

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica

TESIS

**DISEÑO DE SECADOR SOLAR PARA EL
DESHIDRATADO DE AGUAYMANTO**

Autores

BACH. JHON ALIN CAYETANO ILDEFONSO

BACH. ABIMAEEL ARTURO FERNANDEZ MARCELO

Para optar el Título Profesional de

Ingeniero Mecánico

Huancayo-Perú

2024

Repositorio Institucional Continental

Tesis digital



Esta obra está bajo una licencia “Creative Commons Atribución 4.0 Internacional”

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

A : Decano de la Facultad de Ingeniería
DE : Frank William Zárate Peña
Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 27 de Setiembre de 2024

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

Título:

DISEÑO DE SECADOR SOLAR PARA EL DESHIDRATADO DE AGUAYMANTO

Autores:

1. Abimael Arturo, FERNANDEZ MARCELO – EAP. Ingeniería Mecánica
2. Jhon Alin, CAYETANO ILDEFONSO – EAP. Ingeniería Mecánica

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 15 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores
Nº de palabras excluidas (**en caso de elegir "SI"**): SI NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI NO

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Dedicatoria

La presente investigación está dedicada a nuestra familia, que es la fuerza impulsora para consolidar nuestra profesión.

John y Arturo

Agradecimientos

Agradecemos a Dios por su benevolencia y la dicha de disfrutar la vida.

Asimismo, agradecemos a los catedráticos de la facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Continental, por haber volcado sus conocimientos en aras de sobresalir profesionalmente y formarnos como parte del engranaje que mueve la economía del país.

Al Mg. Frank William Zarate Peña, asesor de la presente investigación, quien contribuyó mediante sus correcciones y sugerencias para poder mejorar el presente informe.

A cada uno de mis colegas, amigos y profesionales que contribuyeron con el desarrollo de la presente investigación.

Resumen

Este proyecto se basa en la creación de un secador solar capaz de eliminar la humedad del aguaymanto en circunstancias similares a las de Huancayo, con una capacidad de 100 kg por proceso, sin embargo, este se puede usar para diferentes productos, tal es el secado de verduras o frutas. Dado que este componente está en estrecho contacto con los alimentos, las cualidades de los materiales utilizados en su construcción se han tenido en cuenta durante todo el proceso de diseño. Un ejemplo de ello es la cámara de secado, construida en acero inoxidable, un colector de hierro galvanizado, vidrio templado y espejos que optimizan la recolección de calor, asimismo se consideró el diseño de un panel fotovoltaico que permitirá controlar los parámetros de secado como son la humedad y la temperatura de ingreso, finalmente en la investigación se muestran los planos a detalle, utilizando Autocad e Inventor. La energía necesaria para hacer funcionar el deshidratador se suministra mediante la electricidad generada por un panel solar, llegando a la conclusión secador solar tiene tres componentes, un colector, una cámara de secado y un sistema de panel fotovoltaico a condiciones de Huancayo, con una eficiencia de 80 %, temperatura promedio anual de 12.1°C y capacidad para secar 100 kilos de aguaymanto seco. Considerando estos parámetros, el colector tiene una dimensión de 237 x 237 cm; la cámara, un área de 0.815 m², y el panel solar con una capacidad para producir 5.22 A.

Palabras clave: secador solar, frutos deshidratados, panel solar, energía fotovoltaica.

Abstract

This project is predicated on the development of a solar dryer that is able to remove moisture from aguaymanto in conditions that are similar to those that exist in Huancayo., with a capacity of 100 kg per process, however, may be put to use for a variety of different products, such as drying vegetables or fruits. During the design process, the properties of the various materials were taken into consideration, similar to how the separating camera has to be prepared, which is made of stainless steel, since this material is directly in contact with food, a galvanized iron collector, tempered glass and mirrors. that optimize the collection of heat, also the design of a photovoltaic panel was considered that will allow to controlling drying parameters such as relative humidity and initial temperature, finally in the investigation the plans are shown in detail, using Autocad and inventor, The The energy supply of the dehydrator is obtained through the energy produced by a photovoltaic panel, reaching the conclusion that the solar dryer has three components, a collector, a drying chamber and a photovoltaic panel system at Huancayo conditions, with an efficiency of 80 %, average annual temperature of 12.1°C and capacity to dry 100 kilos of dry golden gooseberry. Considering these parameters, the collector has a dimension of 237 x 237 cm, the chamber has an area of 0.815 m², a solar panel with a capacity to produce 5.22 A.

Keywords: Solar dryer, dehydrated fruits, solar panel, photovoltaic energy.

Índice de contenidos

Agradecimientos	5
Resumen.....	6
Abstract.....	7
Índice de contenidos	8
Índice de tablas	11
Índice de figuras.....	12
Introducción	14
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
1.1 Planteamiento y formulación del problema	16
1.1.1 Problema general	18
1.1.2 Problemas específicos.....	18
1.2 Objetivos de la Investigación	18
1.1.3 Objetivo general	18
1.1.4 Objetivos específicos	18
1.3 Justificación e importancia.....	19
1.4 Delimitación del proyecto	19
1.5 Hipótesis y variables	20
1.5.1 Hipótesis de investigación	20
1.5.2 Variables de investigación.....	20
1.5.3Cuadro de variables	21
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	22
2.1 Antecedentes de la Investigación	22
2.2 Bases Teóricas.....	25
2.2.1 Deshidratado de alimentos.....	25
2.2.2 Componentes básicos para el diseño de un secador o deshidratador de frutas	28
2.2.3 Energía solar	34
2.2.4 Usos de la energía solar	34

2.2.4.1	Radiación solar en la región Junín.....	35
2.2.5	Funcionamiento de un secador solar.....	36
2.2.5.1	Desempeño del producto	37
2.2.5.2	Curvas de secado	37
2.2.5.3	% Humedad base seca (CHs).....	37
2.2.5.4	Velocidad de secado	38
2.2.5.5	Cálculo de la ratio de secado	38
2.2.5.6	Cálculo de la humedad del aire.....	38
2.2.6	Proceso de preparación de la fruta para el deshidratado.....	39
2.2.7	Secado del aguaymanto	39
2.2.7.1	Análisis físico-químicos en aguaymanto fresco y deshidratado	40
2.2.7.2	Aguaymanto (<i>Physalis peruviana</i>).....	41
2.2.7.3	Origen y distribución	41
2.2.7.4	Clasificación científica.....	42
2.2.7.5	Composición nutricional del aguaymanto (<i>Physalis peruviana</i>)	42
2.2.7.6	Descripción botánica.....	43
2.2.7.7	Características nutricionales y terapéuticas del aguaymanto (<i>Physalis peruviana</i>).....	44
2.2.8	Frutas secas.....	45
2.2.8.1	Definición de frutas secas	45
2.2.8.2	Definición de deshidratación de aguaymanto	45
2.2.8.3	Requisitos de aguaymanto deshidratado	45
2.3	Definición de Términos Básicos	46
CAPÍTULO III METODOLOGÍA		48
3.1	Método, Tipo o Alcance de la Investigación.....	48
3.1.1	Enfoque de investigación.....	48
3.1.2	Tipo de investigación	48
3.1.3	Alcance de investigación	48
3.1.4	Diseño de investigación	49
3.2	Metodología de diseño	49
3.2.1	Lista de exigencias.....	49
3.2.2	Abstracción de la caja negra	51
3.2.3	Estructura de funciones (caja blanca)	52
3.2.4	Matriz morfológica	54
3.2.5	Evaluación de la matriz morfológica	55
CAPÍTULO IV RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN		58

