



Diseño e implementación de un prototipo de deshidratadora de alimentos, conectada a un servidor web para recaudar datos en la empresa ACSIMB CIA. LTDA.

Guanoluisa Santo, Ana Johanna

Departamento de Eléctrica y Electrónica

Carrera de Ingeniería en Electrónica e Instrumentación

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de ingeniero en Electrónica e Instrumentación

Ing. Ávila Rosero, Galo Raúl, Mgs.

Julio de 2022

Latacunga

Reporte de verificación de contenidos



Tesis-Ana-Guanoluisa_revisado.pdf

Scanned on: 16:8 August 1, 2022 UTC



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text

Identical Words	788
Words with Minor Changes	0
Paraphrased Words	0
Omitted Words	0

GALO RAUL
AVILA



Departamento de Eléctrica Y Electrónica

Carrera de ingeniería en Electrónica e Instrumentación

Certificación

Certifico que la monografía: "Diseño e implementación de un prototipo de deshidratadora de alimentos, conectada a un servidor web para recaudar datos en la empresa ACSIMB CIA. LTDA.", fue realizado por la señorita Guanoluisa Santo, Ana Johanna, la misma que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisada y analizada en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se la sustente públicamente.

Latacunga, 01 de agosto de 2022

Ing. Galo Raúl Ávila Rosero, Mgs.

C.C. 0501156061



Departamento de Eléctrica y Electrónica

Carrera de Ingeniería en Electrónica e Instrumentación

Responsabilidad de Autoría

Yo, **Guanoluisa Santo, Ana Johanna**, con cedula de identidad n° 0504271578, declaro que el contenido, ideas y criterios de la monografía: **"Diseño e implementación de un prototipo de deshidratadora de alimentos, conectada a un servidor web para recaudar datos en la empresa ACSIMB CIA. LTDA."**, es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 02 de agosto de 2022

Guanoluisa Santo, Ana Johanna

C.C. 0504271578



Departamento de Eléctrica y Electrónica

Carrera de Ingeniería en Electrónica e Instrumentación

Autorización de Publicación

Yo, **Guanoluisa Santo, Ana Johanna** con cedula de identidad n° 0504271578, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE publicar el trabajo de titulación, "Diseño e implementación de un prototipo de deshidratadora de alimentos, conectada a un servidor web para recaudar datos en la empresa ACSIMB CIA. LTDA.", en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, 02 de agosto de 2022

Guanoluisa Santo, Ana Johanna

C.C. 0504271578

Dedicatoria

Quiero dedicar este trabajo a mis queridos Padres Carmen e Hilario, quienes han sido los pilares fundamentales para superar cada obstáculo que se ha presentado, ya que con por su infinito amor, cariño, esfuerzo y dedicación estoy alcanzando uno de nuestros sueños. Sin ustedes no lo hubiese logrado, sé que una dedicatoria no compensa todo lo que han luchado por mí, sin embargo, estas palabras son con todo mi amor para ustedes.

Los amo infinitamente, este logro solo les corresponde a ustedes, por todas las desveladas en las que estuvieron dándome ánimo para no rendirme, por todos los momentos que sentía que ya no podía y estuvieron conmigo, por los innumerables cafecitos de las mañanas antes de ir a clases.

Johanna G.

Agradecimiento

Agradezco primero a Dios por la vida y por la oportunidad de vivirla y disfrutarla junto a mis seres queridos, y por permitirme cumplir este sueño.

A mis padres les agradezco por el amor incondicional que siempre me han dado, por siempre estar pendientes de mis días buenos y malos y hacerlos más felices, por el gran esfuerzo que hacen al apoyarme en las metas que nos hemos propuesto y siempre darme ánimos para salir adelante.

A mis hermanos de vida, que gracias a Dios y al destino nos permitieron compartir vida, y convertimos en familia, Lady A., Jessica S., Grenny T., Andrea T., Jordan I., Fabian T., Angel T., Gonzalo T., Marco S. y a quienes me apoyaron y compartieron momentos que llevaré en mi corazón ya que hicieron mi vida más alegre.

A Lady un agradecimiento especial por apoyarme en todos los momentos difíciles, por considerarme parte de tu familia y por ser hasta ahora esa hermana incondicional que ni con los lazos de sangre se comparan. Gracias infinitas por el cariño, la amistad y la confianza.

A mi tutor académico el Ing. Galo Ávila, le agradezco por el compromiso y dedicación que me brindó durante la ejecución de este proyecto y por haber sido un docente digno de respeto y admiración a lo largo de mi periodo estudiantil.

A los ingenieros Fernando Muñoz, Cristian Salazar y Alex Arias de la empresa ACSIMB CIA.LTDA. por la confianza y el apoyo brindado al realizar el trabajo de titulación.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L y a sus docentes quienes supieron compartir no solo conocimientos teóricos y prácticos si no también nos dieron lecciones de vida para convertirnos en buenos ingenieros

Ana G.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Carátula.....	1
Reporte de verificación de contenidos	2
Certificación	3
Responsabilidad de autoría	4
Autorización de publicación	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimiento	7
Índice de contenido	8
Índice de tablas.....	13
Índice de figuras.....	14
Resumen	18
Abstract.....	19
Capítulo I: Introducción	20
Planteamiento del problema	20
Antecedentes.....	20
Justificación e importancia	21
Objetivos	22
<i>Objetivo general</i>	22
<i>Objetivos específicos</i>	22
Variables de la investigación.....	23
<i>Variable independiente</i>	23
<i>Variable dependiente</i>	23

Hipótesis.....	23
Capítulo II: Marco teórico.....	24
Porcentajes de agua en los alimentos.	24
La manzana.....	25
<i>Cultivo de manzana</i>	26
<i>Variedades de manzana</i>	26
<i>Manzana golden delicious o delicia</i>	26
Deshidratación.....	29
Proceso de deshidratación.....	29
<i>Actividades previas al proceso de deshidratación</i>	30
<i>Actividades posteriores al proceso de deshidratación</i>	30
Métodos de secado	31
<i>Deshidratación por osmosis</i>	31
<i>Deshidratación por secado al sol</i>	32
<i>Deshidratación por liofilización</i>	32
<i>Deshidratación por convección</i>	33
Tipos de deshidratadores de aire caliente	33
<i>Deshidratador de horno o por convección</i>	33
<i>Deshidratador de bandejas o por conducción</i>	34
<i>Deshidratadores eléctricos</i>	35
Tiempo y temperatura de secado.....	36
Controladores de procesos	36
<i>Controlador lógico programable (plc)</i>	36
<i>Plc eopus</i>	37
Servidores web	38

Capítulo III: Diseño e implementación del prototipo de deshidratador	39
Diagrama de bloques del proceso de diseño e implementación	39
Dimensionamiento del hardware.....	40
<i>Descripción general del diseño</i>	40
<i>Condiciones iniciales de temperatura y humedad ambiente de la ciudad de ambato</i>	41
<i>Temperatura</i>	42
<i>Humedad</i>	43
<i>Datos psicométricos adicionales de la ciudad de ambato</i>	44
<i>Dimensionamiento de la cámara de secado</i>	44
<i>Cálculo del número de bandejas</i>	45
Implementación del hardware para el prototipo de deshidratador	47
<i>Lista de equipos y materiales utilizados</i>	47
<i>Construcción primera etapa</i>	48
<i>Construcción segunda etapa</i>	49
<i>Construcción tercera etapa</i>	53
<i>Construcción cuarta etapa</i>	53
<i>Construcción de la quinta etapa</i>	54
Cálculo de la capacidad másica de materia prima del prototipo.	55
<i>Cálculo de la capacidad del deshidratador</i>	64
Circulación del aire entre las bandejas en la cámara de deshidratación.....	68
Cálculo de pérdidas de presión en el prototipo del deshidratador.....	70
Pérdidas por fricción	71
<i>Pérdidas menores</i>	78
<i>Caída total de presión</i>	79
Análisis del proceso dentro de la cámara	80
<i>Tiempo de secado</i>	80

Calor útil requerido por la manzana.....	86
<i>Cálculo del calor sensible</i>	<i>86</i>
<i>Calor de evaporación</i>	<i>87</i>
Cálculo de pérdidas de calor en el prototipo del deshidratador.....	90
<i>Circuito térmico equivalente</i>	<i>91</i>
Análisis de la fuente de calor	98
Implementación del software para el sistema de control en el plc eopus cp06	102
<i>Descripción del proceso.....</i>	<i>102</i>
Controlador on/off.....	104
<i>Diagrama de flujo general del controlador.</i>	<i>105</i>
<i>Diagrama de flujo para el control de temperatura.....</i>	<i>106</i>
<i>Diagrama de flujo para el control de humedad.....</i>	<i>107</i>
Hmi.....	108
<i>Pantalla principal o de inicio</i>	<i>109</i>
<i>Pantalla de parámetros</i>	<i>110</i>
<i>Pantalla de alarmas.....</i>	<i>111</i>
<i>Pantalla de información.....</i>	<i>112</i>
Sistema de recaudación de datos.....	112
<i>Diagrama de conexión para la comunicación con el sistema de recaudación de datos.</i>	<i>112</i>
<i>Software de diseño</i>	<i>113</i>
<i>Diseño de la interfaz grafica.....</i>	<i>116</i>
<i>Gestión de la base de datos</i>	<i>122</i>
Capítulo IV: Pruebas y análisis de resultados.....	127
Protocolo de pruebas	127
Pruebas de funcionamiento con carga de manzana	128
<i>Prueba bandeja superior.....</i>	<i>128</i>

<i>Prueba bandeja intermedia</i>	130
<i>Prueba bandeja inferior</i>	132
<i>Curva de respuesta del controlador on/off</i>	135
<i>Curva de comportamiento de la humedad relativa dentro de la cámara de secado</i>	136
<i>Prueba de funcionamiento del sistema de recaudación de datos</i>	137
Análisis de resultados.....	139
Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones	140
Conclusiones.....	140
Recomendaciones	141
Bibliografía	142
Anexos	146

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Porcentaje de agua en diferentes alimentos.</i>	24
Tabla 2	<i>Temperatura y humedad relativa de la ciudad de Ambato.</i>	41
Tabla 3	<i>Características de la cámara de secado.</i>	47
Tabla 4	<i>Listado de equipos y materiales.</i>	48
Tabla 5	<i>Sensores de temperatura y humedad relativa.</i>	55
Tabla 6	<i>Características de una rodaja de manzana.</i>	56
Tabla 7	<i>Datos para el diseño del deshidratador.</i>	63
Tabla 8	<i>Carga del prototipo de deshidratador.</i>	67
Tabla 9	<i>Parámetros calculados para el análisis de pérdidas por fricción.</i>	77
Tabla 10	<i>Pérdidas dinámicas o menores del prototipo.</i>	79
Tabla 11	<i>Caída de presión total del prototipo.</i>	80
Tabla 12	<i>Propiedades del aire a temperatura de trabajo.</i>	82
Tabla 13	<i>Dimensiones del prototipo.</i>	91
Tabla 14	<i>Parámetros calculados.</i>	94
Tabla 15	<i>Conductividad térmica.</i>	98
Tabla 16	<i>Protocolo de pruebas.</i>	127
Tabla 17	<i>Prueba 1 con carga de manzana - bandeja superior.</i>	128
Tabla 18	<i>Prueba 2 con carga de manzana- bandeja intermedia.</i>	130
Tabla 19	<i>Prueba 3 con carga de manzana - bandeja inferior.</i>	132

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	<i>Manzana golden delicious o delicia</i>	27
Figura 2	<i>Características de la manzana golden delicious o delicia</i>	28
Figura 3	<i>Proceso de deshidratación de frutas</i>	29
Figura 4	<i>Deshidratador de estufa</i>	34
Figura 5	<i>Deshidratador de bandejas</i>	35
Figura 6	<i>Estructura de PLC EOPUS serie CP06</i>	38
Figura 7	<i>Diagrama de diseño e implementación del prototipo</i>	39
Figura 8	<i>Temperatura promedio de la ciudad de Ambato</i>	42
Figura 9	<i>Humedad relativa promedio de ambato</i>	43
Figura 10	<i>Cálculos on-line sobre aire húmedo de Ambato</i>	44
Figura 11	<i>Distribución externa del deshidratador</i>	45
Figura 12	<i>Cámara de secado con separación entre bandejas</i>	46
Figura 13	<i>Implementación primera etapa del prototipo de deshidratador</i>	49
Figura 14	<i>Construcción del túnel de circulación</i>	50
Figura 15	<i>Servomotor conectado a la compuerta de evacuación de aire húmedo</i>	51
Figura 16	<i>Finales de carrera ubicados en la compuerta de ventilación</i>	51
Figura 17	<i>Túnel de circulación</i>	52
Figura 18	<i>Soportes metálicos para las bandejas</i>	53
Figura 19	<i>Plano de conexión</i>	54
Figura 20	<i>Balanza digital</i>	56

Figura 21	<i>Circulación de aire entre las bandejas</i>	68
Figura 22	<i>Elementos del deshidratador</i>	71
Figura 23	<i>Propiedades físicas del aire</i>	74
Figura 24	<i>Valores de rugosidad según el producto</i>	76
Figura 25	<i>Calor suministrado al producto dentro de la cámara</i>	81
Figura 26	<i>Analogía eléctrica–paredes de la cámara de deshidratado</i>	91
Figura 27	<i>Curva de respuesta del control ON/OF</i>	104
Figura 28	<i>Diagrama de flujo general para el proceso del deshidratador de alimentos</i>	105
Figura 29	<i>Diagrama de flujo general para el control de temperatura</i>	106
Figura 30	<i>Diagrama de flujo general para extraer la humedad</i>	107
Figura 31	<i>Pantalla HMI 4.3" EOPUS</i>	108
Figura 32	<i>Pantalla principal o de inicio</i>	109
Figura 33	<i>Pantalla de parámetros</i>	110
Figura 34	<i>Diagrama de transmisión de datos entre el PLC y el servidor web</i>	113
Figura 35	<i>Logo de Node-Red</i>	114
Figura 36	<i>Página oficial de descarga de node.js</i>	115
Figura 37	<i>Inicio de Node Red</i>	115
Figura 38	<i>Interfaz de diseño de Node Red</i>	116
Figura 39	<i>Configuración del nodo MQTT</i>	117
Figura 40	<i>Configuración nodo MYSQL</i>	118
Figura 41	<i>Configuración de Nodo Chart</i>	119

Figura 42	<i>Configuración Nodo Gauge</i>	120
Figura 43	<i>Nodo de funciones</i>	121
Figura 44	<i>Conexión de nodos para la interfaz gráfica y base de datos</i>	121
Figura 45	<i>Interfaz gráfica</i>	122
Figura 46	<i>Proyecto XAMPP</i>	123
Figura 47	<i>Pantalla de inicio del servidor web APACHE</i>	124
Figura 48	<i>Pantalla para creación de una nueva base de datos.</i>	125
Figura 49	<i>Creación de la tabla de registro de datos</i>	125
Figura 50	<i>Creación de las columnas necesarias para la recaudación de datos</i>	126
Figura 51	<i>Curva de comportamiento de la masa - bandeja superior</i>	129
Figura 52	<i>Curva de comportamiento de la humedad - bandeja inferior</i>	129
Figura 53	<i>Masa en función de tiempo de deshidratado - bandeja intermedia</i>	131
Figura 54	<i>Curva de comportamiento de la humedad en función de tiempo de deshidratado - bandeja intermedia</i>	131
Figura 55	<i>Masa en función de tiempo de deshidratado - bandeja inferior</i>	132
Figura 56	<i>Curva de comportamiento de la humedad en función de tiempo de deshidratado - bandeja inferior</i>	133
Figura 57	<i>Curvas de comportamiento masa</i>	134
Figura 58	<i>Curvas de comportamiento humedad</i>	134
Figura 59	<i>Curva de respuesta del controlador ON/OFF de temperatura</i>	135
Figura 60	<i>Curva de comportamiento de la humedad relativa dentro de la cámara de secado.</i> ..	136
Figura 61	<i>Funcionamiento de la interfaz gráfica</i>	137

Figura 62 *Datos guardados en el servidor web*..... 138

Resumen

A lo largo de la historia siempre ha sido un problema los tiempos cortos que duran los alimentos antes de descomponerse, y hasta el día de hoy se han desarrollado un sin número de alternativas de conservación de los alimentos, por tanto, la empresa ACSIMB CIA. LTDA. que está inmersa en el área industrial de la automatización y el control, genera proyectos de investigación para dar solución y probar nuevas alternativas frente a los problemas cotidianos dentro de las industrias, es por ello que en este trabajo de titulación se propone el “Diseño e Implementación de un prototipo de deshidratadora de alimentos, conectada a un servidor web para recaudar datos en la empresa ACSIMB”, con el objetivo de crear un equipo capaz de reducir el contenido de agua de la Manzana, ya que es un producto disponible solo por temporadas y además tiene una corta vida útil por sus componentes alimenticios que al no ser consumidos en su periodo de vida útil estos se oxidan y provocan su descomposición en un tiempos sumamente cortos. Se desarrolla en 5 capítulos: Capítulo I, enfocado a la introducción al proyecto; Capítulo II, Sustentación teórica; Capítulo III, Diseño e implementación en el que se desarrolla la propuesta en 3 fases, Hardware, Software y Sistema de recaudación de datos; Capítulo IV, Pruebas y análisis de resultados; Capítulo V, Conclusiones y recomendaciones. Dentro del Hardware del prototipo se propone el desarrollo de un sistema de ventilación por túnel de circulación de aire conectado a la cámara de secado por dos ductos superiores, además, el túnel tiene una compuerta de extracción del aire húmedo que se abre y cierra en periodos cortos de tiempo con el fin de tener una recirculación de aire continua y evitar pérdidas significativas de temperatura. Otra parte importante del diseño, es el sistema de recaudación de información ya que gestiona en tiempo real los valores de temperatura y humedad dentro de la cámara de secado para mantener un monitoreo continuo de las variables.

Palabras clave: Túnel de circulación, sistema de control, sistema de recaudación de datos.

Abstract

Throughout history it has always been a problem the short time that food lasts before decomposing, and until today have been developed a number of alternatives for food preservation, therefore, the company ACSIMB CIA. LTDA. which is immersed in the industrial area of automation and control, generates research projects to provide solutions and test new alternatives to everyday problems within the industries, which is why this degree work proposes the "Design and Implementation of a prototype food dehydrator, connected to a web server to collect data in the company ACSIMB", with the objective of creating an equipment capable of reducing the water content of the Apple, since it is a product available only seasonally and also has a short shelf life due to its food components that when not consumed in its shelf life, they oxidize and cause its decomposition in an extremely short time. It is developed in 5 chapters: Chapter I, introduction to the project; Chapter II, Theoretical support; Chapter III, Design and implementation in which the proposal is developed in 3 phases, Hardware, Software and Data Collection System; Chapter IV, Tests and analysis of results; Chapter V, Conclusions and recommendations. Within the hardware of the prototype, the development of an air circulation tunnel ventilation system connected to the drying chamber by two upper ducts is proposed. In addition, the tunnel has a damper for the extraction of humid air that opens and closes in short periods of time in order to have a continuous air recirculation and avoid significant temperature losses. Another important part of the design is the information collection system since it manages in real time the temperature and humidity values inside the drying chamber to maintain a continuous monitoring of the variables.

Key words: Circulation tunnel, control system, data collection system.

Capítulo I

Introducción

Planteamiento del problema

En la actualidad en Ecuador existe una considerable oferta de productos frescos, donde la tercera parte de la producción de alimentos destinados al consumo humano se desechan por descomposición, donde las frutas y hortalizas presentan porcentajes entre 55%, (Eguillor, 2019), que conlleva a la búsqueda de nuevas opciones o estrategias para prolongar la vida útil de los alimentos sin producir cambios drásticos en sus propiedades alimenticias, teniendo como punto importante que el proceso se realice en el menor tiempo posible para que los productos no se dañen durante el proceso de tratamiento y que la comercialización sea rápida, dando paso a los productos deshidratados que cumplen con estas necesidades.

Antecedentes

En Ecuador existe una gran variedad de frutas y verduras que son comercializados en su estado natural dentro y fuera del país durante todo el año, sin embargo, no todos los productos se encuentran disponibles de manera continua en todos los meses, ya que existen productos que se comercializan solo por temporadas, dicho esto, el método de conservación de alimentos más utilizado desde la antigüedad es la deshidratación, que consiste en la extracción del mayor porcentaje de agua del alimento sometidos a temperaturas altas ya sea de forma natural o controlada.

Originalmente el método de secado se utilizaba en los campos de cultivo de cereales, forraje y frutos, que consistía en extenderlos al aire libre para que se elimine su contenido de agua por acción directa de los rayos solares de manera no controlada, no obstante; este método tiene una gran desventaja al tener el producto expuesto directamente a los efectos del clima y la contaminación, adhiriéndose impurezas que hacen que los alimentos no sean aptos para el consumo humano.

Las técnicas de secado natural han ido evolucionando con la búsqueda y aplicación de tecnología que extienden la vida útil de los alimentos sin perder sus propiedades y manteniendo el concepto de deshidratación, utilizando equipos especializados que mantienen el proceso controlado, optimizan tiempos y recursos.

Entre los procesos de deshidratado de alimentos más destacados o utilizados se encuentran el secado solar al aire libre, la liofilización, la deshidratación osmótica, la deshidratación por combustibles o secado eléctrico. La liofilización, que, aunque es un proceso bastante eficiente, implica un desembolso económico grande, y la deshidratación osmótica que es un proceso económico, pero no muy eficiente que requiere realizar otro tipo de secado para complementarlo, el secado que se realiza usando combustibles convencionales como el petróleo, el carbón, y la biomasa, lo que contribuye a agudizar los problemas de la deforestación, la contaminación del aire y el calentamiento global. (Lieter Javier Silva-Díaz & Yanoy Morejón-Mesa, 2019).

Otra alternativa es la deshidratación por energía solar térmica, sin embargo, con este método solo se puede aprovechar un 60 por ciento de las horas del día en las que las temperaturas obtenidas en la cámara de deshidratado son idóneas para llevar a cabo este proceso y el otro porcentaje representa pérdida de recursos. Una de las alternativas más adecuada es la deshidratación a través de medios eléctricos, que permiten implementar un control de secado más eficiente a cualquier hora del día y con menores desventajas en comparación a los métodos tradicionales.

Justificación e Importancia

La empresa ACSIMB CIA LTDA ubicada en la ciudad Ambato al ser una institución dedicada a la automatización, control industrial e investigación de nuevos métodos tecnológicos, se ha visto en la necesidad de solucionar este tipo de problemas en base a una máquina de deshidratación con un sistema de ventilación utilizado en ámbitos industriales y con elementos de control propios de la institución; iniciando la solución del problema con el diseño e implementación de un prototipo de

deshidratador eléctrico de bajo costo, con realimentación de flujo de aire, aplicando un método de ventilación basado en sistemas industriales no convencionales, manteniendo el concepto de deshidratación por aire caliente.

Este proyecto presenta una alternativa de producción dentro de un rango competitivo en el sector económico, que pretende mayores ganancias al aprovechar la explotación agrícola del país con la conservación de alimentos en temporadas de alta cosecha y disponerlos en épocas de baja cosecha para diversificar el sector alimenticio a lo largo del año; a la par mejora el almacenaje y transporte de los productos procesados.

Objetivos

Objetivo General

- Diseñar e implementar un prototipo de deshidratadora de alimentos conectada a un servidor web para recaudar datos en la empresa ACSIMB.

Objetivos Específicos

- Diseñar el prototipo de deshidratadora de alimentos.
- Implementar el sistema de control para el prototipo de deshidratadora con el uso de PLC y HMI.
- Conectar el equipo al servidor IOT de la empresa ACSIMB para recaudar los datos.
- Analizar y comparar los resultados obtenidos, mediante pruebas de operación.
- Aplicar el procedimiento de pruebas sobre el sistema de recaudación de datos para verificar su funcionamiento.

Variables de la investigación

Variable independiente

Prototipo de deshidratadora de alimentos

Variable dependiente

Conservación de alimentos para prolongar la vida útil de los mismos.

Hipótesis

¿El diseño e implementación de un prototipo de deshidratadora de alimentos, conectada a un servidor web para recaudar datos en la empresa ACSIMB, permitirá reducir el contenido de agua en alimentos al exponerlos a un flujo de aire caliente, ayudando a conservar y prolongar la vida útil de los mismos?

Capítulo II

Marco teórico

Porcentajes de agua en los alimentos.

Todos los alimentos tienen porcentajes de agua diferentes en su composición por lo que los tiempos que duran los procesos para deshidratar también cambia según la composición del producto, en la Tabla 1 se encuentran diferentes alimentos de acuerdo a la categoría a la que pertenecen con sus respectivos porcentajes de agua.

Tabla 1

Porcentaje de agua en diferentes alimentos.

Alimento	Porcentaje de agua	Categoría de alimentos
Almejas (hervidas)	82.4	Mariscos
Atún (en conserva)	49.4	
Calamar	76.8	
Lenguado	63.7	
Merluza	6.2	
Sardina	45.2	
Pollo (asado)	38.6	Aves
Bife de cordero	31.6	Carnes
Bife de ternera	56.9	
Leche vacuna	87.5	Lácteos
Mantequilla	15.2	
Queso manchego Yogurt	30.0	
Yogurt	86.0	
Huevos fritos	64.3	Huevos
Huevos hervidos	73.8	
Arroz (hervido)	65.0	Cereales
Galletas	5.2	
Pan de trigo -bolillos	35.6	Pastas
Tallarines - Vernicelli	73.8	

Alimento	Porcentaje de agua	Categoría de alimentos
Garbanzos (hervidos)	65.0	
Habas judías (hervidas)	72.9	
Acelga (hervida)	97.2	Legumbres
Champiñones (conserva)	92.0	
Espárragos (cocidos)	93.6	
Espinaca (hervida)	91.0	
Lechuga	94.8	Verduras
Tomate-Jitomate (crudo)	55.0	
Papas – patatas fritas	93.6	Papas
Banana	75.8	
Ciruelas	82.5	
Manzanas	84.8	Frutas
Melón	92.8	
Naranja	87.1	
Miel	18.4	

Nota. Recuperado de AREVALO SAENZ, (2017).

La importancia del agua como componente fundamental en la mayoría de los alimentos, radica al ser el factor principal para el desarrollo de microorganismos y agentes asociados al deterioro de los productos alimenticios. Por consiguiente, se ha convertido en una estrategia de conservación de alimentos muy utilizada en el área de industrial ya que con la reducción del porcentaje de agua contenido en un alimento se consigue frenar el crecimiento microbiano causantes del deterioro y descomposición, dando como resultado un tiempo extendido de consumo sin cambiar drásticamente las características físicas y organolépticas del producto. (Muñoz Lucas and Sánchez García 2018)

La manzana

La manzana es uno de los alimentos frutales con mayor interés, por su alta demanda a nivel mundial, ya que en el año 2009 superó incluso a otras frutas comerciales como la naranja y el plátano, llegando a 71,2 millones de toneladas las que necesitó el mercado mundial. (CHAGÑAY, 2015)

En Ecuador es considerado uno de los productos frutales más destacados y con mayor demanda, sin embargo, su consumo solo se permite alrededor de las temporadas de invierno a verano, teniendo una vida útil de un mes a temperatura ambiente, por lo que su consumo se limita únicamente a los meses de producción de acuerdo a las condiciones climáticas del país, lo que conlleva a la necesidad de importar producto extranjero para cubrir la demanda del producto en el resto del año que no hay producción local.

Cultivo de manzana

El cultivo de la manzana en Ecuador está situado en las provincias de mayor altitud de la zona sierra, por las condiciones climáticas frías que son necesarias para el desarrollo de este alimento frutal; Tungurahua, Cotopaxi, Cañar, Azuay y Loja son las provincias de mayor producción de manzanos. En Tungurahua se dispone con mayor apogeo en Ambato, Ceballos, Tisaleo, Quero y Píllaro con un cultivo de 2300 hectáreas en total. (CHAGÑAY, 2015)

Variedades de manzana

En el mercado ecuatoriano existen variedades como: Golden Delicious o Delicia, Emilia, Rome Beauty o Johnny, Red Delicious o roja, Granny Smith o Verde y Royal Gala; están disponibles en el mercado desde diciembre hasta junio según la variedad de la temporada, son consumidas frescas, en ensalada, en conservas o licores. Su tamaño varía entre pequeñas medianas y grandes de manera general, diferenciándose en colores y sabores dulces y ácidos, no obstante, todas aportan con vitaminas y minerales que complementan y benefician una dieta saludable al ser humano.

Manzana Golden Delicious o Delicia

Esta variedad es una de las manzanas más labradas a nivel mundial, descubierta en una granja de Estados Unidos, se caracteriza por su color amarillo con manchas en tonos rosados, es tipo esfera

y tamaño mediano de manera general como se observa en la Figura 1, su sabor esta entre el dulce y acido, por lo que comúnmente se usa para tartas, conservas, ensaladas o licores. (Pomacarhua, 2020)

Figura 1

Manzana Golden Delicious o Delicia



Nota. Variedad de manzana Golden Delicious o Delicia. Recuperado de Pomacarhua, (2020).

En Ecuador la manzana Delicia se cosecha entre los meses de abril a junio, con un promedio de vida útil de 4 semanas a temperatura ambiente, por lo que es propensa a perder sus propiedades y descomponerse muy rápido, propiciando que sea una buena opción para someterla a un proceso de deshidratación, según las características presentadas en la Figura 2, tiene un porcentaje de agua en su composición de un 85.7 por ciento, comprobando que es adecuada para el proceso de secado planificado por el prototipo desarrollado.

Figura 2

Características de la manzana Golden Delicious o Delicia.

