



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO®

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE DURANGO

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN



**Implementación de un Sistema de Control de Temperatura en
Deshidratador Solar Para la Recuperación del Vapor Generado.**

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado
de

Maestro en Ingeniería

Presenta:

Ing. Jesus Adrian Rodríguez Gurrola

Director de tesis:

Dr. Aurelio Castillo Liñán.

Co-Director:

Dra. Yolocuahutli Salazar Muñoz.

Durango, Dgo. México, noviembre 2024.





**Implementación de un sistema de control de temperatura
en deshidratador solar para la recuperación del vapor generado.**

Presenta:

NOMBRE

COMITÉ TUTORIAL

| | |
|------------------------------------------|-----------|
| Dr. Aurelio Castillo Liñán. Director | Firma |
| Dra. Yolocuauhtli Salazar. Codirector | Firma |
| Dr. Rubén Guerrero Rivera. Asesor | Firma |

M.C. Norma Alicia García Vidaña

**Coordinadora del programa de la Maestría en
Ingeniería.**

Dr. Francisco Javier Godínez García

**Jefe de la División de Estudios de Posgrado
e Investigación**

Durango, Dgo. México.

noviembre 2024.





EDUCACIÓN

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO



Instituto Tecnológico de Durango
División de Estudios de Posgrado e Investigación

Victoria de Durango, Dgo., a **03 / Diciembre / 2024.**

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
DEPI / C / 662 / 2024.

ASUNTO: Autorización de Tema de Tesis de Maestría.

C. JESÚS ADRIÁN RODRÍGUEZ GURROLA
No. DE CONTROL GI0040779
PRESENTE.

Con base en el Reglamento en vigor y teniendo en cuenta el dictamen emitido por el Jurado que le fue asignado, se le autoriza a desarrollar el tema de tesis para obtener el **Grado de Maestro en Ingeniería** cuyo título es:

“Implementación de un Sistema de Control de Temperatura en Deshidratador Solar para la Recuperación del Vapor Generado”

CONTENIDO:

| | |
|--------------|--------------------------------|
| | RESUMEN |
| CAPÍTULO I | INTRODUCCIÓN |
| CAPÍTULO II | MARCO TEÓRICO |
| CAPÍTULO III | MATERIALES Y MÉTODOS |
| CAPÍTULO IV | RESULTADOS Y DISCUSIÓN |
| CAPÍTULO V | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES |
| CAPÍTULO VI | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS |
| | ANEXOS |

ATENTAMENTE.

Excelencia en Educación Tecnológica®
“La Técnica al Servicio de la Patria”

C. FRANCISCO JAVIER GODÍNEZ GARCÍA
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN



FJGG'ammc.



Bldg. Felipe Pescador No. 1830 Ote., Durango, Dgo., C.P. 34080 Tels. 618-818-69-36
e-mail: depposgrado@itdurango.edu.mx tecnm.mx | itdur



2024
Felipe Carrillo
PUERTO



Victoria de Durango, Dgo., a **03 / Diciembre / 2024.**

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
DEPI / C / 663 / 2024.

ASUNTO: Autorización de Impresión de Tesis de Maestría.

C. JESÚS ADRIÁN RODRÍGUEZ GURROLA
No. DE CONTROL G10040779
PRESENTE.

De acuerdo al reglamento en vigor y tomando en cuenta el dictamen emitido por el jurado que le fue asignado para la revisión de su trabajo de tesis para obtener el **Grado de Maestro en Ingeniería**, esta División de Estudios de Posgrado e Investigación le autoriza la impresión del mismo, cuyo título es:

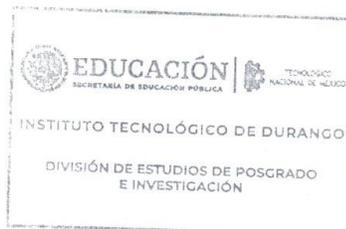
“Implementación de un Sistema de Control de Temperatura en Deshidratador Solar para la Recuperación del Vapor Generado”

Sin otro particular de momento, quedo de Usted.

ATENTAMENTE.

Excelencia en Educación Tecnológica®
“La Técnica al Servicio de la Patria”


C. FRANCISCO JAVIER GODÍNEZ GARCÍA
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN



FJGG'ammc.





Agradecimientos

Agradecimiento al Consejo Nacional de Humanidades Ciencias y Tecnología por haberme otorgado la beca y darme el apoyo financiero necesario para continuar con mis estudios de maestría y mi superación personal. Gracias al Instituto Tecnológico de Durango permitirme hacer uso de laboratorios, aulas, equipos electrónicos y cátedras necesarias para el desarrollo de esta investigación.

Agradecimientos a mi familia, en primer lugar, les agradezco a mi esposa que siempre me han brindado su apoyo incondicional para poder cumplir todos mis objetivos personales y académicos. A mi hija que con su mera presencia me motiva a siempre seguir avanzando y mejorando día a día. A mis padres y hermana, ellos son los que con su cariño me han impulsado siempre a perseguir mis metas y nunca abandonarlas frente a las adversidades.

A mi asesor el Dr. Aurelio Castillo Liñán, “Le agradezco muy profundamente por su dedicación, paciencia, sus palabras y acciones de apoyo no hubiese podido lograr llegar a esta instancia tan anhelada. Gracias por su guía y todos sus consejos, los llevaré grabados para siempre en la memoria y durante mi camino profesional”.

A la coordinadora del posgrado la Dra. Norma Alicia García Vidaña que también impartió dos de mis cátedras las que considero herramientas necesarias para poder estar a la vanguardia en el desarrollo de tecnologías IoT, muchas gracias por todo su apoyo durante mi estancia.





A todos mis docentes son muchos los docentes que han sido parte de mi camino en posgrado, y a todos ellos les quiero agradecer por transmitirme los conocimientos necesarios para hoy poder estar aquí. Sin ustedes los conceptos serían solo palabras.

Agradecimientos al Ing. Virgilio Morales Lara Presidente del Consejo Nacional de Productores de Chile SC y Productor Agrícola a nivel exportación, por su apoyo incondicional, asesorías y por facilitarnos su deshidratadora solar para realizar los trabajos de investigación de este proyecto.

Agradecimientos a la Dra. Yolocuauhtli Salazar por su valiosa codirección durante este proyecto





Resumen.

Actualmente el proceso de deshidratado del chile poblano se realiza por medio de un secador solar directo tipo invernadero con convección forzada (activo), cuya medición de temperatura se lleva a cabo de manera manual utilizando un pirómetro de mano e ingresar al interior del secador. Por lo tanto, la calidad del producto se ve afectada por la perturbación ocasionada por esta técnica y ocasionalmente no se cumple con las condiciones en contenido de humedad y apariencia que exige la norma NMX-FF-107/1-SCFI- 2014.

Por lo que el objetivo es diseñar e integrar un sistema de medición de temperatura al proceso. Para ello, se analizó el sistema a medir, se seleccionó el sensor, microcontrolador y el tipo de comunicación según las características físicas del propio sistema, se implementó físicamente el sistema de medición en el deshidratador solar, seguido de las correspondientes pruebas de los dispositivos instalados, monitoreo del deshidratador con el sistema de medición de temperatura en funcionamiento, para esto se realizaron una serie de mediciones de temperatura con el uso de una red inalámbrica de sensores, en modo de mapeo dentro de las cámaras de deshidratado, según los resultados e interpretación es crucial la ubicación de los sensores que registraron esta variable.

Palabras clave: Temperatura, Deshidratador, Solar, Activo, IoT, Medición, Chile.





Abstract

Currently, the poblano chili dehydration process is carried out by means of a greenhouse-type direct solar dryer with forced convection (active), whose temperature measurement is carried out manually using a hand-held pyrometer and entering the interior of the dryer. Therefore, the quality of the product is affected by the disturbance caused by this technique and occasionally does not meet the conditions in moisture content and appearance required by NMX-FF-107/1-SCFI- 2014.

Therefore, the objective is to design and integrate a temperature measurement system to the process. For this, the system to be measured was analyzed, the sensor, microcontroller and the type of communication were selected according to the physical characteristics of the system itself, the measurement system was physically implemented in the solar dehydrator, followed by the corresponding tests of the installed devices, monitoring of the dehydrator with the temperature measurement system in operation, for this purpose, a series of temperature measurements were taken with the use of a wireless network of sensors, in mapping mode inside the dehydration chambers, according to the results and interpretation, the location of the sensors that recorded this variable is crucial.

Keywords: Temperature, Dehydrator, Solar, Active, IoT, Measurement, Chili.





Contenido

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Resumen | IX |
| Capítulo 1 Introducción..... | 1 |
| Implementación de un Sistema de Control de Temperatura en Deshidratador Solar para la Recuperación del Vapor Generado. | 1 |
| 1.1 Planteamiento del problema..... | 3 |
| 1.2 Objetivos. | 3 |
| 1.2.1 Objetivo general..... | 3 |
| 1.2.2 Objetivos específicos. | 3 |
| 1.3 Hipótesis..... | 4 |
| 1.4 Justificación..... | 4 |
| 1.5 Delimitación del problema..... | 4 |
| 1.6 Estado del arte..... | 5 |
| Capítulo 3 Capítulo Marco teórico..... | 8 |
| 2.1 Deshidratadoras Solares..... | 8 |
| 2.2 Secador solar directo de convección forzada..... | 8 |
| 2.3 Chile Poblano..... | 9 |
| 2.4 Chile Ancho..... | 11 |
| 2.5 Control de Temperatura..... | 11 |





2.6 Acción de Control ON/OFF. 12

2.7 Termopar. 14

 2.7.1 Termopar tipo K. 16

2.8 Microcontroladores. 16

2.9 Modulo NRF24L01. 17

2.10 LabVIEW. 18

Capítulo 4 Materiales y métodos. 20

4.1 Diseño del Sistema de Medición de Temperatura Interna en Ambas cámaras del Deshidratador Solar.
..... 20

 4.1.1 Descripción Del Secador Solar. 20

 4.1.2 Selección de Dispositivos. 21

 4.1.3 Implementación Física. 24

 4.1.4 Programación a Microcontroladores. 26

 4.1.5 Adquisición y Presentación de Datos en Software LabVIEW 2015. 30

 4.1.6 Mapeo Del Comportamiento de Temperaturas Dentro Del Secador Solar Sin
Ventilación Forzada. 33

4.2 Sistema de Control de Temperatura Con Base en la Automatización de Mecanismos de Ventilación.
..... 34

4.3 Implementación Del Sistema de Medición y Control en el Secador. 37





| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.3.1 Mapeo del Comportamiento de Temperaturas Dentro Del Secador Solar Con Ventilación Forzada. | 38 |
| 4.3.2 Aplicacion de IoT en Proyecto. | 40 |
| 4.3.3 Sistema de Control de Temperatura Final en Deshidratador Solar..... | 42 |
| 4.3.4 Instalación Final de Sistema de Medición y Control en Deshidratador Solar. | 45 |
| Capítulo 5 Resultados y discusión..... | 48 |
| 5.1 Control Automático On/Off Intervalo 43 °C a 47 °C..... | 48 |
| 5.2 Control Automático On/Off Intervalo 39 °C a 43 °C..... | 52 |
| Capítulo 6 Conclusiones y recomendaciones..... | 55 |
| Capítulo 7 Referencias | 58 |
| Anexos..... | 60 |
| Productos Entregables..... | 60 |
| Propuesta De Valor E Impacto En El Sector Estratégico. | 61 |





Índice de figuras

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Secador Solar de Circulación Forzada Tipo Invernadero..... | 9 |
| Figura 2 Chile Poblano. | 10 |
| Figura 3. Chile Ancho..... | 11 |
| Figura 4. Descripción Matemática Control On/Off. | 13 |
| Figura 5. Diagrama de Bloques del Sistema de Control On/Off. | 13 |
| Figura 6. Termopar. | 14 |
| Figura 7. Curvas de Linealización. | 15 |
| <i>Figura 8.</i> Un Par Transmisor-Receptor NRF24L01. | 18 |
| Figura 9. Panel Frontal y Diagrama de Bloques en LabVIEW. | 19 |
| Figura 10. Secador Solar Directo Con Convección Forzada Tipo Invernadero. | 21 |
| Figura 11. Selección de Dispositivos..... | 22 |
| Figura 12. Válvula Motorizada. | 23 |
| Figura 13. Selección de Actuadores..... | 24 |
| Figura 14. Construcción de Equipos..... | 25 |
| Figura 15. Equipos de Medición y Receptor..... | 26 |
| Figura 16. Diagrama de Flujo "Equipo de Medición #1". | 27 |
| Figura 17. Diagrama de Flujo "Equipo Receptor". | 29 |
| Figura 18. Diagrama de Bloques en LabVIEW 2015. | 31 |
| Figura 19. Panel Frontal para Visualizar Datos de Ambos Equipos de Medición..... | 32 |
| Figura 20. Mapeo Sin Ventilación Forzada. | 33 |
| Figura 21. Sistema de Control Con PLC LOGO 8. | 35 |





| | |
|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 22. Diagrama de Bloques Logo V8. | 36 |
| Figura 23. Instalación de Equipos..... | 38 |
| Figura 24. Mapeo Con Ventilación Forzada..... | 39 |
| Figura 25. Cloud Firestore. | 42 |
| Figura 26. Instalación de Equipos Final. | 43 |
| Figura 27. Sistema de Control Actualizado. | 45 |
| Figura 28. Posicionamiento de Sensores..... | 45 |
| Figura 29. Instalación de Válvula de Entrada de Aire..... | 46 |
| Figura 30. Instalación de Actuadores..... | 47 |
| Figura 31. Grafica de Medición de Temperaturas con Control Activado #1..... | 48 |
| Figura 32. Grafica de Medición de Temperaturas con Control Activado #2..... | 49 |
| Figura 33. Grafica de Medición de Temperaturas con Control Activado #3..... | 50 |
| Figura 34. Mediciones en Actuadores #1..... | 51 |
| Figura 35. Mediciones con Cámara Termográfica #1..... | 51 |
| Figura 36. Grafica de Medición de Temperaturas con Control Activado #4..... | 52 |
| Figura 37. Mediciones en Actuadores #2..... | 53 |
| Figura 38. Mediciones con Cámara Termográfica #2..... | 54 |





Índice de tablas

| | |
|------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1. <i>Comportamiento de Temperaturas Sin Ventilación.</i> | 34 |
| Tabla 2. Comportamiento de Temperaturas con Ventilación. | 39 |

Índice de ecuaciones

| | |
|---------------------------------------------------|----|
| Ecuación 1. Función de Transferencia. | 56 |
|---------------------------------------------------|----|





Capítulo 1 Introducción.

Implementación de un Sistema de Control de Temperatura en Deshidratador Solar para la Recuperación del Vapor Generado.

En el anuario estadístico de la producción agrícola de chile verde poblano (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2021 a), Durango cuenta con 538.8 ha de superficie sembradas, 538.8 ha cosechadas, 0 ha siniestradas dando como resultado una producción de 8658.52 Ton con un valor de \$100,480,825.82, del cual pertenece al municipio de Poanas siembra y cosecha de 462.54 ha, una producción de 464.34 Ton destinado para el secado de este producto, después del proceso de deshidratado obtiene un valor de producción de \$31,308,960.00 indicado en el cierre de agricultura municipal de Durango (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2021 b). Debido a esta demanda de chile seco se desarrollaron nuevas tecnologías en el mundo para realizar el proceso de deshidratado, derivado de esto existe una ecotecnología la cual utiliza secadores solares como método de deshidratado en México según el ingeniero (González Ricardo, 2018), quien diseñó y llevó a cabo la construcción de la deshidratadora solar en Rincón de Romos, Aguascalientes, como objetivo para bajar los costos de producción en el deshidratado. El prototipo que construyó es uno de tipo de invernadero de cristal, por dentro tiene una pared interna de láminas negras que funcionan como colectores solares, tiene dos ventiladores que hacen que circule el aire caliente de forma homogénea en las dos cámaras, manteniendo la temperatura al mismo nivel en ambas.