4.1	Cálculos pertinentes al diseño mecánico de la secadora de aguaymanto	58
4.1.1	Planteamiento del diseño mecánico del secador	58
4.1.2	Diseño del secador	58
4.1.3	Diseño de la cámara de secado	60
4.1.4	Diseño del colector	67
4.1.1	Diseño de la parte electrónica y de control	71
4.1.5	Análisis de la parte electrónica	78
4.1.2	Diseño del sistema con paneles fotovoltaicos	79
4.1.3	Diagrama del sistema fotovoltaico.....	84
4.1.4	Componentes del sistema fotovoltaico.....	85
4.1.5	Batería.....	87
4.1.6	Regulador de carga	91
4.1.7	Asignación del tablero de control	93
4.1.6	Simulación de secado de aguaymanto	94
CAPÍTULO V DISCUSIÓN DE RESULTADOS		96
5.1	Discusión de Resultados	96
CONCLUSIONES		102
Anexo 1. Matriz de consistencia.....		107
Problemas específicos.....		107
Objetivos específico.....		107
Hipótesis de investigación		107
Anexo 2: Datos de la simulación		108
Anexo 3. Planos de diseño.....		109
Anexo 4. Fichas técnicas.....		116
Anexo 5. Vistas fotográficas.....		122

Índice de tablas

Tabla 1. Estimación mensual media de la radiación solar global cotidiana utilizando el tipo empírico Bristow-Campbell de las estaciones meteorológicas ubicadas en Ingenio.	36
Tabla 2. Presión de saturación en función a la temperatura.....	39
Tabla 3. Clasificación científica del aguaymanto	42
Tabla 4. Estructura y valor nutricional del aguaymanto	43
Tabla 5. Valor nutricional del aguaymanto fresco por 100 g. de porción comestible	43
Tabla 6. Parámetros de humedad y temperatura.....	45
Tabla 7 Lista de exigencias del diseño del secador solar para deshidratado de aguaymanto ..	51
Tabla 8 Propuesta de materiales para la construcción del colector.....	70
Tabla 9. Se contraponen el vidrio templado y el vidrio normal.....	70
Tabla 10. Principales características del PIC 16F877A.....	77
Tabla 11 Coordenadas UTM Huancayo.....	79
Tabla 12 Nivel de radiación durante el 2021	79
Tabla 13 Niveles de radiación en sus valores más altos, más bajos y más típicos	80
Tabla 14 Características de funcionamiento	81
Tabla 15 En función de la latitud, los paneles fotovoltaicos se inclinan	82
Tabla 16. STC° significa “rendimiento en condiciones de ensayo estándar”.....	86
Tabla 17. Actúa a 800 W/m ² , NOCT, AM 1.5.....	86
Tabla 18. Datos de control de temperatura	95
Tabla 19. Parámetros medioambientales de diseño	97
Tabla 20. Parámetros iniciales del aguaymanto.....	98
Tabla 21. Simulación de resultados con los datos ingresados	99

Índice de figuras

Figura 1. Isoterma para el contenido de humedad en equilibrio para un alimento seco	28
Figura 2. Etapas de secado del alimento con aire caliente	29
Figura 3. Esquema de conducción de calor a través de una pared plana	31
Figura 4. Transferencia de calor por convección desde una superficie caliente al medio ambiente.....	32
Figura 5. Esquema de mecanismo de transferencia de calor por radiación	33
Figura 6. El aguaymanto (<i>Physalis peruviana</i>)	41
Figura 7. Valores de calor específico a 1 atm y 15 °C	64
Figura 8. Acero inoxidable 304	66
Figura 9. Soldadura TIG	67
Figura 10. Componentes de un colector solar plano.....	67
Figura 11. Dimensiones del colector solar.....	69
Figura 12. Modelo del colector a diseñar.....	71
Figura 13. Diagrama de bloques del circuito	71
Figura 14. Esquema del sistema.....	72
Figura 15. Sensor de temperatura LM35	73
Figura 16. Circuito de acondicionamiento de señal.....	74
Figura 17. Sensor de humedad HIH4000.....	74
Figura 18. Circuito de adaptación del sensor de humedad	75
Figura 19. Aspecto físico del PIC Fuente: PIC 16f87XA Microchip	77
Figura 20. LCD 16x2	78
Figura 21. Energía solar de onda corta incidente diaria promedio en Febrero para la ciudad de Huancayo.	78
Figura 22. Angulo de inclinación del panel fotovoltaico.....	82
Figura 23. Diagrama del sistema fotovoltaico	85
Figura 24. Funcionamiento del panel solar.....	85
Figura 25. Datos constructivos del panel solar SW150	87

Figura 26. Curva I-V del módulo SW150.....	87
Figura 27. Modelo y dimensiones de la batería	89
Figura 28. Efecto de la temperatura en la vida de flotación a largo plazo	89
Figura 29. Efectos de temperatura en almacenamiento	90
Figura 30. Curva característica de descarga.....	90
Figura 31. Controlador 12 V 10 A LD2420C de LDSOLAR	92
Figura 32. Controlador 12 V 10 A LD2420C de LDSOLAR	92
Figura 33. Foto del tablero de control del secador de aguaymanto	93
Figura 34. Esquema eléctrico de control.....	94
Figura 35. Control de temperatura	95
Figura 36. Simulación de secado a 36 horas a condiciones establecidas.....	100
Figura 37. Gráfico del comportamiento de la humedad en función al tiempo y estimación del modelo matemático.....	100
Figura 38. Propuesta de diseño	101

Introducción

En la actualidad, los secadores mecánicos representan un gasto considerable y hacen uso de combustibles como la electricidad, el carbón y otros procedentes del petróleo. Estos dispositivos emiten dióxido de carbono, a veces conocido como CO₂, que se suma al efecto invernadero y acelera el calentamiento del planeta. Por lo tanto, creemos que las fuentes de energía renovable no convencional se erigen como una verdadera alternativa tanto a nivel artesanal como industrial, promoviendo la protección del entorno seco.

