



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y COMUNICACIONES**

**Tema:**

---

**SISTEMA DE DESHIDRATACIÓN DE FRUTAS EMPLEANDO UN HORNO SOLAR Y MONITOREO MEDIANTE TECNOLOGÍA IOT.**

---

Trabajo de Titulación Modalidad: Proyecto de Investigación, presentado previo a la obtención del título de Ingeniero en Electrónica y Comunicaciones

**ÁREA:** Física y Electrónica

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:** Sistemas electrónicos

**AUTOR:** Christian Paul Acosta Moreno

**TUTOR:** Ing. Julio Enrique Cuji Rodríguez, Mg

**Ambato – Ecuador**

**marzo – 2023**

## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

En calidad de tutor del Trabajo de Titulación con el tema: SISTEMA DE DESHIDRATACIÓN DE FRUTAS EMPLEANDO UN HORNO SOLAR Y MONITOREO MEDIANTE TECNOLOGÍA IOT, desarrollado bajo la modalidad Proyecto de Investigación por el señor Christian Paul Acosta Moreno, estudiante de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, me permito indicar que el estudiante ha sido tutorado durante todo el desarrollo del trabajo hasta su conclusión, de acuerdo a lo dispuesto en el Artículo 15 del Reglamento para obtener el Título de Tercer Nivel, de Grado de la Universidad Técnica de Ambato, y el numeral 7.4 del respectivo instructivo.

Ambato, marzo 2023.

-----  
Ing. Julio Enrique Cuji Rodríguez, Mg  
TUTOR

## AUTORÍA

El presente Proyecto de Investigación titulado: SISTEMA DE DESHIDRATACIÓN DE FRUTAS EMPLEANDO UN HORNO SOLAR Y MONITOREO MEDIANTE TECNOLOGÍA IOT es absolutamente original, auténtico y personal. En tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, marzo 2023.



---

Christian Paul Acosta Moreno

C.C. 1805197553

AUTOR

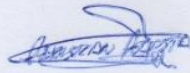


## DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga uso de este Trabajo de Titulación como un documento disponible para la lectura, consulta y procesos de investigación.

Cedo los derechos de mi Trabajo de Titulación en favor de la Universidad Técnica de Ambato, con fines de difusión pública. Además, autorizo su reproducción total o parcial dentro de las regulaciones de la institución.

Ambato, marzo 2023.



---

Christian Paul Acosta Moreno

C.C. 1805197553

AUTOR

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO**

En calidad de par calificador del Informe Final del Trabajo de Titulación presentado por el señor Christian Paul Acosta Moreno, estudiante de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, bajo la Modalidad Proyecto de Investigación, titulado SISTEMA DE DESHIDRATACIÓN DE FRUTAS EMPLEANDO UN HORNO SOLAR Y MONITOREO MEDIANTE TECNOLOGÍA IOT, nos permitimos informar que el trabajo ha sido revisado y calificado de acuerdo al Artículo 17 del Reglamento para obtener el Título de Tercer Nivel, de Grado de la Universidad Técnica de Ambato, y al numeral 7.6 del respectivo instructivo. Para cuya constancia suscribimos, conjuntamente con la señora Presidenta del Tribunal.

Ambato, marzo 2023.

-----  
Ing. Pilar Urrutia, Mg.  
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

-----  
Ing. Marco Antonio Jurado Lozada Mg.  
PROFESOR CALIFICADOR

-----  
Ing. Mario Geovanny García Carrillo Mg.  
PROFESOR CALIFICADOR

## **DEDICATORIA**

*El presente trabajo de investigación se lo dedico infinitamente a Dios, por darme la vida y fortaleza necesaria para no rendirme, a mi padre Vicente Acosta que desde el cielo me envía bendiciones y su apoyo incondicional.*

*A mi madre Teresa Moreno quien siempre confío en mis capacidades y es el motor fundamental para no desistir, a mis hermanos quienes me sirvieron como ejemplo de esfuerzo y dedicación para cumplir mis metas.*

*A mis amigos, compañeros que me brindaron sus conocimientos cuando más lo necesitaba a largo del trayecto universitario.*

*Christian Paul Acosta Moreno*

## **AGRADECIMIENTO**

*A mis padres que siempre me encaminaron por un buen Sendero, ensañándome el valor del esfuerzo y la humildad.*

*Un agradecimiento enorme a la Universidad Técnica de Ambato en especial a la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, por ser la principal guía de este camino, A los ingenieros quienes compartieron sus conocimientos y sus experiencias.*

*A mis amigos que me apoyaron a lo largo de esta etapa estudiantil ya que sin ellos no hubiera sido posible conseguir este anhelado sueño.*

*Finalmente, a mi tutor el ingeniero Julio Cuji que aportó con su conocimiento para el desarrollo de este trabajo siendo un ejemplo a seguir y un excelente profesional.*

## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN TRIBUNAL DE GRADO .....	iv
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO .....	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS .....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xv
RESUMEN EJECUTIVO.....	xvi
ABSTRACT .....	xvii
Introducción.....	xviii
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO .....	1
1.1. Tema de Investigación .....	1
1.2 Antecedentes Investigativos.....	1
1.2.1. Contextualización del problema.....	4
1.2.2 Fundamentación Teórica .....	5
1.2.2.1 Deshidratación de alimentos.....	5
1.2.2.2 Parámetros de deshidratación .....	5
1.2.2.3 Métodos de conservación de frutas.....	6
1.2.2.4 Propiedades de las frutas.....	7
1.2.2.5 Frutos deshidratados .....	7
1.2.2.6 Importancia del consumo de los frutos deshidratados .....	8
1.2.2.7 Proceso para la deshidratación de frutas .....	8
1.2.2.8 Tipos de deshidratadores.....	9
1.2.2.9 Radiación Solar.....	10
1.2.2.10 Radiación solar aprovechable.....	10
1.2.2.11 Energía solar fotovoltaica.....	11
1.2.2.12 Sistema Fotovoltaico .....	12
1.2.2.14 Deshidratadores de energía solar.....	12
1.2.2.15 Tecnología de deshidratación.....	13



1.2.2.16	Internet de las cosas.....	13
1.2.2.17	Arquitectura IoT.....	13
1.2.2.18	Cloud computing.....	14
1.2.2.19	Sistemas electrónicos de monitoreo .....	14
1.2.2.20	Adquisición de Datos .....	14
1.2.2.21	HMI.....	15
1.2.2.22	Redes LPWAN.....	15
1.2.2.23	LoRA.....	18
1.2.2.24	Modulación LoRA.....	18
1.2.2.25	Plan de frecuencias.....	20
1.2.2.26	Banda ISM.....	20
1.2.2.27	Base de datos.....	21
1.2.2.28	Microcontroladores .....	22
1.2.2.29	Redes de Sensores Inalámbricos .....	22
1.2.2.30	Servidor de Aplicaciones .....	22
1.2.2.31	Servidor Web.....	23
1.2.2.32	Protocolos de comunicación.....	23
1.2.2.34	Método de sintonización PID de Ziegler-Nichols.....	26
1.3	Objetivos.....	28
1.3.1	Objetivo General .....	28
1.3.2	Objetivos Específicos.....	28
CAPÍTULO II.....		29
METODOLOGÍA.....		29
2.1.	Materiales.....	29
2.2.	Métodos.....	30
2.2.1	Modalidad de Investigación .....	30
2.2.2	Recolección de Información.....	30
2.2.3	Procesamiento y Análisis de Datos .....	31
2.2.4	Desarrollo del Proyecto.....	31
CAPÍTULO III .....		32
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....		32
3.1	Análisis y discusión de los resultados.....	33
3.1.1	Análisis de factibilidad.....	33

3.1.2. Desarrollo de la propuesta.....	33
3.1.2.1 Forma tradicional para el deshidratado de frutas.....	33
3.1.2.3 Diseño de la estructura física del horno solar.....	36
3.1.2.4 Procedimiento para la deshidratación de frutas.....	41
3.1.2.5 Deshidratador de frutas.....	41
3.1.2.6 Selección de la niquelina.....	42
Niquelina.....	42
3.1.2.7 Selección del sensor de Temperatura y Humedad.....	45
3.1.2.8 Selección del reloj de tiempo real RTC.....	46
3.1.2.9 Selección de los dispositivos para la implementación del prototipo.....	47
3.1.2.10 Diseño del sistema fotovoltaico.....	51
3.1.2.11 Instalación del sistema fotovoltaico.....	59
3.1.2.12 Diseño del controlador PID.....	60
3.1.2.13 Función de transferencia.....	60
3.1.2.14 Etapa de acondicionamiento de la señal.....	65
3.1.2.15 Diseño del controlador.....	65
3.1.2.16 Tablero de control.....	67
3.1.2.17 Selección del proveedor de un servidor en la nube.....	68
Elaborado por: El investigador.....	72
3.1.2.18 Diagrama de flujo.....	72
3.1.2.19 Interfaz Gráfica.....	73
3.1.2.20 Telegram.....	81
3.1.2.21 Propiedades físicas de las frutas.....	83
3.1.2.22 Proceso para el deshidratado de frutas.....	83
3.1.2.23 Resultados de las frutas deshidratadas.....	87
3.1.2.24 Dimensionamiento eléctrico.....	99
3.1.1.24 Presupuesto.....	100
CAPÍTULO IV.....	101
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	102
4.1 Conclusiones.....	102
4.2 Recomendaciones.....	103
ANEXOS.....	108

## **ANEXOS**

Anexo A: Construcción del deshidratador de frutas.....	109
Anexo B: Pruebas de acondicionamiento.....	110
Anexo C: Estructura metálica para el sistema fotovoltaico.....	111
Anexo D: Pruebas de funcionamiento.....	112
Anexo E: Datasheet RTC DS1307.....	113
Anexo F: Diagrama de bloques del sistema.....	114
Anexo G: Programación del Emisor.....	115
Anexo H: Programación del Receptor.....	139

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Deshidratación de alimentos .....	5
<b>Figura 2.</b>	Pasos para la deshidratación de frutas.....	8
<b>Figura 3.</b>	Deshidratador de bandejas .....	9
<b>Figura 4.</b>	Deshidratador de charolas con aire caliente.....	9
<b>Figura 5.</b>	Deshidratador de lecho fluidizado.....	10
<b>Figura 6.</b>	Panel solar .....	11
<b>Figura 7.</b>	Partes del sistema fotovoltaico.....	12
<b>Figura 8.</b>	Arquitectura IoT.....	13
<b>Figura 9.</b>	Arquitectura LPWAN .....	16
<b>Figura 10.</b>	LoRa en las capas del modelo OSI.....	19
<b>Figura 11.</b>	Elementos de una red LoRaWAN .....	20
<b>Figura 13.</b>	Estructura del protocolo MQTT .....	24
<b>Figura 14.</b>	Control PID lazo cerrado.....	25
<b>Figura 15.</b>	Forma tradicional para el deshidratado de frutas.....	34
<b>Figura 15.</b>	Arquitectura del sistema de deshidratación de frutas .....	36
<b>Figura 16.</b>	Diseño de horno para deshidratación de frutas.....	39
<b>Figura 17.</b>	Diseño frontal y lateral de horno .....	40
<b>Figura 18.</b>	Dimensiones de las bandejas .....	40
<b>Figura 19.</b>	Sensor DHT22 .....	46
<b>Figura 20.</b>	RTC DS1307 .....	47
<b>Figura 21.</b>	Diagrama de pines del módulo Heltec LoRA Wifi 32 .....	49
<b>Figura 22.</b>	Módulo Heltec LoRA Wifi 32.....	51
<b>Figura 23.</b>	Batería 120 Ah.....	54
<b>Figura 24.</b>	Insolación directa en Ecuador.....	55
<b>Figura 25.</b>	Panel solar.....	56
<b>Figura 26.</b>	Controlador de carga .....	58
<b>Figura 27.</b>	Inversor de carga .....	58
<b>Figura 28.</b>	Diagrama de función de transferencia .....	60
<b>Figura 29.</b>	Sistema en lazo abierto .....	61
<b>Figura 30.</b>	Parámetros en un sistema de orden 1.....	62

<b>Figura 31.</b>	Salida al inyectar un escalón unitario a la entrada del sistema.....	63
<b>Figura 32.</b>	Diseño PCB .....	65
<b>Figura 33.</b>	Circuito impreso en papel de transferencia térmica .....	66
<b>Figura 34.</b>	Ruteado transferido a la baquelita .....	66
<b>Figura 35.</b>	Corrosión de la baquelita para la eliminación del exceso de cobre.....	67
<b>Figura 36.</b>	Perforación y soldadura de los componentes .....	67
<b>Figura 37.</b>	Tablero de control.....	68
<b>Figura 38.</b>	Simulación para la comunicación inalámbrica.....	72
<b>Figura 39.</b>	Diagrama de flujo emisor/receptor .....	73
<b>Figura 40.</b>	Descarga del broker .....	74
<b>Figura 41.</b>	Descomprime la carpeta del broker .....	74
<b>Figura 42.</b>	Carpeta descomprimida .....	75
<b>Figura 43.</b>	Inicio del broker.....	75
<b>Figura 44.</b>	Inicio de sesión .....	75
<b>Figura 45.</b>	Puertos abiertos en AWS.....	76
<b>Figura 46.</b>	Cliente/ Suscriptor .....	76
<b>Figura 47.</b>	Dashboard para la generación de gráficas .....	77
<b>Figura 48.</b>	Datos de entrada .....	77
<b>Figura 49.</b>	Configuración de las Propiedades en mqtt. ....	78
<b>Figura 50.</b>	Configuración del diseño de la interfaz.....	78
<b>Figura 51.</b>	Programación de parámetros .....	79
<b>Figura 52.</b>	Datos enviados a la nube .....	79
<b>Figura 53.</b>	Interfaz gráfica en node-red.....	80
<b>Figura 54.</b>	Creación del Bot .....	81
<b>Figura 55.</b>	Asignación de usuario e identificador .....	82
<b>Figura 56.</b>	Acceso al identificador .....	82
<b>Figura 57.</b>	Lavado de frutas .....	83
<b>Figura 58.</b>	Corte de frutas. ....	84
<b>Figura 59.</b>	Trozos de fruta.....	84
<b>Figura 60.</b>	Bandejas para el deshidratado de frutas. ....	85
<b>Figura 61.</b>	Tablero de control.....	85
<b>Figura 62.</b>	Fruta deshidratada.....	86
<b>Figura 63.</b>	Trozos de fresa.....	87
<b>Figura 64.</b>	Trozos de fresa en el horno solar .....	87

<b>Figura 65.</b>	Trozos de mazana .....	88
<b>Figura 66.</b>	Trozos de manzana en el horno solar .....	88
<b>Figura 67.</b>	Panel de control para dar inicio al sistema de deshidratación .....	89
<b>Figura 68.</b>	Notificación de Telegram .....	89
<b>Figura 69.</b>	Datos del sistema de deshidratación de frutas en Telegram .....	90
<b>Figura 70.</b>	Datos del proceso de deshidratación .....	91
<b>Figura 71.</b>	Panel de control a una temperatura de 50 grados. ....	92
<b>Figura 72.</b>	Curva de linealización de la manzana .....	96
<b>Figura 73.</b>	Curva de linealización de la fresa.....	98
<b>Figura 74.</b>	Historial de pruebas realizadas en node-red .....	99
<b>Figura 75.</b>	Cortes de acero inoxidable .....	109
<b>Figura 76.</b>	Estructura del horno solar.....	109
<b>Figura 77.</b>	Pruebas del circuito de acondicionamiento .....	110
<b>Figura 78.</b>	Estructura final para el sistema fotovoltaico .....	111
<b>Figura 79.</b>	Características del reloj RTC DS1307.....	113
<b>Figura 80.</b>	Diseño del diagrama de bloques del sistema de deshidratación de frutas ....	114

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b>	Métodos de conservación de frutas .....	6
<b>Tabla 2.</b>	Propiedades de frutas .....	7
<b>Tabla 3.</b>	Caracterización de zonas a escoger en la Provincia de Tungurahua.....	11
<b>Tabla 4.</b>	Comparación entre tecnologías LPWAN.....	17
<b>Tabla 5.</b>	Frecuencias ISM.....	21
<b>Tabla 6.</b>	Sintonización de Ziegler-Nichols.....	27
<b>Tabla 7.</b>	Elementos y dimensiones del deshidratador frutas .....	41
<b>Tabla 8.</b>	Comparación de niquelinas .....	43
<b>Tabla 9.</b>	Comparación de Sensores .....	45
<b>Tabla 10.</b>	Comparación de los RTC .....	46
<b>Tabla 11.</b>	Tipos de placas de desarrollo .....	47
<b>Tabla 12.</b>	Distribución de pines del módulo Heltec LoRA Wifi 32 (v2) .....	50
<b>Tabla 13.</b>	Tipos de baterías.....	54
<b>Tabla 14.</b>	Insolación directa en el Ecuador .....	54
<b>Tabla 15.</b>	Especificaciones de los controladores de carga .....	57
<b>Tabla 16.</b>	Especificaciones de los inversores de carga.....	58
<b>Tabla 17.</b>	Sistema Fotovoltaico .....	59
<b>Tabla 18.</b>	Proveedores de servicios en la nube.....	68
<b>Tabla 19.</b>	Ubicación de las estaciones.....	70
<b>Tabla 20.</b>	Propiedades físicas de frutas .....	83
<b>Tabla 21.</b>	Frutas utilizadas en las pruebas .....	86
<b>Tabla 22.</b>	Datos proceso de deshidratado de frutas .....	90
<b>Tabla 23.</b>	Datos proceso de deshidratado de frutas .....	91
<b>Tabla 24.</b>	Datos proceso de deshidratado de frutas .....	92
<b>Tabla 25.</b>	Frutas deshidratadas .....	93
<b>Tabla 26.</b>	Valores de Peso de la manzana para la linealización.....	95
<b>Tabla 27.</b>	Valores de Peso de la fresa para la linealización .....	97
<b>Tabla 28.</b>	Consumo eléctrico.....	99
<b>Tabla 29.</b>	Presupuesto.....	100
<b>Tabla 30.</b>	Costo para la deshidratación de la manzana.....	101



## RESUMEN EJECUTIVO

El presente proyecto de investigación describe el desarrollo de un horno solar para la deshidratación de frutas solar con monitoreo remoto empleando tecnología LoRA, el horno solar fue construido con una capacidad máxima de cuatro bandejas para deshidratar 6 kg de ciertas frutas.

El sistema utiliza tecnología LoRA para la supervisión de los parámetros en el horno solar durante el proceso de deshidratación de frutas, para la implementación de este de proyecto de investigación se realizó el diseño tanto eléctrico como electrónico acorde a las necesidades del sistema, en el emisor se encuentran los sensores que envían las señales de temperatura y humedad hacia el receptor.

Los datos son visualizados mediante una interfaz gráfica en la herramienta node-red con ello se consigue un monitoreo constante de las magnitudes físicas que intervienen en la deshidratación de frutas, además se registra todos los datos que están dentro del rango de deshidratación de frutas y los que no están se almacenan en otra tabla, además se generan alertas ante las condiciones inadecuadas durante todo el proceso a través de la aplicación de telegram.

**Palabras clave:** loRa, deshidratador solar, comunicación inalámbrica, electrónica.

## **ABSTRACT**

This research project describes the development of a solar oven for the dehydration of fruits with remote monitoring using LoRA technology, the electronic system was built with a maximum capacity to dehydrate 6 kg of fruits and contains 4 trays to place the product.

The system uses LoRA technology to monitor the parameters in the solar oven during the fruit dehydration process. For the implementation of this research project, both electrical and electronic design was carried out according to the needs of the system, in the node At the end are the sensors that send the temperature and humidity signals. The data is visualized by means of a graphical interface in the node-red tool, with which a constant monitoring of the physical magnitudes that intervene in the dehydration of fruits is achieved, in addition, all the data that are within the range of dehydration of fruits and the that are not are stored in another table, in addition alerts are generated before inappropriate conditions throughout the process.

**Keywords:** loRa, solar dryer, wireless communication, electronics.

## **Introducción**

El presente trabajo de investigación se centrará en el sistema de deshidratación de frutas solar con tecnología IOT, pues es una solución innovadora para la conservación de frutas y verduras, la cual ofrece una forma natural, segura y eficiente para secar frutas utilizando energía solar, La tecnología IOT se utiliza para monitorizar los parámetros de deshidratación, permitiendo a los agricultores y productores controlar el proceso de deshidratación de sus productos con una mayor precisión y reduciendo al mismo tiempo el consumo de energía eléctrica. Los sensores IOT recopilan datos en tiempo real sobre la temperatura, humedad y luz solar, y los envían a un servidor en la nube para su almacenamiento y procesamiento. Estos datos se pueden visualizar y analizar mediante aplicaciones móviles y web, además, el sistema puede ser controlado remotamente mediante la aplicación, permitiendo a los productores controlar el proceso de deshidratación desde cualquier lugar.

Para el desarrollo de este trabajo de investigación se considerará tres partes, la primera parte se abordarán los conceptos básicos de la deshidratación de frutas, incluidos los factores que afectan el proceso, los procesos de selección y preparación de las frutas, así como la historia y el uso de la deshidratación, la segunda parte se dedicará al desarrollo del sistema de deshidratación de frutas con tecnología IOT, esta parte abordará los detalles técnicos del diseño del sistema, incluyendo el diseño de los sensores, los dispositivos de control, la conectividad de redes y los algoritmos de control. Finalmente, en la tercera parte se realizará una prueba del sistema para verificar su rendimiento en condiciones reales. Este proyecto beneficiará a los productores de frutas y pequeñas empresas dedicadas a la deshidratación de frutas ya que les permitirá obtener un producto de mejor calidad y con menos desperdicio de tiempo, económico y de frutas.

# **CAPÍTULO I**

## **MARCO TEÓRICO**

### **1.1. Tema de Investigación**

Sistema de deshidratación de frutas empleando un horno solar y monitoreo mediante tecnología IOT.

### **1.2 Antecedentes Investigativos**

En el análisis de los artículos académicos y proyectos de investigación referente a los hornos solares que permiten la deshidratación de productos se analizaron los siguientes casos para tener una idea más concisa de la implementación del dispositivo.

En Quito, Ecuador, en el año 2016, Lauro Díaz, en su proyecto de titulación titulado “Diseño, construcción y análisis energético de paneles solares de aire forzado para un horno de deshidratado de frutas” de la Escuela Politécnica Nacional, tiene como objetivo diseñar, construir y analizar energéticamente tres paneles solares de aire forzado para un horno deshidratador de frutas. El horno utiliza una arquitectura de control basado en IoT para la monitorización de las variables físicas, puede afirmarse que en el proyecto se utilizó paneles solares como fuente de energía para un horno deshidratador es una opción adecuada desde el punto de vista tecnológico. En los resultados que presenta este proyecto son la utilización de paneles solares que representa un ahorro significativo de 100 dólares mensuales por concepto de consumo de energía eléctrica afirmando que la construcción del horno solar fue apropiada y cumple con las expectativas de deshidratado de frutas y vegetales [1].

En Querétaro, México, en el año 2016, Ángel Marroquín, Andrea Aviña, Ana Laura Díaz, Juan Manuel Olivares en su artículo titulado “La casita solar: equipo didáctico para el proceso enseñanza-aprendizaje en la carrera de Ingeniero en energías renovables” presenta un deshidratador solar de colector y armario para extraer la humedad de frutas y verduras en tiempo promedio de 2 horas dependiendo del porcentaje de agua que posee el alimento a deshidratar, pues este proyecto ayuda a preservar los alimentos sin alterar las propiedades nutritivas. Como resultado se obtuvo que este tipo de sistemas son productores independientes debido a que generan su propia energía, además este sistema realiza el monitoreo de parámetros eléctricos en distintos electrodomésticos utilizando el voltaje proporcionado por el sistema fotovoltaico, Los usuarios pueden conectar sus dispositivos a la red para controlar los dispositivos desde cualquier lugar con una conexión a Internet, esta solución también se puede utilizar para medir el consumo de energía de los dispositivos conectados, almacenar datos generados en la nube y recibir alertas cuando los límites de uso se superan. [2].

En Carabobo, Venezuela, en el año 2017, Cecilia Sandoval, Esperanza Ruiz en el artículo titulado “Eco-Innovación en Ingeniería de Alimentos sostenible aplicando técnicas inteligentes de eficiencia Energética-Ecosveg” propone la aplicación de redes neuronales con el propósito de ofrecer una alimentación saludable mediante la incorporación de una herramienta de inteligencia artificial para la sistematización en el proceso de deshidratación de frutas, esta solución también emplea una interfaz de usuario IOT para facilitar el monitoreo y el control de los procesos de deshidratación de alimentos. Como resultado del presente trabajo se constató que la implementación de paneles solares en pequeñas y medianas empresas es rentable ya que la inversión inicial es relativamente baja y además es ideal para ser implementado en zonas poco desarrolladas debido a que los componentes son de fácil adquisición [3].

En Riobamba, Ecuador, en el año 2020, Diego Iván Cajamarca Carrasco, Darío Javier Baño Ayala, Luis Fernando Arboleda Álvarez, María Fernanda Miranda en el artículo científico titulado “Sostenibilidad medio ambiental en el procesamiento de frutas deshidratadas ecuatorianas”, apuestan a la sustentabilidad productiva para dar buenos resultados a la agroindustria ecuatoriana y de manera particular al sector de frutas deshidratadas la cual busca alcanzar objetivos del milenio 2030, gracias a la tecnología utilizada en los deshidratadores mixtos indirectos, el proceso de deshidratación se lleva a cabo por medio de la energía 100% solar como fuente básica de calor, esto aporta de manera positiva con el medio ambiente en la reducción de cambios climáticos y el mantenimiento de la sostenibilidad a nivel mundial [4].

En Ayacucho, Perú, en el año 2020, Julio Oré, Julio Pérez, Kléber Janampa, Octavio Cerón, Oswaldo Morales en su trabajo titulado “Deshidratación de frutas en un módulo solar multipropósito” de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, en este trabajo se utilizó un secador solar multipropósito, el cual fue diseñado y construido en el Centro de Energías Renovables de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, se deshidrató manzanas, plátanos y piña con el fin de determinar la calidad del producto se midió la concentración de azúcar y humedad mediante a base de diferentes sensores, el secado de frutas con tecnologías solares para fines comerciales no son muy comercializados en los mercados nacionales e internacionales, esto motiva a la realización de este proyecto aplicando tecnología IoT para la visualización de temperatura y humedad [5].

Para el presente trabajo de investigación se tomó como aporte que la energía solar está siendo un recurso utilizado en gran escala para los proyectos ya que es una energía limpia y permite optimizar recursos como tiempo y dinero a los productores de frutas, pues su implementación está son siempre viable reduce la contaminación ambiental y los costos comparados con los hornos eléctricos que consumen demasiada energía eléctrica [6].

### **1.2.1. Contextualización del problema**

La deshidratación de frutas es uno de los procesos de conservación más antiguos en México, pero en Ecuador, un país donde hay frutas frescas durante todo el año, esta técnica es poco utilizada hasta hace un par de décadas, su valor nutritivo y su sabor son las características que sobresalen. En la actualidad se registran unas 15 empresas que se dedican a la producción de frutas deshidratadas y casi todas exportan el producto, según información proporcionada en Agronegocios, portal que agrupa a 4000 productores en el país [4].

La mayoría de medianos y pequeños productores utilizan técnicas tradicionales por ende ocurre una serie de efectos para su comercialización entre ellos están la contaminación externa del producto debido al polvo y presencia de insectos, el producto sufre cambios físicos ya que se expone a la luz directa del sol y la lluvia, finalmente el producto no se deshidrata uniformemente por lo que reduce su calidad y precio en el mercado, los beneficios obtenidos será la reducción del consumo de energía eléctrica de tal manera que sea amigable con el medio ambiente, donde también se reducirá los costos de mantenimiento, la construcción del horno solar con tecnología IoT es viable ya que se puede mejorar el proceso de deshidratación frutas debido a que se va a trabajar con energías limpias lo cual incidirá directamente con la calidad del producto.

La deshidratación clásica de los productos conlleva demasiado tiempo teniendo un estimado de 5 a 6 días, ya que manejan métodos tradicionales de secado utilizando directamente la radiación del sol en las pequeñas empresas de Ambato, la deficiencia de tecnología es otro de los problemas que presentan las empresas de la Provincia de Tungurahua, según datos estadísticos obtenidos de dichas empresas el rendimiento de deshidratación de fruta fresca a fruta deshidratada es de 4 a 1 kilogramo, pues no existe un control adecuado en el proceso de secado del producto [8].



Con el objetivo de economizar y mejorar el rendimiento de los hornos solares a través de un sistema que permita visualizar diferentes parámetros, donde se visualice la temperatura y humedad, de este modo se logrará un proceso de deshidratación de frutas mucho más rápido y de una mejor manera, controlando y optimizando recursos. Los beneficiarios del proyecto son los productores de frutas y las pequeñas empresas dedicadas a la deshidratación de frutas con la finalidad de conservar el producto y reducir la contaminación ambiental ya que las grandes empresas emanan gran porcentaje de CO<sub>2</sub>.

