hay un mínimo de diferencia entre el ángulo óptimo de la superficie para captación de radiación solar entre 2022 y 2023 y el ángulo $19,2^{\circ}$, como se observa en la siguiente gráfica. ^[19]



Gráfica 1. Irradiación solar sobre una superficie a 19.2° en región de Iztapalapa en años 2022-2023

Obtenido de Photovoltaic geographical information system (2025) https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/

En esta gráfica se observa la cantidad de energía producida por un panel solar que puede producir hasta 1000W por metro cuadrado a una temperatura de 25°C según el histórico de irradiación solar entre los años 2022 y 2023. En naranja se tiene la cantidad de energía obtenida a un ángulo de 24°, el ángulo más óptimo calculado según el histórico de datos de PGVIS, en morado es la cantidad de energía producida por un panel solar a un ángulo de 19.2°. Como puede observarse la captación de energía es similar en algunos meses como en septiembre de 2023 y febrero de 2022. En algunos meses el ángulo óptimo calculado según el histórico de datos de 26° obtiene mayor cantidad de energía de septiembre de 2022 a marzo de 2023, aunque no por una amplia diferencia. Un ángulo de 19.2° entonces permite captar energía solar de una manera óptima según el histórico de datos de los años 2022 y 2023 de PGVIS.

En cuanto al ángulo de azimut, el ángulo ideal es de 180°, es decir en dirección sur (figura 21). El ángulo azimut es el ángulo con respecto al norte geográfico que corresponde a 0 grados. 90° es el este por donde sale el sol y el oeste 270° por donde se oculta el sol.

Si un colector no se puede orientar directamente al sur debido a algún obstáculo, se puede orientar hasta un máximo de 45° sureste o suroeste, sufrirá una reducción de radiación solar de 1 a 3 %. A partir de 45 ° la orientación de radiación solar comienza a disminuir significativamente, a 90 ° azimut es decir en dirección este u oeste la captación puede disminuir hasta en un 30%. ^[20]

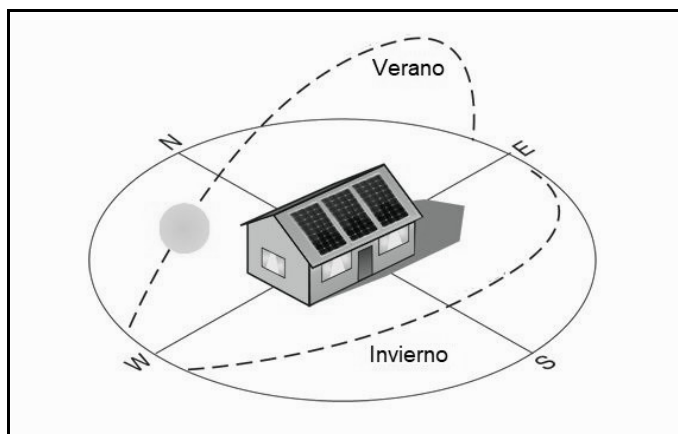


Figura 21 Ángulo colector con respecto al sur.

Obtenido de MPPTSolar (2025) <https://www.mpptsolar.com/es/orientacion-inclinacion-paneles-solares.html>

Para este colector se colocó a en un ángulo de 45° dirección suroeste, dado que es la dirección que permite un punto de anclaje que evita una eventual caída del colector por algún movimiento como terremoto o ventisca.

Para saber dónde se encuentra el sur geográfico se puede usar una brújula, también existen aplicaciones que nos permiten conocer hacia donde se encuentra el sur, además muestran la dirección de los rayos del sol a lo largo del día en su recorrido de este a oeste, en la figura 22 se muestra la ubicación del deshidratador y la dirección del sol desde la mañana hasta la noche.



Figura 22. Posición del sol a lo largo del día.

Elaboración propia obtenida de Sunearth tools (2005) https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php?lang=es

La parte inferior del círculo marca el sur geográfico hacia el cual debe ser orientado el deshidratador solar, o al menos cercano a esa dirección.

Capítulo 4

Diseño de circuito electrónico para monitorear variables de peso, temperatura y humedad

4.1 Parametros de control

Monitorear un deshidratador solar implica conocer qué variables son críticas a lo largo del proceso de deshidratado. Una vez que empieza el proceso de convección del aire el rango de humedad es alto y la pérdida de agua es alta hasta que se dificulta una vez que el agua en los tejidos es menor y entonces el contenido de humedad se vuelve constante, por tanto el peso del producto también debería estabilizarse en este punto, pues ya no hay pérdida de agua en los tejidos.

4.2 Sensor SHT20

El sensor SHT20 (figura 21) puede medir tanto la temperatura como la humedad, en comparación a otros sensores del mismo tipo como el DHT11 o el DHT22, este sensor tiene algunas ventajas, como una mayor resolución, un diseño compacto y además de ser preciso, viene con varios encapsulados, algunos a prueba de agua y otros a prueba de polvo.



Figura 23. Sensor de humedad y temperatura SHT20

Tomado de Techtronics (2025) <https://techtronics.in/product/sht10-soil-temperature-and-humidity-sensor-module/>

Este sensor tiene las siguientes características generales:

Especificación	Valor
Precisión	$\pm 3\%$
Estilo de montaje	SMD/SMT
Tipo de salida	Digital
Interfaz	I2C
Corriente suministro	150mA en medición y 1mA en reposo
Voltaje mínimo alimentación	2.1 V
Voltaje Máximo de alimentación	3.6 V
Temperatura de trabajo mínima	- 40 °C
Temperatura de trabajo máxima	125 °C
Longitud de cable	1 m

Tabla 4. Tabla de especificaciones del sensor SHT20

Adaptada de Techtronics (2025) <https://techtronics.in/product/sht10-soil-temperature-and-humidity-sensor-module/>

4.2.1 Conexión y programación del SHT20

El SHT20 tiene cuatro hilos, por lo general de colores negro, rojo, amarillo y verde. Los cables negro y rojo son para energía, es decir negro para GND y rojo para VCC, mientras que el amarillo es para SCL y el verde para SDA que son para entablar comunicación I2C.

Para manejar este sensor se utiliza la librería DFRobot_DHT20 la cual se debe descargar de la sección “Administrar Bibliotecas” del IDE de arduino, se debe incluir en las primeras líneas del código:^[21]

```
#include "DFRobot_SHT20"
```

Para manejar el sensor SHT20 se debe declarar un objeto de tipo DFRobot_SHT20:

```
DFRobot_SHT20 sht20;
```

Una vez declarado el objeto SHT20 se puede inicializar la conexión con el sensor a través de la instrucción initSHT20:

```
sht20.initSHT20();
```

Una vez inicializada la conexión con el sensor SHT20, se pueden obtener los valores de temperatura y humedad a través de la siguiente instrucción para leer la temperatura:

```
temperatura = sht20.readTemperature();
```

Y para leer los valores del sensado de humedad se tiene: la siguiente instrucción

```
humedad = sht20.readHumidity();
```

4.3 Memorias Flash

Las memorias flash fueron inventadas en 1984 por Fujio Masuoka, son una evolución de las memoria EEPROM. Las memorias EEPROM (electrical erasable PROM) son un tipo de memorias ROM, que pueden ser programadas y borradas eléctricamente. La memoria flash puede ser borrada y reprogramada por bloques en una computadora, a diferencia de las EEPROM tradicional necesitan de un dispositivo llamado lector PROM.

La memoria flash es un tipo de memoria EEPROM, es una memoria no volátil, es decir guarda datos de manera permanente aun cuando no este energizado. Permite tanto escritura y borrado de datos. Es una memoria rápida con gran capacidad de almacenamiento y además es de tipo pequeño. Es rápida en cuando a su lectura como escritura y en su funcionamiento requiere poca energía. Es resistente a condiciones ambientales adversas.

4.3.1 Tipos de memoria flash

Según su presentación física las memorias flash pueden ser de tipo tarjetas de memoria o pendrives. Las tarjetas de memoria son dispositivos de almacenamiento que se pueden insertar en ranuras y adaptadores de diferentes dispositivos. Existen los siguientes tipos de tarjetas de memoria: Multimedia Card: Es de baja velocidad en comparación a las memorias SD por ello han quedado en desuso. Tarjetas SD: Se utiliza en una gran cantidad de dispositivos como celulares, tablets, cámaras, entre otros. Memory Stick: Fue creada por Sony para ser utilizada en sus productos como cámaras o consolas. Memoria Pendrive: Son dispositivos que fueron creados para ser usados como discos duros. Tiene un conector tipo USB que les permite conectarse a los ordenadores. Se pueden conectar directamente sin ningún tipo de configuración o software adicional .

4.3.2 Tarjetas SD

Las tarjetas de memoria SD son dispositivos de almacenamiento no volátil, que se utilizan para guardar información de digital, en la forma de fotos, videos, documentos, música, aplicaciones entre otros. Se utilizan actualmente en equipos como cámaras digitales, celulares, consolas de videojuegos, grabadoras, computadoras, drones, tablets entre muchos otros dispositivos portátiles.

Las memorias SD se presentan en tres tamaños los cuales son SD estándar, miniSD y micro SD, el ultimo es el más común, su funcionamiento es igual y pueden ser intercambiables con el uso de adaptadores.

4.3.3 Módulo SD

El módulo SD (figura 22), es un módulo accesorio que permite almacenar datos a través del Arduino en una tarjeta SD o microSD. Tiene como características más importantes que tiene una comunicación SPI, puede manejar archivos FAT32 y FAT16, y puede aceptar tarjetas de hasta 32 GB.

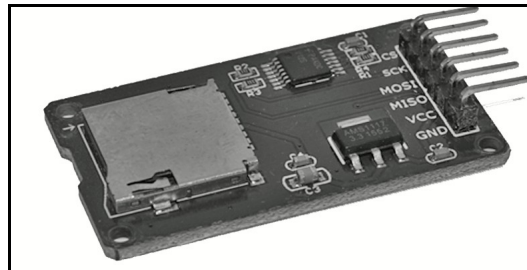


Figura 24. Módulo para lectura de tarjeta SD

Tomada de SINONING (2025) <https://www.botnroll.com/en/i2c-spi/4152-micro-sd-module-spi-interface.html>

El módulo SD tiene las siguientes especificaciones técnicas:

Especificación	Valor
Tipo de tarjeta admitida	MicroSD hasta 32GB
Voltaje alimentación	5V
Corriente de consumo	0.2 a 200mA
Interfaz	SPI
Formato de archivos soportado	FAT16/FAT32

Tabla 5. Especificaciones y características del módulo SD

Adaptada de UNIT electronics (2025) <https://uelectronics.com/producto/lector-de-memorias-micro-sd-para-arduino/>

Para conectar el Arduino con el módulo SD se deben conectar los pines MOSI, MISO y SCK con los pines correspondientes al Arduino para la comunicación SPI, que son los pines 11, 12 y 13 respectivamente del arduino. Para el pin CS (Chip Select) del módulo SD, se puede usar cualquier otro pin del arduino, usualmente se usa el pin 10, pero puede ser cualquier otro pin.

módulo SD	ArduinoUno, Nano
GND	GND
VCC	5V
CS	10
MOSI	11
MISO	12
SCK	13

Tabla 6. Conexiones módulo SD

Adaptada de Luis Llamas (2025) <https://www.luisllamas.es/tarjeta-micro-sd-arduino/>

Gráficamente se tienen las mismas conexiones de la siguiente manera:

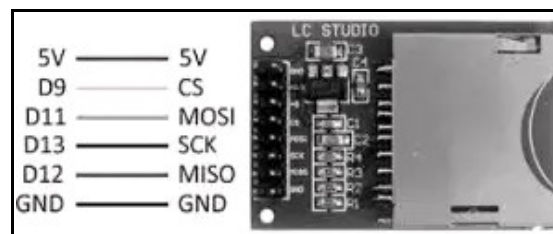


Figura 25. Conexión del los hilos entre Arduino y módulo SD

Obtenido de Luis Llamas (2025) <https://www.luisllamas.es/tarjeta-micro-sd-arduino/>

4.3.4 Programación módulo SD

Para programar este tipo de memorias, Arduino incluye una librería para ello, la cual se llama SD y se debe declarar su uso en las líneas iniciales del programa con la instrucción `#include`. Para poder usar el módulo SD se usa comunicación SPI. Por lo que también debe incluirse la librería SPI:^[22]

```
#include <SPI.h>
```

```
#include <SD.h>
```

La librería SD incluye una serie de instrucciones que pueden utilizarse para manejar el módulo de memoria SD. Dentro de esas instrucciones tenemos las siguientes:

SD.begin(): Inicializa la biblioteca SD y la lectura de la tarjeta SD. Esta instrucción regresa un 1 si la inicialización fue exitosa y 0 si la inicialización fue fallida.

SD.exists(nombre de archivo): Comprueba si existe algún archivo en la memoria SD con el nombre especificado como parámetro, si es así retorna un valor lógico verdadero en caso contrario regresa un valor lógico falso.

SD.open(dirección de archivo, modo): Abre el archivo que se especifica como parámetro, se debe incluir la dirección en la que se encuentra en caso de que este incluido en una carpeta. Si el archivo no existe crea el archivo con el nombre especificado, pero no crea el directorio si no existe. Se puede abrir el archivo con modo lectura si se especifica como parámetro FILE_READ y en modo escritura si se especifica como parámetro FILE_WRITE. Esta instrucción retorna un objeto de tipo file, el cual se debe declarar antes como una variable. Por ejemplo:

File archivo;

archivo= SD.open("datosSensado.txt", FILE_WRITE);

Dentro de las funciones para la clase "file", que se usaron se tienen:

file.print(data): Esta función permite escribir información en el archivo abierto con SD.open.

file.close(): Se cierra el archivo que se ha abierto anteriormente con SD.open().

4.4 Módulo de RTC DS1370 control de tiempo

El módulo RTC DS1370 o Real Time Clock (figura 24) lleva una cuenta precisa del tiempo de segundos, minutos, horas, días, fechas, meses y años, aun cuando el microcontrolador este apagado, pues lleva una batería de respaldo generalmente es la batería CR2032, lo que le permite seguir en funcionamiento aun cuando se interrumpa la energía, según la marca de la batería puede durar entre 3 a diez años.