	Por 100 g de porción comestible	Por ración (200 g)	Recomendaciones día-hombres	Recomendaciones día-mujeres
Energía (Kcal)	53	89	3.000	2.300
Proteínas (g)	0,3	0,5	54	41
Lípidos totales (g)	Tr	Tr	100-117	77-89
AG saturados (g)	—	—	23-27	18-20
AG monoinsaturados (g)	—	—	67	51
AG poliinsaturados (g)	—	—	17	13
ω -3 (g)*	—	—	3,3-6,6	2,6-5,1
C18:2 Linoleico (ω -6) (g)	—	—	10	8
Colesterol (mg/1000 kcal)	0	0	<300	<230
Hidratos de carbono (g)	12	20,2	375-413	288-316
Fibra (g)	2	3,4	>35	>25
Agua (g)	85,7	144	2.500	2.000
Calcio (mg)	6	10,1	1.000	1.000
Hierro (mg)	0,4	0,7	10	18
Yodo (μg)	2	3,4	140	110
Magnesio (mg)	5	8,4	350	330
Zinc (mg)	0,1	0,2	15	15
Sodio (mg)	2	3,4	<2.000	<2.000
Potasio (mg)	120	202	3.500	3.500
Fósforo (mg)	8	13,4	700	700
Selenio (μg)	Tr	Tr	70	55
Tiamina (mg)	0,04	0,07	1,2	0,9
Riboflavina (mg)	0,02	0,03	1,8	1,4
Equivalentes niacina (mg)	0,2	0,3	20	15
Vitamina B₆ (mg)	0,03	0,05	1,8	1,6
Folatos (μg)	5	8,4	400	400
Vitamina B₁₂ (μg)	0	0	2	2
Vitamina C (mg)	10	16,8	60	60
Vitamina A: Eq. Retinol (μg)	4	6,7	1.000	800
Vitamina D (μg)	0	0	15	15
Vitamina E (mg)	0,2	0,3	12	12

Nota. Tomado de Thomas et al., (2013)

Deshidratación

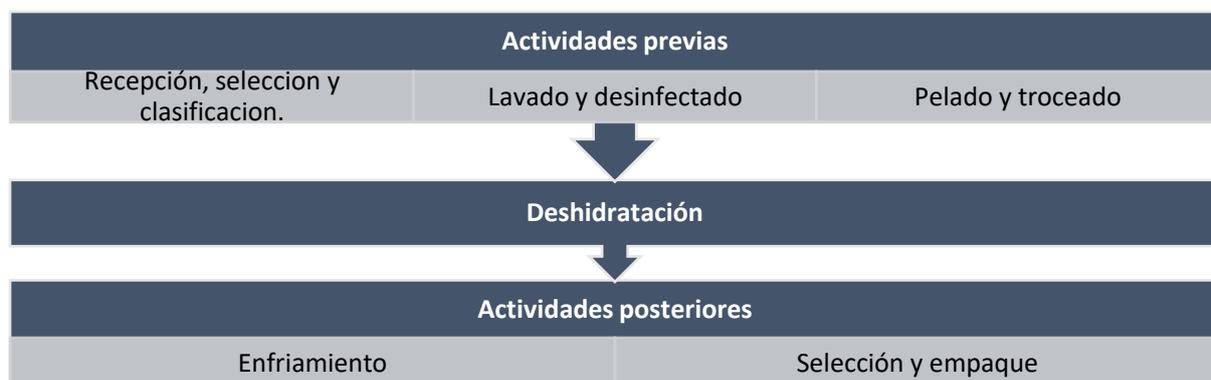
La deshidratación o secado corresponde a un sistema usado para la preservación, que trae consigo múltiples beneficios, empezando con detener crecimiento microbiano en los alimentos evitando su deterioro y extendiendo el tiempo de consumo, por consiguiente se da paso a la posibilidad de encontrar los productos de temporadas pasadas que muchas de las veces solo se encuentran en ciertos meses del año, así mismo por la reducción del agua en el producto, se observa una notable reducción en el peso y volumen ocasionando que los costos de transporte y almacenamiento se reduzcan, pues a menor peso y volumen el espacio de almacenamiento puede recibir más producto. (Orrego, 2003)

Proceso de deshidratación

La deshidratación de alimentos se efectúa a temperaturas entre los 60 y 90°C, con el fin de eliminar las bacterias presentes, manteniendo las características de olor y sabor el producto, sin embargo, es necesario realizar actividades previas y posteriores para que se complete el proceso de secado de alimentos, (Bautista & Meza, 2016). En la Figura 3, se encuentra una descripción general del proceso de deshidratación teniendo en cuenta que el prototipo implementado se encarga únicamente del proceso de deshidratación.

Figura 3

Proceso de deshidratación de frutas.



Actividades previas al proceso de deshidratación

De acuerdo a la Figura 3, para iniciar el proceso de deshidratación, el producto debe ser preparado y esto se realiza de forma manual, dando como resultado la necesidad de contratar personal capacitado que se encargue de recibir, seleccionar y clasificar la materia prima, desechando el producto que no se encuentre en condiciones adecuadas para el proceso de secado, quienes pondrán en consideración los siguientes aspectos de selección: maduros, sanos, homogéneos, libre de daños causados por plagas o enfermedades. (ARTEAGA, 2015)

Una vez seleccionados se continua con el proceso de lavado y desinfectado, donde se asegura que las frutas o verduras queden libres de impurezas exteriores; se realiza el proceso de pelado y troceado, en el cual se retira la cascara y se rebana en rodajas de dimensiones milimétricas para facilitar el secado y acortar tiempos de operación. Finalizando el proceso previo a la deshidratación con la colocación del producto troceado en las bandejas que se introducen a la cámara de deshidratado.

Actividades posteriores al proceso de deshidratación

Cuando haya finalizado el proceso en la cámara de deshidratado es necesario dejar el producto obtenido en reposo para que este se enfrié hasta conseguir una temperatura ambiente o al menos que permita manipular y envasar de forma manual. No obstante, el paso que es de similar importancia que las actividades previas y el proceso de deshidratación es la reclasificación del producto, ya que en este paso se eliminan aquellos trozos que estén defectuosos con el fin de elevar la calidad del producto deshidratado para el consumidor final, que lo recibirá en empaques acorde al producto, en el caso de las frutas se coloca en fundas plásticas.

Métodos de secado

Los métodos de secado han existido desde la antigüedad para evitar el deterioro de los alimentos, aunque cobraron fuerza en el sector industrial cuando surgió la necesidad de aumentar la producción, reducir tiempos y mejorar la calidad del producto, porque aquel producto obtenido con el método tradicional de exponerlo al sol por varios días sin tomar en cuenta los factores climáticos y las impurezas del ambiente, demoraba mucho tiempo en salir al mercado para comercializarlo y su calidad era cuestionable,

Por tanto, han surgido diferentes técnicas y procesos con el fin de obtener mejores resultados, teniendo en cuenta las características de los materiales con las que se trabaje, las características físicas de los alimentos, la temperatura de trabajo, el tiempo de secado y las necesidades de consumidor final. Entonces existe una variedad de métodos de deshidratación que utilizan variantes en cuanto a herramientas y actividades para conseguir la reducción del porcentaje de agua en el producto, teniendo en cuenta que no se puede reducir el mismo porcentaje en todos los métodos.

Deshidratación por osmosis

El proceso consiste de aplicar al producto una sustancia concentrada de alcoholes, sales y/o azúcares, lo que conlleva a la remoción de agua e ingreso del sólido al interior del alimento aumentando su masa. La velocidad del proceso y el grado de deshidratación están relacionados con el tipo y la cantidad de la sustancia utilizada, la masa del alimento, las temperaturas de trabajo y el equipo usado. (Maldonado et al., 2008)

Este método es de pretratado con el que se aumenta el volumen de sólidos solubles y disminuye la humedad de los alimentos hasta un 50 o 60 %, (Spiazzi & Mascheroni, 2001). Por lo que para terminar el proceso de secado y obtener un producto listo para el consumo es necesario aplicar un procedimiento de deshidratación extra ya sea por aire caliente o congelación, con el fin de que el producto sea adecuado para su conservación y por tanto su vida útil sea más larga. Teniendo en

consecuencia que sea un proceso más largo y costoso por la necesidad de ejecutar actividades y procesos extras para su total realización.

Deshidratación por secado al sol

Consiste en extender los alimentos sobre superficies planas y exponerlas directamente a los rayos del sol, para que por acción del aire y del calor recibido se evapore su contenido de agua de forma natural, siendo el método más barato en comparación a otros que requieren herramientas y materiales más sofisticados para su realización, por lo que ha sido el más practicado desde el pasado con la finalidad de preservar la vida útil de frutas, cereales, verduras, carnes y pescados. (Castañeda Miranda et al., 2012)

Cabe destacar que este método presenta ciertas desventajas, entre ellas la principal que consiste en el tiempo que conlleva finalizar el proceso de secado, dependiendo directamente de las condiciones climáticas del sector en el que se realice, siendo que se trabaja únicamente a ciertas horas del día en las que la presencia de los rayos del sol sea considerablemente fuerte, dando como resultado un tiempo extendido de secado de varios días a semanas, lo que conlleva a la siguiente desventaja que es la pérdida de calidad en el producto ya que al tener el producto expuesto directamente a las condiciones ambientales por un tiempo prolongado no se tiene un control adecuado en cuanto a la higiene del producto, corrientes de aire y cambios ambientales.

Deshidratación por liofilización

La liofilización reside en la sublimación del hielo de un producto congelado, por lo que es necesario tratar los alimentos previamente sometiéndolos a temperaturas extremadamente bajas hasta llegar al punto de congelación de los mismos, para tratarlos reduciendo considerablemente la presión ambiental, esto con el fin de realizar el respectivo secado al producto mediante el proceso de sublimación, (Orrego, 2003). Es decir, en la liofilización se reduce el contenido de agua hasta un valor considerable por medio del cambio de estado, pasando de congelado a vapor omitiendo el estado

líquido del producto. Este proceso es muy efectivo y más eficiente que la deshidratación mediante hornos, pero tiene como desventaja los altos costos de inversión y operación por lo que es ampliamente utilizado en el sector farmacéutico.

Deshidratación por convección

El secado por convección, consiste en la transferencia de aire caliente por la superficie del alimento tratado, y como resultado de la exposición a temperaturas mayores a la ambiental, se consigue que el agua contenida en el alimento se evapore a través del aire circulante, sin embargo este método no se puede estandarizar para todos los alimentos, ya que depende de las características de cada producto a tratar, sin embargo es el más barato y menos complejo en su implementación ya sea por su estructura, herramientas utilizadas y de acuerdo a las características del producto se puede disminuir considerablemente el tiempo de secado de días a simplemente unas cuantas horas, por lo que existe una gran variedad de deshidratadoras que ocupan este método para producciones de secado. (MURILLO ARIAS, 2007)

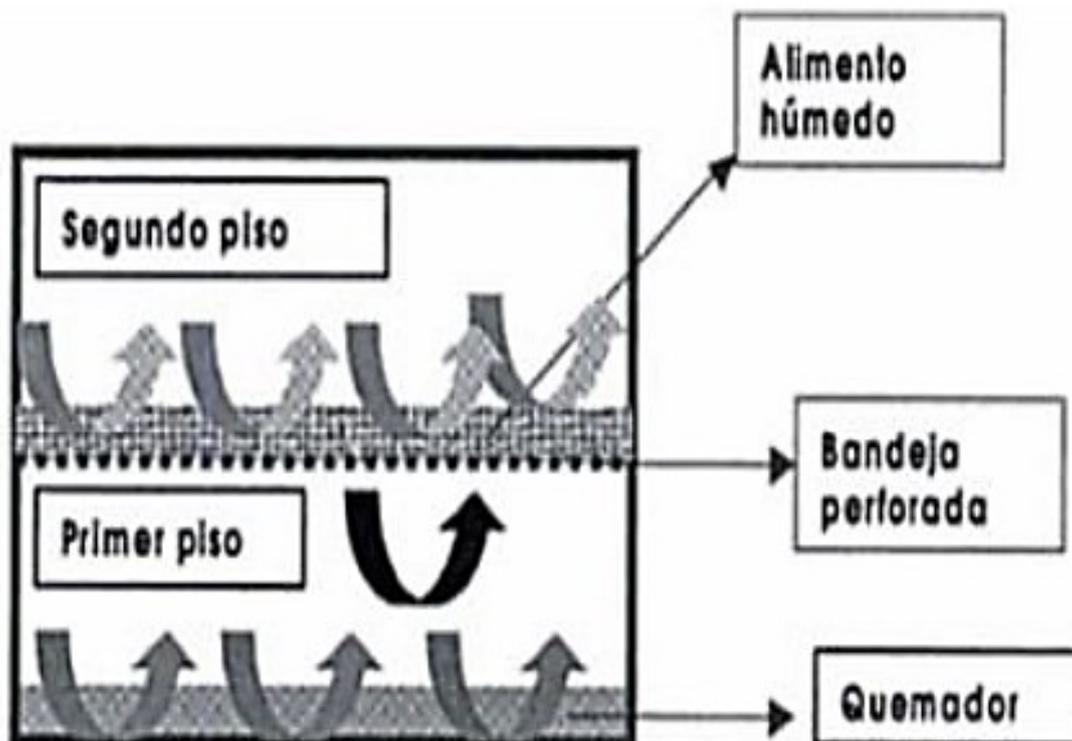
Tipos de deshidratadores de aire caliente

Deshidratador de horno o por convección

Este deshidratador se encarga de calentar el aire por medio de la convección, sin duda es uno de los más sencillos, de acuerdo a la Figura 4, está conformado por dos pisos, en el primero se encuentra una estufa que es la encargada de calentar el aire desde la parte inferior, este a su vez ira subiendo hacia el segundo piso que está conformado por una bandeja perforada en la que se asienta la fruta rebanada, mientras el aire pasa a través de la fruta hasta que se evapore el contenido de agua.

Figura 4

Deshidratador de estufa.



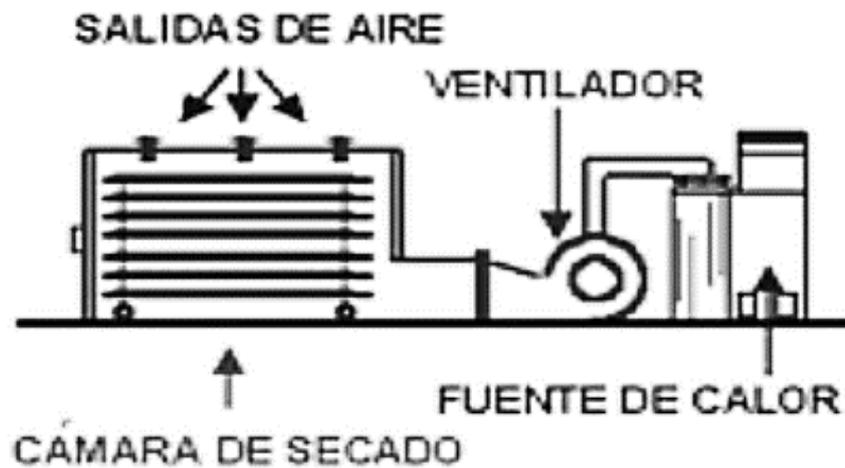
Nota. Recuperado de Bautista & Meza, (2016)

Deshidratador de bandejas o por conducción

Este tipo de deshidratador está conformado de una cámara de secado como se detalla en la Figura 5, en la cual van situadas una cantidad de bandejas donde se coloca la fruta. El aire es calentado por conducción fuera de la cámara de secado por alguna fuente que genera calor ya sea por gas licuado o por resistencias eléctricas, este es impulsado hacia la cámara por medio de un ventilador capaz de generar la corriente de aire necesaria para que circule a través de las bandejas, en la parte superior están incluidas unas salidas de aire para sacar la humedad de la cámara de secado, (MURILLO ARIAS, 2007).

Figura 5

Deshidratador de bandejas.



Nota. Recuperado de (Bautista & Meza, 2016).

Sin embargo, como se observa el tamaño del deshidratador es considerablemente grande al tener el proceso de calentamiento de aire expuesto, y se tienen pérdidas por las salidas de aire presentes en la cámara de secado, ya que no solo se expulsa la humedad contenida en el aire sino también representa un decrecimiento en la temperatura.

Deshidratadores eléctricos

El proceso de deshidratación se da por el movimiento de partículas dentro de la fruta a deshidratarse, este movimiento hace posible la evaporación de la humedad contenida en el producto. El aire circulante es calentado en la cámara de resistencias eléctricas; el fluido es transportado por un ventilador, este ventilador es seleccionado mediante previo cálculo de tal manera que tenga una capacidad suficiente para adaptarse al diseño de la red del sistema, permitiendo que llegue la corriente de aire caliente por todo el equipo, efectuándose la deshidratación uniforme de toda la carga de fruta colocada en el secador. (León Rodríguez, 2017)

Tiempo y temperatura de secado

Los factores importantes dentro del proceso de deshidratación por medio de la aplicación de calor son la temperatura y el tiempo requeridos para evaporar el porcentaje de humedad deseado, entre los dos parámetros existe una relación directa puesto que a mayor temperatura utilizada se requiere menor tiempo de secado y a su vez si menor es la temperatura aplicada pues se ocupará más tiempo para finalizar el proceso, por lo que es indispensable evaluar la velocidad y temperatura adecuados.

Los alimentos que son sometidos a altas temperaturas y por tiempos cortos, están menos propensos a desarrollar microorganismos que disminuyen su calidad, a diferencia de aquellos alimentos sometidos a procesos de tiempos largos a temperaturas bajas, sin embargo, se debe tomar en cuenta que la temperatura empleada no debe superar a los 90°C para evitar su cocción o endurecimiento de la corteza, esto impedirá la evacuación de la humedad interna (Bautista & Meza, 2016).

Controladores de procesos

Controlador lógico programable (PLC)

Los controladores lógicos programables (PLC) son utilizados en la industria para el funcionamiento de máquinas. Es adecuado para múltiples señales de entrada y de salida, rangos de temperatura amplios, inmunidad al ruido eléctrico y resistencia a la vibración y al impacto. El almacenamiento de programas para el control de funcionamiento del equipo se suele almacenar en baterías, copia de seguridad o en memorias internas. Un PLC es un ejemplo de un sistema de tiempo real, donde los resultados de salida deben ser producidos en respuesta a las condiciones de entrada dentro de un tiempo determinado. (Universidad Nacional de la Plata, 2020)

PLC EOPUS

El PLC EOPUS pertenece a una línea de dispositivos tecnológicos que fueron diseñados para el control y automatización de sistemas industriales y residenciales, forma parte de la marca EOPUS desarrollado en la Empresa de Automatización y Control ACSIMB, este equipo de bajo costo facilita el control y supervisión de procesos de presión, nivel, temperatura, dosificadores, comunicaciones, seguridad, telegestión y accesibilidad, (ACSIMB, 2020).

Es apto para para trabajar en todo referente al área de automatización y control, teniendo como ventaja que la marca utilizan un software de programación abierto y amigable con el usuario para desarrollar e implementar las soluciones a problemas industriales dentro del área de operación de la empresa; entre los softwares con los que se puede trabajar están basado en lenguaje C, C++, Arduino (IDE), Stm32 (IDE), que facilitan la configuración, programación e instalación en varios sistemas o procesos industriales.

Dentro de los productos que ofrece EOPUS se encuentra el PLC CP06, adecuado para trabajar con procesos de temperatura, nivel, presión, caudal; tiene a disposición del usuario entradas análogas y digitales, salidas digitales, tres puertos seriales de comunicación para datos digitales que proveerán conexión con HMI y módulos Bluetooth, Wifi, GSM propios de la marca o pueden ser usados como puertos de depuración serial, estas particularidades permiten controlar y supervisar en tiempo real con una pantalla tipo OLED de 128x64 pixeles, capacidad de procesador de 128 kbytes para almacenamiento y 20 kbytes de RAM a 72 MHz de velocidad, estas características que se observan en la Figura 6.

Figura 6*Estructura de PLC EOPUS Serie CP06*

Nota. Recuperado de ACSIMB, (2020).

Servidores WEB

Los servidores web tienen como función principal el almacenamiento de información para mostrarla a los clientes a través de navegadores, generando de esta manera una prestación de servicios de transmisión de información requerida por parte de sus clientes los mismos que corresponden a otros ordenadores, dispositivos móviles, impresoras, personas, y otros. (Padilla Méndez & Palomo Urrutia, 2021)

Se debe tener en cuenta que los servidores web siempre están en espera de la solicitud de información, por lo que es necesario que todo dispositivo cliente tenga un identificador único e irrepetible, en la mayoría de los casos es la dirección IP, para que, al conectarlo en red, este sea el único y exclusivo medio de comunicación.

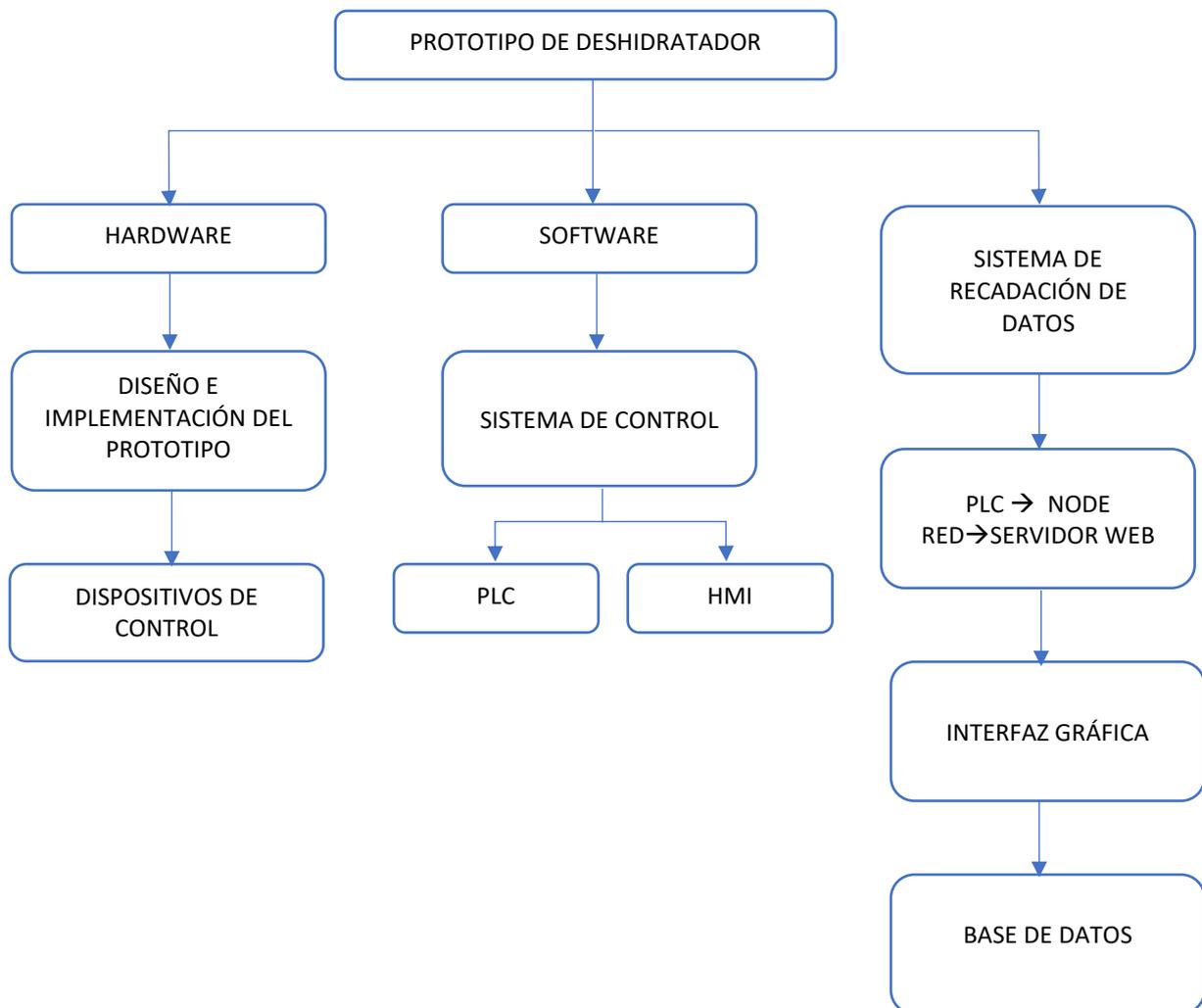
Capítulo III

Diseño e implementación del prototipo de deshidratador

Diagrama de bloques del proceso de diseño e implementación

Figura 7

Diagrama de diseño e implementación del prototipo.



Dimensionamiento del Hardware

Descripción general del diseño

A continuación, se presenta un deshidratador de bandejas, con túnel de circulación de aire, basado en un modelo industrial proporcionado por la empresa ACSIMB. Dentro del túnel se encuentran ubicados 2 ventiladores que impulsan el aire hacia la cámara de resistencias en donde se encuentran ubicadas tres resistencias eléctricas que son las encargadas de producir energía calórica al flujo, el flujo de aire caliente ingresa a la cámara de secado a través del conducto derecho ubicado en la parte superior de esta, deslizándose a través de las bandejas hacia el conducto de salida ubicado en la parte superior izquierda, consiguiendo de esta manera una recirculación de aire a través del túnel. Sin embargo, el diseño también consta de una compuerta móvil en la parte superior del túnel la cual permite la extracción del aire húmedo hacia el exterior, misma que se activa en ciertos periodos a lo largo del proceso.

El diseño del deshidratador se basa en los siguientes conceptos:

- El prototipo debe estar acorde a las características del alimento a deshidratar, en este caso práctico se utilizará la manzana como producto de pruebas.
- El área de transferencia de calor debe ser amplia, por lo cual se utilizan bandejas perforadas para cubrir esta necesidad.
- La velocidad del aire es constante para favorecer la transferencia de calor en el aire.
- El mismo espacio de separación entre bandejas debe ser homogéneo para que la circulación del aire sea uniforme.
- La materia prima debe estar en condiciones similares y con un grosor aproximado entre cada muestra.
- El equipo debe ser fácil de instalar y de brindar mantenimiento.

Condiciones iniciales de temperatura y humedad ambiente de la ciudad de Ambato

Es necesario conocer las condiciones iniciales en las cuales funcionará el prototipo de deshidratador, ya que se partirá de los valores tanto de temperatura y humedad ambiente al interior de la cámara de secado para el diseño de los diferentes parámetros correspondientes al equipo, en la Tabla 2 se muestran los valores promedio mensuales de temperatura y humedad de la ciudad de Ambato, ya que el equipo será puesto en marcha en la empresa ACSIMB CIA.LTDA. ubicada en la ciudad antes mencionada.

Tabla 2

Temperatura y humedad relativa de la ciudad de Ambato.

Meses	Temperatura Bajas °C	Temperatura Altas °C	Humedad %
Enero	5.8	13.3	83
Febrero	6.4	13.1	85
Marzo	6.5	13.1	84
Abril	6.3	12.8	84
Mayo	5.5	12.9	84
Junio	4.3	12.1	83
Julio	3.8	11.8	82
Agosto	4	12.7	79
Septiembre	4.3	13.6	77
Octubre	5.8	13.7	81
Noviembre	6.1	14	83
Diciembre	6	13.1	85

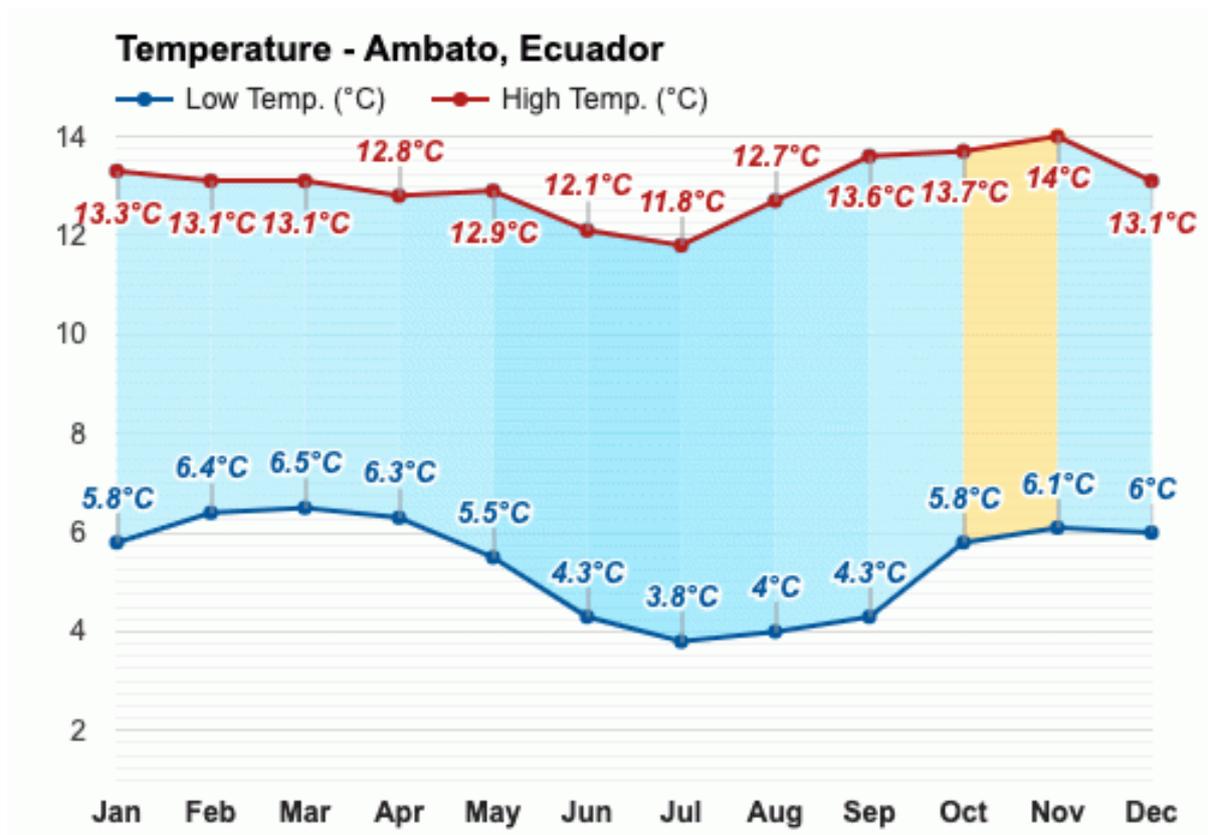
Nota. Recuperado de Atlas, (2021).

Temperatura

La ciudad de Ambato en Ecuador a lo largo del año presenta curvas de periodos de altas y bajas temperaturas como se observa en la Figura 8, obteniendo como un valor promedio de 9.2 °C.

Figura 8

Temperatura promedio de la ciudad de Ambato.



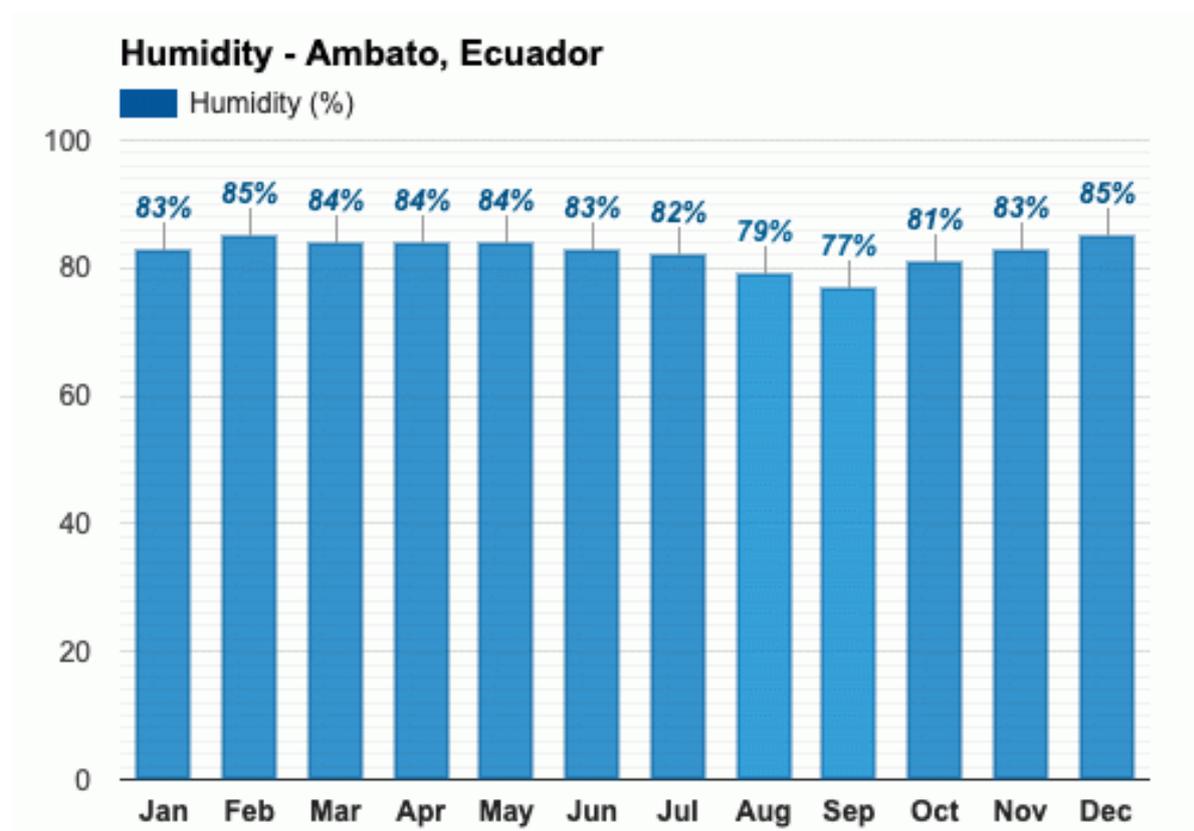
Nota. Se observan 2 curvas de temperatura, en color rojo se muestran los valores altos de temperatura, la línea azul refiere a las temperaturas bajas. Recuperado de Atlas, (2021).