## **1.2.2 Fundamentación Teórica**

### **1.2.2.1 Deshidratación de alimentos**

La deshidratación de alimentos es un proceso que se utiliza para eliminar el agua de los alimentos mediante el calor emitido por una resistencia térmica o níquelina en un rango de temperatura que oscila desde los 40° C hasta los 65° C en una estructura cerrada como se muestra en la figura 1. El proceso ayuda a mantener los alimentos seguros para el consumo y también puede ayudar a prolongar su vida útil. [9]



**Figura 1.** Deshidratación de alimentos útil. [9]

### **1.2.2.2 Parámetros de deshidratación**

Los parámetros principales que influyen en la deshidratación de frutas incluyen la temperatura, la humedad relativa, el tiempo de deshidratación, el tamaño de la fruta y el contenido de humedad inicial. La temperatura es un factor importante que influye en la velocidad de deshidratación, mientras mayor sea la temperatura, más rápido se deshidratará la fruta, la humedad relativa también es un factor importante, cuanto menor sea la humedad relativa. Por lo general, una fruta con un grosor de 1 cm tardará de 6 a 10 horas en deshidratarse a una temperatura de 65°C. [9]

### 1.2.2.3 Métodos de conservación de frutas

Los métodos de conservación de frutas ayudan a prolongar la vida útil de las frutas y permiten que los productores y los consumidores disfruten de los beneficios de un producto de calidad durante periodos de tiempo más largos, existen varias técnicas de conservación de frutas que se pueden utilizar para mantener la calidad y frescura de los alimentos, en la tabla 1 se menciona algunos tipos de conservación de frutas [10].

**Tabla 1.** Métodos de conservación de frutas

<b>Tipo de Conservación</b>	<b>Función</b>
<b>Congelación</b>	Congelación es un proceso de conservación de alimentos en el que se reduce la temperatura de un producto hasta alcanzar los puntos de solidificación de agua o líquidos similares.
<b>Enlatado</b>	El enlatado es un proceso de conservación de alimentos en el cual se colocan los alimentos en un recipiente hermético y se someten a un proceso de calentamiento que mata a las bacterias presentes en los alimentos.
<b>Salmuera y salazones</b>	La salmuera y las salazones son conservantes alimentarios que se hacen a partir de una solución de sal y agua.
<b>Radiación</b>	Radiación de frutas es un proceso en el que las frutas se exponen a una fuente de radiación, como una lámpara de rayos X.

**Elaborado por:** El Investigador en base a [10].

#### 1.2.2.4 Propiedades de las frutas

Entre las principales propiedades de las frutas se tiene la densidad, conductividad térmica y contenido de agua que en la tabla 2 se visualiza los valores que poseen ciertas frutas.

**Tabla 2.** Propiedades de frutas

<b>FRUTA</b>	<b>CONTENIDO DE AGUA (%)</b>	<b>CONDUCTIVIDAD TÉRMICA (W/m*°C)</b>	<b>DENSIDAD (Kg/m<sup>3</sup>)</b>
Fresa	92	0.675	900
Manzana	85.6	0.393	843
Naranja	85.9	0.431	1030
Plátano	85.18	0.608	980
Papaya	92.6	0.771	-
Pera	86.8	0.595	1000
Piña	84.9	0.549	1010
Limón	91.8	0.525	930
Durazno	43.4	0.361	-
Uvilla	81.26	-	2090
Mora	81.4	1.814	1060

**Elaborado por:** el investigador en base a [11]

#### 1.2.2.5 Frutos deshidratados

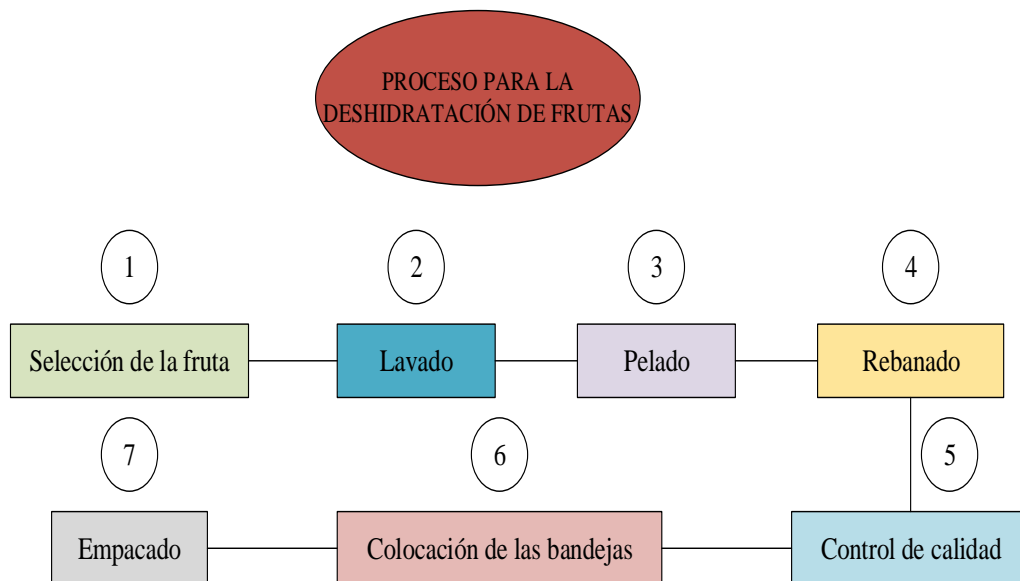
Los frutos deshidratados son aquellos que han sido sometidos a un proceso de deshidratación, que consiste en la eliminación del agua de los frutos. Este proceso puede realizarse de forma natural o artificial. La deshidratación puede ayudar a prolongar la vida útil de las frutas y también puede mejorar su sabor [12].

### 1.2.2.6 Importancia del consumo de los frutos deshidratados

Los frutos deshidratados son una fuente de nutrientes concentrados, por lo que son una buena opción para aquellas personas que buscan aumentar su ingesta diaria de nutrientes. Los frutos deshidratados también son una buena opción para aquellas personas que buscan perder peso, ya que proporcionan una gran cantidad de nutrientes sin una gran cantidad de calorías [12].

### 1.2.2.7 Proceso para la deshidratación de frutas

El proceso para la deshidratación de las frutas en el Ecuador dependerá de los métodos de cultivo, cosecha y almacenaje, pues el deterioro de una fruta inicia en su cultivo, en cuanto al impacto ambiental, la forma tradicional para deshidratar alimentos se está utilizando maquinaria que funciona a gas, lo que genera contaminación del producto por el azufre y los químicos que posee el combustible, en la figura 2 se ilustra los pasos para la deshidratación de frutas [13].



**Figura 2.** Pasos para la deshidratación de frutas

**Elaborado por:** El Investigador en base a [13].

### 1.2.2.8 Tipos de deshidratadores

Los deshidratadores más comunes para el deshidratado de frutas se mencionan a continuación:

- **Deshidratador o secador de bandejas**

El deshidratador de bandejas es un dispositivo de secado que está provisto de una o más bandejas como se visualiza en la figura 3, que pueden tener una forma plana, cilíndrica, cónica o de cualquier otra forma. En la mayoría de los casos, las bandejas se disponen verticalmente y se calientan mediante una resistencia eléctrica, una bomba de calor o una cámara de calor [14].



**Figura 3.** Deshidratador de bandejas [14].

- **Deshidratador de charolas con aire caliente**

Los deshidratadores de charolas con aire caliente están diseñados para operar con aire caliente en una variedad de temperaturas como se visualiza en la figura 4, también están disponibles con control de temperatura bajo pedido [14].



**Figura 4.** Deshidratador de charolas con aire caliente [14].

- **Deshidratador de lecho fluidizado**

Un deshidratador de lecho fluidizado es una máquina diseñada para extraer el agua de frutos y vegetales como se ilustra en la figura 5, además puede ser utilizado para frutas y verduras frescas o congeladas, este deshidratador se compone de una cámara de secado, una unidad de flujo, una unidad de control y una unidad de calefacción. La cámara de secado está dividida en dos compartimentos, uno para la fruta y el otro para la verdura [14].



**Figura 5.** Deshidratador de lecho fluidizado [14].

### **1.2.2.9 Radiación Solar**

La radiación solar es un recurso renovable que es aprovechado en pequeña, mediana y gran escala, la energía obtenida mediante la radiación solar es la fuente primaria aprovechada al máximo por el ser humano para la creación de centros de generación y consumo eléctrico [15].

### **1.2.2.10 Radiación solar aprovechable**

La radiación solar aprovechable depende de varios factores climáticos que se producen durante la época del año, en distintas zonas del Ecuador la temperatura varía debido a su variedad de regiones, la región Sierra es considerada para el estudio debido a que el trabajo se desarrolla en la provincia de Tungurahua, a continuación, en la tabla 3 se da a conocer la caracterización de las zonas a escoger [15].

**Tabla 3.** Caracterización de zonas a escoger en la Provincia de Tungurahua

Cantón	Temperatura promedio diaria  °C		Temperatura promedio del aire al año  °C	Temperatura promedio del aire diaria  °C	Radiación Global promedio (kW/m2* día)	Radiación Global promedio (kW/m2*año)
	mín	máx				
Píllaro	8	19	12.6	12.6	5.04	1645.7
Pelileo	9	20	12.2	12.2	5.28	1905.9
Patate	8	20	15	15	5.123	1554.6
Baños	6	19	15.7	15.7	4.496	1278.4
Ambato	9	20	12.6	12.6	4.966	1645
Cevallos	7	16	11.2	11.2	4.987	1853.5
Mocha	7	14	10.2	10.2	4.374	1572.8
Tisaleo	7	14	10.4	10.4	4.562	1679.7

**Elaborado por:** El investigador en base a [15].

### 1.2.2.11 Energía solar fotovoltaica

La Energía solar fotovoltaica es una energía limpia, renovable y que no produce ningún tipo de residuo. La energía solar fotovoltaica es una energía que se produce mediante la conversión de la energía del sol en energía eléctrica a través de celdas fotovoltaicas como se muestra en la figura 6 con una inclinación de 15 grados para aprovechar al máximo la radiación solar [10].



**Figura 6.** Panel solar solar [10].

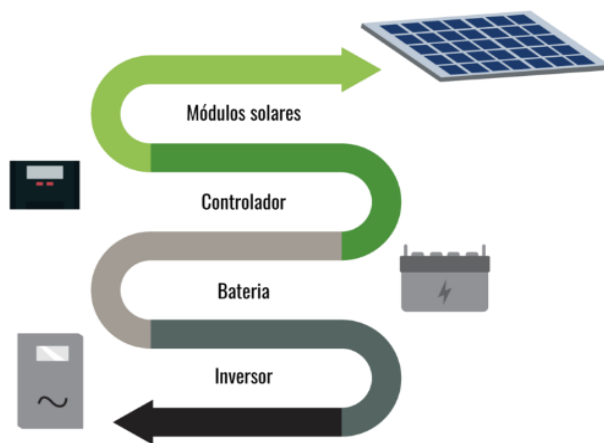


### 1.2.2.12 Sistema Fotovoltaico

Un sistema fotovoltaico es un dispositivo que a partir de la insolación genera energía eléctrica donde es aprovechada por el hombre para alimentar dispositivos eléctricos o electrónicos [16].

### 1.2.2.13 Partes del sistema fotovoltaico

El sistema fotovoltaico se compone de los siguientes elementos como se ilustra en la figura 7, el panel solar se encarga de captar la radiación luminosa del sol y convertirla en corriente continua, el acumulador es un dispositivo que almacena la energía que produce el panel solar, con el acumulador se puede disponer de electricidad en horas que no hay luz, el controlador de carga evita las sobrecargas hacia el acumulador para que no produzca daños irreversibles, el inversor cambia la corriente continua almacenada en el acumulador en corriente alterna 220 V [10].



**Figura 7.** Partes del sistema fotovoltaico V [10].

### 1.2.2.14 Deshidratadores de energía solar

Los deshidratadores de energía solar son una gran opción para aquellos que quieren almacenar alimentos para largos períodos de tiempo, ya que no requieren electricidad. Los deshidratadores solares son una manera eficiente y económica de conservar los alimentos, ya que no requieren electricidad. En lugar de ello, se utilizan para salvar los alimentos a través de una serie de bandejas [10].

### 1.2.2.15 Tecnología de deshidratación

La tecnología de deshidratación de frutas se utiliza para reducir la cantidad de agua de la fruta, por lo tanto, aumentar su durabilidad, esto se logra mediante la eliminación del agua de la fruta mediante un proceso de deshidratación natural o artificial, para esto es necesario identificar la tecnología adecuada para determinados tipos y presentaciones de productos [17].

### 1.2.2.16 Internet de las cosas

Internet de las cosas (IoT) es la interconexión de dispositivos de detección y actuación que brindan la capacidad de compartir información a través de plataformas con un marco unificado, desarrollando una imagen operativa común para permitir aplicaciones innovadoras [18].

### 1.2.2.17 Arquitectura IoT

La arquitectura IoT de acuerdo con la ITU-T en su dominio se tiene que la arquitectura IoT incluye a un grupo de dispositivos físicos conectados mediante una puerta de enlace a una red de comunicaciones que une con el mundo virtual como se ilustra en la figura 8, en el que es capaz de intercambiar información con otros dispositivos permitiendo la gestión y procesamiento de datos [19].



**Figura 8.** Arquitectura IoT [19].

- **Ventajas Arquitectura IOT**

- a. Debido a la naturaleza descentralizada de la arquitectura IoT, es posible conectar más dispositivos sin afectar el rendimiento.
- b. La arquitectura IoT reduce los costos de hardware y software, ya que permite la conexión de dispositivos de bajo costo.
- c. La arquitectura IoT ofrece una mayor seguridad gracias a la automatización de los procesos de seguridad.
- d. La arquitectura IoT permite que los datos se transmitan de forma más rápida, esto reduce la latencia y permite que los dispositivos se comuniquen de forma más eficiente.

#### **1.2.2.18 Cloud computing**

Cloud computing es una tecnología que permite el acceso a aplicaciones y servicios a través de Internet. Los usuarios pueden acceder a estos servicios desde cualquier lugar y en cualquier momento, lo que les permite tener un mayor control sobre su trabajo y sus datos [20].

#### **1.2.2.19 Sistemas electrónicos de monitoreo**

Los sistemas electrónicos de monitoreo son estructuras computarizadas que se basan en procesos, prácticas operativas y administrativas, empleadas para controlar y optimizar los recursos disponibles en un entorno, la mayoría de sistemas de monitoreo se implementa en base a componentes encargados de adquirir datos, procesar y transmitir resultados mediante diferentes sensores [21].

#### **1.2.2.20 Adquisición de Datos**

La adquisición de datos se refiere a la etapa del sistema en que se obtienen señales físicas de las variables a analizar, para ello se utiliza sensores o transductores que son dispositivos con la capacidad de transformar una variable física a una señal eléctrica.

Un sensor es un dispositivo que convierte la actividad física de un ambiente en una señal cuantificable [22].

#### **1.2.2.21 HMI**

HMI se deriva de la interfaz de máquina humana se trata de una interfaz entre los operarios y la máquina. HMI ofrece una interfaz gráfica (GUI) entre las personas y los equipos. Las interfaces de usuario de HMI, permiten la interacción entre el operador y la máquina, lo cual mejora la capacidad de respuesta de la máquina, reduce la necesidad de formación de los operadores y permite una mejor interacción entre los operarios y la máquina [23].

- **Norma para diseño HMI**

La Norma ISA 101 se enfoca en el uso de una metodología de especificación de requerimientos, que define las actividades y resultados necesarios para especificar los requisitos de los usuarios del sistema de control de procesos. La metodología de la norma ISA 101 está estructurada en cinco fases de trabajo:

- a. Conocer los objetivos de calidad, seguridad y rendimiento de los operadores de la planta.
- b. Especificar los objetivos de seguridad.
- c. Proporcionar guías para la evaluación de la calidad de la implementación del diseño de la interfaz de operador [24].

#### **1.2.2.22 Redes LPWAN**

Las Redes LPWAN (Low Power Wide Area Network) son una categoría de redes inalámbricas de área amplia diseñadas para conectar dispositivos que requieren baja potencia y ancho de banda. Estas redes se caracterizan por tener una gran cobertura con un consumo de energía mínimo, lo que las hace ideales para dispositivos que funcionan con baterías [25].

- **Arquitectura de la Red LPWAN**

La arquitectura de la Red LPWAN está diseñada para brindar una conectividad inalámbrica de baja potencia y ancho de banda como se muestra en la figura 9, esta arquitectura sirve para aplicaciones que requieren un uso eficiente de la energía y una conexión de larga duración.

La tecnología subyacente a la arquitectura de la red se basa en la tecnología de comunicación inalámbrica de baja potencia (LPWAN), que permite una comunicación eficiente de energía y ancho de banda en una variedad de condiciones ambientales [25].



**Figura 9.** Arquitectura LPWAN

**Elaborado por:** El investigador en base a [25].

- ❖ **Nodo.** – Nodo es el que se encarga de tomar los datos de las variables físicas y está definido su arquitectura por un microcontrolador, sensores, memoria, actuadores y módulo de comunicación inalámbrico [25].
- ❖ **Gateway.** – Gateway es un hardware o software que actúa como puerta de enlace entre dos redes de computadoras y traduce los mensajes de una red a los requisitos de la otra, además permiten conectar redes que usan el mismo protocolo de comunicación, como las redes Ethernet, o pueden conectar redes que usan protocolos diferentes ambientales [25].
- ❖ **Servidor.** – Servidor es un sistema informático que proporciona servicios a otros ordenadores conectados a él a través de una red de comunicaciones,

además se caracterizan por estar diseñados para ofrecer un rendimiento y una fiabilidad superiores a los ordenadores personales o clientes ambientales [25].

- **Tecnologías LPWAN**

Las tecnologías LPWAN (Low Power Wide Area Network) son una categoría de tecnologías de comunicaciones inalámbricas que se caracterizan por tener un ancho de banda bajo y un alcance extendido. Las principales tecnologías LPWAN incluyen LoRa, SIGFOX, NB-IoT, en la tabla 5 se mencionan las características de cada una de ellas [26].

**Tabla 4.** Comparación entre tecnologías LPWAN

<b>Tecnología</b>	<b>LoRA</b>	<b>Sigfox</b>	<b>NB-IoT</b>	<b>LTE-M</b>
<b>Alcance</b>	5 km	10 km	1 km	1 km
<b>Máximo</b>	(urbano) 10 km (rural)	(urbano) 40 km (rural)	(urbano) 10 km (rural)	(urbano) 5 km (rural)
<b>Tipo de espectro</b>	No licenciado	No licenciado	Licenciado	Licenciado
<b>Velocidad de datos</b>	50 kps	32 bytes/día	250 kps	1 Mps
<b>Modulación</b>	CCS	BPSK	QPSK	OFDM
<b>Frecuencias de operación</b>	433 MHz 868 MHz 915 MHz	433 MHz 868 MHz 915 MHz	De 700 a 900 MHz	De 700 a 900 MHz
<b>Ancho de banda</b>	< 500 KHz	100 Hz	1.4 MHz o compartido	200 KHz o compartido
<b>Topología</b>	Estrella	Estrella	Estrella	Estrella

<b>Tasa de bits adaptables</b>	SI	SI	NO	NO
<b>Geografías</b>	Europa, Asia, América	Europa, América	Europa, Asia, América	Europa, Corea del Sur, América

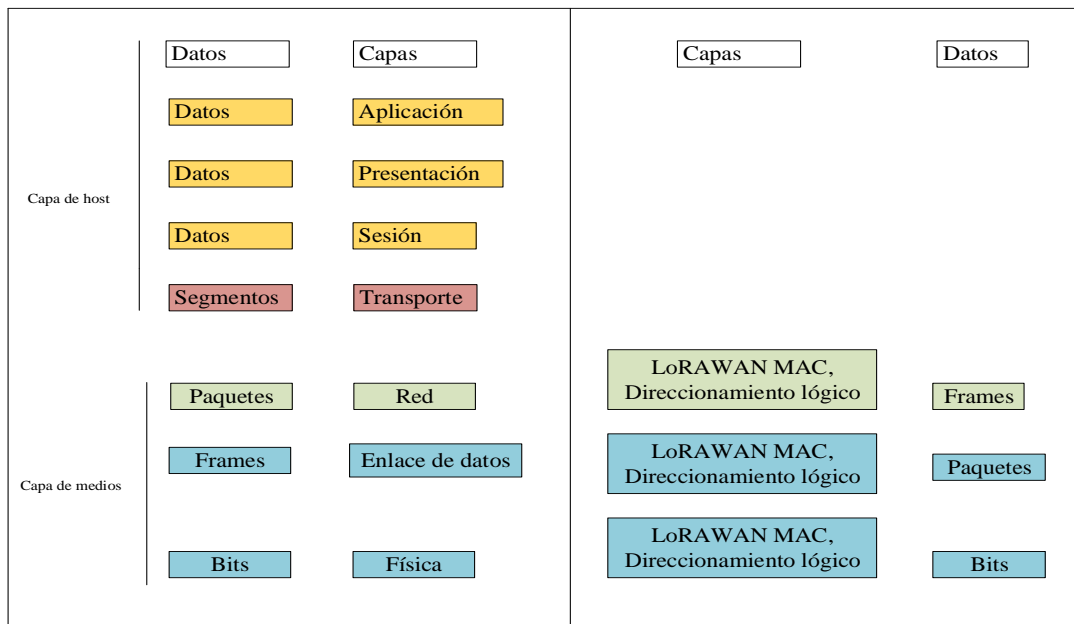
**Elaborado por:** El investigador en base a [26].

### 1.2.2.23 LoRA

LoRA es una tecnología de comunicación de radio de baja potencia y largo alcance, utiliza una señal de radio en lugar de una señal WiFi o Bluetooth, lo que significa que puede transmitir señales a largas distancias sin requerir mucha energía [27].

### 1.2.2.24 Modulación LoRA

La Modulación LoRA es una tecnología de radiofrecuencia de baja potencia diseñada para comunicaciones de largo alcance y baja velocidad. Utiliza una técnica de modulación de amplitud de pulso largo (PAM) para transmitir datos a través de una señal de portadora de baja frecuencia. LoRA permite la transmisión de datos a largas distancias con una baja tasa de errores, lo que la hace ideal para aplicaciones de Internet de las Cosas, LoRA está implementada en la capa física del modelo OSI como se ilustra en la figura 10, por lo tanto, solamente se puede establecer conexiones con dispositivos que tengan la misma capa física [27].



**Figura 10.** LoRa en las capas del modelo OSI

**Elaborado por:** El investigador en base a [27].

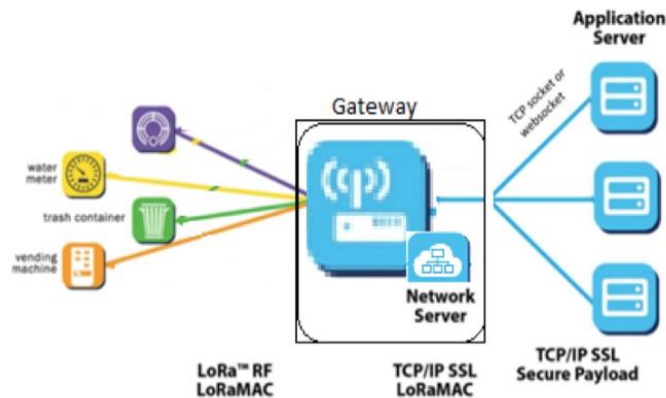
- **Protocolo LoRaWAN**

El protocolo LoRaWAN pertenece a la capa de enlace, que utiliza la tecnología LoRA para comunicar dispositivos IoT, además este protocolo garantiza la interoperabilidad de las diversas redes LoRaWAN en todo el mundo.

- **Elementos de una red LoRaWAN**

La red LoRaWAN generalmente tienen un alcance limitado y se utilizan para enviar datos a los Gateways LoRa, se compone de tres elementos como son los dispositivos finales, Gateway y el servidor de red en la figura 11 se puede visualizar el esquema. [29]





**Figura 11.** Elementos de una red LoRaWAN [29]

- a) **Dispositivos LoRaWAN:** Los dispositivos LoRaWAN son los encargados de recopilar datos y enviarlos a la plataforma de gestión de la red.
- b) **Gateway LoRaWAN:** Gateway LoRaWAN sirve para conectar los dispositivos LoRaWAN a la plataforma de gestión de la red y también se usa para gestionar la comunicación y el tráfico de datos en la red.
- c) **Servidor de red LoRaWAN:** El servidor de red LoRaWAN se utiliza para administrar la red y el dispositivo LoRaWAN, también se usa para gestionar la comunicación y el tráfico de datos en la red.

#### 1.2.2.25 Plan de frecuencias

El Plan de frecuencias LoRA está definido por el estándar IEEE 802.15.4, esta norma establece los canales utilizables para la comunicación de radio inalámbrica, los canales se separan en rangos de 8Mhz cada uno, lo que significa que los dispositivos deben operar en una de las frecuencias de 8MHz dentro de un mismo canal, esto significa que hay un total de 8 canales que pueden ser utilizados.

#### 1.2.2.26 Banda ISM

ISM es una banda de radiofrecuencia en la que se permiten los usos no licenciados, también conocida como banda libre esta banda se divide en varias secciones, cada

una con diferentes usos y límites de potencia. La banda ISM abarca desde los 9 KHz hasta los 2500 MHz, además es utilizada para dispositivos inalámbricos como teléfonos inalámbricos, esta banda es la más comúnmente utilizada para la transmisión de información para distancias cortas, la frecuencia de cada región se muestra en la tabla 6. [30]

**Tabla 5.** Frecuencias ISM

<b>Banda de frecuencia</b>	<b>Frecuencia central</b>	<b>Región</b>
433.05 – 434.79 MHz	433 MHz	Europa, África, norte de Asia
902 – 928 MHz	915 MHz	Sur y centro de América

**Elaborado por:** El investigador en base a [30].

#### 1.2.2.27 Base de datos

Una base de datos es una colección de datos almacenados en un sistema informático, y que pueden ser consultados, actualizados y manipulados por medio de un software de base de datos. Entre las bases de datos se tiene [31]:

- **Mariadb:** es una fork de MySQL creada por la comunidad de usuarios de MySQL, además pretende mantener la compatibilidad con aplicaciones y herramientas existentes que usan MySQL, pero también incluye algunas mejoras y características adicionales.
- **MySQL:** es un sistema de gestión de bases de datos relacionales, desarrollado bajo licencia GPL por la compañía Suiza MySQL AB. Es un software libre y de código abierto. MySQL AB lo vende con diferentes tipos de licencias a empresas y organizaciones que requieren software con garantías de calidad y soporte técnico.

- **Oracle Database:** es un sistema de gestión de base de datos relacional de código abierto desarrollado por Oracle Corporation, permite el almacenamiento y administración de datos. Oracle Database ofrece una amplia gama de características para garantizar la disponibilidad de datos y asegurar su integridad. También proporciona herramientas para simplificar la administración de la base de datos y el acceso a los datos.
- **InfluxDB:** es una base de datos de tiempo serie de código abierto, diseñada para almacenar y analizar datos de monitoreo de aplicaciones y servicios. InfluxDB se optimiza para trabajar con series de tiempo, lo que lo hace ideal para almacenar datos de sensores, eventos, estadísticas y otra información de tiempo serie [31].

#### **1.2.2.28 Microcontroladores**

Un microcontrolador es un circuito integrado capaz de realizar las funciones de una CPU, y que se puede programar para llevar a cabo diversas tareas. Su principal característica es que incluye todos los componentes necesarios para el funcionamiento de un microordenador en un solo chip [32].

#### **1.2.2.29 Redes de Sensores Inalámbricos**

Las redes de sensores inalámbricos (WSN) son nodos de sensores interconectados que se comunican de forma inalámbrica para recopilar datos sobre el entorno circundante, los nodos son generalmente de bajo consumo y se distribuyen de manera ad hoc y descentralizada, las redes de sensores inalámbricos pueden ser utilizados para detectar condiciones ambientales tales como, el movimiento, humedad, temperatura, presión, luz, etc. [33].

#### **1.2.2.30 Servidor de Aplicaciones**

Un servidor de aplicaciones es un programa informático que se ejecuta en un servidor y sirve como interfaz entre los programas de aplicación y el sistema operativo subyacente. Los servidores de aplicaciones se utilizan para ejecutar aplicaciones que requieren acceso a recursos del sistema, como la memoria, el procesamiento, los dispositivos de E/S y la red [34].

### **1.2.2.31 Servidor Web**

Servidor Web es un software que puede ser servidor HTTP, servidor de correo electrónico, servidor de archivos, servidor de aplicaciones, servidor de transferencia de archivos o servidor de impresión. Los servidores web se encuentran entre los más populares de todos los servidores [34].