Este proyecto se replicó en Oaxaca y Durango, resaltando el poblado Villa Unión, Poanas, Durango donde se encuentra el secador con el cual se trabajó, pertenece al Ing. Virgilio Morales Lara, productor y presidente del Consejo Nacional de Productores de Chile.

Actualmente el proceso de deshidratado del chile se realiza por medio de un secador solar directo con convección forzada (activo), cuya medición de temperatura se lleva a cabo de manera manual utilizando un pirómetro de mano e ingresar al interior del secador. Por lo tanto, la calidad del producto se ve afectada por la perturbación ocasionada por esta técnica. Ya que la temperatura del proceso debe oscilar entre 50 y 60 grados centígrados, de preferencia mantenerse a 55 °C durante 8 horas continuas, para obtener como resultado el chile deshidratado en las condiciones en contenido de humedad y apariencia que exige la norma mexicana (NMX-FF-107/1-SCFI-2014, 2014). Aunado a esto toda la producción de nuestro colaborador está bajo contrato para su exportación a los Estados Unidos de América. Dado el caso que no existe una medición sobre la variable de temperatura, de forma precisa y continua, se tiene que partir por integrar un sistema de medición para el monitoreo del producto durante la deshidratación.

Por lo cual se plantea la hipótesis de que el sistema de medición de temperatura del secador solar permite mejorar la calidad del producto y eficiencia del proceso de deshidratado. Consecuente a esto, nuestro objetivo es diseñar e integrar un sistema de medición de temperatura interna en ambas cámaras del deshidratador solar, con el uso de tecnología inalámbrica. Para ello, se tiene que seleccionar el sensor, microcontrolador y tipo de comunicación según las características físicas del propio sistema, implementar físicamente nuestros dispositivos en el deshidratador con el uso de una red inalámbrica de sensores





seguido de las correspondientes pruebas de los dispositivos instalados, hay que analizar el comportamiento propio del secador en vacío (sin producto), medir con ventilación forzada en modo de mapeo, realizar una serie de mediciones de temperatura, dentro de las cámaras de deshidratado.

1.1 Planteamiento del problema.

Actualmente en el proceso de deshidratado se realiza por medio de un secador solar directo con convección forzada (activo), cuyo control de temperatura se lleva a cabo de manera manual lo que provoca la reducción o aumento de la temperatura, por lo tanto, el vapor generado de la deshidratación del chile es liberado al medio ambiente, dejando escapar los subproductos que pudiese llegar a contener.

1.2 Objetivos.

1.2.1 Objetivo general.

Diseñar e implementar un sistema de control de temperatura en el deshidratador solar que permita la recuperación del vapor generado.

1.2.2 Objetivos específicos.

- Diseñar el sistema de medición de temperatura interna en ambas cámaras del deshidratador solar.
- Diseñar el sistema de control de temperatura con base en la automatización de mecanismos de ventilación.
- Implementar el sistema de medición y control.





- Recuperación del vapor generado empleando los mecanismos de ventilación.

1.3 Hipótesis.

El control automático de temperatura del deshidratador solar permitirá la recuperación de los subproductos generados durante el proceso.

1.4 Justificación.

Ya que la temperatura del proceso debe oscilar entre 50 y 60 grados centígrados, de preferencia mantenerse a 55 °C durante 8 horas continuas, para obtener como resultado el chile deshidratado en las condiciones que la NMX-FF-107/1-SCFI- 2014 exige.

Dado el caso que no existe un control sobre la temperatura, de forma precisa y automática, se tiene que implementar un sistema de control para esta variable y la recuperación del vapor generado en las cámaras, durante la deshidratación.

1.5 Delimitación del problema.

En esta tesis se utilizó la investigación cuantitativa para desarrollar el presente proyecto, el cual marca como objetivo diseñar e implementar un sistema de control de temperatura en el deshidratador solar que permita la recuperación del vapor generado, los datos se recolectaron en el interior de ambas cámaras del secador utilizando un termopar tipo K conectado a un microcontrolador Atmega328P®, el tiempo que llevara a cabo los procedimientos de muestreo de datos e implementación de control es en un rango de 2 a 3 horas donde utilizaremos el software NI LabVIEW® ya que es un entorno de programación gráfica que proporciona aceleradores de productividad únicos para el desarrollo de sistemas





de pruebas, los resultados que se pretenden alcanzar con esta investigación es lograr la implementación de un sistema de medición y control de la temperatura interna basado en un actuador Acarps® tipo válvula de mariposa de 8” de diámetro que también nos permite la extracción del vapor y un control tipo on-off implementado en un microcontrolador esp32-wroom-32 Espressif Systems ®. El secador se encuentra localizado geográficamente en el poblado de villa unión perteneciente al municipio de Poanas, Durango, Mexico. El estudio se realizará principalmente en el periodo Primavera-verano debido a la abundancia de días soleados y radiación solar ya que es la fuente principal de energía que utilizamos.

1.6 Estado del arte.

La (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural., 2022) en su artículo llamado “Chile poblano, delicia del campo mexicano” nos dice que, internacionalmente México es el segundo productor con más de 140 mil hectáreas al cultivo de este fruto. Seguido de esto el (Instituto Nacional de Estadística y Geografía., 2019) marca dentro del sector productivo en la agricultura un referente de producción anual de chile de 1,981,390 toneladas en Mexico.

Como lo indica (SAGARPA., 2015) tres cuartas partes de la producción nacional de esta hortaliza la generan cuatro estados: Sinaloa (26%), Zacatecas (24%), Guanajuato (15%) y Durango (10%). Según (Enrique & Rivera, 2019) los secadores solares más utilizados son de tipo invernadero, con las principales características de ser un secador solar directo tipo invernadero con circulación forzada, por medio de un ventilador de aire, la radiación solar penetra a través de la pantalla de vidrio hasta el producto. En su redacción (Getahun et al., 2021), el secado es la transferencia de masa y calor que excluye la humedad del producto sólido, al circular aire caliente a su alrededor para apropiarse del vapor liberado. La absorción





de humedad continúa hasta que se igualan la presión de vapor del producto y la del medio ambiente. Así, el objetivo de cualquier tipo de secador es proporcionar más calor al producto para maximizar la presión de vapor del producto y decreciendo la humedad relativa del aire de secado, en el secado solar, el calor esencial para eliminar la humedad del producto se obtiene principalmente de la energía solar. El flujo de masa de aire puede ser convección forzada o natural. El producto se calienta mediante el paso de aire caliente dentro del producto, el producto absorbe directamente la energía solar o una combinación de ambos.

Así como lo propuesto por (Abdenouri et al., 2022) nos dice que, en relación con los resultados de la simulación de la temperatura de secado con base en la radiación solar, se observó que casi todos los productos agrícolas se pueden secar en un rango de temperatura adecuado de 40 °C a 80 °C a diferentes periodos de secado. Para mejorar la eficiencia de cualquier secador se tiene que partir por analizar el comportamiento de las temperaturas en su interior y su medición, según las conclusiones del artículo publicado por (Vengsungnle et al., 2020), para medir la temperatura del aire interior y exterior se utilizan seis termopares tipo T, con una precisión del 0,1 % del fondo de escala, se puede encontrar que a frecuencias más altas de ventilación del aire y temperaturas de secado altas tienen un efecto significativo en la tasa de evaporación de la humedad en el Ganoderma, lo que da como resultado una mayor tasa de secado para el método II.

También durante el procedimiento experimental del secado de banano que realizo (Nabnean & Nimnuan, 2020), para demostrar el potencial del secador solar, en este estudio se utilizaron termopares tipo K para medir la temperatura del aire en el secador (precisión $\pm 2\%$). En sus resultados experimentales obtuvieron una medición de temperatura por





termopar tuvo una incertidumbre de ± 0.5 °C a la temperatura de ebullición. El análisis de incertidumbre indica que los datos medidos son lo suficientemente precisos para evaluar el rendimiento de los sistemas de secado solar, los patrones de cambios de temperatura en diferentes posiciones fueron comparables para todos los lugares. Las temperaturas en diferentes posiciones en estos tres lugares variaron dentro de una banda estrecha para las posiciones T1 a T9.

En la metodología del artículo publicado por (Recio Colmenares & Pilatowsky Figueroa, 2019), la temperatura a la entrada de la cámara se registró por medio de un sensor PT1000, durante el procedimiento experimental, en la cámara de secado se estableció para el análisis de las cinéticas un dominio de temperaturas controladas de 40, 50 y 60 °C ± 0.5 . En conclusión, sea el caso de la cámara de secado con condiciones controladas podemos observar que la velocidad del aire y la temperatura controlada son los que definen el tiempo de secado y el contenido de humedad final que posee el alimento.

Según la norma mexicana (NMX-FF-107/1-SCFI-2014, 2014) de productos alimenticios –chiles secos enteros– parte 1 –especificaciones y métodos de prueba nos dice que la humedad se refiere al porcentaje de humedad presente en los chiles una vez que han sido deshidratados y se disponen para comercializarse, su contenido en los chiles secos enteros no deber exceder el límite de 12.5% según la tabla 1 (Contenido de humedad en chiles secos), en cualquiera de sus clasificaciones, los chiles secos enteros del tipo comercial “chile ancho” tiene que presentar una apariencia uniforme; rojo intenso u oscuro sin decoloraciones para la clase extra. Clase I ligera variación en la intensidad de color, sin decoloraciones. Clase II variación en la intensidad del color incluyendo decoloraciones





dentro de los límites de los requisitos mínimos. Estas características están indicadas en la tabla 2 (Clasificación por color).

Capítulo 2 Marco teórico.

2.1 Deshidratadoras Solares.

Los deshidratadores solares son dispositivos con los cuales se extrae gran porcentaje de agua de las frutas por medio del flujo de aire caliente, de esta forma el agua que está en la superficie del producto se evapora y se traspa al aire circundante y el calor del medio se transmite al interior de la fruta. Con el objetivo de maximizar la calidad del producto y minimizar los costos, el tiempo de deshidratación debe de ser corto, este tiempo depende tanto de la fruta como del deshidratador (Giraldo Erika, 2014).

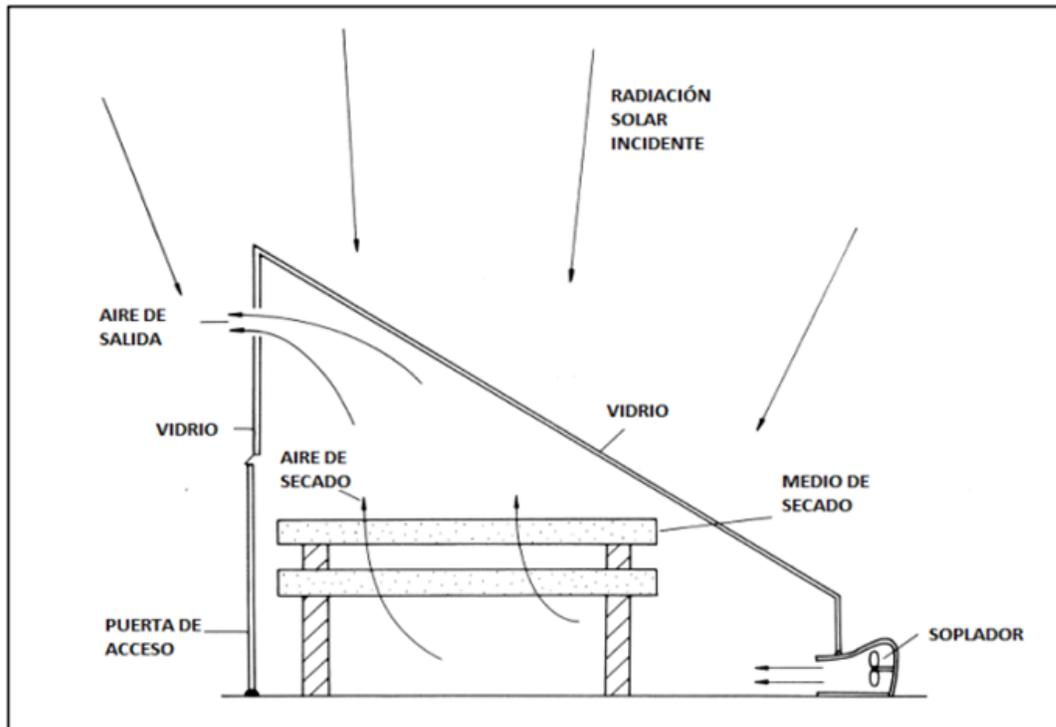
2.2 Secador solar directo de convección forzada.

Según (Enrique & Rivera, 2019) los secadores solares más utilizados son de tipo invernadero, como el la Figura 1, un secador solar directo tipo invernadero con circulación forzada, por medio de un ventilador de aire, la radiación solar penetra a través de la pantalla de vidrio hasta el producto.



Figura 1.

Secador Solar de Circulación Forzada Tipo Invernadero.



Nota. Adaptado de trabajo de tesis “*Diseño de un secador solar directo de circulación natural tipo invernadero para cacao*” por Enrique & Rivera, 2019, Pirhua (<https://pirhua.udep.edu.pe/item/cb907c66-3d7e-4ff6-a13d-6aab2d1c39ab>).

2.3 Chile Poblano.

Proveniente del valle de Tehuacán, es el chile más consumido por los mexicanos debido a su tradición y sabor. Cultivado en tierras templadas y calientes, en general alcanza de 30 a 80 centímetros de altura. El tallo es erguido, ramoso y liso. Las hojas son generalmente ovadas, lisas y lustrosas. Es fresco, carnoso, de tamaño grande, generalmente





de color verde oscuro con piel brillante y, al igual que los jitomates y la calabacita, es un fruto como se observa en la Figura 2.

Figura 2

Chile Poblano.



Nota. Adaptado de *Chile Poblano* [fotografía], por Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2022, Gob. (<https://www.gob.mx/agricultura/articulos/chile-poblano-delicia-del-campo-mexicano>).

Si bien en ocasiones el chile puede ser considerado picante, este no lo es; sin embargo, tiene un sabor bien definido, lo que lo hace ideal para preparar platillos típicos mexicanos, siendo la variedad más consumida en el país; con él se pueden preparar unos ricos chiles rellenos, los tradicionales chiles en nogada, acompañar algún guiso de puerco o pollo, rajas con crema y hasta una deliciosa salsa (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural., 2022).





2.4 Chile Ancho.

El chile Ancho proviene del Chile Poblano, el cual cuando madura y seca se convierte en el chile ancho y el mulato. Como se observa en la Figura 3, cuando está verde y es secado se transforma en el chile pasado o ancho.

Figura 3.

Chile Ancho.



Nota. Adaptado de *Chile Ancho* [fotografía], por Italia, 2022, Dspclaherradura (<https://dspclaherradura.com.mx/2022/10/09/chile-ancho-pasilla-cual-es-la-diferencia/>).

Según (Guadalupe Rojas Macías, 2013) el ancho es el chile seco que más se usa y definitivamente más fuerte y afrutado que el mulato, el cual es más suave, dulce y achocolatado. Al transparentarse el chile ancho tiene un color café rojizo o negro rojizo.