En cuanto a los secadores solares para productos agrícolas, constan de dos componentes fundamentales: un compilador (colector) solar que aumenta la temperatura del aire mediante radiación y la cámara de secado que circula el aire para deshidratar el producto. Además de ser más ahorrador que los secadores eléctricos tradicionales, necesitan solo una modesta cantidad de calor. El colector solar se destaca por su eficiencia y la ausencia de necesidad de almacenamiento de energía.

En este caso particular, consideremos el aguaymanto, un fruto andino que se puede consumir directamente, pero que también puede ofrecerse en forma deshidratada para agregarle valor y facilitar su comercialización e incluso exportación. El diseño de secador solar específico acelera el transcurso de secado de este fruto a tan solo dos días y medio, lo que permite obtener aguaymanto deshidratado de manera rápida.

En vista de ello, el propósito del presente estudio es presentar una propuesta de un diseño de secador solar de convección forzada destinado al secado del aguaymanto, con la finalidad de agregar valor a este fruto. El deshidratador es un dispositivo que separa una cierta cantidad de agua de los alimentos y se utiliza sobre todo en el proceso de conservación de alimentos, generando un provecho de consumo que no se deteriora con el pasar los días. Los conceptos de transmisión de calor y masa han servido de base para esta investigación, que son herramientas esenciales para analizar los procesos de deshidratación de alimentos.

En este proyecto se desarrolló un prototipo capaz de deshidratar 100 kg de aguaymanto. El prototipo consta de tres módulos: una cámara de deshidratación, una sala o cámara de deshidratación que disponga de bandejas y de un recopilador o colector solar para aprovechar al máximo los rayos del sol. Además, dispone de una técnica de células solares que garantiza niveles superiores de control y rendimiento óptimos. El panel de control se ha diseñado para que resulte fácil de usar y facilite al usuario la introducción de datos.

El prototipo dispone de una capacidad máxima de carga de 100 kg, y su rango de temperatura operativa varía desde 25 hasta 70 grados centígrados. Se llevaron a cabo simulaciones teniendo en cuenta una precisión de temperatura del ± 1 % y una eficiencia del colector solar del 80 %. Los resultados obtenidos mostraron similitudes al comparar los tiempos

de deshidratación con los observados en plantas industriales. En base a estos datos, se puede conjeturar que el prototipo es apto para la productividad de frutos de tamaño mediano en estado deshidratado.

La investigación está estructurada en cinco capítulos. El primero, titulado planteamiento del problema, aborda la problemática del estudio, formula los problemas de investigación, define los objetivos, justifica la delimitación de la investigación y plantea las hipótesis junto con su correspondiente cuadro de variables.

El segundo capítulo se enfoca en el marco teórico, que incluye la revisión de antecedentes, la conceptualización de las variables de investigación, la descripción de las fórmulas de diseño y el proceso de secado del aguaymanto, entre otros aspectos.

El tercer capítulo se centra en la metodología de investigación, donde se explica el enfoque, tipo, alcance y diseño de la investigación. La segunda parte del capítulo detalla la metodología de diseño, que se basa en el método VDI.

El cuarto capítulo presenta los Resultados de la Investigación, que consisten en los cálculos para dimensionar el secador solar, teniendo en cuenta diversos componentes y las condiciones climáticas, de radiación y presión específicas de la ciudad de Huancayo.

El quinto y último capítulo se dedica a la discusión de resultados, donde se comparan los hallazgos con los antecedentes y el marco teórico. Por último, se elaboran las conclusiones y recomendaciones derivadas de la investigación.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Planteamiento y formulación del problema

Según un informe de mercado elaborado por Global Industry Analysts (GIA) en 2020 (1), los frutos deshidratados están emergiendo como un producto con una gran capacidad de exportación. El estudio señala que, en el 2020, el gasto global de frutos deshidratados experimentó un incremento, alcanzando más de 90 millones de toneladas. Este aumento en la demanda se atribuye a necesidad creciente de consumir alimentos nutritivos y salubres. Esto también ayuda a prolongar el periodo de tiempo que los alimentos pueden almacenarse sin estropearse.

Ante esta creciente demanda, varios países han implementado innovaciones tecnológicas con el fin de optimizar el transcurso de deshidratación de frutos. En este contexto, la empresa Roda Energía, en conjunto a la Universidad de Santiago de Chile, ha desarrollado el proyecto “Kunza”. Este proyecto tiene como objetivo establecer la primera planta industrial de deshidratación de frutos utilizando energía solar. Sus metas incluyen aumentar el valor nutricional de las frutas deshidratadas sin recurrir a colorantes ni aditivos y también integrar a pequeños y medianos agricultores en la cadena productiva (2).

Teniendo en cuenta que nuestro país desempeña la importancia en la industria alimentaria a nivel mundial, produciendo una extensa gama de frutos que van desde aguacates hasta arándanos y quinua, resulta evidente que la agricultura desempeña una función fundamental en el desarrollo económico y social de la nación. Esto se debe a que la agricultura es muy importante siendo principal fuente para obtener materias primas y recursos fundamentales esenciales que son necesarios para el funcionamiento de otros muchos subsectores económicos. Sin embargo, esto ha dado lugar a un aumento de la demanda, que crea una nueva serie de problemas provocados por el aumento de la población en todo el planeta.

Un exceso de oferta de productos agrícolas puede ocasionar pérdidas financieras significativas tanto para los productores como para los comerciantes, ya que tienen un período limitado para vender sus productos antes de que se deterioren. Esta situación ha llevado a los productores a buscar nuevas oportunidades y estrategias para comercializar sus productos. Según la (FAO) Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, aproximadamente un tercio de los alimentos destinados al consumo humano se desperdicia, y las frutas y verduras representan entre el 35 y el 45 % de esta pérdida (3).

En los últimos años, Perú ha sido bendecido con una abundancia y un gran potencial en sus recursos naturales. Sin embargo, de forma periódica, el país ha enfrentado una serie de fenómenos naturales que han resultado en pérdidas económicas y humanas significativas, especialmente en las comunidades más vulnerables (4).

En la actualidad existen diversas opciones para llevar a cabo el transcurso de deshidratación de los alimentos, entre ellos se destaca el empleo de deshidratadores solares. Estos dispositivos demuestran una mayor eficiencia en comparación con el secado al sol y ofrecen valores operativos inferiores a los deshidratadores mecánicos. Los deshidratadores solares se perfilan como una opción económica y viable que contribuye a la reducción de nivel de contaminación por emisiones.