### **1.2.2.32 Protocolos de comunicación**

Los protocolos de comunicación son conjuntos de reglas y estándares que permiten a los dispositivos que se conectan a una red compartir información, estos protocolos definen cómo los dispositivos se identifican entre sí, qué tipo de información se transmite y cómo se procesa. Los protocolos de comunicación más comunes en la industria 4.0 son HTTP, COAP y MQTT.

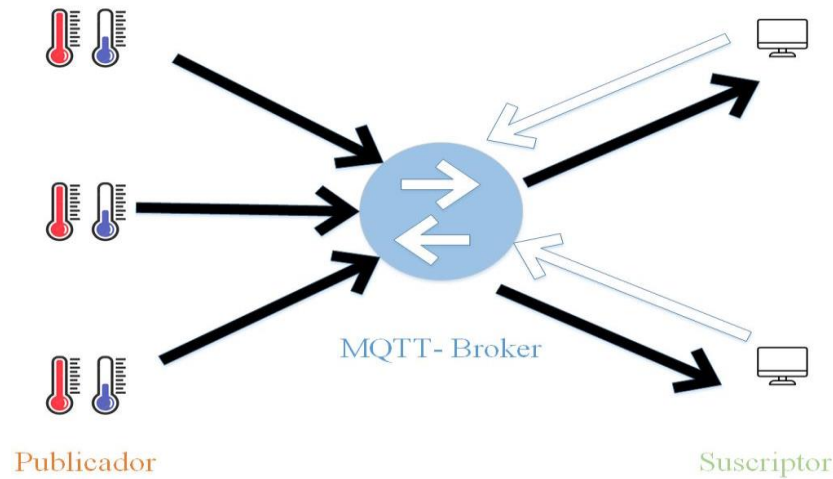
#### **a) MQTT**

MQTT es un protocolo de mensajería ligero para la conectividad de sensores y dispositivos. Su diseño se basa en la idea de que los dispositivos pueden publicar y suscribirse a mensajes (topics) a través de un intermediario central, en la figura 10 se puede visualizar la arquitectura MQTT.

- **Arquitectura de MQTT**

La arquitectura de MQTT consta de tres componentes principales: un cliente, un servidor y un broker como se muestra la figura 13. El cliente es un dispositivo conectado a la red que envía mensajes al servidor. El servidor recibe los mensajes del

cliente y los envía al broker. El broker es un servidor de mensajería que recibe los mensajes del cliente y los envía a los destinatarios adecuados.



**Figura 13.** Estructura del protocolo MQTT

**Elaborador por:** El investigador en base a [35].

El mensaje que se envía desde el publicador está compuesto por dos elementos que son: el topic que es el que se identifica cuando el mensaje es enviado, el payload que la información que contiene el mensaje.

#### **b) CoAP**

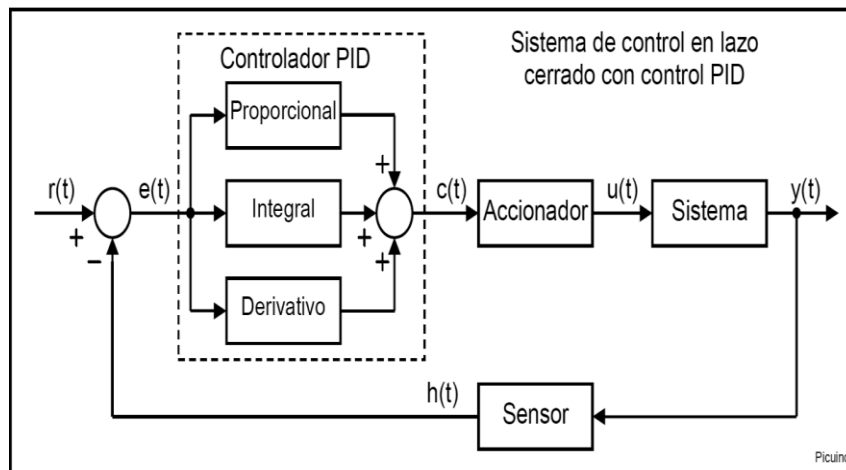
CoAP es un protocolo optimizado de transferencia web para redes con recursos limitados de las aplicaciones IoT que se basa en la arquitectura REST en donde los recursos son abstracciones controladas por el servidor inmerso en un proceso de aplicación [35].

#### **c) HTTP**

El protocolo HTTP es el más difundido en la actualidad y es el más utilizado para la transacción de datos en internet por ende es considerado parte fundamental para el transporte de servicios Web en la arquitectura IoT [35].

#### **1.2.2.33 Control PID**

El control PID es el proceso de ajuste de las constantes de Control Proporcional, Integral y Derivativo, es un mecanismo para el control basado en la realimentación en donde se calcula el error entre el valor medido y valor pretendido como se muestra en la figura 14 [36].



**Figura 14.** Control PID lazo cerrado [36].

Donde:

**r:** señal de referencia.

**E:** señal de error.

**C:** controlador PID.

**U:** señal de control.

**Y:** salida del sistema.

**P:** La Acción Proporcional se aumenta de a poco para disminuir el error entre el estado deseado y el estado conseguido, para aumentar la velocidad de respuesta, la fórmula de la acción proporcional, y viene dada por [36].

$$P(sal) = k_p * e(t) \quad \text{Ec. ( 1 )}$$

$$Cp(s) = k_p \quad \text{Ec. ( 2 )}$$

**I:** La Acción Integral se aumentará hasta que el error se minimice con la rapidez deseada en caso de que el error del sistema sea mayor que el requerido, la acción integral se obtiene mediante la ecuación que se presenta a continuación [36].

$$I(sal) = k_i \int_0^t e(t)dt \quad \text{Ec. ( 3 )}$$

**D:** La Acción Derivativa se aumentará de a poco la constante derivativa si el sistema es demasiado inestable para conseguir la estabilidad en la respuesta, la fórmula de la derivada se muestra en la siguiente ecuación [36].

$$D(sal) = k_d \frac{de}{dt} \quad \text{Ec. ( 4 )}$$

La acción de control proporcional-integral-derivativa se representa a través de la ecuación 5:

$$u(t) = k_p e(t) + \frac{k_p}{t_i} \int_0^t e(t)dt + k_p t_d \frac{de(t)}{dt} \quad \text{Ec. ( 5 )}$$

#### 1.2.2.34 Método de sintonización PID de Ziegler-Nichols

El método de sintonización PID de Ziegler-Nichols se basa en la medición del tiempo de ciclo de respuesta de un sistema ante una carga repentina, el objetivo del método es obtener los valores de controlador óptimo para un sistema. En la tabla 7 se visualizan los pasos [37].

**Tabla 6.** Sintonización de Ziegler-Nichols

<b>Control</b>	$kp$	$\tau i$	$\tau d$
<b>P</b>	$\frac{\tau}{KL}$	$\infty$	$0$
<b>PI</b>	$0.9 \frac{\tau}{KL}$	$\frac{L}{0.3}$	$l$
<b>PID</b>	$1.2 \frac{\tau}{KL}$	$0.60 \frac{ko}{KL}$	$0.6*ko*Tl$

**Elaborado por:** El investigador en base a [37].

Para el cálculo de pérdidas de propagación de los transmisores se puede hacer uso de la fórmula de la ecuación 6 del modelo de Okumura-Hata para áreas semiurbanas, con la obtención de estos datos se obtiene el valor de la fuerza de la señal recibida (RSSI).

$$L_b = L_b(\text{urban}) - 2 \left[ \log \left( \frac{f}{28} \right) \right]^2 - 5.4 \quad \text{Ec. ( 6 )}$$



$$L_b(\text{urban}) = 69.55 + 26.16(\log(f)) - 13.82\log(h_b) - a(h_m) + (44.9 - 6.55\log(h_b))\log(d_m) \quad \text{Ec. ( 7 )}$$

$$\begin{aligned} \text{RSSI} = & \text{Potencia de transmisión de radio} \\ & + \text{Ganancia de la antena TX} \\ & - \text{Pérdida de la ruta} \\ & - \text{Atenuación de la señal} \\ & + \text{Ganancia de la antena RX} \end{aligned} \quad \text{Ec. ( 8 )}$$

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo General**

Implementar un sistema de deshidratación de frutas empleando un horno solar y monitoreo mediante tecnología IOT.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Estudiar la forma tradicional de la deshidratación de frutas.
- Analizar la estructura del horno solar que permite la deshidratación de productos.
- Diseñar un sistema de deshidratación de frutas empleando un horno solar y monitoreo mediante tecnología IOT.

## **CAPÍTULO II**

### **METODOLOGÍA**

#### **2.1. Materiales**

Para el desarrollo del presente proyecto de titulación se utilizaron los materiales como: tesis, artículos científicos, libros, instructivos para el diseño e implementación de deshidratadores solares, además se utilizó recursos tecnológicos como sensores de

magnitudes físicas, actuadores y una máquina virtual en la nube para el monitoreo del proceso de deshidratación de frutas.

## **2.2. Métodos**

### **2.2.1 Modalidad de Investigación**

Para la ejecución del proyecto se realizó una investigación aplicada, debido a que se utiliza los conocimientos adquiridos durante la formación académica para el desarrollo e implementación de un horno solar para la deshidratación de frutas.

Se realizó una investigación bibliográfica debido a que se recabo la información más relevante en libros, revistas, artículos científicos y repositorios de las diferentes Universidades en Ecuador, pues son gran ayuda en la ejecución del trabajo como antecedentes investigativos.

Durante el desarrollo del trabajo de titulación se realizó una investigación de campo debido a que se ejecutó varias pruebas, donde se analizó los problemas e inconvenientes que puede llegar a tener el sistema de deshidratación de frutas, posteriormente se procedió con la corrección de errores.

### **2.2.2 Recolección de Información**

La recolección de información para el presente trabajo de titulación fue obtenida de diferentes artículos académicos, libros, proyectos de investigación y de las diferentes bases de datos de repositorios de las distintas Universidades del país. La información necesaria fue obtenida mediante entrevistas a miembros de empresas dedicadas a la deshidratación de productos dentro de la Provincia de Tungurahua.

### **2.2.3 Procesamiento y Análisis de Datos**

El procesamiento y análisis de datos se desarrolló de acuerdo a los siguientes pasos:

- Revisión de la información recolectada.
- Análisis de la estructura de los hornos solares para la deshidratación de productos.
- Identificación de la tecnología utilizada para monitorizar los diferentes parámetros durante el proceso de la deshidratación de frutas.
- Selección de los elementos principales utilizados para el monitoreo en el proceso de deshidratación de frutas.
- Presentación de los resultados de acuerdo con los objetivos presentados con anterioridad.

### **2.2.4 Desarrollo del Proyecto**

La presente investigación se desarrolló acorde a las siguientes actividades:

- a) Levantamiento de información sobre los métodos tradicionales para la deshidratación de frutas.
- b) Identificación de los problemas que presentan el sistema actual para el proceso de deshidratación de frutas.
- c) Esquematización de la estructura para el desarrollo de un horno solar.
- d) Construcción de la estructura de un horno solar donde se pueda acoplar el circuito electrónico con los sensores y paneles solares.
- e) Establecimiento de la arquitectura de control con tecnología IoT para la monitorización de variables físicas.
- f) Análisis del funcionamiento de la tecnología Lora y MQTT en la transmisión de datos en tiempo real.
- g) Diseño del sistema electrónico para la medición de los parámetros en el proceso de la deshidratación de frutas.
- h) Programación del microcontrolador para el monitoreo de las variables físicas.

- i) Elaboración de las placas PCB.
- j) Monitoreo de parámetros dependiendo del producto mediante MQTT.
- k) Pruebas de funcionamiento del horno solar.
- l) Corrección de errores del horno solar.
- m) Elaboración del informe final del sistema electrónico.

### **CAPÍTULO III**

#### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En el presente capítulo se presenta el desarrollo de la propuesta en el cual se describe los elementos que conforman todo el sistema, equipos utilizados, programación y finalmente el análisis de los resultados recabados en las pruebas de funcionamiento.

### **3.1 Análisis y discusión de los resultados.**

#### **3.1.1 Análisis de factibilidad**

##### **Factibilidad técnica**

El presente proyecto es técnicamente factible, debido a que todos los dispositivos eléctricos y electrónicos que se utiliza en el sistema fueron estudiados previamente, por ende, se pueden encontrar en el mercado nacional y adquirirlos sin problemas.

##### **Factibilidad económica**

El presente proyecto es económicamente factible debido a que todos los gastos serán cubiertos por el investigador para beneficio de los agricultores.

##### **Factibilidad bibliográfica**

La información requerida para el presente proyecto es de libre acceso, pues se puede encontrar en artículos científicos, libros y tesis relacionados con el tema.

#### **3.1.2. Desarrollo de la propuesta**

##### **3.1.2.1 Forma tradicional para el deshidratado de frutas**

El método tradicional que se empleaban para el deshidratado de frutas era mediante la radiación solar directa, esta técnica consistía en colocar la fruta o verdura deseada en una superficie limpia expuesta directamente al sol como se muestra en la figura 15, de manera que el calor y la luz solar ayuden a evaporar el agua de la fruta o verdura, la exposición al sol podía durar 5 a 7 de días, dependiendo del tamaño y la cantidad de fruta o verdura a deshidratar, a medida que el sol evaporaba el agua, la fruta o verdura se iba endureciendo y quedaba lista para ser almacenada.



**Figura 15.** Forma tradicional para el deshidratado de frutas. [36]

Esta técnica de deshidratación aún se usa en algunas partes del mundo, pero puede ser un proceso lento, impredecible y con mucho riesgo de contaminación, por lo que el proceso de deshidratación conllevaba demasiado tiempo, además un problema que presentaban las empresas dedicadas a este proceso es la deficiencia en el control y monitoreo adecuado en el proceso de secado de frutas.

En la actualidad los sistemas de deshidratación de frutas funcionan con electricidad, pero no poseen ningún monitoreo de variables físicas para indicar las anomalías durante el proceso.

A partir de los problemas presentados en los sistemas actuales de deshidratación se busca optimizar las necesidades de los productores de frutas, implementando un horno solar y monitorizado mediante la tecnología IOT, los beneficiarios directos del proyecto son los productores de frutas y las pequeñas empresas dedicadas a la deshidratación de frutas con la finalidad de conservar el producto y reducir la contaminación ambiental.

### **3.1.2.2 Análisis de la estructura del horno solar**

Un horno solar es un dispositivo para deshidratar alimentos que aprovecha la energía del sol para generar calor a través de un sistema fotovoltaico, la estructura básica de un horno solar generalmente consta de una caja de acero inoxidable que en el interior está colocada una niquelina para generar calor en el horno y mediante el aire generado por un ventilador pueda dispersar el calor hacia todas las bandejas de frutas, para que pueda circular el calor las bandejas tienen que ser perforadas y de acero inoxidable para que el producto final puede ser consumido por las personas, en la base del sistema de deshidratación de frutas se debe tener una bandeja sin perforación para recoger el líquido extraído por la fruta, además esta caja debe ser lo suficientemente resistente para resistir el calor y los cambios de temperatura, las dimensiones de los hornos para el secado de frutas.

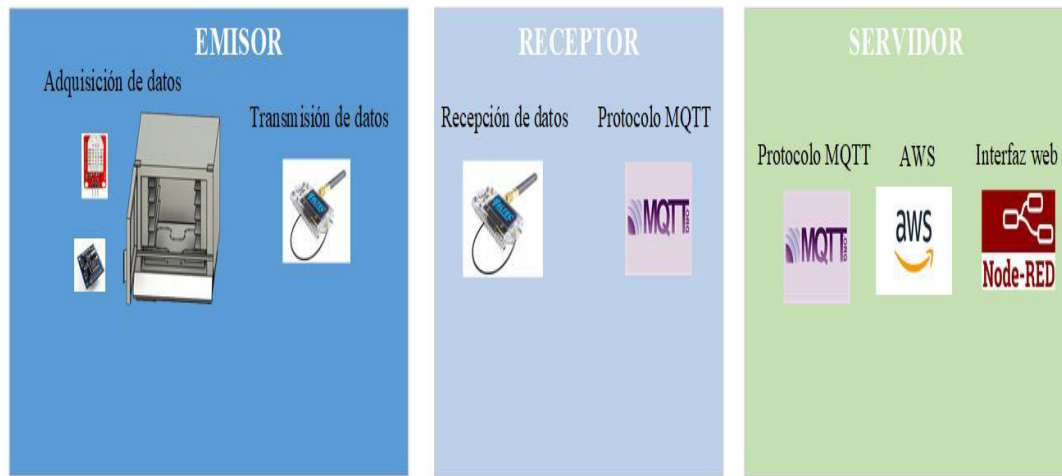
- **Requerimientos del sistema de deshidratación de frutas**

Luego de haber realizado un análisis de los sistemas de deshidratación de frutas actuales, requieren de un proceso de monitorización constante de los parámetros que están inmersos en el deshidratado de frutas para obtener un producto de mejor calidad para el consumidor, además la mayoría de los deshidratadores de frutas son eléctricos, lo que se pretende con este proyecto es aprovechar al máximo la energía solar a través de un sistema fotovoltaico porque la minoría que hay en el mercado son por convección directa del sol mediante paredes de acero inoxidable y no son muy acogidos por los productores debido a su alto costo que bordea los 5000 dólares.

- **Descripción del sistema de deshidratación de frutas**

El sistema de deshidratación de frutas consta de 3 etapas como son: emisor, receptor y servidor en la nube como se muestra en la figura 15, este sistema está basado en tecnología LoRaWAN.





**Figura 15.** Arquitectura del sistema de deshidratación de frutas

**Elaborador por:** El investigador

### **Emisor**

El emisor se encuentra en la parte de la estructura del horno solar para la deshidratación de frutas, en el cual mediante los sensores se obtienen datos de los parámetros técnicos que están inmersos en el proceso de deshidratación como temperatura y humedad, estos datos son procesados y enviados al receptor por medio del módulo Heltec wifi LoRA 32 v2 el cuál debe estar conectado a una red wifi.

### **Receptor**

El receptor se encarga de recolectar los datos mediante el módulo Heltec wifi LoRA 32 v2, además el receptor sirve como intermediario entre el emisor y el servidor

### **Servidor**

El servidor se encarga de gestionar la información y aquí se instalan los diferentes servicios como broker MQTT, node-red, el servidor AWS para que el usuario pueda visualizar los datos de los diferentes sensores en una interfaz gráfica.

#### **3.1.2.3 Diseño de la estructura física del horno solar**

Para el diseño del deshidratador se realizó en base a dos criterios, el primero consiste en la revisión de las fuentes bibliográficas para establecer las frutas que se van a deshidratar, el segundo criterio va relacionado con el dimensionamiento físico, las variables que están inmersas durante el proceso de deshidratación que se determinó a través de visitas a empresas dedicadas a deshidratar frutas, además para el dimensionamiento del horno se empleó el software Fusion 360, se realizó el diseño de acuerdo con los cálculos obtenidos teóricamente como se detalla a continuación:

- **Dimensionamiento de bandejas**

Las bandejas son de forma rectangular, mediante la ecuación 9 se puede obtener el valor del volumen, donde la capacidad máxima del deshidratador solar es de 6 kg de frutas.

$$V = \frac{m}{p} \quad \text{Ec. ( 9 )}$$

Se considera el valor del calor específico del aire y la capacidad de deshidratación para el dimensionamiento.

$$V = \frac{6 \text{ Kg}}{1010 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}}$$

$$V = 5.94 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

El espesor recomendable para deshidratar frutas es de 12mm, con esto se obtiene el área de las bandejas como se muestra en la ecuación 10.

$$V = A_{fruta} * e \quad \text{Ec. ( 10 )}$$

$$A_{fruta} = \frac{5.94 \times 10^{-3} \text{ m}^3}{12 \times 10^{-3} \text{ m}}$$

$$A_{fruta} = 0.495 \text{ m}^2$$

Se realizan 4 bandejas (se toma como referencia los deshidratadores existentes en el mercado), el producto ocupará un 85 % del espacio de la bandeja, para determinar el área de la bandeja se utiliza la ecuación 11.

$$A_{bandeja} = \frac{A_{fruta}}{n_{bandeja} \% \text{espacio}} \quad \text{Ec. ( 11 )}$$

$$A_{bandeja} = \frac{0.495 \text{ m}^2}{4 \times 85\%}$$

$$A_{bandeja} = 0.145 \text{ m}^2$$

Se considera que a= 4 bandejas y b =6 la capacidad máxima obteniendo la relación  $b = 1.5a$  para determinar las dimensiones de las bandejas se utiliza la ecuación 12.

$$a = \sqrt{\frac{A_{bandeja}}{1.5}} \quad \text{Ec. ( 12 )}$$

$$a = \sqrt{\frac{0.145m^2}{1.5}}$$

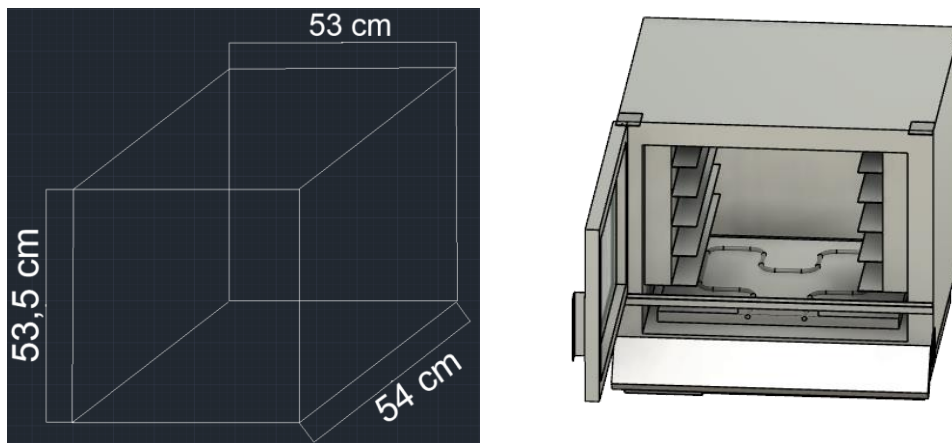
$$a = 0.31m$$

$$b = 1.5a$$

$$b = 46.6 = 47 \text{ cm}$$

Se elabora 4 bandejas de 31 \* 47 cm.

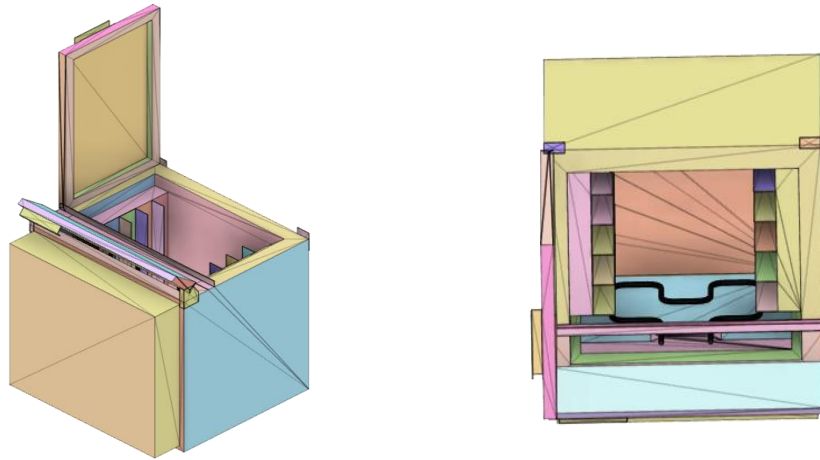
El deshidratador será capaz de secar 6 kg de fruta en un tiempo estimado de 8 horas, la fuente de alimentación del equipo es mediante energía solar, el aire seco será calentado por una niquelina y será dispersado mediante las cámaras de ventilación como se muestra en la figura 16, el deshidratador será capaz de alcanzar temperaturas que oscilen entre los 40 °C y 60° C que es lo recomendado para el deshidratado.



**Figura 16.** Diseño de horno para deshidratación de frutas

**Elaborador por:** El investigador

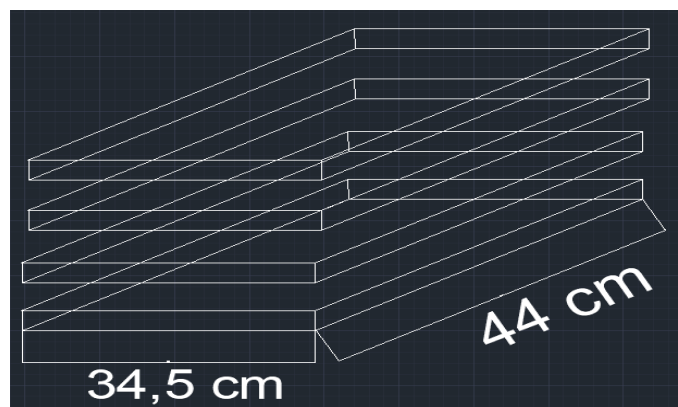
En la figura 17 se puede visualizar las vistas frontal y lateral en 3 dimensiones, además se puede observar internamente la niquelina que trabaja con 110 voltios para el deshidratado de frutas.



**Figura 17.** Diseño frontal y lateral de horno

**Elaborador por:** El investigador

Las dimensiones de las bandejas para deshidratar se ilustran en la figura 18.



**Figura 18.** Dimensiones de las bandejas

**Elaborador por:** El investigador

### 3.1.2.4 Procedimiento para la deshidratación de frutas

Los pasos que se deben seguir para el deshidratado de varios productos como: Manzana y frutilla, se indican a continuación:

1. Lavado y cortado según la recomendación para cada fruta.
2. Colocación de las rodajas de frutas en las bandejas.
3. Programación del tiempo y temperatura requerido por cada fruta.
4. Medición del peso y la humedad inicial.
5. Medición del peso y la humedad cada hora.
6. Tabulación de datos
7. Realizar el monitoreo de datos y sus respectivas gráficas en node-red.

### 3.1.2.5 Deshidratador de frutas

Los elementos y dimensiones del dispositivo se muestran en la tabla 7.

**Tabla 7.** Elementos y dimensiones del deshidratador frutas

<b>Parámetro</b>	<b>Descripción</b>
Deshidratador	De bandejas fijas con aire caliente
Material	Acero inoxidable
Dimensiones	53 x 53,5 x 54 cm
Peso	Menos de 15 Kg
Energía	Solar
Temperatura	Menos de 60 ° C

**Elaborado por:** El investigador

### 3.1.2.6 Selección de la niquelina

#### Niquelina

La niquelina es una aleación de níquel y cobre que se usa en la fabricación de cables y otros materiales eléctricos. Para determinar el dimensionamiento de la niquelina se puede utilizar las siguientes ecuaciones, a continuación, se obtiene la densidad del producto mediante la ecuación 13:

$$\text{Densidad} = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}} \quad \text{Ec. ( 13 )}$$

Calor específico del aire viene dada en la ecuación 14.

$$C_e = 1012 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{k}} \quad \text{Ec. ( 14 )}$$

La Energía Térmica se determina mediante la ecuación 15.



$$Q = m(T_f - T_o) * C_e \quad \text{Ec. ( 15 )}$$

Potencia disipada.

$$\text{potencia disipada} = \frac{Q}{t} \quad \text{Ec. ( 16 )}$$

Para la selección de la niquelina se consideró los siguientes aspectos que se muestra en la tabla 8.

**Tabla 8.** Comparación de niquelinas

Tipo de niquelina	Blindado doble	Blindado simple
Potencia	600 W	1000 W
Longitud	50 cm	60 cm
Ilustración		

**Elaborado por:** El investigador

La niquelina que se utilizó para el desarrollo del proyecto es de 600W de potencia, lo que permitirá que el control sea eficaz y se logre mantener la temperatura adecuada durante el proceso de deshidratación. La niquelina eléctrica no trabajará al 100% durante el proceso de deshidratación de frutas debido a que la temperatura máxima para deshidratar es 60° C, para calcular la potencia requerida se utiliza las fórmulas de la densidad y energía térmica, considerando las dimensiones del espacio que se emplea para deshidratar las frutas (53x53.5x54 cm), en donde su volumen a calentar es de 0.153 m<sup>3</sup>, para determinar la masa se utiliza la ecuación de la energía térmica y se emplea en la fórmula de la densidad del aire donde su valor es de 1kg/m<sup>3</sup>.



Reemplazando los valores y despejando se obtiene

$$1 * 0.153 = \text{masa}$$

$$0.153 \text{ kg} = \text{masa}$$

Se determina la temperatura inicial  $T_0 = 18^\circ \text{C}$  y la temperatura final  $T_f = 60^\circ \text{C}$  para establecer el rango de funcionamiento del sistema de deshidratación.