Humedad

La Figura 9 representa en forma de barras las variaciones promedio de humedad relativa que sufrió Ambato en los 12 meses que corresponde al año 2021, con estos valores de ha calculado una humedad relativa promedio de 82.5 %.

Figura 9

Humedad relativa promedio de Ambato



Nota. Porcentaje de humedad relativa de Ambato vs. Meses del año. Recuperado de Atlas, (2021).

Datos Psicrométricos adicionales de la ciudad de Ambato

De acuerdo a las condiciones de la ciudad de Ambato se obtuvieron los datos Psicrométricos de la Figura 10.

Figura 10

Cálculos On-line sobre aire húmedo de Ambato.

Psicrometría		
Datos		
Unidades:	<input checked="" type="radio"/> SI	<input type="radio"/> Ing.
Parámetros	Valor	Unidad
Temperatura:	9.2	C
Temp. b. húmedo:	7.526694219642	C
<input type="radio"/>		
Humedad relativa:	82.5	%
<input checked="" type="radio"/>		
Punto de rocío	6.405784853959	C
<input type="radio"/>		
Altitud SNM	2577	m
<input type="button" value="Calcular"/>		
Resultados		
Presión Atmosférica	0.741149926224	bar
Pv sat	11.63706305905	mbar
Pv	9.600577023719	mbar
Humedad absoluta	0.008162892790	kg/kg
Entalpía	29.81730674627	kJ/kg
Volumen específico	1.106770566076	m ³ /kg

Nota. Los datos fueron calculados por el Software On-line MT. Recuperado de MT, (2020)

Estos valores son necesarios para calcular algunos datos relevantes para el proceso de deshidratado de alimentos que se realizarán más adelante.

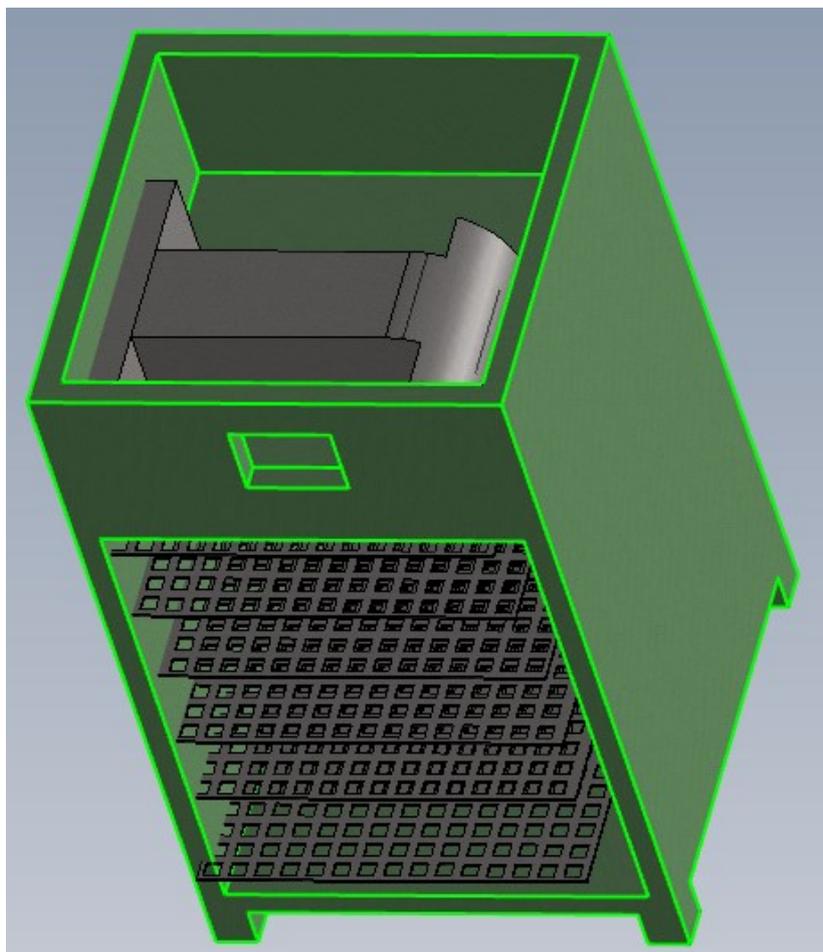
Dimensionamiento de la cámara de secado

Las dimensiones generales de la cámara de secado fueron propuestas por las necesidades de la empresa ACSIMB, la estructura del prototipo consta con una cámara de secado de 60 cm de altura, 50 cm de ancho, 50 cm de largo; se dispuso, además, 20 cm en parte superior para el túnel de circulación de aire, complementando con 5 cm para los soportes de la estructura, en base a estas

observaciones se realizó un boceto como se observa en la Figura 11, este servirá de guía para la implementación posterior.

Figura 11

Distribución externa del deshidratador.



Nota. En color verde se observa la carcasa del prototipo de deshidratadora, diseñada con los valores establecidos.

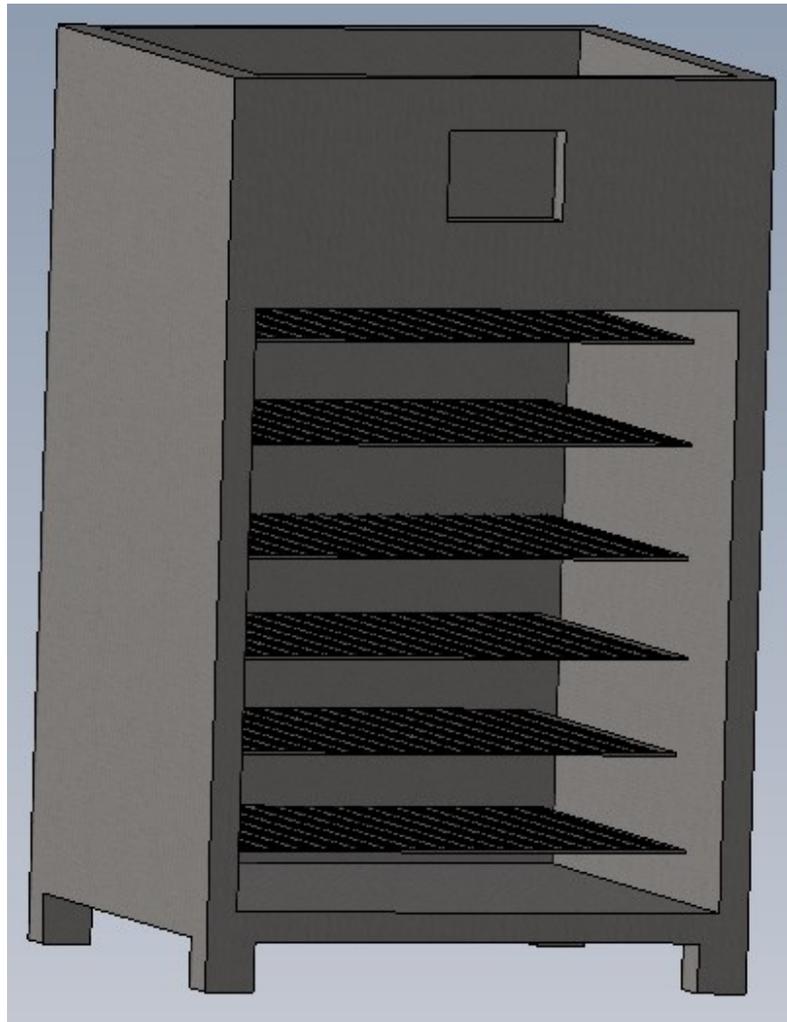
Cálculo del número de bandejas

Para el calcular el número de bandejas se requiere las características físicas de la cámara de secado expuestas en el apartado anterior, además de debe tomar en cuenta que la separación entre bandejas no debe ser inferior a 40 mm como lo indica en (LLUMIQUINGA & SUQUILLO, 2015), por tanto, para este diseño se dispuso que debe existir un espaciado de 8 centímetros entre cada

superficie para que exista mayor distribución de flujo de aire caliente entre cada bandeja, en la Figura 12, se observa la distribución de las bandejas en la cámara de secado.

Figura 12

Cámara de secado con separación entre bandejas.



Nota. Distribución de bandejas dentro de la cámara de secado.

Las características físicas propuestas dentro de la cámara de secado son útiles para el cálculo de los parámetros de diseño del prototipo de deshidratador, Tabla 3.

Tabla 3*Características de la cámara de secado.*

Profundidad (p)	0.6 m
Ancho (a)	0.5 m
Largo (l)	0.5 m
Separación Superior (ss)	0.08 m
Separación Inferior (si)	0.08 m
Separación entre bandejas (sb)	0,08 m

Para calcular el número de bandejas se usa la siguiente formula, relaciona el espacio disponible en la cámara de secado excluyendo las dimensiones de espaciado superior e inferior. La relación resultante es directamente proporcional al espaciado requerido entre bandejas.

$$n = \frac{p - ss - si}{sb} \quad \text{Ec. 1}$$

$$n = 5$$

Al valor obtenido se le suma una unidad que corresponde a la bandeja de la base, quedando como resultado final que el prototipo planteado tiene capacidad de 6 bandejas.

Implementación del Hardware para el prototipo de deshidratador

Lista de equipos y materiales utilizados

En la Tabla 4 se detalla los diferentes dispositivos utilizados en la implementación del equipo diseñado, todos los materiales y dispositivos fueron seleccionados en base a las condiciones de trabajo y al tipo de proceso que realiza teniendo en cuenta que estarán sometidos a temperaturas superiores a 50°C.

Tabla 4*Listado de equipos y materiales*

Cantidad	Equipos y materiales
4	Plancha de aluminio compuesto 1,22 m x 2,44 m
2	Ventilador SUNON SP 101 /110V
1	Bloque de resistencias eléctricas, 1kW
1	Servomotor MG995
1	Sensor de temperatura NTC
1	Sensor de humedad relativa M8
1	Fuente DC 5V
1	Pantalla HMI 4.3'' EOPUS
6	Bandeja de aluminio 46x46 cm
	Perfil de aluminio
	Cables

Construcción primera etapa

Con el objetivo de implementar un prototipo de deshidratador que cumpla con las características de diseño para obtener una estructura de durabilidad, se construyó la carcasa del prototipo en lámina de aluminio compuesto (ISO 9001&ISO 2001), teniendo la base de soporte en perfil de aluminio, ya que son materiales de gran ligereza, resistencia a la corrosión, fáciles de manipular y da dar mantenimiento. La estructura está dividida en 3 secciones como son los soportes ubicados en la parte inferior, la cámara de secado a nivel medio y un espacio superior para el túnel de circulación y dispositivos de control; asimismo en la parte frontal de la sección superior de la carcasa se ubica una pantalla HMI 4.3'' que servirá para la interacción del operador con el equipo.

Figura 13

Implementación primera etapa del prototipo de deshidratador



Nota. En la imagen se muestra la estructura física implementada para el prototipo de deshidratadora de alimentos.

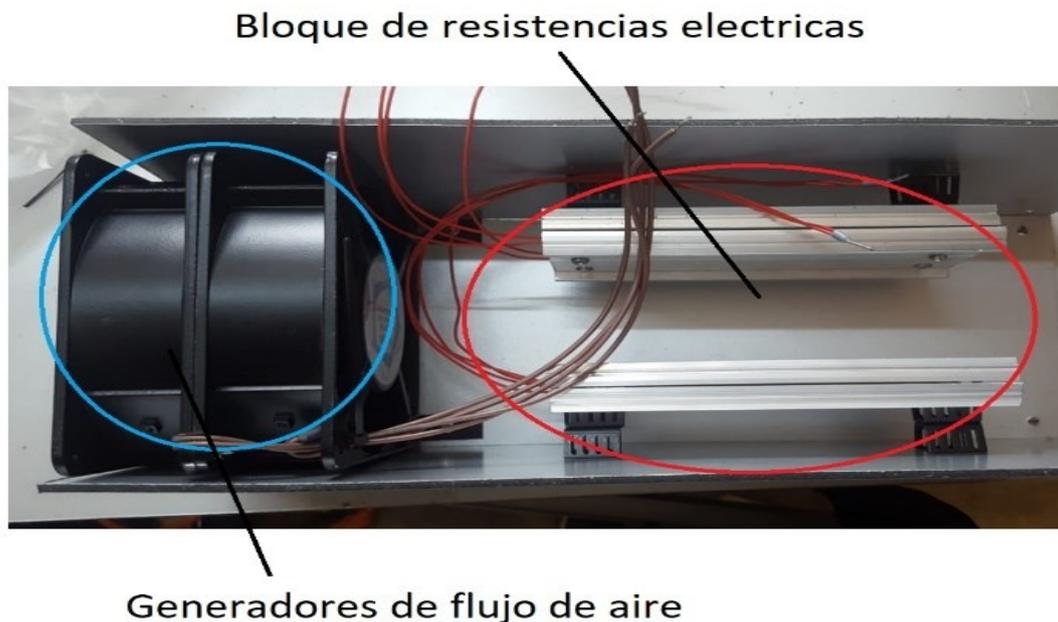
Se aprecia en la imagen que el prototipo consta de manijas de agarre a los costados que sirven para trasladar el equipo de un lugar a otro de manera más cómoda, de igual forma en la parte frontal de encuentra ubicada una puerta con vidrio transparente que facilita la revisión visual de los alimentos que se están procesando.

Construcción segunda etapa

Esta etapa tiene como el objetivo la construcción del túnel de circulación de aire en aluminio compuesto, que consta de los elementos mostrados en la Tabla 4.

Figura 14

Construcción del túnel de circulación

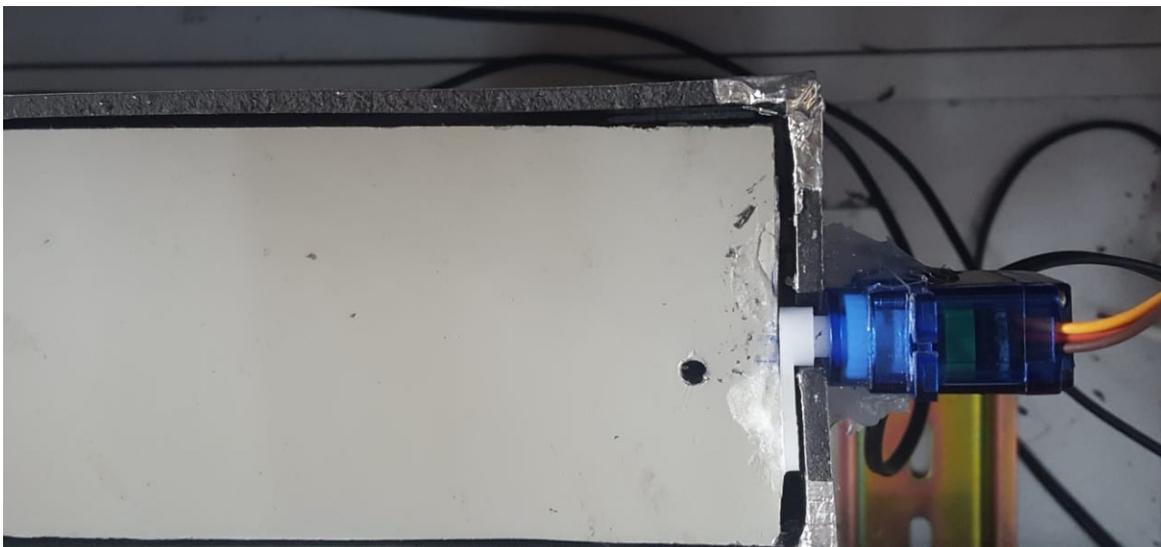


Nota. La imagen muestra una toma desde la parte superior del túnel de circulación de aire donde se aprecian parte de los elementos contenidos en su interior.

El túnel es capaz de contener el flujo de aire generado por los dos ventiladores moviéndolo a través del bloque de resistencias eléctricas; hasta llegara la cámara de secado la cual se conecta a través de dos ductos situados a sus extremos laterales, el ducto de lado derecho permite el ingreso de aire caliente mientras que el ducto izquierdo permite que el aire húmedo salga de la cámara de secado. En el lado superior izquierdo del túnel se encuentra posicionada una ventila controlada con un servomotor, Figura 15, cuyo funcionamiento empieza cuando se alcanza la temperatura deseada y cada cierto tiempo vuelve a su posición inicial, esto se ejecuta con el objetivo de evacuar el aire húmedo hacia el exterior del prototipo de forma intermitente, permitiendo también la recirculación del aire caliente a través del ducto de ventilación sin descompensar de manera significativa la temperatura.

Figura 15

Servomotor conectado a la compuerta de evacuación de aire húmedo.



Para controlar la posición del servomotor se ubicaron a los extremos de la compuerta dos finales de carrera, uno en la posición inicial de la compuerta y otro en la posición final de la misma, Figura 16, los cuales envían una señal al controlador para que este ejecute una acción ya sea para abrir o cerrar la compuerta

Figura 16

Finales de carrera ubicados en la compuerta de ventilación.



Nota. Los finales de carrera están señalados en color rojo.

El exterior del túnel de circulación está cubierto de plástico poliuretano de 1 cm de grosor, y en los ángulos de unión tanto del túnel y de la compuerta de ventilación se colocó cinta adhesiva de aluminio, ambos materiales sirven como mecanismo para minimizar las pérdidas de calor hacia el exterior del equipo. Figura 17.

Figura 17

Túnel de circulación



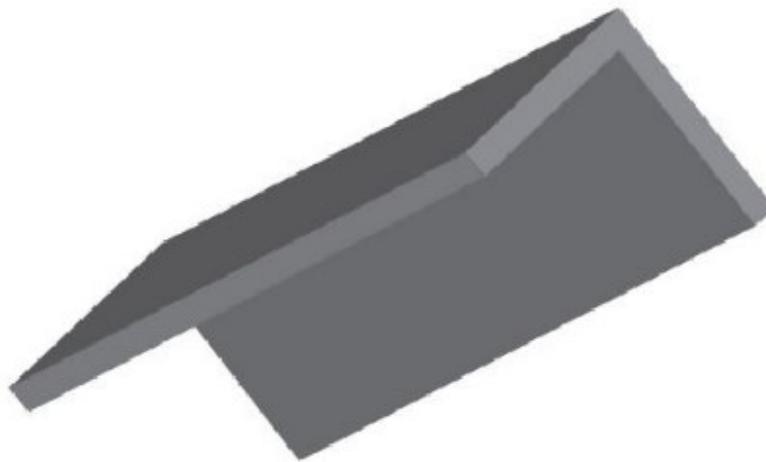
Nota. La imagen muestra el túnel terminado forrado de plástico de poliuretano como material aislante de calor.

Construcción tercera etapa

Dentro de la cámara de secado están colocados dos soportes metálicos en ángulo de 90 grados a cada lado de cada bandeja donde serán se situarán las bandejas con la fruta a deshidratar. Figura 18.

Figura 18

Soportes metálicos para las bandejas.



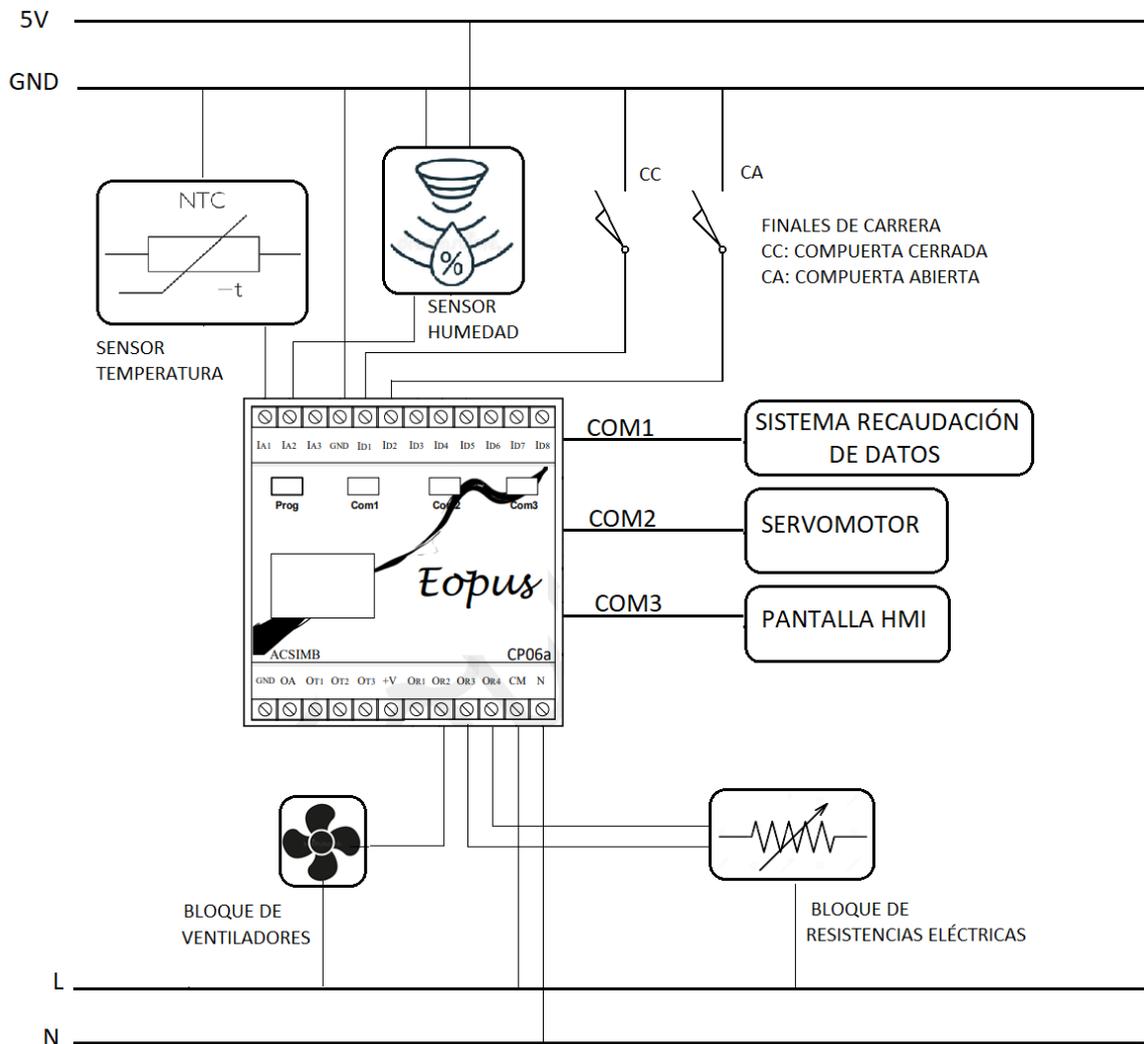
Nota. La imagen representa la forma del soporte metálico que se encuentra colocado en el interior de la cámara de secado

Construcción cuarta etapa

En la sección superior del prototipo se colocó el PLC EOPUS CP06, que conecta con todos los dispositivos electrónicos a controlar y de visualización como son: ventiladores, bloque de resistencias, servomotor, sensores, finales de carrera, servomotor, pantalla HMI, sistema de recaudación de datos, 55Figura 19.

Figura 19

Plano de conexión

**Construcción de la quinta etapa**

Dentro de la cámara de secado se colocó dos sensores, Tabla 5, ubicado a una altura media de la misma de la cámara, estos se encargan de medir la temperatura y humedad relativa durante el proceso de deshidratación.

Tabla 5*Sensores de temperatura y humedad relativa*

Sensor de temperatura NTC M8 recubierto de aluminio	
<ul style="list-style-type: none"> • Tamaño: M8 * 1,25 MM • Rango de temperatura: -20 ~ 250 °C • NTC: 3950 (50K) • Resistivo • Resistencia 50k ohmios a 25°C 	
Sensor de humedad analógico AMT1001	
<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: AMT1001 • Voltaje de operación: 4 ~ 5.5 VCD • Salida: 0.6 ~ 2.7 VCD • Consumo de corriente: 2 mA • Medición humedad: 20 ~ 90% RH con presión 5% • Tiempo de respuesta: 10 s • Peso: 17 g • Dimensiones: 59 x 27 x 13 mm 	

Nota. Recuperado de AliExpress, /2022) y Electronics, (2022)

Cálculo de la capacidad másica de materia prima del prototipo.

Para calcular este valor es necesario conocer las principales características físicas del producto que será deshidratado, en este caso práctico se ha elegido la manzana como producto a deshidratar, la Tabla 6 muestra los valores promedio correspondientes a una rodaja de manzana.

Tabla 6*Características de una rodaja de manzana.*

Peso promedio (Sw)	0.004	Kg
Diámetro promedio	0.06	M
Humedad inicial	85.7	%
Humedad final	24	%
Humedad relativa final	27.5	%

Nota. El peso fue tomado con una balanza digital Electronic Kitchen Scale mostrada en la Figura 20, es capaz de medir el peso en gramos, apta para trabajar con alimentos.

Figura 20*Balanza digital*

Nota. Balanza SIEBELLA, 5000/1g. Recuperado de ML, (2022).

- Cálculo del valor de masa en base húmeda para los valores establecidos con la siguiente fórmula:

$$W_o = S_w * X_{wo} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

W_o = Masa total de producto en base húmeda (*kg*)

S_w = Masa promedio de una rodaja de manzana (0,005 *kg*)

X_{wo} = Porcentaje inicial del agua (0.857)

$$W_o = 0,005 \text{ kg} * 0.857$$

$$W_o = 0,00343 \text{ kg}$$

- Cálculo del valor de masa de agua evaporable

$$S_d = S_w - W_o \quad \text{Ec. 3}$$

Donde:

S_d = Masa total de producto en base húmeda (*kg*)

S_w = Masa promedio de una rodaja de manzana (0,004*kg*)

W_o = Masa total de producto en base húmeda (0,0033*kg*)

$$S_d = 0,004 \text{ kg} - 0,0033 \text{ kg}$$

$$S_d = 0,00057 \text{ kg}$$

- Cálculo de la humedad en base seca inicial X_{do}

$$X_{do} = \frac{W_o}{S_d} \quad \text{Ec. 4}$$

$$X_{do} = \frac{0,00343 \text{ kg}_{agua}}{0,00057 \text{ kg}_{seca}}$$

$$X_{do} = 6,018 \frac{\text{kg}_{agua}}{\text{kg}_{seca}}$$

- Cálculo del valor de humedad en base húmeda respecto a base seca S_{wf}

$$S_{wf} = \frac{S_d * \%total}{\%total - \%humedad\ seca} \quad \text{Ec. 5}$$

$$S_{wf} = \frac{S_d * 100}{100 - 24}$$

$$S_{wf} = \frac{0,00057 \text{ kg} * 100}{100 - 24}$$

$$S_{wf} = 0,00075 \text{ kg}$$

- Cálculo del valor de masa total del producto en base seca W_f

$$W_f = S_{wf} * X_{wf} \quad \text{Ec. 6}$$

Donde:

X_{wf} = Humedad final (0,24)

$$W_f = 0,00075 \text{ kg} * 0,24$$

$$W_f = 0,18 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

- Cálculo del valor de humedad en base seca final

$$X_{df} = \frac{W_f}{S_d} \quad \text{Ec. 7}$$

Donde:

X_{df} = Humedad en base seca final

W_f = Masa total de producto en base seca (kg)

$$X_{df} = \frac{0,18 \times 10^{-3} \text{ kg}_{\text{agua}}}{0,00075 \text{ kg}_{\text{seca}}}$$

$$X_{df} = 0,24 \frac{\text{kg}_{\text{agua}}}{\text{kg}_{\text{seca}}}$$

- Cálculo de la masa total de equilibrio

Si la humedad de equilibrio para la manzana es igual a 0.045 (kg agua/kg seco). (LLUMIQUINGA & SUQUILLO, 2015)

$$S_{eq} = \frac{S_d * \%total}{\%total - \%humedad\ equilibrio} \quad \text{Ec. 8}$$

Donde:

S_{eq} = Masa total de equilibrio

$$S_{eq} = \frac{0,00075 \text{ kg} * 100}{100 - 4.5}$$

$$S_{eq} = 0,785 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

- Cálculo del valor de masa de equilibrio en base húmeda

$$W_{eq} = S_{eq} * X_{eq} \quad \text{Ec. 9}$$

Donde:

W_{eq} = Masa de equilibrio en base húmeda (kg)

X_{eq} = Humedad de equilibrio (0.045)

$$W_{eq} = 0,785 \times 10^{-3} \text{ kg} * 0.045$$

$$W_{eq} = 0,035 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

- Cálculo de la humedad en base seca de equilibrio

$$X_{deq} = \frac{W_{eq}}{S_d} \quad \text{Ec. 10}$$

Donde:

X_{deq} = Humedad en base seca de equilibrio

$$X_{deq} = \frac{0,035 \times 10^{-3} \text{ kg}_{agua}}{0,00075 \text{ kg}_{seca}}$$

$$X_{deq} = 0,047 \frac{\text{kg}_{agua}}{\text{kg}_{seca}}$$

- Cálculo de la masa inicial crítica

Humedad crítica de la manzana es $X_c = 0,275$

$$S_{wc} = \frac{S_d * \%total}{\%total - \%humedad \text{ crítica}} \quad \text{Ec. 11}$$

Donde:

S_{wc} = Masa inicial crítica

$$S_{wc} = \frac{0,00075 \text{ kg} * 100}{100 - 27,5}$$

$$S_{wc} = 1,034 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

- Cálculo de la masa en base húmeda crítica

$$W_c = S_{wc} * X_{wc} \quad \text{Ec. 12}$$

Donde:

W_c = Masa en base húmeda crítica

X_{wc} = Humedad crítica de la manzana (0,275)

$$W_c = 1,034x10^{-3}kg * 0,275$$

$$W_c = 0,284x10^{-3}kg$$

- Cálculo de la humedad en base húmeda crítica

$$X_{dc} = \frac{W_c}{S_d} \quad \text{Ec. 13}$$

Donde:

X_{dc} = Humedad en base seca crítica

$$X_{dc} = \frac{0,284x10^{-3}kg_{agua}}{0,00075 kg_{agua}}$$

$$X_{dc} = 0,379 \frac{kg_{agua}}{kg_{seca}}$$

En la Tabla 7, se muestran todos los datos calculados en forma ordenada, estos serán necesarios para el cálculo de la masa total capaz de deshidratar el prototipo diseñado.