De ahí surge la necesidad de emplear la energía solar con apoyo de secadores solares indirectos para el proceso de deshidratación de frutas, confiriéndoles un valor agregado. Esto permite minimizar la contaminación microbiana, la degradación ambiental y los factibles cambios físicos naturales y químicos. El objetivo del secado es reducir la actividad acuosa, prevenir el deterioro del producto, y disminuir la humedad del fruto para cumplir con los estándares de conservación (1).

Estos secadores están diseñados para investigar cómo se comportan las materias primas durante el transcurso de secado y para optimizarlo mediante perfiles de secado, variaciones de temperatura y evaluación de la calidad sensorial del producto final. Esto incrementa la demanda de productos deshidratados, proporcionando productos naturales a los consumidores a precios más accesibles y contribuyendo al desarrollo socioeconómico de los agricultores.

Además, en el caso de los productores de aguaymanto que venden el producto en estado fresco, enfrentan pérdidas que afectan su economía. Otra alternativa a la intemperie con luz solar directa en mantas y costales, lo cual resulta en una pérdida significativa de nutrientes del aguaymanto (5).

En la literatura se han propuesto y discutido varios modelos de calentadores de aire indirectos, y se ha comprobado que esta unidad supera a otros tipos de deshidratadores solares en términos de velocidad y calidad de deshidratación. En este tipo de dispositivos, el colector solar representa el componente más crucial, y cualquier mejora en este aspecto aumentaría la eficiencia térmica del sistema de deshidratación. Por ende, cualquier esfuerzo en esta dirección se considera de gran importancia, ya que acelera el proceso de deshidratación y evita la necesidad de un sistema de respaldo adicional para proporcionar calor en períodos de baja radiación.

Para comprender la técnica de secado es imprescindible disponer de un diseño de secadero solar indirecto específico para productos agrícolas de la región de Junín.

En vista de lo expuesto, es imperativo diseñar secadores solares con energía fotovoltaica para garantizar un funcionamiento continuo. Esto incluye la implementación de reflectores parabólicos y sistemas fotovoltaicos para alimentar las ventiladoras, además de contar con controles de temperatura, humedad y peso del producto, en cumplimiento de las normas técnicas necesarias para la exportación de los productos.

1.1.1 Problema general

¿Cómo diseñar un secador solar para deshidratar aguaymanto a condiciones de Huancayo, 2023?

1.1.2 Problemas específicos

- ¿Cuáles son las características técnicas para el diseño de un secador solar para deshidratar aguaymanto a condiciones de Huancayo, 2023?
- ¿Cuáles son las condiciones para diseñar un secador solar a convección forzada automatizada con panel solar, a condiciones de Huancayo, 2023?
- ¿Cómo diseñar un secador solar con sistema de control de datos a través de sensores colocados en la cámara de secado?
- ¿Cómo será el funcionamiento del secador solar para deshidratar aguaymanto?

1.2 Objetivos de la Investigación

1.1.3 Objetivo general

Diseñar un secador solar para el deshidratado del aguaymanto en Huancayo, 2023.

1.1.4 Objetivos específicos

- Establecer las características técnicas para el diseño de un secador solar para deshidratar aguaymanto a condiciones de Huancayo, 2023.
- Determinar las condiciones para diseñar un secador solar a convección forzada automatizada con panel solar, a condiciones de Huancayo, 2023.
- Diseñar un secador solar con sistema de control de datos a través de sensores colocados en la cámara de secado.
- Simular el funcionamiento del secador solar para deshidratar aguaymanto a condiciones de Huancayo, 2023.

1.3 Justificación e importancia

Este estudio actual se centra en la utilización de colectores solares térmicos para emplear la energía solar en el proceso de deshidratación de frutas. Su propósito principal es mejorar la conservación y preservación de los productos frutales, Por lo tanto, contribuye a la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). De acuerdo con la Meta 7 de los ODS, se enfatiza que el crecimiento de las energías renovables desempeña un papel fundamental en respaldar las tecnologías de la información y la comunicación para abordar la naturaleza cambiante y dispersa de las fuentes de energía renovables (3).

Los secadores solares presentan una ventaja significativa en términos de costos de operación, ya que, además de aprovechar la energía solar, logran una notable reducción en los gastos energéticos. Esta reducción se observa en la planificación y ejecución de secadores solares indirectos, así como en el proceso de deshidratación de frutas. Estos estudios de diseño de secadores solares buscan mejorar la preservación del producto durante su almacenaje y reforzar su valor, con el objetivo de ofrecer productos de alta calidad y seguros para el mercado nacional.

Además de su contribución económica, esta investigación es relevante porque permitirá evaluar las tecnologías de sistemas de control actualmente empleadas en los secadores solares. Estos sistemas mantienen las condiciones necesarias para obtener un resultado de calidad que satisfaga los requisitos del mercado local e internacional.

La tecnología de secado solar automatizado propuesta en este estudio establecerá métodos y procedimientos para producir frutas de calidad a costos bajos sin causar daños al medio ambiente, dado que utiliza la energía del sol, que es la única fuente de energía que emplea. Asimismo, este estudio servirá como prototipo para el desarrollo rural. Además, cabe destacar que la tecnología que ofrece este secador solar es respetuosa con el medio ambiente, ya que se basa exclusivamente en energías renovables, como la luz solar captada a través de paneles solares.

1.4 Delimitación del proyecto

Espacial. La investigación se desarrolla en la ciudad de Huancayo, sin embargo, en los meses de enero, febrero y marzo, las intensas lluvias afectan el rendimiento del colector, y retrasan el secado de un día a más de dos días, esto representa una limitación espacial geográfica de la investigación, adicional a esto, el lugar de ubicación del secador debe ser amplio y despejado, abierto para que los rayos del sol caigan directamente en el colector y este se aproveche al máximo.

Temporal. En la ciudad de Huancayo, la cantidad de luz diurna que se recibe disminuye desde de enero a de abril, lo cual afecta considerablemente en el funcionamiento del secador.

Delimitación cuantitativa. El presente estudio pretende realizar una simulación para secar 100 kilos de aguaymanto, con características de humedad basadas en datos investigativos.

1.5 Hipótesis y variables

1.5.1 Hipótesis de investigación

El diseño de un secador solar permitirá deshidratar aguaymanto a condiciones de Huancayo, 2023.

1.5.2 Variables de investigación

Variable independiente: diseño de un secador solar

Para la concepción del secador solar, se tomó en cuenta un conjunto que incluye un colector, el cual se sirve de la radiación solar para elevar la temperatura del aire, seguido de una cámara de secado que utiliza el aire caliente generando la deshidratación del producto. Además, se implementó un sistema fotovoltaico diseñado para generar la cantidad necesaria de energía para alimentar un ventilador, el cual suministra aire caliente a la cámara de secado.

Variable dependiente: aguaymanto deshidratado

Es el producto obtenido después de la puesta en marcha del secador diseñado, la calidad del producto se puede medir De acuerdo con las características fisicoquímicas del fruto deshidratado.