El Calor específico del aire se determina utilizando la ecuación 14 y la energía térmica se obtiene a través de la ecuación 3 del marco teórico:

$$Q = 0.153 (60 - 18) * 1012$$

$$Q = 6503.1\text{J}$$

El tiempo que tarda en calentarse es aproximadamente de 10 minutos es decir 600 segundos a partir de la ecuación 3 del marco teórico se obtiene la potencia disipada:

$$\text{potencia disipada} = \frac{6503.1\text{J}}{600\text{s}}$$

$$\text{potencia disipada} = 10.84 \text{ W}$$

Se calculó la potencia que requiere el sistema para empezar a calentar el sistema de deshidratación, la potencia máxima de la niquelina es de 600 W por ende su temperatura máxima dentro del horno es de  $150^\circ \text{C}$ , este valor se determinó con el instrumento de medición (multímetro), como el sistema va a trabajar a una temperatura de  $40^\circ \text{C}$  la potencia con la cual va a trabajar la niquelina es de 160 W como se detalla a continuación.

$$\text{potencia de trabajo niquelina} = \frac{\text{potencia máxima} * \text{temperatura máxima}}{\text{temperatura de deshidratación}}$$

$$\text{potencia de trabajo niquelina} = \frac{600 \text{ W} * 150^\circ \text{C}}{40^\circ \text{C}}$$

$$\text{potencia de trabajo niquelina} = 160 \text{ W}$$

### 3.1.2.7 Selección del sensor de Temperatura y Humedad

Los sensores de humedad y temperatura utilizados en el proceso de deshidratación de frutas funcionan con 5 voltios lo que facilita las conexiones con el microcontrolador, por los rangos de temperatura para la deshidratación de las frutas se optó por la familia DHTXX debido a que facilitan la obtención de datos mediante librerías. En la tabla 9 se presentan las características más importantes de los sensores [39].

**Tabla 9.** Comparación de Sensores

Sensor	Tipo	Voltaje	Rango	Error	Precisión	Salida
DHT22	Temp. y hum. relativa	4,5 - 6V	-40°C a 80 °C	Temp <±0.5 °C Hum 2%	Media	Digital
DHT21	Temp. y hum. relativa	3,5 – 5,5V	-40°C a 80 °C	Temp. <±0.5 °C Hum. 3%	Alta	Digital
DHT11	Temp y hum. relativa	3 – 5 V	40°C a 50 °C	Temp. <± 2 °C Hum 5%	Media	Digital

**Elaborado por:** El Investigador

El sensor seleccionado después del análisis realizado en la tabla 9 es el sensor DHT22 debido a que brinda una mayor precisión y resolución, cabe recalcar que este sensor es ideal para aplicaciones de monitoreo en el medio ambiente, su aplicación es muy sencilla debido a que posee librerías en el IDE Arduino, en el anexo 6 se puede evidenciar las especificaciones.

- **Sensor DHT22**

El sensor DHT22 funciona mediante una sonda de temperatura y humedad, que se conecta a un microcontrolador como Arduino, esta sonda envía señales de temperatura y humedad al microcontrolador, que a su vez las almacena en la memoria no volátil del sensor como se muestra en figura 19.



**Figura 19.** Sensor DHT22

**Elaborado por:** El investigador en base a [39].

### 3.1.2.8 Selección del reloj de tiempo real RTC

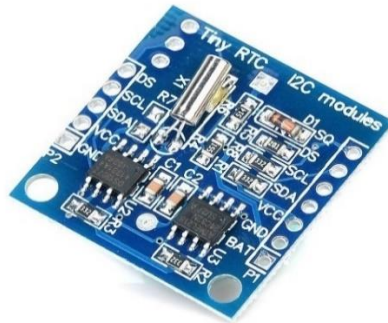
El reloj de tiempo real RTC es el que se encarga de mantener la hora en el sistema, si por algún motivo se borra el sistema se reiniciará. Existen algunas maneras para el reinicio del sistema, la más común es al cambiar la batería del reloj RTC. Por otro lado, para evitar que la hora del reloj RTC se resetee, se puede tener una batería de respaldo que se encargaría de alimentar el reloj cuando la batería principal se agote, en la tabla 10 se muestra de las características de los RTC [40].

**Tabla 10.** Comparación de los RTC

Sensor	Voltaje de operación	Comunicación	EEPROM	Precisión	Duración Batería
DS3231	5 V	I2C	AT24C32	Muy alta	5 años
DS1307	5 V	I2C	AT24C32	Alta	2 años

**Elaborado por:** El investigador en base a [40].

Las características de los dispositivos que se presenta en la tabla 11 son idénticos, pero por la facilidad de encontrar en el mercado se optó por adquirir el modelo DS1307 como se ilustra en la figura 20.



**Figura 20.** RTC DS1307

**Elaborado por:** El investigador en base a [40].

### 3.1.2.9 Selección de los dispositivos para la implementación del prototipo

Para la selección de los dispositivos se realizó un análisis técnico de los componentes electrónicos y eléctricos que contiene todo el sistema, gracias a este análisis se identificó su funcionalidad y sus principales características, además se desarrolló tablas comparativas de cada uno de los componentes a utilizar en las etapas del sistema.

- **Tarjeta de desarrollo**

Tarjeta de desarrollo permite al usuario programar y hacer pruebas en la tarjeta antes de que el producto final se ponga en producción, estas tarjetas permiten probar, desarrollar, verificar y depurar los diseños de hardware antes de la fabricación en masa, también permiten a los desarrolladores de software trabajar en un diseño de sistema completo antes de la producción. En la tabla 11 se muestra una comparación entre las diferentes placas de desarrollo existentes en el mercado.

**Tabla 11.** Tipos de placas de desarrollo

Características	Tarjeta de desarrollo		
Dispositivo	WiFi LoRa 32	Arduino uno WiFi Rev2	Heltec LoRA Wifi 32 (v2)

Tipo	Microprocesador	Microcontrolador	Microprocesador
Memoria	Flash 4MB SRAM 520KB EEPROM 348KB	Flash 48KB SRAM 1KB EEPROM 256B	Flash 4MB SRAM 520KB EEPROM 348KB
Procesador	LX6 de 32 bits	Atmega4809	SX1276
Wi-Fi	2.4GHz-GHz IEEE802.11b/g/n	2.4GHz-GHz IEEE802.11b/g/n	2.4GHz-GHz IEEE802.11b/g/n
Voltaje de operación	5v	5v	5v
Frecuencia de reloj	Ajustable de 80 a 240 MHz	16 MHz	Ajustable de 80 a 240 MHz
Voltaje máximo	12v	12v	12v
Voltaje mínimo	7v	7v	7v
Corriente	50mA	20mA	60mA
Rango de temperatura de trabajo	En la industria desde -40 a +85°C	En la industria desde -40 a +85°C	En la industria desde -40 a +85°C
Números de pines digitales	E/S 14	Contienen un total de 48 pines que se distribuyen de la siguiente manera: 18 canales convertidores de analógico a digital (ADC)	
Número de pines analógicos	Entrada 6		
Costo en dólares	50.75\$ sin IVA	30.66\$ sin IVA	45.23\$ sin IVA

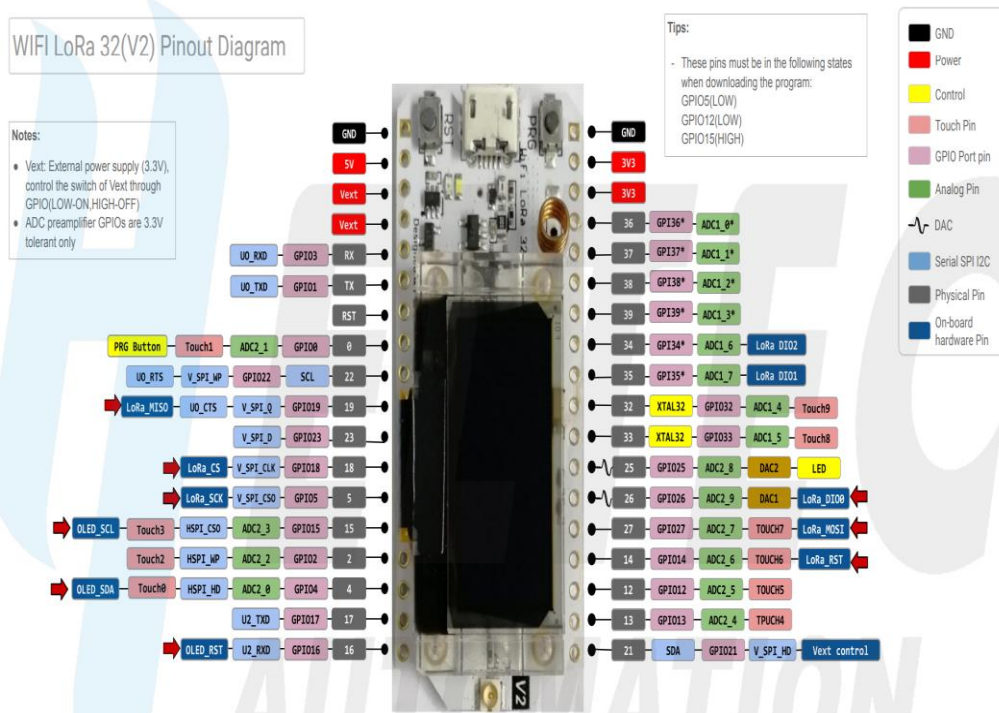
**Elaborado por:** El investigador en base a [40].

Luego de haber realizado el análisis comparativo entre las placas desarrollo en la tabla 11, se optó por la tarjeta de desarrollo Heltec LoRA Wifi 32 (v2), pues en esta placa se puede realizar la comunicación inalámbrica, gracias a su microprocesador que

permite la configuración del protocolo LoRA, donde además contiene las entradas y salidas analógicas y digitales que requiere el sistema.

- **Configuración de pines**

El módulo Heltec LoRA Wifi 32 (v2) tiene una variedad de pines disponibles para su uso, incluyen entradas y salidas digitales y analógicas, así como puertos UART, SPI, I2C, entre otros, la distribución de pines de la placa se muestra en la figura 21.



**Figura 21.** Diagrama de pines del módulo Heltec LoRA Wifi 32 a [41].

Para comprobar las funciones de los pines se realizó la tabla 12 donde se da a conocer la función de cada uno.

**Tabla 12.** Distribución de pines del módulo Heltec LoRA Wifi 32 (v2)

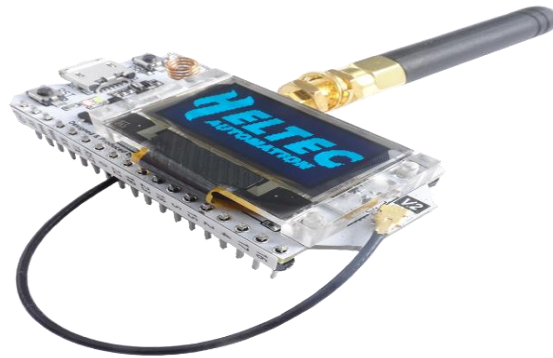
<b>Pines</b>	<b>Función</b>
RTC_GPIO	Los siguientes pines se usan como fuente de activación externa, además se usan para despertar el ESP32 del modo suspensión profunda (ULP).
DAC1 (GPIO25) DAC2 (GPIO26)	Sirven para convertir las señales digitales en salidas de señal de voltaje analógico.
GPIO	Estos GPIO se pueden usar como ADC y sus canales respectivos.
PWM	Posee 16 canales independientes que se pueden configurar para generar señales PWM con distintas propiedades.
T (GPIO)	Sensores táctiles capacitivos internos se utilizan para despertar el ESP32 del modo de suspensión profunda.
GPIO34 GPIO35 GPIO36 GPIO300	Pines de entrada, estos pines no poseen resistencias pull-down internas.
GPIO 6 (SCK/CLK) GPIO 7 (SDO/SD0) GPIO 8 (SDI/SD1) GPIO 9 (SHD/SD2) GPIO 10 (SWP/SD3) GPIO 11 (CSC/CMD)	Pines conectados a flash SPI en el chip ESP-WROOM-32 y no se recomiendan para otros usos.

**Elaborado por:** El investigador en base a [41]

- **Selección de la Tarjeta de desarrollo**

El módulo Heltec LoRA Wifi 32 (v2) sirve para proyectos de IoT basados en tecnología LoRa, incorpora un microcontrolador ESP32 de doble núcleo, un chip

LoRa SX1276, una batería de iones de litio y una pantalla OLED, además es ideal para proyectos de IoT avanzados, como la supervisión de dispositivos remotos, el control de accesos, el control de la red eléctrica y la detección de fallos en el equipo. En la figura 22 se muestra la tarjeta de desarrollo que también puede usarse para la comunicación a larga distancia en entornos donde no hay señal de Wi-Fi o Bluetooth, ya que permite la transmisión de datos a través de la tecnología LoRa.



**Figura 22.** Módulo Heltec LoRA Wifi 32 [41].

#### **3.1.2.10 Diseño del sistema fotovoltaico**

El diseño del sistema fotovoltaico consta principalmente de un panel solar que se encarga de captar la energía solar y entregarla al acumulador de carga o batería, a través del controlador de carga se puede evidenciar los valores de voltaje y corriente de la batería y el panel solar, finalmente el inversor de carga cumple la función de tomar la corriente continua de la batería y transformarla en corriente alterna para la alimentación del horno solar, a continuación se detalla los cálculos teóricos para el determinar las especificaciones de cada elemento.

- **Consumo**

La potencia máxima de consumo del deshidratador de frutas es de 600 vatios y opera con un voltaje de 110 voltios.



El sistema de deshidratación de frutas utilizó 24 horas de autonomía de energía solar, con una eficiencia del 85% del panel solar, con estos datos se obtiene la potencia como se muestra en la ecuación 17.

$$Ph = \frac{P * t}{eficiencia_{panel} * \#días} \quad \text{Ec. ( 17 )}$$

$$Ph = \frac{600W * 24h}{85\% * 1día}$$

$$Ph = 705.9 \frac{Wh}{día}$$

El sistema de deshidratación de frutas funciona con 12V, mediante este dato se puede obtener la intensidad como se muestra en la ecuación 18.

$$Ih = \frac{Ph}{V} \quad \text{Ec. ( 18 )}$$

$$Ih = \frac{705.9 Wh}{12 V}$$

$$Ih = 58.82 Ah$$

Se obtiene la intensidad corregida como se muestra en la ecuación 19 considerando una eficiencia del 95% en el cableado y un 90% en la batería.

$$I_{h_{\text{corregida}}} = \frac{I_h}{ef_{\text{cableado}} * ef_{\text{batería}}} \quad \text{Ec. ( 19 )}$$

$$I_{h_{\text{corregida}}} = \frac{58.82 \text{ Ah}}{95\% * 90\%}$$

$$I_{h_{\text{corregida}}} = 68.8 \frac{\text{Ah}}{\text{día}}$$

- **Dimensionamiento batería**

La batería es capaz de mantener una autonomía 24 horas con un porcentaje de descarga del 90%.

$$I_{h_{\text{batería}}} = \frac{I_{h_{\text{corregida}}} * \text{días de autonomía}}{\% \text{ descarga}} \quad \text{Ec. ( 20 )}$$

$$I_{h_{\text{batería}}} = \frac{68.8 \frac{\text{Ah}}{\text{día}} * 1 \text{ día}}{90 \%}$$

$$I_{h_{\text{batería}}} = 76.43 \text{ Ah}$$

A continuación, en la tabla 13 se detalla las especificaciones de los tipos de baterías.

**Tabla 13.** Tipos de baterías

<b>Modelo</b>	GE120-12	SW121000
<b>Voltaje</b>	12 voltios	12 voltios
<b>Corriente</b>	120 Ah	100 Ah
<b>Precio</b>	100 \$	98 \$

**Elaborado por:** El investigador

Se elige una batería de 120 Ah para un mejor desempeño en el proceso de deshidratación de frutas, en la figura 23 se observa la batería seleccionada.



**Figura 23.** Batería 120 Ah

**Elaborado por:** El investigador

- **Selección del panel fotovoltaico**

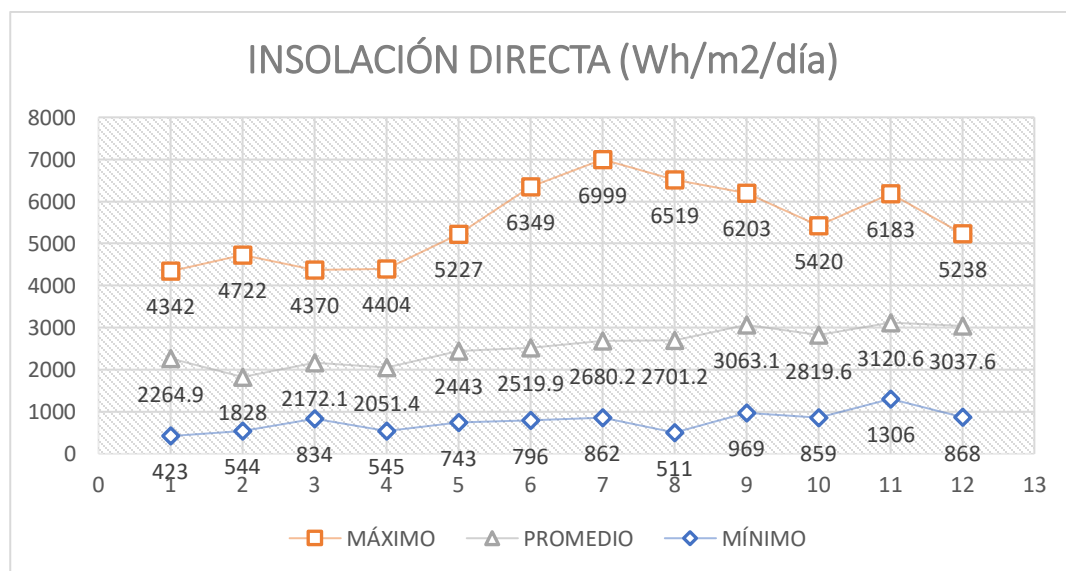
Se escogió el panel solar de silicio policristalino debido a la eficiencia para captar la radiación del sol y por su bajo costo en el mercado.

Mediante datos del Atlas de radiación del Ecuador se consideró la potencia entregada por el sol durante todo el año como se ilustra en la tabla 14.

**Tabla 14.** Insolación directa en el Ecuador

Tiempo	MÍNIMO	MÁXIMO	PROMEDIO
1-Ene	423	4342	2264.9
2-Feb	544	4722	1828
3-Mar	834	4370	2172.1
4-Abr	545	4404	2051.4
5-May	743	5227	2443
6-Jun	796	6349	2519.9
7-Jul	862	6999	2680.2
8-Ago	511	6519	2701.2
9-sep	969	6203	3063.1
10-Oct	859	5420	2819.6
11-Nov	1306	6183	3120.6
12-Dic	868	5238	3037.6

Elaborado por: El investigador



**Figura 24.** Insolación directa en Ecuador

Elaborado por: El investigador

Se adquiere un promedio anual de la radiación solar de  $1400.56 \text{ Wh/m}^2/\text{día}$  obtenida del mínimo de insolación directa como se muestra en la figura 24.

Se utiliza un panel de 200W, de dimensiones 67 x 163 cm como se muestra de la figura 25.



**Figura 25.** Panel solar

**Elaborado por:** El investigador

$$A = 0.67 \times 1.63 \text{ m}$$

$$A = 1.09 \text{ m}^2$$

$$Ph_{radiación} = 1400.56 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^2 \cdot \text{día}} \times 1 \text{ día} \times 1.09 \text{ m}^2 \quad \text{Ec. ( 21 )}$$

$$Ph_{radiación} = 1526.61 \text{ Wh}$$

$$\text{Tiempo radiación} = \frac{Ph_{radiación}}{P_{panel}} \quad \text{Ec. ( 22 )}$$

$$\text{Tiempo radiación} = \frac{1526.61 \text{ Wh}}{200 \text{ W}}$$

$$\text{Tiempo radiación} = 7 \text{ h } 38 \text{ min}$$

$$\text{Tiempo carga batería} = \frac{Ph_{batería}}{P_{panel}} \quad \text{Ec. ( 23 )}$$

-

$$Tiempo\ carga\ batería = \frac{12\ V \times 120\ Ah}{200\ W}$$

$$Tiempo\ carga\ batería = 7h\ 12\ min$$

$$Tiempo\ radiación > Tiempo\ carga\ batería$$

Mediante esto se verifica que se tiene la suficiente radiación solar para cargar la batería con este panel, por ende, es recomendable utilizarlo.

- **Selección del controlador de carga**

Para la selección del controlador de carga se toma en consideración los siguientes aspectos que se menciona en la tabla 15.

**Tabla 15.** Especificaciones de los controladores de carga

Marca	PWM	Truper
<b>Voltaje nominal</b>	12 V/ 24 V	12 V/ 24 V
<b>Corriente nominal</b>	30 A	40 A
<b>Voltaje máximo</b>	50 V	50 V
<b>Potencia máxima de entrada</b>	390W (12 V) / 780W(24V)	6500W (12 V) / 1200W(24V)
<b>Precio</b>	70 \$	130 \$

**Elaborado por:** El investigador

Con los datos obtenidos anteriormente del panel solar se selecciona el controlador de carga marca PWM por su bajo costo y necesidades del sistema de deshidratación de frutas, en la figura 26 se muestra el controlador de carga seleccionado.



**Figura 26.** Controlador de carga

**Elaborado por:** El investigador

- **Selección del inversor de carga**

Para la selección del inversor de carga se considera las siguientes características que se detalla en la tabla 16.

**Tabla 16.** Especificaciones de los inversores de carga

<b>Marca</b>	ONS	Truper
<b>Potencia</b>	1000 W	750 W
<b>Voltaje de entrada</b>	DC 12 V	DC 12 V
<b>Voltaje de salida</b>	AC 110 V	AC 120 V

**Elaborado por:** El investigador

Se seleccionó el inversor de carga marca ONS como se muestra en la figura 27, debido a que posee un mayor valor de potencia que la marca Truper.



**Figura 27.** Inversor de carga

**Elaborado por:** El investigador

### 3.1.2.11 Instalación del sistema fotovoltaico

A continuación, en la tabla 17, se detalla la descripción de cada una de los componentes necesarios para que funcione el sistema fotovoltaico.

**Tabla 17.** Sistema Fotovoltaico

N°.	Partes	Descripción
1	<p>Panel Solar</p> 	<p>El panel solar debe conectarse al controlador de carga, esto se debe que la radiación del sol no es constante.</p>
2	<p>Batería</p> 	<p>La batería está conectada al inversor de carga y al controlador de carga, cumple la función de guardar la energía continua.</p>
3	<p>Controlador de carga</p> 	<p>El controlador de carga está conectado al panel solar y a la batería, su función es evitar las sobrecargas al acumulador de energía.</p>
4	<p>Inversor de carga</p> 	<p>El inversor de carga debe conectarse a la batería, su función es permitir el paso de la corriente continua a corriente alterna para ponerlo a prueba el equipo.</p>

**Elaborado por:** El investigador



### 3.1.2.12 Diseño del controlador PID

Mediante la temperatura obtenida del sensor DHT22 se diseñó el controlador que se requiere para el sistema, el cual puede ser proporcional, proporcional integral y derivativo basándose en las reglas de sintonía de la tabla 7, la función de transferencia que se detalla en la ecuación 24 y se visualiza en la figura 28 pertenece a la relación matemática en el dominio de Laplace que relaciona la variable de entrada con la variable de salida.

$$G(S) = \frac{Y(s)}{X(s)} \quad \text{Ec. ( 24 )}$$



**Figura 28.** Diagrama de función de transferencia

**Elaborado por:** El investigador [36].

### 3.1.2.13 Función de transferencia

Los sistemas térmicos intercambian energía con el medio ambiente cuyo balance de energía indica el cambio en la energía calorífica por unidad de tiempo donde es igual a potencia inferida menos la potencia extraída como se muestra en la ecuación 27.

$$\frac{dE}{dt} = P_i - P_e \quad \text{Ec. ( 25 )}$$

La ecuación expresa la variación de energía calorífica en el sistema cuya relación está dada mediante la ecuación 26.

$$E = T * V * c * p \quad \text{Ec. ( 26 )}$$

Donde:

E= Energía calorífica

T= Temperatura

V= Volumen

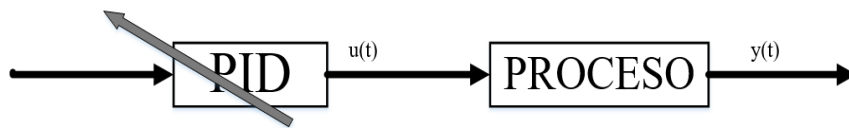
c= Capacidad térmica

p = Densidad

$$\frac{V * c * p * dT}{dt} = P_i - P_e \quad \text{Ec. ( 27 )}$$

- **Sintonización del control PID**

Se escogió el método de ZIEGLER NICHOLS debido a que la planta se puede manipular la entrada y también es viable registrar la salida de los datos, en la figura 29 se detalla la sintonización del control en lazo abierto.



**Figura 29.** Sistema en lazo abierto cerrado [36].

Se establece un control para inyectar en la entrada del proceso la señal de escalón unitario, este método de sintonización se acerca a un sistema de primer orden con la ecuación 28.

$$Gp(s) = \frac{ke^{-Ls}}{\tau s + 1} \quad \text{Ec. ( 28 )}$$

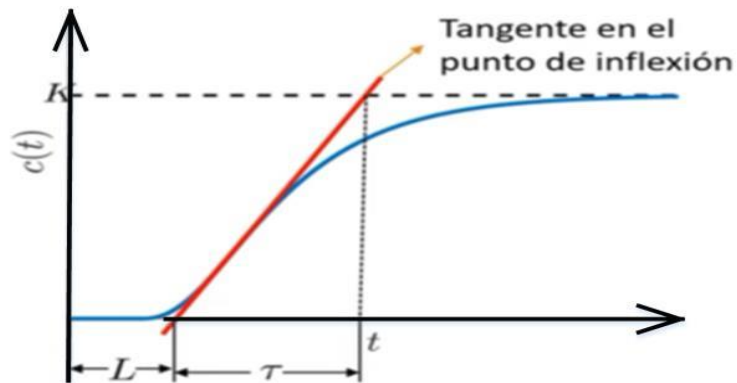
**Donde:**

L = tiempo en que el sistema tarda en responder

K = Ganancia del sistema

$\tau$  = constante de tiempo

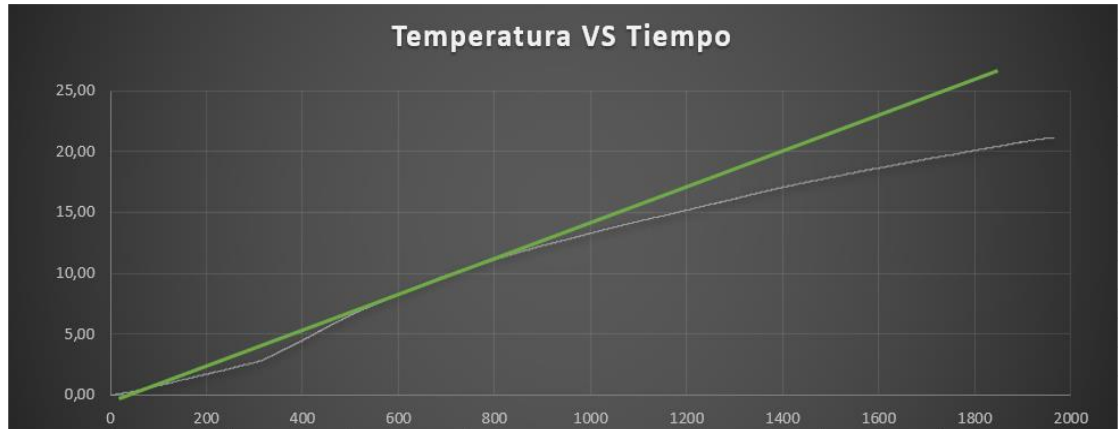
A continuación, en la figura 38 se ilustra las variables en la salida del sistema, considerando a la línea azul como el incremento de temperatura con respecto al tiempo.