Tabla 7*Datos para el diseño del deshidratador.*

Datos	Símbolo	Cantidad	Unidad
Peso unitario	P_m o S_w	0.004	<i>Kg</i>
Diámetro promedio manzana	D_m	0.06	<i>m</i>
Grosor promedio manzana	H_p	0.002	<i>m</i>
Área superficial promedio manzana	A_s	2.84×10^{-3}	m^2
Volumen manzana promedio	V_m	5.655×10^{-6}	m^3
Densidad manzana	ρ_m	589.46	<i>Kg/ m³</i>
Masa de agua evaporable	S_d	0,00057 <i>kg</i>	<i>Kg</i>
Masa total de producto en base húmeda	W_o	0,00343	<i>Kg</i>
masa total del producto en base seca	W_f	0.18×10^{-3}	<i>Kg</i>
Humedad inicial	X_{W_o}	85.7	%
Humedad en base seca inicial	X_{d_o}	6,018	<i>kg agua/kg seca</i>
Humedad final	X_{W_f}	24	%
Humedad en base seca final	X_{d_f}	0.24	<i>kg agua/kg seca</i>
Humedad de equilibrio	X_{eq}	4.5	%
Humedad en base seca equilibrio	X_{deq}	0.047	<i>Kgagua/kg seca</i>
Humedad crítica	X_c	27.5	%
Humedad en base seca crítica	X_{dc}	0.379	<i>Kgagua/kg seca</i>

Cálculo de la capacidad del deshidratador

- Cálculo del área superficial de la rodaja de manzana

$$A_{ms} = A_s * \frac{(1 + X_{do})}{V_m * \rho_m} \quad \text{Ec. 14}$$

Donde:

A_{ms} = Área superficial de la rodaja de manzana

A_s = Área superficial promedio

X_{do} = Humedad en base seca inicial

V_m = Volumen manzana promedio

ρ_m = Densidad manzana

$$A_{ms} = 2.84 \times 10^{-3} \text{ m}^2 * \frac{(1 + 6,018 \text{ kg agua/kg seca})}{5.655 \times 10^{-6} \text{ m}^3 * 589.46 \text{ Kg agua/ m}^3}$$

$$A_{ms} = 5.978 \frac{\text{m}^2}{\text{kg}_{seca}}$$

- Cálculo del área superficial de secado

Si las dimensiones de las bandejas son 0,46 cm de ancho y 0,46 cm de largo.

$$A_{secado} = n_{bandejas} * A_{bandeja} \quad \text{Ec. 15}$$

$$A_{secado} = 6 * 0,46 * 0,46$$

$$A_{secado} = 1,27 \text{ m}^2$$

- Cálculo de la cantidad la masa final del producto

$$C_d = A_{\text{secado}} * \frac{F_c}{A_{ms}} \quad \text{Ec. 16}$$

Donde:

F_c = el factor de carga igual a 2.

C_d = masa final del producto

$$C_d = 0,522 \text{ kg}$$

- Cálculo de la cantidad de agua a evaporar

$$kg_{\text{agua evap}} = W_o - W_f \quad \text{Ec. 17}$$

Donde:

$kg_{\text{agua evap}}$ = Masa de agua a evaporar del producto

W_o = Masa total del producto en base húmeda

W_f = Masa total del producto en base seca

$$kg_{\text{agua evap}} = 0,00343 - 0.18 \times 10^{-3}$$

$$kg_{\text{agua evap}} = 0,0034 \text{ kg}$$

- Cálculo de la masa total del producto a deshidratar

Para obtener la fórmula que proporcionara el valor de la masa total del producto a deshidratar (C_f), se parte de las siguientes ecuaciones:

$$C_{evap} = C_f - C_d \quad \text{Ec. 18}$$

$$C_{evap} = kg_{agua\ evap} * \frac{C_f}{S_w} \quad \text{Ec. 19}$$

Donde:

C_{evap} = masa total del agua a evaporarse

Remplazando la ecuación (1) en (2) se obtiene la siguiente relación para C_f

$$C_f = \frac{C_d * S_w}{S_w - kg_{agua\ evap}} \quad \text{Ec. 20}$$

$$C_f = \frac{0,522\text{ kg} * 0,004\text{ kg}}{0,004\text{ kg} - 0,0034\text{ kg}}$$

$$C_f = 3,48\text{ kg}$$

- Cálculo de la masa total del agua a evaporarse

$$C_{evap} = kg_{agua\ evap} * \frac{C_f}{S_w} \quad \text{Ec. 21}$$

$$C_{evap} = 0.0034 \text{ kg} * \frac{3.48 \text{ kg}}{0.004 \text{ kg}}$$

$$C_{evap} = 2,96 \text{ kg}$$

- Finalmente se calcula el valor de la masa seca de toda la carga

$$C_s = \frac{S_d * C_f}{S_w} \quad \text{Ec. 22}$$

$$C_s = \frac{0.00057 \text{ kg} * 3.48 \text{ kg}}{0.004 \text{ kg}}$$

$$C_s = 0.496 \text{ kg}$$

Los valores obtenidos con las especificaciones mencionadas están ubicados en Tabla 8.

Tabla 8

Carga del prototipo de deshidratador

Características	Simbolo	Canttidad	Unidad
Carga del producto	C_f	3.48	Kg
Cantidad total de agua a evaporar	C_{evap}	2.96	Kg
Masa final del producto deshidratado.	C_d	0.522	Kg
Masa seca de la carga	C_s	0.496	Kg

Circulación del aire entre las bandejas en la cámara de deshidratación

En el prototipo propuesto, el aire caliente es proporcionado desde la cámara de resistencias e impulsado por los generadores de flujo a través de la abertura de entrada ubicada en el lado superior derecho hacia la cámara de secado de tal manera que el aire pasa de forma paralela entre las bandejas como se observa en la Figura 21.

La velocidad del flujo depende directamente del caudal propiciado por los dispositivos generadores de viento, en este caso son dos ventiladores ubicados de forma continua cuyo caudal para el análisis de los factores que intervienen en el proceso de calentado de aire es de $3 \text{ m}^3/\text{min}$.

Figura 21

Circulación de aire entre las bandejas



Nota. Vista frontal de la cámara de secado.

- Se calcula el flujo de aire por medio de la ecuación:

$$Q = v * A_{libre} \quad \text{Ec. 23}$$

Donde:

Q = Caudal de aire necesario por nivel (m^3 / s)

v = Velocidad del aire sobre producto (m/s)

A_{libre} = Área entre bandejas (m^2)

Se toma como referencia para el análisis que el caudal de aire es generado por 2 ventilador en paralelo de iguales características (caudal de $3 m^3 / min$); los ventiladores colocados en paralelo proporcionan un caudal equivalente a la suma de sus caudales individuales (Moncayo, n.d.),

- El caudal equivalente viene dado por la siguiente formula:

$$Q_{eq} = Q_1 + Q_2 \quad \text{Ec. 24}$$

Donde:

Q_{eq} = Caudal equivalente (m^3 / s)

Q_1 = Caudal ventilador 1 ($3 m^3 / s$)

Q_2 = Caudal ventilador 2 ($3 m^3 / s$)

- El cálculo de la velocidad del aire que circula entre cada bandeja se despeja de la ecuación de caudal.

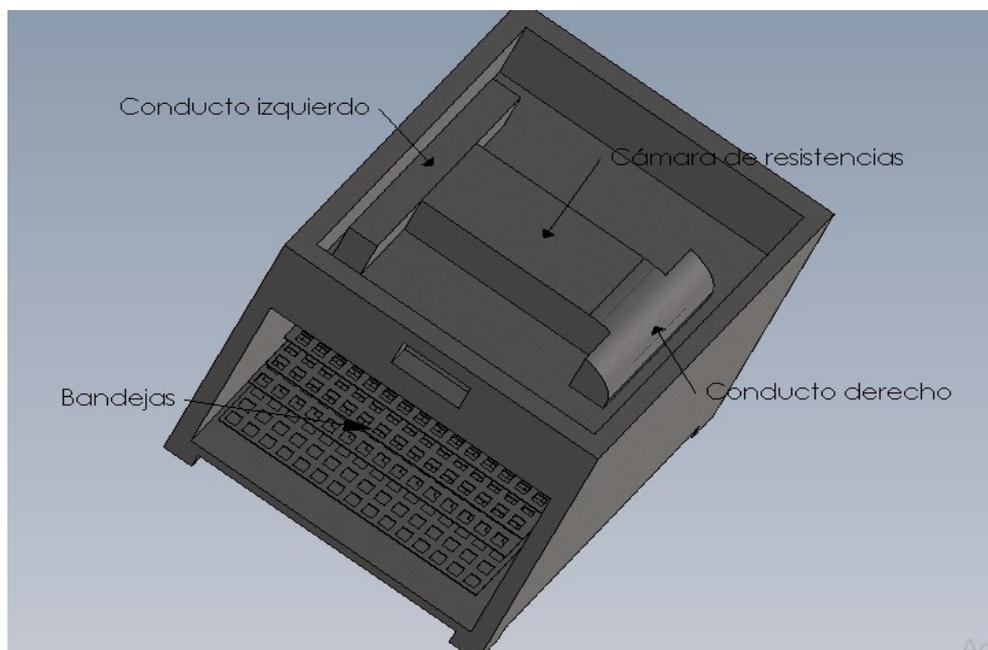
$$V = \frac{Q}{A_{libre}} \quad \text{Ec. 25}$$

Sabiendo que $Q_1 = Q_2$, el caudal equivalente es de $6 \text{ m}^3 / \text{min}$.

Para el diseño de este prototipo se tomó de referencia un área entre bandejas de 0.04 m^2 , dando como resultado una velocidad equivalente de $1.25 \text{ m} / \text{s}$ entre bandejas, este valor dividido para los 6 espacios, se tiene $0.21 \text{ m} / \text{s}$ de aire circulando entre cada bandeja.

Cálculo de pérdidas de presión en el prototipo del deshidratador

Estas pérdidas son producidas por varios factores relacionados con las características de diseño, fricción con materiales utilizados, velocidad de flujo, ubicación de dispositivos, ventilas. El sistema está compuesto por un túnel superior donde se ubican 2 ventiladores contiguos seguidos de la cámara de resistencias, este se conecta a la cámara de deshidratado por 2 conductos, el derecho es para impulsar el aire hacia el interior de la cámara de secado y el conducto izquierdo es para extraer el aire húmedo hacia afuera; la cámara de secado contiene 6 bandejas perforadas como se muestra en la Figura 22.

Figura 22*Elementos del deshidratador*

Todo flujo que atraviesa un sistema está sometido a diferentes factores que provocan resistencia y por ende ocasionan pérdidas por fricción y pérdidas menores.

Pérdidas por fricción

Cuando se trata flujo a través de ductos o tuberías, las pérdidas por fricción o también llamadas pérdidas mayores h_L , es proporcional a la carga de la velocidad del flujo y a la relación de la longitud al diámetro de la corriente. (LLUMIQUINGA & SUQUILLO, 2015)

El cálculo se realiza a través de la ecuación de Darcy:

$$h_L = f * \left(\frac{L}{Dh} \right) * \frac{v^2}{2g} \quad \text{Ec. 26}$$

Donde:

h_L = Pérdidas por fricción (m)

f = Factor de fricción

L = Longitud de tubería o ducto (m)

v = Velocidad del flujo (m/s)

Dh = Diámetro hidráulico (m)

g : gravedad. (m/s^2)

- Diámetro Hidráulico es un parámetro característico de la sección de un tubo o canal genérico, corresponde a su diámetro interno, permite estudiar el comportamiento del flujo en ductos rectangulares de igual modo que si éste fuera circular, (Bautista & Meza, 2016)

$$Dh = \frac{4 * A_t}{P_M} \quad \text{Ec. 27}$$

Donde:

Dh = Diámetro hidráulico (m)

A_t = Área de la sección transversal (m^2)

P_M = Perímetro mojado (m)

- El área transversal al flujo de calor para un ducto rectangular de lados a y b .

$$A_t = a * b \quad \text{Ec. 28}$$

- El perímetro mojado es la suma de las longitudes de los límites de la sección que están en contacto con el fluido. Para un ducto rectangular de lados a y b , el perímetro mojado será igual a:

$$P_M = 2a + 2b \quad \text{Ec. 29}$$

- Para determinar el factor de fricción, es importante identificar el tipo de flujo y calcular el número de Reynolds para flujo interno en secciones transversales no circulares.

$$Re = \frac{V * D_h * \rho}{\nu} \quad \text{Ec. 30}$$

Donde:

Re = Número de Reynolds

V = Velocidad media del fluido (m/s)

D_h = Diámetro hidráulico (m)

ν = Viscosidad cinemática del fluido ($N * s/m^2$)

ρ = Densidad del fluido (kg/m^3)

- La densidad y viscosidad cinemática del aire dependen de la temperatura, de acuerdo a los valores observados en la Figura 23.

Figura 23

Propiedades físicas del aire

<i>Temperatura</i>	<i>Densidad</i>	<i>Viscosidad dinámica</i>	<i>Viscosidad cinemática</i>	<i>Velocidad del sonido</i>
	ρ	μ	ν	c
°C	kg/m ³	N.s/m ² 10 ⁻⁵	m ² /s 10 ⁻⁵	m/s
-30	1,452	1,56	1,08	312
-20	1,394	1,61	1,16	319
-10	1,342	1,67	1,24	325
0	1,292	1,72	1,33	331
10	1,247	1,76	1,42	337
20	1,204	1,81	1,51	343
30	1,164	1,86	1,60	349
40	1,127	1,91	1,69	355
50	1,092	1,95	1,79	360
60	1,060	2,00	1,89	366
70	1,030	2,05	1,99	371
80	1,000	2,09	2,09	377
90	0,973	2,13	2,19	382
100	0,946	2,17	2,30	387
200	0,746	2,57	3,45	436
300	0,616	2,93	4,75	480

Nota. Recuperado de Miranda, (2016).

El valor de la densidad y viscosidad cinemática del aire se toma de acuerdo a la temperatura ambiente de la ciudad de Ambato que es 9.2°C, por lo que el valor que más se aproxima es correspondiente a 10 °C con un valor de $\rho = 1.247 \text{ kg/m}^3$ para densidad, y $\mu = 1.42 \times 10^{-5} \text{ N} \cdot \text{s/m}^2$ para viscosidad cinemática.

Después de obtener el número de Reynolds se realiza un análisis de pérdidas dentro del fluido, partiendo de la teoría de flujo laminar donde las pérdidas de energía no son dependientes de la superficie del conducto; la siguiente ecuación es admitida para flujos laminares con $Re < 2000$.

$$f = \frac{64}{Re} \quad \text{Ec. 31}$$

- Para analizar un flujo turbulento, además del número de Reynolds es necesario conocer la rugosidad relativa del ducto, misma que está definida por la relación entre el diámetro hidráulico y la rugosidad de la pared del ducto seleccionado.

$$r = \frac{Dh}{\epsilon} \quad \text{Ec. 32}$$

Donde:

r = Rugosidad relativa del ducto

Dh = Diámetro hidráulico (m)

ϵ = Rugosidad de la superficie del ducto (m)

- La rugosidad de la superficie del ducto depende del material y método de fabricación, estos datos se pueden identificar en la Figura 24.

Figura 24

Valores de Rugosidad según el producto.

MATERIAL	ε en mm
OTROS MATERIALES	
Plástico (PE,PVC)	0.0015
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	0.01
Tubos estirados de acero	0.0024
Tubos de latón o cobre	0.0015
Fundición revestida de cemento	0.0024
Fundición con revestimiento bituminoso	0.0024
Fundición centrifugada	0.003
Fundición asfaltada	0.06 a 0.18
Fundición	0.12 a 0.60
Acero comercial y soldado	0.03 a 0.09
Hierro forjado	0.03 a 0.09
Hierro Galvanizado	0.06 a 0.24
Madera	0.18 a 0.90
Hormigón	0.3 a 3.0

Nota. Recuperado de Meadows et al., (2006).

- Para el cálculo del factor de fricción se aplica la ecuación siguiente **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

$$f = \frac{0.25}{\left(\log\left(\frac{1}{3.7(r)} + \frac{5.74}{Re^{0.9}}\right)\right)^2} \quad \text{Ec. 33}$$

Donde:

f = Factor de fricción

- Finalmente se obtiene la caída de presión a través de la ecuación siguiente:

$$\Delta P = \rho * g * h_L \quad \text{Ec. 34}$$

Donde:

ΔP = Caída de presión (Pa)

ρ = Densidad del fluido (kg / m^3)

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

h_L = Pérdida por fricción (m)

En la Tabla 9 se encuentran los valores calculados de todos los parámetros mencionados para el ducto de la cámara de resistencias y para la cámara de secado.

Tabla 9

Parámetros calculados para el análisis de pérdidas por fricción.

Parámetro	Fórmula	Cámara de resistencias	Cámara de secado	Unidad
Largo, alto	a, b	a=0.12 b=0.12	a=0.5 b=0.6	m
Rugosidad	ϵ	0.09	0.09	mm
Densidad	ρ	1.247	1.247	kg/m^3
Viscosidad dinámica	μ	1.76×10^{-5}	1.76×10^{-5}	$N * s/m^2$
Viscosidad cinemática	ν	1.42×10^{-5}	1.42×10^{-5}	$N * s/m^2$
Área transversal	$A_t = a * b$	0.014	0.3	m^2
Perímetro mojado	$P_M = 2b + 2b$	0.48	2.2	m

Parámetro	Fórmula	Cámara de resistencias	Cámara de secado	Unidad
Diámetro hidráulico	$Dh = \frac{4 * A_t}{P_M}$	0.12	0.55	<i>m</i>
Número de Reynolds	$Re = \frac{V * Dh * \rho}{\nu}$	13172.54	60374.1	<i>Adm.</i>
Rugosidad relativa	$r = \frac{Dh}{\epsilon}$	1333.33	6111.11	<i>Adm.</i>
Factor de fricción	$f = \frac{0.25}{\left(\log \left(\frac{1}{3.7 \left(\frac{Dh}{\epsilon} \right)} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right)^2}$	0.021	0.14	<i>Adm.</i>
Pérdidas por fricción	$h_L = f * \left(\frac{L}{Dh} \right) * \frac{v^2}{2g}$	0,14	10.15 x10 ⁻³	<i>m</i>
Caída de presión	$\Delta P = \rho * g * h_L$	1.71	0.12	<i>Pa</i>

Pérdidas menores

También conocidas como pérdidas dinámicas (H_L), describe la pérdida de energía producidas por las restricciones generadas a partir de dispositivos, accesorios, cambios de dirección de flujo u otros. Su valor viene dado por el coeficiente de resistencia k .

$$H_L = \frac{k * v^2}{2g} \quad \text{Ec. 35}$$

Donde:

H_L = Pérdida menor (*m*)

k = Coeficiente de resistencia

v = Velocidad media del fluido (*m / s*)

g = Gravedad (*m/s²*)

El coeficiente de resistencia k para este diseño es de 0.5 para la cámara de resistencias y 0.25 para la cámara de secado. (LLUMIQUINGA & SUQUILLO. 2015)

- Para obtener la caída de presión por pérdidas menores se utiliza la formula siguiente:

$$\Delta P = \rho * g * H_L \quad \text{Ec. 36}$$

Donde:

ΔP = Caída de presión (Pa)

ρ = Densidad del fluido (kg / m^3)

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

H_L = Pérdida por fricción (m)

Tabla 10

Pérdidas dinámicas o menores del prototipo

Parámetro	Símbolo	Cámara resistencias	de Cámara secado	de Unidad
Pérdida menor	H_L	0.039	0.019	m
Caída de presión	ΔP	0.48	0.23	Pa

Caída total de presión

La caída total de presión en el prototipo es igual a la sumatoria de las caídas de presión mayores y menores, como se muestra en la Tabla 11.

$$\sum \Delta P_T = \Delta P \quad \text{Ec. 37}$$

Donde:

ΔP_T = Presión total perdida dentro del horno deshidratador (Pa)

ΔP = Pérdida de presión parcial del sistema (Pa)

La sumatoria se realizó con los datos de la Tabla 11. obtenidos en cálculos anteriores.

Tabla 11

Caída de presión total del prototipo

Parámetro	Símbolo	Cámara resistencias	de Cámara secado	de Unidad
Caída de presión mayor	ΔP	1.71	0.12	Pa
Caída de presión menor	ΔP	0.48	0.23	Pa
Subtotal		2.19	0.35	Pa
Caída de presión total	ΔP_T		2.54	Pa

Según la sumatoria realizada. se obtiene un valor de 2,54 Pa de pérdidas de presión total en el equipo propuesto.

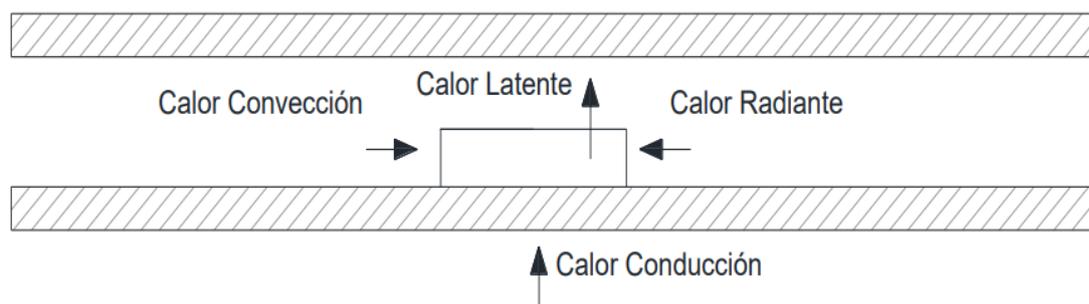
Análisis del proceso dentro de la cámara

Tiempo de secado

Para estimar el tiempo de secado. se realiza un análisis de condiciones dentro de la cámara. tomando en cuenta que en el producto dentro de la cámara de secado intervienen diferentes tipos de calor el calor como se muestra en la Figura 25.

Figura 25

Calor suministrado al producto dentro de la cámara



Nota. El calor suministrado al producto, es por conducción, convección y radiación. Recuperado de LLUMIQUINGA & SUQUILLO. (2015).

Si bien se puede observar en la Figura 25, dentro de la cámara de secado se producen diferentes tipos de calor hacia el producto a deshidratar, sin embargo, para establecer la tasa de transferencia de calor se evalúa para el mayor porcentaje de calor recibido en el producto que en este caso es el calor por conducción que corresponde al 90% del total. El análisis para el calor por convección se valoró según las propiedades mostradas en la Tabla 12.

Tabla 12*Propiedades del aire a temperatura de trabajo*

Propiedad	Símbolo	Valor	Unidad
Temperatura	T	60	$^{\circ}C$
Velocidad Flujo	V	1.25	m/s
Número de Prandtl	Pr	0.7202	adm
Viscosidad dinámica	μ	2.00×10^{-5}	$N * s/m^2$
Viscosidad cinemática	ν	1.896×10^{-5}	m^2/s
Conductividad térmica	λ	0.02808	$W/m^{\circ}K$
Densidad	ρ	1.06	kg/m^3

Nota. Los valores corresponden a una temperatura de 60°C. Recuperado de (ÇENGEL & CIMBALA, 2006)

- Determinar el número de Reynolds para conseguir el coeficiente de transferencia de calor por convección.

$$Re = \frac{l * V * \rho}{\mu} \quad \text{Ec. 38}$$

Donde:

Re = Número de Reynolds

V = Velocidad de flujo (m/s)

μ = Viscosidad dinámica ($N * s/m^2$)

l = Longitud unitaria (0.05m)

ρ = Densidad del aire (kg/m^3)

$$Re = 3312.5$$

Cuando $Re < 2100$ el régimen de flujo es laminar, si $2200 < Re < 4000$ el flujo es de régimen transitorio y para $Re > 4000$ el régimen de flujo es turbulento, (Cayo, 2013), por tanto, con $Re = 3312.5$ el flujo con el que trabaja el prototipo está fuera del régimen laminar.

- Cálculo del número de Nusselt a partir de la consideración de la rodaja de manzana como placa plana.

$$Nu = 0.664 (Re)^{0.5} (Pr)^{0.33} \quad \text{Ec. 39}$$

$$Nu = 39,89$$

- Cálculo el coeficiente de transferencia de calor por convección.

$$h = \frac{Nu * \lambda}{L} \quad \text{Ec. 40}$$

Donde:

h = Tasa de transferencia de calor ($W/m^2 \text{ } ^\circ K$)

λ = Conductividad térmica del aire ($0.02808 W/m^\circ K$)

L = Longitud unitaria ($0.05 m$)

$$h = 19,25 W/m^2 \text{ } ^\circ K$$

- El tiempo de secado viene establecido de acuerdo a la velocidad del proceso y la tasa de transferencia de calor por convección.

$$RC = \frac{h * A_{Tsec} * (T - T_{bh})}{\Delta hfg} \quad \text{Ec. 41}$$

Donde:

Rc = Velocidad de secado (kg_{H2O} / s)

h = Tasa de transferencia de calor ($W/m^2 \text{ } ^\circ K$)

A_{Tsec} = Área total de secado ($1,27 m^2$)

T = Temperatura del flujo de aire ($333.15 \text{ } ^\circ K$)

Tbh = Temperatura de bulbo húmedo ($280.68 \text{ } ^\circ K$)

Δhfg = Calor latente o entalpía de vaporización (kJ / kg)

Para el análisis se toma de referencia la entalpía del agua en estado ambiente con valor de $1006 kJ / kg$.

$$Rc = 212.45 \times 10^{-6} \text{ } kg_{H2O} / s$$

- Cálculo del tiempo de secado en el régimen constante.

$$t_c = \frac{X_{do} - X_{dc}}{3600 * Rc} * Cs \quad \text{Ec. 42}$$

Donde:

t_c = Tiempo de secado en el régimen constante (h)

X_{do} = Humedad inicial del producto en base seca ($6.018 kg_{H2O} / kg_{masa\ seca}$)

X_{dc} = Humedad crítica del producto en base seca ($0.379 kg_{H2O} / kg_{masa\ seca}$)

Rc = Velocidad de secado ($212.45 \times 10^{-6} kg_{H2O} / s$)

C_s = Masa seca de la carga de secado (0.496 kg masa seca)

$$t_c = 3,66 \text{ h}$$

- Cálculo del tiempo de régimen decreciente a través de la siguiente ecuación:

$$t_D = \frac{(X_{dc} - x_d^*) * C_s}{3600 * R_c} * \ln\left(\frac{X_{dc} - x_d^*}{X_{df} - x_d^*}\right) \quad \text{Ec. 43}$$

Donde:

t_D =Tiempo de régimen de decreciente (h)

X_{dc} = Humedad crítica del producto en base seca (0.379 kgH₂O / kgmasa seca)

x_d^* = Humedad de equilibrio en base seca (0,047 kgH₂O / kgmasa seca)

R_c = Velocidad de secado (212.45x10⁻⁶ kgH₂O /s)

X_{df} = Humedad en base seca final 0,24 kgmasa seca

C_s = Masa seca de la carga de secado (0.496 kgmasa seca)

$$t_D = \frac{(0.379 - 0,047) * 0.496}{3600 * 212.45x10^{-6}} * \ln\left(\frac{0.379 - 0,047}{0,24 - 0,047}\right)$$

$$t_D = 0,12 \text{ h}$$

- Cálculo del tiempo total de secado

Corresponde a la adición del tiempo de secado en el régimen constante con el tiempo en el régimen decreciente.

$$T_T = t_C + t_D \quad \text{Ec. 44}$$

$$T_T = 3,66 \text{ h} + 0,12 \text{ h}$$

$$T_T = 3.78 \text{ h}$$

Calor útil requerido por la manzana.

Para la deshidratación se requiere calor útil, que resulta independiente de las pérdidas existentes, y se obtiene sumando calor sensible más calor de evaporación.

$$Q_{Util} = Q_s + Q_e \quad \text{Ec. 45}$$

Donde:

Q_s = Calor sensible (kW)

Q_e = Calor de evaporación (kW)

Cálculo del calor sensible

Requerido para elevar la temperatura del agua contenida en el alimento a deshidratar desde la temperatura ambiente hasta la temperatura cuando empieza a evaporarse sin cambiar de estado.

$$Q_s = \frac{M_{Total}}{T_T} \cdot C_{p_{producto}} \cdot (T_f - T_o) \quad \text{Ec. 46}$$

Donde:

Q_s = Calor sensible del producto (kW).

M_{Total} = Masa del producto (3.48 kg)

T_T = Tiempo total de secado (s)

$Cp_{producto}$ = Calor específico del producto (kJ/kg°K)

T_f = Temperatura final de secado (60°C=333.15 °K)

T_o = Temperatura inicial de secado (9.2°C=282.35°K)

El calor específico de vegetales en estado fresco se lo obtiene a partir de la siguiente expresión (Heldan & Singh, 2001).

$$Cp = 0,84 + 0,0335 * Ho \left(\frac{kJ}{kg * ^\circ K} \right) \quad \text{Ec. 47}$$

Donde

Ho = Humedad inicial del alimento (85.7 %)

$$Cp = 0,84 + 0,0335 * 85.7$$

$$Cp = 3.71$$

Con todos los valores obtenidos se calcula el calor sensible del producto.

$$Q_s = \frac{3.48}{3.78 * 3600} * 3.71 * (333.15 - 282.35)$$

$$Q_s = 0.048 \text{ kW}$$

Calor de Evaporación

Es el calor necesario para evaporar el agua contenida en el alimento a deshidratar hasta alcanzar un porcentaje humedad deseado.

$$Q_e = E * h_{fg} \quad \text{Ec. 48}$$

Dónde:

\dot{Q}_e = Calor de evaporación (kW)

E = Velocidad de evaporación (Kg/s)

h_{fg} = Entalpía de evaporización del agua al ambiente (1006 KJ/Kg)

- La velocidad de evaporación es la rapidez con la que el agua cambia de estado líquido a gaseoso.

$$E = \frac{m_s * (H_{bs} - H_{bh})}{t} \quad \text{Ec. 49}$$

- Masa del producto deshidratado

$$m_s = M_{Total} \left(1 - \left(\frac{H_0 - H_f}{100 - H_f} \right) \right) \quad \text{Ec. 50}$$

Donde:

H_0 = Humedad inicial (85.7)

H_f = Humedad final (24)

$$m_s = 3.48 \left(1 - \left(\frac{85.7 - 24}{100 - 24} \right) \right)$$

$$m_s = 0.65 \text{ kg}$$

- Humedad en bulbo seco (%)

$$H_{bs} = \frac{100}{100 - H_o} \quad \text{Ec. 51}$$

$$H_{bs} = \frac{100}{100 - 85.7}$$

$$H_{bs} = 6.99$$

- Humedad en bulbo húmedo (%).

$$H_{bh} = \frac{H_f}{100 - H_f} \quad \text{Ec. 52}$$

$$H_{bh} = \frac{24}{100 - 24}$$

$$H_{bh} = 0.32$$

Con todos los datos obtenidos se calcula la velocidad de evaporación, el calor de evaporación, calor útil para la Manzana.

$$E = \frac{m_s * (H_{bs} - H_{bh})}{t}$$

$$E = \frac{0.65 * (6.99 - 0.32)}{3.78 * 3600}$$

$$E = 0.00032 \text{ kg/s}$$

Reemplazando los valores calculados en la siguiente formula se obtiene lo siguiente:

$$Q_e = E * h_{fg}$$

$$Q_e = 0.00032 * 1006$$

$$Q_e = 0.322 \text{ kW}$$

$$Q_{util} = Q_s + Q_e$$

$$Q_{Util} = 0.048 + 0.322$$

$$Q_{Util} = 0,37 \text{ kW}$$

Cálculo de pérdidas de calor en el prototipo del deshidratador

Existen dos tipos de pérdidas de energía calórica dentro del prototipo; la primera que se produce en el interior de la cámara, y la segunda es la pérdida de calor en el aire, producida a través de las paredes. Las pérdidas de calor se analizan en base a un circuito térmico a través de ecuación:

$$Q = U * A * \Delta T \quad \text{Ec. 53}$$

Donde:

Q = Flujo de calor (W)

A = Área de la sección transversal (m)

U = Coeficiente global de transferencia de Calor ($W / (m^2 * ^\circ K)$);

ΔT = Diferencia de temperatura del flujo de calor($^\circ K$)

Para conocer el coeficiente global de transferencia de calor es necesario conocer las resistencias térmicas de convección y conducción internas y externas: de los materiales que componen las paredes, del flujo de aire interno y externo, mismos que dependen de las dimensiones del equipo descritas en la Tabla 13.