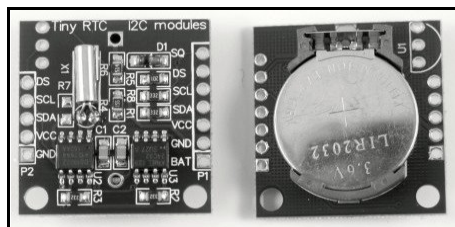


Figura 26. módulo RTC Tiny DS1370

Obtenido de Elstcroegeek (2025) https://www.electrogeekshop.com/mantenga-la-hora-exacta-usando-real-time-clock-rtc/?srsltid=AfmBOopQmYv5vCJ21JhEQFOxTIUsBakEm6KE8Gygb_NoE7rLKHP03JUum

Por lo tanto al usar este módulo el Arduino puede conocer la hora exacta y la fecha. La comunicación con el Arduino es a través del protocolo I2C. Las conexiones con el Arduino son las siguientes:^[25]

Modulo	ArduinoUno, Nano
SCL	A5
SDA	A4
VCC	5V
GND	GND

Tabla 7. Conexiones entre Arduino y módulo DS1370

Obtenido de Luis Llanas (2025) <https://www.luisllamas.es/reloj-y-calendario-en-arduino-con-los-rtc-ds1307-y-ds3231/>

La conexión SCL y SDA corresponde con los pines A5 y A4 porque son los pines del Arduino con los cuales se establece la comunicación I2C. La conexión gráfica del módulo Arduino con el módulo sería entonces la siguiente:

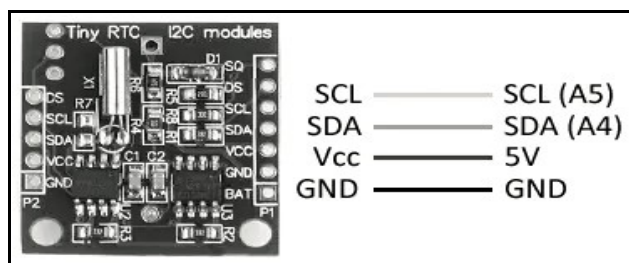


Figura 27. Conexión módulo Arduino con módulo RTC DS1370

Obtenido de Luis Llanas (2025) <https://www.luisllamas.es/reloj-y-calendario-en-arduino-con-los-rtc-ds1307-y-ds3231/>

4.4.1 Programación del módulo RTC DS1370

Para manejar el módulo de tiempo se debe utilizar la librería RTCLib, y una vez descargada se debe indicar su uso en las primeras líneas del código: ^[24]

```
#include <Wire.h>
#include <RTCLib.h>
```

Al usar el módulo DS1370 también se incluye la librería Wire.h con la cual inicia la comunicación I2C del módulo Arduino. La librería RTCLib contiene las instrucciones y funciones necesarias para el manejo del módulo DS1370, para las cuales es necesario crear un objeto RTC, puesto que es una programación orientada a objetos.

```
RTC_DS1370 rtc;
```

Un vez que se han declarado las librerías para manejar el módulo DS1370, se debe inicializar el módulo con la siguiente instrucción:

```
If (! rtc.begin()){  
Serial.println ("No se pudo encontrar móduloRTC");  
while(1);};
```

Esta instrucción indica que si no hay conexión con el módulo RTC, entonces se escribe por el puerto serial “No se pudo encontrar el módulo RTC”, y no avanza el código a las siguientes líneas hasta que se establezca conexión con el módulo, en caso de que no exista esta conexión.

Para ajustar el reloj a la hora y fecha del ordenador desde el cual se compila el programa se tiene la instrucción `adjust`, a la cual se le pasa como argumento un objeto de la clase `DateTime`:

```
rtc.adjust(DateTime(año, mes, día, hora, minuto, segundo));
```

Por ejemplo si queremos ajustar la hora a 24 de diciembre de 2025, a las 12 horas 30 minutos y 10 segundos la instrucción será:

```
rtc.adjust(DateTime(2025, 12, 24, 12, 30, 10));
```

Por otro lado para tener un ajuste más exacto se tiene un parámetro similar, con el cual el módulo establece la hora del mismo ordenador desde el cual se compila el programa para subirlo al arduino:

```
rtc.adjust(DateTime(F(__DATE__), F(__TIME__)));
```

Es decir, con esta instrucción el módulo establece como hora y fecha que tiene el ordenador al momento de compilar el programa en arduino. Es un parámetro útil pues ya no se debe establecer manualmente fecha y hora del módulo.

Para extraer la fecha y/o hora se hace a través de un objeto del tipo `DateTime` declarado en alguna parte del código, por ejemplo, si deseamos declarar un objeto del tipo `DateTime` con el nombre `fecha`, la instrucción será:

```
DateTime fecha = rtc.now();
```

Por ejemplo si requerimos imprimir la hora en monitor serial, necesitamos el objeto `DateTime` `fecha`, entonces la instrucción para imprimir en monitor serial la instrucción completa sería:

```
Serial.println(fecha.hour())
```

Para el caso que se desee el año el parámetro será `fecha.year()`, para el mes será `fecha.month()`, para el día será `fecha.day()`, para minutos será `fecha.minute()` y finalmente para los segundos la instrucción será `fecha.second()`. En la aplicación del sensado de las variables de peso, humedad y temperatura del deshidratador solar no se necesitará imprimir por monitor serial la fecha pero si se requiere guardar la fecha y hora de cada muestra de sensado, para guardar en SD la instrucción será:

```
nombre_de_archivo.print(fecha.year());
```

`nombre_de_archivo` es un objeto de tipo `File`, que es la clase de objeto que se declara para crear archivos con extensión `.txt` donde se guardaran los datos del sensado, en el ejemplo anterior se toma como ejemplo de parámetro `fecha.year()`, pero puede ser cualquier otro de los parámetros mencionados del tiempo.

4.5 Celda de carga

La celda de carga es un sensor que mide el peso. Se pueden clasificar según su principio de funcionamiento como celdas de carga, neumáticas, hidráulicas y galgas extensiométricas. Las celdas de carga neumáticas e hidráulicas miden variaciones de presión de aire y liquido respectivamente, bajo

los efectos de un peso, las galgas extensiométricas en cambio usan la variación en la resistencia de los materiales según su deformación mecánica como principio de funcionamiento.

La celda de carga consta de dos partes el cuerpo principal, y el circuito eléctrico. El cuerpo principal esta hecho por lo general con algún metal, como acero o aluminio. Es el cuerpo principal el que sostiene el objeto al cual se le desea medir su peso. Una vez que recibe esta carga hay una flexión de este cuerpo como puede observarse en la figura 28.

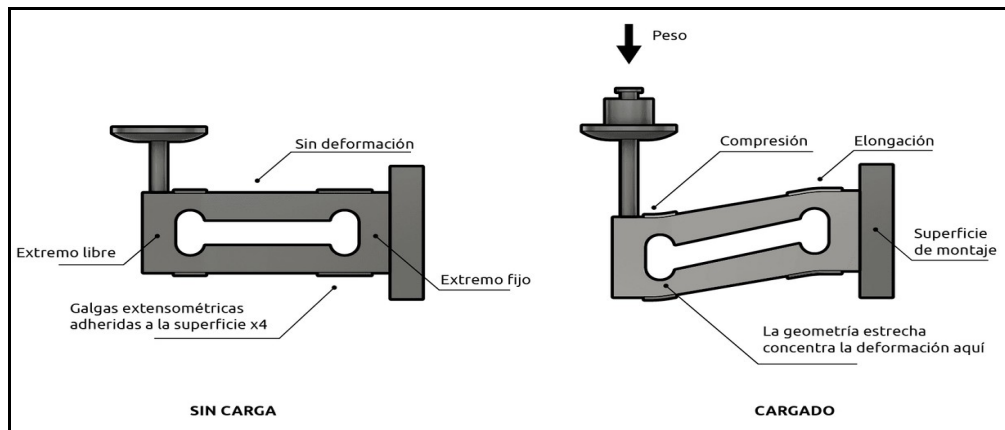


Figura 28. Flexión de la célula de carga

Obtenido de Flintec (2025) <https://www.flintec.com/es/aprender/sensor-de-peso/celulas-de-carga>

La parte eléctrica de la celda se conforma principalmente de un puente de Wheatston, el cual incluye una galga extensiométrica, como la que se muestra en la figura 29.

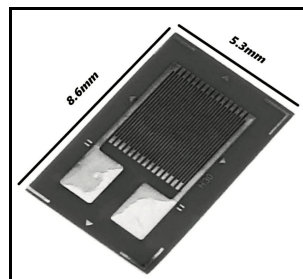


Figura 29. Galga extensiométrica

Obtenido de aelectronics (2025) <https://aelectronics.com.mx/metepec/sensores/3889-galga-extensiometrica-bf350-3aa-350-ohm.html>

La galga extensiométrica actúa como una resistencia, se puede medir su valor con un multímetro, al flexionarse se puede observar que dicha resistencia variara según la deformación de la galga; sin embargo el Arduino no puede medir la resistencia eléctrica, por lo tanto el valor de resistencia de debe

pasar a un valor de voltaje para que el Arduino pueda medir la variación, para ello se usa el puente de Wheatstone, como se observa en la figura 30, el puente incluye 4 resistencias del mismo valor, el voltaje V_{out} varía según la variación de la resistencia de la galga.

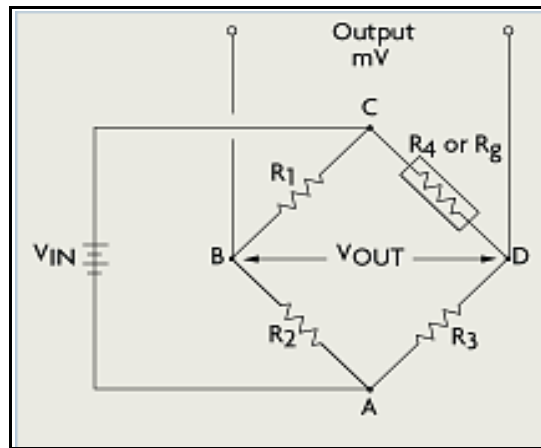


Figura 30. Puente de Wheatstone

Obtenido de Homemade circuit projects (2018) <https://www.homemade-circuits.com/basics-of-strain-gauge-measurements-by/>

Para obtener el voltaje Out que varía según la resistencia R_4 , se tiene que $V_{Out} = V_D - V_B$, división de voltaje se tiene V_B se calcula como:

$$V_B = V_{IN} \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad (1)$$

Para V_D se tiene que:

$$V_D = V_{IN} \frac{R_4}{R_4 + R_3} \quad (2)$$

Sustituyendo V_D y V_B para V_{out} , se tiene:

$$V_{out} = V_D - V_B = V_{IN} \frac{R_4}{R_4 + R_3} - V_{IN} \frac{R_1}{R_1 + R_2} = V_{out} \left[\frac{R_4}{R_4 + R_3} - \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right]$$

La galga extensiométrica usada para este proyecto, es como el que se muestra en la figura 31, el cual tiene las siguientes características:

Especificación	Valor
Voltaje de funcionamiento	5 V
Corriente consumida	10mA
Capacidad de carga	1kg

Tabla 8. Especificaciones y características de la celda de carga

Obtenido de UNIT electronics (2025) <https://uelectronics.com/producto/celdas-de-carga-1-5-10-kg-con-modulo-hx711/>

La figura 31 muestra la conexión de la celda de carga al conversor analógico digital:

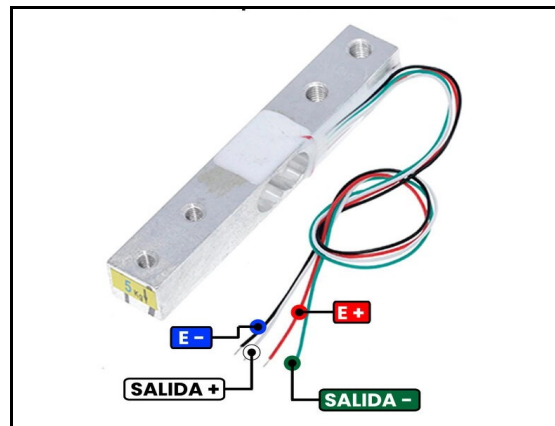


Figura 31. Celda de carga 1kg de capacidad

Obtenido de UNIT electronics (2025) <https://uelectronics.com/producto/celdas-de-carga-1-5-10-kg-con-modulo-hx711/>

4.5.1 Conversor Analógico/Digital Hx711

El valor obtenido de la galga extensiométrica es de tipo analógico, para convertirlo en un valor digital para su lectura y análisis desde el Arduino puede usarse el módulo Hx711, la figura 32 muestra su conexión a arduino.

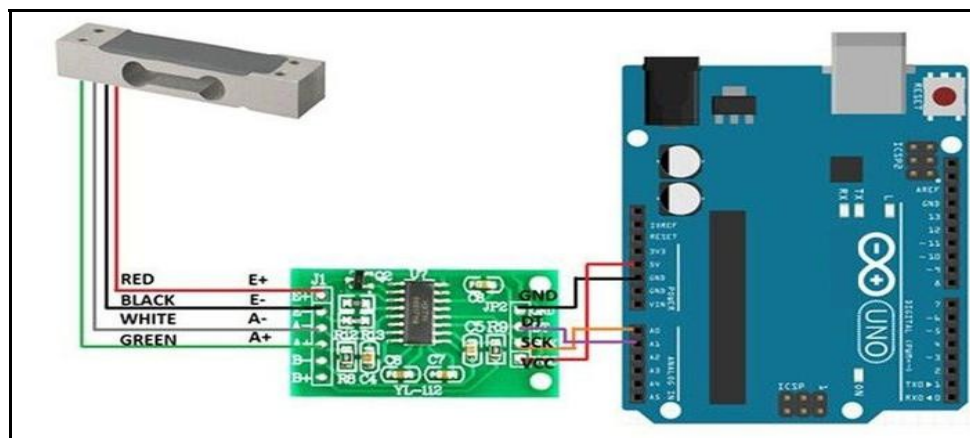


Figura 32. Conexión de celda de carga a conversor A/D Hx711

Obtenido de colombianizate (2025) <https://www.colombianizate.com.co/tienda/arduino/modulos-arduino/modulo-hx711-para-celda-de-carga-arduino/>

Este módulo trabaja con la librería HX711, que tiene las siguientes funciones:

`begin(byte PinData, byte PinClock);`

Inicializa el HX711, se puede trabajar con cualquiera de los pines ADC del arduino.

set_scale(float scale);

Establece el valor de la escala, que es el factor de conversión para convertir valor de lectura en un valor con unidades de peso.

Object.Read(); devuelve la lectura ADC del HX711

Para usar este módulo se debe calibrar la balanza, se debe hallar el factor de conversión para convertir a unidades peso. Lo primero que se necesita es un objeto con peso conocido, y al correr el código debe de incluirse la librería Hx711 y declarar un objeto del tipo Hx711, se inicializa el módulo con la instrucción begin, y se coloca el objeto de peso conocido sobre la galga, el cual se puede desplegar en monitor serial.