**Figura 30.** Parámetros en un sistema de orden 1 [36].

Para mantener la estabilidad del sistema se utilizó el método de control digital donde se recomienda que el retardo aumente la mitad del período de muestreo como se detalla en la ecuación 29.

$$L' = L + \frac{\tau}{2} \quad \text{Ec. ( 29 )}$$



**Figura 31.** Salida al inyectar un escalón unitario a la entrada del sistema

**Elaborado por:** El investigador

Luego de haber trazado la línea tangente en el software de Matlab se puede obtener los parámetros K, L y  $\tau$ .

$$L=10$$

$$K=21$$

$$\tau=1225$$

$$T1=31$$

$$T2=1940$$

Luego de haber identificado los parámetros se aplica las fórmulas de la tabla 7 correspondiente al método de Ziegler Nichols para obtener las respectivas variables correspondientes al control PID.

$$kp = 1.2 + \frac{\tau}{kL}$$

$$ko = \frac{\tau}{kL}$$

$$ko = \frac{dx * t2}{dy * t1}$$

$$ko = \frac{5 * 1940}{15.03 * 31}$$

$$ko = 20.83$$

$$kp = 1.2 * ko$$

$$kp = 1.2 * 20.83$$

$$\mathbf{kp = 25}$$

$$\tau i = 0.60 \frac{ko}{t1}$$

$$\tau i = 0.60 \frac{20.83}{31}$$

$$\mathbf{\tau i = 0.4}$$

$$\tau d = 0.6 * ko * T1$$

$$\tau d = 0.6 * 20.83 * 31$$

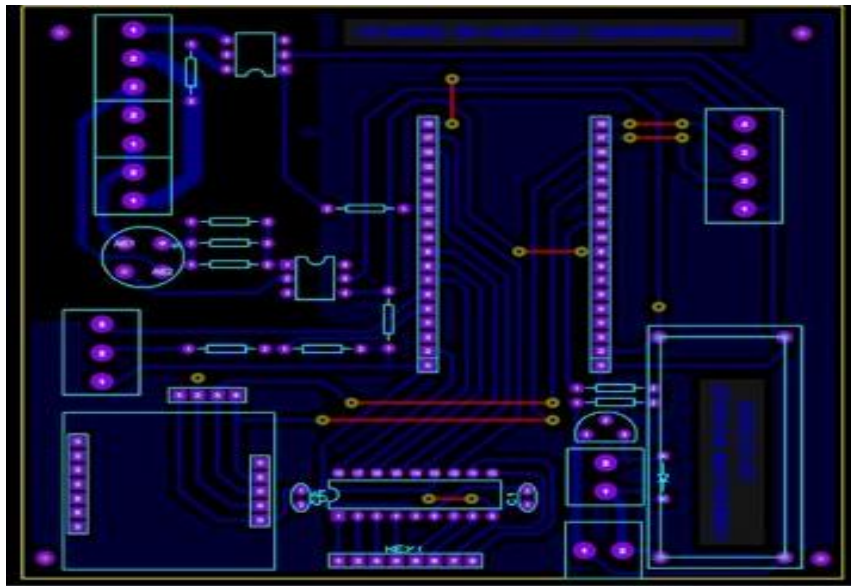
$$\mathbf{\tau d = 387.44}$$

### 3.1.2.14 Etapa de acondicionamiento de la señal

El optoacoplador que se usa es el PC817 que permite aislar ópticamente el circuito de potencia del controlador donde el diodo de luz infrarrojo posee una corriente mínima de activación de 2 mA, además el puente diodos rectifica la señal para que ingrese al optoacoplador el mismo que excita al transistor y genera un pulso de 1 lógico cada vez que la señal pasa por cero.

### 3.1.2.15 Diseño del controlador

El diseño del circuito PCB se lo realizó en Proteus considerando que este software ofrece librerías para insertar microcontroladores y variedad de tarjetas, se inicia a partir de pruebas realizadas en protoboard, posterior de verificar los errores se procede con la verificación de las conexiones, la figura 32 muestra el ruteo de las pistas, luego se desarrolla la baquelita.

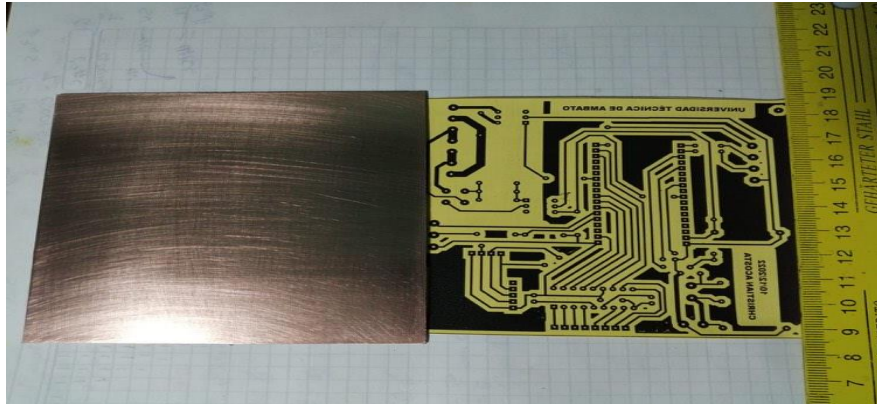


**Figura 32.** Diseño PCB

**Elaborado por:** El investigador

Luego de haber realizado el ruteo de las conexiones, continua el proceso de la elaboración de la baquelita, que se hace uso de los siguientes materiales como son:

papel de transferencia térmica, baquelita, estaño, taladro y los componentes electrónicos, el primer paso que se debe hacer es imprimir el circuito de las pistas en modo espejo como se ilustra en la figura 33.



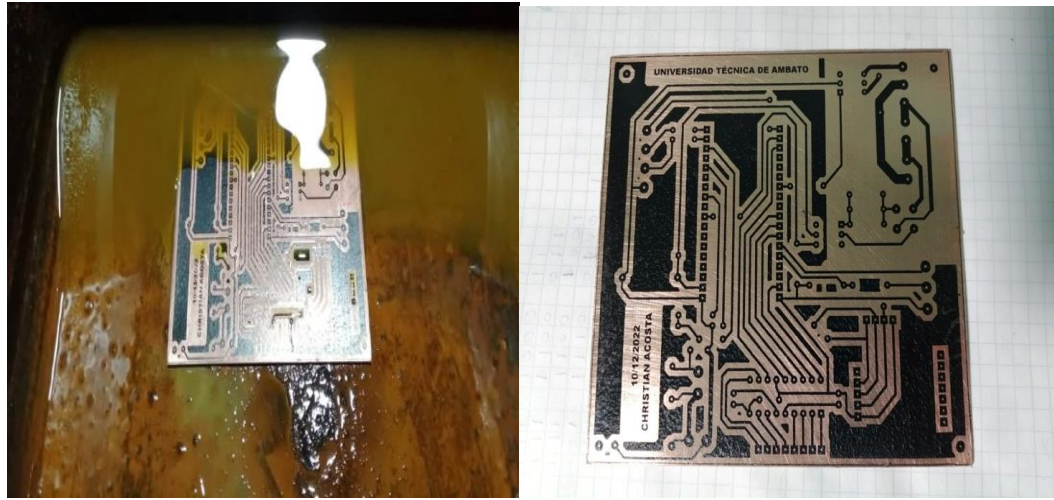
**Figura 33.** Circuito impreso en papel de transferencia térmica  
**Elaborado por:** El investigador

Una vez que se tiene el circuito impreso en papel transfer se continua con el planchado sobre la baquelita como indica la figura 34.



**Figura 34.** Ruteado transferido a la baquelita  
**Elaborado por:** El investigador

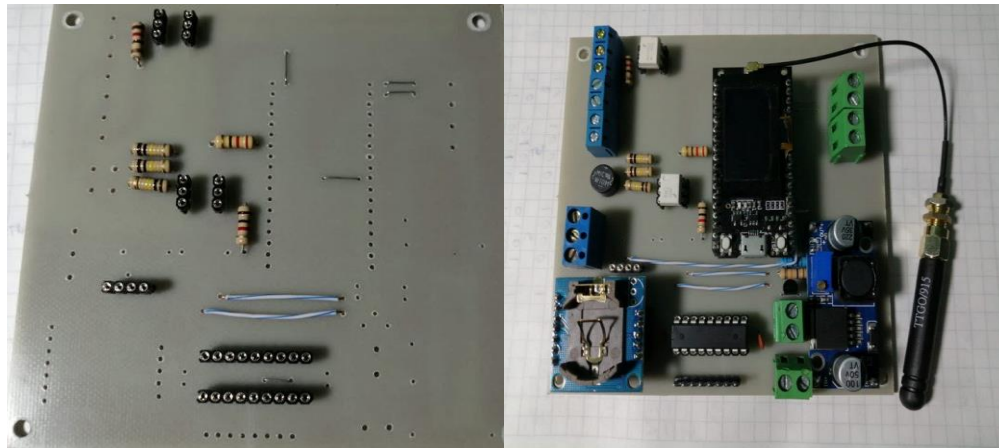
Una vez que se planche el diagrama de pistas se continua con la corrosión de la baquelita en cloruro férrico para la eliminación del exceso de cobre dejando así solo el diagrama de pistas deseado como se muestra en la figura 35.



**Figura 35.** Corrosión de la baquelita para la eliminación del exceso de cobre.

**Elaborado por:** El investigador

Luego continua el perforado de la baquelita según la distribución de pines como se muestra en la figura 36, finalmente se procede a soldar todos los componentes, posterior se realiza las pruebas de funcionamiento y así corregir los errores.



**Figura 36.** Perforación y soldadura de los componentes

**Elaborado por:** El investigador

### 3.1.2.16 Tablero de control

En el tablero de control se puede visualizar los valores de temperatura, humedad, la hora, la potencia del equipo, el tiempo que se estima para el deshidratado de frutas, el



funcionamiento del ventilador y finalmente el SET POINT que es el valor deseado de la variable del proceso como se ilustra en la figura 37.



**Figura 37.** Tablero de control

**Elaborado por:** El investigador

### 3.1.2.17 Selección del proveedor de un servidor en la nube

Se utiliza un servidor en la nube lo que permitirá hacer uso de una infraestructura alojada en internet, el cual tendrá como función el almacenamiento de datos de los sensores utilizados en el sistema para almacenarlos y visualizarlos en la interfaz gráfica de node-red, en la tabla 18 se puede apreciar una comparación entre los proveedores de servicios en la nube.

**Tabla 18.** Proveedores de servicios en la nube

Característica	Google Cloud	AWS (Amazon)	Microsoft Azure

	<b>Platform</b>		
Máquinas virtuales	Máquinas virtuales	Instancias	Máquinas virtuales
Plantillas VM	No contiene	Formación de la Nube AWS	Administrador de los recursos de Azure
Imágenes	Imagen VM	Imagen de la propia Amazon	Imagen VM
Acceso a máquinas virtuales	Incluye claves SSH	Incluye claves SSH	Incluye claves SSH
Escalamiento de las máquinas	De 448vCPUs y 24.576 GB de RAM	448vCPUs y 24.576 GB de RAM	De 416vCPUs y 11 GB de RAM
Formatos de importación de VM admitidos	VMDK Y VHD	RAW, OVA, VMDK y VHD	VHD

**Elaborado por:** El Investigador en base a [26].



Se seleccionó el proveedor de servicios en la nube AWS debido a que es más económico en comparación con los demás y además trabaja mediante instancias.

- **Comunicación inalámbrica**

Para la comunicación inalámbrica se estableció dos puntos para las estaciones emisora y receptora, se utilizó la herramienta Google Earth para ubicar las

coordenadas de ubicación, en la tabla 19 se puede observar las coordenadas geográficas de cada uno de los puntos tanto emisor como receptor.

**Tabla 19.** Ubicación de las estaciones

Estaciones	Coordenadas geográficas	Referencia
Emisora	Latitud: 1°22'6.71"S Longitud: 78°31'43.12"O	
Receptora	Latitud: 1°21'52.26"S Longitud: 78°31'28.81"O	

**Elaborado por:** El investigador

- **Selección de equipos para la transmisión inalámbrica**

La selección de equipos para la transmisión inalámbrica se basó en el modelo de Okumura-Hata para áreas semiurbanas de la ecuación 9 del marco teórico, se puede obtener las pérdidas de propagación ( $L_b$ ), considerando la distancia entre el nodo emisor y el nodo receptor de 1 Km, la altura de las antenas de 2 metros y la frecuencia de operación es de 915 MHz.

$$L_b(\text{urban}) = 69.55 + 26.16(\log(f)) - 13.82\log(h_b) - a(h_m) + (44.9 - 6.55\log(h_b))\log(d_m)$$

Donde:

f: frecuencia (MHz)

d: distancia (Km)

$a(h_m)$ : factor de corrección depende de la altura de la antena transmisora.

$h_b$ : altura de la antena receptora.

Donde:  $1 \leq (h_m) \leq 10$  m

$$a(h_m) = 8.29(\log 1.54h_m)^2 - 1.1 f \leq 200\text{MHz} \quad \text{Ec. ( 30 )}$$

$$a(h_m) = 3.2(\log 11.75h_m)^2 - 4.97 f \geq 400\text{MHz} \quad \text{Ec. ( 31 )}$$

Se utilizó la ecuación 35 debido a que la frecuencia de operación es de 915 MHz.

$$a(h_m) = 3.2(\log 11.75 * 2)^2$$

$$a(h_m) = 6.015$$

Una vez obtenido el valor de  $a(h_m)$  se procede a calcular las pérdidas de propagación.

$$L_b(\text{urban}) = 69.55 + 26.16(\log(f)) - 13.82\log(h_b) - a(h_m) + (44.9 - 6.55\log(h_b))\log(d_m)$$

$$L_b(\text{urban}) = 69.55 + 26.16(\log(915)) - 13.82\log(2) - 6.015 + (44.9 - 6.55\log(2))\log(1)$$

$$L_b(\text{urban}) = 116.08$$

Para áreas suburbanas se utiliza la ecuación 6 como se muestra a continuación:

$$L_b = L_b(\text{urban}) - 2 \left[ \log \left( \frac{f}{28} \right) \right]^2 - 5.4$$

$$L_b = 116.08 - 2 \left[ \log \left( \frac{915}{28} \right) \right]^2 - 5.4$$

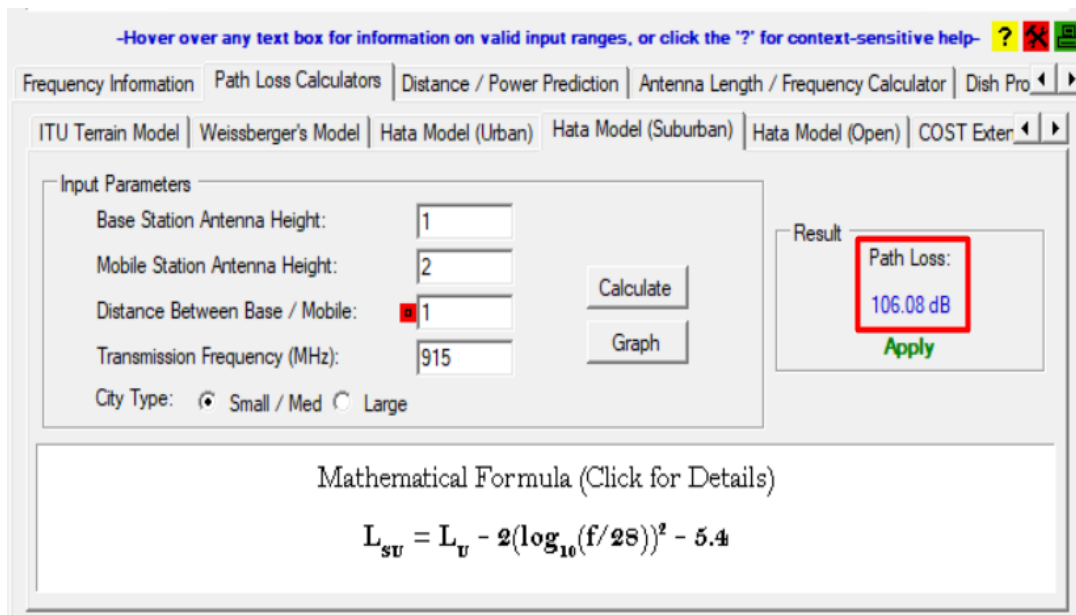
$$L_b=106.09 \text{ dB}$$

La señal recibida se determina mediante la ecuación 8 del marco teórico, la distancia entre emisor y receptor es de 1 km.

$$RSSI = 19.5 \text{ dBm} + 3 - 106.09 - 1 + 3 \text{ dBm}$$

$$RSSI = -81.59 \text{ dBm}$$

Mediante este resultado se obtiene un enlace medio-bajo, pero pueden haber interferencias debido a los cambios climáticos como la lluvia y viento. Para la simulación de las pérdidas de propagación se utilizó el software radioworks con los valores obtenidos en los cálculos teóricos como se muestra en la figura 38.

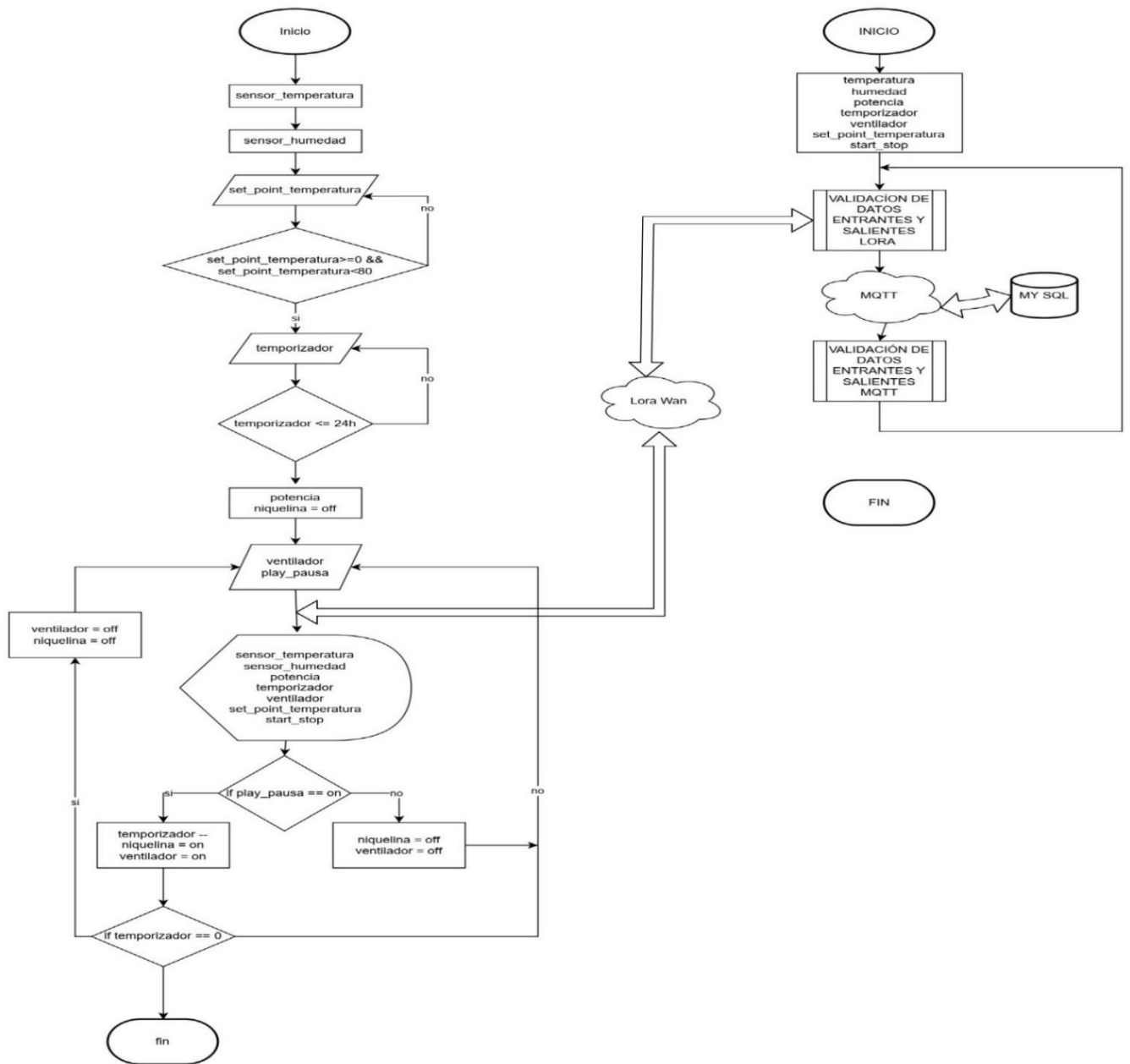


**Figura 38.** Simulación para la comunicación inalámbrica

**Elaborado por:** El investigador

### 3.1.2.18 Diagrama de flujo

El diagrama de flujo del emisor como del receptor se muestra en la figura 39, este diagrama se realizó en base a la programación indicada en el anexo G y H.



**Figura 39.** Diagrama de flujo emisor/receptor

**Elaborado por:** El investigador

### 3.1.2.19 Interfaz Gráfica

#### Programación de la HMI

Mediante el comando `wget https://packages.emqx.io/emqx-ce/v3.0.1/emqx-ubuntu` se descarga el broker emqx como se muestra en la figura 40, este broker facilita la configuración tanto del publicador como del suscriptor en mqtt.

```
ubuntu@ip-172-31-93-105:~$ sudo su
root@ip-172-31-93-105:/home/ubuntu# cd ..
root@ip-172-31-93-105:/home# cd
root@ip-172-31-93-105:~# cd ..
root@ip-172-31-93-105:/# wget https://packages.emqx.io/emqx-ce/v3.0.1/emqx-ubuntu
u18.04-v3.0.1.zip
```

**Figura 40.** Descarga del broker

**Elaborado por:** El investigador

Una vez descargado el broker EMQX se procede a descomprimir el paquete con el comando `unzip` como se visualiza en figura 41.

```
root@ip-172-31-93-105:/# unzip emqx-ubuntul8.04-v3.0.1.zip
Archive:  emqx-ubuntul8.04-v3.0.1.zip
  creating: emqx/
  creating: emqx/log/
  creating: emqx/hook_lua/
  creating: emqx/lib/
  creating: emqx/lib/inets-7.0.3/
  creating: emqx/lib/inets-7.0.3/include/
  inflating: emqx/lib/inets-7.0.3/include/httpd.hrl
  inflating: emqx/lib/inets-7.0.3/include/mod_auth.hrl
  creating: emqx/lib/inets-7.0.3/sbin/
  inflating: emqx/lib/inets-7.0.3/sbin/mod_htaccess.beam
  inflating: emqx/lib/inets-7.0.3/sbin/mod_browser.beam
```

**Figura 41.** Descomprime la carpeta del broker

**Elaborado por:** El investigador

Mediante el comando `ls` se verifica que el carpeta este descomprimida como se muestra en la figura 42.

```
root@ip-172-31-93-105:/# ls
bin          initrd.img    mnt          snap         vmlinuz
boot        initrd.img.old  opt         srv         vmlinuz.old
dev          lib           proc         sys
emqx-ubuntu18.04-v3.0.1.zip lib64         root        tmp
etc          lost+found   run         usr
home        media        sbin        var
```

**Figura 42.** Carpeta descomprimida

**Elaborado por:** El investigador

Se accede a la carpeta emqx y se inicia el broker como se muestra en la figura 43.

```
root@ip-172-31-93-105:/# cd /emqx
root@ip-172-31-93-105:/emqx# ls
bin data erts-10.2 etc hook_lua lib log releases

root@ip-172-31-93-105:/emqx# ./bin/emqx start
emqx 3.0.1 is started successfully!
```

**Figura 43.** Inicio del broker

**Elaborado por:** El investigador

Se ingresa como administrador público para la configuración de los puertos como se muestra en la figura 44.

LOG IN

Username  
admin public

Password

Remember

Log In

**Figura 44.** Inicio de sesión

**Elaborado por:** El investigador

En la figura 45 se indica como se configura los puertos que se utiliza para el monitoreo en el sistema de deshidratación de frutas.



Name	Security group rule...	IP version	Type	Protocol
-	sgr-0a085c6f8aa791724	IPv4	HTTPS	TCP
-	sgr-0c28e43691a82ab...	IPv4	RDP	TCP
-	sgr-0450f1c5ab7e1c650	IPv4	Custom TCP	TCP
-	sgr-016e5ffa393282605	IPv4	Custom TCP	TCP
-	sgr-0e74aa0cb1225a5e7	IPv4	Custom TCP	TCP
-	sgr-068650941f38c2ba1	IPv4	SSH	TCP
-	sgr-0555f4e91e08bbcf7	IPv4	Custom TCP	TCP
-	sgr-0b39c26280cc8aada	IPv4	Custom TCP	TCP
-	sgr-0d5b1154f9d7b17af	IPv4	HTTP	TCP

**Figura 45.** Puertos abiertos en AWS

**Elaborado por:** El investigador

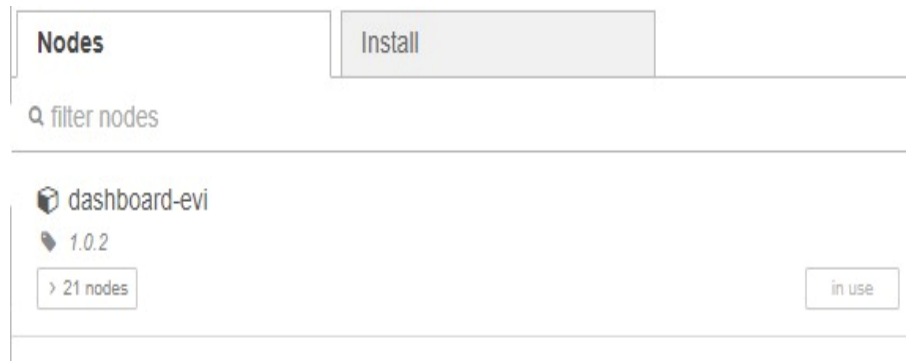
Se define el cliente y suscriptor en el proveedor de servicios AWS como se muestra en la figura 45.

Node	Clientid	CleanStart	Subscriptions/Count	Expiry Interval	MaxInflight	Inflight Len	MqueueLen
emqx@127.0.0.1	DESHIDRATADOR	true	5	0	32	0	0

**Figura 46.** Cliente/ Suscriptor

**Elaborado por:** El investigador

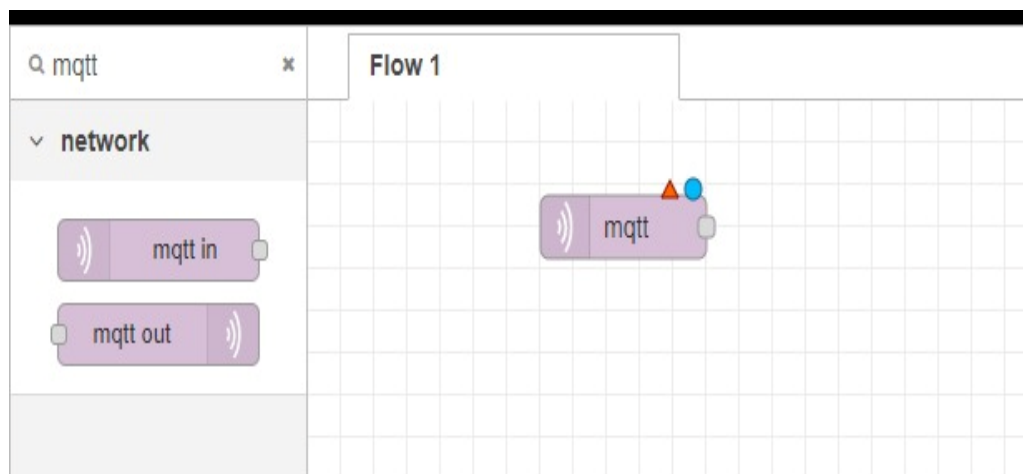
Para la programación HMI se hace uso de Node-Red donde se programa los componentes que se utilizarán para la visualización de los parámetros, en este sistema se utiliza el protocolo MQTT, finalmente las gráficas se generarán mediante dashboard como se muestra en la figura 47.



**Figura 47.** Dashboard para la generación de gráficas

**Elaborado por:** El investigador

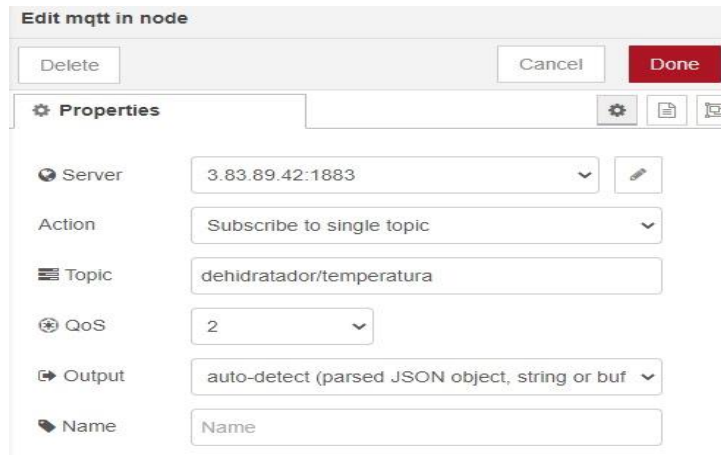
En la figura 48 se configura el bróker de entrada MQTT, para la lectura de datos de los diferentes sensores utilizados en el proceso de deshidratación para luego graficarlos.