1.5.3 Cuadro de variables

Variables	Dimensión	Indicadores
Variable independiente diseño de secador solar	Cámara de secado	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura de trabajo • % humedad de la cámara • Tiempo de secado
	Colector solar	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura de ingreso a la cámara • Tiempo de calentamiento • Capacidad de flujo de aire
	Sistema fotovoltaico	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad del panel solar • Fuerza de succión de ventilador • Capacidad de la batería
Variable dependiente: aguaymanto deshidratado	Tiempo de secado	En horas
	Humedad	% de humedad
	Características sensoriales	Olor Color Sabor Textura
	Características fisicoquímicas	pH Índice de madurez Grados Brix Acidez

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la Investigación

Camayo (2021) investigó el diseño autónomo de un sistema solar térmico para la deshidratación indirecta de aguaymanto (*Physalis Peruviana L.*), Junín, con los objetivos generales de desarrollar un prototipo de secador solar térmico independiente para lotes de 100 kg de peso de aguaymanto, con paneles planos y aire impulsado alimentado por energía fotoeléctrica, para que estas frutas se puedan secar según sea necesario para la exportación. Dimensiones internas de la cámara de secado: profundidad 1,40 m de al, 0,60 m de ancho, y 1,10 m, aislamiento 0,05 m, de lo cual las dimensiones externas son profundidad 0,70 m, ancho, 1,50 m, al, 1,20 m. Se propone instalar dos colectores solares de dimensiones: 1,50 m de a 2,40 m de largo y 0,15 m de al, donde se requieren 2 paneles de espejo plano. Se eligieron paneles solares de 80W (es decir, es capaz de producir hasta 80 vatios de potencia en condiciones óptimas de luz solar y temperatura) para el sistema de ventilación forzada y el control del proceso. Este secador solar resolverá el problema del desperfecto pos cosecha y aumentará las exportaciones por la mejora de la calidad y el importe económico (6).

En resumen, este secador solar diseñado por Camayo en 2021 tiene como objetivo resolver los problemas asociados al deterioro pos cosecha de la grosella dorada y contribuir al aumento de las exportaciones, mejorando tanto la calidad del producto como su rentabilidad económica.

A su vez, el estudio realizado por Anzola en 2021, titulado “Evaluación de los efectos del secado al sol en las propiedades fisicoquímicas del almidón de Achira (*Ker Canna edulis*)”, se centró en investigar de manera directa cómo el proceso de secado solar influye en las características de calidad de los sustratos alimentarios basados en almidón de achira. Este estudio tenía como objetivo destacar la eficacia del secado al sol y su relevancia en un tipo de producción que promueva la diversificación y la sostenibilidad. Este enfoque de investigación fue participativo, involucrando la colaboración directa de los fabricantes en el proceso. A una altitud de 2480 m s.n.m., los experimentos se realizaron en la finca de producción que está situada en el municipio de Viracachá, Boyacá. Para definir la calidad del almidón, se compararon los resultados obtenidos del secado manual al sol y del secado solar en tripa con varios aspectos físicos, químicos y funcionales críticos. Estos resultados se compararon con las propiedades del producto secado en condiciones de convección a tres temperaturas diferentes (35, 45 y 55°C). Esta conclusión se ve reforzada por el hecho de que se descubrió que el secado al sol puede ser una alternativa viable

al método convencional de secado para el almidón de achira, especialmente en el contexto de productores rurales. (7).

Por su parte, en el estudio realizado por Guamán en 2021, titulado “Diseño y Creación de un Deshidratador Automático de Frutas Variadas”, se propuso desarrollar un prototipo de secador solar automático que también funcionara de manera híbrida con gas y estuviera diseñado para procesar hasta 10 kg de frutas frescas. Este equipo consta de tres componentes principales: una cámara de secado, un quemador de gas con un marco que sostiene la cámara de deshidratación y un colector solar destinado a captar la energía solar disponible. Además, se incorporó un panel de control para supervisar y regular la temperatura y la humedad dentro del dispositivo. La temperatura máxima de funcionamiento se estableció en 70°C. Los resultados del estudio demostraron que la alteración de la temperatura presentó un margen de desvío de aproximadamente $\pm 1^\circ\text{C}$, y los resultados obtenidos se compararon favorablemente con las máquinas industriales utilizables en el mercado. Por ende, se llegó a la conclusión de que este prototipo tiene el potencial para ser utilizado eficazmente en el proceso de deshidratación de frutas a una escala intermedia. (8).

Mientras que para Mohamed et al., (2020) realizaron el estudio sobre “Rendimiento de secado y análisis económico de los nuevos secadores solares híbridos de modo pasivo-activo para el secado de frutas en África oriental. Este estudio comparó el rendimiento de secado de los secadores ISD y SPE y los confrontó con los métodos de secado convencionales. En combinación con el método OSD, se analizó el rendimiento económico del secador solar avanzado (ISD) y el secador de células solares (SPE). Los resultados del rendimiento de secado mostraron que las temperaturas promedio del aire de secado alcanzadas por los secadores ISD y SPE fueron de 31,9 y 41,1 °C, respectivamente. La temperatura del método OSD fue de 27,6 °C. En promedio, los secadores ISD y SPE lograron 3551 watts (W) y 5757 watts (W), respectivamente, mientras que el método OSD logró 2952 (W). Los secadores ISD y SPE requirieron 10 y 18 h, respectivamente, para secar efectivamente el producto de fruta (piña), mientras que el método OSD requirió 30 h. Los resultados confirmaron el rendimiento de los secadores ISD y SPE en comparación con el método OSD. Los resultados del análisis de desempeño económico mostraron que el costo de secar el producto con el secador ISD es menor que el costo del secador SPE. Además, el período de amortización de ISD es 2,4 veces más corto que el de las secadoras SPE. Los resultados combinados del análisis económico y el rendimiento del secado confirman que ISD es una mejor tecnología de secado que los secadores SPE para agricultores/procesadores agrícolas sin electricidad en Uganda y África Oriental (9).

A su vez, Murali et al., (2020) estudiaron “Secador híbrido solar: diseño y evaluación del rendimiento del GLP para el secado de camarones”. El propósito de esta investigación fue construir y desarrollar un secador solar energéticamente eficiente apto para el secado continuo.