El factor de conversión se obtiene de la siguiente forma:

$$Escala = \frac{\text{Valor de Lectura}}{\text{Peso real}}$$

Por ejemplo si para un objeto de 4 kilos se tiene un valor de conversión de 1757721 entonces el factor de escala se obtiene de la siguiente manera:

$$Escala = 1757721/4 = 439430.25.$$

Al correr el programa debe agregarse este valor con la instrucción set_scale ().

4.6 Pantalla LCD 16 x 2

El LCD (Liquid Crystal Display) es un dispositivo empleado para la visualización de información de forma gráfica. Esta pantalla en particular dispone de 2 filas de caracteres. Dispone de 16 pines de conexión que pueden dividirse en pines de alimentación, control y bus de datos bidireccional.

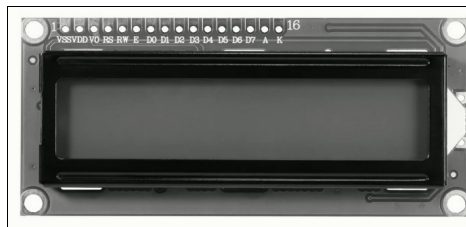


Figura 33. Pantalla LCD color verde

Obtenido de UNIT electronics (2025) <https://uelectronics.com/producto/display-lcd-16x2-fondo-azul-amarillo/>

La tabla 9 muestra las características y especificaciones técnicas de la pantalla LCD usada en el circuito de monitoreo.

Especificación	Valor
Voltaje	5 V DC
Corriente	25mA
Temperatura de operación	-20° a 70° C
Dimensiones	80 x 36 x 11mm
Peso	32g

Tabla 9. Especificaciones y características pantalla LCD 16 X 2

Adaptado de UNIT electronics (2025) <https://uelectronics.com/producto/display-lcd-16x2-fondo-azul-amarillo/>

La figura 34 muestra al display en una prueba de funcionamiento, cada muestra se desplegará en el LCD, el primer dato que se muestra es el número de muestra en este caso es la muestra 472, T es la temperatura, H la humedad y el ultimo dato es el peso de una celda de carga.

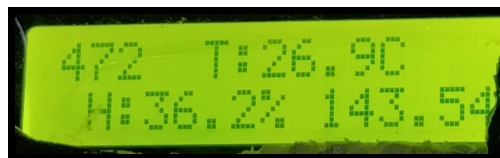


Figura 34. Datos desplegados por el circuito de sensado

(Elaboración propia)

4.7 Circuito final de monitoreo

El circuito final de monitoreo incluye 3 celdas de carga que están conectadas a algunos de los pines digitales del Arduino nano, se tiene un sensor de humedad y temperatura SHT20 conectado a los pines SDA y SCL con los que se establece la comunicación I2C; en estos pines también se conecta el módulo reloj RTC DS1307. Se tiene un módulo de memoria SD conectado a los pines MISO, MOSI y SS que establecen la comunicación SPI, finalmente la pantalla LCD con el cual se visualiza cada minuto la muestra del sensor de temperatura y humedad así como de peso. La figura 35 muestra la distribución de los módulos y sensores utilizados para el monitoreo de la humedad, peso y temperatura del deshidratador solar.

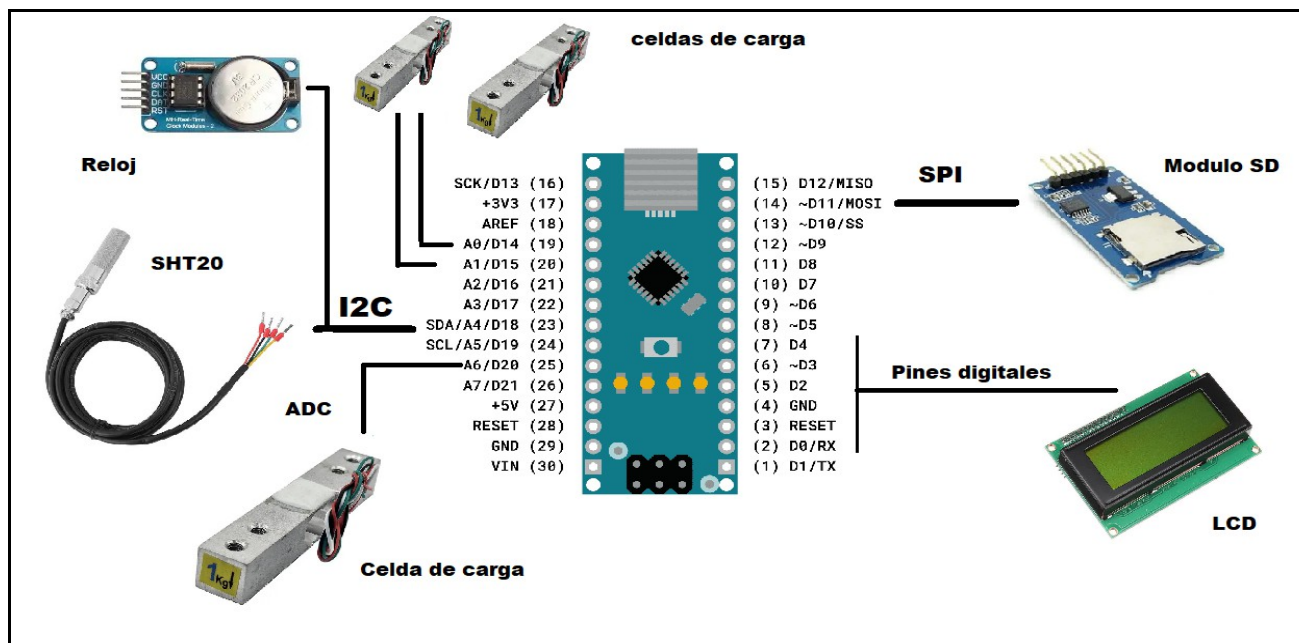


Figura 35. Circuito completo de monitoreo (Elaboración propia)

El Arduino nano se conecta a un adaptador DC de 5V hacia la red eléctrica, colocados dentro de una caja donde también se coloca el controlador de temperatura con histéresis ON/OFF, como se observa en la figura 36.

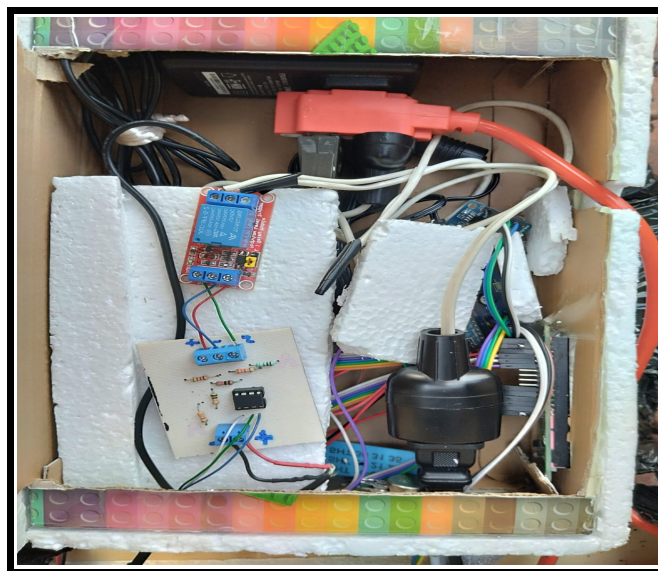


Figura 36. Interior del contenedor del circuito de monitoreo (Elaboración propia)

El exterior del contenedor del circuito de monitoreo esta forrado con poliestireno para evitar la filtración de agua al interior, como puede observarse en la figura 37.

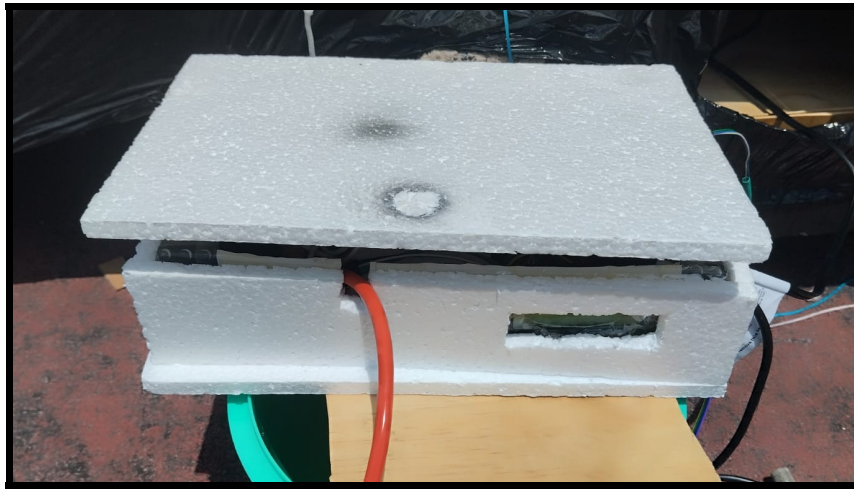


Figura 37. Parte exterior del contenedor del circuito de monitoreo
(Elaboración propia)

El cable naranja proviene de la toma central de electricidad y se conecta a la alimentación del arduino, y el circuito de control ON/OFF con histéresis, así como el ventilador de 33 watts conectado al circuito de refrigeración. En la parte frontal hay una ranura por la cual puede observarse la pantalla del LCD. El contenedor del circuito de monitoreo y de refrigeración se coloca en la parte inferior del deshidratador solar en un espacio por debajo del contenedor de alimentos, en la figura 38 se puede observar el espacio del deshidratador donde se coloca el circuito de monitoreo.



Figura 38. Costado Izquierdo del deshidratador
(Elaboración propia)

Las celdas de carga se pueden observar en la figura 39, como se puede observar en ella, hay tres celdas de carga, en formación de triángulo, las cuales sostienen la charola inferior, y a un costado se encuentra el sensor SHT20 como se observa en la figura 40.

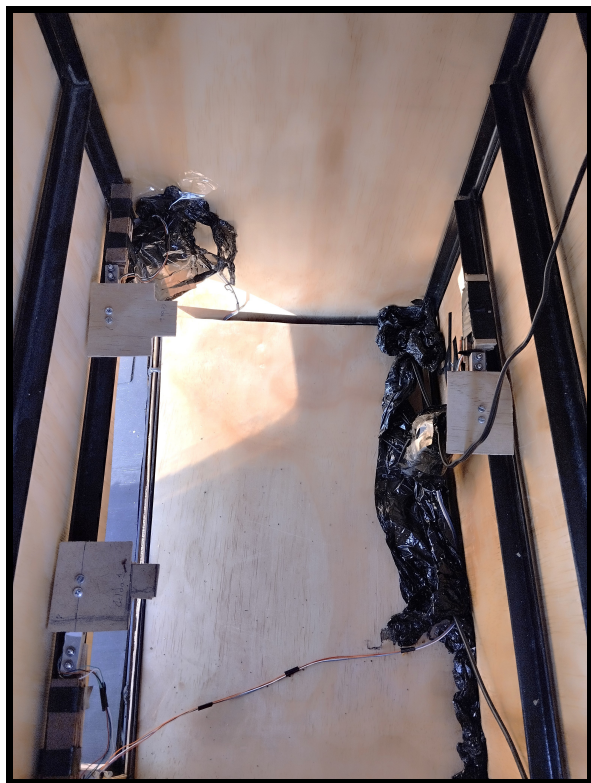


Figura 39. Celdas de carga para medir peso de fruta. (Elaboración propia)



Figura 40. Instalación del sensor SHT20

4.8 Circuito de control de temperatura on/off con histeresis

El control de la temperatura es importante porque permite el secado del alimento sin perder sus nutrientes, temperaturas muy altas alteran las propiedades físicas y químicas de manera drástica, por ejemplo el color se pierde y los nutrientes como vitaminas o nutrientes como polifenoles o flavonoides se deterioran. Para evitar la pérdida de nutrientes y conservar algunas propiedades como color, se recomienda una temperatura menor a los 62 grados en frutas y vegetales, con lo cual el proceso de secado puede ser lento, pero se conservan las propiedades alimenticias de los frutos.

La tabla 10 muestra las temperaturas ideales mínimas y máximas a las que se debería deshidratar un alimento vegetal, el mínimo para no crear hongos y el máximo para no destruir nutrientes.^[26]

Alimento	Temperatura mínima ideal	Temperatura máxima ideal
Frutas	54°C	62°C
Verduras	51°C	57°C
Hierbas	35°C	46°C
Carnes	68°C	75°C

Tabla 10. Temperatura ideal de deshidratación de diferentes alimentos vegetales.

Adaptado de Dehydrated foodz (2025) <https://dehydratedfoodz.com/temperature-of-a-dehydrator/>

Por este motivo es importante no exceder dicha temperatura, sin embargo los deshidratadores solares, pueden alcanzar temperaturas cercanas a los 80°C, por lo que un sistema de refrigeración puede ser adecuado, para ello se implementó un sistema de refrigeración ON/OFF con histéresis usando amplificadores operacionales, el deshidratador solar del presente trabajo está enfocado para deshidratar frutas y verduras por lo que el sistema de refrigeración mantiene la temperatura menor a los 62 grados centígrados. El diseño del circuito ON/OFF se muestra en la figura 41.