Tabla 13

Dimensiones del prototipo

Dimensión	Cámara de secado		Cámara de resistencias		Unidad
	Interno	Externo	Interno	Externo	
Ancho	0.5	0.56	0.12	0.32	M
Largo	0.5	0.56	0.4	0.5	M
Profundidad	0.6	0.66	0.12	0.22	M

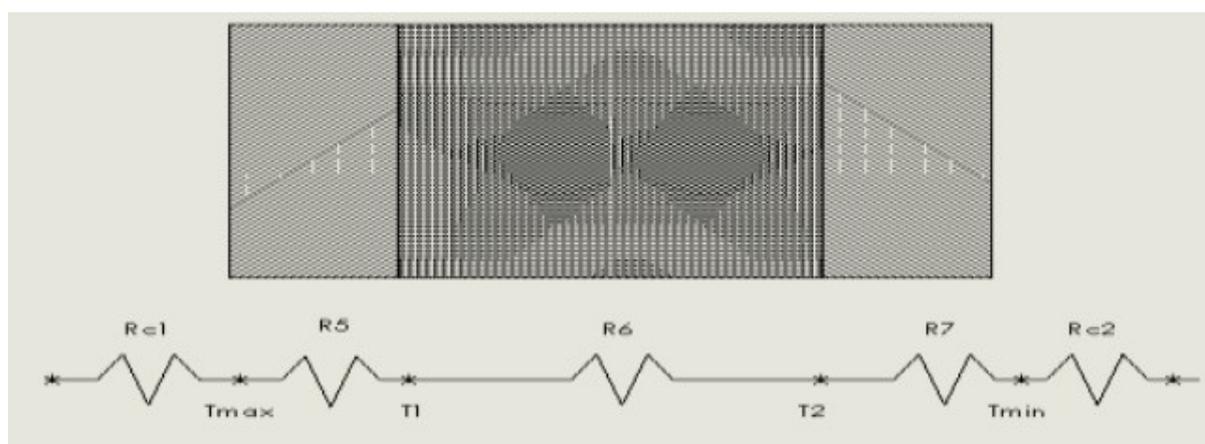
La cámara de secado está compuesta por un doble fondo de 0.03 m teniendo como material aislante el vacío para reducir las pérdidas de calor desde el interior, mientras que la cámara de resistencias está cubierta por una capa de poliuretano como aislante térmico.

Circuito térmico equivalente

Para determinar las pérdidas en la cámara de secado se utiliza el circuito térmico equivalente representado por la Figura 26.

Figura 26

Analogía Eléctrica–Paredes de la Cámara de Deshidratado



Nota. Circuito térmico equivalente para el cálculo de pérdidas de calor dentro de la cámara de secado.

Recuperado de Bautista & Meza, (2016)

$$U = \frac{1}{R_{c1} + R_5 + R_6 + R_7 + R_{c2}} \quad \text{Ec. 54}$$

$$R_{c1} = \frac{1}{h_{ci_{masa}}}; R_5 = \frac{e1}{\lambda_{Pi}}; R_6 = \frac{e2}{\lambda_A}; R_7 = \frac{e3}{\lambda_{Pe}}; R_{c2} = \frac{1}{h_{co_{ext}}} \quad \text{Ec. 55}$$

Donde:

U =Coeficiente global de transferencia de calor en paredes

R_{c1} =Resistencia térmica de convección interna

R_{c2} =Resistencia térmica de convección externa

R_5 =Resistencia térmica de conducción de la pared interior

R_6 =Resistencia térmica de conducción de material aislante

R_7 =Resistencia térmica de conducción de la pared exterior

λ =Coeficiente de Conductividad térmica

$h_{ci_{masa}}$ =Coeficiente de convección interna

$h_{co_{ext}}$ = Coeficiente de convección externa

e =Espesor de los diferentes materiales usados

Remplazando:

$$U_{paredes} = \frac{1}{\frac{1}{h_{ci_{masa}}} + \frac{e1}{\lambda_{Pi}} + \frac{e2}{\lambda_A} + \frac{e3}{\lambda_{Pe}} + \frac{1}{h_{co_{ext}}}} \quad \text{Ec. 56}$$

- El coeficiente de convección interno se calcula a partir de la fórmula siguiente:

$$h_{ci_{masa}} = \frac{Nusselt * \lambda_{aire}}{D_h} \quad \text{Ec. 57}$$

Donde:

$Nusselt$ = Número de Nusselt

D_h = Diámetro Hidráulico

λ_{aire} = Conductividad térmica del aire

- El número de Nusselt está dado por la siguiente relación:

$$Nusselt = \frac{\left(\frac{f}{8}\right) * Re * Pr}{1.1 + \frac{900}{Re} - \frac{0.63}{1 + 10 * Pr} + 12.7 * \left(\frac{f}{8}\right)^{\frac{1}{2}} * (Pr^{\frac{2}{3}} - 1)} \quad \text{Ec. 58}$$

Donde:

f = Factor de Fricción

Re = Número de Reynolds

Pr = Número de Prandtl en función de la temperatura (0.7202)

Para determinar el Factor de Fricción se realiza a través de la relación siguiente:

$$f = \frac{0.25}{\left(\log\left(\frac{1}{3.7(r)} + \frac{5.74}{Re^{0.9}}\right)\right)^2} \quad \text{Ec. 59}$$

Donde:

r = Rugosidad relativa del ducto

$$r = \frac{Dh}{\epsilon} \quad \text{Ec. 60}$$

Dh = Diámetro hidráulico (m)

ϵ = Rugosidad de la superficie del ducto (0,009m)

Para determinar el número de Reynolds se utiliza la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{V_{airemasa} * Dh}{\nu_{aire}} \quad \text{Ec. 61}$$

Donde:

Re = Número de Reynolds

$V_{airemasa}$ = Velocidad de aire mínima requerida dentro de la cámara (m/s);

Dh = Diámetro hidráulico de la cámara (m)

ν_{aire} = Viscosidad cinemática del Aire (m²/s)

Reemplazando los valores en las ecuaciones anteriores se determina:

Tabla 14

Parámetros calculados

Parámetro	Símbolo	Cámara de secado	Unidad
Viscosidad cinemática del Aire	ν_{aire}	1.896x10 ⁻⁵	m ² /s

Parámetro	Símbolo	Cámara de secado	Unidad
Número de Prandtl en función de la temperatura	Pr	0.7202	adm
Rugosidad de la superficie del ducto	ϵ	0.00009	m
Densidad	ρ	1.06	kg/m^3
Conductividad térmica	λ	0.02808	$W/m^{\circ}K$
Velocidad de aire	$V_{aire_{masa}}$	0.21	m/s
Diámetro Hidráulico	Dh	0.55	m
Rugosidad relativa del ducto	r	0.00016	adm
Número de Reynolds	Re	6091.77	adm
Factor de fricción	f	0.024	adm
Número de Nusselt	$Nusselt$	18.034	adm
Coefficiente de convección interno	$h_{ci_{masa}}$	0,92	$W/m^2 \text{ }^{\circ}K$

- Cálculo de coeficiente global de pérdidas por convección externa

Para el cálculo de coeficiente global de pérdidas por convección externa o por convección natural, es necesario considerar a la cámara de secado como un cuerpo cubico, sujeto a temperatura ambiente, utilizando el número de Grashof para la convección natural, el cual es equivalente al número de Reynolds de la convección forzada, (Rojas-Berrío et al., 2021), teniendo en cuenta que la convección natural depende del coeficiente de expansión térmica que define la variación del volumen de un cuerpo cubico a la oscilación de temperatura.

$$Gr = \frac{g * \beta * (T_s - T_{\infty}) * Lc^3}{\nu^2} \quad \text{Ec. 62}$$

$$\beta = \frac{1}{T} \quad \text{Ec. 63}$$

Donde:

Gr = Número de Grashof

g = Aceleración gravitacional (9.8 m/s^2)

β = Coeficiente de expansión térmica

T = Temperatura Ambiente (282.35°K)

T_s = Temperatura de superficie (333.15°K)

T_∞ = Temperatura del fluido externo (282.35°K)

L_c = Longitud característica (0.6 m)

ν = Viscosidad cinemática ($1.896 \times 10^{-5} \text{ m}^2 / \text{s}$)

$$\beta = \frac{1}{282.35^\circ\text{K}} = 0.00354$$

$$Gr = \frac{9.8 * 0.0035 * (333.15 - 282.35) * 0.6^3}{(1.896 \times 10^{-5})^2}$$

$$Gr = 1.06 \times 10^9$$

Una vez obtenido el número de Grashof se continua con el cálculo del número de Rayleigh que define la convección natural como el producto entre el número de Grashof y el número de Prandtl.

$$Ra = Gr * Pr$$

$$Ra = 1.06 \times 10^9 * 0.7202$$

$$Ra = 765.32 \times 10^6$$

Después se calcula el número de Nusselt en relación al número de Rayleigh.

$$Nu = \left\{ \frac{10.6 + 0.387(Ra)^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0.559}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2 \quad \text{Ec. 64}$$

$$Nu = \left\{ \frac{0.6 + 0.387(765.32 \times 10^6)^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0.559}{0.7202} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2$$

$$Nu = 104.57$$

Finalmente aplicando la fórmula para calcular el coeficiente de convección se obtiene:

$$h_{co_{ext}} = \frac{Nusselt * \lambda_{aire}}{D_h} \quad \text{Ec. 65}$$

$$h_{co_{ext}} = \frac{104.57 * 0.02808}{0.55} \quad h_{co_{ext}} = 5.33 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}$$

Para el cálculo de coeficiente global de transferencia de calor también es necesario conocer los coeficientes de conductividad térmica de los materiales que intervienen en la cámara de secado.

Tabla 15*Conductividad térmica*

Material	Coficiente de Conductividad térmica λ
Lamina de aluminio Compuesto UNE 92-202-89	0.207
Vacío / Aire	0.02808

Nota. Recuperado de (Rojas-Berrío et al., 2021)

Remplazándolos valores en la ecuación del coeficiente global de transferencia de calor se obtiene:

$$U_{paredes} = \frac{1}{\frac{1}{h_{ci_{masa}}} + \frac{e1}{\lambda_{pi}} + \frac{e2}{\lambda_A} + \frac{e3}{\lambda_{pe}} + \frac{1}{h_{co_{ext}}}} \quad \text{Ec. 66}$$

$$U_{paredes} = \frac{1}{\frac{1}{0.92} + \frac{0,003}{0,207} + \frac{0,03}{0.02808} + \frac{0,003}{0,207} + \frac{1}{5.33}}$$

$$U_{paredes} = 0,43 \text{ W /m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$Q = U * A * \Delta T$$

$$Q = 0,43 * 0.3 * (333,15 - 282,35)$$

$$Q = 6.65 \text{ W}$$

El equipo diseñado presenta 6.65 W de pérdidas en todo el equipo, por lo tanto, es necesario analizar si la fuente de calor es suficiente para superar estas pérdidas.

Análisis de la fuente de calor

Para el prototipo diseñado se tiene disponible un bloque de resistencias eléctricas para el calentamiento del flujo de aire que circula a través del deshidratador, la fuente de calor está contenida dentro de un ducto en la parte superior del prototipo, que permite acelerar el proceso de deshidratado reduciendo el tiempo y manteniendo una temperatura constante.

Para el análisis del comportamiento del calentador de aire, se considera como un proceso sin humidificación en el cual el aire será constante, por consiguiente, se aplica la ley de conservación de la masa, en donde la cantidad de aire que ingresa al ducto que contiene las resistencias es igual a la salida.

$$Q = \dot{m}_a * C_p * (T_2 - T_1) \quad \text{Ec. 67}$$

Donde:

Q = Calor generado (kW)

\dot{m}_a = Relación de flujo de masa. (kg/s)

C_p = Calor específico a presión constante (1006J/ kg °K)

T_2 = Temperatura del aire a entrada. (282.35 °K)

T_1 = Temperatura del aire a salida. (333.15°K)

Se obtuvo el valor del flujo de masa con la siguiente ecuación:

$$\dot{m}_a = \rho * v * A \quad \text{Ec. 68}$$

Donde:

ρ =Densidad del aire (1.246 kg/m³)

v =Velocidad del aire (1.3 m/s)

A =Área de la cámara de resistencia (0.048m²)

$$\dot{m}_a = 0,072 \text{ kg/s}$$

Entonces:

$$Q = \dot{m}_a * C_p * (T_2 - T_1)$$

$$Q = 0,072 * 1006 * (333.15 - 282.35)$$

$$Q = 3.68 \text{ kW}$$

Se considera un 5% de pérdidas por las paredes de la cámara de resistencias, las que se suman a al calor generado, dando como resultado 3.864 kW como potencia máxima de trabajo.

Con la potencia requerida y aplicando la ley de Ohm se analiza la resistencia seleccionada.

$$R = \frac{V}{I} \quad \text{Ec. 69}$$

Donde:

R =Resistencia eléctrica (Ohmio) (Ω)

V =Variación del potencial (Voltios) (V)

I = Intensidad de corriente eléctrica (Amperios) (A)

Teniendo en cuenta que es necesario generar 3,68 Kw, para el prototipo diseñado se dispone de una instalación eléctrica de 120 V.

$$P = \frac{V^2}{R} \quad \text{Ec. 70}$$

$$R = P * V^2 \quad \text{Ec. 71}$$

$$R = 3.68 * 120^2$$

$$R = 4$$

Para generar la potencia requerida se calculó una resistencia de 4 Ω para el diseño, lo que conlleva a tener un amperaje demasiado elevado de 30 A por un alambre muy delgado, por tanto esto resultaría en dificultades en la transferencia de calor, asimismo el sistema de control deberá ser más sofisticado, y tratándose de un prototipo pequeño se consideró utilizar el bloque de resistencias de 1kW, el cual arroja una resistencia de 14 Ω con un amperaje de 8 A, mejorando las condiciones de trabajo del deshidratador.

Y para verificar que esta nueva potencia sea adecuada se realiza la siguiente comparación en donde la suma para superar la potencia de pérdidas y de calor útil debe ser menor a la potencia generada.

$$Q \text{ pérdidas} + Q \text{ útil} < Q \text{ generado} \quad \text{Ec. 72}$$

$$6,65 W + 370 W < 1000W$$

$$376,65 W < 1000W$$

De esta manera se comprueba que el calor generado por el bloque de resistencias es mayor al que consume el prototipo, y es adecuado para el proceso de deshidratado de Manzanas.

Implementación del Software para el sistema de control en el PLC EOPUS CP06

Descripción del proceso

- Encender el equipo por medio del switch colocado al lado derecho del prototipo junto a la conexión del cable de poder. Con lo que se energizará el PLC, la pantalla HMI, y el módulo ESP8266 se conectará al servidor web por medio de NODE RED.
- Iniciar la comunicación con el servidor web APACHE en el ordenador que lo tiene instalado.
- La fruta debe estar cortada en rodajas de aproximadamente 3 mm y un diámetro promedio de 6 cm.
- Pesar las bandejas sin fruta para tener el peso inicial de referencia.
- Colocar la fruta sobre las bandejas hasta obtener la capacidad del deshidratador distribuido equitativamente entre ellas.
- Introducir las bandejas al deshidratador.
- En la pantalla HMI en la opción de parámetros se colocan los valores correspondientes al tiempo total del proceso, temperatura de trabajo, histéresis de temperatura.
- Presionar guardar y regresar a la pantalla de inicio.
- Pulsar RUN en la pantalla de inicio y empezará el proceso de secado y el envío de datos al sistema de recaudación de información con servidor web.
- Cada 30 minutos se sacan las bandejas para pesarlas hasta que termine el tiempo del proceso.

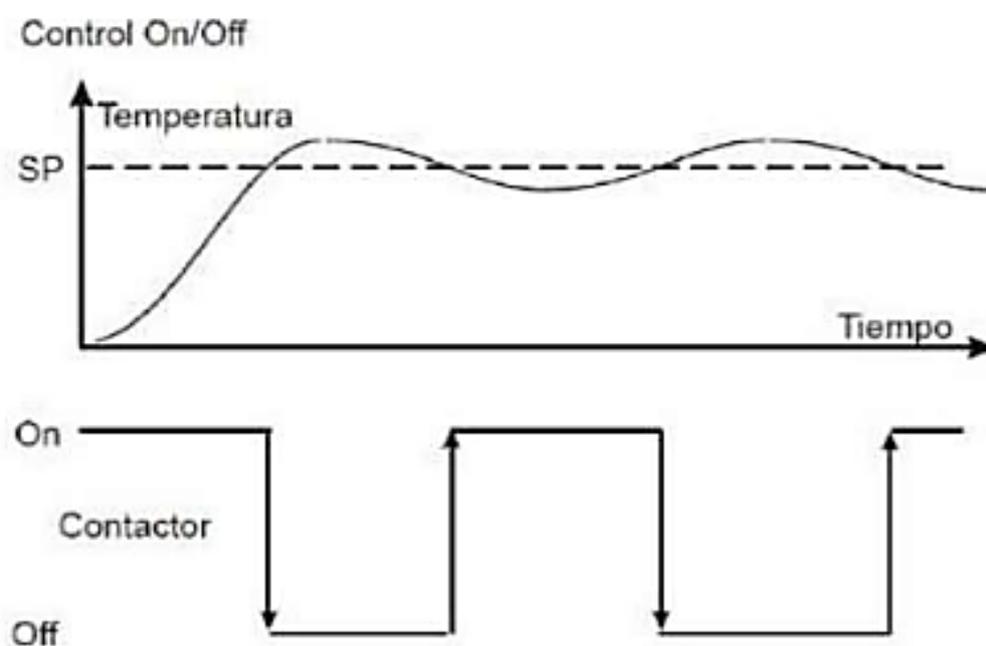
- Para evitar que haya pérdidas de calor entre cada prueba de peso en las bandejas, la puerta debe mantenerse cerrada.
- Para extraer la humedad interna de la cámara de secado la compuerta en el túnel de circulación, empieza su proceso cuando la temperatura llegue por primera vez a su valor de trabajo; posterior el proceso se mantiene independiente a los valores de temperatura hasta finalizar el tiempo total de proceso, la escotilla se abrirá cada 5 minutos y permanecerá abierta durante 2 minutos.
- Obtener 9 valores del peso total de cada bandeja y verificar que sean semejantes en alguno de ellos.
- Monitorear que los valores mostrados de temperatura y humedad mostrados en el servidor web sean los mismos que se observan en la Interfaz Gráfica.
- Una vez finalizado el proceso se apaga el equipo y después de 10 minutos se extrae el producto final.
- Colocar el producto en envases aptos para alimentos
- Limpiar las bandejas.
- Los valores reales obtenidos de las pruebas se colocan en tablas de resultados para posteriormente ser analizados y graficados.
- Finalmente se realiza un análisis de peso vs Tiempo y humedad vs tiempo para determinar si el producto está dentro de la humedad final que se requiere.

Controlador ON/OFF

Los controladores ON/OFF o Todo/Nada, es uno de los más utilizados en la industria, cuya variable controlada tiene dos estados: Activada cuando la temperatura este por debajo del Set Point y desactivada cuando haya sobrepasado el valor asignado. Existen variantes cuando se aplica Histéresis inferior o superior dependiendo del proceso.

Figura 27

Curva de respuesta del control ON/OFF



Nota. Controlador ON/OFF con señal de mando. Recuperado de Bautista & Meza, (2016).

El controlador ON/OFF fue implementado y funcionó de forma adecuada para este proceso, puesto que el control de temperatura es de reacción lenta. Se aplicó además una histéresis inferior de 2 °C, para resguardar los elementos de control, ya que al tener como elemento de control final un bloque de resistencias eléctricas conectado a la salida digital del PLC, mismo que proviene internamente del accionar de Relés podrían averiarse al ser activados y desactivados continuamente en periodos cortos de tiempo.

Diagrama de flujo general del controlador.

En la Figura 28 se muestra un diagrama de flujo general del programa principal implementado en el controlador destinado a la deshidratación de manzanas, puesto que al estar involucrados varios subprocesos todo se realiza en diferentes funciones dentro de un mismo programa. Inicia con el ingreso de parámetros desde la pantalla HMI, tales como: Tiempo total del proceso, Set Point de temperatura, histéresis de temperatura; continua con el proceso de lectura de los valores de humedad y temperatura proporcionados por los sensores; el control de temperatura y humedad son dos funciones implementadas de manera independiente, y finalmente se muestran en pantalla los valores de los parámetros del proceso y a la vez se envía al sistema de recaudación de datos implementado en el servidor web APACHE y gestionado por Node-Red.

Figura 28

Diagrama de flujo general para el proceso del deshidratador de alimentos.

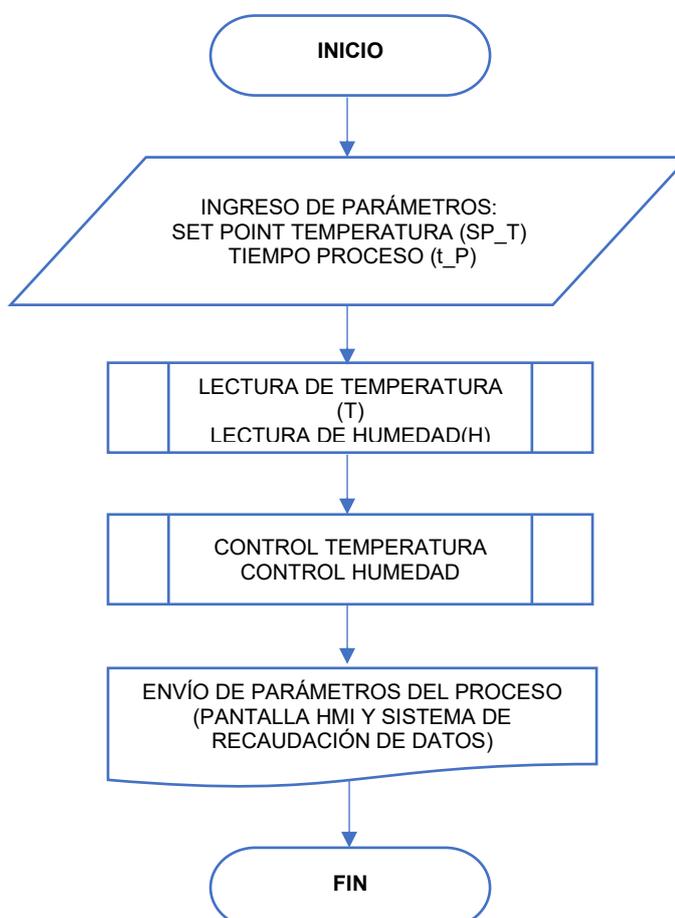


Diagrama de flujo para el control de temperatura

La Figura 29 muestra un diagrama de flujo general para la programación del control ON/OFF para el proceso de temperatura. El Tiempo de trabajo es proporcionado por un temporizador que cuenta el tiempo en minutos.

Figura 29

Diagrama de flujo general para el control de temperatura

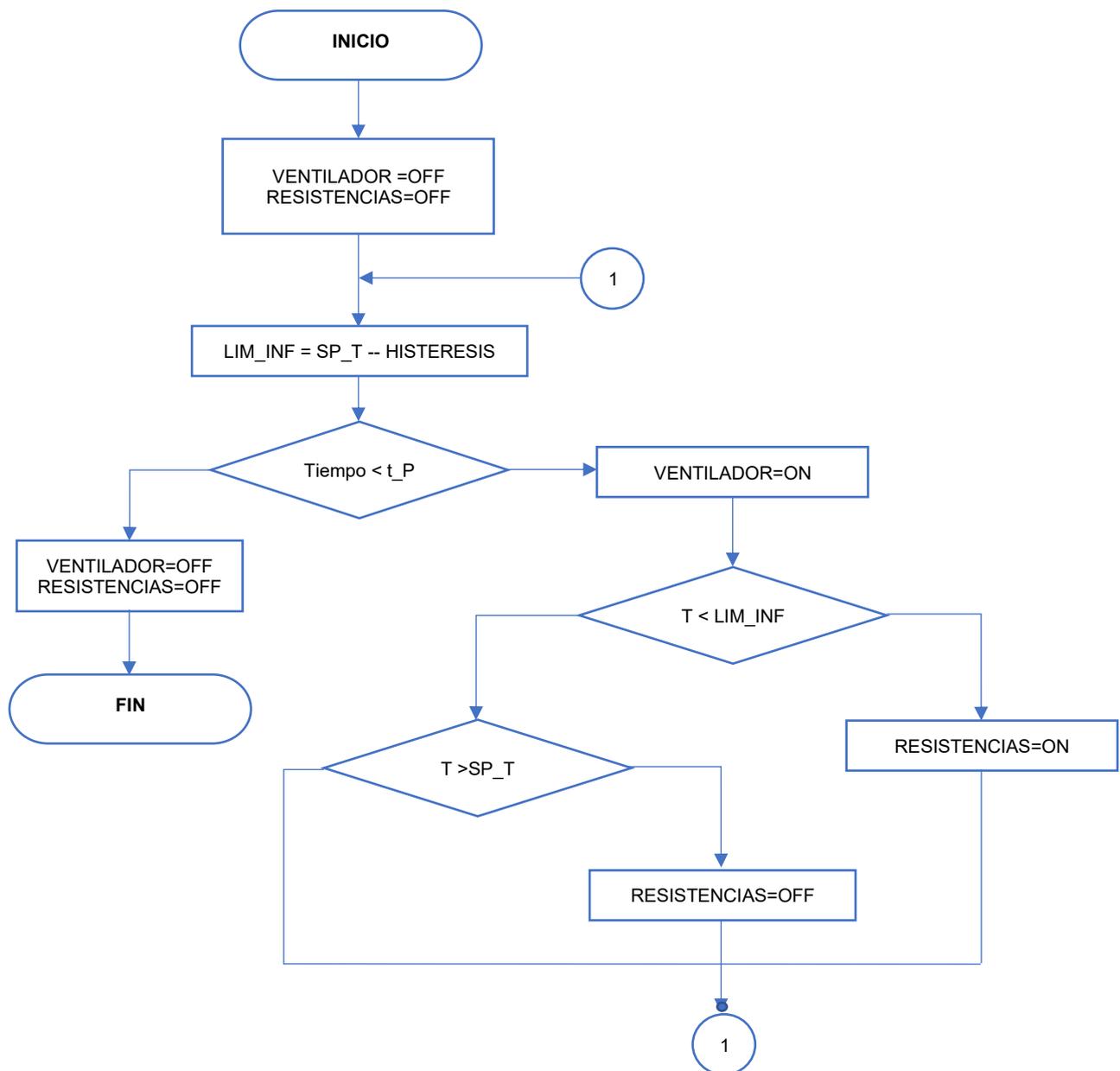
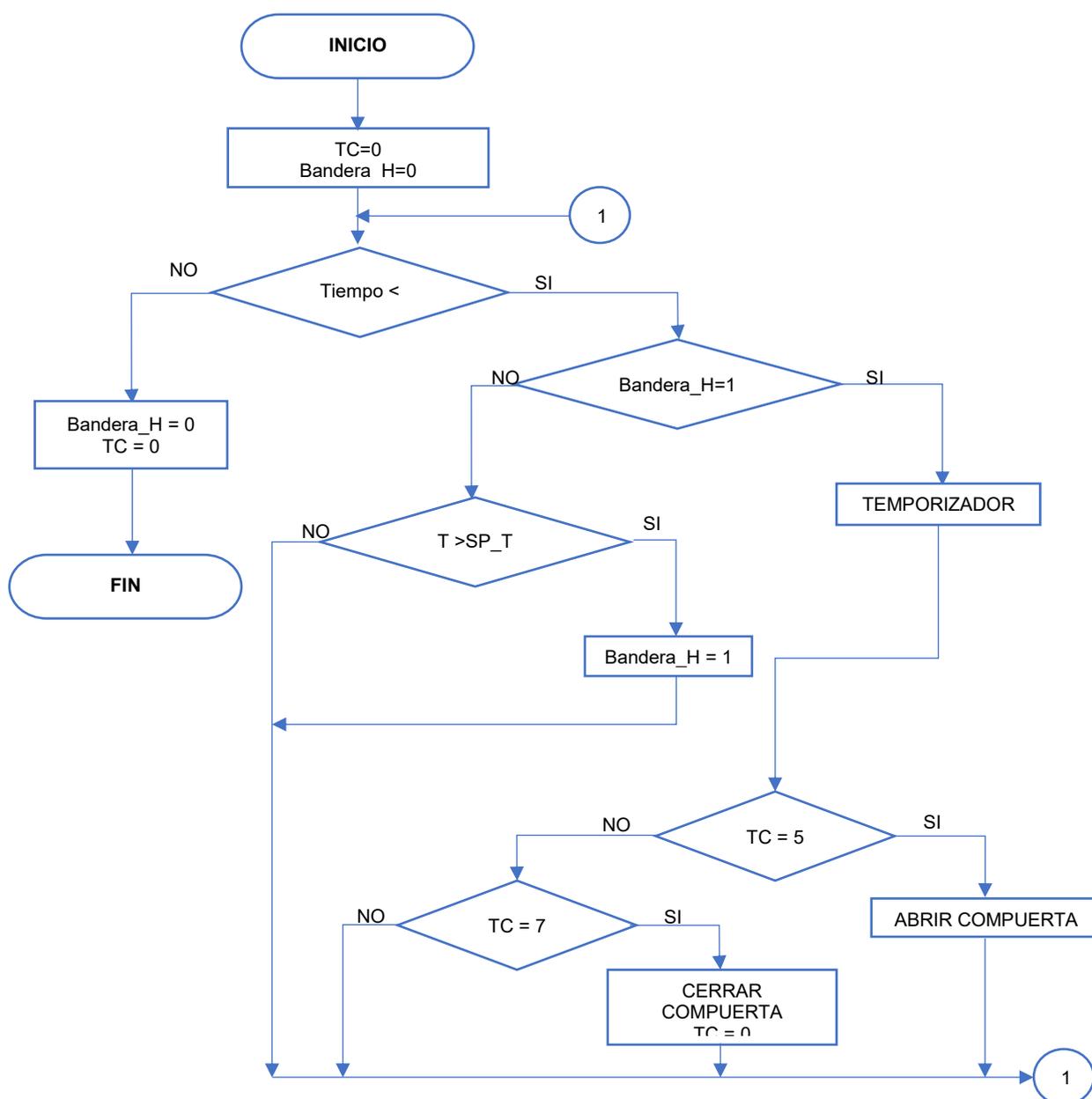


Diagrama de flujo para el control de humedad

El objetivo del control de humedad consiste en expulsar el aire húmedo del interior de la cámara de secado mediante el movimiento de la compuerta situada en ducto de ventilación, esta se abre cada 5 minutos y se cierra después de 2 minutos. El tiempo de la compuerta (TC) es medido por un temporizador de minutos cuyo inicio es dado por la bandera activada al alcanzar por primera vez el Set Point de temperatura, después este proceso se vuelve independiente del valor de temperatura hasta que termine el tiempo de trabajo. Figura 30.

Figura 30

Diagrama de flujo general para extraer la humedad



HMI

El HMI fue implementado con base al diseño propio de la empresa ACSIMB CIA. LTDA., distribuido en 4 pantallas: inicio, ingreso de parámetros, alarmas y de información. Para esto se dispuso la pantalla HMI 4.3" EOPUS, Figura 31, es una pantalla táctil que facilita el ingreso y visualización de parámetros necesarios para el control del proceso, se comunica con el PLC EOPUS CP06 a través de uno de sus puertos de comunicación, es alimentado con una fuente de 5 V DC.