2.5 Control de Temperatura.

En el libro *Fundamentos Básicos de Instrumentación y control de* (Gutiérrez & Iturralde, 2017) para regular con precisión la temperatura del proceso sin la participación continua del operador, un sistema de control de temperatura se basa en un regulador, el cual





acepta un sensor de temperatura tal como un termopar o RTD como entrada. Se compara la temperatura real a la temperatura de control deseada, o punto de ajuste, y proporciona una salida a un elemento de control. El regulador de temperatura solo es una parte del sistema de control, y todo el sistema debe ser analizado para elegir un controlador adecuado. Los siguientes puntos deben ser considerados al seleccionar un controlador de temperatura:

1. Tipo de sensor de entrada (termopar, RTD) y rango de temperatura.
2. Tipo de salida requerida (relé electromecánico, SSR, salida analógica).
3. Algoritmo de control necesario (encendido / apagado, control proporcional, controlador PID).
4. Número y tipo de salidas (calor, frío, alarma, límite).

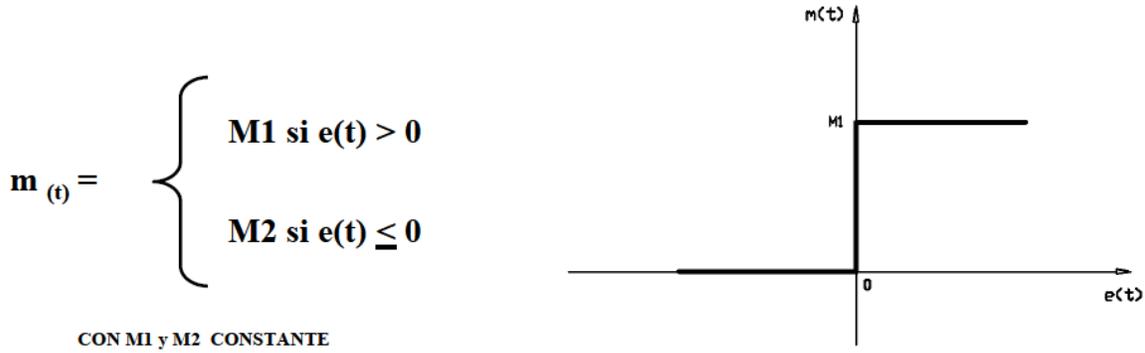
2.6 Acción de Control ON/OFF.

En la cátedra de Sistemas de Control impartida por (Golato, 2004) el accionador tiene dos posiciones fijas, “conectado” o “desconectado”. Este control es elemental y consiste en activar el mando de acción cuando la variable controlada está por debajo del valor deseado y luego desactivarlo cuando esté por arriba. Matemáticamente la descripción de este control se muestra en la siguiente figura 4.



Figura 4.

Descripción Matemática Control On/Off.

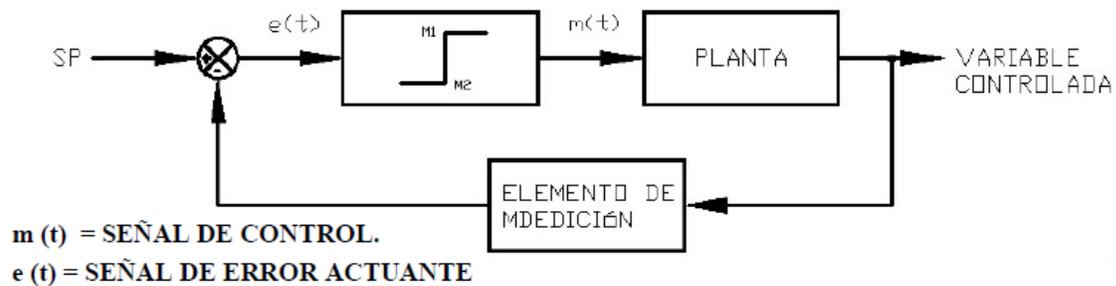


Nota. Adaptado de “*Sistemas de Control*” (p. 4), por Marcos A. Golato, 2004, Universidad Nacional de Tucumán.

De igual manera se muestra en la figura 5 el diagrama de bloques del sistema de control on/off.

Figura 5.

Diagrama de Bloques del Sistema de Control On/Off.



Nota. Adaptado de “*Sistemas de Control*” (p.4), por Marcos A. Golato, 2004, Universidad Nacional de Tucumán.



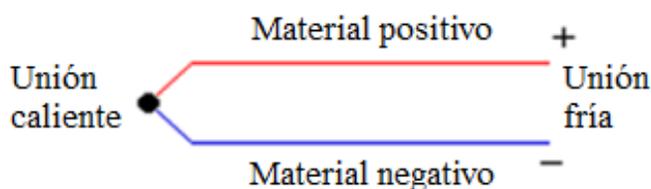


2.7 Termopar.

En su tesis (Jiménez, 2012) describe un termopar como un dispositivo para la medición de temperatura, basado en efectos termoeléctricos. Es un circuito formado por dos conductores de metales diferentes o aleaciones de metales diferentes. En uno de los extremos del cable, los dos metales están eléctricamente empalmados (corto circuito) ya sea mediante un trenzado o soldadura; precisamente esta terminación es la que se conecta térmicamente a la región a ser medida, por lo que recibe el nombre de unión caliente, cuya temperatura es mucho mayor que la del otro extremo, generando una diferencia de temperatura, que origina una fuerza electromotriz, efecto Seebeck. El otro extremo, llamado unión fría es conectado a un dispositivo de medición, el diagrama de un termopar se observa en la Figura 6.

Figura 6.

Termopar.



Nota. Adaptado de “Control de Temperatura de un Horno Eléctrico Mediante lógica Difusa” (p.21), por Issac Jiménez, 2012, Universidad Tecnológica de la Mixteca.

El efecto Seebeck se presenta cuando existe una diferencia de temperatura entre las uniones fría y caliente, lo que provoca un flujo de calor y un flujo de electrones conocido



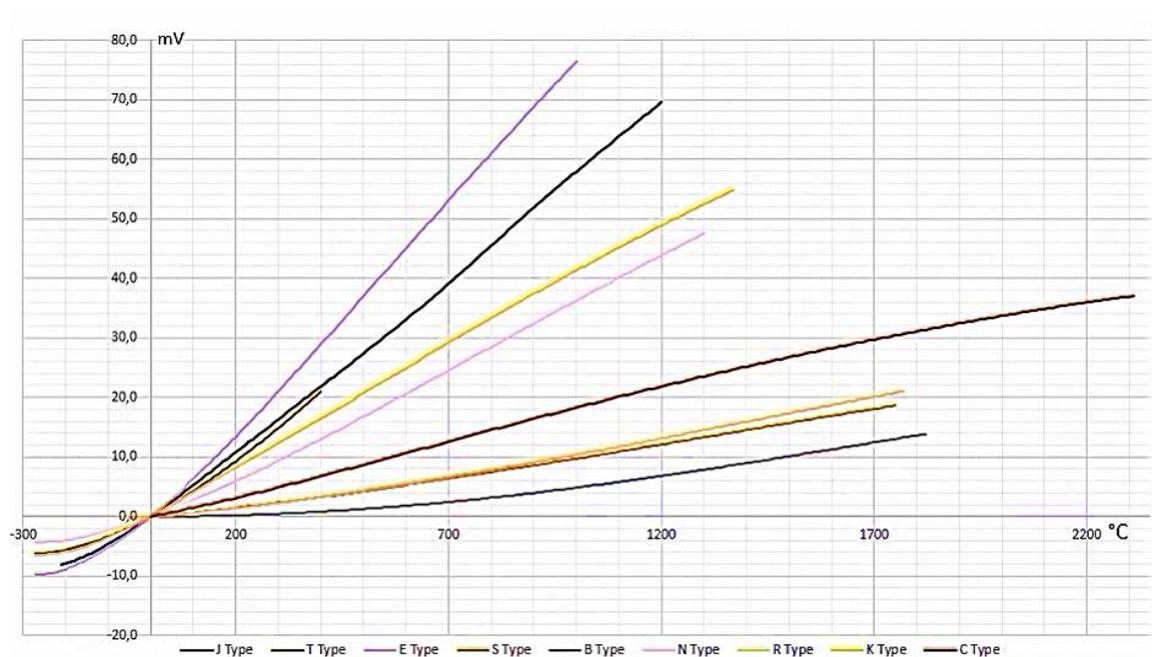


como corriente Seebeck. La fuerza electromotriz (fem) que genera la corriente se conoce como fuerza electromotriz de termopar o tensión de Seebeck.

En el curso “Instrumentación” por (Pérez García, 2023) redacta que los termopares se designan con letras mayúsculas que indican su composición de acuerdo con las convenciones del Instituto Nacional Estadounidense de Estándares (ANSI). Por ejemplo, el termopar tipo J está hecho de hierro como un conductor y de Constantán (aleación de cobre y níquel) como otro. En la siguiente figura 7 se muestran las curvas de linealización para los tipos de termopar más utilizados.

Figura 7.

Curvas de Linealización.





Nota. Adaptado de “Medición de Temperatura con Termopares”, por Grant Smith, 2023, DEWESoft® (<https://dewesoft.com/es/blog/temperatura-medicion-termopar-sensores#dispositivos-de-medicion-de-dewesoft-para-termopares>).

2.7.1 Termopar tipo K.

Termopar tipo K, de Níquel-Cromo (cromel) /Níquel-Aluminio (alumel). Se recomienda en atmósferas oxidantes y a temperaturas de trabajo entre 500 °C y 1.250° C. No debe ser utilizado en atmósferas reductoras ni sulfurosas, a menos que esté protegido con un tubo de protección. Se utiliza para temperaturas entre -40 °C y 1.100 °C (Creus Solé, 2011), y una sensibilidad de 41µV/°C aproximadamente (Gutiérrez & Iturralde, 2017).

En algunas aplicaciones el termopar se ve expuesto a condiciones extremas, debido a esto se requiere el uso de un termopozo. El termopozo es un dispositivo de protección que separa al termopar del ambiente, protegiéndolo de atmósferas oxidantes, choques térmicos y flujos de gases, evitando su deterioro o falla (Jiménez, 2012).

2.8 Microcontroladores.

Según (Reyes, 2008), el microcontrolador es un circuito integrado, en cuyo interior posee toda la arquitectura de un computador, esto es CPU, memorias RAM, EEPROM, y circuitos de entrada y salida. Un microcontrolador de fábrica no realiza tarea alguna, este debe ser programado para que realice desde un simple parpadeo de un led hasta un sofisticado control de un robot. Un microcontrolador es capaz de realizar la tarea de muchos circuitos lógicos como compuertas AND, OR, NOT, NAND, conversores A/D, D/A, temporizadores, decodificadores, etc., simplificando todo el diseño a una placa de reducido tamaño y pocos elementos.





2.9 Modulo NRF24L01.

En la datasheet de (Nordic Semiconductor, 2008) , el módulo transceiver RF (emisor y receptor) de 2,4GHz NRF24L01 fabricado por Nordic Semiconductor es ideal para comunicar proyectos de forma inalámbrica, opera en la banda de 2.4GHz (Industrial, Científica y Médica) y posee un consumo ultra bajo (ULP). El chip Nordic nRF24L01+ integra un completo transceiver de 2.4Ghz, Sintetizador RF y lógica con el mejorado ShockBurst™ (acelerador de protocolo por hardware para comunicación por SPI con microcontrolador). Esta versión de módulo posee además un circuito amplificador de potencia (PA), un circuito amplificador de bajo ruido (LNA) además de una antena SMA que le permite lograr un rango de hasta 1000m en campo de vista. Utilizado en aplicaciones de control remoto, supervisión/monitoreo remoto, sistemas de seguridad, red inalámbrica para domótica y automatización industrial.

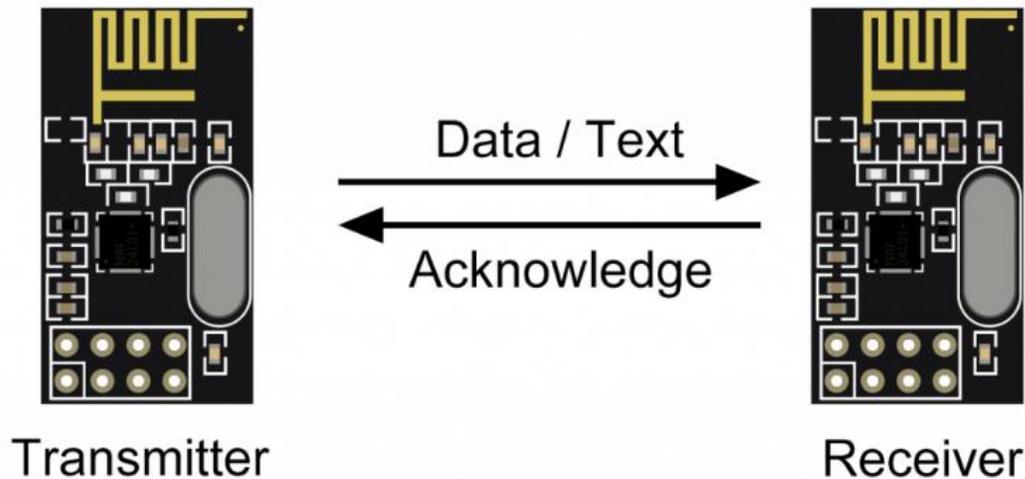
El módulo posee 8 pines (headers macho) a través de los que se alimenta (3.3V) y se comunica mediante SPI. Debemos tomar en cuenta que la comunicación es de 3.3V(tolerante a 5V) por lo que para trabajar con microcontroladores de 5V (Arduino Uno/Mega/Nano/Micro, PICs) es recomendable utilizar un conversor lógico 5V-3.3V (4CH o 8CH). Una alternativa que facilita el uso es el Adaptador de transceiver NRF24L01, pues permite manejar el Mod. NRF24L01 directamente con 5V tanto para alimentación como para la comunicación SPI.

En la siguiente figura 8, se utilizan dos módulos nRF24L01, uno asume el papel de emisor y el otro el de receptor.



Figura 8.

Un Par Transmisor-Receptor NRF24L01.



Nota. Adaptado de “NRF24L01 – Módulos de radio de 2,4 GHz”, por Wolfgang Ewald, 2022, wolles-elektronikkiste (<https://wolles-elektronikkiste.de/en/nrf24l01-2-4-ghz-radio-modules>).

2.10 LabVIEW.

LabVIEW por sus siglas en inglés (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) es un sistema de desarrollo basado en programación gráfica orientado a desarrollar aplicaciones para instrumentación que integra una serie de librerías para comunicación con instrumentos electrónicos como GPIB, RS232 o RS485 con tarjetas de adquisición de datos, sistemas de adquisición y acondicionamiento como VXI o SCXI, comunicaciones en redes TCP/IP, UDP, o en los estándares de software COM, OLE, DDE, DLL o ActiveX para Windows, así como AppleEvents para MacOS o PIPE para UNIX.