**Figura 48.** Datos de entrada

**Elaborado por:** El investigador

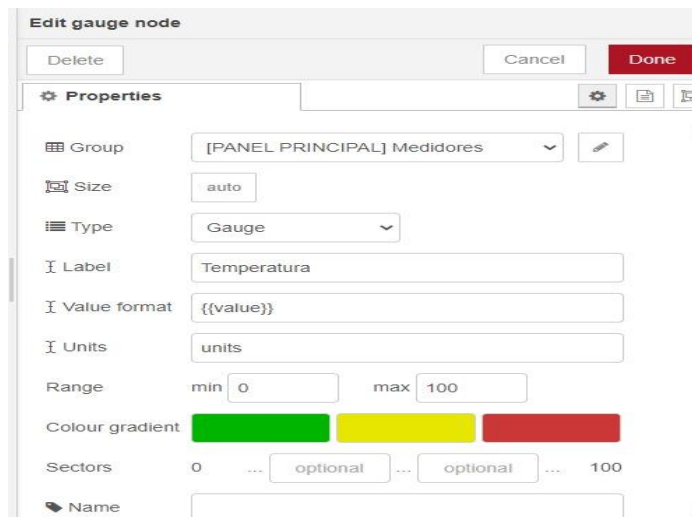
En la figura 49 se establece el servidor 3.83.89:1883, el topic *deshidratador/temperatura* y finalmente el QoS.



**Figura 49.** Configuración de las Propiedades en mqtt.

**Elaborado por:** El investigador

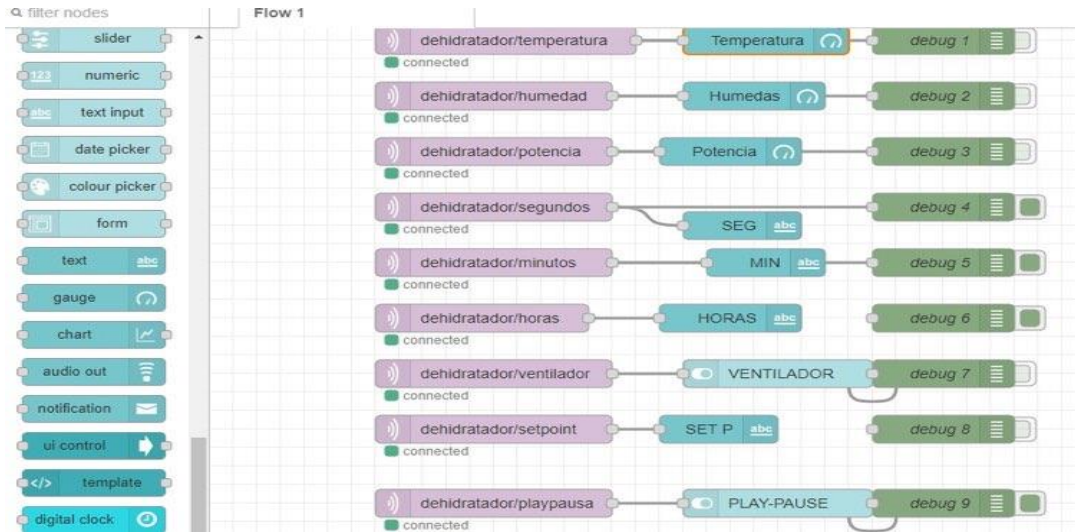
En la figura 50 se puede visualizar la configuración de los medidores para los diferentes parámetros a visualizar, además se establece el tamaño y la apariencia de las gráficas.



**Figura 50.** Configuración del diseño de la interfaz

**Elaborado por:** El investigador

Se realizó la programación de los diferentes parámetros como son: temperatura, humedad, potencia del equipo y el tiempo que tarda en deshidratarse cada fruta, también se puede ingresar el valor de setpoint en un rango 40 a 60 ° C. Como se muestra en la figura 51.



**Figura 51.** Programación de parámetros

**Elaborado por:** El investigador

En la figura 52 se muestra los datos que se envían a la nube para verificar si se envía y recibe información tanto del nodo emisor como del receptor.

```

15/1/2023, 3:03:09 node: debug 3
dehidratador/potencia : msg.payload : number
0

15/1/2023, 3:03:09 node: debug 4
dehidratador/segundos : msg.payload : number
54

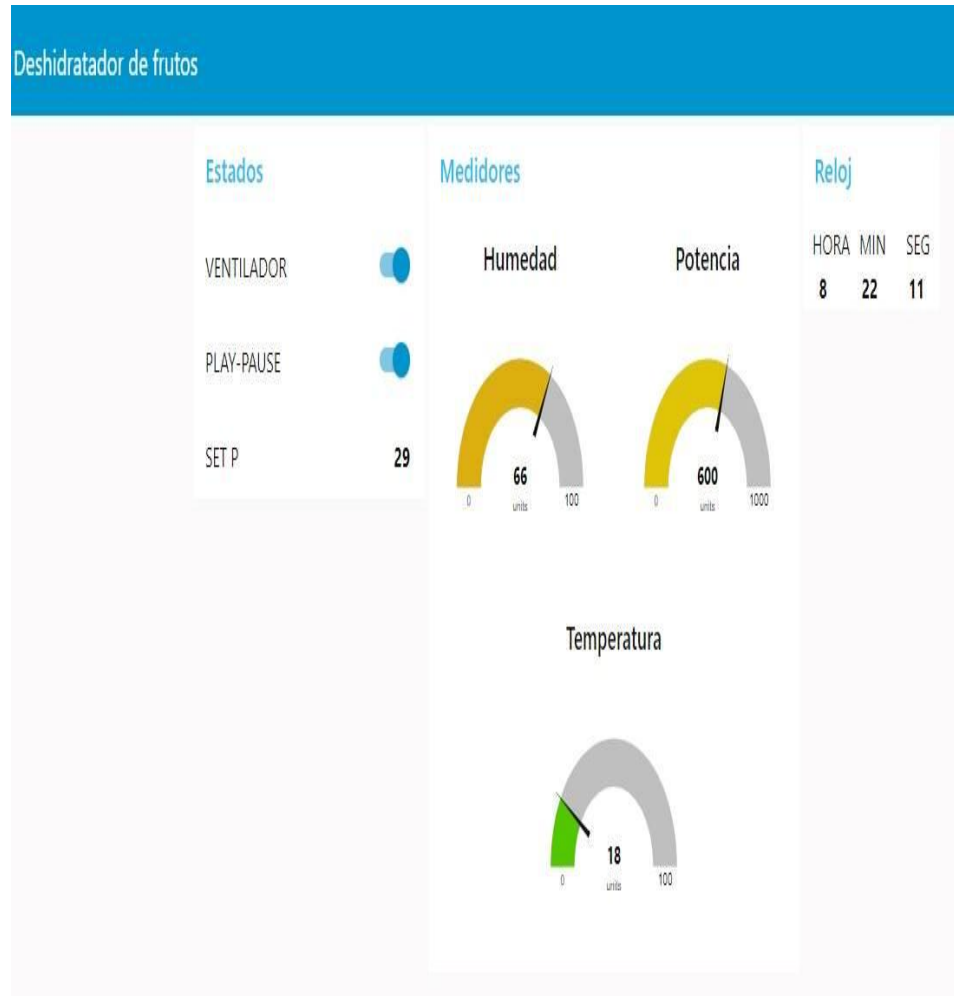
15/1/2023, 3:03:09 node: debug 5
dehidratador/minutos : msg.payload : number
25

15/1/2023, 3:03:09 node: debug 7
dehidratador/ventilador : msg.payload : number
1
    
```

**Figura 52.** Datos enviados a la nube

**Elaborado por:** El investigador

Para la interfaz gráfica que muestra en la figura 53 se considera los parámetros mencionados anteriormente, además se puede encender y apagar el sistema de deshidratación como también el ventilador, finalmente se puede ingresar el valor de temperatura en el rango de 40 a 80 ° C.



**Figura 53.** Interfaz gráfica en node-red

**Elaborado por:** El investigador

### 3.1.2.20 Telegram

La aplicación telegram se utiliza para el envío de notificaciones durante el proceso de deshidratación de frutas, telegram contiene un Bot donde se puede configurar según las necesidades de los usuarios, para la creación del Bot se hizo uso del comando /start y la conexión con la cuenta BotFather como se muestra en la figura 54 en la cuenta de BotFather.

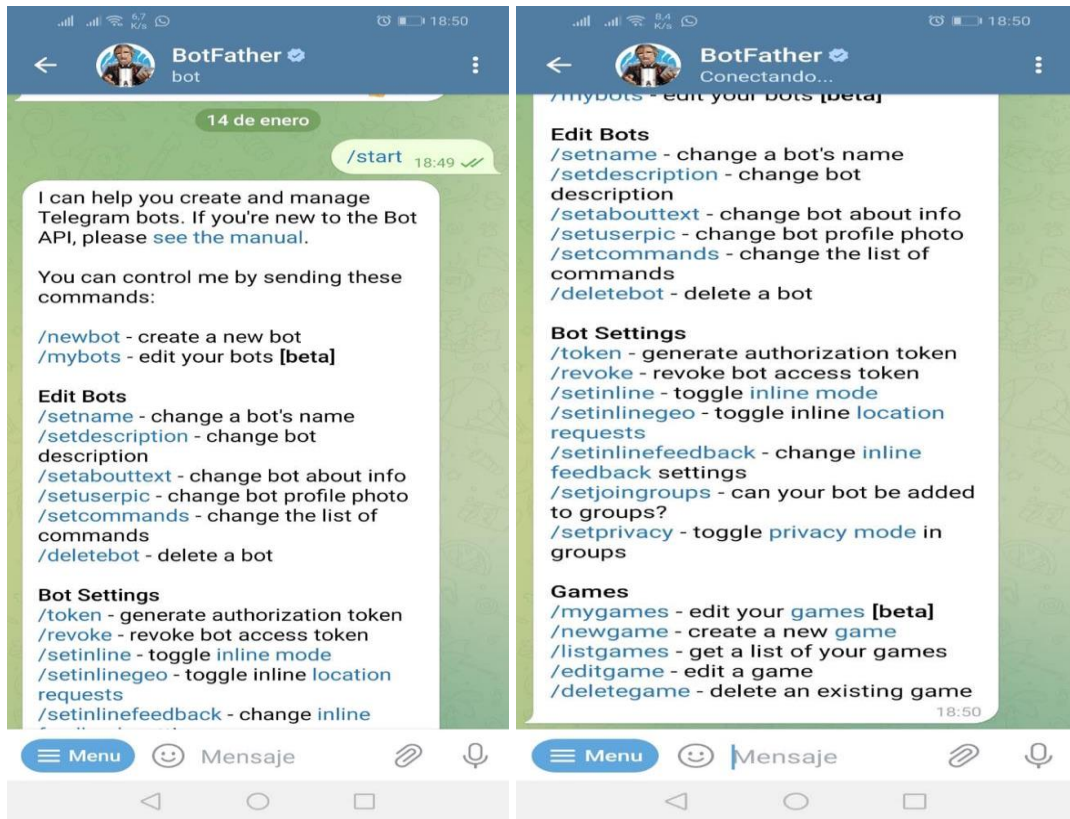


Figura 54. Creación del Bot

Elaborado por: El investigador

Mediante el comando *newbot* se crea un nuevo bot como se puede observar en la figura 55 se le asigna un nombre y el identificador correspondiente.



**Figura 55.** Asignación de usuario e identificador

**Elaborado por:** El investigador

Se accede al *url* que se muestra en la figura 56 lo que permite visualizar el identificador del Bot.



**Figura 56.** Acceso al identificador

**Elaborado por:** El investigador



### 3.1.2.21 Propiedades físicas de las frutas

Las propiedades físicas son importantes para el proceso de deshidratación, se considera el tiempo que se emplea para el deshidratado, la temperatura, el espesor, la humedad que posee cada fruta y finalmente la densidad, en la tabla 20 se muestra las propiedades mencionadas.

**Tabla 20.** Propiedades físicas de frutas

<b>Fruta</b>	<b>Tiempo Mín (h)</b>	<b>Tiempo Máx (h)</b>	<b>Temp Mín °C</b>	<b>Espesor Recom (mm)</b>	<b>Hum (%)</b>	<b>Densidad (Kg/m<sup>3</sup>)</b>
Manzana	6	7	40	5	85,6	843
Fresa	8	10	40	12	-	-
Mora	7	9	40	10	-	-
Máximo	8	10	40	12	85,6	843

**Elaborado por:** El investigador basado en [40]

### 3.1.2.22 Proceso para el deshidratado de frutas

Para el proceso de deshidratación de frutas es necesario seguir un conjunto de pasos como se detalla a continuación:

El primer paso consiste en el lavado de frutas como se muestra en la figura 57 ya que la higiene es muy importante para el consumo del producto.



**Figura 57.** Lavado de frutas

**Elaborado por:** El investigador



El segundo paso para el proceso de la deshidratación de frutas consiste es el corte en trozos de 4 a 12 mm para introducirlos al horno como se visualiza en la figura 58.



**Figura 58.** Corte de frutas.

**Elaborado por:** El investigador

El tercer paso consiste en la colocación de los trozos de frutas en las bandejas de malla de acero inoxidable ocupando un 80 % del espacio de la bandeja como se muestra en la figura 59, además está malla es adecuada para el proceso de deshidratación ya que contiene espacios para que circule el calor en el interior del horno.



**Figura 59.** Trozos de fruta

**Elaborado por:** El investigador

El cuarto paso consiste en introducir las bandejas perforadas de acero inoxidable con los trozos de frutas en el horno solar como se muestra en la figura 60.



**Figura 60.** Bandejas para el deshidratado de frutas.

**Elaborado por:** El investigador

El quinto paso se procede con el encendido del sistema mediante un tablero de control como se muestra en la figura 61, donde permite ingresar la temperatura en un rango de 40 a 65 ° C, en este sistema se podrá visualizar la temperatura, humedad, y además permitirá establecer el tiempo de deshidratación.



**Figura 61.** Tablero de control

**Elaborado por:** El investigador

Finalmente se procede con el retiro de las bandejas con los trozos de fruta como se muestra en la figura 62, ya que el sistema envía una notificación a telegram cuando el producto está listo para el consumo humano.



**Figura 62.** Fruta deshidratada  
**Elaborado por:** El investigador

Luego de haber realizado la conexión del sistema fotovoltaico al deshidratador de frutas se procede con las pruebas de deshidratación como se muestra en la tabla 21, para este proceso se utilizó las diferentes frutas como manzana y fresa.

**Tabla 21.** Frutas utilizadas en las pruebas

Cantidad	Unidad	Fruta	Referencia
256	gramos	manzana	
256	gramos	fresa	

**Elaborado por:** El investigador

### 3.1.2.23 Resultados de las frutas deshidratadas

Las frutas que se consideró para el deshidratado son manzana y fresa, en primer lugar, se comenzó con el deshidratado de fresa con un peso de 2 kilogramos, los cortes se realizaron en trozos de ancho 10 milímetros con un largo de 3,5 centímetros como se muestra en la figura 63 que es recomendado por las industrias dedicadas a este proceso, la temperatura con la cual se realizó el deshidratado es de 40 ° centígrados con un tiempo de 8 horas.



**Figura 63.** Trozos de fresa

**Elaborado por:** El investigador

Una vez colocados los trozos de fresa de 0,6 cm x 3,5 cm en las bandejas se procede a introducir en el horno solar para su respectivo deshidratado como se muestra en la figura 64, luego de haber complementado los pasos anteriores se da inicio al sistema.



**Figura 64.** Trozos de fresa en el horno solar

**Elaborado por:** El investigador

Luego, se procedió con el deshidratado de manzana con un peso de 1,5 kilogramos, los cortes se realizaron en trozos de ancho 10 milímetros con un largo de 4 centímetros



como se muestra en la figura 65, la temperatura con la cual se realizó el deshidratado es de 40 ° centígrados con un tiempo de 6 horas.



**Figura 65.** Trozos de manzana

**Elaborado por:** El investigador

Después de haber colocado los trozos de manzana de (0,6 x 3,5) cm en las bandejas se procede a introducir en el horno solar para su respectivo deshidratado como se muestra en la figura 66, luego de haber complementado los pasos anteriores se da inicio al sistema.



**Figura 66.** Trozos de manzana en el horno solar

**Elaborado por:** El investigador

En la figura 65 se muestra el panel de control donde se establece la temperatura de 40 °C a través del set point que permite ingresar los valores en el rango de temperatura

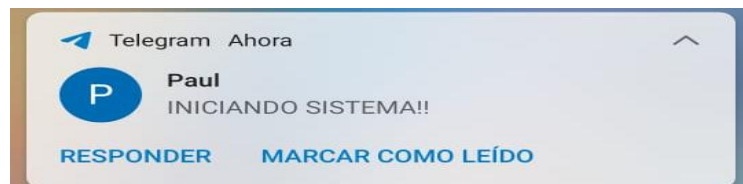
desde los 40 °C hasta los 65°C, en el sistema está calibrado con las respectivas constantes del PID obtenidas mediante el método de Ziegler Nichols, el sistema empieza con el encendido de la niquelina al 100% en este caso su potencia máxima es de 600 vatios alcanzando la temperatura seleccionada anteriormente, además se visualiza los datos del proceso de deshidratado de frutas.



**Figura 67.** Panel de control para dar inicio al sistema de deshidratación

**Elaborado por:** El investigador

Una vez que se encienda el sistema de deshidratación de frutas, se notifica mediante un mensaje a telegram indicando que el sistema está encendido como se muestra en la figura 68.



**Figura 68.** Notificación de Telegram

**Elaborado por:** El investigador

En la figura 69 se muestra los datos obtenidos mediante el comando *Datos* enviado en la aplicación de telegram, además se muestra una notificación indicando que el horno está con la temperatura de 40 °C ideal para el deshidratado de frutas iniciado con el proceso de deshidratado.



**Figura 69.** Datos del sistema de deshidratación de frutas en Telegram

**Elaborado por:** El investigador

Para la está prueba realizada se seleccionó en el sistema deshidratación de frutas una temperatura de 40 grados centígrados se obtiene los siguientes datos como se muestra en la tabla 22.

**Tabla 22.** Datos proceso de deshidratado de frutas

Fruta	Fresa	Manzana
<b>Temperatura seleccionada (°C)</b>	40	40
<b>Grosor (mm)</b>	10	8
<b>Largo (cm)</b>	3,5	4
<b>Tiempo de deshidratado (horas)</b>	8	6
<b>Peso fruta fresca (gr)</b>	2000	3000
<b>Peso Fruta deshidratada (gr)</b>	512	598
<b>Potencia que trabaja el equipo (W)</b>	527	527

**Elaborado por:** El investigador

Con los datos obtenidos en la tabla 22 se dice que la fresa tarda 2 horas más que la manzana en deshidratarse debido a que posee mayor humedad que la manzana, la pérdida de peso en kilogramos en la fresa tiene una relación de 4 a 1, y de la manzana de 5 a 1 por el grosor y humedad que posee cada fruta.

Para está prueba realizada se seleccionó una temperatura de 45 grados centígrados como se ilustra en la figura 70, además se obtiene los siguientes datos del proceso de deshidratación de manzana y fresa como se muestra en la tabla 23.



**Figura 70.** Datos del proceso de deshidratación

**Tabla 23.** Datos proceso de deshidratado de frutas

Fruta	Fresa	Manzana
<b>Temperatura seleccionada (°C)</b>	45	45
<b>Grosor (mm)</b>	8	6
<b>Largo (cm)</b>	3,5	4
<b>Tiempo de deshidratado (horas)</b>	7 h 28 min	5 h 23 min
<b>Peso fruta fresca (gr)</b>	256	256
<b>Peso Fruta deshidratada (gr)</b>	64	52
<b>Potencia que trabaja el equipo (W)</b>	319	319

**Elaborado por:** El investigador

Con los datos obtenidos en la tabla 23 se dice que la fresa tarda 2 horas con 5 minutos más que la manzana en deshidratarse debido a que posee mayor humedad que la



manzana, la pérdida de peso en kilogramos en la fresa tiene una relación de 4 a 1, y de la manzana de 5 a 1 por el grosor y humedad que posee cada fruta, con la temperatura aumentada en 5 grados centígrados a la prueba anterior se reduce el tiempo de deshidratado en 32 minutos para el proceso de la fresa y para la manzana se reduce en un tiempo de 37 minutos.

Para la está prueba realizada se seleccionó en el sistema deshidratación de frutas una temperatura de 50 grados centígrados como se muestra en figura 71.



**Figura 71.** Panel de control a una temperatura de 50 grados.

Se obtiene los siguientes datos como se muestra en la tabla 24.

**Tabla 24.** Datos proceso de deshidratado de frutas

Fruta	Fresa	Manzana
Temperatura seleccionada (°C)	50	50
Grosor (mm)	8	6
Largo (cm)	3,5	4
Tiempo de deshidratado (horas)	7 h 05 min	4 h 58 min
Peso fruta fresca (gr)	1200	2000
Peso Fruta deshidratada (gr)	310	396
Potencia que trabaja el equipo (W)	273	273

**Elaborado por:** El investigador

Con los datos obtenidos en la tabla 24 se dice que la fresa tarda 2 horas con 07 minutos más que la manzana en deshidratarse debido a que posee mayor humedad que la manzana, la pérdida de peso en kilogramos en la fresa tiene una relación de 4 a 1, y de la manzana de 5 a 1 por el grosor y humedad que posee cada fruta.

Finalmente, se tiene la fruta antes del proceso de deshidratación y cuando está deshidratada como se ilustra en la tabla 25, los cortes se realizaron de 8 milímetros para la manzana y 10 milímetros para la fresa por la humedad que contiene cada fruta.

**Tabla 25.** Frutas deshidratadas

Fruta	Antes de deshidratar	Después de deshidratar
Manzana		
Fresa		

**Elaborado por:** El investigador

Para la obtención de la ecuación de la humedad retirada (%H) vs tiempo (t) se realiza una regresión lineal para visualizar curva de la pérdida de peso durante el proceso de

deshidratación hasta que se estabilice, la ecuación 32 aplica al proceso de deshidratación es:

$$\%H = a_3 e^{(a_0 t^3 + a_1 t^2 + a_2 t)} \quad \text{Ec. ( 32 )}$$

Para lo cual se debe aplicar una matriz para calcular la ecuación de grado 3 como se muestra en la ecuación 33, que se detalla a continuación:

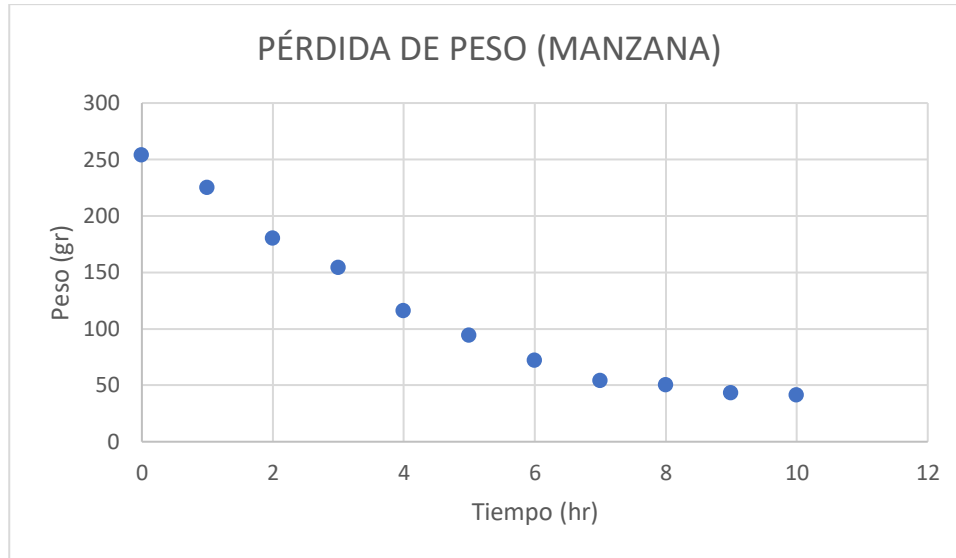
$$\begin{pmatrix} n & \Sigma t_i & \Sigma t_{i^2} & \Sigma t_{i^3} \\ \Sigma t_i & \Sigma t_{i^2} & \Sigma t_{i^3} & \Sigma t_{i^4} \\ \Sigma t_{i^2} & \Sigma t_{i^3} & \Sigma t_{i^4} & \Sigma t_{i^5} \\ \Sigma t_{i^3} & \Sigma t_{i^4} & \Sigma t_{i^5} & \Sigma t_{i^6} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \ln(a_3) \\ a_2 \\ a_1 \\ a_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Sigma \%H_{2i} \\ \Sigma t_i \%H_{2i} \\ \Sigma t_{i^2} \%H_{2i} \\ \Sigma t_{i^3} \%H_{2i} \end{pmatrix} \quad \text{Ec. ( 33 )}$$

Para la deshidratación se utilizó la manzana, el primer paso que se realiza es el lavado de frutas, seguido del corte de la manzana en pedazo de 6 milímetros, luego se verifica que las bandejas estén completamente limpias y se coloca la fruta para el respectivo deshidratado con un peso aproximado de 256 gr por bandeja, en la tabla 26 se puede apreciar el tiempo que se tarda en deshidratar y además se visualiza la curva de linealización.

**Tabla 26.** Valores de Peso de la manzana para la linealización

<b>t(h)</b>	<b>P(gr)</b>	<b>P<sub>2</sub>=Ln(P-b)</b>	<b>t<sup>2</sup></b>	<b>t<sup>3</sup></b>	<b>t<sup>4</sup></b>	<b>t<sup>5</sup></b>	<b>t<sup>6</sup></b>	<b>t · P<sub>2</sub></b>	<b>t<sup>2</sup> · P<sub>2</sub></b>	<b>t<sup>3</sup> · P<sub>2</sub></b>
0	256	5.38	-	-	-	-	-	-	-	-
1	224	5.21	1	1	1	1	1	5.21	5.21	5.21
2	176	4.91	4	8	16	32	64	9.83	19.65	39.30
3	138	4.58	9	27	81	243	729	13.75	41.26	123.79
4	107	4.20	16	64	256	1,024	4,096	16.82	67.28	269.10
5	80	3.09	25	125	625	3,125	15,625	15.46	77.28	386.38
6	52	-	36	216	1,296	7,776	46,656	-	-	-
21	1033	27.38	91	441	2,275	12,201	67,171	61.07	210.68	823.79

**Elaborado por:** El Investigador



**Figura 72.** Curva de linealización de la manzana

$$\begin{pmatrix} 7 & 21 & 91 & 441 \\ 21 & 91 & 441 & 2275 \\ 91 & 441 & 2275 & 12201 \\ 441 & 2275 & 12201 & 67171 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \ln(a_3) \\ a_2 \\ a_1 \\ a_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 27.38 \\ 61.07 \\ 210.68 \\ 823.79 \end{pmatrix}$$

$$\ln(a_3) = 5.47$$

$$a_2 = -0.815$$

$$a_1 = 0.409$$

$$a_0 = -0.070$$

Se reemplazan los valores en la ecuación.

$$\%H = a_3 e^{(a_0 t^3 + a_1 t^2 + a_2 t)}$$

$$\%H = 237.46 e^{(-0.070 t^3 + 0.409 t^2 - 0.815 t)}$$

**Tabla 27.** Valores de Peso de la fresa para la linealización

<b>t(h)</b>	<b>P(gr)</b>	<b>P<sub>2</sub>=Ln(P-b)</b>	<b>t<sup>2</sup></b>	<b>t<sup>3</sup></b>	<b>t<sup>4</sup></b>	<b>t<sup>5</sup></b>	<b>t<sup>6</sup></b>	<b>t · P<sub>2</sub></b>	<b>t<sup>2</sup> · P<sub>2</sub></b>	<b>t<sup>3</sup> · P<sub>2</sub></b>
0	256	5.38	-	-	-	-	-	-	-	-
1	225	5.22	1	1	1	1	1	5.22	5.22	5.22
2	180	4.94	4	8	16	32	64	9.88	19.77	39.53
3	148	4.68	9	27	81	243	729	14.05	42.14	126.42
4	118	4.36	16	64	256	1,024	4,096	17.43	69.71	278.83
5	86	3.83	25	125	625	3,125	15,625	19.14	95.72	478.58
6	77	3.47	36	216	1,296	7,776	46,656	20.79	124.77	748.60
7	68	2.89	49	343	2,401	16,807	117,649	20.23	141.63	991.40
8	64	1.39	64	512	4,096	32,768	262,144	11.09	88.72	709.78
36	1222	36.15	204	1,296	8,772	61,776	446,964	117.84	587.67	3,378.36

**Elaborado por:** El investigador



**Figura 73.** Curva de linealización de la fresa

$$\begin{pmatrix} 9 & 36 & 204 & 1296 \\ 36 & 204 & 1296 & 8772 \\ 204 & 1296 & 8772 & 61776 \\ 1296 & 8772 & 61776 & 446964 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \ln(a_3) \\ a_2 \\ a_1 \\ a_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 36.15 \\ 117.84 \\ 587.67 \\ 3,378.36 \end{pmatrix}$$

$$\ln(a_3) = 5.44$$

$$a_2 = -0.373$$

$$a_1 = 0.070$$

$$a_0 = -0.010$$

Se reemplazan los valores en la ecuación.

$$\%H = 230.44e^{(-0.010t^3+0.070t^2-0.373t)}$$

Se realizaron varias pruebas como se muestra en la figura 74, en donde se visualiza la variación de temperatura y humedad, además se va registrando los datos con las fechas correspondientes.