En este secador, el agua sirve tanto de canal para el paso del calor y almacenamiento de energía térmica. Los componentes principales del secador son un colector solar plano, un tanque de almacenamiento de agua, una cámara de secado, un calentador de agua que funciona con gas licuado de petróleo (GLP) con un intercambiador de calor. La secadora de ropa está diseñada para funcionar principalmente con energía solar durante los períodos de mucha luz solar y para usar el calentador de agua LPG como fuente de calor secundaria durante los períodos de baja radiación solar. Resulta que el agua puede absorber la mayor cantidad de energía térmica durante las horas pico del sol. La temperatura de salida del colector más alta alcanzada durante el secado fue de 73,5 °C. El sistema solar aporta un total del 73,93 % de la energía calorífica, y debido a la baja radiación solar al principio y al final del secado, el resto lo aporta el calentador de agua a GLP. El rendimiento del secador híbrido solar-LPG desarrollado se evaluó utilizando camarones (*Metapenaeus dobsoni*). El contenido de humedad de los camarones frescos disminuyó de 76,71 % (p.b.) a 15,38 % (p.b.) dentro de las 6 h posteriores al secado. Las gráficas de velocidad de secado indicaron que el deshidratado del camarón ocurrió en un ciclo de velocidad de secado decreciente. La eficiencia máxima observada de cosecha y secado fue de 42,37 % y 37,09 %, respectivamente (10).

Por su lado, Ssemwanga et al. (2020) plantearon el análisis de rendimiento de un secador solar modificado integrado con múltiples concentradores solares metálicos para el secado de frutas para reducir las pérdidas poscosecha de productos perecederos frescos (PHL) como medio para aumentar los ingresos y oportunidades estratégicas importantes: alimentación y agricultura en África Oriental. Para este propósito, se desarrolló y lanzó un secador solar híbrido indirecto pasivo (HIP) modificado con paneles colectores solares modificados y gabinetes de secado como una mejor alternativa de alimentos a la alternativa seca tradicional de secado al sol abierto (OSD). También, se fabricaron secadores solares y eléctricos (SPE) convencionales con sistemas adicionales de respaldo de calor. Se evaluó el rendimiento de secado de frutas de los secadores HIP y SPE utilizando piña y mango y se comparó con los métodos tradicionales de secado al sol abierto (OSD). El secado de los alimentos fue de 10, 18 y 30 horas para los métodos SPE, HIP y OSD, respectivamente. La eficiencia de secado del secador HIP mejorado fue comparable a la del secador SPE y un 18 % superior a la del método OSD. Por lo tanto, la actualización de los paneles colectores con múltiples concentradores solares de metal junto con un gabinete de invernadero mejorado mejoró significativamente el rendimiento de secado del secador HIP. Por lo tanto, se prefieren los secadores HIP a gran escala al método OSD (11).

Mientras que la ciudad de Tarma sirvió de localización para el estudio que Barreto y Cruz (2020) realizaron para su tesis con la intención de adquirir manzanilla seca (*Matricaria chamomilla*) utilizando un equipo automatizado de secado. El objetivo principal de este estudio era perfeccionar el diseño del secador solar automático.

El secador en cuestión está equipado con tres colectores solares y reflectores que aseguran una constante circulación de aire caliente en la cámara de secado. El funcionamiento del secador se basa en un ventilador, y se incluye una pantalla LCD de 12x6 que muestra la temperatura y se utiliza para programar el dispositivo. Para realizar un análisis del proceso de deshidratación de la manzanilla, se necesitaron 15 kg de manzanilla recién recolectada. Se incrementó la temperatura de la cámara de secado a 60 grados Celsius por encima de la temperatura ambiente. El dial del control de temperatura se giró hasta 40 grados centígrados, y la manzanilla se sometió al transcurso de secado a temperaturas de 50 grados centígrados y 60°C durante un periodo de 4 días para lograr el nivel de secado deseado. Los secadores automáticos se consideran una técnica adecuada para el secado de productos de alta gama y representan una opción económica en relación de las fuentes de energía renovable. Los resultados mostraron que la humedad en la manzanilla deshidratada alcanzó el $11,09\pm 0,69$ % a 40°C, el $10,78\pm 0,95$ % a 50°C y el $8,81\pm 0,06$ % a 60°C, cumpliendo con los modelos nacionales de clase para materiales médicos secos. (12).

A su vez, en el estudio realizado por Herrera en 2022, titulado “Deshidratación de la hierba luisa utilizando un secador solar”, se llevaron a cabo ajustes en la temperatura del aire y la humedad relativa dentro del colector con el fin de secar plantas aromáticas o medicinales mediante la exhibición a la luz solar o al paso de aire caliente. Esto se logró a través de diversas técnicas, como el intercambio de calor, la combustión de combustible, la resistencia eléctrica o la absorción de calor mediante radiación solar en colectores metálicos. El estudio pudo cumplir su objetivo alcanzando exitosamente durante un período de 4 horas y 40 minutos, al ajustar la temperatura dentro del colector solar a 40°C y la humedad relativa al 11 %, se logró que la masa seca de la hierba luisa fuera inferior al 30 % de su peso original. El secador solar utilizado en este estudio fue de tipo pantalla plana, con un control de temperatura interna y humedad relativa gestionado por un sistema PID. Se implementó un circuito electrónico para medir en tiempo real de humedad relativa y temperatura, se mostraron en una pantalla LCD los datos. Además, se utilizó el *software* Survey of Data y SPSS para analizar y confirmar las hipótesis mediante la transferencia de información a hojas de cálculo (13).

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 Deshidratado de alimentos

La deshidratación de alimentos se considera ancestral, ya que es un método antiguo para conservar alimentos y se define como el proceso de “eliminar la mayor parte de la humedad normalmente presente en los alimentos mediante el uso de calor en condiciones controladas”. Este proceso implica el traspaso de calor y masa simultánea, se acompaña de un cambio de fase. El objetivo primordial de la deshidratación es dilatar la vida útil de alimentos reduciendo su contenido de humedad, lo que a su vez inhibe tanto el crecimiento microbiano como la actividad

enzimática. Es importante destacar que, aunque la temperatura aplicada en este proceso no es lo suficientemente alta como para inactivar completamente estos agentes, cualquier aumento la humedad durante el almacenaje posterior podría llevar a deterioro acelerado de los alimentos (15).

El proceso de secado de plantas medicinales, granos, frutas y carnes ha sido una técnica ampliamente empleada para la preservación de alimentos desde tiempos antiguos. Este método permite garantizar la disponibilidad de productos procesados a lo largo de todo el año, no limitándolos únicamente a sus temporadas de cosecha. En la actualidad, el secado de vegetales y carnes no solo se ha convertido en una práctica autosuficiente, sino que también representa una valiosa opción siendo productivo y comercial. Siendo positivo que afecta crecientemente la demanda de frutos deshidratados en la mayoría de los países industrializados, aumentando personas que optan por una alimentación saludable basada en alimentos naturales.