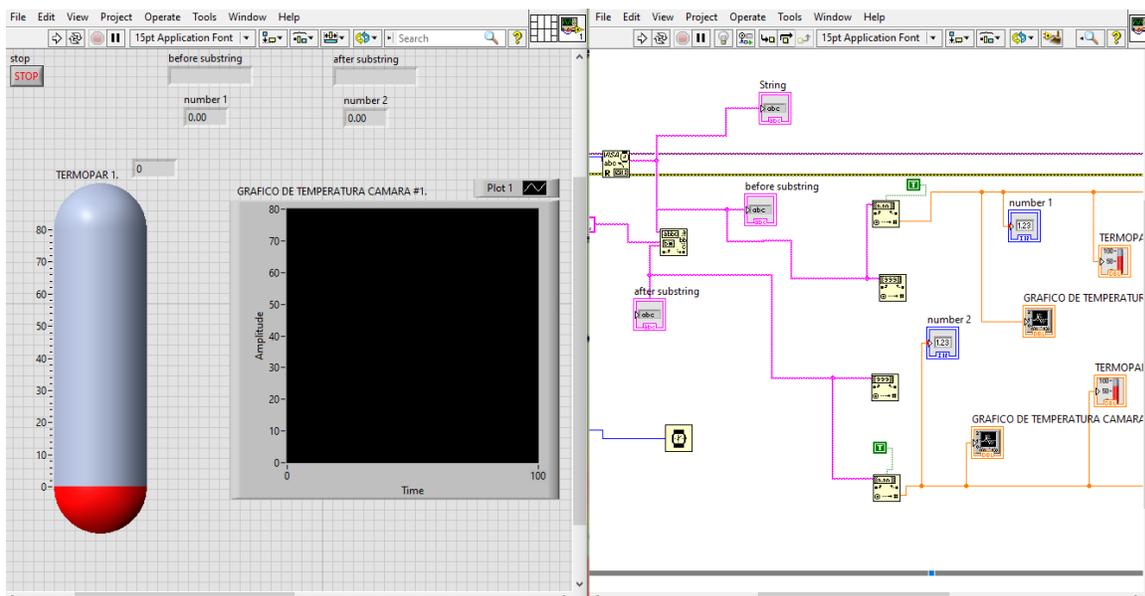


Los programas realizados en LabVIEW se llaman instrumentos virtuales “VIs”, ya que tienen la apariencia de los instrumentos reales, sin embargo, poseen analogías con funciones provenientes de lenguajes de programación convencionales. Cada VI de LabVIEW cuenta con dos ventanas principales: un instrumento real tendrá un Panel Frontal donde estarán sus botones, pantallas, etc. y una circuitería interna. Estas partes reciben el nombre de Panel Frontal y diagrama de Bloques respectivamente (Jiménez, 2012).

- Panel Frontal, es la parte que verá el usuario, suele tener fondo gris.
- Diagrama de Bloques, es donde se realizará la programación y suele tener fondo blanco.

Figura 9.

Panel Frontal y Diagrama de Bloques en LabVIEW.



Nota. Elaboración Propia.





Capítulo 3 Materiales y métodos.

3.1 Diseño del Sistema de Medición de Temperatura Interna en Ambas cámaras del Deshidratador Solar.

3.1.1 Descripción Del Secador Solar.

El área de estudio de este proyecto se centra en el uso de las ecotecnologías dado es el caso de este secador solar que fue construido en el poblado de Villa Unión, municipio de Poanas del estado de Durango, Mexico. Es uno de tipo de invernadero con paredes y techo de cristal de 5 mm de espesor, por dentro tiene una pared interna de láminas negras que funcionan como colectores solares, tiene dos ventiladores de 5 Hp a 1780 rpm que hacen que circule el aire caliente de forma homogénea en las dos cámaras, las dimensiones del secador son de 4.8 m de ancho x 13 m de largo x 2.4 m de alto con un techo de tipo aguilón. Este tipo de tecnología requiere de una investigación del tipo aplicada.



Figura 10.

Secador Solar Directo Con Convección Forzada Tipo Invernadero.



Nota. Elaboración Propia [Fotografía].

3.1.2 Selección de Dispositivos.

El universo de temperaturas internas en el secador corresponde a un intervalo de 0 °C a 100 °C, por lo que se seleccionan los siguientes dispositivos: Termopar tipo K Figura 11 (a) con un rango de -100°C a 1250°C una precisión $\pm 0.75\%$, resolución de 0.25 °C y una sonda de 10 cm con cable compensado de 3 metros de longitud. Microcontrolador Atmega 328p y ESP32 wifi/bluetooth para transmisor y receptor Figura 11 (b, c). Módulo transceptores de radiofrecuencia NRF24L01 Figura 11 (d) y un NRF24L01+PA+LNA Figura 11 (e). La comunicación entre sensores y receptor se selecciona de tipo inalámbrica, mediante



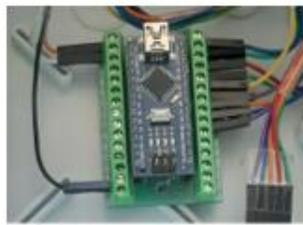
radio frecuencia de largo alcance. Una caja plástica para exterior grado de protección IP65 con 158mm de largo x 90mm de ancho x 60mm de alto para alojar el microcontrolador y el módulo transceptor.

Figura 11.

Selección de Dispositivos.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

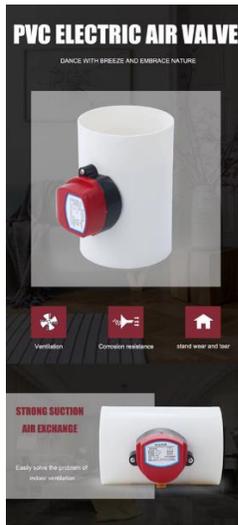
Nota. Elaboración Propia.

Para los actuadores se seleccionaron dos equipos correspondientes a una válvula de mariposa motorizada de 8" de diámetro, de retención motorizado, Dimensión: 200 mm, material de plástico PVC, Voltaje 12Vdc Figura 12 (a), junto con su diagrama de conexión eléctrica Figura 12 (b).

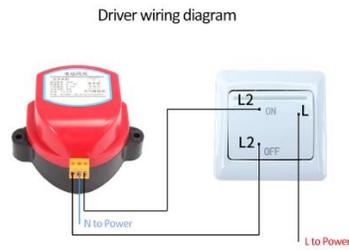


Figura 12.

Válvula Motorizada.



(a)



(b)

Nota. Elaboración Propia.

Un extractor de 160 watts, 8” con 13 m³/min de volumen máximo de extracción Figura 13 (a) y como conexión entre la válvula y el extractor un ducto flexible de aluminio de 8” Figura 13 (b).



Figura 13.

Selección de Actuadores.



(a)



(b)

Nota. Elaboración Propia.

3.1.3 Implementación Física.

Previo a la integración del sistema de medición se realiza la construcción de los equipos (Figura 14), donde se realizaron los trabajos manuales requeridos para la correcta fijación y conexión de los dispositivos.



Figura 14.

Construcción de Equipos.



Nota. Elaboración Propia, fotografías durante la construcción de los equipos de medición.

A continuación, se muestran los equipos (1) y (2) en la Figura 15 ya terminados, junto con el equipo receptor, cabe mencionar que se optó por cambiar la batería anterior ya que se tuvo inconvenientes con la duración real de la power bank, la cual reemplazamos por una Ultra Mini marca 1hora con las siguientes características especificaciones técnicas:

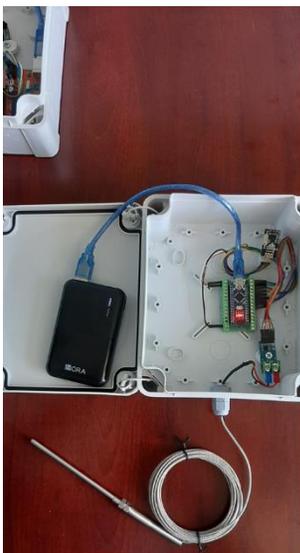
- Capacidad 5,000 mAh.
- Entrada V8/Tipo C: 5V 2A.
- Salida USB 1: 5V 2.1amp.
- Salida USB 2: 5V 2.1amp.
- Medidas: 98mm*64mm*16mm.



De la que si obtuvimos el rendimiento esperado de 15 horas de operación continua con carga conectada. También se muestra el microcontrolador Atmega328p receptor con la antena NRF24L01+PA+LNA conectada y en pruebas de funcionamiento con el software LabVIEW.

Figura 15.

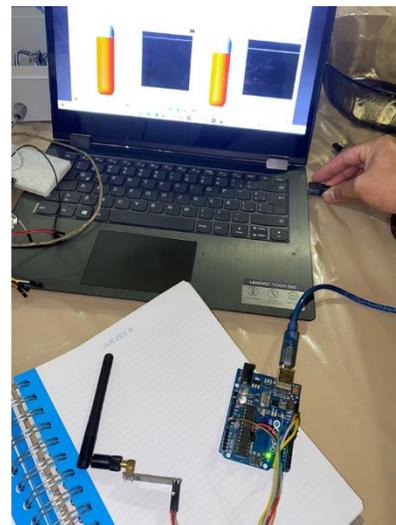
Equipos de Medición y Receptor.



(1)



(2)



(Receptor)

Nota. Elaboración Propia, (1) corresponde al equipo que se instaló en la cámara 1 del deshidratador, el (2) en la cámara 2 y el (receptor) en el exterior para procesamiento de datos.

3.1.4 Programación a Microcontroladores.

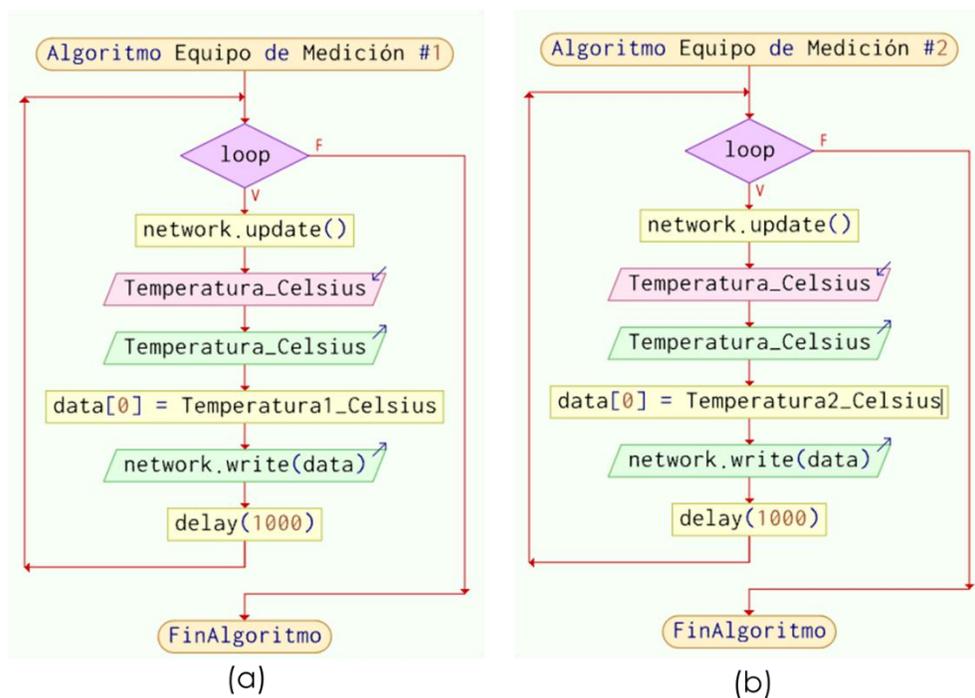
Para la programación de los microcontroladores Atmega 328p utilizamos el IDE Arduino, donde a continuación presentamos los algoritmos en forma de diagrama de flujo ya que es una forma de representar un proceso o algoritmo de manera visual, estructurada y organizada, para los equipos de medición 1, 2 ambos transmisores y receptor. Estos



diagramas se realizaron con el software PSeInt ya que es un intérprete de un lenguaje de programación basado en pseudocódigo, muy útil para organizar, estructurar una tarea de programación antes de entrar directamente con el código.

Figura 16.

Diagrama de Flujo "Equipo de Medición #1".



Nota. Elaboración Propia, (a) corresponde al equipo de medición #1 y (b) al #2.

En la Figura 16 (a) se muestra el algoritmo de programación para el equipo #1, el cual describe como primer bloque el nombre del proceso, seguido de esto una estructura repetitiva (mientras) llamada loop, un bloque de asignación/ dimensión/ definición que sirve para inicializar la red inalámbrica de radio frecuencia “network.update()”, otro bloque de leer (instrucción para obtener entradas) el cual se le designa una variable llamada “Temperatura_Celsius”, seguido de este otro escribir (instrucción para generar salidas) se



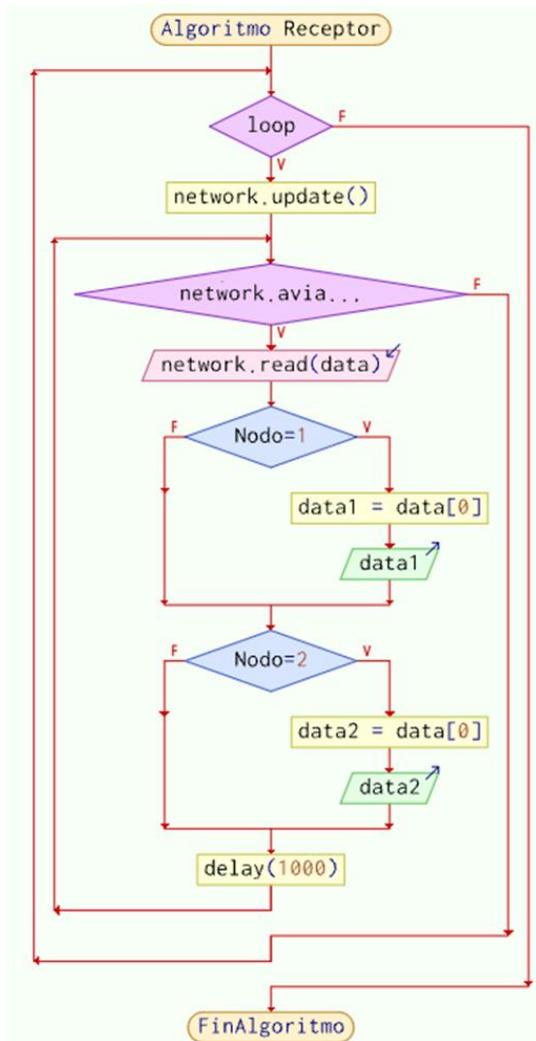


designa igual que la entrada, un bloque más de asignación/ dimensión /definición la cual se le definió una función donde se guarda la variable de salida en una matriz “data[0]= Temperatura1_Celsius” para ser enviada por el siguiente bloque por la red inalámbrica como instrucción de salida “network.write(data)” y por ultimo uno de dimensión para un retardo de 1 segundo antes de repetir todo el algoritmo. De igual manera se repite lo mismo para el equipo de medición #2 Figura 16 (b).



Figura 17.

Diagrama de Flujo "Equipo Receptor".



Nota. Elaboración Propia.

En la figura 17 se muestra el algoritmo del equipo Receptor el cual describe de manera intuitiva que el nombre del proceso es “Receptor” seguido un bloque de repetición “loop”, una definición/dimensión /asignación donde inicializa la red inalámbrica “network.update()”, una repetición o mientras este encendida la red inalámbrica pasa al siguiente bloque “Nodo





l=” de SI-Entonces (estructura condicional simple) la cual pregunta a la red si el dato entrante en forma de matriz data[0] si proviene del nodo 1 lo asigna a la función de data1=data[0] y de igual manera para el siguiente bloque de SI- Entonces “Nodo 2= “ y en ambos casos lo escribe en una variable para ser usado en la programación que corresponde a la conexión con la nube firestore de Google, e imprime en el puerto serial del microcontrolador para utilizar los valores en el software de LabVIEW 2015.