DATO	FECHA	TEMPERATURA	HUMEDAD	POTENCIA
268	2023-02-06T21:46:16.000Z	19	50	600
269	2023-02-06T21:46:19.000Z	19	50	600
270	2023-02-06T21:46:21.000Z	19	50	600
271	2023-02-06T21:46:24.000Z	20	50	600
272	2023-02-06T21:46:25.000Z	19	50	600
273	2023-02-06T21:46:28.000Z	19	50	600
274	2023-02-06T21:46:31.000Z	19	50	600
275	2023-02-06T21:46:31.000Z	19	50	600
276	2023-02-06T21:46:34.000Z	19	50	600
277	2023-02-06T21:46:36.000Z	19	50	600
278	2023-02-06T21:46:38.000Z	19	50	600
279	2023-02-06T21:46:41.000Z	19	50	600
280	2023-02-06T21:46:43.000Z	19	50	600
281	2023-02-06T21:46:46.000Z	20	50	600
282	2023-02-06T21:46:51.000Z	20	50	600
283	2023-02-06T21:46:51.000Z	19	50	600

**Figura 74.** Historial de pruebas realizadas en node-red

### 3.1.2.24 Dimensionamiento eléctrico

Para el cálculo del consumo eléctrico se considera cada uno de los componentes del sistema, en la tabla 28 se detalla el consumo de cada uno de ellos considerando que el sistema permanece encendido 8 horas.

**Tabla 28.** Consumo eléctrico

Componente	Voltaje	Corriente	Potencia	Tiempo estimado
Niquelina	120 V	2850 mA	0.342 kW	8 h
Ventilador	12 V	149 mA	0.0017 kW	8 h
Circuito de acondicionamiento	12 V	215 mA	0.0026 kW	8 h
Pantalla led	5 V	1 mA	0.000125 kW	8 h
<b>TOTAL</b>	149 V	3215 mA	0.0620 kW	8 h

**Elaborado por:** El investigador



### 3.1.1.24 Presupuesto

Para el análisis del presupuesto se da a conocer el costo individual de los materiales utilizados y el costo final del proyecto como se muestra en la tabla 29.

**Tabla 29.** Presupuesto

ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
1	Panel solar 200 W	c/u	1	150	150
2	Batería 120 Ah	c/u	1	150	150
3	Inversor de carga 1000 W	c/u	1	70	70
4	Regulador de carga 30 Ah	c/u	1	60	60
5	Niquelina 220 V	c/u	1	30	30
6	Diseño 3D	c/h	3	10	30
7	Servicio de impresión 3D	c/u	1	15	15
7	RTCDS1307	c/u	1	8	8
8	Material eléctrico	c/u	1	34	34
9	LILYGO LoRa32 (TTGO)	c/u	2	45,50	91
10	Estructura Horno solar	c/u	1	300	300
11	Pantalla LED 20x40	c/u	1	12,25	25
12	Teclado matricial 4x4	c/u	1	2,50	2,50
15	DHT22	c/u	1	16,50	16,50
17	Carcasa	c/u	1	10	10
18	Servidor VPS	c/mes	2	2	4
20	Ventilador	c/u	1	10	10
21	Baquelita	c/u	1	5	5
22	Estructura para sistema fotovoltaico	c/u	1	50	50
				Subtotal	1071
				IVA 12 %	128.52
				TOTAL	1199.52

**Elaborado por:** El investigador

- **Análisis del costo de la fruta deshidratada**

Es importante conocer el costo para el proceso de deshidratación de la manzana como se muestra en la tabla 30.

**Tabla 30.** Costo para la deshidratación de la manzana

<b>Costo de la deshidratación de la manzana</b>				
<b>Rubro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio C/U \$</b>	<b>Total \$</b>
Manzana	Kilogramos	6	2.14	12.84
Agua	Litros	5	0.0005	0.0025
<b>Total</b>				<b>12.865</b>

**Elaborado por:** El investigador

De los datos obtenidos en la tabla 30 se obtiene que cada proceso de deshidratación tendrá un costo de 12.86 \$.



## **4.2 Recomendaciones**

Mediante las pruebas realizadas durante el desarrollo del proyecto se define las siguientes recomendaciones.

- Los sistemas de deshidratación de frutas no solo necesitan temperatura y humedad, estos sistemas también requieren de una buena ventilación para que circule el calor en toda la estructura interna del horno para asegurar la deshidratación de frutas en todas las bandejas, por eso se recomienda colocar un ventilador de mayor potencia.
- El proceso de deshidratación de frutas necesita mantener una temperatura óptima para reducir la humedad dependiendo de la fruta, por eso se debe realizar un monitoreo constante a este parámetro, ya que si no se controla la temperatura podría terminar en cocción la fruta.
- Se recomienda mantener el panel solar libre de polvo e impurezas debido que afectan directamente en la captación de la energía solar.



## BIBLIOGRAFÍA

- [1] L. S. Díaz, Diseño, construcción y análisis energético de paneles solares de aire forzado para un horno de deshidratado de frutas, Quito, 2016.
- [2] A. Marroquín, A. Aviña, A. L. Diaz y M. J. Olivares, «La Casita Solar: Equipo didáctico para el proceso enseñanza-aprendizaje en la Carrera de Ingeniero en Energías Renovables,» *Revista de Investigación y Desarrollo*, vol. 1, n° 2, pp. 151-157, 2015.
- [3] C. Sandoval y E. Ruiz, «Eco-Innovación en Ingeniería de Alimentos sostenible aplicando técnicas inteligentes de eficiencia Energética-Ecosveg,» *ISSN*, vol. 22, n° 87, pp. 54-66, 2017.
- [4] D. I. Carrazo Cajamarca, D. J. Baño Ayala, L. F. Arboleda Álvarez y F. M. Miranda, «Sensibilidad medio ambiental en el procesamiento de frutas deshidratadas ecuatorianas,» *ProSciences*, vol. 4, n° 35, pp. 1-15, 2020.
- [5] J. Oré, J. Pérez, K. Janampa, O. Cerón y O. Morales, «Deshidratación de frutas en un módulo solar multipropósito,» *Scielo*, vol. 30, n° 1, pp. 59-65, 2020.
- [6] A. Economía, «América Latina y la energía solar,» 6 Marzo 2014. [En línea]. Available: <http://www.americaeconomia.com/revista/america-latina->
- [7] C. Miranda, L. Cerda y A. Pilamala, «El sector hortofrutícola de Ecuador: Principales características socio-productivas de la red agroalimentaria de la uvilla,» *Ciencia y Agricultura*, vol. 16, n° 1, pp. 31-51, 2019.
- [8] M. Torres, Interviewee, *Proamec*. [Entrevista]. 20 04 2022.
- [9] A. Michelis y E. Ohaco, «Deshidratación y desecado de frutas, hortalizas y hongos,» [En línea]. Available: [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta\\_cartilla\\_secado.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_cartilla_secado.pdf).
- [10] R. F. Arias, Diseño de un prototipo de deshidratador híbrido de frutas para la región andina, Riobamba, 2020.
- [11] C. Orrego, Procesamiento de alimentos, Colombia, Manizales: Centro de Publicaciones Universidad Nacional de Colombia, 2003.
- [12] J. Reardon, «Frutas Frescas o Frutas Deshidratadas,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.ncagr.gov/fooddrug/espanol/documents/frutasfrescasydeshidratadas.pdf>.
- [13] M. Dávila, Elaboración de saborizantes en polvo, a partir de cinco frutas deshidratadas como: higo, membrillo, níspero, mortiño, y uvilla para la aplicación en cinco tipos de bizcochos y cinco tipos de galletas, <http://dspace.ucuenca.edu.ec/jspui/handle/123456789/22376>, 2015.
- [14] C. A. Murillo, Diseño de un deshidratador de convección para frutas y vegetales, Santiago de Cali, 2007.

- [15] A. Segarra, «Ubicación óptima georeferenciada de centrales de generación fotovoltaica considerando restricciones de radiación solar y temperatura,» Quito, 2022.
- [16] CONELEC, «Atlas Solar del Ecuador con fines de generación eléctrica,» [En línea]. Available: <https://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00041.pdf>.
- [17] R. Keey, Principios y prácticas de secado, 1972.
- [18] L. Valdez y C. Tejada, IoT: Tecnología para la Educación, Bogotá, 2018.
- [19] V. Hernández, «Arquitectura IoT,» 22 Enero 2015. [En línea]. Available: <https://programarfacil.com/podcast/arduino-wifi-proyectos-iot/>.
- [20] «Tecnologías Gigas,» [En línea]. Available: [https://gigas.com/tecnologia-cloud.html?gclid=Cj0KCQjwteOaBhDuARIsADBqReibgjnfjIGzBwdHBRjnSaaS9WfV6uKxQa1gIQ6WG-9UuVUrtBXgtScaAoFCEALw\\_wcB](https://gigas.com/tecnologia-cloud.html?gclid=Cj0KCQjwteOaBhDuARIsADBqReibgjnfjIGzBwdHBRjnSaaS9WfV6uKxQa1gIQ6WG-9UuVUrtBXgtScaAoFCEALw_wcB).
- [21] T. D. Hommes, Diseño e Implementación de un sistema de monitoreo, Guía Metodológica.
- [22] AGRIS, Guía para la encuesta Agrícola Integrada. Estrategia global para el mejoramiento de las estadísticas agropecuarias y rurales, 2018.
- [23] A. Rosado, «Diseño de Interfaces Hombre-Máquina (HMI),» [En línea]. Available: [https://www.uv.es/rosado/courses/sid/Capitulo6\\_HMI.pdf](https://www.uv.es/rosado/courses/sid/Capitulo6_HMI.pdf).
- [24] C. Zegarra, Normativa para el diseño de interfaces gráficas de sistemas de automatización industrial, Piura, Lima: PIRHUA, 2015.
- [25] J. Puente Rivera, A. F. Suárez y A. Vargas Díaz, «Topología LPWAN para dispositivos de monitoreo en zonas sin infraestructura de red,» vol. 24, pp. 47-53, 2018.
- [26] J. Ballesta, Evaluación de tecnologías LPWAN para escenarios de Smart Cities, Cartagena, 2018.
- [27] R. Daniel, Dispositivo lora de comunicación a largo alcance y bajo consumo energético para aplicaciones del ámbito del desarrollo, Madrid, España, 2016.
- [28] «LoRaWAN,» [En línea]. Available: <https://alfaiot.com/blog/actualidad-14/lorawan-43>.
- [29] M. Manrique, L. Buitrago y J. Hernández, Redes LoRaWAN. Revisión de componentes funcionales en aplicaciones IoT, Bogotá, Colombia.
- [30] J. Zárata, Sistemas de comunicación en la banda ISM, Cataluña.
- [31] M. Barrios, Propuesta de un desarrollo web para la gestión de las categorías científicas en LACETEL, La Habana, Cuba: Telemática, 2021.

- [32] A. Vela, «Estudio de la Agricultura de Precisión Enfocado en la Implementación de una Red de Sensores Inalámbricos (WSN) para el Monitoreo de Humedad y Temperatura en cultivos,» *Revista Politécnica*, vol. XXXVIII, n° 1, pp. 1-17, 2018.
- [33] G. Corporativo, Monitoreo y comunicacion del cumplimiento al sistema normativo, Deloitte, 2011.
- [34] J. Sánchez, Servidores de Aplicaciones Web, España: Implantación de Aplicaciones Web, 2011.
- [35] D. Rodríguez, «Arquitectura y Gestión de la IoT,» *Revista Digital de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones*, pp. 49-60, 3 septiembre 2013.
- [36] «Tecno Recursos,» [En línea]. Available: <https://www.picuino.com/es/control-pid.html>.
- [37] J. Jimenez, Identificación y sintonización de controladores PID para procesos de integración, Barranquilla, Colombia, 2019.
- [38] W. Tipanluisa, Implementación de un módulo didáctico para el control difuso de temperatura y caudal, Salgolqui: Mc GrawHill, 2012.
- [39] L. Corona, G. Abarca y J. Carreño, Sensores y actuadores: Aplicaciones con arduino, México: Grupo Editorial Patria, 2017.
- [40] V. García, «Serial Real Time Clock DS1307,» [En línea]. Available: [https://www.hispavila.com/wp-content/uploads/2015/08/ds1307\\_esp.pdf](https://www.hispavila.com/wp-content/uploads/2015/08/ds1307_esp.pdf).
- [41] L. Paucar y A. Tipán, Ensamble de un adaptador inalámbrico para el desarrollo del software sniffer en una red LorAWAN y análisis con wireshark, Quito, Ecuador, 2022.
- [42] A. G. M. J. Corona Leonel, Sensores y actuadores: Aplicaciones con Arduino, México: Grupo Editorial Patria, 2014.
- [43] G. Mercado, M. Orbiscay, M. Ledda y R. Moralejo, «Survey de Protocolos Normalizados por IETF/IRTF para Aplicaciones de Internet of Things (IoT),» CONICET, Argentina .



# ANEXOS

## **Anexo A: Construcción del deshidratador de frutas**

Para la construcción de la estructura del horno solar se realizó los cortes del acero inoxidable para elaboración de los soportes como se muestra en la figura 75.



**Figura 75.** Cortes de acero inoxidable

**Elaborado por:** El investigador

Se realizó la construcción de las paredes del deshidratador de frutas con las medidas previamente seleccionadas en el diseño y tomando como referencia a los deshidratadores existentes en el mercado, finalmente se puede visualizar la estructura completa del deshidratador de frutas en la figura 76.

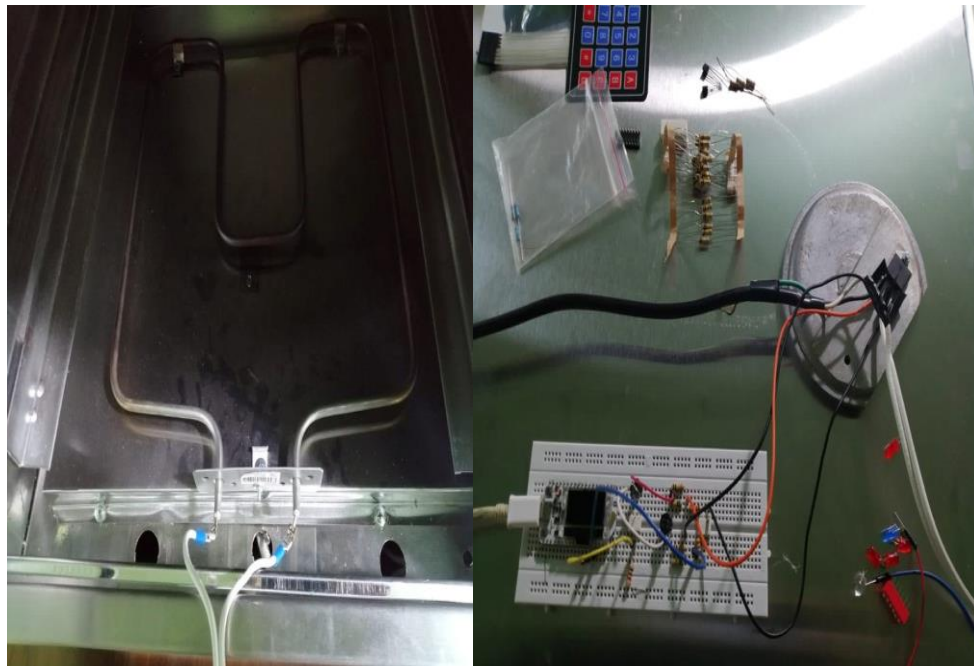


**Figura 76.** Estructura del horno solar

**Elaborado por:** El investigador

## Anexo B: Pruebas de acondicionamiento

Para el accionamiento del pwm del dispositivo de calor es importante que el acondicionamiento que se diseñó, permite controlar una señal d 5 voltios una carga de 600 vatios a través de los elementos de electrónica de potencia como se muestra en la figura 77.



**Figura 77.** Pruebas del circuito de acondicionamiento

**Elaborado por:** El investigador

### **Anexo C: Estructura metálica para el sistema fotovoltaico**

Para colocar el sistema fotovoltaico se realizó una estructura de metal con acero inoxidable, las dimensiones se realizaron en base al panel solar (67 x 163 cm).



**Figura 78.** Estructura final para el sistema fotovoltaico

**Elaborado por:** El investigador

### **Anexo D: Pruebas de funcionamiento**

Conexión de los componentes del sistema fotovoltaico al horno solar para el deshidratado de frutas.



Después del proceso de deshidratado se procede a retirar las bandejas, el sistema envía notificaciones a la aplicación Telegram informando sobre los parámetros como son tiempo, humedad, temperatura y set point.





## Anexo E: Datasheet RTC DS1307

En la figura 79 se muestra las características del reloj RTCDS1307 para configurar de manera correcta.

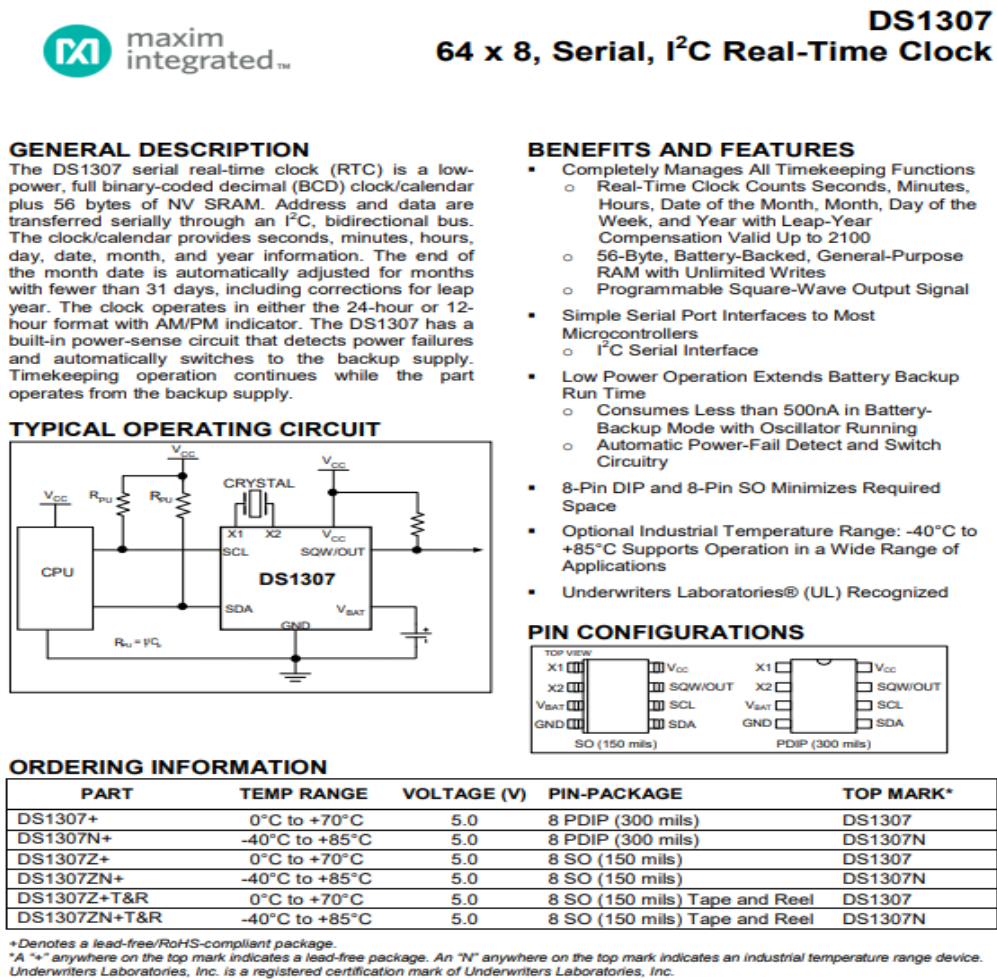


Figura 79. Características del reloj RTC DS1307

## Anexo F: Diagrama de bloques del sistema

Diagrama de bloques del emisor, receptor y del sistema fotovoltaico, la parte del emisor está compuesta por circuito de acondicionamiento, reloj de tiempo real, teclado y pantalla, en el receptor se encuentra el módulo ESP LORA TTGO WIFI, y finalmente el sistema fotovoltaico está compuesto de un panel solar, batería, inversor de carga y controlador de carga.

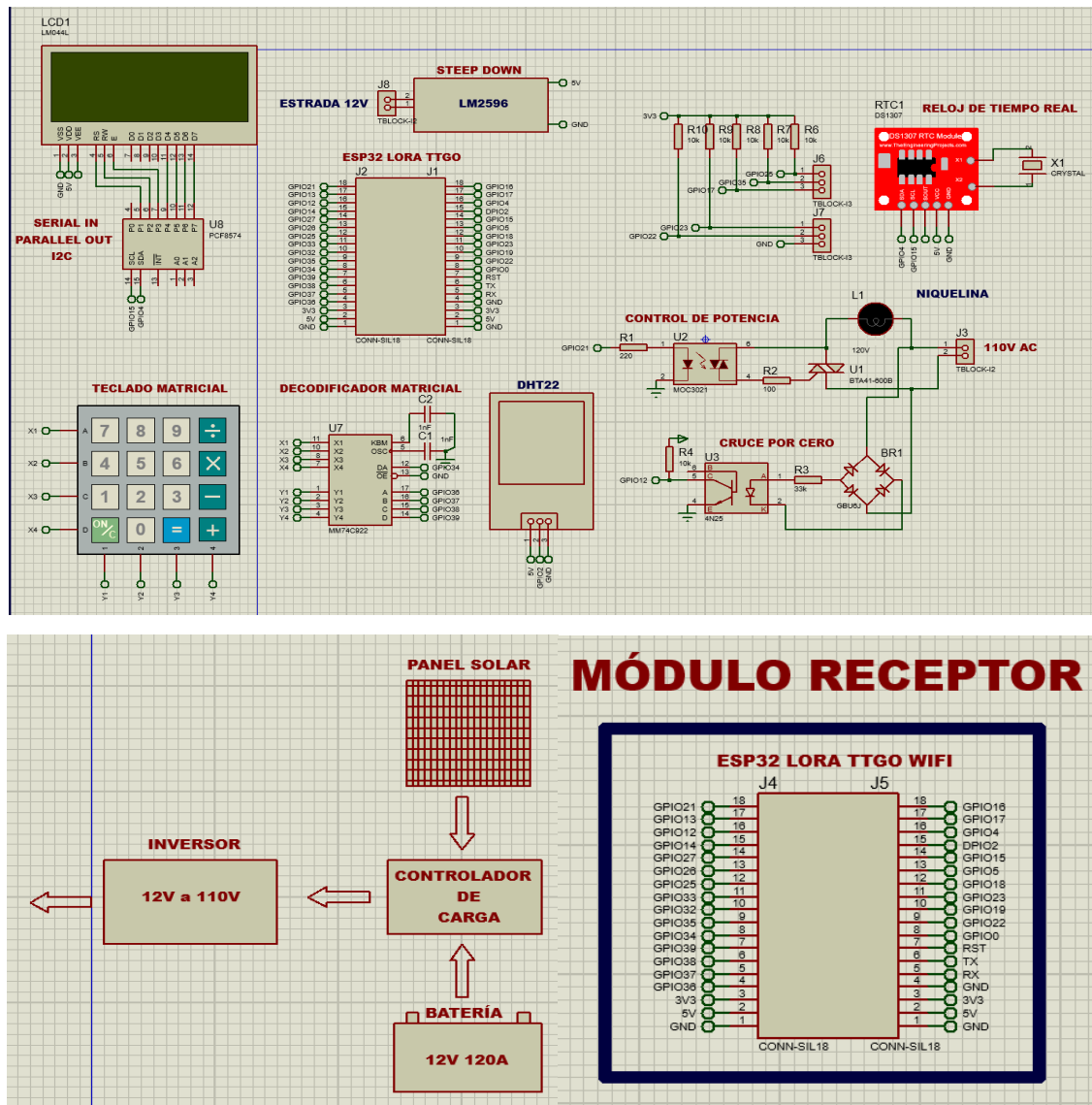


Figura 80. Diseño del diagrama de bloques del sistema de deshidratación de frutas

Elaborado por: El investigador

## Anexo G: Programación del Emisor

```
//=====
//      NODO EMISOR - SENSORES - ACTUADORES - LORA
//=====

#include <SPI.h> //librería a comunicación SPI
#include <LoRa.h> //librería para LoRa
#include <Wire.h> //librería para comunicación i2c

#####SENSOR DHT22#####
#include <Adafruit_Sensor.h> //librerías para el sensor dht22
#include <DHT.h>
#include <DHT_U.h>
#define DHTPIN 16
#define DHTTYPE DHT22

DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
float h, t; //variables para temperatura y humedad
int sp = 0; //variable para set point de temperatura

//=====
//      P I D
//Librería y variables para el control PID
//=====

#include <PID_v1.h>

#define PIN_INPUT 0
#define PIN_OUTPUT 3
```



```

double Setpoint, Input, Output;

double Kp = 25.0, Ki = 0.4, Kd = 0.001;
PID myPID(&Input, &Output, &Setpoint, Kp, Ki, Kd, DIRECT); //instanciado de la libreria

//=====
//          VARIABLES LORA
//=====

const int csPin = 18;    // LoRa radio chip select
const int resetPin = 14; // LoRa radio reset
const int irqPin = 26;   // change for your board; must be a hardware interrupt pin

String outgoing;        // outgoing message

uint32_t msgCount = 0;    // count of outgoing messages
byte localAddress = 0xAA; // address of this device
byte destination = 0xBB;  // destination to send to
long lastSendTime = 0;    // last send time
int interval = 0;        // interval between sends

//=====
// V A R I A B L E S   P A R A   R E C E P C I Ó N
//=====

//String msgCount1, wsp_min, wsp_max, wmot1_e, wmot2_e, wmot3_e, wca1_e, wca2_e, wdim_e,
wforza;

String msgCount1, wseg, wmin, wora, wvent, wsp, wp_p;
int pos1, pos2, pos3, pos4, pos5, pos6, pos7, pos8, pos9;

```

```

//=====
//      USUARIO Y CLAVE DE WIFI
//=====
const char *ssid = "RED ACOSTA MORENO";
const char *password = "1805197553";
//=====
//      VARIABLES FALTANTES DE ACTUADORES Y DIMMER
//=====
//uint8_t dim_e = 0;
//uint8_t sp_min = 0;
//uint8_t sp_max = 0;
//uint8_t aut_man = 0;
//uint8_t dimer = 0;
//uint8_t mot1_e = false;
//uint8_t mot2_e = false;
//uint8_t mot3_e = false;
//uint8_t ca1_e = false;
//uint8_t ca2_e = false;

//=====
//      INGRESO DE DATOS POR TECLADO (VARIABLES)
//=====

char puls;
String cadena, cadena1, cadena3;
int numero = 0, a = 0, numero1 = 0, a1 = 0 , numero3 = 0, a3 = 0;

```

```

//AsyncUDP udp;

const byte linhas = 4;
const byte columnas = 4;

char teclas[] = {'A', 'B', 'C', 'D', '3', '6', '9', '#', '2', '5', '8', '0', '1', '4', '7', '*'};

//int pines_teclado[] = {36, 37, 38, 39, 34};
int pines_teclado[] = {39, 34, 35, 21, 13};
boolean estados[] = {0, 0, 0, 0, 0};
int pulsadores[] = {25, 35, 17, 23, 22}; //PULSADORES

#include <LiquidCrystal_I2C.h> //librería para el control de la lcd
//Crear el objeto lcd dirección 0x3F y 20 columnas x 4 filas
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 20, 4); //

//tiempos
unsigned long tiempoactual = 0;
unsigned long tiempoactua2 = 0;
unsigned long tiempoactua3 = 0;

//=====
//          SETUP VARIABLES
//=====

uint8_t state = 0;
float pot = 0;
uint8_t ora = 0, minu = 0, seg = 0;
boolean vent = false;
boolean p_p = false;
String datos = "";

```

```

String hora_s = "", minuto_s = "", segundo_s = "";
uint8_t contador = 0;
unsigned long tiempo = 0;
unsigned long tiempo_1 = 0;

uint8_t hora[3] = {0, 0, 0} ;
int ventilador = 23;

//=====
//          CONFIGURACIÓN DIMER
//=====
#####TIMER#####
hw_timer_t * timer = NULL;
struct Button { //ESTRUCTURA PARA EL CRUCE POR CERO
    const uint8_t PIN;
    uint32_t numberKeyPresses;
    bool pressed;
};
Button button1 = {22, 0, false}; //22
unsigned long button_time = 0;
unsigned long last_button_time = 0;
void IRAM_ATTR onTimer() { //INTERRUPCIÓN DEL TIMER
    for (int x = 0; x < 50; x++)
        digitalWrite(25, 1);
    digitalWrite(25, 0);
    timerStop(timer);
}