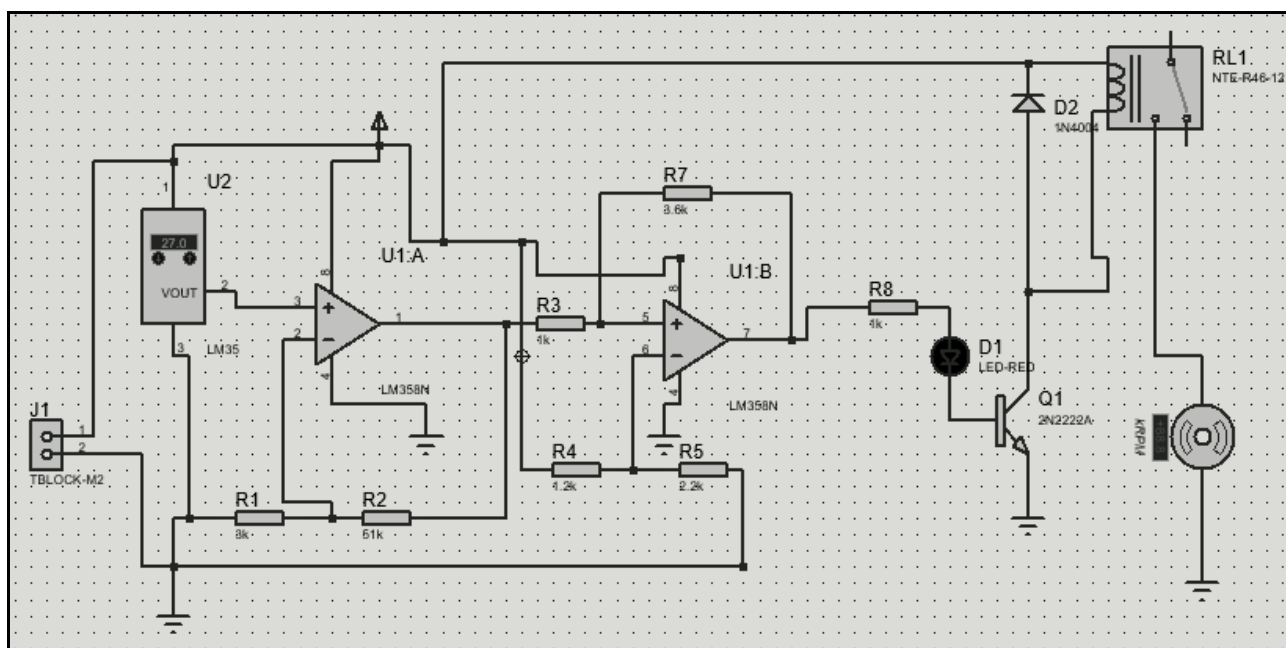


Figura 41. Diseño en Proteus del circuito de refrigeración ON/OFF con histeresis

(Elaboración propia)

El circuito tiene dos etapas, una del amplificador no inversor, y la otra de activación de refrigeración mediante un Schmitt trigger. Como límite superior se toma 60°C y como límite inferior de temperatura se toma 45°C. La etapa de amplificación se diseña a una amplificación de $AV=16$. Dada la fórmula de un amplificador no inversor como sigue:

$$AV = 1 + \frac{R1}{R2}$$

Se propone R1 a 51k y R2 a 3K, para tener una ganancia de $Av = 17$, Aunque las resistencias comerciales tuvieron un valor de 49k y 3.2k por lo que el valor real obtenido de amplificación fue de 16.3.

La segunda etapa del controlador ON/OFF con histéresis es un disparador Schmitt, su configuración es como se muestra en la figura 42:

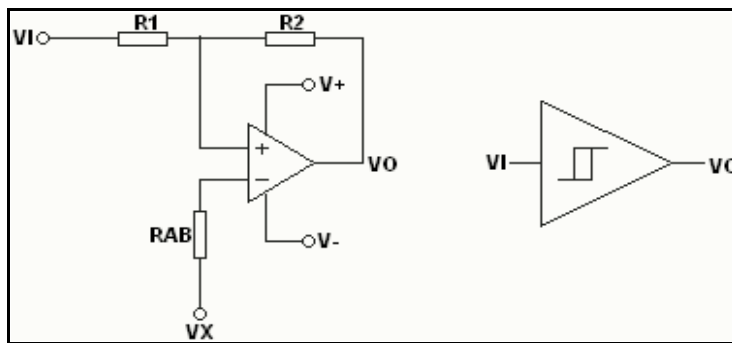


Figura 42. Schmitt trigger

Obtenido de Wilaeba Electronica (2018) <https://wilaebaelectronica.blogspot.com/2017/01/disparador-schmitt-no-inversor.html>

El voltaje V_x es una fuente que se agrega para fijar el voltaje de histéresis, pero si no se tiene una fuente externa V_x se puede reemplazar por un divisor de voltaje como se muestra en la siguiente imagen:

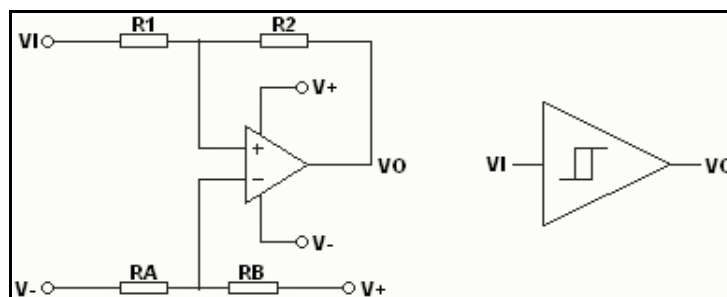


Figura 43. Schmitt trigger con divisor de voltaje en V_x

Obtenido de Wilaeba Electronica (2018) <https://wilaebaelectronica.blogspot.com/2017/01/disparador-schmitt-no-inversor.html>

Se debe encontrar el valor de las resistencias R1, R2, RA y RB, para ello se tienen las siguientes ecuaciones de diseño:

$$R_2 = \left(\frac{V_{OH} - V_{OL}}{V_{IH} - V_{IL}} \right) R_1$$

$$V_X = \frac{V_{IH} R_2 + V_{OL} R_1}{R_1 + R_2}$$

$$R_{AB} = R_1 \parallel R_2$$

Para las resistencias RA y RB :

$$R_A = \left(\frac{V_+ - V_-}{V_+ - V_X} \right) R_{AB}$$

$$R_B = \left(\frac{V_+ - V_-}{V_X - V_-} \right) R_{AB}$$

Considerando que el Lm35 envía 10mV cada grado centígrado, entonces si el límite superior de histéresis es 60°C y el inferior de 45 °C, entonces a 60 grados enviara 600mV y a 45 grados enviara 450mV, si la señal del Lm35 se amplifica a una ganancia de 16.3 entonces se tienen los siguientes voltajes mostrados en la tabla 11, que muestra los voltajes de salida del amplificador no inversor:

Límite	Voltaje LM35	Voltaje amplificado por amplificador no inversor con AV = 18
Límite superior 60 °C	600mV	9.78V Voltaje VIH
Límite inferior 45°C	450mV	7.33V Voltaje VIL

Tabla 11: Correspondencia de temperatura y voltajes de salida de la etapa de amplificación
(Elaboración propia)

El valor de R1 se propone a 1k por lo que para encontrar la resistencia R2 se tiene:

$$R_2 = \frac{12V - 0V}{9.78V - 7.33V} 1k = 4.8k$$

Obteniendo Vx:

$$\frac{9.78V \cdot 4.8k + 0V \cdot 1k}{1k + 4.8k} = \frac{46.9kV}{5.8k} = 8V$$

Obteniendo RAB =

$$\frac{1}{R_{AB}} = \frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_B} = \frac{1}{1k} + \frac{1}{4.8k} = \frac{4.8k + 1k}{4.8k} = \frac{5.8k}{4.8k} = .82k$$

Obteniendo resistencia RA:

$$R_A = \left(\frac{12V - 0V}{12V - 8V} \right) 2.4k$$

Obteniendo resistencia RB:

$$R_B = \left(\frac{12V - 0V}{0V - 0V} \right) 1.2k$$

4.8.1 Simulación e implementación de circuito ON/OFF en multisim

Antes de armar el circuito se simula en multisim para verificar su correcto funcionamiento y se observa el comportamiento del Schmitt trigger al llegar la señal al voltaje máximo y mínimo de histéresis.

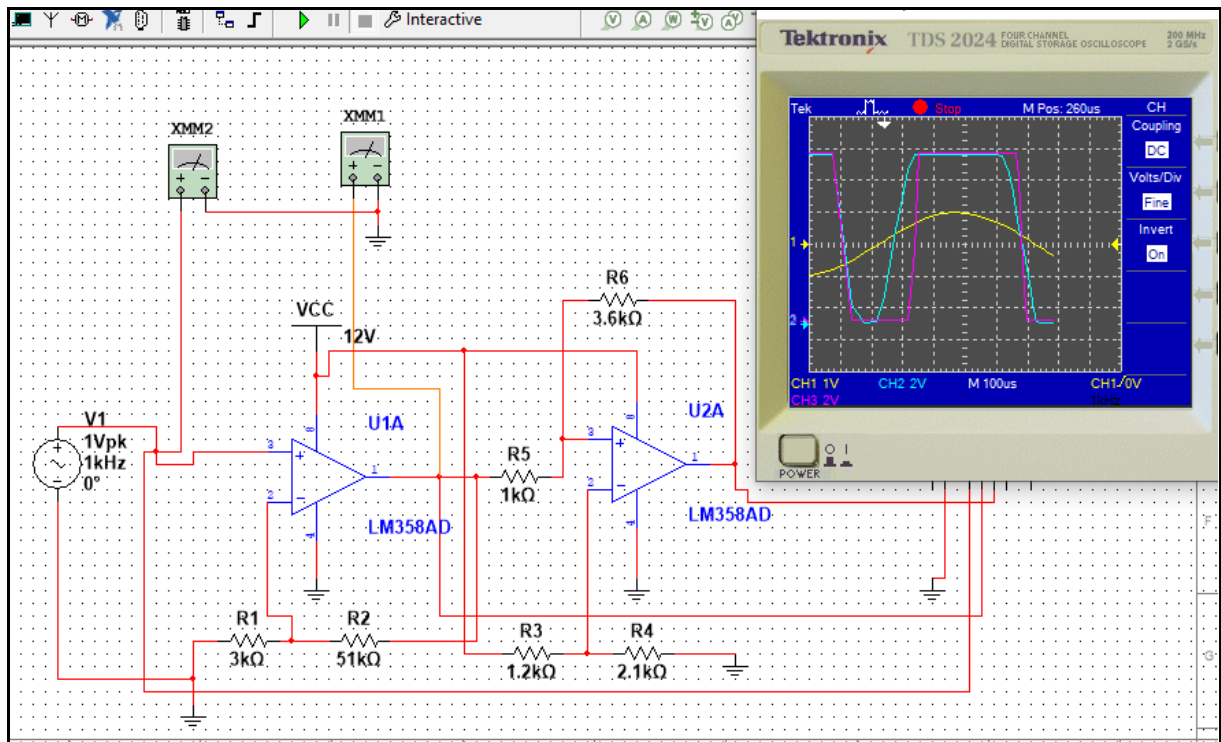


Figura 44. Simulación circuito de refrigeración en Multisim (Elaboración propia)

La siguiente imagen muestra las mediciones en multisim con el osciloscopio de las señales del LM35, del amplificador no inversor y del trigger.

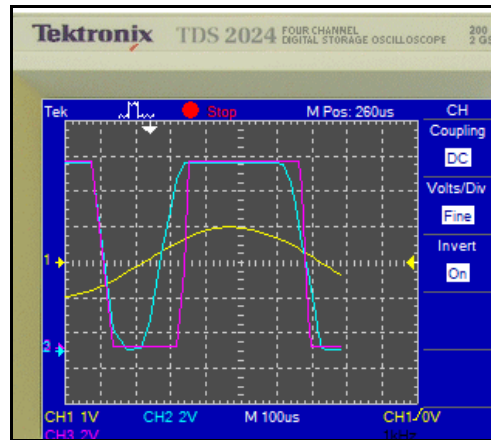


Figura 45. Señal de simulación en multisim
(Elaboración propia)

En la simulación se introduce una señal senoidal de 1v voltaje pico, al alcanzar un aproximado de 600mV, la señal del amplificador no inversor por canal 2 alcanza un aproximado de 10 volts, y la señal del canal 3 del que es la salida del Schmitt trigger se dispara hasta alcanzar un aproximado de 11v que es el voltaje de entrada del amplificador correspondiente a la etapa del trigger Schmitt, y con ello se activa el sistema de enfriamiento, cuando la señal de entrada en amarillo baja a 450mV, que corresponde a una temperatura de 45°C, el Schmitt manda una señal de 0V, apagando con ello el sistema ventilador.

Para su implementación física se utilizó el amplificador LM358, porque solo requiere un voltaje positivo de 3V a 32V, por lo que no es necesario el voltaje negativo, se utilizó una fuente DC de 12V para la alimentación del integrado y para el sistema de refrigeración se utilizó un ventilador de 33W de poder.

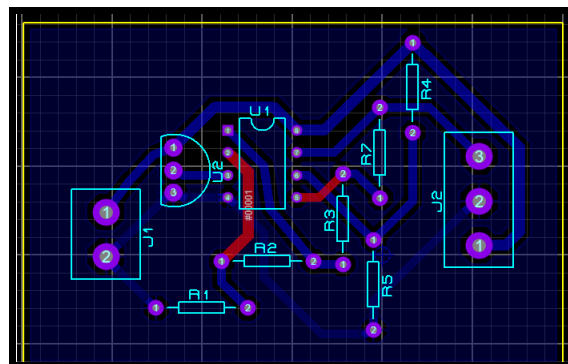


Figura 46. Diseño de pistas en Proteus para implementación de placa fenolica
(Elaboración propia con Proteus 8.0)

Su construcción final en una placa fenólica se observa en las siguientes imágenes, en la figura 47 se observa el circuito completo con el sensor LM35 con cables de 40 centímetros de longitud. La figura 48 muestra un acercamiento al circuito control de temperatura ON/OFF, en rojo se observa un módulo relé al cual está conectado el ventilador de una potencia de 33 watts.

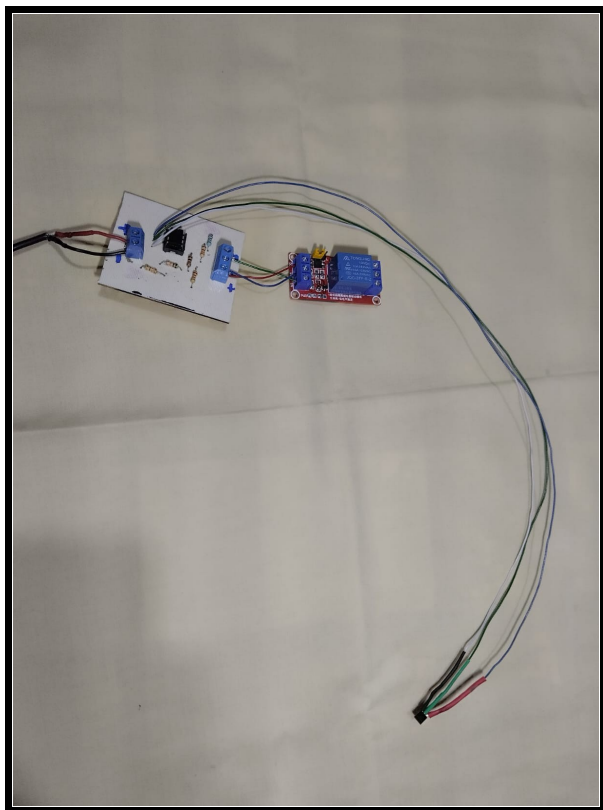


Figura 47. Vista completa del circuito de refrigeración

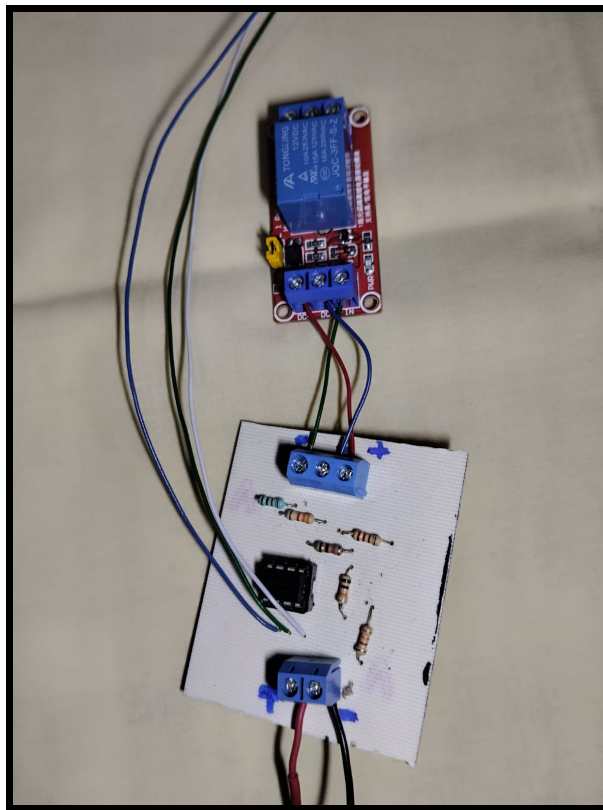


Figura 48. Acercamiento a circuito de refrigeración

El sistema de refrigeración junto con el circuito de monitoreo de temperatura y humedad se colocan dentro de una caja como se muestra en la figura 31, a un costado de la caja sale el sensor LM35, el cual se coloca en una de las paredes del deshidratador solar, como se observa en la figura 49.