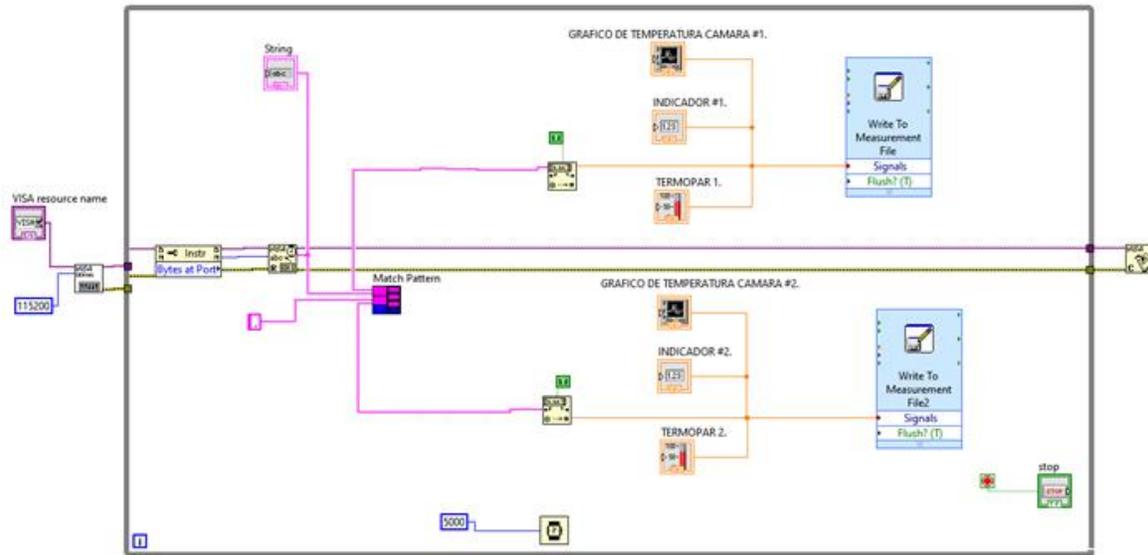
3.1.5 Adquisición y Presentación de Datos en Software LabVIEW 2015.

Para la adquisición e interpretación configuramos como se muestra en la figura, un diagrama de bloques en el software donde agregamos la configuración serial para recibir los datos del Atmega 328p, un convertidor de datos string a dato numérico, seguido de esto agregamos tres bloques donde visualizamos los datos en indicadores (un icono en forma de termómetro, una gráfica de línea para cada valor y un indicador digital normal) el siguiente bloque donde guardamos los datos en dos archivos xls (hoja de cálculo de Microsoft Excel) tal como se muestra en la figura 18.



Figura 18.

Diagrama de Bloques en LabVIEW 2015.



Nota. Elaboración Propia.

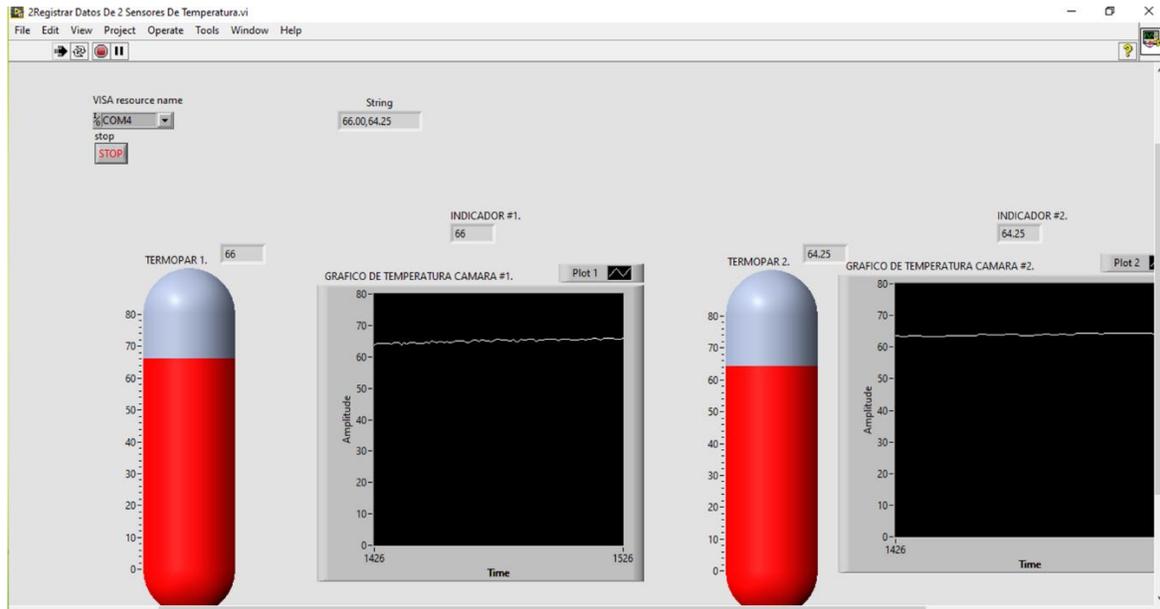
En la figura 19 se muestra el resultado de la programación de bloques el cual se visualiza en un panel frontal, indicamos en dos figuras tipo termómetro la temperatura en ambas cámaras, así como en un gráfico de líneas correspondiente a cada termómetro y un indicador digital para cada cámara.





Figura 19.

Panel Frontal para Visualizar Datos de Ambos Equipos de Medición.



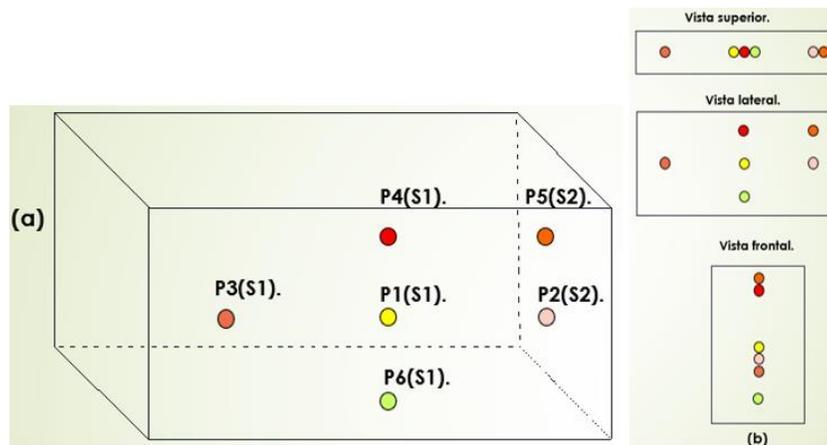
Nota. Elaboración Propia.



3.1.6 Mapeo Del Comportamiento de Temperaturas Dentro Del Secador Solar Sin Ventilación Forzada.

Figura 20.

Mapeo Sin Ventilación Forzada.



Nota. Elaboración Propia, Posición Matricial de los Sensores 1 y 2 (a), Vistas del Posicionamiento (b).

La ubicación de los sensores se realizó en seis puntos diferentes del volumen de la cámara de deshidratado según la Figura 20, de una forma en que nos pueda representar lo más acercado a puntos medios dentro de ella y poder observar cómo se comporta la temperatura en diferentes coordenadas sin ventilación, con el objetivo de poder deducir que tipo de respuesta tiene el sistema a las perturbaciones que genera la apertura de las puertas cuando cambiamos de lugar cada sensor y que modelo matemático corresponde.





Tabla 1.

Comportamiento de Temperaturas Sin Ventilación.

| Posiciones en el secador: | Temperatura inicial (°C): | Temperatura final (°C): | Tiempo inicial (minutos): | Tiempo Final (minutos): |
|---------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|
| Punto1 (S1) | 48.0 | 49.75 | 0 | 5 |
| Punto 2 (S2) | 50.5 | 57.25 | 0 | 13 |
| Punto 3 (S1) | 46.6 | 55.0 | 6 | 12 |
| Punto 4 (S1) | 54.75 | 76.0 | 13 | 32 |
| Punto 5 (S2) | 68.0 | 71.25 | 15 | 55 |
| Punto 6 (S1) | 46.5 | 47.75 | 0 | 35 |

Nota. Elaboración Propia.

3.2 Sistema de Control de Temperatura Con Base en la Automatización de Mecanismos de Ventilación.

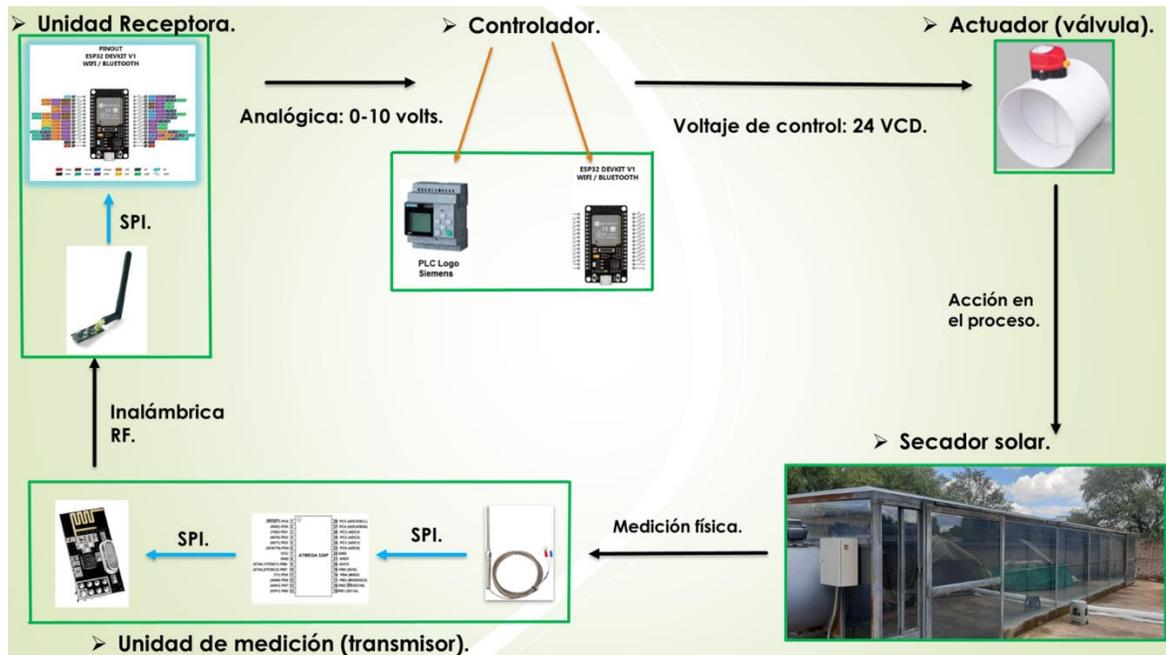
1. Se determinó el sistema de control que se va a utilizar para controlar la variable el cual es un control on/off tipo ventana el cual se programó en un PLC LOGO V8, con salidas de relé para activar los actuadores y control de tipo lazo cerrado como se observa en la Figura 21.
2. El tipo de actuadores fueron Válvula de mariposa motorizada, 200 mm de diámetro, 24 VCD.
3. Se utilizo una fuente de 24 VCD de 5 AMP, para activar y desactivar las válvulas.



- Se utilizaron baterías de 5'000 miliamperios para cada equipo de medición, termopar tipo K con cable compensado de 2 metros.
- Se determinó el tipo de conexión, comunicación entre dispositivos y/o equipos: Inalámbrica, mediante radio frecuencia de largo alcance, modulo NRF24L01 integra un transceptor RF (transmisor + receptor), 2.4GHz a 2.5GHz, la velocidad de transmisión de 250 Kbps hasta 2 Mbps, conexiones de control por cableado: analógica de 0 a 5 volts/ 2 hilos, comunicación SPI (Interfaz Periférica Serial) entre módulos NRF y microcontroladores ATmega328p.

Figura 21.

Sistema de Control Con PLC LOGO 8.

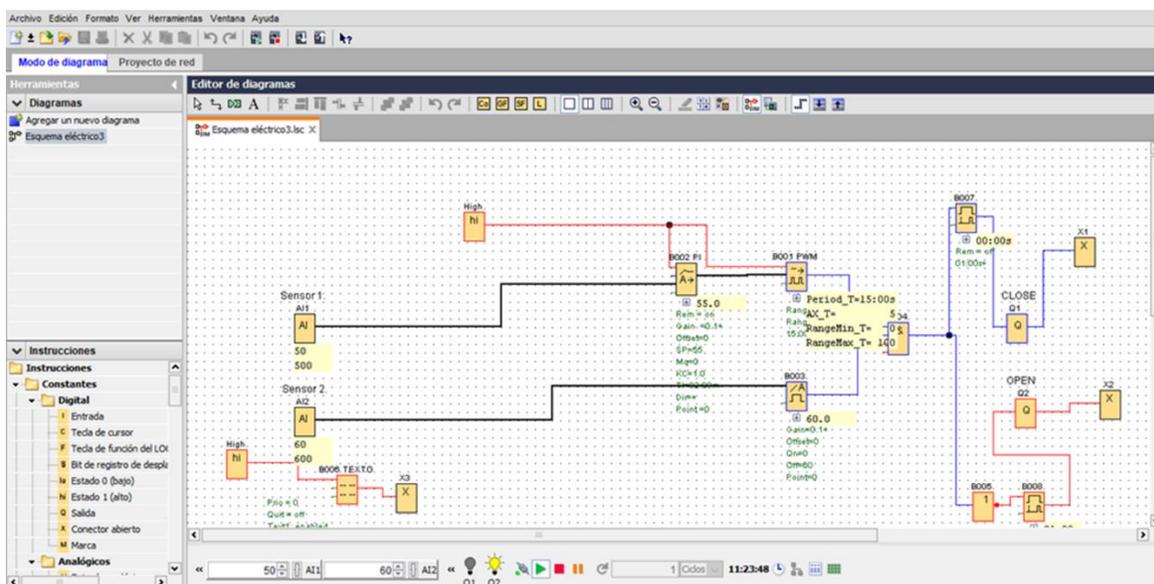


Nota. Elaboración Propia.

6. El desarrollo de programas para microcontroladores se realizó en la plataforma Arduino IDE (Entorno de Desarrollo Integrado) agregando, todo lo necesario para su correcto funcionamiento tanto de los equipos de medición como de la unidad receptora, dotándole las características mediante librerías para la comunicación inalámbrica, SPI y analógica, la programación del PLC se realizó en el software ¡LOGO! Soft Comfort V8.2 en lenguaje de bloques lógicos utilizando las compuertas lógicas se estructuró un control on-off con límite superior e inferior programables, así como un gráfico de barras donde indica la temperatura de cada cámara de deshidratado, como se observa en la siguiente Figura 22.

Figura 22.

Diagrama de Bloques Logo V8.



Nota. Elaboración Propia.



3.3 Implementación Del Sistema de Medición y Control en el Secador.

1. Se realizó el acondicionamiento e instalación de instrumentos y equipos de control en el deshidratador:
 - i. Instalación física en deshidratador de todos los elementos de control.
 - ii. Cableado y conexiones eléctricas de control y fuerza.
2. Comunicación y conexiones inalámbricas:
 - i. Establecer conexión inalámbrica (Radio Frecuencia) en caso de ser determinado, entre microcontroladores.
 - ii. Establecer comunicación entre PLC y microcontrolador.
3. Programación de microcontroladores:
 - i. Cargar Programa a Microcontroladores.
4. Pruebas:
 - i. Prueba de sensores.
 - ii. Prueba de Actuadores.
 - iii. Ajuste de Set Point.
 - iv. Iniciar control automático del sistema.
 - v. Monitoreo y adquisición de datos.



Figura 23.

Instalación de Equipos.



Nota. Elaboración Propia, Ubicación de PLC, Válvulas Motorizadas en Ductos de Ventilación y Gabinete de Control a) y Equipos de Medición en Cámaras de Deshidratado b).