Además, este sistema de secado se presenta como una innovación beneficiosa para los productores, ya que antes de su implementación, solía haber un exceso considerable de alimentos, lo que ocasionaba pérdidas significativas en términos económicos. Hasta la fecha, existen diversos métodos para el secado de alimentos, que varían desde los más tradicionales hasta aquellos más orientados a la producción industrial. Estos métodos se describen en detalle a continuación.

A. Secado directo al sol

Este método es la forma convencional de deshidratar productos alimenticios que incluyen carne de res y otros tipos de carne, granos como maíz, maní y frijoles, así como una variedad de frutas. En este enfoque, no se requiere el uso de ningún equipo especial; en su lugar, los alimentos se disponen sobre una superficie que puede ser una alfombra, lona, plancha de madera o metálica, la cual se expone a la luz solar o se ubica en la sombra, requiriendo del tipo de producto y circunstancias requeridas para su secado. Dado que este método es completamente manual, conlleva una serie de desventajas, como se detalla a continuación.

- i. El procedimiento resulta prolongado debido a la elevada humedad presente en el entorno.
- ii. En ocasiones, un inadecuado proceso de deshidratación de los alimentos, especialmente aquellos con un contenido de agua significativo, puede propiciar su deterioro o desarrollo de moho.
- iii. La exposición de los productos a la intemperie les hace susceptibles al polvo, insectos y pequeños animales, factores que pueden ocasionar la degradación de los alimentos y figurar un riesgo salubridad al ser consumidos.

- iv. La irradiación directa de los rayos ultravioleta (UV) durante la exposición a la luz solar puede tener un impacto adverso en la calidad final de los alimentos, incluyendo la pérdida de su color natural y la degradación de vitaminas y valor nutritivo.
- v. Control inadecuado de temperatura y la humedad en el entorno de alimentos procesados.

B. Deshidratado solar indirecto

Mediante el secado al sol indirecto, se evita la exhibición directa de alimentos hacia la luz del sol, lo que a su vez reduce los problemas de decoloración y formación de grietas en la superficie de los productos alimenticios. El sistema de secado consta de dos componentes separados: en primer lugar, se encuentra un colector solar que transforma la radiación solar en calor mediante el efecto invernadero; en segundo lugar, se dispone de una cámara de secado independiente destinada a albergar los alimentos que se someterán al proceso de deshidratación.

Cuando el aire se calienta a una temperatura específica, su capacidad para absorber vapor de agua aumenta significativamente. Por ejemplo, con cada incremento de 20°C en la temperatura del aire, su capacidad de retener humedad aumenta 3 veces más prácticamente, lo que resulta en una disminución equivalente en la humedad relativa del entorno. El proceso de secado se lleva a cabo mediante traspaso de calor a través de la convección natural, donde el aire caliente circula sobre los productos deshidratados, típicamente dispuestos en bandejas dentro de la cámara de secado.

Este método, al confinar los alimentos en una cámara aislada y permitir el control de la temperatura por arriba de circunstancias ambientales, ofrece ventajas evidentes, como se detallan a continuación:

- Proporciona un control más efectivo del proceso de deshidratación, lo que se traduce en la adquisición de producto de mayor calidad en comparación a lo obtenido mediante el secado al sol.
- Evita la caramelización y los daños causados por el calor concentrado en áreas específicas.
- Opera a temperaturas más elevadas y en condiciones de menor humedad relativa.
- Se recomienda especialmente para cultivos sensibles a la luz.
- Ofrece una eficiencia superior en comparación con el secado directo bajo la luz solar.

C. Deshidratado artificial

El secado artificial representa el método de deshidratación de alimentos que ofrece un mayor nivel de control sobre las variables del proceso, independientemente de las condiciones ambientales externas. En este enfoque, similar al secado solar indirecto, se emplea una cámara

aislada para ubicar los alimentos que serán sometidos al proceso de secado. Sin embargo, en este caso, el calentamiento se logra mediante el uso de gas, electricidad o biomasa, y el traspaso de calor se realiza mediante la convección forzada en un lugar específico.

Las secadoras se pueden encontrar en una amplia variedad de configuraciones y dimensiones para adaptarse a los requisitos de los distintos fabricantes, si bien su funcionamiento se asocia con costos considerables debido al gasto en combustible necesario para su operación.

2.2.2 Componentes básicos para el diseño de un secador o deshidratador de frutas

Cuando se planifica el diseño de un prototipo de deshidratación con el objetivo de eliminar eficazmente la humedad de un alimento, es esencial tener en cuenta los diferentes procesos y mecanismos que operan dentro del producto. Estos mecanismos y procesos son de gran relevancia, especialmente cuando se trata de frutas y vegetales, ya que la deshidratación puede alterar la estructura de estos alimentos.

A. Humedad

La importancia de tener en cuenta el estado de equilibrio en el proceso de deshidratación es fundamental, dado que esta etapa representa la culminación de este proceso. La relación entre la humedad relativa en equilibrio y el valor 100 es la definición de acción del agua. En el caso de alimentos secos, es concurrente observar una curva isoterma con una forma característica en S. La humedad de equilibrio representa el punto más bajo en el gradiente de eliminación de agua del alimento (11).

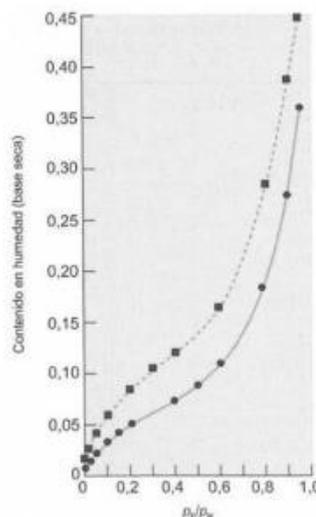


Figura 1. Isoterma para la capacidad de humedad en equilibrio para un alimento seco

La extracción de una cantidad considerable de agua del producto se produce mediante el proceso de difusión en fase líquida dentro de su estructura interna. El agua se desplaza en forma

líquida y, posteriormente, se evapora dentro del alimento. Esta etapa de deshidratación involucra tanto el traspaso de calor y traspaso de masa, ya que es necesaria una suma de calor para evaporar el contenido de agua.

B. Secado con aire caliente

Cuando un alimento entra en relación con aire que tiene temperatura y humedad específicas, genera el calor latente necesario para propiciar la evaporación de su contenido de agua. Este vapor de agua se desplaza hacia fuera del producto. La rapidez del proceso de secado se encuentra influida tanto por el traspaso de masa (vapor de agua) como por el traspaso de calor. La Figura 2 ilustra el cambio en la humedad y la velocidad de deshidratación de frutos. Se pueden identificar tres etapas distintas en la velocidad de deshidratación.