En la figura 50 se muestra el ventilador de potencia 33 Watts que esta conectado al sistema de refrigeración con histéresis a través de un módulo relé. Este se coloca en la parte superior del deshidratador solar cerca de la ventilación posterior.

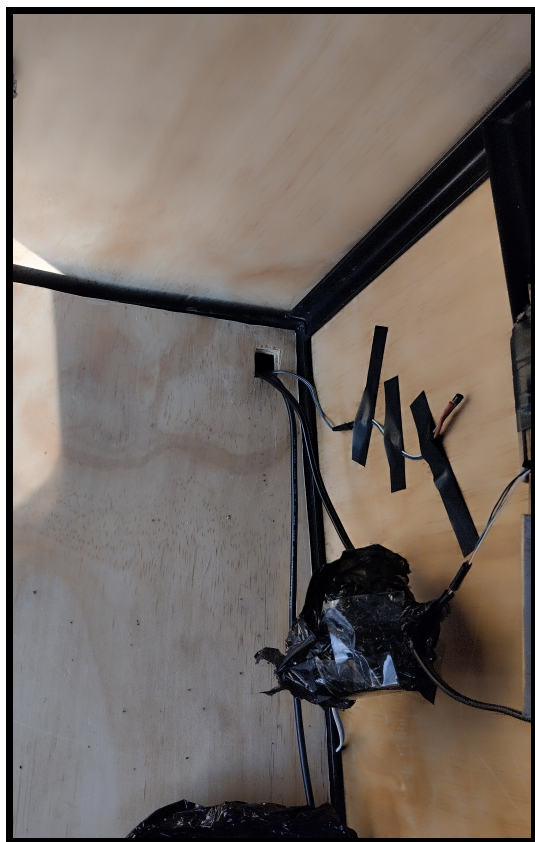


Figura 49. Instalación del sensor LM35 ((Elaboración propia)



Figura 50. Ventilador conectado al sistema de refrigeración de 33 Watts

Capitulo 5

Arduino y monitoreo de parámetros de sensado

5.1 Arduino nano

Arduino nano es una placa de desarrollo que tiene como base al microcontrolador Atmega328P, ofrece la funcionalidad de una placa Arduino pero en un formato pequeño, el cual es ideal para este proyecto dados las limitaciones de espacio en el deshidratador solar.

El Arduino nano tiene las siguientes características:

Atributo	Valor
Tamaño	45 x 18mm
Voltaje de operación	5V
Pines Digitales	14
Pines Analogicos	8 (A0 a A7)
Velocidad de reloj	16Mhz
SRAM	3KB
Corriente por pin	40mA
Flash Memory	32KB

Tabla 12. Características y especificaciones de Arduino nano
Adaptado de Unit Electronics (2025) <https://uelectronics.com/producto/arduino-nano-atmega328p-tarjeta-de-desarrollo/>

El Arduino nano tiene además pines para comunicación I2C, UART, SPI. Los pines D10 a D12, son los necesarios para la comunicación SPI, es donde se conecta la memoria SD, mientras que el sensor SHT20 de temperatura y humedad y el Reloj RTC se conectan a los pines A4 y A5 que ofrecen la comunicación I2C, los pines digitales permiten conectar la pantalla LCD y las celdas de carga, la siguiente figura muestra los tipos de pines a los que se conectan los sensores.

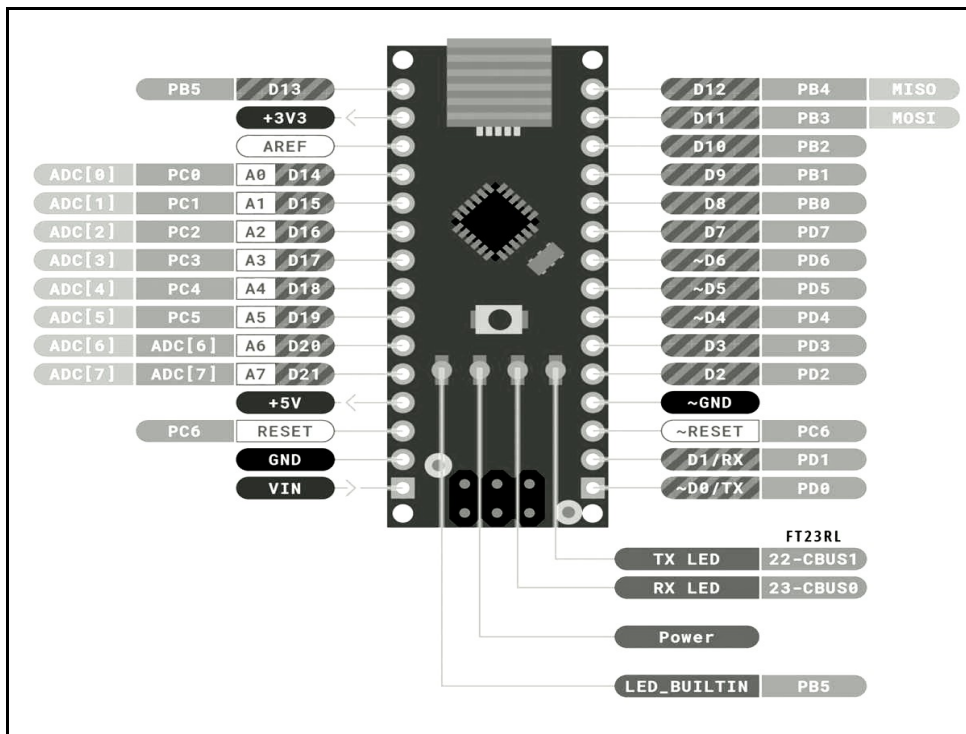


Figura 51. Esquema de pines en Arduino

Obtenido de Programas fácil (2025) <https://programarfácil.com/blog/arduino-blog/familia-arduino-nano/>

5.2 Tipos de comunicación de módulo arduino

Existen diversos protocolos de comunicaciones de los microcontroladores para intercambiar información con diversos dispositivos u otros micro-controladores. Estos protocolos de intercambio de información están conformados por protocolos y estándares, los cuales definen como se transmiten datos, como se sincronizan los dispositivos y el tipo de señales que se transmiten.

Hay algunos protocolos de intercambio de comunicación con microcontroladores síncronos y otros asíncronos. Los síncronos utilizan un reloj para sincronizar la transmisión de datos, en el caso de los asíncronos no necesitan de este reloj para transmitir datos; ejemplos de protocolos de intercambio de información síncronos son SPI o I2C, en el caso de los asíncronos se tiene por ejemplo la comunicación UART.

Los protocolos de información requieren diferentes números de pines, la comunicación SPI requiere de al menos 4, la comunicación I2C requiere dos, y en el caso de 1-wire solo requiere uno. Las velocidades de transmisión son diferentes entre los diversos protocolos de transmisión de datos, por ejemplo I2C y SPI más rápidos que la comunicación UART.

Dentro de los protocolos de comunicación de datos con micro-controladores se encuentran los siguientes:^[30]

- UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter)
- SPI (Serial Peripheral Interface)
- I2C (Inter Integrated Circuit)
- CAN (Controller Area Network)
- USB (Universal Serial Bus)
- 1-Wire

5.3 Comunicación I2C

La comunicación I2C (Inter Integrated Circuit), o también conocido como TWI (Two wire interface), es un protocolo de comunicación que permite la transmisión de datos entre diversos dispositivos a través de dos hilos, uno para los datos (SDA) y el otro para el reloj (SCL). Es muy utilizado por ser sencillo y permite conectar 127 dispositivos esclavos y tiene velocidades entre 100, 400 y 1000kbts/s.

Este protocolo es uno de los más usados para comunicar datos de sensores pues se pueden confirmar los datos recibidos.

El esquema de los datos comunicados sigue el siguiente esquema. En primer lugar hay una distinción entre los dispositivos como esclavo y maestro, y se conectan como se muestran a continuación.^[28]

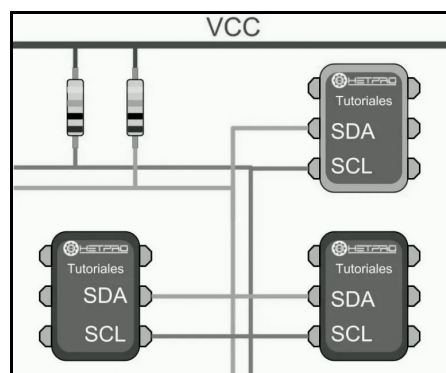


Figura 52. Conexión de tres dispositivos a un bus I2C

Tomado de Marmolejo (2017, p.2)

El dispositivo maestro es el que maneja el cable SCL (Serial Clock) o cable reloj. Es además el dispositivo encargado de iniciar y parar la comunicación. El esclavo por lo general es un sensor, y puede ser un esclavo transmisor o receptor. El esclavo no puede como el maestro generar la señal SCL.

El protocolo de comunicación I2C se refiere al conjunto de bits que son necesarios para enviar uno o varios bytes de información. Tiene los siguientes bits importantes.

- Inicio - S
- Parada - P
- Confirmación - ACK
- No confirmación NACK
- Lectura/escritura - L/W
- 7 bits de dirección del esclavo/maestro
- 8 bits de dirección
- 8 bits de datos

La comunicación se puede realizar a manera de lectura o escritura. En general como se muestra en la figura 53 se tienen señales SCL reloj y SDA de datos. Para iniciar la comunicación la señal SDA se pone en bajo seguido de la dirección del dispositivo con el cual establecerá comunicación, a continuación manda un bit R/W 1 para lectura 0 para escritura. El esclavo manda un bit 0 ACK de confirmación de comunicación y se mandan los datos.

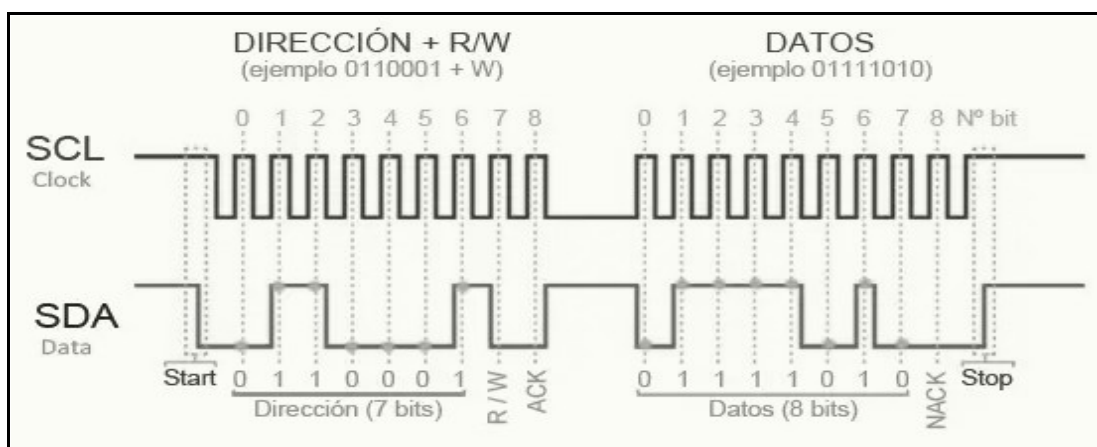


Figura 53. Señal de comunicación I2C

Obtenido de Luis Llanas (2025) <https://www.luisllamas.es/arduino-spi/>

5.3.1 Lectura y Escritura en módulo RTC DS1307

El módulo RTC de tiempo utiliza la comunicación I2C, a través de la cual se puede escribir o leer datos al módulo. Se pueden establecer tiempos y se puede leer tiempo con el protocolo I2C. En la figura 54 se muestra un ejemplo de escritura de un registro para el módulo RTC, en el cual se establece la hora a las 8. Primero el maestro inicia la comunicación con el bit S de inicio que es un cero, a continuación manda el dato la dirección del dispositivo esclavo que está compuesto de 7 bits, seguido de un bit R/W, donde 1 es para lectura y 0 para escritura. En este ejemplo es 0, pues se desea escribir la hora del módulo. El módulo esclavo manda un bit ACK de confirmación. El maestro manda ahora la dirección de memoria del módulo que establece la hora, posterior a ello el esclavo manda el bit ACK de confirmación de información recibida. Finalmente el maestro manda la información de la hora que en este ejemplo es las 8 horas, y se escribe el número 8 binario. Una vez recibida la información por el esclavo manda nuevamente bit ACK para confirmar el envío de información. Para terminar el maestro manda el bit de parada P, con el cual termina el envío de información.^[28]



Figura 54. Registro de datos en módulo RTC con protocolo I2C

Tomado de Marmolejo (2017, p.5)

Para el caso de la lectura de un dato con el protocolo I2C se sigue algo similar a el registro de datos con este protocolo, pero tiene algunas diferencias. Por ejemplo si se desea leer la hora del módulo RTC el módulo maestro comienza con el bit de inicio S (start) en cero. Después manda los 7 bits que corresponden con la dirección del dispositivo esclavo. Entonces esclavo manda el bit de confirmación de recibido de información ACK. Con ello el maestro envía los bits que corresponden al registro de

memoria que contiene la información que se desea leer. Por ejemplo en la figura 55 se manda 0X03 que se corresponde con la dirección del registro que se desea leer, que para el módulo RTC corresponde al registro que contiene la información del día. El esclavo manda un bit ACK de información recibida, el maestro manda 7 bits de dirección del dispositivo a leer con el bit R/W en 1 para indicar que se hará lectura, el esclavo manda bit ACK de recibido y los bits de información contenidos en el registro 0x03. El esclavo manda un bit NACK para detener la lectura de datos y un bit de parada para detener la comunicación I2C.