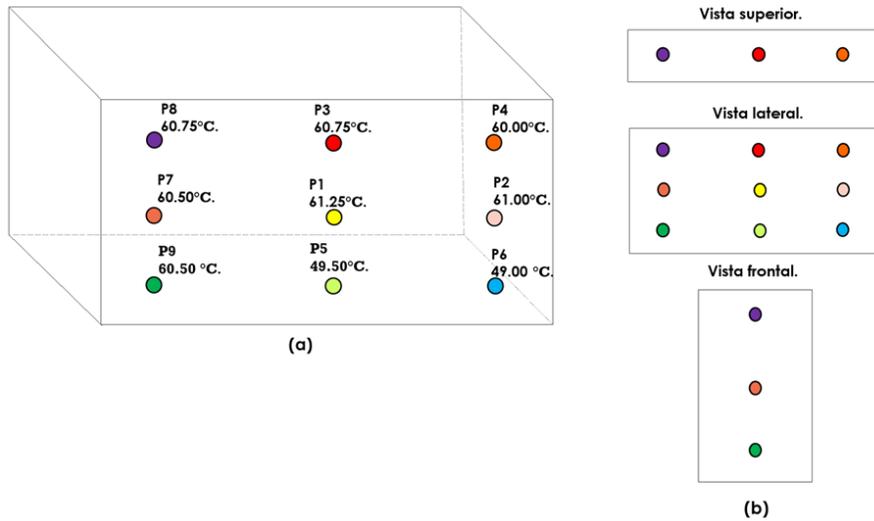
3.3.1 Mapeo del Comportamiento de Temperaturas Dentro Del Secador Solar Con Ventilación Forzada.

El mapeo de temperaturas corresponde a posicionar los dos sensores S1 y S2 en diferentes puntos del volumen de cada cámara deshidratadora con el fin de sondear el comportamiento de esta variable, en la siguiente Figura 24 se muestra el posicionamiento de cada sensor.



Figura 24.

Mapeo Con Ventilación Forzada.



Nota. Elaboración Propia, Posición Matricial de los Sensores 1 y 2 (a), Vistas del Posicionamiento (b).

En la Tabla 2 se muestran las mediciones de temperatura inicial y final en cada punto medido con su respectivo intervalo de tiempo donde cada temperatura alcanza aproximadamente la estabilidad.

Tabla 2.

Comportamiento de Temperaturas con Ventilación.

| Posiciones en el secador: | Temperatura inicial (°C): | Temperatura final (°C): | Tiempo inicial (minutos): | Tiempo final (minutos): |
|---------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|
| Punto1 (S1) | 58.75 | 61.25 | 0 | 12 |





| | | | | |
|------------------------|-------|-------|----|-----|
| Punto 2 (S2) | 56.50 | 61.00 | 0 | 12 |
| Punto 3 (S1) | 67.25 | 60.75 | 0 | 22 |
| Punto 4 (S2) | 65.00 | 60.00 | 0 | 22 |
| Punto 5 (S1) | 60.25 | 49.50 | 25 | 140 |
| Punto 6 (S2) | 58.00 | 49.00 | 25 | 140 |
| Punto 7 (S1) | 44.25 | 60.50 | 0 | 15 |
| Punto 8 (S2) | 61.50 | 60.75 | 0 | 15 |
| Punto 9 (S2) | 46.75 | 60.50 | 0 | 24 |

Nota. Elaboración Propia.

3.3.2 Aplicación de IoT en Proyecto.

Uno de los requerimientos de esta maestría incluye desarrollar habilidades de programación básicas en Python, así como experiencia en plataformas como Android Studio, Visual Studio, Pycharm, manejo de datos y servicios en la nube. Lo que nos llevó a la tarea de desarrollar una aplicación móvil la cual se adaptara a las características técnicas y propias de nuestro sistema de control sin tener que realizar modificaciones serias en el circuito de control.

La aplicación móvil consta de 4 pantallas que se programaron de tal forma:

- Pantalla Principal (home); Se muestran 3 fotografías del exterior e interior del secador solar con el fin de visualizar el sistema que se está controlando.





- Graficas; Visualizamos dos gráficos de líneas mostrando en ellas los datos de temperatura de cada cámara deshidratadora, estos datos se encuentran en la base de datos de Cloud Firestore de Google, y son consumidos por la aplicación.
- Datos; en esta pantalla al igual que en la de graficas, consumimos los datos de forma que se muestran en formato de lista el cual incluye fecha y hora exacta en que el microcontrolador esta registrando. Aquí mismo se agrego una pestaña de “consulta” en la cual introducimos una fecha y hora asignada y nos muestra los datos recopilados en ese intervalo.
- Control Wi-Fi; aquí se agregaron dos botones del tipo booleano que sirven para encender y apagar un led integrado en microcontrolador con el fin de reprogramarlo para que nos genere una apertura y cierre de las válvulas en forma manual y el otro botón para que nos encienda y apague el modo automático del sistema de control de temperatura del secador.

Los servicios en la nube se trabajaron en la consola Firebase de Google accediendo así a la Cloud Firestore, en la cual se definieron las siguientes características que fueron necesarias para el manejo y almacenamiento de datos extraídos del dispositivo generador (microcontrolador ESP32):

- Se inicio una colección llamada “Secador Solar “esta también se define en la programación del dispositivo y nos genera documentos de forma automática cada cierto tiempo programable, dentro de los cuales se generan tres campos:
 - i. Fecha: “xxxx-xx-xx xx: xx:xx”.



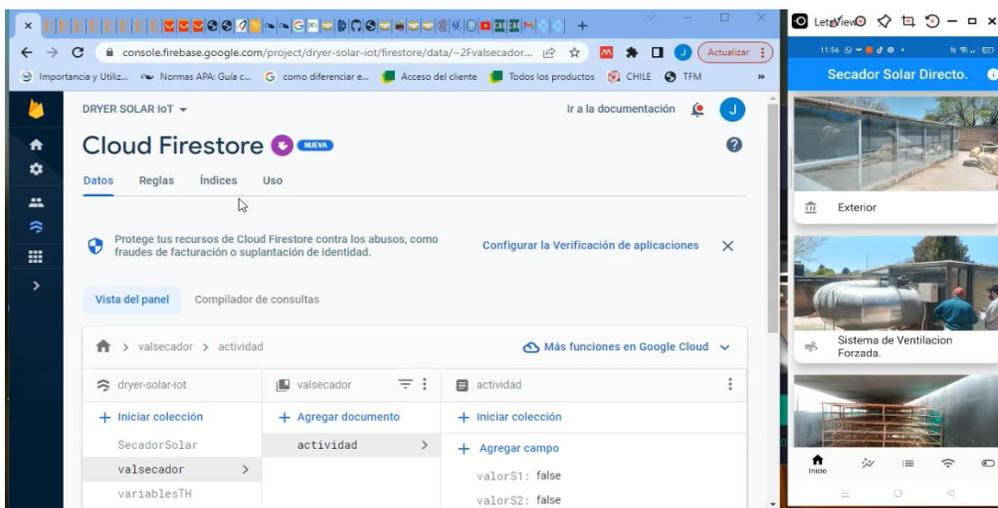


- ii. Temperatura1: xx.xx.
- iii. Temperatuta2: xx. xx.
- Se inicia otra colección llamada “valsecador” de igual manera se define en el dispositivo y genera documentos con los siguientes campos:
 - i. valorS1: false/true (booleano).
 - ii. valorS2: false/true (booleano).

Todo lo antes mencionado se puede visualizar en la siguiente figura.

Figura 25.

Cloud Firestore.



Nota. Elaboración Propia.

3.3.3 Sistema de Control de Temperatura Final en Deshidratador Solar.

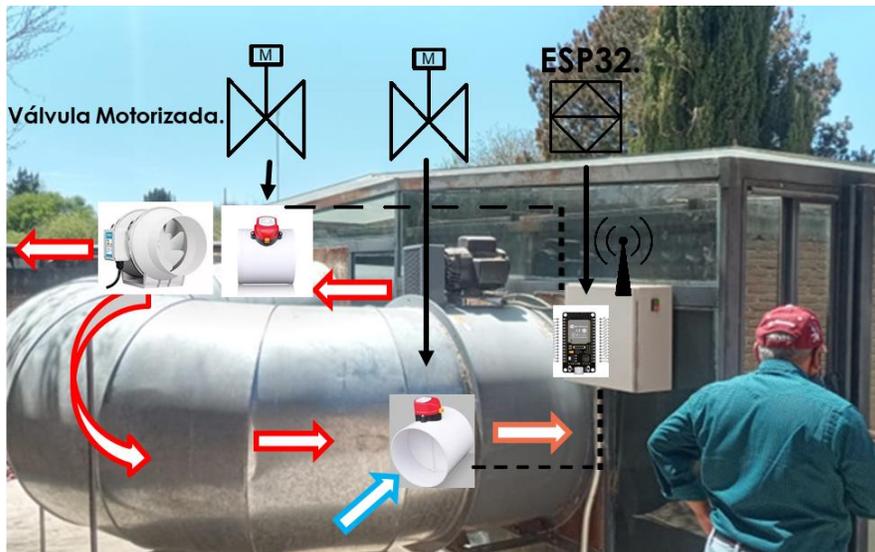
Después de la aplicación del internet de las cosas en nuestro proyecto tuvimos que realizar ajustes en nuestro sistema de control, cambiamos el uso del PLC Logo de Siemens por el microcontrolador ESP32 por las ventajas de usar nuestra aplicación móvil y lo



servicios en la nube, agregamos también como actuador de apoyo un extractor en serie con la válvula de salida, indicado en la siguiente figura 26.

Figura 26.

Instalación de Equipos Final.



Nota. Elaboración Propia.

En la figura 27 se puede ver el sistema de control que corresponde a uno de tipo lazo cerrado, en donde se indica en bloques cada parte del sistema, este diagrama de flujo esta dado en sentido de las manecillas del reloj por lo tanto describiremos de forma breve cada recuadro:

1. Secador solar; Es nuestra planta controlada en la que se desarrolló todo el proyecto de investigación.
2. Unidad de medición; Es el equipo que se diseñó para tomar las mediciones físicas de la temperatura dentro de las dos cámaras de deshidratado, dentro de este equipo





está conectado el termopar por comunicación SPI al ATmega328p y del microcontrolador a la unidad transceptora por SPI (interfaz periférica en serie), este módulo NRF24L01 comunica el dato de temperatura por radio frecuencia a la unidad receptora.

3. Unidad Receptora; consta de un módulo NRF24L01 + PA + LNA con antena que recibe el dato y lo comunica por SPI al microcontrolador ESP32 para su posterior procesamiento.
4. Control On/Off; Aquí se procesan los valores de temperatura generados por cada unidad de medición, de tal manera que se ejecuta un control de tipo todo o nada, para permanecer en una ventana de valores con límite superior e inferior de temperatura, como salida de este bloque se tiene un voltaje de control de 5vcd que se abandera con dos relevadores que controlan 24 VCD para la apertura y cierre de las válvulas. Otro relevador controla 110vca para encender y apagar un extractor.

Otro proceso que se ejecuta en este bloque es el envío, recepción de datos y comandos entre la Cloud de Firestore, aplicación móvil y dispositivo, por medio de comunicación Wi-Fi propia del microcontrolador.

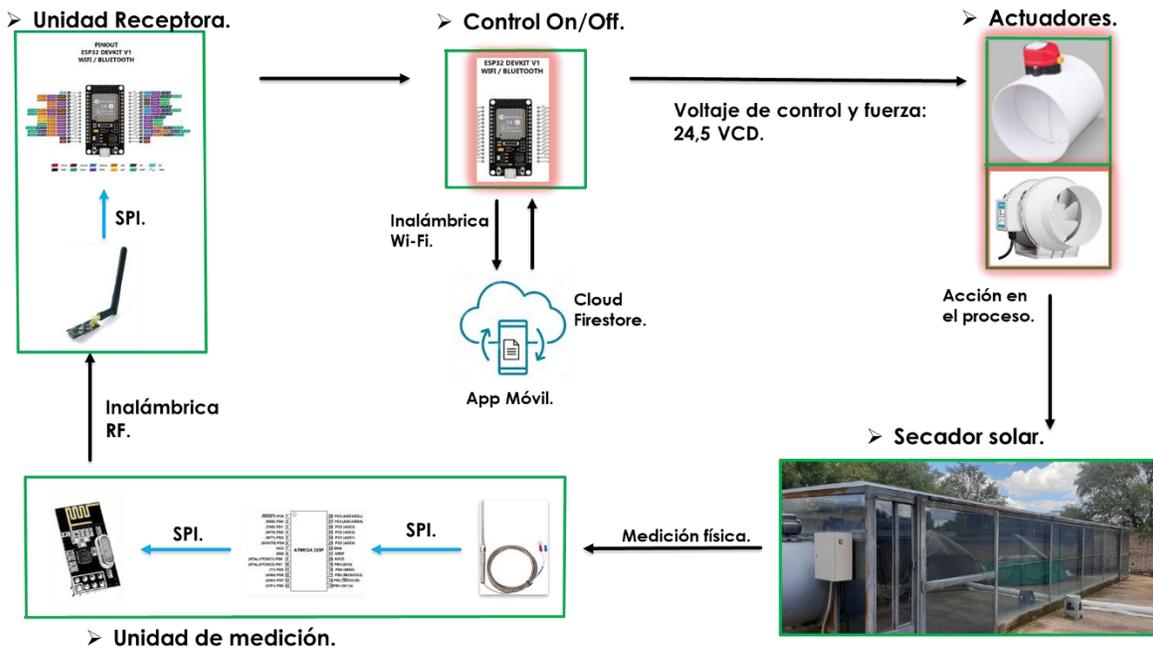
5. Actuadores; especificamos dos válvulas de mariposa, una para el ingreso de aire fresco que sirve para bajar la temperatura del interior del deshidratador, otra válvula para la salida de aire caliente o vapor.

Un extractor que sirve para forzar la extracción del vapor y hacer más eficiente el control automático, estos actuadores relazan una acción o perturbación en el proceso de la planta llamada Secador Solar.



Figura 27.

Sistema de Control Actualizado.



Nota. Elaboración Propia.

3.3.4 Instalación Final de Sistema de Medición y Control en Deshidratador Solar.

A continuación, se agregan fotografías de la instalación de los equipos de medición, control y adecuaciones que se realizaron en el deshidratador para su correcto funcionamiento.

Figura 28.

Posicionamiento de Sensores.





a)



b)

Nota. Elaboración Propia, Termopar en cámara 1 a) y en cámara 2 b).

Figura 29.

Instalación de Válvula de Entrada de Aire.

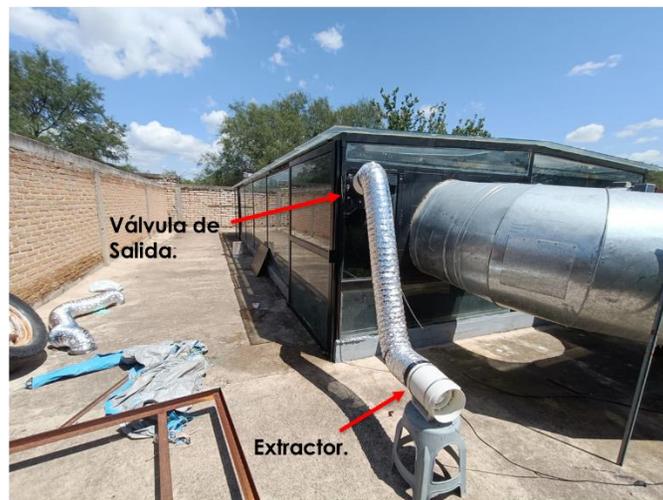
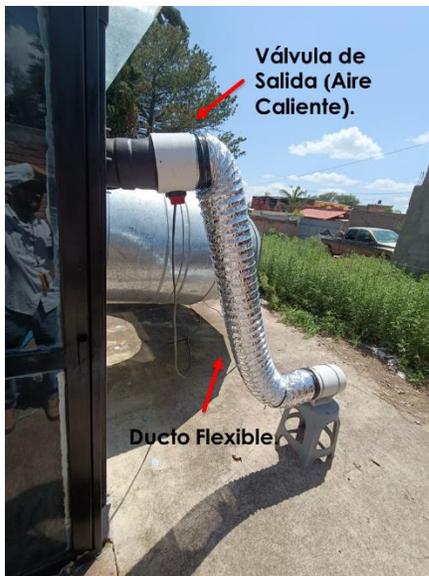




Nota. Elaboración Propia.