```

```
void IRAM_ATTR isr() { //INTERRUPCIÓN DEL CRUCE POR CERO
```

```
    button1.numberKeyPresses++;  
    button_time = millis();  
    //Serial.println(button_time - last_button_time);  
    if (button_time - last_button_time > 7)  
    {  
        if (p_p == true)  
            timerStart(timer);  
  
        last_button_time = button_time;  
  
    }  
}
```

```
boolean temporizador = false;
```

```
void setup() {  
    Serial.begin(115200);           // initialize serial  
    while (!Serial);  
  
    dht.begin(); //INICIALIZA EL SENSOR DHT  
    Input = analogRead(PIN_INPUT);  
    Setpoint = 0;  
    myPID.SetMode(AUTOMATIC); //MODO DEL PID
```

```
//=====
```

```

//          LORA

//=====

Serial.println("LoRa Duplex");

LoRa.setPins(csPin, resetPin, irqPin);// set CS, reset, IRQ pin
if (!LoRa.begin(915E6)) {          // INICIALIZA A 915 MHz
  Serial.println("LoRa init failed. Check your connections.");
  while (true);
} Serial.println("LoRa init succeeded.");

//=====

//          CARÁTULA

//=====
=

// Inicializar el LCD
lcd.init();
//Encender la luz de fondo.
lcd.backlight();
// Escribimos el Mensaje en el LCD.
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("*****");
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("****DESHIDRATADOR****");
lcd.setCursor(0, 2);
lcd.print("*****DE FRUTAS*****");
lcd.setCursor(0, 3);
lcd.print("*****");
delay(2000);

```

```

//=====
//
//          INICIALIZACIÓN WIFI
//=====
//
=
for (int i = 0; i < 5; i++) { //INICIALIZA LOS ESTADOS DE LOS PINES ASIGNADOS
PARA EL TECLADO
    pinMode(pines_teclado[i], INPUT);
}

lcd.clear();

pinMode(ventilador, OUTPUT);//25 INICIALIZA ESTADO DEL PIN DEL VENTILADOR
digitalWrite(ventilador, vent);

pinMode(25, OUTPUT);//25 INICIALIZA ESTADOS DE PINES CRUCE POR CERO Y
NIQUELINA

pinMode(button1.PIN, INPUT_PULLUP);
attachInterrupt(button1.PIN, isr, RISING);//CHANGE

//pinMode(0, INPUT);

timer = timerBegin(0, 80, true); //CONFIGURACION DEL TIMER
timerAttachInterrupt(timer, &onTimer, true);
timerAlarmWrite(timer, 5000, true);
timerAlarmEnable(timer);

timerStop(timer);

```

```

unsigned long tiempo = 0;
/*Wire.beginTransmission(0x68);//68 // CONFIGURACIÓN DEL RTC
Wire.write(0x00);
Wire.write(0x00);//segundos
Wire.write(0x36);//minutos
Wire.write(0x00);//horas
Wire.write(0x1);
Wire.write(0x12);
Wire.write(0x05);
Wire.write(0x22);
Wire.write(0x90);
Wire.endTransmission();*/
while (0) {
//delay(50);

Wire.beginTransmission(0x68);//68
Wire.write(0x00);
Wire.endTransmission();

Wire.requestFrom(0x68, 3);
for (int i = 0; i < 3 && Wire.available(); i++) {
//Serial.println(char(Wire.read()), HEX);
hora[i] = Wire.read();
}

for (int i = 2; i > -1; i--) {
Serial.print(hora[i], HEX);

```



```

    Serial.print(":");
}
Serial.println();
delay(1000);
if (millis() - tiempo > 1000) {
    Serial.println(button1.numberKeyPresses);
    button1.numberKeyPresses = 0;
    tiempo = millis();
}
puls = teclado(); //LECTURA DEL TECLADO
/*if (puls != 0) {
    Serial.println(puls);
}*/
}
}
//=====
//  V O I D  L O O P
//=====

long tiempo_f = millis();

void loop() {
    while (1) {
        enviarecibeLORA(); //FUNCIÓN PARA EMITIR Y RECIBIR DATOS DEL MÓDULO
        LORA
        if (millis() - tiempo_1 > 1000) { //SE EJECUTA CADA SEGUNDO
            tiempo_1 = millis();
            //float humed = random(0, 99); //dht.readHumidity();
            float humed = dht.readHumidity(); //SE LEE LA TEMPERATURA

            if (!isnan(humed))

```

```

    h = humed;
    //float temp = random(0, 79); //dht.readTemperature();
    float temp = dht.readTemperature(); //SE LEE LA HUMEDAD
    if (!isnan(temp))
        Input = t = temp;
    if (p_p == true) { //SI EL ESTADO ESTA EJECUTANDOSE
        myPID.Compute();
        pot = map(Output, 0, 255, 0, 600);
        Output = map(Output, 0, 255, 7500, 0);

        timerAlarmWrite(timer, Output, true);
        //timerAlarmEnable(timer);
    } else {
        //timerAlarmWrite(timer, 8000, true);
        //timerAlarmEnable(timer);
        timerStop(timer);
    }
    Serial.print("Setpoint:");
    Serial.print(Setpoint);
    Serial.print(" Output:");
    Serial.print(Output);
    Serial.print(" Temp:");
    Serial.println(Input);
}

```

```

lcd.setCursor(0, 0); //IMPRIME LA PANTALLA PRINCIPAL EN EL TECLADO
//lcd.print("*****");
lcd.print(" DESHIDRATADOR ");

lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("T:");
if (t < 10) lcd.print(" ");
lcd.print(int(t));
lcd.print(" H:");
if (h < 10) lcd.print(" ");
lcd.print(int(h));

lcd.print(" h=");
if (hora[2] < 0x10) lcd.print("0");
lcd.print(hora[2], HEX);
lcd.print(":");
if (hora[1] < 0x10) lcd.print("0");
lcd.print(hora[1], HEX);
lcd.print(':');
if (hora[0] < 16) lcd.print('0');
lcd.print(hora[0], HEX);
lcd.setCursor(0, 2);
lcd.print("P:");
if (pot < 100) lcd.print(' ');
if (pot < 10) lcd.print(' ');
lcd.print(int(pot));

lcd.print("w cont=");

```

```

if (ora < 10) lcd.print("0" );
lcd.print(ora);
lcd.print(":");
if (minu < 10) lcd.print("0");
lcd.print(minu);
lcd.print(':');
if (seg < 10) lcd.print('0');
lcd.print(seg);

lcd.setCursor(0, 3);
lcd.print("VENT:");
if (vent == false)
    lcd.print("off");
else
    lcd.print(" on");
lcd.print(" SP:");
if (sp < 10) lcd.print(" ");
lcd.print(int(sp));

if (p_p == false) {
    temporizador = false;
    lcd.print(" STOP");
}
else
    lcd.print(" PLAY");
//lcd.setCursor(0, 3);
//lcd.print("*****");}

```

```

puls = teclado(); //LECTURA DEL TECLADO
if ((puls >= '0' && puls <= '9') || ( puls >= 'A' && puls <= 'D')) {
    state = 1;
    lcd.clear();
}
if (puls == '*')vent = !vent;
if (puls == '#') {
    p_p = !p_p;
    if (p_p) {
        tiempo = millis();
        vent = true;
    } else vent = false;
}
puls = 0;

} else if (state == 1) { //SI LA PANTALLA ESTÁ EN EL ESTADO 1

    lcd.setCursor(0, 0); //IMPRIME LA PANTALLA 1 DEL MENÚ
    lcd.print("*****MENU*****");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print(" A => Temperatura ");
    lcd.setCursor(0, 2);
    lcd.print(" B => Tiempo ");
    lcd.setCursor(0, 3);
    lcd.print(" # => salir ");

    puls = teclado(); //LECTURA DEÑ TECLADO

    if (puls == 'A') {

```

```

    lcd.clear();
    state = 2;
}
if (puls == 'B') {
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 2);
    lcd.print("  __:__:__  ");
    state = 3;
    contador = 0;
}
if (puls == '#') {
    state = 0;
    lcd.clear();
}
puls = 0;
} else if (state == 2) { //SI EL MANÚ ESTÁ EN EL ESTADO 2
    lcd.setCursor(0, 0); //INTERFAZ PARA EL INGRESO DE LA TEMPERATURA POR
    TECLADO
    lcd.print("****TEMPERATURA****");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Ingrese valor 0-80 ");
    lcd.setCursor(0, 2);
    lcd.print("  ");
    lcd.print(datos);
    lcd.setCursor(0, 3);
    lcd.print(" OK=*  CANCEL=# ");

    puls = teclado(); //LECTURA DEL TECLADO

```

```

if ((puls >= '0' && puls <= '9')) {
    datos += puls;
}

if (puls == '*') {
    if (datos.toInt() >= 0 && datos.toInt() <= 80) {
        lcd.setCursor(0, 2);
        lcd.print("  valor valido! ");
        //lcd.print(" temperatura valida!");
        delay(1500);
        lcd.clear();
        sp = datos.toInt();
        datos = "";
        state = 1;
    } else {
        lcd.setCursor(0, 2);
        lcd.print("  valor no valido! ");
        delay(1000);
        lcd.setCursor(0, 2);
        lcd.print("                ");
        datos = "";
    }
}

if (puls == '#') {
    lcd.clear();
    state = 1;
    datos = "";
}

} else if (state == 3) { //SI EL MENÚ ESTÁ EN EL ESTADO 3

```

```
lcd.setCursor(0, 0); //IMPRIME LA INTERFAZ PARA INGRESAR EL TIEMPO
```

```
lcd.print("*****TIEMPO*****");
```

```
lcd.setCursor(0, 1);
```

```
lcd.print("  HH:MM:SS  ");
```

```
lcd.setCursor(6, 2);
```

```
lcd.print(hora_s);
```

```
lcd.setCursor(9, 2);
```

```
lcd.print(minuto_s);
```

```
lcd.setCursor(12, 2);
```

```
lcd.print(segundo_s);
```

```
lcd.setCursor(0, 3);
```

```
lcd.print(" OK=*  CANCEL=# ");
```

```
puls = teclado(); //LECTURA DEL TECLADO
```

```
if ((puls >= '0' && puls <= '9')) {
```

```
  if (contador > 5) {
```

```
  }
```

```
  else if (contador > 3)
```

```
    segundo_s += puls;
```

```
  else if (contador > 1)
```

```
    minuto_s += puls;
```

```
  else
```

```
    hora_s += puls;
```

```
  contador++;
```

```
  puls = 0;
```

```
}
```

```
if (puls == '*') {
```



```

    if ((hora_s.toInt() >= 0 && hora_s.toInt() <= 23) && (minuto_s.toInt() >= 0 &&
        minuto_s.toInt() <= 59) && (segundo_s.toInt() >= 0 && segundo_s.toInt() <= 59)) {
lcd.setCursor(0, 2);
lcd.print(" tiempo valido! ");
//lcd.print(" temperatura valida!");
delay(1500);
ora = hora_s.toInt();
minu = minuto_s.toInt();
seg = segundo_s.toInt();
datos = "";
hora_s = "";
minuto_s = "";
segundo_s = "";
contador = 0;
lcd.clear();
datos = "";
state = 0;
} else {
    lcd.setCursor(0, 2);
    lcd.print(" valor no valido! ");
    delay(1000);

    lcd.setCursor(0, 2);
    lcd.print("  __:__:__  ");
    datos = "";
    hora_s = "";
    minuto_s = "";
    segundo_s = "";
    contador = 0;
}
puls = 0;

```

```

}

if (puls == '#') {
  lcd.clear();
  state = 1;
  datos = "";
  hora_s = "";
  minuto_s = "";
  segundo_s = "";
  contador = 0;
  puls = 0;
}
}

```

if (p\_p == true && (t >= sp) )temporizador = true; //VERIFICA SI ESTÁ EN PLAY Y LA TEMPERATURA ES MAYOR AL SETPOINT PARA INICIAR EL TEMPORIZADOR

if (millis() - tiempo > 998 && p\_p == true && temporizador == true) { //AQUI SE EJECUTA EL TEMPORIZADOR

```

tiempo = millis();

if (seg == 0 && (ora != 0 || minu != 0)) {
  seg = 59;
  if (minu == 0 && ora != 0) {
    minu = 59;
    ora = ora - 1;
  } else {
    minu = minu - 1;
  }
} else if (ora == 0 && minu == 0 && seg == 0) {

```

```

    p_p = false;
    vent = false;
    temporizador = false;
  } else {
    seg = seg - 1;
  }
}

digitalWrite(ventilador, vent);
Setpoint = sp;
//delay(10);

}

}

void enviarecibeLORA() { //FUNCION PARA ENVIAR Y RECIBIR DATOS DEL MODULO
LORA
  onReceive(LoRa.parsePacket()); //RECIBIMOS DATOS DEL MÓDULO LORA

  if (millis() - lastSendTime > interval) {
    //delay(50);
    String message = "HeLoRa World 1!"; // send a message
    sendMessage();
    Serial.println("Sending " + message + "numero de paquete enviado      " + msgCount);
    lastSendTime = millis(); // timestamp the message
    interval = random(2000) + 1000; // 2-3 seconds

  }

  // parse for a packet, and call onReceive with the result:

```

```

// int packetSize = LoRa.parsePacket(size); Check if a packet has been received

}

void sendMessage() { //ENVIAMOS DATOR POR EL MÓDULO LORA

  //String outgoing = String(msgCount) + "a" + String(t1) + "b" + String(t2) + "c" + String(h1) + "d"
  + String(h2) + "e" + String(amoniaco) + "f" + String(sp_min) + "g" + String(sp_max) + "h" +
  String(estados[0]) + "i" + String(estados[1] ) + "j" + String(estados[2] ) + "k" + String(estados[3] )
  + "l" + String(estados[4] ) + "m" + String(dimer) + "n" + String(t_prom) + "o" + String(h_prom) +
  "p" + String(aut_man);

  String outgoing = String(msgCount) + "a" + String(t) + "b" + String(h) + "c" + String(pot) + "d" +
  String(seg) + "e" + String(minu) + "f" + String(ora) + "g" + String(vent) + "h" + String(sp) + "i" +
  String(p_p ) + "j" + String(temporizador);

  LoRa.beginPacket();          // start packet
  LoRa.write(destination);     // add destination address
  LoRa.write(localAddress);    // add sender address
  LoRa.write(msgCount);       // add message ID
  LoRa.write(outgoing.length()); // add payload length
  LoRa.print(outgoing);       // add payload
  LoRa.endPacket();           // finish packet and send it
  msgCount++;                 // increment message ID
}

// function to call when a packet is received
void onReceive(int packetSize) { //RECIBIMOS DATOS DEL MÓDULO LORA
  if (packetSize == 0) return; // if there's no packet, return

  // read packet header bytes:
  // Returns the next byte in the packet or -1 if no bytes are available
  int recipient = LoRa.read(); // recipient address
  byte sender = LoRa.read(); // sender address
  int incomingMsgId = LoRa.read(); // incoming msg ID

```

```

int incomingLength = LoRa.read(); // incoming msg length

String incoming = "";

// int availableBytes = LoRa.available()
// Returns number of bytes available for reading
while (LoRa.available()) {
    incoming += (char)LoRa.read();
}

if (incomingLength != incoming.length()) { // check length for error
    Serial.println("error: message length does not match length");
    return; // skip rest of function
}

// if the recipient isn't this device or broadcast,
if (recipient != localAddress && recipient != 0xBB) {
    Serial.println("This message is not for me.");
    return; // skip rest of function
}

pos1 = incoming.indexOf('/');
pos2 = incoming.indexOf('&');
pos3 = incoming.indexOf('#');
pos4 = incoming.indexOf('$');
pos5 = incoming.indexOf('%');
pos6 = incoming.indexOf('(');

msgCount1 = incoming.substring(0, pos1);
wseg = incoming.substring(pos1 + 1, pos2);

```

```

wmin = incoming.substring(pos2 + 1, pos3);
wora = incoming.substring(pos3 + 1, pos4);
wvent = incoming.substring(pos4 + 1, pos5);
wsp = incoming.substring(pos5 + 1, pos6);
wp_p = incoming.substring(pos6 + 1, incoming.length());

if (seg != wseg.toInt())seg = (uint8_t) wseg.toInt();
if (minu != wmin.toInt())minu = (uint8_t) wmin.toInt();
if (ora != wora.toInt())ora = (uint8_t) wora.toInt();
if (vent != wvent.toInt())vent = (uint8_t) wvent.toInt();
if (sp != wsp.toInt())sp = (uint8_t) wsp.toInt();
if (p_p != wp_p.toInt())p_p = (uint8_t) wp_p.toInt();

Serial.print(("Packet No. = ")); Serial.println(msgCount1);
Serial.print(("Seg  =")); Serial.println(wseg);
Serial.print(("Min  =")); Serial.println(wmin);
Serial.print(("hora  =")); Serial.println(wora);
Serial.print(("vent  =")); Serial.println(wvent);
Serial.print(("set p =")); Serial.println(wsp);
Serial.print(("p_p  =")); Serial.println(wp_p);

// if message is for this device, or broadcast, print details:
Serial.println("Received from: 0x" + String(sender, HEX));
Serial.println("Sent to: 0x" + String(recipient, HEX));
Serial.println("Message ID: " + String(incomingMsgId));
Serial.println("Message length: " + String(incomingLength));
Serial.println("Message: " + incoming);
Serial.println("RSSI: " + String(LoRa.packetRssi()));
Serial.println("Snr: " + String(LoRa.packetSnr()));
Serial.println();
}

```

```

//=====
//      M E T O D O   T E C L A D O
//=====

char teclado() {
  if (digitalRead(pines_teclado[4])) { //34
    int dato = 0;
    for (int i = 0; i < 4; i++) {
      dato |= digitalRead(pines_teclado[i]) << i;
    }
    /*Serial.print(dato);
    Serial.print(" ");*/
    Serial.println(teclas[dato]);
    while (digitalRead(pines_teclado[4])); //delay(40);
    return teclas[dato];
  }
  return 0;
}

```

## Anexo H: Programación del Receptor

```
#include <ArduinoJson.h>
#include <SPI.h>
#include <LoRa.h>
#include <WiFi.h>
#include <PubSubClient.h>
#include <HTTPClient.h>

#include <WiFiClientSecure.h>

uint8_t state = 0;
const int led = 2;

//=====
//          T E L E G R A M
//=====

#include <UniversalTelegramBot.h>
#define BOT_TOKEN "5864611770:AAFpxNo9vzxfVS_15L1NPDynQ5cButxcx0E"
#define BOT_TOKEN "5927180771:AAHXAhm5JXSrU3cG7g6gGgVG0hWmTbqKwp8"
const unsigned long BOT_MTBS = 6000;
#define CHAT_ID "1643690561"
#define CHAT_ID "6055371093"

WiFiClientSecure secured_client;
UniversalTelegramBot bot(BOT_TOKEN, secured_client);
unsigned long bot_lasttime;    // last time messages' scan has been done
```



```

boolean flag_telegram = false;

void handleNewMessages(int numNewMessages)
{
  for (int i = 0; i < numNewMessages; i++)
  {
    if (bot.messages[i].text == "Datos")flag_telegram = true;
  }
}

//=====
//          MQTT topicos
//=====

int resultado;
const char* topic_control = "deshidratador/wcontrol";
const char* topic_seg = "deshidratador/wsegundos";
const char* topic_min = "deshidratador/wminutos";
const char* topic_ora = "deshidratador/whoras";
const char* topic_set_point = "deshidratador/wsetpoint";

//=====
//          USUARIO Y CLAVE DE WIFI

```

```

//=====
=====

// Set these to your desired credentials.
//const char *ssid = "Domotik";
//const char *password = "SalomE...123";
const char *ssid = "RED ACOSTA MORENO";
const char *password = "cacosta7553";
const char* mqtt_server = "3.235.130.159";
//const char* mqtt_server = "http://ec2-3-83-89-42.compute-1.amazonaws.com";
//const char* serverName = "http://3.83.89.42/post-esp-data.php";
const char* serverName = "http://ec2-3-83-89-42.compute-1.amazonaws.com/tesis/post-esp-data.php";
String apiKeyValue = "tPmAT5Ab3j7F9";
String sensorName = "BME2";
String sensorLocation = "Office";
int portPin = 36;
int portPin2 = 39;
int portPin3 = 34;
// Almacenamiento del valor de puerto (Rango de 0-4095)
int potValor = 0;
int potValor2 = 0;
int potValor3 = 0;

//=====
=====

//CONFIGURACIÓN DE PINES LORA
//=====
=====

const int csPin = 18;    // LoRa radio chip select
const int resetPin = 14; // LoRa radio reset

```

```

const int irqPin = 26;    // change for your board; must be a hardware interrupt pin

//=====
//=====
// V A R I A B L E S   P A R A   R E C E P C I Ó N   D E S D E   D E S H I D R A T
A D O R
//=====
//=====

String outgoing;        // outgoing message
String outgoinga;

String msgCount1, t, h, pot, ora, minu, seg, vent, sp, p_p, temp; // mot3_e, ca1_e, ca2_e,
dim_e, t_prom, h_prom, aut_man;

//String msgCount1, t1, t2, h1, h2, amoniaco, sp_min, sp_max, mot1_e, mot2_e, mot3_e,
ca1_e, ca2_e, dim_e, t_prom, h_prom, aut_man;

int pos1, pos2, pos3, pos4, pos5, pos6, pos7, pos8, pos9, pos10, pos11, pos12, pos13,
pos14, pos15, pos16, pos;

//=====
//=====

// C O N E X I O N   L O R A   Y   E N V Í O   A   D E S H I D R A T
A D O R
//=====
//=====

uint8_t wseg = 0;
uint8_t wmin = 0;
uint8_t wora = 0;
uint8_t wvent = false;
uint8_t wsp = 0;
uint8_t wp_p = false;
/*uint8_t wca2_e = false;
uint8_t wdim_e = 0;

```

```

uint8_t wforza = false;*/

boolean flag_seg = false;
boolean flag_min = false;
boolean flag_ora = false;
boolean flag_vent = false;
boolean flag_sp = false;
boolean flag_p_p = false;
boolean flag_temp = false;
/*boolean flag_ca2_e = false;
boolean flag_dim_e = false;
boolean flag_aut_man = false;*/

int msgCount = 0;      // count of outgoing messages
byte localAddress = 0xBB;  // address of this device
byte destination = 0xAA;  // destination to send to
long lastSendTime = 0;    // last send time
int interval = 2000;     // interval between sends

//=====
// P U B S U B C L I E N T - E S P - 3 2
//=====

WiFiClient esp32Client;
PubSubClient mqttClient(esp32Client);
//PubSubClient mqttClient(mqtt_server, 1883, callback, esp32Client);

unsigned long lastMsg = 0;
#define MSG_BUFFER_SIZE (10)
char msg[MSG_BUFFER_SIZE];

```

```

int value = 0;

//=====
=====
// C O N E X I O N   W I F I
//=====
=====

void setup_wifi() {
  delay(10);
  // We start by connecting to a WiFi network
  Serial.println();
  Serial.print("Connecting to ");
  Serial.println(ssid);

  WiFi.mode(WIFI_STA);
  WiFi.begin(ssid, password);

//=====
=====

  //      T E L E G R A M

//=====
=====

  secured_client.setCACert(TELEGRAM_CERTIFICATE_ROOT);

  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    digitalWrite (25, LOW);
    delay(500);
    Serial.print(".");
  }
}

```

```

randomSeed(micros());

Serial.println("");
Serial.println("WiFi connected");
Serial.println("IP address: ");
Serial.println(WiFi.localIP());
digitalWrite (25, HIGH);
delay(2000);
}

//=====
=====
// R E C I B I E N D O      D A T O S      M Q T T
//=====
=====

char dato[10];
char dato1[10];
char dato2[10];
char dato3[10];
char dato4[10];
char dato5[10];
char dato6[10];
char dato7[10];
char dato8[10];
char dato9[10];
char dato10[10];
char dato11[10];
char dato12[10];

//=====
=====

```

```

//          CALLBACK MQTT
//=====
=====

void callback(char* topic, byte* payload, unsigned int length) {
  String string;
  Serial.print("Message arrived [");
  Serial.print(topic);
  Serial.println("] ");
  for (int i = 0; i < length; i++) {
    string += ((char)payload[i]);
  }
  int resultado = string.toInt();

  if ( strcmp(topic, topic_control) == 0 ) {
    Serial.println("A C T      U A D      O R      E S");
    // motor 1
    if ((char)payload[0] == 'a') {
      Serial.println(" VENTILADOR ON"); wvent = true;
      flag_vent = true;
    }
    if ((char)payload[0] == 'b') {
      Serial.println("VENTILADOR OFF"); wvent = false;
      flag_vent = true;
    }
  }

  if ((char)payload[0] == 'c') {
    Serial.println(" play pausa ON"); wp_p = true;
    flag_p_p = true;
  }
}

```

```

}
if ((char)payload[0] == 'd') {
    Serial.println("play pausa OFF"); wp_p = false;
    flag_p_p = true;
}
}
if ( strcmp(topic, topic_seg) == 0 ) {
    Serial.println("s e g u n d o s");
    Serial.println("          segundos:" + String(resultado));
    wseg = resultado;
    flag_seg = true;
}

if ( strcmp(topic, topic_min) == 0 ) {
    Serial.println("m i n u t o s");
    Serial.println("          minutos:" + String(resultado));
    wmin = resultado;
    flag_min = true;
}

if ( strcmp(topic, topic_ora) == 0 ) {
    Serial.println("h o r a s");
    Serial.println("          horas:" + String(resultado));
    wora = resultado;
    flag_ora = true;
}

if ( strcmp(topic, topic_set_point) == 0 ) {
    Serial.println("s e t p o i n t");

```



```

Serial.println("                setpoint:" + String(resultado));
wsp = resultado;
flag_sp = true;
}

}

//=====
//=====
// R E C O N E C C I Ó N   M Q T T
//=====
//=====

void reconnect() {
  // Loop until we're reconnected
  while (!mqttClient.connected()) {
    Serial.print("Attempting MQTT connection...");
    // Create a random client ID
    String clientId = "DESHIDRATADOR";
    if (mqttClient.connect(clientId.c_str())) {
      Serial.println("connected");
      digitalWrite (25, HIGH);

      mqttClient.subscribe(topic_control);
      mqttClient.subscribe(topic_seg);
      mqttClient.subscribe(topic_min);
      mqttClient.subscribe(topic_ora);
      mqttClient.subscribe(topic_set_point);
    } else {
      digitalWrite (25, LOW);
      Serial.print("failed, rc=");

```

```

Serial.print(mqttClient.state());
Serial.println(" try again in 5 seconds");
// Wait 5 seconds before retrying
ESP.restart();
delay(5000);
}
}
}
//tiempos
unsigned long tiempoactual = 0;
//=====
=====
// V O I D   S E T U P
//=====
=====
void setup() {
  pinMode(25, OUTPUT);
  Serial.begin(115200);      // initialize serial
  while (!Serial);

//=====
=====
//           L O R A
//=====
=====
  Serial.println("LoRa Duplex");
  // override the default CS, reset, and IRQ pins (optional). Must be called before
  LoRa.begin()
  LoRa.setPins(csPin, resetPin, irqPin); // set CS, reset, IRQ pin

```

```

if (!LoRa.begin(915E6)) {           // initialize radio at 868 MHz
  Serial.println("LoRa init failed. Check your connections.");
  while (true);                   // if failed, do nothing
} Serial.println("LoRa init succeeded.");

//=====
//           M   Q   T   T

//=====

//pinMode(BUILTIN_LED, OUTPUT); // Initialize the BUILTIN_LED pin as an
output
setup_wifi();
//mqttClient.setServer(mqtt_server, 1883); // funciona
mqttClient.setServer(mqtt_server, 1883); //prueba
mqttClient.setCallback(callback);

delay(2000);

bot.sendMessage(CHAT_ID, "INICIANDO SISTEMA!!", "");
}

//=====
//   V   O   I   D   L   O   O   P

//=====

void loop() {

  while (1) {

```

```

//delay(1000);
enviarecibeLORA();
if (!mqttClient.connected() {
    reconnect();
}

mqttClient.loop();

//=====
=====
//          T E L E G R A M
//=====
=====

if (millis() - bot_lasttime > BOT_MTBS)
{
    Serial.println("leyendo datos BOT");
    int numNewMessages = bot.getUpdates(bot.last_message_received + 1);
    Serial.println(numNewMessages);
    while (numNewMessages)
    {
        Serial.println("got response");
        handleNewMessages(numNewMessages);
        numNewMessages = bot.getUpdates(bot.last_message_received + 1);
    }

    bot_lasttime = millis();
    Serial.println("saliendo BOT");
}
//Serial.println("loop");

```

```
if (flag_telegram == true) {  
    //bot.sendMessage(CHAT_ID, "Hola", "");  
    bot.sendMessage(CHAT_ID,  
        "Temp=" + t + "\nHum=" + h + "\nPot=" + pot + "\nseg=" + seg + "\nmin=" +  
minu + "\nhora=" + ora + "\nVent=" + vent + "\nSet Point=" + sp + "\nStart/Stop=" + p_p,  
        "");  
    flag_telegram = false;  
}  
  
}
```