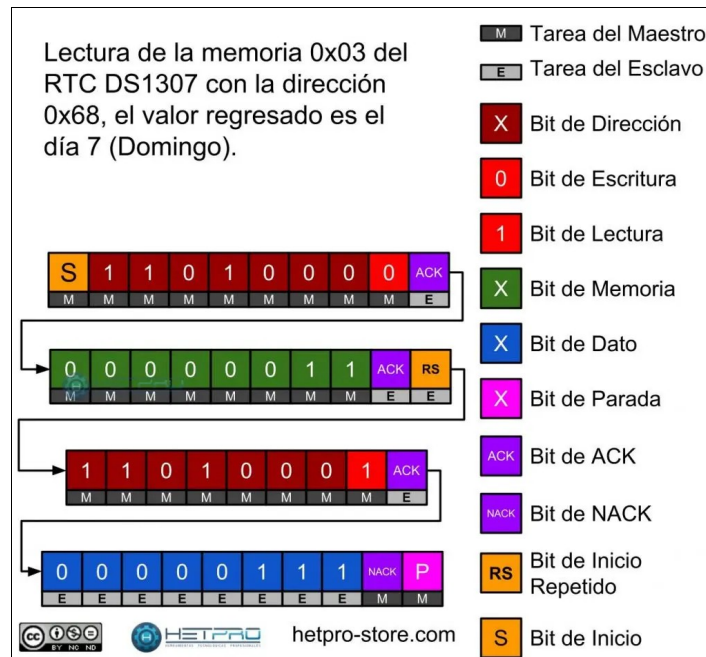


Figura 55. Comunicación I2C para leer información de un dispositivo esclavo

Tomado de Marmolejo (2017, p.5)

5.4 Comunicación SPI

El bus SPI (Serial peripheral Interface) fue desarrollado por Motorola en 1980. Se ha convertido en un protocolo de comunicación muy popular debido a las ventajas que ofrece este standard.

Este protocolo tiene un esquema de maestro-seguidor. El dispositivo maestro es el que inicia la comunicación con uno o varios dispositivos que se denominan seguidores, puede enviar y recibir información de ellos. La comunicación del maestro con los seguidores se realiza a través de dos líneas independientes, una que manda información del maestro al seguidor y otra que manda información del seguidor al maestro. Por lo que esta comunicación es full duplex, es decir, se pueden recibir y enviar datos al mismo tiempo.

La comunicación SPI es sincrónica, por lo que el dispositivo maestro maneja la señal de reloj para sincronizar a todos los dispositivos conectados.^[28]

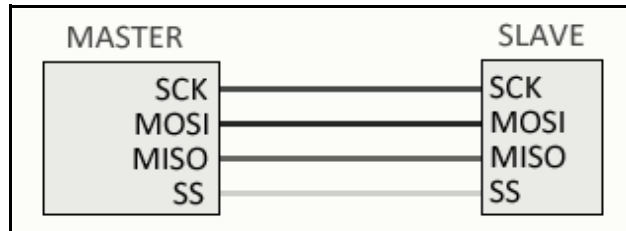


Figura 56. Conexión maestro-seguidor en SPI

Obtenido de Luis Llanas (2025) <https://www.luisllamas.es/arduino-spi/>

El sistema SPI requiere de al menos 4 líneas:

MOSI (Maestro-out, follower-in): Para mandar datos del maestro al seguidor.

MISO (Maestro-in, follower-out): Para enviar datos del seguidor al maestro.

SCK: Es la señal de reloj que envía el maestro.

SS (Follower select): Es una línea de selección del dispositivo follower con el cual se enviara o recibirá datos, por lo que se pueden conectar varios dispositivos seguidores al maestro.

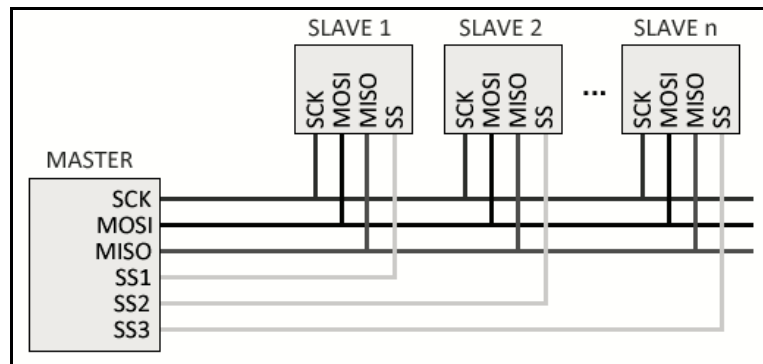


Figura 57. Conexión SPI con diversos followers.

Obtenido de Luis Llanas (2025) <https://www.luisllamas.es/arduino-spi/>

Aunque puede no ser una conexión práctica por que se requiere de una línea para cada follower, en caso de ser muchos puede ser poco práctico.

El maestro pone todas las líneas de los followers en alto HIGH, cuando requiere establecer la comunicación con alguno en particular pone la línea en bajo. En cada pulso de señal en alto tanto el

maestro como el seguidor envían un bit de información, No hay una norma de la cantidad de información que se debe de enviar como en otros protocolos. Por lo que debe haber un acuerdo previo entre maestro y esclavo del número de bits que se enviaran en la comunicación.

El Arduino dispone de los pines para establecer la comunicación SPI, para el caso del Arduino UNO se tienen los siguientes pines:

SS: Pin 10

MOSI: Pin 11

MISO: Pin 12

SCK: Pin 13

El pin SS puede ser cualquier otro pin en caso de tener varios dispositivos seguidores.

Para usar la comunicación SPI en Arduino se usa la librería SPI y se declara en las lineas iniciales del programa:

```
#include <SPI.h>
```

La librería SPI incluye una serie de funciones e instrucciones con las cuales se puede iniciar, manejar y terminar la comunicación SPI. Estas son las principales instrucciones:

SPI.begin(): Este comando reserva los pines necesarios para la comunicación SPI, como se menciona son los pines del 10 al 13, que corresponden a los pines MOSI, MISO y SCK y SS respectivamente. Una vez establecida la comunicación SPI estos pines no pueden ser usados para otro propósito hasta que termine la comunicación SPI con el comando SPI.end().

SPI.end(): Este comando deshabilita la comunicación SPI. Después de esta instrucciones los pines asociados a la comunicación SPI se pueden usar para otros propósitos.

Capítulo 6. Pruebas y resultados

6.1 Pruebas finales

Las pruebas que se realizaron fueron con diversas frutas, en específico se presentan las pruebas realizadas con piña y pera. Las frutas fueron cortadas en rebanadas de entre 2 a 3 milímetros de espesor y distribuidas en las 4 charolas distribuyendo las rebanadas evitando el amontonamiento. Esta distribución y corte facilita la deshidratación de los alimentos. Las frutas elegidas fueron de temporada dada su facilidad para ser adquiridas. En cuanto al tiempo, las muestras se toman cada minuto con 12 segundos, con un ciclo de 1210 muestras que dura 23 horas con 45 minutos. Al terminar cada ciclo se reinicia el sistema para iniciar uno nuevo. Los datos de muestreo se graban en formato .txt y se pueden analizar en hojas de cálculo Office para la obtención de gráficas.

6.2 Prueba de deshidratación con pera.

Una de las pruebas realizadas fue con pera mantequilla, la prueba se inició el día 24 de octubre del 2025 y finalizó el día 27 para un total de 3 días, Se utilizó 340 gramos de pera en la charola con celdas de carga y 660g en las demás charolas para dar un total de 1kg.

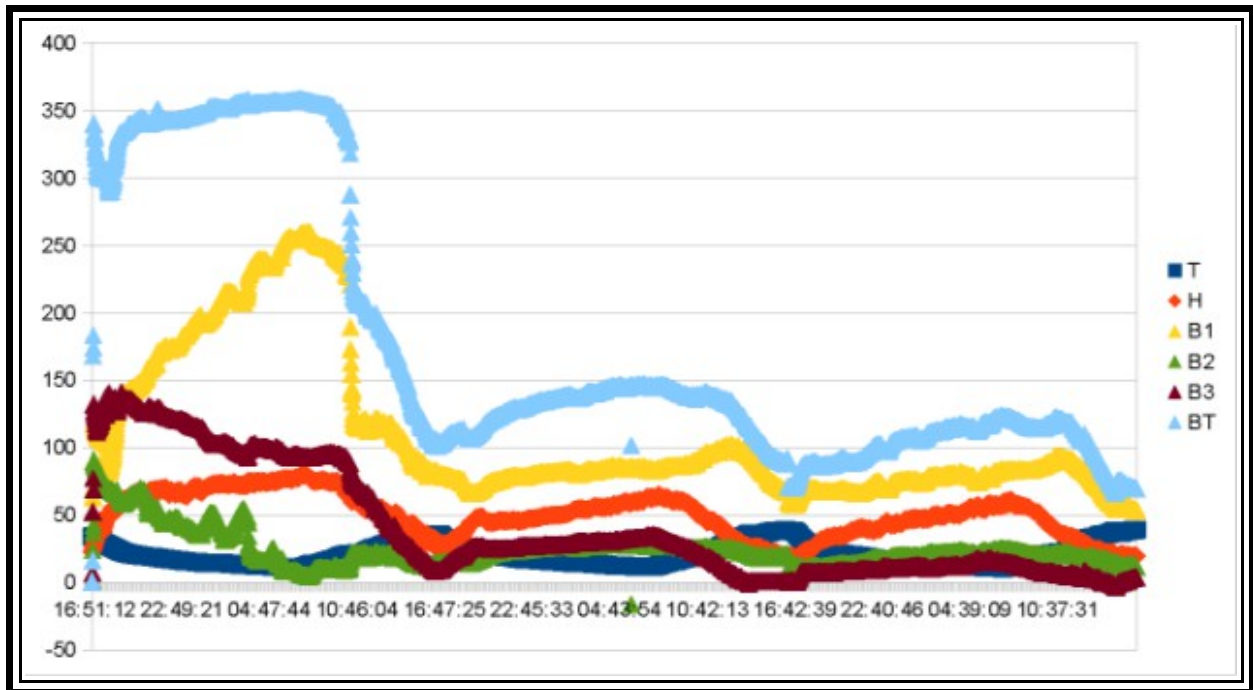


Figura 58. Deshidratación de pera, inicio y fin de prueba. (Elaboración propia)

En la gráfica 2 se puede observar el resultado final de la prueba. Las siguientes imágenes muestran foto al inicio y final de la prueba.

En la parte inferior se muestra la hora en la que fueron tomadas las muestras, empezando a las 16:46 del día 24 de octubre, y finalizando la última muestra el día 27 a las 15:20 de la tarde.

En azul marino está la temperatura (T), en color naranja se tiene la humedad (H), mientras que B1, B2 y B3 son las celdas de carga, que como puede observarse dada su distribución triangular, hay una que carga con más peso. En azul cielo se tiene el peso total de las 3 celdas de carga (BT)



Gráfica 2. Deshidratación de pera, variables de peso, humedad y temperatura

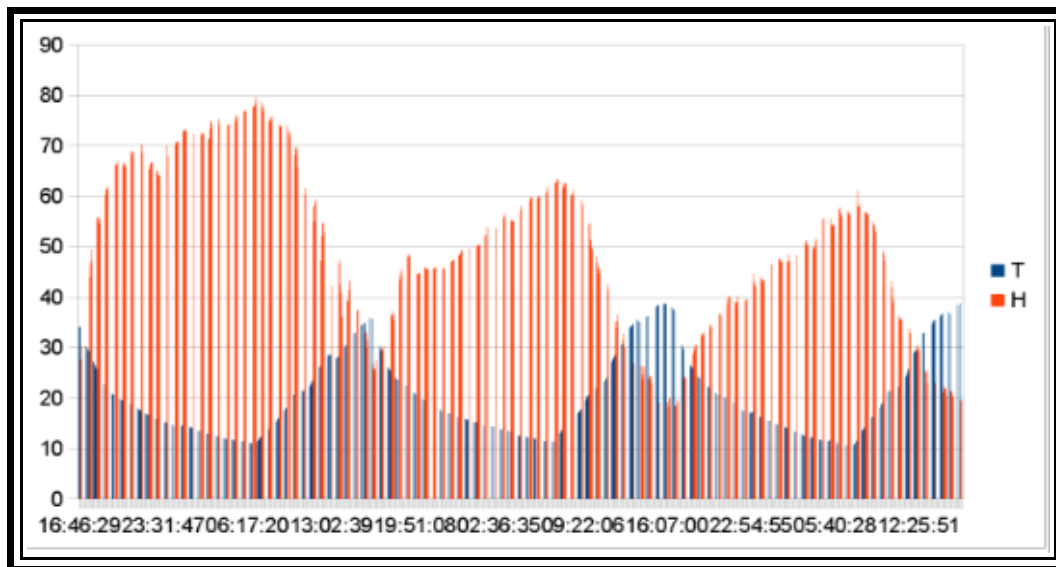
(Elaboración propia)

En general en esta gráfica pueden observarse los ciclos de deshidratación, entre las 10 a 17 horas, las gráficas de las tres celdas de carga registran la mayor pérdida de peso de los alimentos, no obstante el frío de la mañana entre las 21 de la noche a 6 de la madrugada se observa una ligera rehidratación de alimentos, probablemente debido a un efecto de condensación de humedad.

6.2.1 Deshidratación de pera, variables temperatura contra humedad.

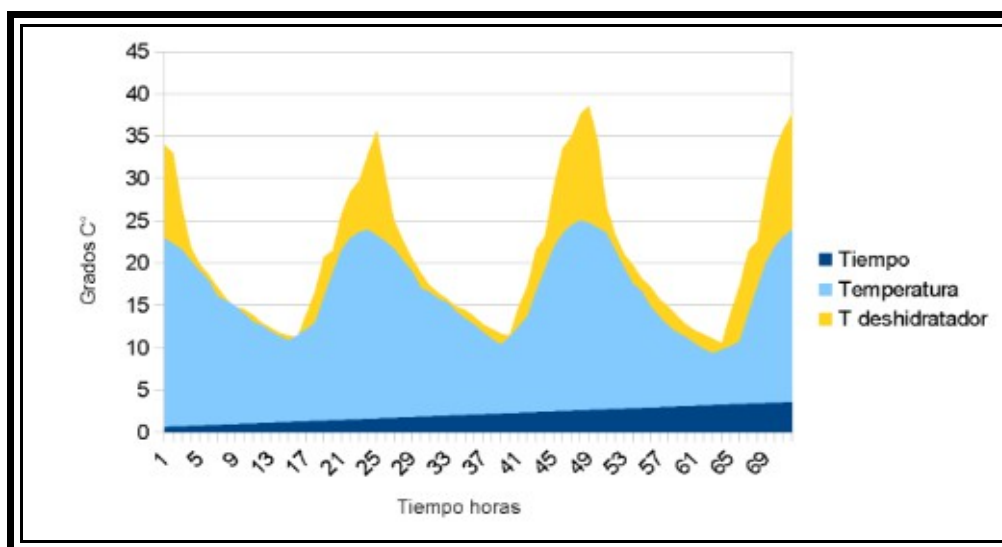
A continuación se presentan de manera más específica las gráficas de las diversas variables sensadas. En particular se presenta la gráfica de temperatura y humedad.