Figura 30.

Instalación de Actuadores.



Nota. Elaboración Propia.





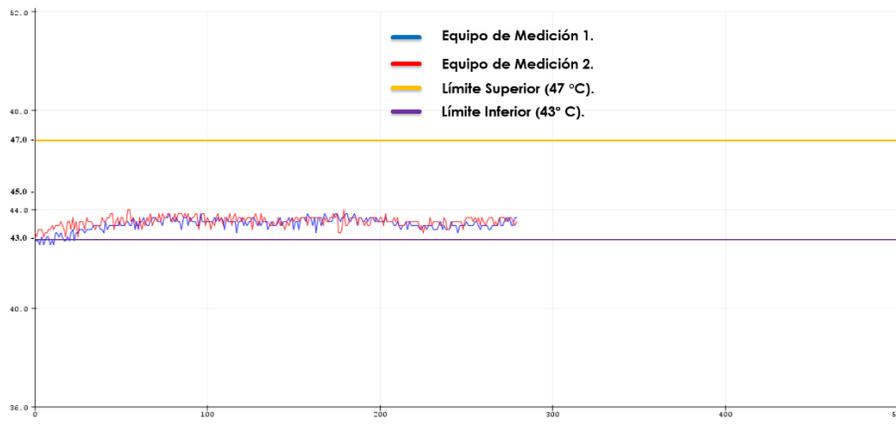
Capítulo 4 Resultados y discusión.

En la siguiente gráfica (Figura 31) se observa como al poner en funcionamiento el control automático con límite superior de 47°C y como límite inferior 43°C, las temperaturas de ambas cámaras empiezan a subir de forma lenta pero constante iniciando en 43°C, teniendo en cuenta que las válvulas de entrada, salida están cerradas y el extractor se encuentran apagado, esto con el fin de aumentar la temperatura en el interior por medio de la radiación solar que incide de forma directa sobre el deshidratador.

4.1 Control Automático On/Off Intervalo 43 °C a 47 °C.

Figura 31.

Grafica de Medición de Temperaturas con Control Activado #1.



Nota. Elaboración Propia.

Se continua con las mediciones del control activado, en esta grafica (Figura 32) se observa como la temperatura al llegar al límite superior de 47 °C, el control ejecuta la orden

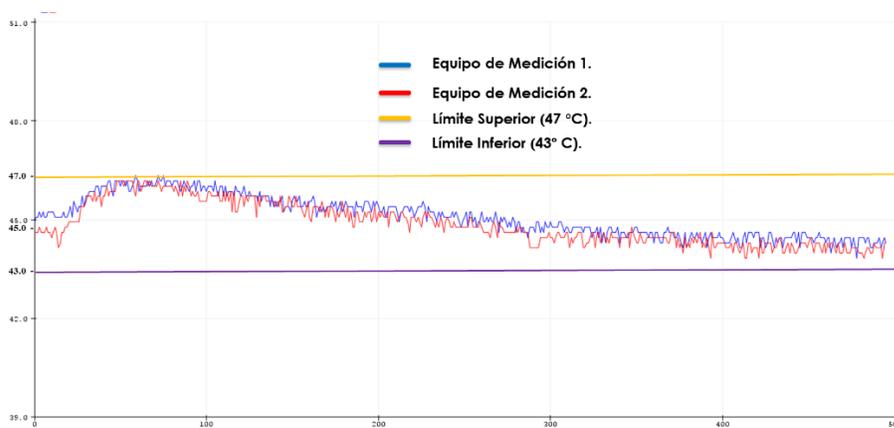




de abrir válvula de entrada de aire fresco para bajar la temperatura, la válvula de salida para dejar pasar el aire caliente que se generó y también enciende el extractor para una rápida salida de aire y baja de temperatura.

Figura 32.

Grafica de Medición de Temperaturas con Control Activado #2.



Nota. Elaboración Propia.

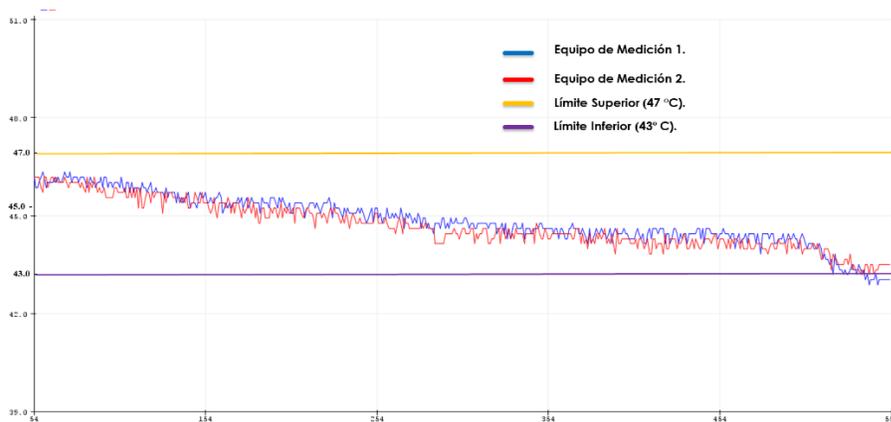




Como descripción de la siguiente grafica (Figura 33) se visualiza como la temperatura descendió hasta el límite inferior de 43 °C como se tiene programado en el control on/off.

Figura 33.

Grafica de Medición de Temperaturas con Control Activado #3.



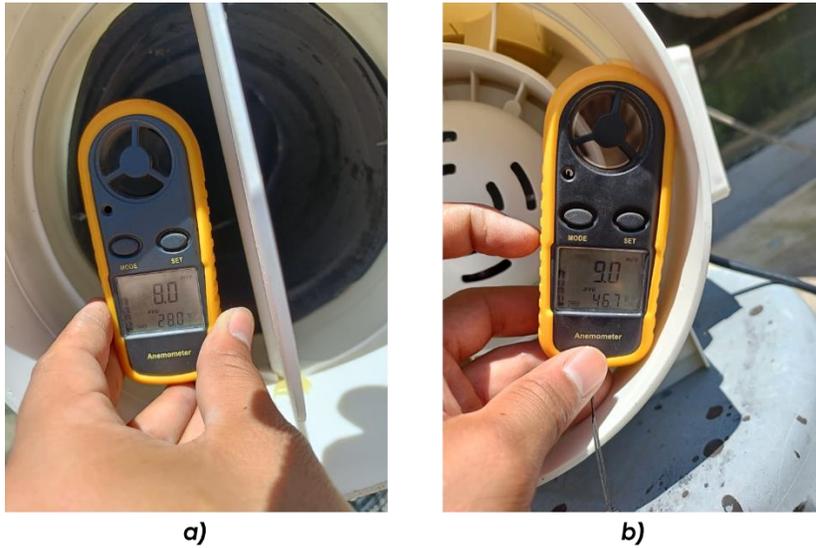
Nota. Elaboración Propia.

En esta figura se posiciono un anemómetro para realizar las mediciones de temperatura y velocidad en la entrada y salida para contrastar con las mediciones internas de los sensores y verificar que efectivamente se está extrayendo aire caliente. En la entrada se tiene 28 °C con una velocidad de 8 m/s y en la salida 46.7 °C con 9 m/s.



Figura 34.

Mediciones en Actuadores #1.

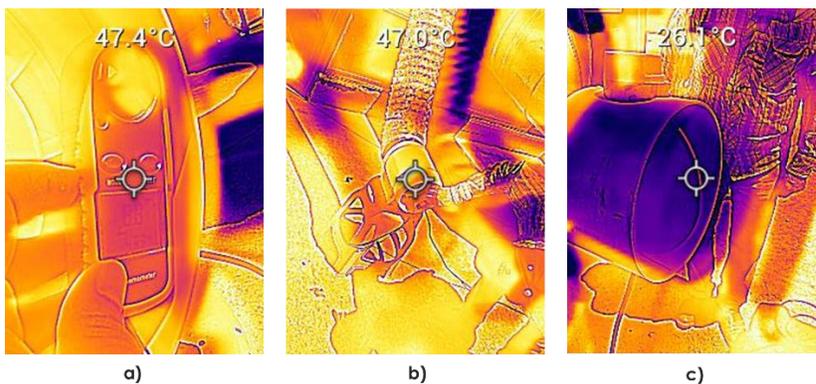


Nota. Elaboración Propia, Medición de velocidad y Temperatura en la Entrada de Aire a) y en Salida Del Extractor b).

Se utilizo una cámara termográfica para contrastar los resultados de las gráficas con los de las siguientes termografías (Figura 35).

Figura 35.

Mediciones con Cámara Termográfica #1.





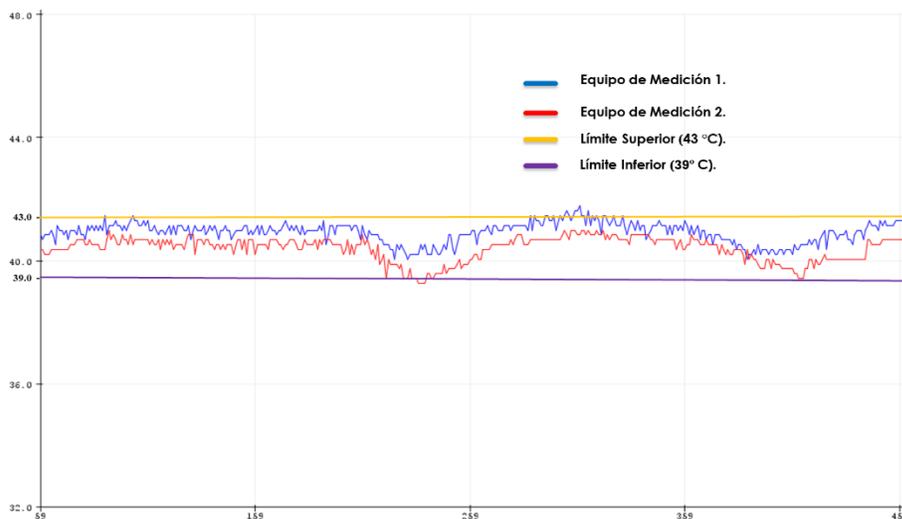
Nota. Elaboración Propia, termografía en salida del extractor a) y Termografía de la carcasa b).

4.2 Control Automático On/Off Intervalo 39 °C a 43 °C.

Al igual que en el intervalo anterior, en la siguiente gráfica (Figura 36) se visualiza el funcionamiento del control automático con límite superior de 43°C y como límite inferior 39°C, como las temperaturas de ambas cámaras permanecen dentro de la ventana de valores que se le asignaron a los límites, afirmando así que el control On/Off funciona perfectamente, teniendo en cuenta que las válvulas de entrada, salida fluctúan entre apertura, cierre y el extractor entre encendido y apagado.

Figura 36.

Grafica de Medición de Temperaturas con Control Activado #4.



Nota. Elaboración Propia.



Al igual que en la figura de Mediciones en Actuadores #1, en esta se muestran los valores de temperatura, velocidad de salida y entrada, cambiando los límites, en el extractor se tiene 7.9 m/s y 41.8 °C, y en la válvula de entrada de aire fresco se tiene 7.7 m/s y 30.9 °C.

Figura 37.

Mediciones en Actuadores #2.



a)



b)

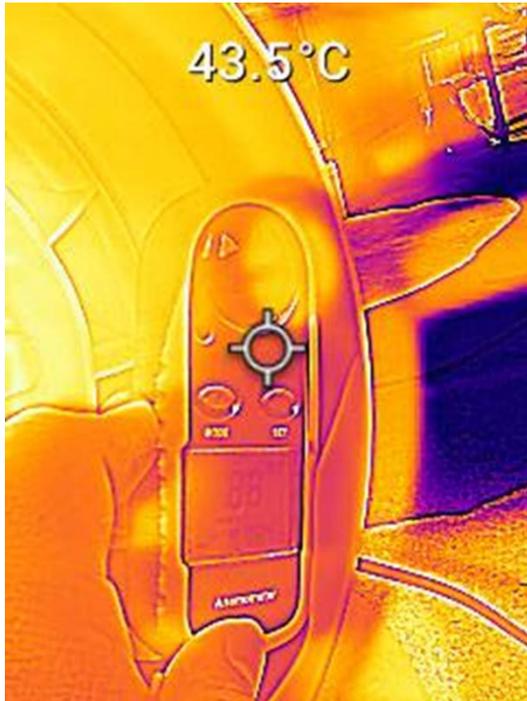
Nota. Elaboración Propia, Medición de velocidad y Temperatura en la Extracción de Aire **a)** y en la Válvula de Entrada **b)**.

Se compara visualmente la temperatura del anemómetro en los actuadores con la visualizada por la cámara termográfica.



Figura 38.

Mediciones con Cámara Termográfica #2.



Nota. Elaboración Propia, termografía tomada en la salida del extractor.





Capítulo 5 Conclusiones y recomendaciones.

Las mediciones de temperatura dados en diferentes puntos de la cámara de deshidratado tal es el caso de la figura 20 de los puntos uno y dos nos indican que en un intervalo de 0 a 12 minutos según la tabla 1, las temperaturas alcanzan el punto de equilibrio, las dos temperaturas 61.25 °C y 61.00 relativamente en algún instante tienen el mismo nivel. Así tenemos cuatro mediciones de la matriz correspondientes a los puntos tres (60.75 °C), cuatro (60.00 °C), cinco (49.50), y seis (49.00), los cuales se comportan de la misma manera, pero en niveles diferentes. Observamos el punto siete y ocho con valores de temperatura final de 60.50 °C y 60.75 °C en un intervalo de tiempo de 0 a 15 minutos. Como medición extra se tomó como referencia el punto siete contrastado con el punto nueve, tenemos valores de 60.50 °C y 60.50 °C en un lapso de 0 a 24 minutos. Estos niveles en cada punto nos indican que efectivamente existe la homogeneidad de temperaturas provocadas por la ventilación forzada.

Interpretando el análisis de las mediciones de las temperaturas nos damos cuenta de que la posición adecuada para colocar uno de los dos sensores es en la parte central del volumen de cada cámara donde la temperatura mantiene una media estadística, por lo que se determina el punto de instalación en la posición 1. Al igual el comportamiento de las temperaturas internas al tener una perturbación en cada cambio de posición del termopar, es que la respuesta de la planta a una entrada escalón unitario se obtiene de manera experimental y se caracteriza al proceso mediante un modelo simple de primer orden con tiempo de retardo. Lo importante es que en el proceso caracterizado se incluye el comportamiento dinámico de la válvula de control y del sensor/transmisor. El modelo que se empleará





para caracterizar el proceso es el siguiente:

Ecuación 1.

Función de Transferencia.

$$G(s) = \frac{Ke^{-t_0s}}{\tau s + 1}$$

Nota. Adaptado de “Control De Temperatura Y Humedad Relativa Para Un Deshidratador Solar De Frutas” (p.32), por Erika J Giraldo, 2014, Universidad Tecnológica De Pereira.

Donde:

- K es la ganancia del proceso en estado estacionario.
- t_0 es el tiempo muerto del proceso.
- t es la constante de tiempo del proceso.