Figura 31 *Pantalla HMI 4.3" EOPUS*



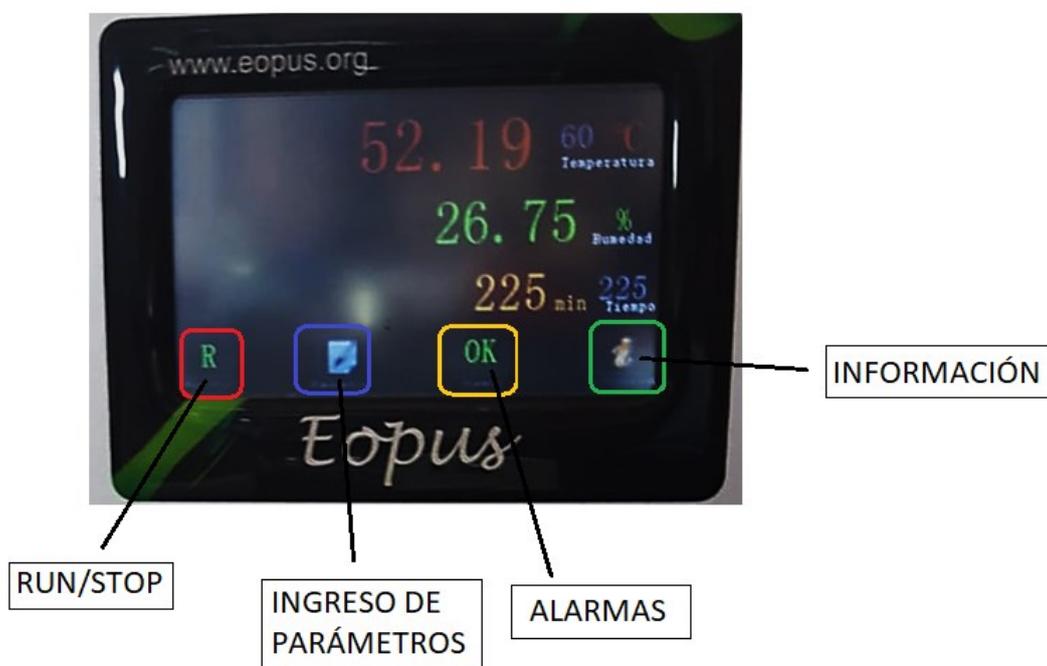
Al encender el equipo se inicia la pantalla con el logo propio de la empresa ACSIMB CIA. LTDA., y unos segundos más tarde se visualiza la pantalla principal o de inicio, en la que se observan los parámetros seteados de tiempo (min) y temperatura (°C), asimismo se observan los valores de temperatura, humedad relativa proporcionados por los sensores al interior de la cámara de secado y el tiempo faltante para finalizar el proceso en minutos.

Pantalla principal o de inicio

En la pantalla principal se encuentran cuatro botones que dan paso a diferentes acciones, el botón señalado en color rojo permite iniciar o parar el proceso en su totalidad, el botón señalado con color azul direcciona a la pantalla de parámetros donde se ubican los valores necesarios para iniciar el proceso, el botón en color amarillo nos dirige a la pantalla de alarmas, y el botón en color verde permite ir a la pantalla de información del equipo. Figura 32

Figura 32

Pantalla principal o de inicio



Nota. Los valores seteados están ubicados al lado derecho de la pantalla en tamaño pequeño, mientras que los valores de mayor tamaño son los valores tomados en tiempo real del deshidratador.

Pantalla de parámetros

En la pantalla de parámetros, Figura 33, se tiene a disposición 2 columnas de parámetros desde el 0 al 11, donde se escriben por teclado el valor deseado que corresponda al parámetro designado dentro de la programación del controlador, para este prototipo solo se usaran los 5 primeros que corresponden de la siguiente manera:

P00: Set Point de temperatura

P01: Tiempo total del proceso.

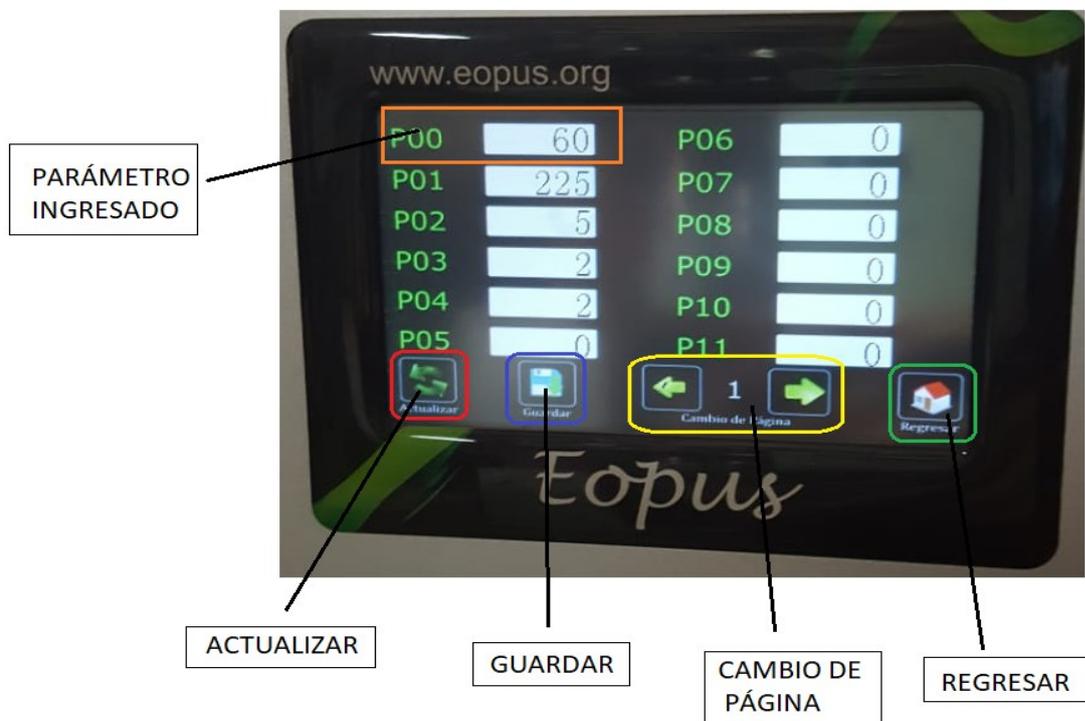
P02: Tiempo de apertura de la compuerta.

P03: Tiempo de cerrado de la compuerta.

P04: Histéresis de temperatura.

Figura 33

Pantalla de parámetros.



En la parte inferior de la pantalla de parámetros se disponen de algunos botones, el botón señalado en color rojo permite actualizar los parámetros, el botón en color azul permite guardar en memoria los parámetros ingresados, los botones de color amarillo permite navegar entre páginas de parámetros en el caso de existir más de ellas, y finalmente el botón en color verde permite regresar a la pantalla de inicio.

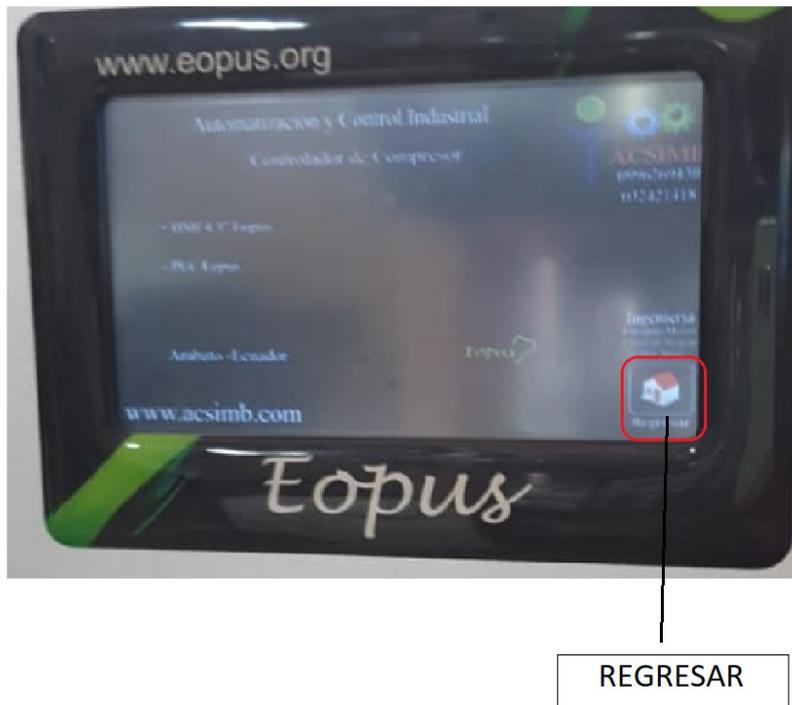
Pantalla de alarmas

En esta pantalla se observa el tipo de problema que ocurre en el proceso, en este caso se disponen de una alarma que se activa cuando la temperatura es superior a un 10% del Set Point deseado, ya que en este proceso el sobreimpulso de temperatura no superó este porcentaje.



Al igual que en las pantallas anteriores se dispone de los algunos botones, el botón de Actualizar en color rojo, un botón de Borrar en color azul, los botones de navegación entre pantallas en caso de existir gran cantidad de alarmas, y el botón para regresar a la pantalla de inicio en color verde.

Pantalla de información



En esta pantalla se dispone de información correspondiente al proceso que se realiza en el equipo y la información de la empresa a la que pertenece el equipo, asimismo solo se dispone del botón para regresar a la pantalla de inicio.

Sistema de recaudación de datos

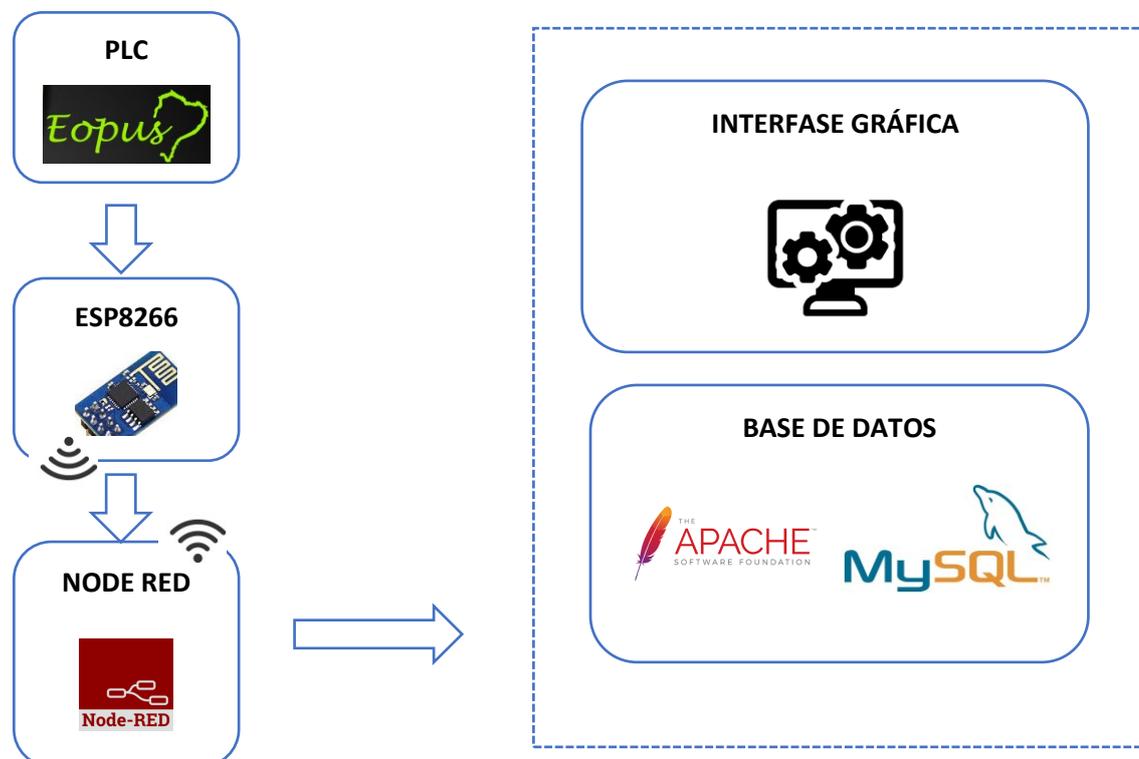
La implementación del sistema de recaudación de datos con servidor web consta de 3 partes, la comunicación del PLC con NODE RED, el diseño de la interfaz gráfica y la gestión de la Base de datos por medio de NODE RED.

Diagrama de conexión para la comunicación con el sistema de recaudación de datos.

En la Figura 34 se encuentra un diagrama de conexión entre el PLC y el Servidor web gestionado con NODE-RED.

Figura 34

Diagrama de transmisión de datos entre el PLC y el Servidor Web



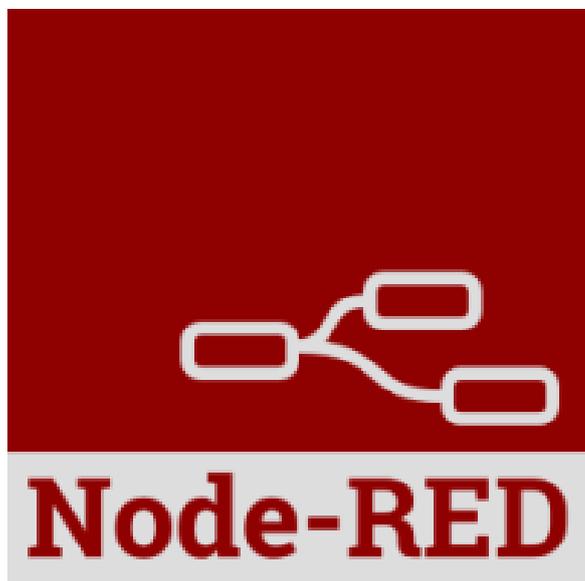
El PLC se conecta al módulo ESP8266 a través de uno de sus 3 puertos serie para enviar los parámetros de temperatura, humedad relativa y tiempo. Mientras que para enviar datos al servidor web la tarjeta ESP8266 lo hace a través de una conexión WIFI hacia NODE RED, dentro de este software se programa la interfaz gráfica y a la par se envía los valores a la base de datos de MYSQL levantada a través de APACHE.

Software de diseño

La interfaz gráfica está implementada a través de la herramienta de desarrollo open source NODE-RED, la cual trabaja con programación visual para conectar dispositivos de hardware, APIs y servicios en línea. La herramienta es robusta, de fácil aprendizaje, que se ha consolidado como una de las principales aplicaciones de gestión y transformación de datos en tiempo real para soluciones IoT e Industria 4.0. Node-RED trabaja gráficamente con bloques predefinidos para desarrollar una tarea

especifica, estos son conocidos con el nombre de nodos, pueden ser de entrada, procesamiento y salida. (OpenJS Foundation, 2022)

Figura 35 Logo de NODE-RED



Nota. Recuperado de OpenJS Foundation, (2022)

Para trabajar con NODE RED es necesario instalar Node JS en el ordenador en el que se va a trabajar, ya que proporciona la potencia suficiente para que Node-RED sea fiable y escalable. Para realizar la instalación se debe descargar el archivo de la última versión compatible con el sistema operativo en el que se está trabajando (Windows), accediendo a la página oficial de Node JS y siguiendo los pasos de instalación como cualquier otro programa de Windows.

Figura 36*Página oficial de descarga de Node.js*

Una vez instalado Node.js se continua con la descarga e instalación de paquetes de NODE RED, a través del terminal de comandos o CMD del ordenador, estos se instalarán en la dirección IP local del equipo o en 127.0.0.1:1880 o localhost:1880. Y finalmente se lo inicializa escribiendo en “*node-red*” en la pantalla de comandos “*Node.js comand prompt*” que se instala con node.js.

Figura 37*Inicio de NODE RED*

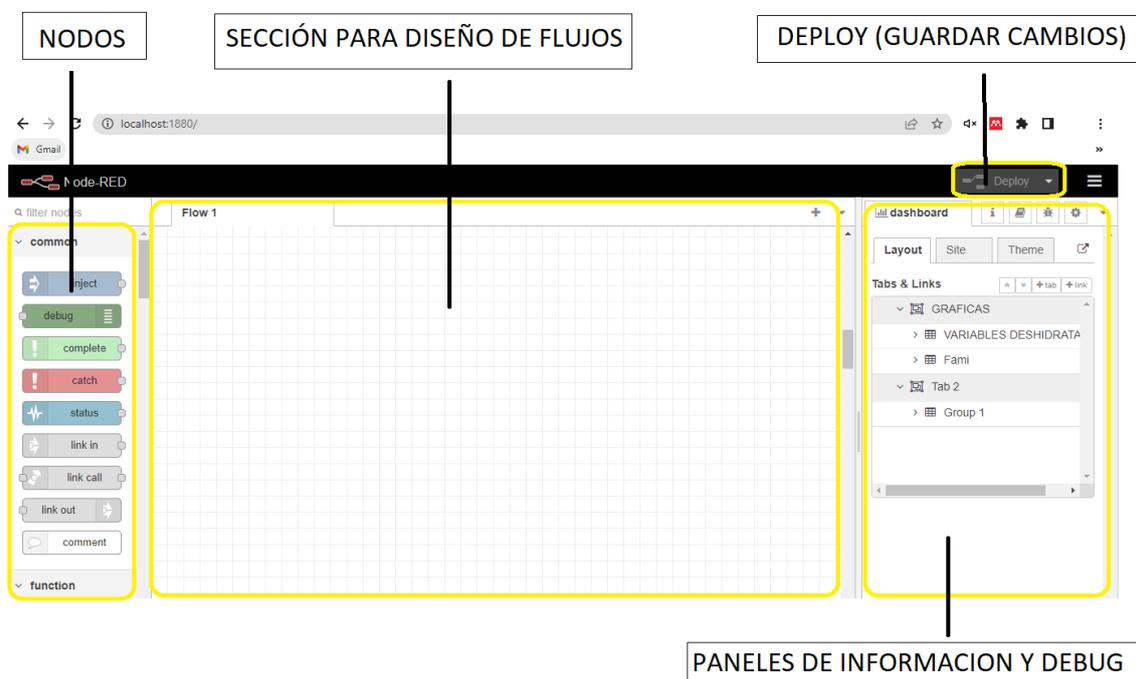
```

-----
13 Jul 23:47:11 - [info] Server now running at http://127.0.0.1:1880/
13 Jul 23:47:11 - [info] Starting flows
13 Jul 23:47:11 - [info] Started flows
  
```

Para acceder a la interfaz de diseño de NODE RED se coloca en cualquier navegador de internet la dirección IP en la que está instalado (localhost:1880). Dentro de la interfaz de diseño se

Figura 38

Interfaz de diseño de NODE RED



Nota. Dentro de la interfaz de diseño, se tienen diferentes ventanas que ayudan en la implementación de flujos y para la visualización de información.

Diseño de la interfaz grafica

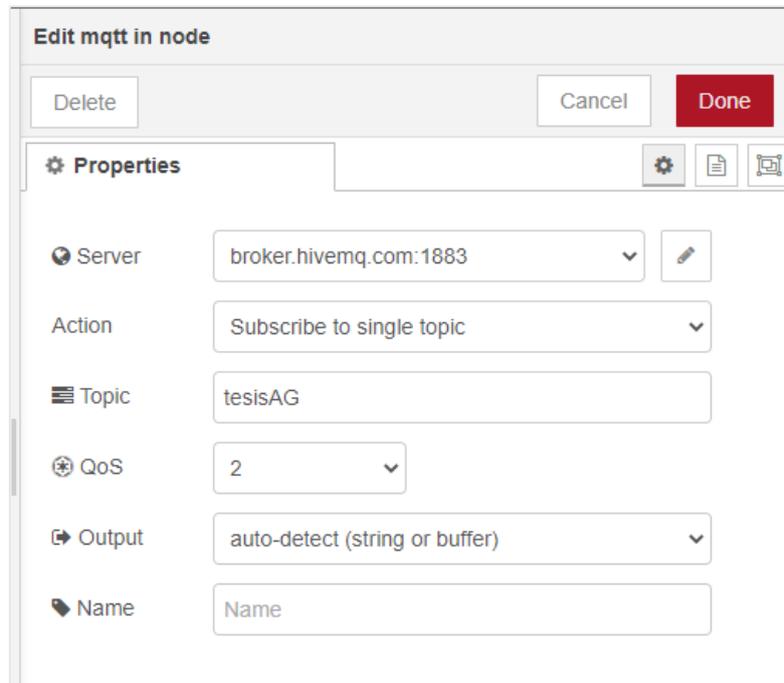
Los nodos principales que se usaron para diseñar la interfaz gráfica son los nodos de comunicación MQTT, nodos MySQL, nodos para la creación de gráficos, nodos de función.

- Nodo MQTT

MQTT son las siglas MQ Telemetry Transport, es usado para comunicar el ESP8266 con NODE RED, funciona a través de un servicio de mensajería push con patrón publicador/suscriptor (pub-sub) en cuya infraestructura los clientes se conectan con un servidor central denominado bróker por medio de una conexión TCP/IP manejando el puerto 1883 por defecto para MQTT. El bróker conserva un registro de los clientes conectados mientras la conexión esté abierta dando la facilidad al cliente de publicar un mensaje usando un “topic” específico para tenerlo a disposición cuando se requiera.

Figura 39

Configuración del nodo MQTT



The image shows a configuration window titled "Edit mqtt in node". At the top, there are three buttons: "Delete", "Cancel", and "Done". Below the buttons is a "Properties" section with a gear icon, a document icon, and a refresh icon. The configuration fields are:

- Server: broker.hivemq.com:1883
- Action: Subscribe to single topic
- Topic: tesisAG
- QoS: 2
- Output: auto-detect (string or buffer)
- Name: Name

Para la configuración del nodo basta con darle doble clic encima y se despliega la ventana de la Figura 39, en el cual se coloca el Bróker de conexión y el Topic por el cual se transmiten los mensajes. Para el prototipo implementado se utiliza el bróker gratuito "HIVEMQ" que basta con colocar el corredor "broker.hivemq.com" para que se puedan enrutar los datos.

- Nodo MySQL

Con este nodo se puede acceder fácilmente la base de datos creada en MySQL para registrar los datos necesarios; sin embargo, en la ventana de configuración se debe proporcionar los datos de usuario y contraseña de la base de datos a la que se quiere ingresar con el fin de manipular el contenido.

Figura 40*Configuración Nodo MySQL*

Edit mysql node > Edit MySQLdatabase node

Delete Cancel Update

⚙️ Properties 📄

🌐 Host 127.0.0.1

🔌 Port 3306

👤 User root

🔒 Password

🗄️ Database prueba1

🕒 Timezone ±hh:mm

🗿 Charset UTF8

📁 Name prueba

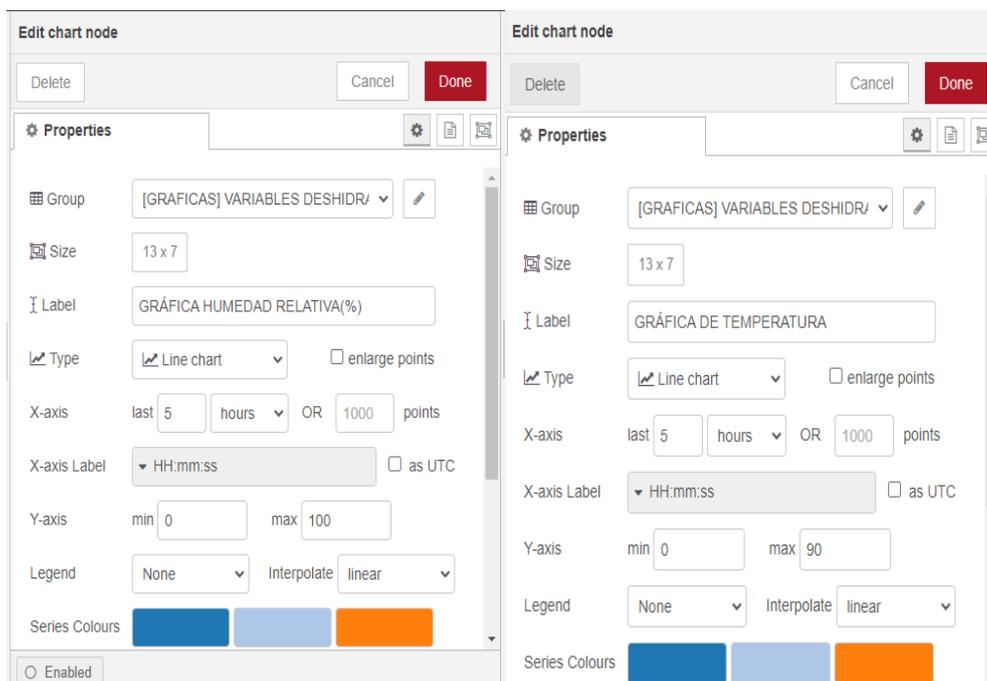
Tip: The timezone should be specified as ±hh:mm or leave blank for

- Nodo Chart para creación de gráficos

Para mostrar las curvas de humedad y temperatura se configuró 2 nodos Chart que permiten visualizar de forma gráfica los datos proporcionados a través de MQTT y mostrarlos en forma de curvas en el Dashboard. La configuración es sencilla, se coloca el nombre de la gráfica y los límites del eje X y del eje Y, ya que los datos son conectados directamente del nodo que contiene la función del valor a mostrar.

Figura 41

Configuración de Nodo Chart



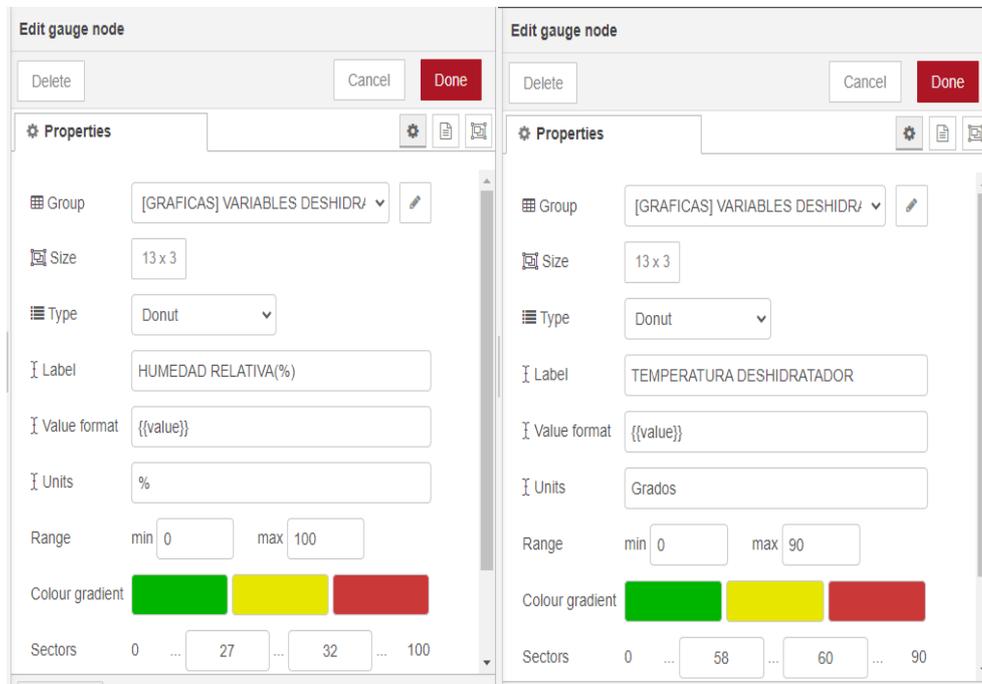
Nota. Para el caso de la variable de temperatura los límites en el eje Y son de 0 a 90 °C, y para la gráfica de humedad relativa es de 0 a 100%.

- Nodo Gauge

Es una herramienta grafica que permite mostrar los valores de temperatura y humedad en forma de manómetro, con valores limites identificados por colores. En la configuración coloca el nombre, rango y los límites para cada color asignado, para el caso de la temperatura los limites van en verde las temperaturas de 0 hasta el límite inferior que es 58 °C, en color amarillo desde el límite inferior hasta el set Point deseado, mientras que en rojo los valores superiores al Set Point; para la Humedad Relativa los limites son en verde de 0 a 27, en amarillo de 27 a 32 y rojo los valores superiores a 32, Figura 42.

Figura 42

Configuración Nodo Gauge

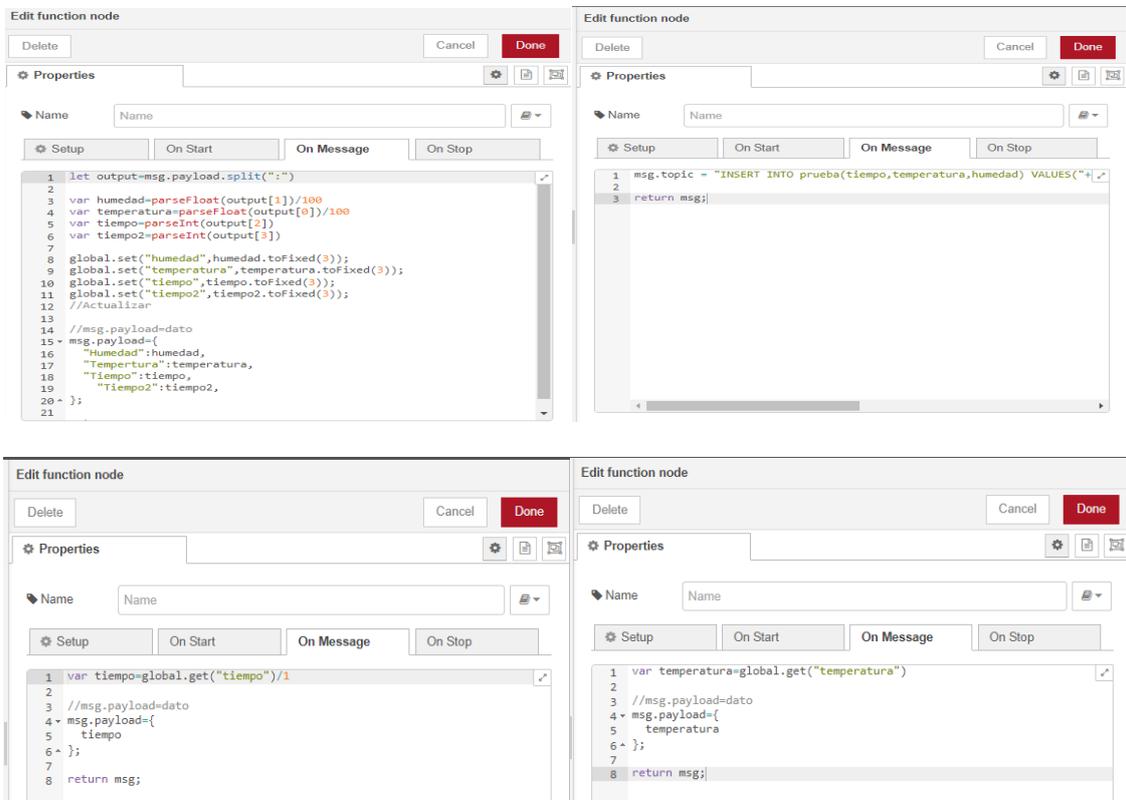


- Nodo de función.

Estos nodos permiten ejecutar cualquier código JavaScript para manipular los datos contenidos en el Topic. En este proyecto existen algunas funciones que permiten la manipulación de los valores de temperatura, humedad relativa y tiempo enviados desde el controlador para que sean compatibles con el resto de nodos.