En la gráfica 3 se observa en rojo la humedad (H) y en azul la temperatura (T). Como puede observarse hay una correlación en la cual hay más humedad en horas nocturnas, lo cual seguramente influye en la rehidratación de los alimentos en esas horas del día, y por consiguiente recuperación de peso. La humedad disminuye a medida que aumenta la temperatura y a medida que se deshidratan los alimentos se registra una menor cantidad de humedad, al inicio de la prueba se tiene un pico máximo de 80% de humedad (H) alrededor de las 8 de la mañana mientras que ya casi deshidratado se tiene un pico máximo de 60% de humedad.



Gráfica 3. Densidad de pera, variable temperatura contra humedad
(Elaboración propia)

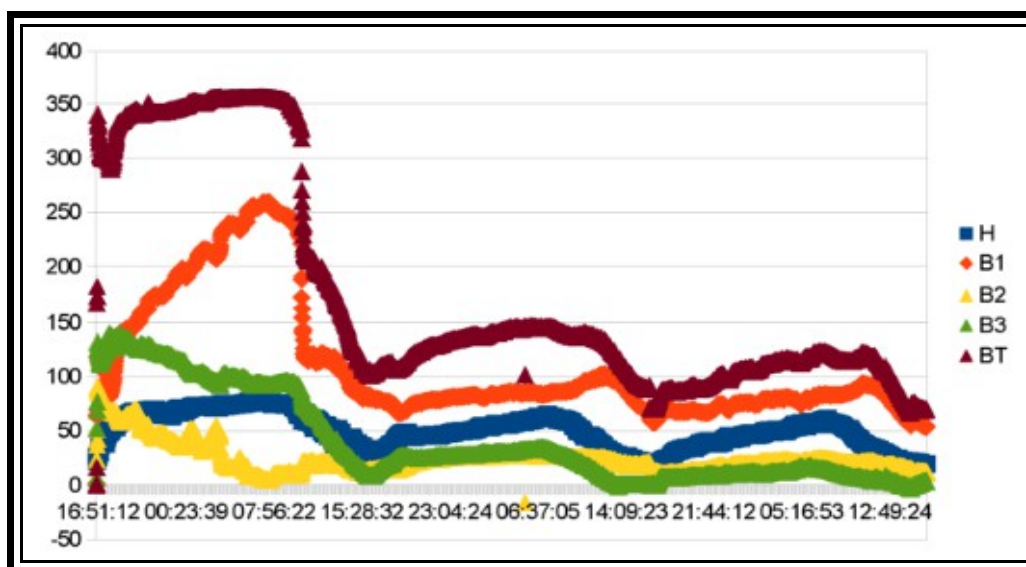
Una gráfica relacionada con temperatura es la gráfica 4 en la cual se puede comparar la temperatura dentro del deshidratador y la temperatura registrada según centro de monitoreo ambiental ^[31], en azul se muestra la temperatura registrada por centro de monitoreo hora a hora entre el 24 y 27 de octubre, en amarillo se muestra la temperatura del deshidratador a las mismas horas en las mismas fechas. Como puede observarse en horas nocturnas la temperatura es casi idéntica al interior como al exterior del deshidratador, con algunos grados más altos al interior del deshidratador. La diferencia más grande es en horas donde la temperatura ambiente alcanza su temperatura más alta y al interior del deshidratador la temperatura se eleva entre 15 a 20 grados centígrados más que al exterior, lo que confirma que es más eficiente la deshidratación por medio del deshidratador que solo a exposición del sol.



Gráfica 4. Temperatura al interior y exterior del deshidratador (Elaboración propia con datos de tiempo3 (2025) . <https://www.tiempo3.com/north-america/mexico/mexico-city?page=past-weather#day=27&month=10>

6.2.2 Deshidratación de pera, variables de peso contra humedad

A continuación en la gráfica 5 se presentan las variables de peso contra humedad.



Gráfica 5. Deshidratación de pera, variables humedad contra peso

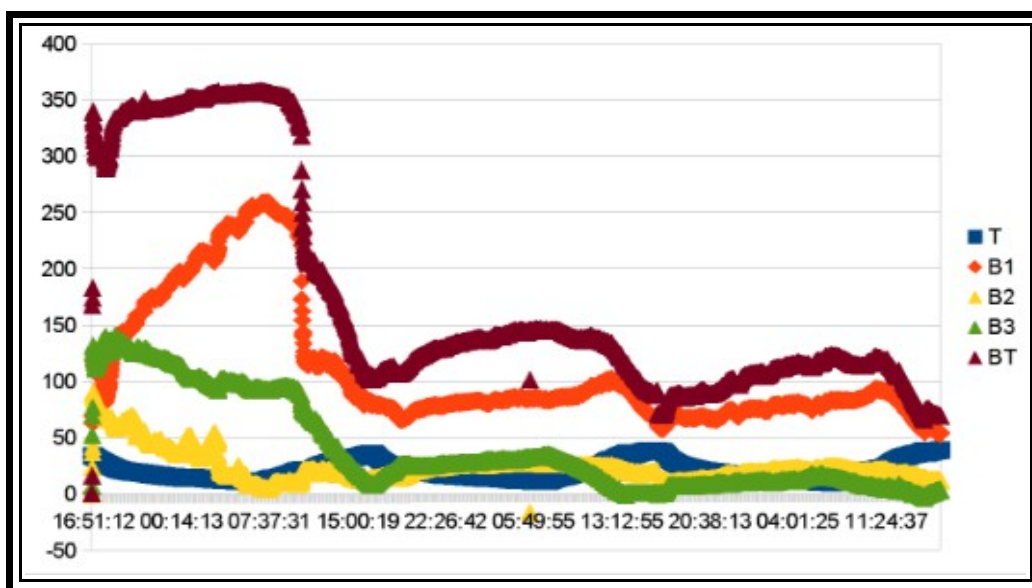
(Elaboración propia)

En esta gráfica se tiene en azul marino el porcentaje humedad (H), en naranja, amarillo y verde se tiene las celdas de carga B1, B2 y B3, mientras que en rojo el peso total (BT) de las 3 celdas. En esta gráfica se observa como la humedad esta oscilando a lo largo del día, aumenta en la madrugada y descende en la tarde y los picos más altos son cada vez menores, pero se observa que hay una

correlación entre la humedad y la pérdida de peso; en la tarde entre las 10 a las 5 de cada día la humedad disminuye, al mismo tiempo es el momento en el cual se deshidratan los alimentos. Por otro lado en la madrugada la humedad aumenta, se observa que hay una recuperación del peso, las tres celdas registran un aumento de peso, aunque cada noche hay una recuperación menor de peso. En total se muestra que la mayor pérdida de peso se registra en el primer ciclo de deshidratación.

6.2.3 Deshidratación de pera, variable peso contra temperatura

La gráfica 6 muestra la prueba de deshidratación de pera y su medición de las variables de peso y temperatura.



Gráfica 6. Deshidratación de pera, variables peso contra humedad

(Elaboración propia)

Como puede observarse la temperatura esta oscilando, alcanza su pico más alto alrededor de las 3 de la tarde, alrededor de las 4 de la tarde comienza a descender hasta alcanzar su punto más bajo alrededor de las 3 a 6 de la madrugada. Las celdas de carga como puede observarse cargan diferente peso dada su distribución, sin embargo se puede observar el patrón en el cual en su pendiente descende indicando que las tres detectan pérdida de peso entre 10 a las 17 horas, y cuanto la temperatura es más baja, se observa que las celdas de carga detectan un aumento de peso de la fruta.

La fruta se saca al finalizar el tercer día, puesto que es su punto de menor humedad y peso entre el segundo y tercer día solo hay una variación de 10 gramos, es decir una deshidratación casi nula, la mayor proporción de humedad de deshidratación es en entre el primer y segundo día.

6.3 Prueba deshidratación de piña

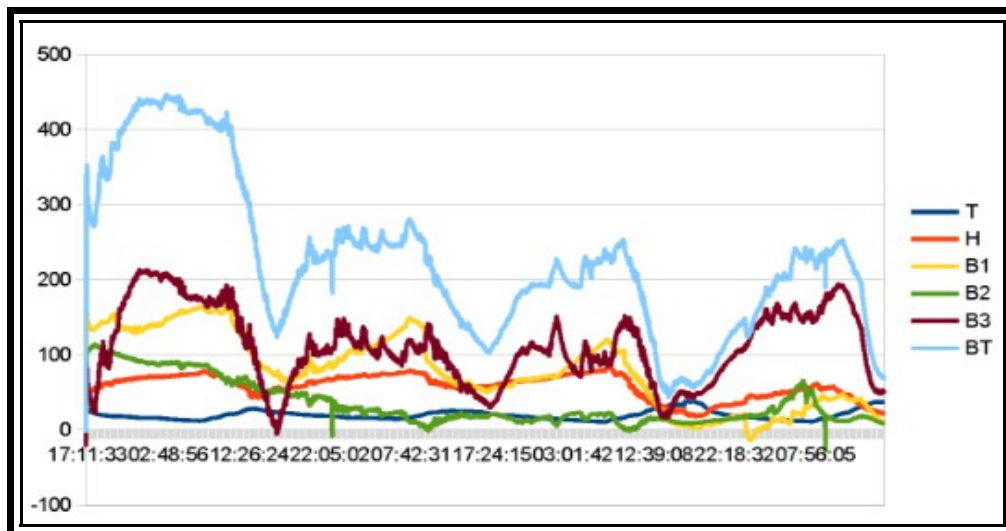
Otra de las pruebas realizadas fue con piña, la prueba se inicio el día 16 de octubre del 2025 con hora de inicio 5 de la tarde, con un kilo en total y 340 gramos en la charola con celdas de carga, la prueba finaliza 4 días después el día 20 de octubre a las 4 de la tarde, con 180 gramos totales de fruta y 60 gramos en la charola con sensores de carga, es decir una reducción del peso de 80% sobre el peso total.



Figura 59. Resultado final deshidratación piña
(Elaboración propia)

6.3.1 Gráfica deshidratación de piña variables peso, humedad y temperatura.

La gráfica 7 muestra las 3 variables medidas en esta prueba: peso, humedad y temperatura.

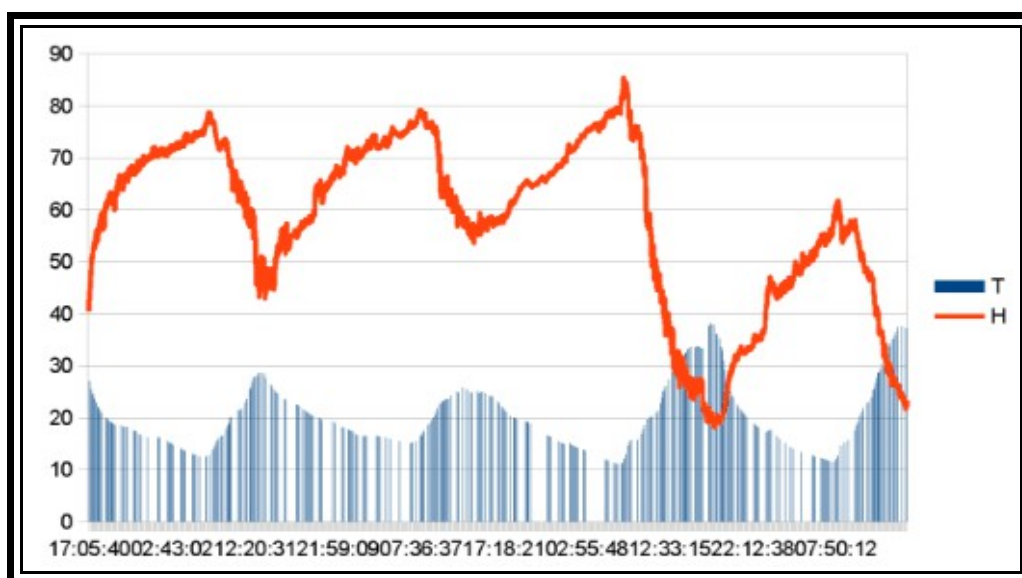


Gráfica 7. Deshidratación de piña variables de peso, humedad y temperatura.
(Elaboración propia en LibreOffice)

La gráfica 7 muestra la medición de las variables de peso, humedad y temperatura de la piña a lo largo de 4 días, al igual que la pera se puede observar que la deshidratación no es lineal sino en ciclos que se desarrollan de acuerdo a la temperatura y la humedad del exterior, todas la funciones en observación muestran este comportamiento oscilatorio. Se muestra la temperatura (T) en azul marino, la humedad (H) en naranja, en amarillo se muestra la celda de carga B1, en verde la celda de carga B2, en café la celda B3, en azul cielo el total de peso medido (BT) por las tres celdas.

6.3.2 Deshidratación de piña variables piña contra humedad

La gráfica 8 muestra en particular la medición de las variables de temperatura y humedad.