El funcionamiento hasta este punto fue aceptable se logró bajar la temperatura de la cámara de acuerdo con los parámetros establecidos, temperatura no mayor a 60 grados centígrados y no menor a 50 grados. Se logro la extracción del vapor mediante la acción sincronizada de válvulas y extractor, una válvula para el ingreso de aire frío del exterior, otra válvula para la salida de vapor, calor y el extractor hacer más enérgica la extracción.

Con los resultados obtenidos podemos concluir que la hipótesis es verdadera y el control nos permite mejorar la calidad del producto y eficiencia del proceso de deshidratado al conocer la temperatura en tiempo real, poder controlar la temperatura y tomar las decisiones acertadas de retirar o mantener el producto por más tiempo dentro del proceso de





deshidratado impactando así directamente en el porcentaje de humedad y apariencia que la norma (NMX-FF-107/1-SCFI-2014, 2014) exige.





Capítulo 6 Referencias

- Cebolla, C., & Santoro, J. (2019). *AutoCAD 2019 Curso práctico*. Ciudad de México: Ra-Ma.
- Clearpath. (2020). *Clearpathrobotics*. Recuperado el 06 de 2020, de Clearpath: <https://clearpathrobotics.com/>
- Dogra, S., & Willis, J. (2018). *Solidworks 2019 A power Guide for Beginners and Intermediate Users* (6 ed.). CADArtifex.
- Earthsense. (2021). *Earthsense*. Recuperado el 07 de 2020, de Earthsense: <https://www.earthsense.co>
- Falck, B., Falck, D., & Collette, B. (2012). *Freecad [How-To]*. Packt Publishing Ltd.
- Ferrara, A., Incremona, G., & Regolin, E. (2019). Optimization-based adaptive sliding mode control with application to vehicle dynamics control. *International Journal of Robust and Nonlinear Control*, 29(3), 550-564.
- González, V. (2017). *Tecnologías bluetooth aplicadas al control de vehículos terrestres no tripulados para aspersión de agroquímicos*. Colima.
- Grayson, J. (2000). *Python and Tkinter programming*. Greenwich: Manning Publications Co.
- Hao, Y. A. (2005). Planning and control of UGV formations in a dynamic environment: A practical framework with experiments. *Robotics and Autonomous systems* 51 (2-3), 101-110.
- Herbert, M. H. (2012). *Intelligent unmaned ground vehicles: autonomous navigation research at Carnegie Mellon*. Pittsburgh: Springer Science Bussines Media.
- Laghrouche, S. P. (2007). Higher order sliding mode control based on integral sliding mode. *Automatica*, 43(3), 531-537.
- Liu, J. (2017). *Sliding Mode Control Using MATLAB*. Beijing, China: Academic Press.
- Lutz, M. (2013). *Learning python: Powerful object-oriented programming*. O'Reilly Media, Inc.
- Manzanilla, A., Ibarra Jiménez, E., Salazar, S., Zamora, Á., Lozano, R., & Muñoz, F. (2021). Super-twisting integral sliding mode control for trajectory tracking of an Unmanned Underwater Vehicle. *Ocean Engineering*, 234, 109-164.





Martín, F. J., & Castiel, E. F. (2017). *Fitotécnica, Principios de agronomía para una agricultura sostenible* (1° ed.). Mundi-Prensa.

Mendoza Mendoza, J. A., Gonzalez, V., Sepúlveda, G., Mendez, M., & Sossa, H. (2020). *Advanced Robotic Vehicles Programming*. Ciudad de México: Apress.

Ortuño, J. M. (2019). *Fundamentos agronómicos*. Síntesis.

Roldán, J. J.-R.-A. (2018). *Robots in Agriculture: State of Art and Pratical Experiences*. In Service Robots. InTech.

Sagarobotics. (2020). *Sagarobotics*. Recuperado el 06 de 2020

Shtessel, Y., Edwards, C., & Fridman, L. (2014). *Sliding mode control and observation* (Vol. 10). New York: Springer New York.

Suárez, M. V., & Vázquez, A. G. (2018). *Desarrollo sustentable, Un nuevo Mañana* (2a ed.). México: Grupo editorial patria.

Tutorial books. (2021). *FreeCAD 0.19, Learn by doing* (1 ed.). Coppel, Texas, United States of America: Tutorial books.

Utkin, V. I. (2013). *Sliding Modes in Control and Optimization*. Springer Science & Business Media.

Utkin, V., & Chang, H. (2002). Sliding mode control on electro-mechanical systems. *Mathematical problems in Engineering*, 8(4-5), 452-473.

Yuri Shtessel, C. E. (2014). *Sliding Mode Control and Observation*. Birkhäuser.





Anexos

Productos Entregables.

CIFCA 2023 ZONA NORTE
CONGRESO INTERNACIONAL DE FORTALECIMIENTO DE CUERPOS ACADÉMICOS Y GRUPOS DE INVESTIGACIÓN

La Red Iberoamericana de Academias de Investigación, A.C. REDIBAI
Otorga la presente
CONSTANCIA
a

Jesús Adrián Rodríguez Gurrola

Por su ponencia titulada
INTEGRACIÓN DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN DE TEMPERATURA EN SECADOR SOLAR DIRECTO CON CONVECCIÓN FORZADA
la cual fue presentada a través de la línea de INNOVACIÓN AGROINDUSTRIAL en el Congreso Internacional de Fortalecimiento de Cuerpos Académicos y Grupos de Investigación CIFCA 2023 Zona Norte, celebrado los días 24, 25 y 26 de mayo con sede en la ciudad de Victoria de Durango, Tgto.

DR. DANIEL ARMANDO CORDERO GÓMEZ, Presidente, Red Iberoamericana de Academias de Investigación
DR. GUILLERMO DE ANDA RODRÍGUEZ, Director, Instituto Tecnológico de Durango

ENFOQUES MULTIDISCIPLINARIOS DE LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA Y AGROINDUSTRIAL EN LOS CIRCUITOS DE PRODUCCIÓN, DISTRIBUCIÓN Y CONSUMO

COORDINADORES
EDUARDO GARRIDO INDA, JOSÉ ANTONIO MARRIÑEZ RIVERA, JORGE GUERRERO RIVERA, FRANCISCO JAVIER GONZÁLEZ GARCÍA, JOSUÉ ORTIZ MORALES, GISELE ENRANDE BAEZ, HERNÁNDEZ, GREGORIO FLORENTINA LÓPEZ, ADALDO GONZÁLEZ OBESO, VIRIDIANA HUANAMAN CARRILLO, JOSÉ LUIS RODRÍGUEZ ALVAREZ, DARIO CISNEROS ARREOLA, MÓNICA SIVALES MARTA ESCOBEDO, EDGAR GUSTAVO LÓPEZ SAUT, OSCAR GILBERTO ALANZ VILLANUEVA, LILIA ANTONIETA SALAZAR CADENGO.

SEDECO, Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Durango, TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO, RED IBAI

Cumbre Nacional de Desarrollo Tecnológico, Investigación e Innovación, InnovaTECHN4 2023
Instituto Tecnológico de Durango
Etapas 2
Etapa Local

MEMORIA DEL PROYECTO

| | |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Fecha: | 4/2/2024 |
| Nombre corto: | DryControlTech |
| Nombre descriptivo: | INTEGRACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA EN SECADOS SOLAR DIRECTO CON CONVECCIÓN FORZADA |
| Categoría: | Sector Agroalimentario |
| Sector estratégico: | Tecnificación de la producción agrícola |
| Naturaleza técnica: | Ciencias Eléctricas |

| Autores | | | |
|------------------------------------|------------------------|---|----------------------------------|
| JESUS ADRIAN RODRIGUEZ GURROLA | Maestría en Ingeniería | 3 | 69930453 10040779@durango.edu.mx |
| LEONEL IVAN GARCIA MORENO | Maestría en Ingeniería | 3 | 69878448 1404740@durango.edu.mx |
| JOSE ALBERTO COMEZ ELZALDE | Maestría en Ingeniería | 3 | 69834458 1604279@durango.edu.mx |
| MANUEL DE JESUS CABRILLO VELAZQUEZ | Maestría en Ingeniería | 2 | 69833574 1604564@durango.edu.mx |
| PATRICIA AYALA VESDIN | Maestría en Ingeniería | 3 | 69832597 2204032@durango.edu.mx |

| Asesores | |
|----------------------------|-----------------------------|
| AURELIO CASTILLO URÁN | scastill@durango.edu.mx |
| NORMA ALCIA GARCIA VIDALIA | norma.garcia@durango.edu.mx |

Descripción de la problemática y justificación

Actualmente en el proceso de deshidratado de Chile poblano se realiza por medio de un secador solar directo con convección forzada (aire), cuyo control de temperatura se hace a cargo de manera manual lo que provoca la reducción o aumento de la temperatura, por lo tanto, el vapor generado de la deshidratación del Chile es liberado al medio ambiente, dando secado a los subproductos que pueden llegar a contener.

Ya que la temperatura del proceso debe oscilar entre 50 y 60 grados centígrados, de preferencia mantenerse a 55 °C durante 8 horas continuas, para obtener como resultado el Chile deshidratado en las condiciones que la NMX-FF-2023-SCN-204 exige.

Dado el caso que no existe un control sobre la variable de temperatura, de forma precisa y automática, se tiene que implementar un sistema de control para la recuperación del vapor generado en las cámaras, durante la deshidratación.

Estado de la técnica (estado del arte)

La Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2022, dice que México es el segundo productor con más de 140 mil hectáreas al cultivo de este fruto. El Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2019, marca una producción anual de 198230 Ton.

El Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2020, dice que Durango cuenta con 538.8 ha de superficie sembradas 538 ha cosechadas, o ha sembradas como resultado una producción de 86082 Ton con un valor de \$200,483,845.00, del cual pertenece al municipio de Etzeatla sembrada y cosecha de 4625a ha, una producción de 4625a Ton destinado para el secado de este producto, después del proceso de deshidratación

Figura 16

EL TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO A TRAVÉS DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO DE DURANGO
OTORGA LA PRESENTE

CONSTANCIA
A

JESÚS ADRIÁN RODRÍGUEZ GURROLA

POR SU PARTICIPACIÓN CON EL PROYECTO "DRYCONTROLTECH" EN LA CATEGORÍA "SECTOR AGROALIMENTARIO" DE NIVEL "POSGRADO" EN LA CUMBRE NACIONAL DE DESARROLLO TECNOLÓGICO, INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN "INNOVATECHN4 2023" EN SU ETAPA LOCAL.

VICTORIA DE DURANGO, DGO., A 26 DE MAYO DE 2023

Guillermo de Anda Rodríguez
GUILLERMO DE ANDA RODRÍGUEZ
DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO DE DURANGO



Propuesta De Valor E Impacto En El Sector Estratégico.

El secador lo operan de forma manual dos trabajadores con un sueldo diario de \$207.44 que se le paga a cada uno.

Ahorro en sueldo por temporada de \$37,339.2

Mercados Nacionales Agrícolas
Frutas y Hortalizas
Precios al mayoreo de Frutas y Hortalizas - Pesos (\$) por presentación comercial
Registros del 23/05/2023 al 23/05/2023

Chile Poblano

| Destino | Precio Mín | Precio Max | Precio Frec |
|------------------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| Hortalizas | | | |
| Aguascalientes: Centro Comercial Agropecuario de Aguascalientes | 21.00 | 23.00 | 22.00 |
| Baja California : Central de Abasto INDIA, Tijuana | 250.00 | 250.00 | 250.00 |
| Baja California Sur: Unión de Comerciantes de La Paz | 22.00 | 55.00 | 40.00 |
| Campeche: Mercado "Pedro Sáinz de Baranda", Campeche | 45.00 | 50.00 | 50.00 |
| Coahuila: Central de Abasto de La Laguna, Torreón | 34.00 | 40.00 | 40.00 |
| Colima: Centros de distribución de Colima | 60.00 | 65.00 | 65.00 |
| DF: Central de Abasto de Iztapalapa DF | 380.00 | 620.00 | 420.00 |
| Durango: Centro de Distribución y Abasto de Gómez Palacio | 17.00 | 19.00 | 18.50 |
| Guanajuato: Central de Abasto de León | 20.00 | 23.00 | 20.00 |

DryControlTech

Mercados Nacionales Agrícolas
Frutas y Hortalizas
Precios al mayoreo de Frutas y Hortalizas - Pesos (\$) por presentación comercial
Registros del 23/05/2023 al 23/05/2023

Chile ancho

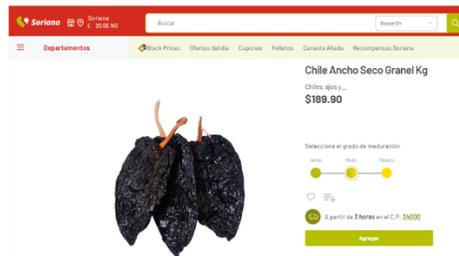
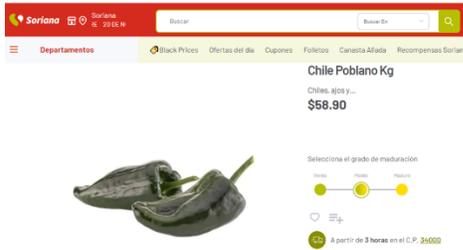
| Destino | Precio Mín | Precio Max | Precio Frec |
|------------------------------------------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| Chiles Secos | | | |
| Aguascalientes: Centro Comercial Agropecuario de Aguascalientes | 145.00 | 165.00 | 155.00 |
| Baja California Sur: Unión de Comerciantes de La Paz | 120.00 | 150.00 | 135.00 |
| Campeche: Mercado "Pedro Sáinz de Baranda", Campeche | 130.00 | 140.00 | 130.00 |
| Coahuila: Central de Abasto de La Laguna, Torreón | 120.00 | 130.00 | 127.00 |
| Chiapas: Central de Abasto de Tuxtla Gutiérrez | 140.00 | 148.00 | 140.00 |
| Chihuahua: Central de Abasto de Chihuahua | 150.00 | 175.00 | 150.00 |
| DF: Central de Abasto de Iztapalapa DF | 130.00 | 137.00 | 135.00 |
| Durango: Centro de Distribución y Abasto de Gómez Palacio | 140.00 | 149.00 | 145.00 |
| Guanajuato: Central de Abasto de León | 140.00 | 145.00 | 140.00 |





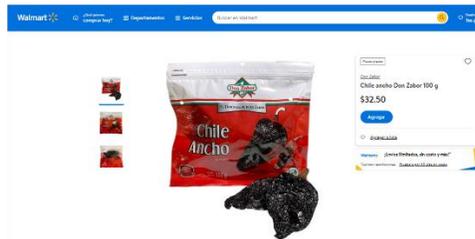
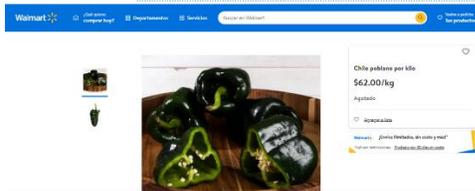
CLASE I.

Supermercado Nacional.



Clase Extra (Exportación).

Supermercado Multinacional.



Mercado de Abastos.

- Chile Poblano: \$18.5/kg.
- Chile ancho seco \$145/kg.
- Margen de ganancia \$126.5/kg.
- \$126,500/Ton.



Supermercado Nacional.

- Chile Poblano \$58.9/kg.
- Chile ancho seco \$189.9/kg.
- Margen de ganancia \$131.0/kg.
- \$131,000/Ton.



Multinacional.

- Chile Poblano \$62.0/kg.
- Chile ancho seco \$325.0/kg.
- Margen de ganancia \$263.0/kg.
- \$263,000/Ton.