Figura 43

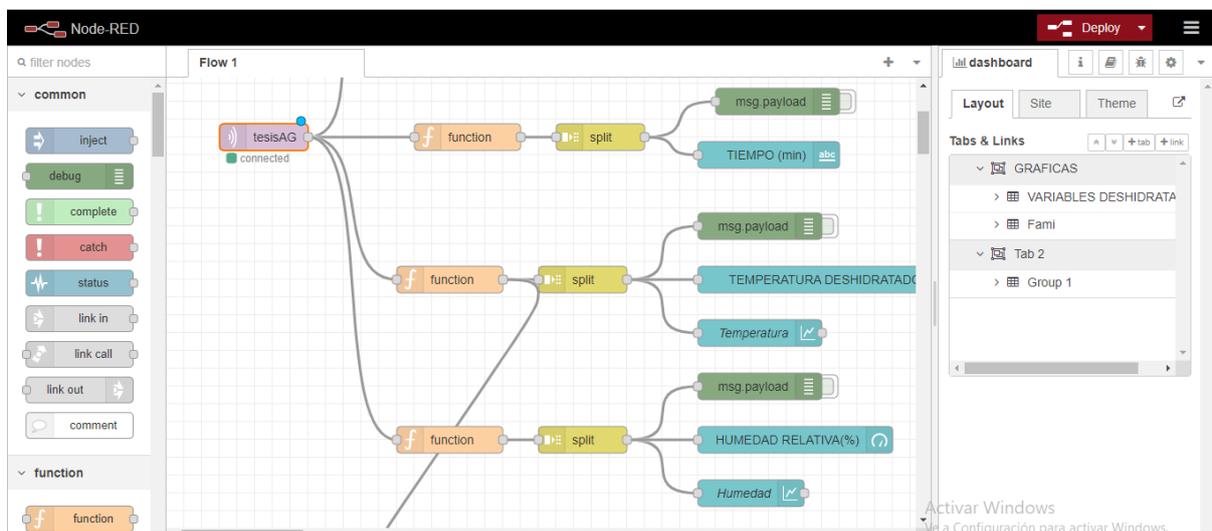
Nodo de funciones



En la Figura 44 se observa la conexión entre nodos para el registro de datos en la base de datos creada y a su vez para la visualización de la interfaz gráfica.

Figura 44

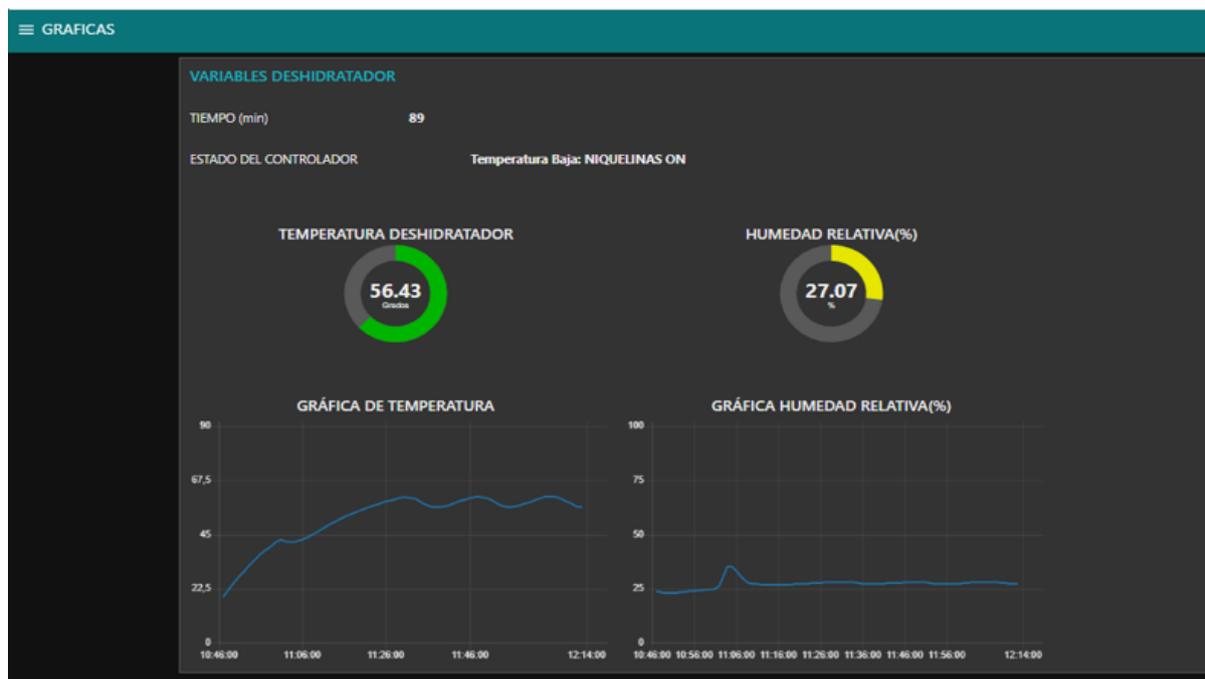
Conexión de nodos para la Interfaz gráfica y base de datos



En la Figura 45 se observa la interfaz gráfica que permite visualizar el tiempo de funcionamiento del proceso, el estado del controlador, el estado de las variables y las gráficas de temperatura y humedad relativa dentro de la cámara de secado.

Figura 45

Interfaz gráfica



Gestión de la Base de Datos

El servidor web utilizado para el monitoreo del proceso de deshidratado de alimentos fue APACHE, ya que es gratuito, de código abierto y compatible con casi todos los sistemas operativos por lo que se ha convertido en uno de los servidores web más utilizados para gestión de datos, al permitir el acceso al sistema de gestión de bases de datos MYSQL de forma rápida y comunicarla con NODE RED como software intermediario de comunicación para almacenar los datos de temperatura, Humedad relativa y tiempo. Para acceder a este servidor web existen varias formas de hacerlo, en este trabajo se realizó a través del proyecto XAMPP que permite iniciarlo de forma segura.

Para gestionar la base de datos del prototipo de deshidratadora de alimentos en la que se recaudan los valores de las variables de Temperatura, Humedad Relativa y Tiempo correspondientes al proceso de deshidratación de manzana realizado en la empresa ACSIMB CIA. LTDA, se realizan los siguientes pasos en su ordenador:

- Descargar el proyecto XAMPP que contenga el servidor APACHE e instalarlo en el ordenador.
- Abrir XAMPP e iniciar el servidor web APACHE.

Figura 46

Proyecto XAMPP.

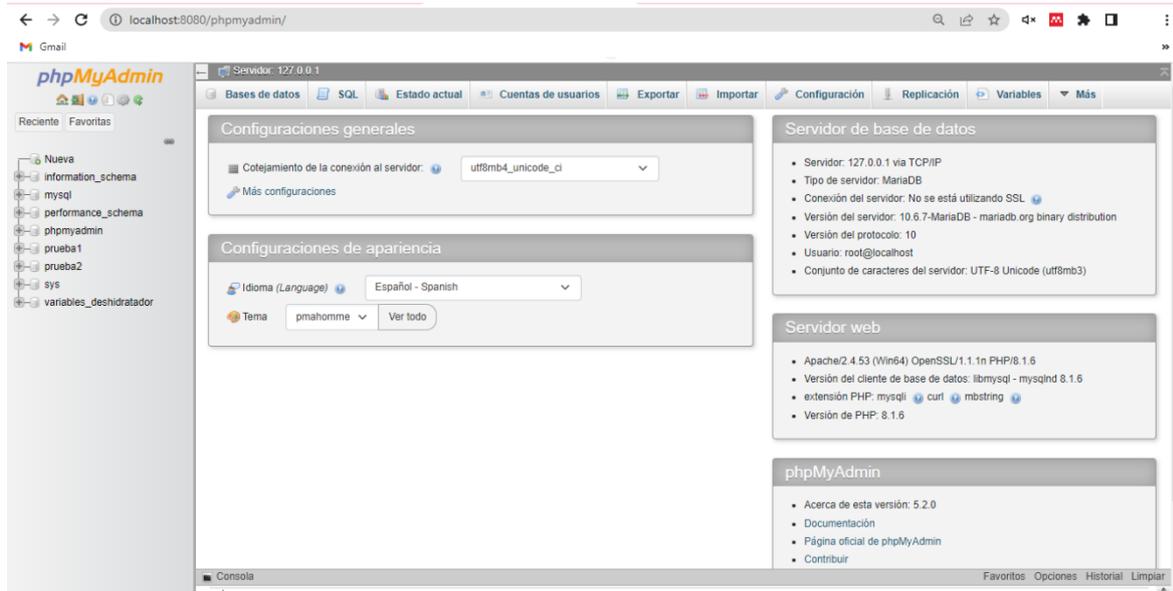


Nota. APACHE se inicializa en la dirección IP local del ordenador a través del puerto 8080.

- Acceder al navegador de internet con la dirección IP local en el puerto 8080 que es el asignado por defecto. Y se abrirá una página similar a la Figura 47.

Figura 47

Pantalla de inicio del servidor web APACHE

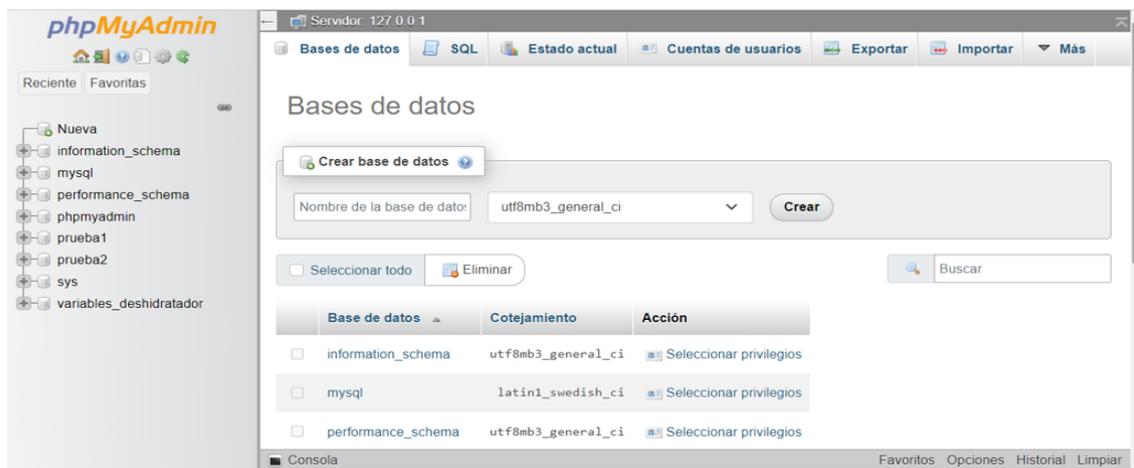


Nota. Se observa a lado derecho de la imagen las características del servidor web y del servidor de la base de datos que se están utilizando.

- Ingresar a la pestaña “Base de Datos” para crear una nueva base de datos en la que se recauden los datos deseados.

Figura 48

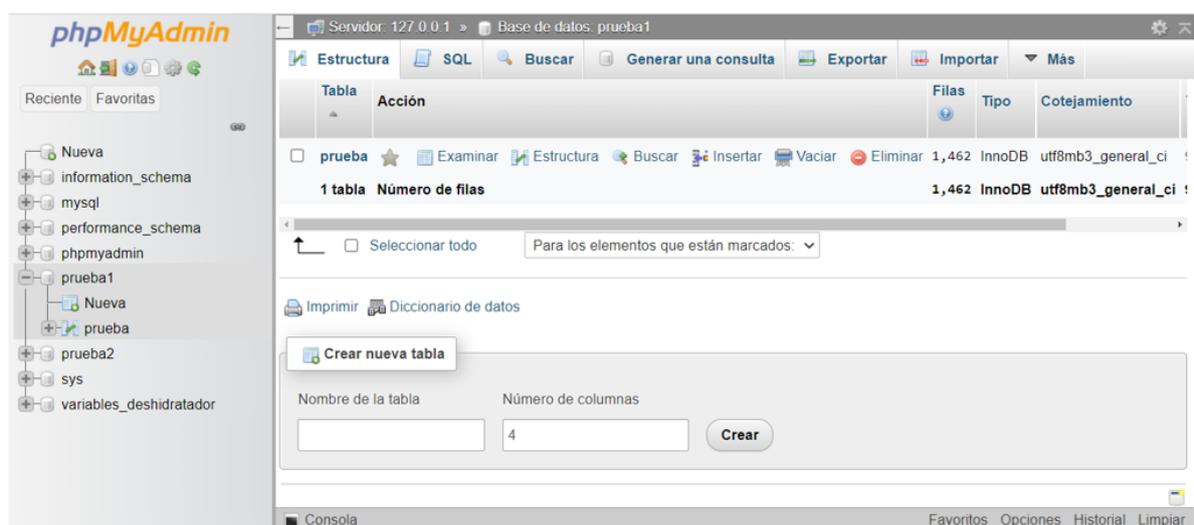
Pantalla para creación de una nueva base de datos.



- Crear la tabla de registro de datos con el número de columnas necesarias para el proyecto.

Figura 49

Creación de la tabla de registro de datos

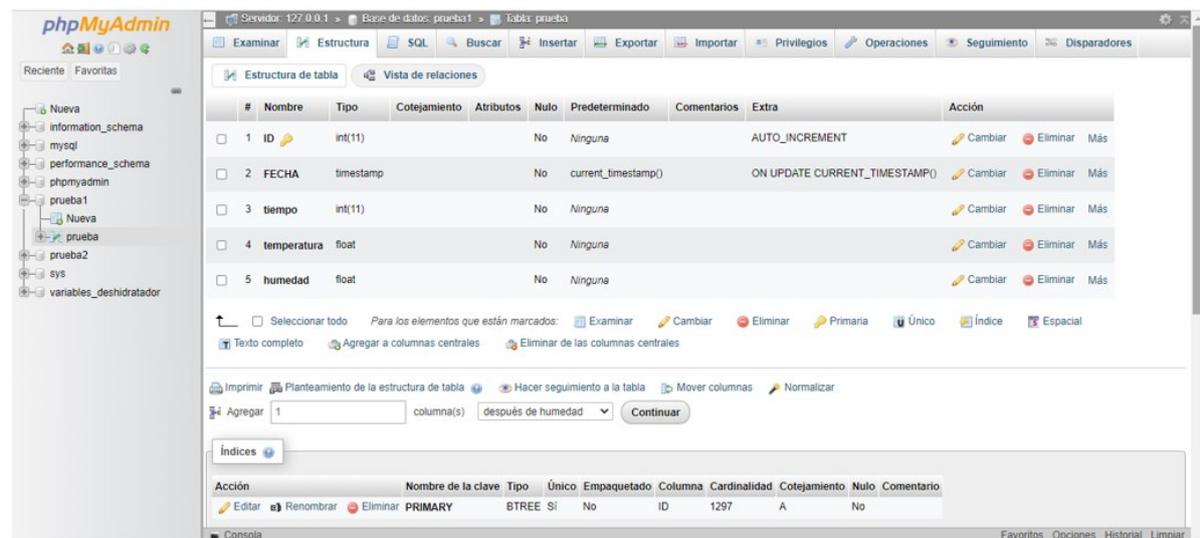


Nota. Para este proyecto la tabla consta de 5 columnas, ID, Fecha, Tiempo, Temperatura, Humedad.

- Colocar el nombre de la columna, y seleccionar en cada columna el tipo de dato al que corresponde.

Figura 50

Creación de las columnas necesarias para la recaudación de datos



Nota. La columna “ID” corresponde al Número de dato que ingresa por lo que se configura como “Primary Key” y con autoincremento, “Fecha” es de tipo TimeStamp y devuelve la Fecha y Hora en tiempo real del dato ingresado, las variables siguientes corresponden al Tiempo del proceso, Temperatura y Humedad Relativa de la cámara de secado, esto son los valores que se manipulan desde NODE RED.

- Finalmente se guardan los cambios de la base de datos creada.

Capítulo IV

Pruebas y análisis de resultados

En este capítulo se mostrará las pruebas realizadas con el prototipo de deshidratador de alimentos diseñado e implementado para la empresa ACSIMB CIA. LTDA. Las pruebas se derivan en 2 partes, la primera se enfoca en pruebas de operación para analizar el funcionamiento, el tiempo empleado y el porcentaje de final de deshidratado de la manzana, y la segunda está enfocada en el sistema de recaudación de datos basado en un Servidor Web, verificando el funcionamiento adecuado de la interfase gráfica y de la base de datos.

Protocolo de pruebas

La información de la Tabla 16 está levantada según la evaluación del funcionario a cargo del proyecto dentro de empresa ACSIMB CIA. LTDA.

Tabla 16

Protocolo de pruebas

Procedimiento	Satisfactorio	No satisfactorio
Diseño del prototipo	X	
Diseño del controlador	X	
Control de Temperatura	X	
Sistema de control de Humedad relativa	X	
Tiempo de trabajo	X	
Desempeño HMI	X	
Sistema de Recaudación de Datos	X	
Interfaz Gráfica	X	
Base de datos	X	
Deshidratación en las bandejas	X	

Pruebas de funcionamiento con carga de Manzana

El proceso de deshidratado duró un tiempo total de 225 minutos con el objetivo de reducir el porcentaje de humedad de la manzana, y para verificar el funcionamiento del prototipo se tomó el peso en cada bandeja de prueba cada 25 minutos. La carga total distribuida entre las bandejas fue de 733 gramos distribuidas entre cada bandeja, por lo que se utilizó la balanza de la Figura 20 para medir los valores reales de cada bandeja.

Prueba Bandeja superior

Al iniciar el proceso la bandeja superior alcanzaba la masa total de 436 gramos entre la bandeja y la materia prima, con el objetivo de reducir su peso y obtener un % de agua de 24%.

Tabla 17

Prueba 1 con carga de manzana - Bandeja superior

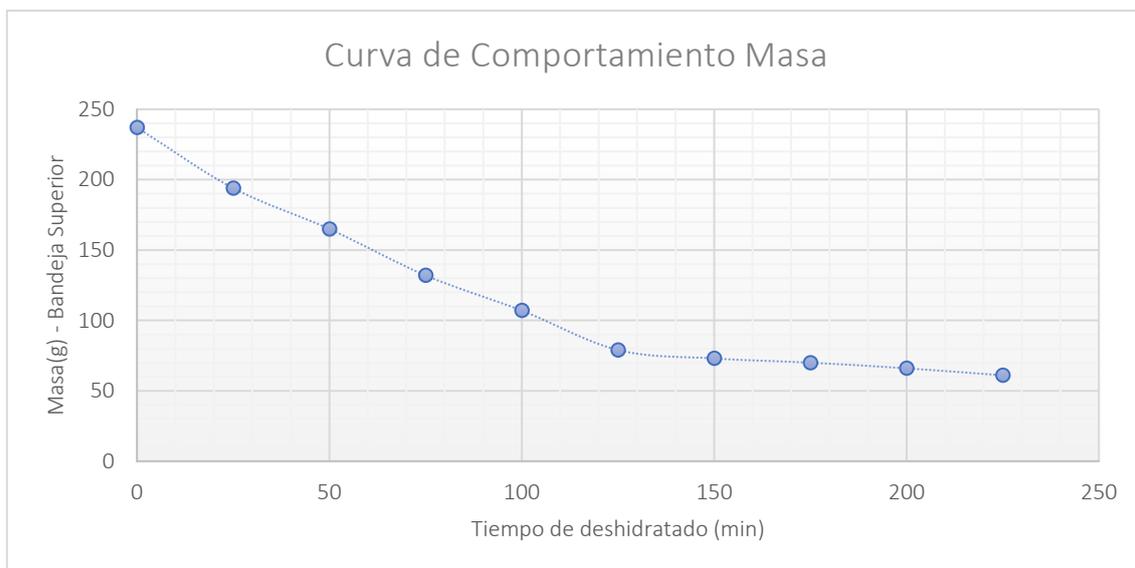
Tiempo de trabajo (min)	Masa de (Bandeja + Fruta) (g)	Masa inicial (g)	Masa final (%)	Humedad final (%)
0	437	237	100	85,7
25	394	194	81,86	70,15
50	365	165	69,62	59,66
75	332	132	55,70	47,73
100	307	107	45,15	38,69
125	279	79	33,33	28,57
150	273	73	30,80	26,40
175	270	70	29,54	25,31
200	266	66	27,85	23,87
225	261	61	25,74	22,06

Como se observa en los resultados de la Tabla 17, en la bandeja superior fueron necesarios 200 min para alcanzar el porcentaje de humedad requerido, dando como masa final un 25.74% con respecto a la masa inicial.

La Figura 51 muestra la curva de comportamiento de la masa en función del tiempo de deshidratado correspondiente a la Tabla 17.

Figura 51

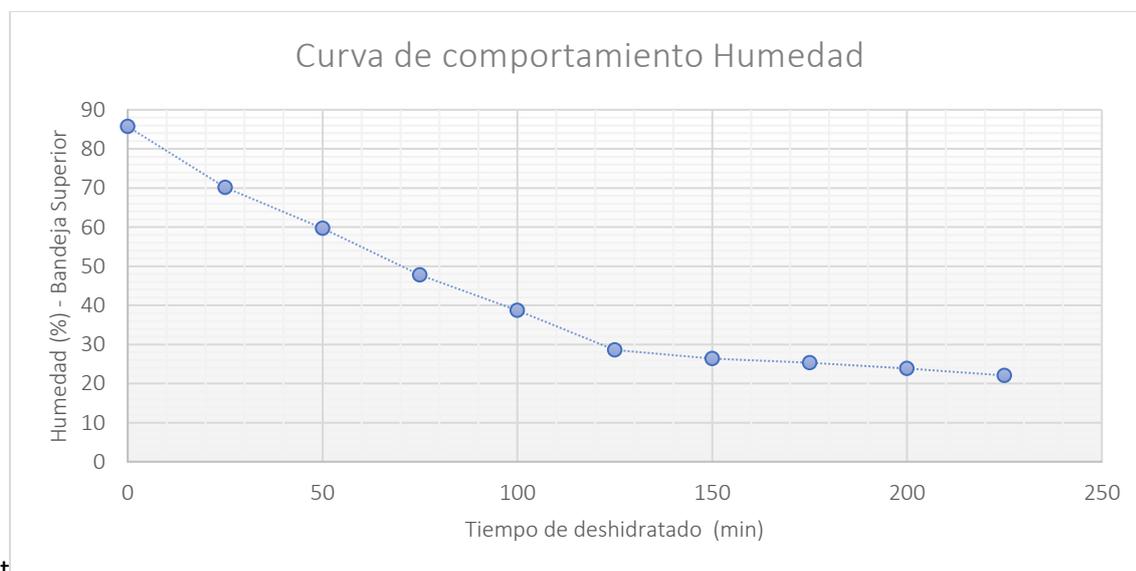
Curva de comportamiento de la Masa - Bandeja Superior



La Figura 52 muestra la curva de comportamiento del porcentaje de humedad en función del tiempo correspondiente a la Tabla 17.

Figura 52

Curva de comportamiento de la Humedad - Bandeja Inferior



Prueba Bandeja intermedia

La bandeja de nivel intermedio ingresó a la cámara de secado con un peso total de 454 gramos entre la bandeja y la materia prima.

Tabla 18

Prueba 2 con carga de manzana- Bandeja intermedia

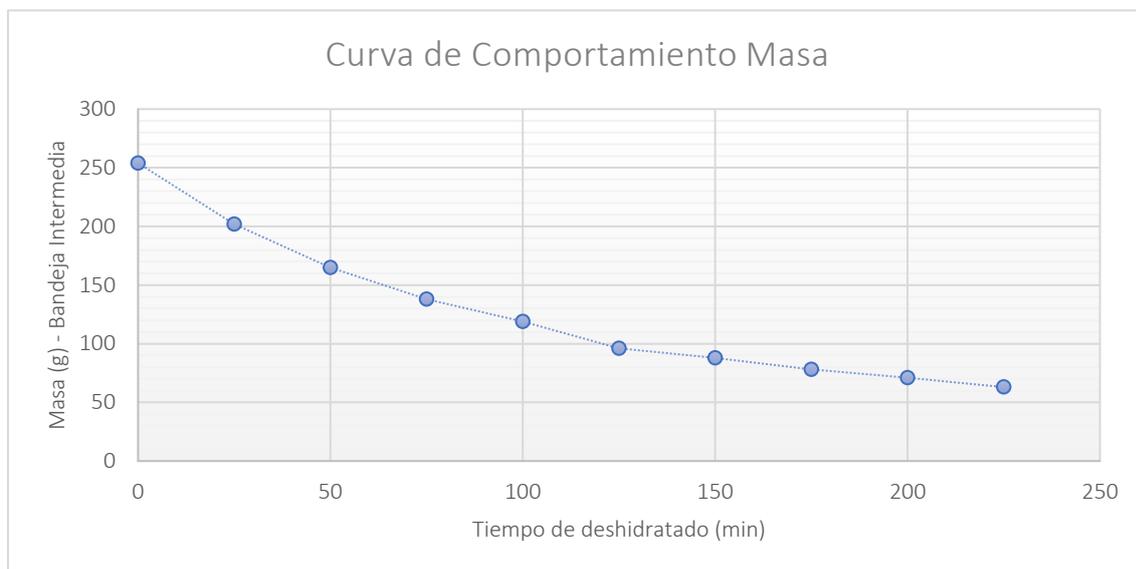
Tiempo de trabajo (min)	Masa inicial (Bandeja + Fruta) (g)	Masa Inicial (g)	Masa final (%)	Humedad final (%)
0	454	254	100	85,7
25	402	202	79,53	68,16
50	365	165	64,96	55,67
75	338	138	54,33	46,56
100	319	119	46,85	40,15
125	296	96	37,80	32,39
150	288	88	34,65	29,69
175	278	78	30,71	26,32
200	271	71	27,95	23,96
225	263	63	24,80	21,26

En la segunda bandeja de prueba se logra conseguir un 23.96% de humedad final en un tiempo de trabajo de 200 minutos.

La Figura 53 muestra la curva de comportamiento de la masa en función del tiempo correspondiente a la Tabla 17Tabla 18.

Figura 53

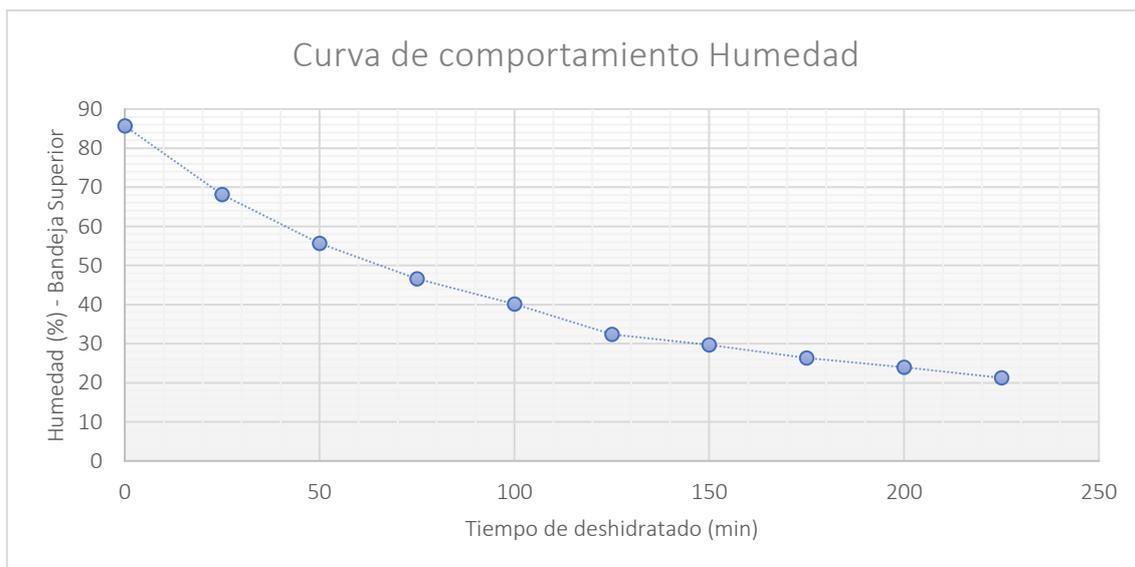
Masa en función de tiempo de deshidratado - Bandeja Intermedia



La Figura 54 muestra la curva de comportamiento del porcentaje de humedad en función del tiempo correspondiente a la Tabla 18.

Figura 54

Curva de comportamiento de la Humedad en función de tiempo de deshidratado - Bandeja Intermedia



Prueba Bandeja inferior

La tercera bandeja de prueba fue la de nivel inferior, cuyo peso inicial fue de 442 gr. entre la bandeja y las rodajas de manzana.

Tabla 19

Prueba 3 con carga de manzana - Bandeja inferior

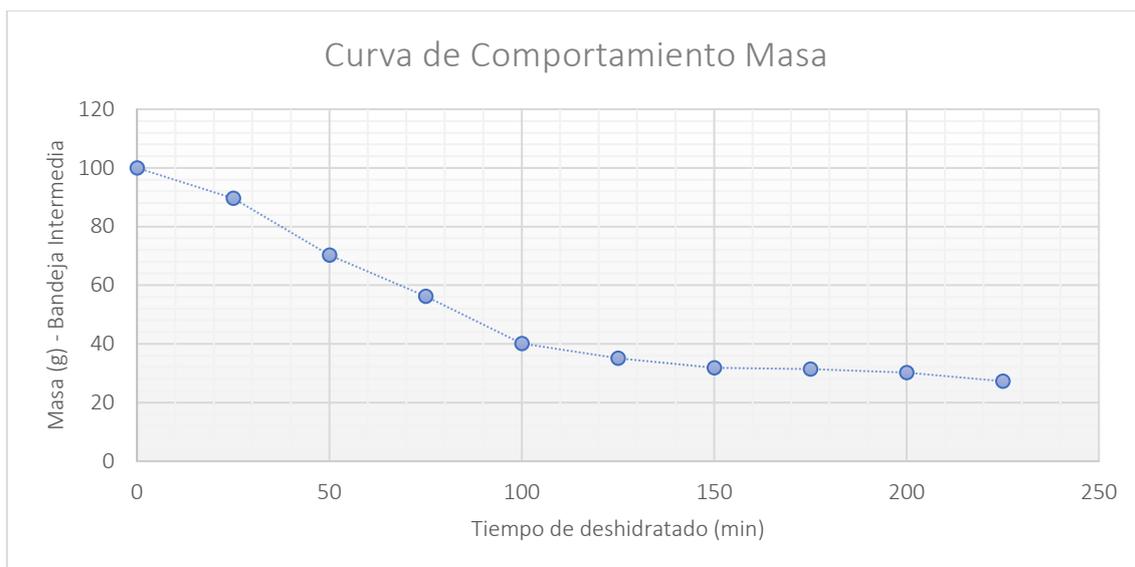
Tiempo de trabajo (min)	Masa inicial (Bandeja + Fruta) (g)	Masa Inicial (g)	Masa final (%)	Humedad final (%)
0	442	242	100	85,7
25	417	217	89,67	76,85
50	370	170	70,25	60,20
75	336	136	56,20	48,16
100	297	97	40,08	34,35
125	285	85	35,12	30,10
150	277	77	31,82	27,27
175	276	76	31,40	26,91
200	273	73	30,17	25,85
225	266	66	27,27	23,37

En la bandeja inferior fue necesario un tiempo aproximado de 225 para alcanzar el porcentaje de humedad requerido.

La Figura 55 muestra la curva de comportamiento de la masa en función del tiempo correspondiente a la Tabla 17Tabla 19.