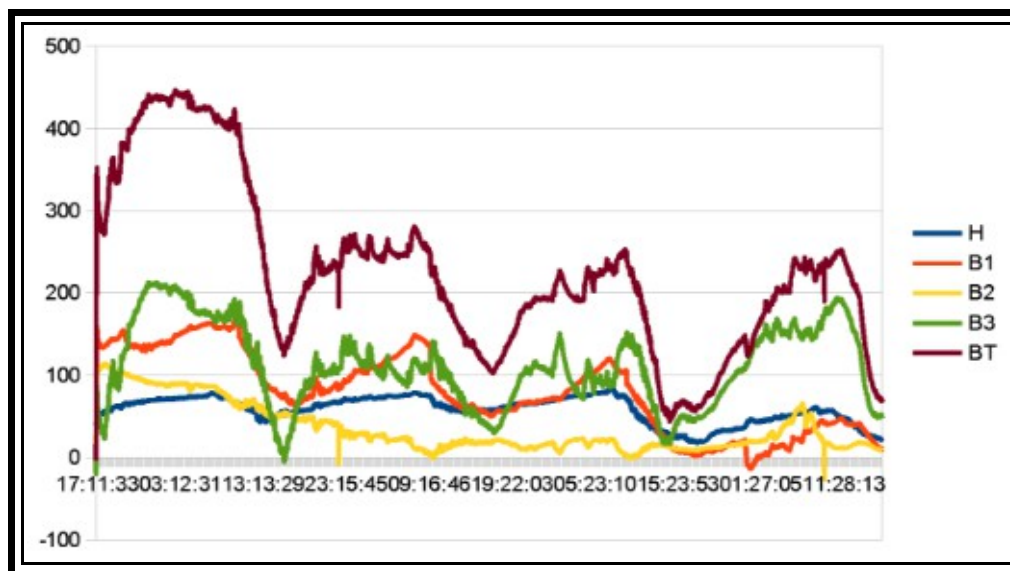
Gráfica 8. Deshidratación de piña variables de temperatura y humedad

(Elaboración propia a través de LibreOffice)

En la gráfica se puede observar en azul la temperatura y en línea roja la humedad, nuevamente se puede apreciar la oscilación de ambas variables a lo largo del día, ambas oscilaciones son contrarias, mientras que la temperatura aumenta con picos más altos entre 2 y 3 de la tarde, la humedad disminuye y por el contrario al descender la temperatura aumenta la humedad, esto en horas nocturnas, donde los picos más bajos de temperatura se presentan entre las 5 y 7 de la mañana. También puede verse que la temperatura máxima alcanzada en el deshidratador fue el tercer día de medición a casi 40 grados centígrados, mientras que el pico más alto de humedad fue en la noche del segundo día a casi 85% alrededor de las 5 de la mañana.

6.3.3 Deshidratación de piña, variable humedad y peso.

La gráfica 9 muestra en particular el muestreo de las variables de humedad y de peso:



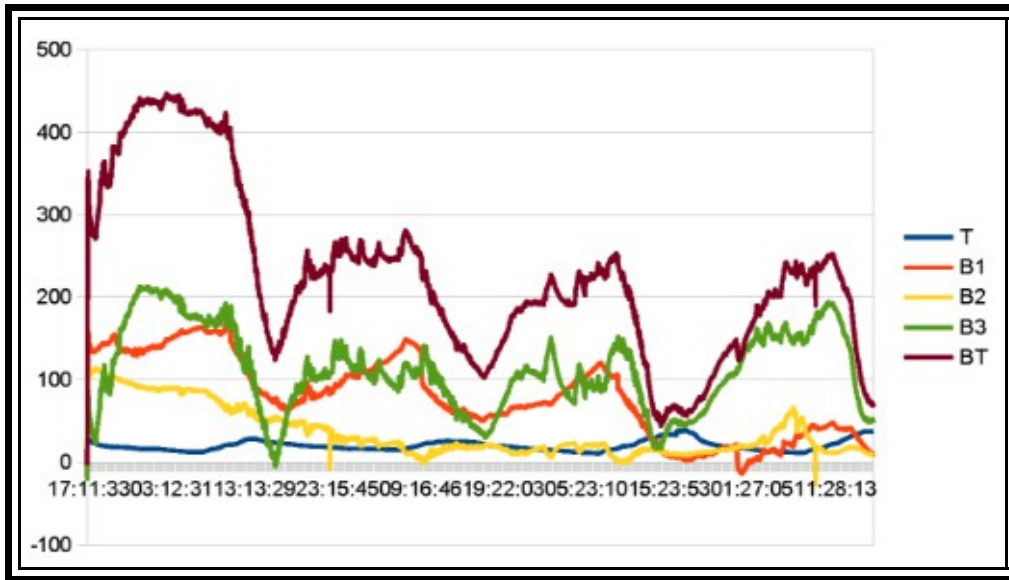
Gráfica 9. Deshidratación de piña, variable humedad contra peso.

(Elaboración propia a través de LibreOffice)

La función de la humedad se muestra en azul, debido a las características de la gráfica se observa de forma tenue una oscilación constante de los valores de la humedad, sus picos más altos corresponden con un aumento del peso de las tres celdas de carga y del peso total, hay periodos en los que hay deshidratación y periodos en los que se recupera el peso; los valores más bajos registrados de humedad corresponden con los periodos en los que se registra una pérdida de peso y por tanto de deshidratación esto es en horarios entre las 10 de la mañana y 3 de la tarde. La fruta se saca del deshidratador el cuarto día debido a que la pérdida de peso en horas de la tarde solo fue de 3 gramos entre el tercer y cuarto día, indicando que había llegado a su máxima deshidratación en ese horario

6.3.4 Deshidratación de piña, variable temperatura y peso.

La gráfica 10 muestra en particular la medición de las variables de peso y temperatura en la prueba de deshidratación de piña:



Gráfica 10. Deshidratación de piña, temperatura y peso.

(Elaboración propia a través de LibreOffice)

Se muestra en azul la temperatura, que debido a las características de la gráfica solo se observa una variación tenue, para apreciar mejor la medición de la variable de temperatura se puede observar la gráfica 8, donde se puede ver de manera más clara su variación a lo largo del tiempo. A pesar de lo tenue que se observa la oscilación constante, sus picos más altos coinciden con los periodos en los que se pierde mayor cantidad de peso, por el contrario los valores más bajos en la temperatura coinciden con los periodos en los que la piña se rehidrata, mostrando la correlación entre temperatura y peso.

Conclusiones

Con base a los resultados obtenidos se puede concluir que se pudo diseñar e implementar un circuito electrónico funcional capaz de monitorear en tiempo real las variables de peso, humedad y temperatura en un deshidratador solar de alimentos, cumpliendo con los objetivos planteados al inicio del proyecto.

El sistema desarrollado demuestra que es posible integrar la tecnología de bajo costo con procesos tradicionales de conservación de alimentos, potenciando la eficiencia del deshidratador solar mediante la automatización del monitoreo. Por otro lado las pruebas realizadas mostraron que los sensores seleccionados de humedad, peso y temperatura presentan una respuesta confiable dentro del rango requerido para el proceso de deshidratación, permitiendo un control adecuado del comportamiento del sistema.

El uso de la energía solar junto con el monitoreo electrónico, representan una alternativa sustentable que puede beneficiar a pequeñas comunidades rurales a reducir costos y pérdidas durante el secado de alimentos.

La realización del presente proyecto permitió aplicar conocimientos de electrónica, en diversas ramas como electrónica digital, electrónica analógica, uso de programas de diseño y simulación electrónica como Proteus y Multisim, además de aplicar conocimientos de otras áreas pero estudiadas en la carrera como termodinámica, mecánica y programación.

Se sugiere como trabajo futuro la incorporación de un sistema de almacenamiento de datos en la nube además de una conexión inalámbrica (por ejemplo Wi-Fi o Bluetooth), para el monitoreo remoto así como el uso de algoritmos de control automático que regulen el flujo de aire y temperatura de manera más controlada. Además de implementar algunas mejoras al deshidratador solar para mejorar la deshidratación, como la adición de placas de metal al colector para aumentar la temperatura del aire y aumentar la velocidad del secado de los alimentos.

ANEXO 1. TABLA DE MATERIALES Y COSTOS.

Material	Características	Unidades	Costo
Angulo $\frac{1}{8}$ x $\frac{3}{4}$	Acero, 6 mts longitud	5	5x \$200 = \$1000 .00
Triplay	3mm x 60cm x 122 cm Pino	4	4 x \$249 = \$996.00
Vidrio Templado	5mm x 90cm x 39cm	1	\$900.00
Red mosquitera	10 mts	1	\$300.00
Plastico para emplayar	1 rollo 40mts	1	\$200.00
Sensor SHT20	Temperatura y humedad	1	\$600.00
Arduino	Nano	1	\$70.00
módulo reloj RTC	DS1307	1	\$55.00
Celda de carga	1Kg de peso	3	3 x \$64.00 = \$192.00
módulo SD	Tarjeta micro SD	1	\$50.00
Jumpers	30cm H-M, M-M	2	2 x 26 = \$52.00
Arduino nano shield	Placa expansión Arduino nano	2	2x \$46= \$92.00
Placas unicel	40 x 50 cm	2	2x \$30 = \$60.00
LM35	Sensor temperatura	2	\$56.00
Ventilador	33Watts	1	\$298.00
Cinta aislante para vidrio	Cinta espuma para aislar vidrio 5 metros	1	\$136.00
Tubo silicona	Sellador acrílico	1	\$150.00
Cadena metálica para sujeción de estructura	Acero 6 metros	1	\$200.00
Extensión eléctrica	25 mts	1	\$218.00
Amplificador Operacional	LM358	1	\$5.00
Cinta de aislar Automotriz	Para alta temperaturas	2	\$69.00
Ácido Muriático para desarrollo de placa	1 lt		\$32.00

fenolica		1	
Pintura negra	Pintura en Aerosol	1	\$50.00
		Total	\$5,781.00

Bibliografía

1. Bello Gutierrez, J. (2000). *Ciencia bromatologica - principios generales*. Diaz de Santos.
2. Dergal, S. B. (1988). *Diccionario de tecnología de Los alimentos*. México. Alhambra Mexicana.
- 3 Berastegui, A, (2010). *Métodos de conservación de alimentos*. Universidad Nacional de Cajamarca
- 4 Salvatierra, I. (2019) *Manual de conservación de alimentos*. (2a ed.). Arica, Chile: Académica Inacap.
5. Desrosier, W, (1997). *Conservación de alimentos*. México: Editorial Continental.
6. Shafiur, M. (2020). *Hadbook of Food Preservation*. CRC Press.
7. Vega-Mercado, H. (2014). *Dehydration of foods*. Springer.
8. Aim. (2024, May 15). Que alimentos puedo deshidratar. *Zhongshan AIM Energy Saving Technology Co., Ltd*. <https://www.aimheatpump.com/es/a-news-what-foods-can-i-dehydrate>
9. Sabarez, H. (2016). *Drying of Food Materials*. CSIRO Food and Nutrition.
10. Prakash, O., & Kumar, A. (2012). Historical Review and Recent Trends in Solar Drying Systems. *International Journal of Green Energy*, 10(7), 690–738. <https://doi.org/10.1080/15435075.2012.727113>
11. *Orange County Memories: A Photographic History of the 1800s through the 1930s*. (s.f.). Pediment Publishing. <https://www.pediment.com/products/orange-co-memories-history-book-vol-i>
- 12 Prakash, O., & Kumar, A. (2012). *Historical Review and Recent Trends in Solar Drying Systems*. *International Journal of Green Energy*, 10(7), 690–738. <https://doi.org/10.1080/15435075.2012.727113>
13. Çengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2015). *Transferencia de calor y masa: Fundamentos y aplicaciones* (4.a ed.). McGraw-Hill Education.
- 14 Tipler, P. A., & Mosca, G. (2008). *Física para la ciencia y la tecnología* (Vol. 1, 6ª ed.). Barcelona: Reverté.
15. Fellows, P. J. (2022). *Food processing technology: Principles and practice* (5a ed.). Woodhead Publishing.
16. Vásquez, C., & Ríos, L. (2013). *Diseño y construcción de un deshidratador solar para alimentos*. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, 1(21), 23–34.
- 17 Santos Preciado, J. (2010). *Topografía general y aplicada*. Trillas.
18. Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2013). *Solar Engineering of Thermal Processes* (4th ed.). Wiley.
19. JRC (Joint Research Centre). (s. f.). *JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)*. Comisión Europea. Recuperado de https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/
20. MPPT Solar. (s. f.). *Orientación e inclinación de los paneles solares* [Guía]. Recuperado de <https://www.mpptsolar.com/es/orientacion-inclinacion-paneles-solares.html> mpptsolar.com

21. Prometec. (2023). SHT20 sensor de Temperatura y Humedad. Prometec.
<https://www.prometec.net/73430-2/>
- 22 Naylamp Mechatronics (2023) *Tutorial Arduino y memoria SD y micro SD*. Perú. de
https://naylampmechatronics.com/blog/38_tutorial-arduino-y-memoria-sd-y-micro-sd.html
23. Martínez, J. (2018). *Deshidratación de alimentos: Principios y aplicaciones* (págs. 12–18). CAMJOL. Recuperado de <https://camjol.info/index.php/FAREM/article/download/14699/17282?inline=1>
- 24 ArduinoGetStarted. (s.f.). ArduinoDS1307 RTC module tutorial. ArduinoGetStarted.
<https://arduinogetstarted.com/tutorials/arduino-ds1307-rtc-module>
- 25 Llamas, L. (s.f.). *Reloj y calendario en Arduino con los RTC DS1307 y DS3231*. Luis Llamas Ingeniería, informática y diseño. <https://www.luisllamas.es/reloj-y-calendario-en-arduino-con-los-rtc-ds1307-y-ds3231/>
26. Domke Carreño, A., & Gajardo Zamorano, D. (2015). *Deshidratados de frutas y hortalizas como snacks saludables* (Tesis de Licenciatura, Facultad de Farmacia, Universidad de Valparaíso). Repositorio de la Universidad de Valparaíso.
<https://repositoriobibliotecas.uv.cl/serveruv/api/core/bitstreams/6746457e-f15d-4776-86b9-ef1c7cba7fd4/content>
- 27 Wilaeba electronica. (2017). Disparador Schmitt no inversor. Blog Wilaeba Electronica.
<https://wilaebaelectronica.blogspot.com/2017/01/disparador-schmitt-no-inversor.html>
- 28 Estrada, R. (2017) *I2C Puerto, Introducción, trama y protocolo*. HetPro-Store.
https://hetpro-store.com/TUTORIALES/i2c/?srsltid=AfmBOoo2WXel8EqfJmC9EQrA-Nq8-e76wsXiZrkOsfQID0_ecVUfCG8W
- 28 Llanas, Luis (2025) *El bus I2C de arduino*. Luis Llanas <https://www.luisllamas.es/arduino-i2c/>
- 29 Rodríguez Gago, Y., & Morejón Mesa, Y. (2020). Simulación de secadores solares tipo gabinete en función del colector solar y el conducto de extracción. *Revista Ingeniería Agrícola*, 10(1), e06. Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola. <https://www.redalyc.org/journal/5862/586262449006/html/>
30. Cook, J. (2024, 25 de septiembre). *Understanding Sensor Interfaces – UART, I2C, SPI and CAN*. Blues University. <https://dev.blues.io/blog/blues-university-understanding-sensor-interfaces-uart-i2c-spi-can/>
- 31 Tiempo3.com. (s. f.). *Clima histórico – Ciudad de México*. Recuperado el 3 de noviembre de 2025, de <https://www.tiempo3.com/north-america/mexico/mexico-city?page=past-weather#day=27&month=10>