Figura 55

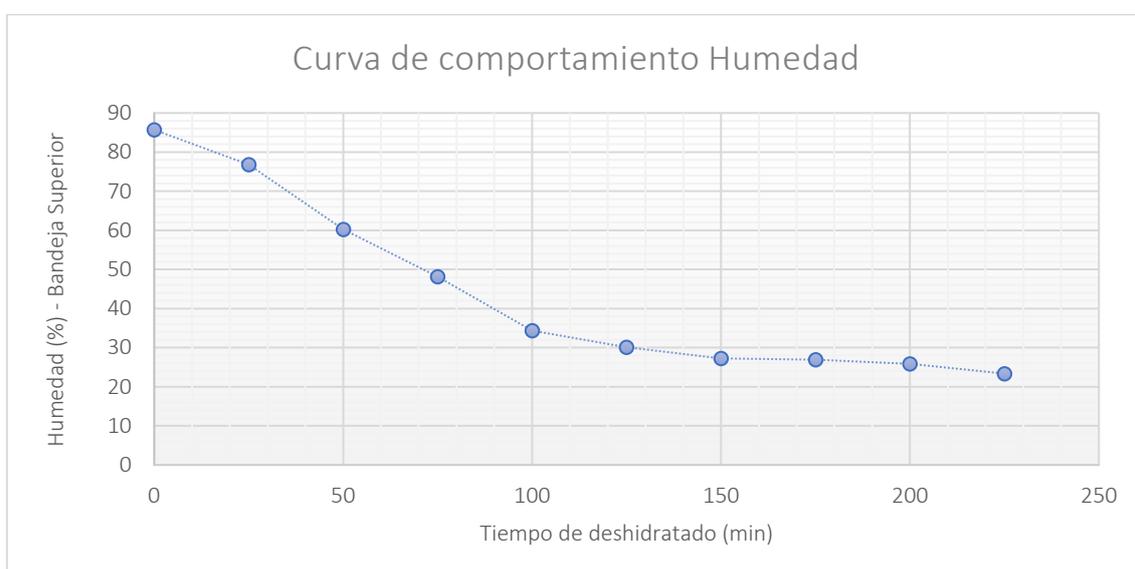
Masa en función de tiempo de deshidratado - Bandeja Inferior



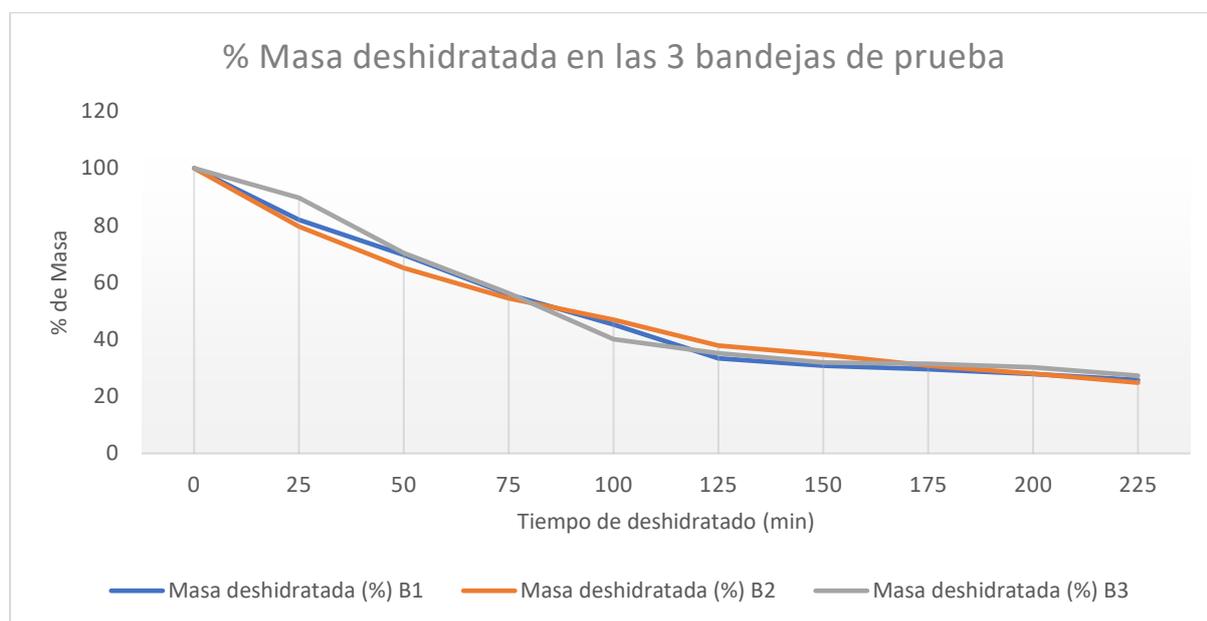
La Figura 56 muestra la curva de comportamiento del porcentaje de humedad en función del tiempo correspondiente a la Tabla 19.

Figura 56

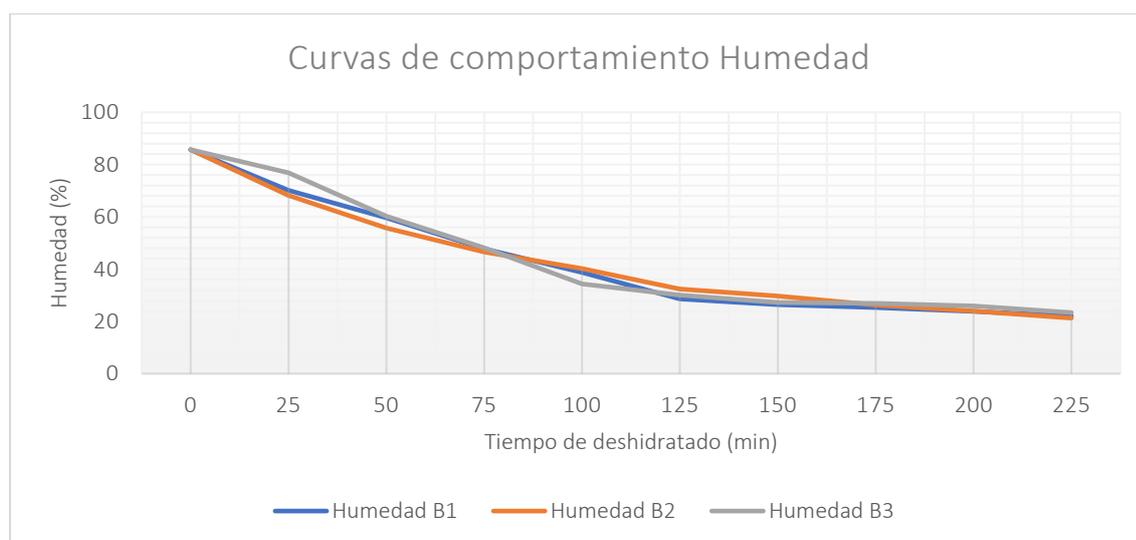
Curva de comportamiento de la Humedad en función de tiempo de deshidratado - Bandeja Inferior



Las siguientes figuras representan las curvas de comportamiento de la Masa al ser sometida a una temperatura de 60 °C, cada curva corresponde a las 3 bandejas de prueba. La Figura 57 muestra las variaciones en porcentaje de Masa con respecto al tiempo y la Figura 58 muestra las variaciones del porcentaje de humedad con respecto al tiempo.

Figura 57*Curvas de comportamiento Masa*

Nota. La curva en color azul representa los porcentajes de masa deshidratada de la bandeja 1, la curva en color tomate corresponde a la bandeja 2 y la curva en color gris corresponde a la bandeja número 3.

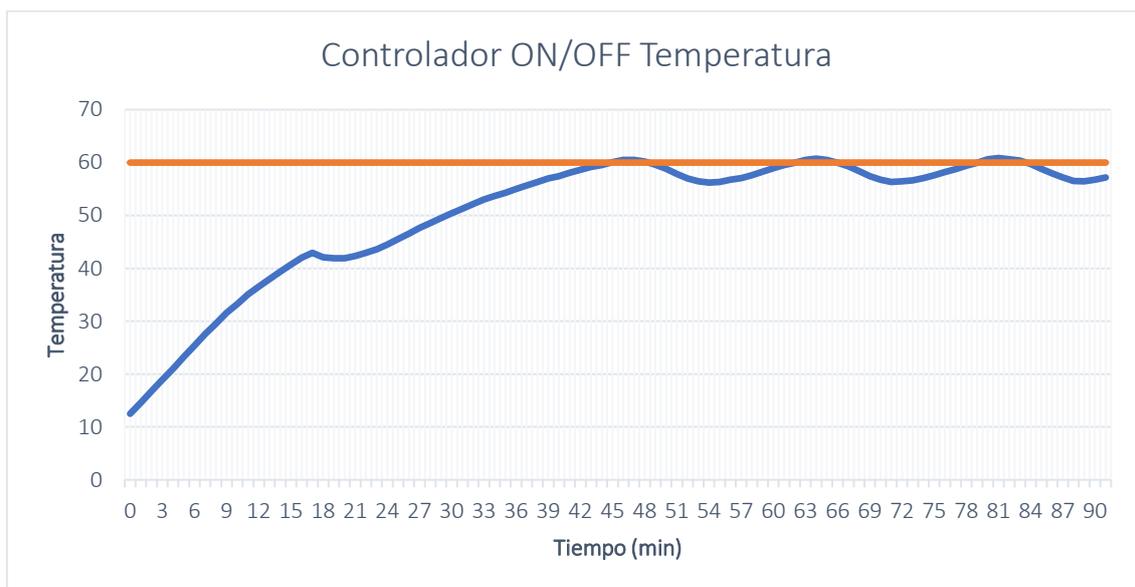
Figura 58*Curvas de comportamiento Humedad*

Curva de respuesta del controlador ON/OFF

La siguiente grafica se obtuvo del comportamiento del controlador ON/OFF utilizado para controlar la variable de temperatura dentro del prototipo de deshidratador creado.

Figura 59

Curva de respuesta del controlador ON/OFF de Temperatura



Nota. El Set Point para este proceso fue de 60°C con Histéresis inferior de 2°C.

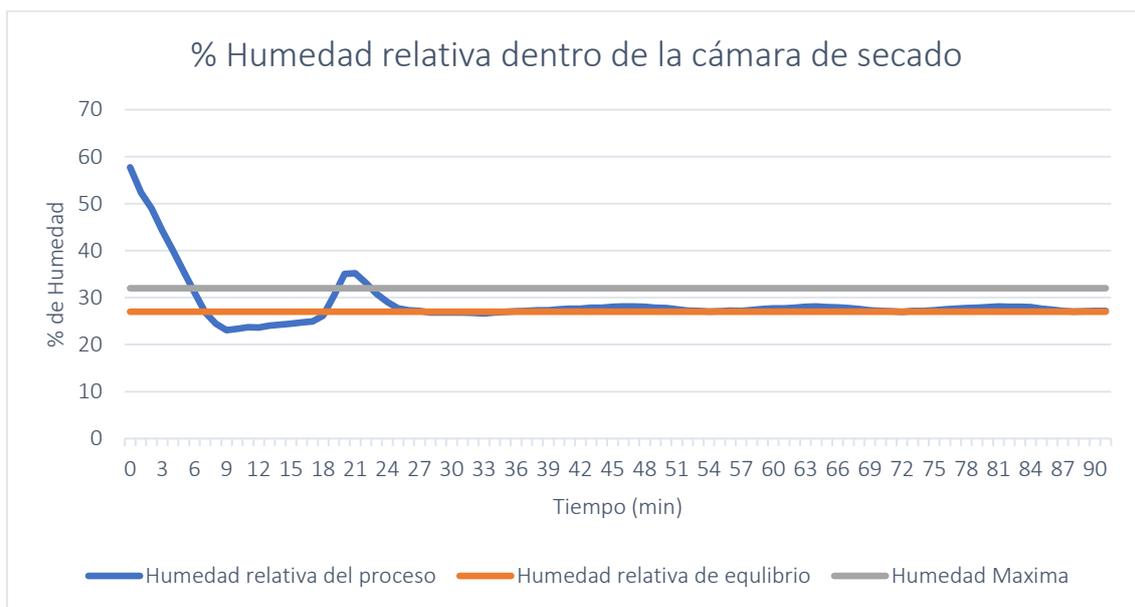
Se observa que el controlador ON/OFF funciona de manera continua y no presenta un sobreimpulso considerable, sin embargo, también se observa que en el proceso de temperatura existe una pérdida de calor al apagarse las resistencias eléctricas ya que tarda cierto tiempo en enfriarse lo suficiente para cumplir con histéresis deseada que en este caso es de 2°C, y se demora 5 minutos más para recompensar la caída de temperatura, dando como resultado la presencia de oscilaciones al entre el Set Point y el límite inferior.

Curva de comportamiento de la Humedad relativa dentro de la cámara de secado

La Figura 60 muestra el comportamiento de la humedad relativa dentro de la cámara de secado durante el proceso de deshidratado de manzana.

Figura 60

Curva de comportamiento de la Humedad relativa dentro de la cámara de secado.



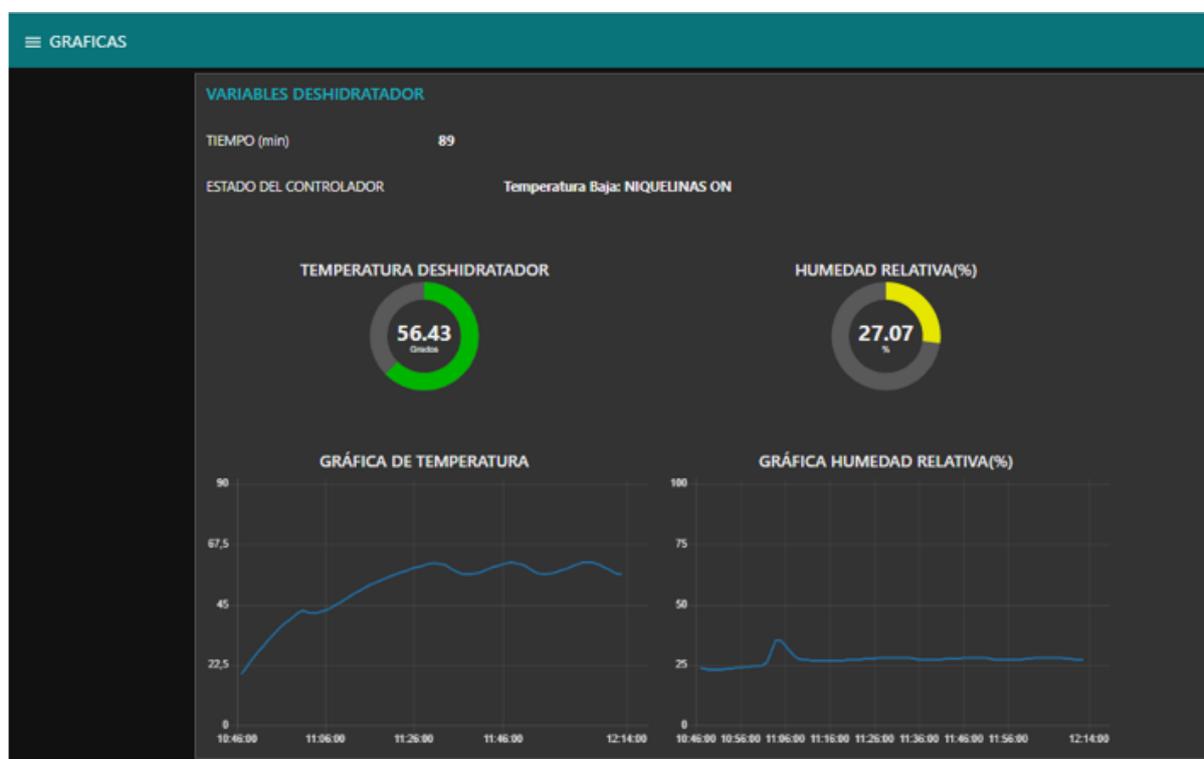
Se observa que la humedad relativa disminuye a medida que transcurre el tiempo de exposición a temperaturas superiores a la temperatura ambiente, hasta llegar a su punto de equilibrio, en este caso el punto de equilibrio oscila el 27%, mismo que está dentro del rango recomendado. El pico que se observa al minuto 21 se produjo una descompensación al ingresar las rodajas de manzana fresca.

Prueba de funcionamiento del sistema de recaudación de datos

La Figura 61 fue obtenida de la interfaz gráfica creada a través de NODE RED; los datos son los mismo que se guardaron en la base de datos levantada en ser servidor web Figura 62, cuyas graficas están plasmadas en la Figura 57Figura 59 y Figura 60, mismas que son exactas a las curvas de la siguiente figura.

Figura 61

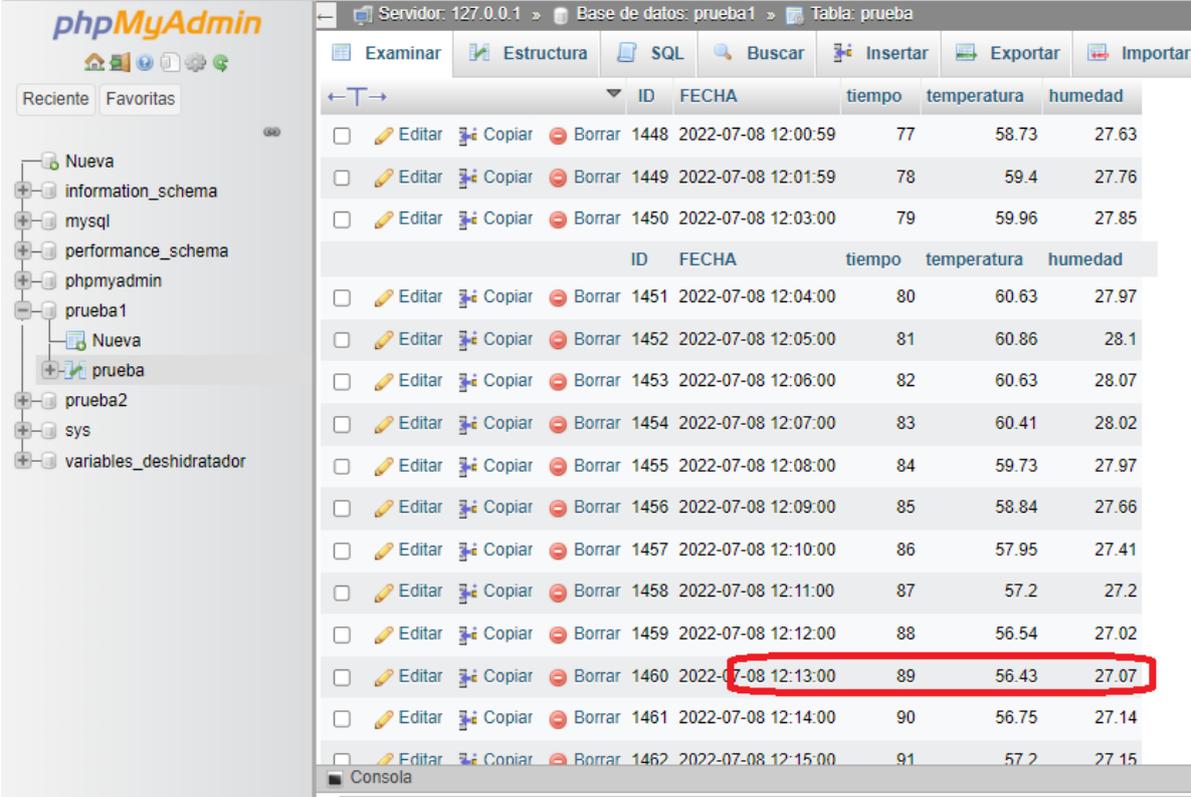
Funcionamiento de la Interfaz Gráfica



En la Figura 62 se encuentra la base de datos creada en el servidor web APACHE, en la que se pueden observar algunos valores correspondientes a las curvas mostradas en las figuras anteriores, asimismo se puede observar en color rojo los valores de Temperatura y Humedad correspondientes al minuto 89 del tiempo de funcionamiento del deshidratador, estos mismos valores están visibles de forma exacta en la Figura 61. Con esto se valida el funcionamiento del sistema de recaudación de información desarrollado para el prototipo de deshidratador de alimentos propuesto para la empresa ACSIMB CIA. LTDA.

Figura 62

Datos guardados en el servidor web



The screenshot shows the phpMyAdmin interface. On the left is a navigation tree with the database 'prueba1' selected and the table 'prueba' highlighted. The main area displays a table with the following data:

	ID	FECHA	tiempo	temperatura	humedad
<input type="checkbox"/>	1448	2022-07-08 12:00:59	77	58.73	27.63
<input type="checkbox"/>	1449	2022-07-08 12:01:59	78	59.4	27.76
<input type="checkbox"/>	1450	2022-07-08 12:03:00	79	59.96	27.85
	ID	FECHA	tiempo	temperatura	humedad
<input type="checkbox"/>	1451	2022-07-08 12:04:00	80	60.63	27.97
<input type="checkbox"/>	1452	2022-07-08 12:05:00	81	60.86	28.1
<input type="checkbox"/>	1453	2022-07-08 12:06:00	82	60.63	28.07
<input type="checkbox"/>	1454	2022-07-08 12:07:00	83	60.41	28.02
<input type="checkbox"/>	1455	2022-07-08 12:08:00	84	59.73	27.97
<input type="checkbox"/>	1456	2022-07-08 12:09:00	85	58.84	27.66
<input type="checkbox"/>	1457	2022-07-08 12:10:00	86	57.95	27.41
<input type="checkbox"/>	1458	2022-07-08 12:11:00	87	57.2	27.2
<input type="checkbox"/>	1459	2022-07-08 12:12:00	88	56.54	27.02
<input type="checkbox"/>	1460	2022-07-08 12:13:00	89	56.43	27.07
<input type="checkbox"/>	1461	2022-07-08 12:14:00	90	56.75	27.14
<input type="checkbox"/>	1462	2022-07-08 12:15:00	91	57.2	27.15

Nota. Los datos señalados en color rojo son los mismos que se observan en la Figura 61.

Análisis de resultados

Con los valores obtenidos en las pruebas realizadas y de acuerdo a las figuras anteriores, se observa que entre la bandeja 1 y 2, la masa se reduce en porcentajes equivalentes durante todo el tiempo de secado, mientras que en la bandeja número 3 existen ligeras variaciones al inicio del proceso, pero después de pasar la mitad del tiempo de trabajo empieza a igualarse a las curvas de las 2 bandejas superiores, por tanto al concluir el tiempo de trabajo se verifica que los porcentajes de masa deshidratada se aproximan entre ellos, dando como resultado que para obtener un valor aproximado al 24 % de humedad final en todas las bandejas son necesarias 3.4 horas aproximadamente.

El controlador de temperatura ON/OFF logró mantener la variable controlada cerca del Set Point deseado de 60 °C durante todo el tiempo de trabajo, además al apagarse el bloque de níquelinas, esto no produjo pérdidas de temperatura fuera de los rangos previstos, y con las acciones de control se logró compensar rápidamente las pérdidas a pesar de ser una variable relativamente lenta, demostrando así que el controlador funciona de forma correcta y es adecuado para el proceso diseñado.

La base de datos trabajó de forma continua con el PLC EOPUS CP06, por lo que se lograron recaudar todos los datos de temperatura y humedad enviados durante el período de precalentado y de deshidratado de la manzana, dejando como resultado curvas iguales entre los datos observados en la interfaz gráfica y las curvas generadas con los datos recaudados por el servidor web mediante la intervención de NODE RED, por tanto, el funcionamiento del sistema de recaudación de datos está validado.

Capítulo V

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

- El prototipo implementado resultó acorde a los parámetros de diseño requeridos por la empresa ACSIMB CIA. LTDA., logrando reducir el peso de las muestras a un 25 % de su peso inicial, manteniendo las características propias de la fruta como son el color y el sabor, observándose un cambio en la textura por la reducción del porcentaje de humedad.
- El controlador ON/OFF funcionó de forma continua a lo largo del proceso, manteniendo la variable controlada dentro de los límites estipulados, sin sufrir pérdidas excesivas en el periodo que las resistencias eléctricas se mantenían apagadas, y manteniendo un tiempo de recuperación constante frente al desabastecimiento de la fuente de calor, además se observa que frente a una perturbación este logra compensar la caída de temperatura en pocos minutos.
- El sistema de recaudación de información levantado para la recaudación de datos del deshidratador de alimentos implementado, logró conectarse al equipo a través del módulo ESP8266 y a la vez se comunicó con NODE RED para retransmitir los datos provenientes del controlador hacia la interfaz gráfica y el servidor web APACHE.
- Mediante las pruebas de operación del prototipo se determinó que el tiempo de secado para este proceso es de 205 minutos, el cual está dentro del tiempo calculado en el diseño, con esto se logró un porcentaje de masa final aproximado entre las bandejas.
- Los valores recaudados en la base de datos gestionada por el sistema de recaudación de datos demostraron el éxito en el funcionamiento del mismo puesto que las curvas de resultados fueron las mismas que se generaron en tiempo real en la Interfaz Gráfica.

Recomendaciones

- Para mejorar el desempeño del prototipo se pueden usar un solo ventilador de mejores características y un bloque de resistencias que genere calor en menor tiempo para que el tiempo de precalentado se reduzca.
- Debido a que el control de temperatura es un proceso lento, no es favorable tener un valor de histéresis muy alto ya que la compensación de calor tardará más tiempo y esto puede ser perjudicial para el caso de la manzana ya que tiende a oxidarse en períodos cortos de tiempo.
- Para mantener un secado uniforme entre las bandejas procure esperar el tiempo de precalentado necesario y revise que las características de los alimentos a procesar sean similares.
- Con el fin de evitar inconvenientes con el sistema de recaudación de información, el dispositivo ESP8266 debe estar configurado previamente con el bróker establecido en NODE RED, y así mismo debe estar iniciado el servidor web en el que se gestiona la base de datos.

Bibliografía

- ACSIMB. (2020). *Manual De Usuario EOPUS CP06a* (pp. 1–2). <http://www.acsimb.com/wp-content/uploads/2020/12/PLC-EOPUS-CP06-MANUAL-DE-USUARIO.pdf>
- AliExpress. (2022). *Sonda del sensor de temperatura NTC M8, medidor de temperatura del calentador de agua, para YF B7|water heater flow sensor|water flow meter sensorflow water sensor meter*. <https://es.aliexpress.com/item/32809245219.html>
- AREVALO SAENZ, S. T. (2017). *Agua En Los Alimentos* [UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA AMAZONÍA PERUANA]. http://www.qo.fcen.uba.ar/quimor/wp-content/uploads/12-8_EL_AGUA_EN_LOS_ALIMENTOS.pdf
- ARTEAGA, L. E. (2015). Diseño y construcción de prototipo de máquina deshidratadora y pulverizadora de cebolla. *Scientia et Technica*, 20(1), 26. <https://doi.org/10.22517/23447214.9312>
- Atlas, W. (2021). *Información detallada del clima y previsión meteorológica mensual*. Ambato, Ecuador. https://www.weather-atlas.com/es/ecuador/ambato-clima#humidity_relative
- Bautista, L. A., & Meza, D. F. (2016). *Diseño y construcción de una deshidratadora automática para frutas y verduras para la empresa SENSORTECSA S.A.* [ESPE]. <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/11606>
- Castañeda Miranda, A., González Parada, A., Guzmán Cabrera, R., & Ibarra Manzano, O. G. (2012). Desarrollo de un horno solar para el secado de plantas y vegetales usando control difuso. *Acta Universitaria*, 22(3), 14–19. <https://doi.org/10.15174/au.2012.380>
- Cayo, E. (2013). *Evaluación De Las Pérdidas De Energía En El transporte De Fluidos Alimenticios No Newtonianos En Tuberías* [Escuela Politécnica Nacional]. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/6751/1/CD-5135.pdf>

- CHAGÑAY, M. (2015). *UTILIZACIÓN DE LA PECTINA DE MANZANA EMILIA (Malus communis – reineta amarilla de blenheim), EN DIFERENTES PORCENTAJES (%) PARA LA ELABORACIÓN DE CREMA PASTELERA. ESPOCH 2016 [ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO].*
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/11532/1/84T00566.pdf>
- Eguillor, P. (2019). Pérdida y desperdicio de alimentos en el sector agrícola: avances y desafíos Febrero del 2019. *ODEPA Ministerio de Agricultura*, 2–14.
- Electronics, T. (2022). *Sensor de temperatura/humedad analógica.*
<https://www.taloselectronics.com/products/sensor-de-temperatura-y-humedad-analogico-amt1001>
- Heldan, Y., & Singh, R. (2001). *Introducción a la Ingeniería de los Alimentos.*
- León Rodríguez, A. J. (2017). *Diseño e implementación de un deshidratador híbrido con paneles fotovoltaicos.* 8.5.2017.
[https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/1892/Angel_Leon_Trabajo de Investigacion_Bachiller_2019.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/1892/Angel_Leon_Trabajo_de_Investigacion_Bachiller_2019.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
- LLUMIQUINGA, A. P., & SUQUILLO, B. S. (2015). Diseño y construcción de un prototipo de deshidratador de frutas de capacidad de 12 kg. Con circulación de aire forzado utilizando resistencias eléctricas. Autores: [Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito]. In *Tesis*.
<https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.39079>
- Maldonado, S., Santapaola, J. E., Singh, J., Torrez, M., & Garay, A. (2008). Cinética de la transferencia de masa durante la deshidratación osmótica de yacón (*Smallanthus sonchifolius*). *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 28(1), 251–256. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612008000100036>
- Meadows, M. E., Walski, T. M., Barnard, T. E., & Durrans, S. R. (2006). *Computer Applications in Hydraulic* (pp. 7–9).

- Miranda, J. C. (2016). *APUNTES DE INGENIERÍA MECÁNICA: TABLAS VISCOSIDAD*. <https://apuntes-ing-mecanica.blogspot.com/2016/08/tablas-viscosidad.html>
- ML. (2022). *Balanza Digital Electronic Kitchen Scale. Max 5kg*. https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-884050985-balanza-digital-electronic-kitchen-scale-max-5kg-_JM
- Moncayo, L. F. (n.d.). *CAUDAL Y PRESIÓN DEL VENTILADOR* (pp. 3–5).
- MT. (2020). *Psicrometría*. <http://www.sc.ehu.es/nmwmigaj/CartaPsy.htm>
- Muñoz Lucas, S., & Sanchez García, R. (2018). El agua en la industria alimentaria. *Boletín Sociedad Española Hidrología Medica*, 33(2), 4–5. <https://doi.org/10.23853/bsehm.2018.0571>
- MURILLO ARIAS, C. A. (2007). *DISEÑO DE UN DESHIDRATADOR DE CONVECCIÓN PARA FRUTAS Y VEGETALES CESAR* (Issue 235) [UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE]. <http://digilib.unila.ac.id/4949/15/BAB II.pdf>
- OpenJS Foundation. (2022). *Nodo-RED*. <https://nodered.org/>
- Orrego, Carlos. E. (2003). Procesamiento De Alimentos. In *Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales* (Issue 1).
- Padilla Méndez, I. D., & Palomo Urrutia, W. E. (2021). *Diseño e implementación de paneles remotos y control automático de los procesos de caudal y nivel, utilizando micro autómatas en el Laboratorio de Redes Industriales y Control de Procesos*. ESPE.
- Pomacarhua, C. (2020). *Manzana Delicia Perú*. <https://www.manzanadeliciaperu.com/la-manzana.html>
- Rojas-Berrío, S. P., Sánchez-Torres, M., & Topete-Barrera, C. (2021). Capítulo 3 Convección Natural. *Catálogo Editorial*, 39–108. <https://doi.org/10.15765/poli.v1i323.1862>

- Spiazzi, E., & Mascheroni, R. (2001). Modelo de deshidratación osmótica de alimentos vegetales. *MAT Serie A*, 4, 23–32. <https://doi.org/10.26422/mat.a.2001.4.spi>
- Thomas, S., Armor, J., Wright, P., & Yee, P. (2013). Manzanar. *The Western Historical Quarterly*, 21(3), 359. <https://doi.org/10.2307/969716>
- Universidad Nacional de la Plata. (2020). *Controlador lógico programable - PLC - Conocer tipos de controladores programables. Tipos de programaciones.*
- ÇENGEL, Y. A., & CIMBALA, J. M. (2006). Tablas de las propiedades del aire a 1 atm de presión. In McGraw-Hill (Ed.), *Mecánica de fluidos: Fundamentos y aplicaciones* (Primera). <http://www.usacoil.com/products/hotwater/details.cfm?rfnbr=51>

ANEXOS