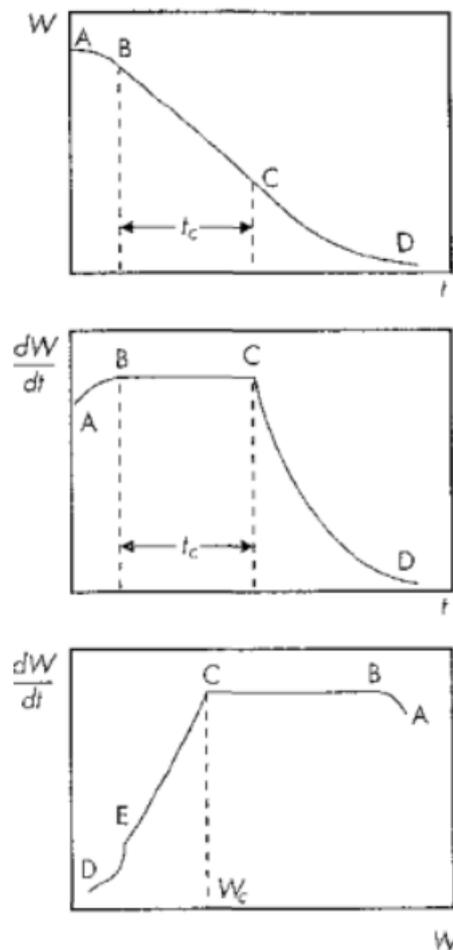


Figura 2. Fases de deshidratación de alimentos mediante el uso de calor

La fase A-B se corresponde con el periodo en el que el sólido se calienta y su superficie se estabiliza En relación con el entorno durante el proceso de deshidratación. Esta etapa representa una parte del proceso general de deshidratación.

En lo que respecta a la fase B-C, corresponde al periodo de deshidratación el cual la cantidad de agua extraída por unidad de superficie se mantiene continuo. Durante este periodo, el traspaso de humedad a través del resultado ocurre rápidamente para lograr la congestión en la superficie, y la rapidez de deshidratación está vinculada a la rapidez de traspaso de calor. En este periodo, la parte superficial del fruto se satura con agua líquida ya que, el desplazamiento del agua dentro del resultado supera la tasa de evaporación desde la superficie. Los coeficientes de traspaso de masa y calor influyen significativamente en este periodo.

En este ciclo, la simetría alcanzada a través de traspaso de calor y traspaso de masa (en forma de vapor de agua) puede ser descrita mediante la ecuación 1:

$$\text{Ecuación 1} \quad \frac{dW}{dt} = \frac{dQ}{dt\lambda}$$

En cuanto a los elementos involucrados:

“W” denota la cantidad de vapor de agua,

“Q” se refiere a la energía,

“λ” representa el calor latente de vaporización, y

“t” indica la duración del proceso.

Con estos componentes, podemos generalmente expresar la transferencia de calor utilizando la ecuación 2:

$$\frac{dQ}{dt} = h_c(\Delta T) \quad \text{Ecuación 2}$$

Dónde:

El factor de traspaso de calor se representa así h_c , y ΔT se refiere a la diferencia de temperaturas. A partir de las ecuaciones 1 y 2, finalmente, podemos expresar la transferencia de calor de la siguiente manera:

$$\frac{dW}{dt} = k_c\lambda(\Delta P)$$

En referencia a k_c , que representa el factor de traspaso de masa, y ΔP , que se refiere a la semejanza de presiones deficiente de vapor de agua.

La fase C-D describe cómo se reduce la rapidez de salida de agua del fruto hacia el final del proceso de secado. Esto se debe al aumento en el grosor de la capa seca en la superficie y a una disminución en la infiltración del vapor contornos de esta capa a medida que el contenido de agua se reduce. Además, la humedad dentro del alimento deja de migrar hacia el exterior. Esto

resulta en una significativa disminución de la presión parcial en la superficie, lo que conlleva a una reducción en la rapidez de deshidratación.

En la etapa D-E, el puesto final E indica el instante en el cual toda el área sin protección está totalmente insaturada y determina el instante en el que la velocidad de movimiento interno de masa controla el proceso de deshidratación. De acuerdo con los principios de la termodinámica, al final del proceso de secado, la actividad de agua del alimento se iguala a la humedad relativa del aire. Esto implica la necesidad de reducir la humedad del aire al terminar su proceso (12).

Las fases de disminución de rapidez simbolizan la parte más significativa del proceso de secado. La rapidez de deshidratación en cada ciclo depende de las características específicas del fruto, como sus elementos, superficie, el nivel inicial de humedad, la estructura del tejido y diversos elementos relacionados (14).

C. Intercambio de masa y calor

El intercambio de calor se hace referencia al movimiento de energía resultante de una discrepancia en las temperaturas. Existen varios métodos reconocidos de transferencia de calor, siendo habituales la conducción, la convección y la radiación.

La conducción es un proceso de transferencia de calor a nivel molecular, lo cual la actividad de las moléculas en la materia da lugar a interacciones entre ellas. Las moléculas con mayor energía transmiten su energía a las moléculas de menor energía, lo que genera un flujo de calor que se desplaza desde áreas de temperatura elevada hacia aquellas de temperatura baja. Este procedimiento solo puede producirse cuando existe una diferencia de temperatura entre dos puntos. A lo largo de un intervalo de tiempo (Δt), se transfiere una cantidad de calor (ΔQ) del punto con temperatura elevada hacia el punto con temperatura baja a través de un espesor (x) en un área de sección transversal determinada (15).

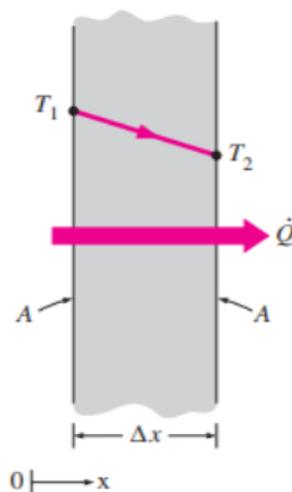


Figura 3. Diagrama que ilustra el traspaso de calor a través de una superficie plana.

La ley de la conducción de Fourier es utilizada para calcular la tasa de traspaso de calor Q_{cond} .

$$\text{Ecuación 3} \quad Q_{cond} = -k \times A \times \frac{dT}{dx}$$

Donde:

Q_{cond} : Es la tasa de traspaso de calor [en vatios (W)].

k : Representa la conductividad térmica del material [en grados Kelvin por metro ($^{\circ}\text{K/m}$)].

A : Corresponde al área del grupo transversal [en metros cuadrados (m^2)].

dT/dx : Indica la modificación de temperatura en función de la distancia [en grados Kelvin por metro ($^{\circ}\text{K/m}$)].

Convección. Se refiere al proceso de traspaso de energía que tiene lugar entre un área sólida y un fluido en desplazamiento, ya sea líquido o gas. Este fenómeno resulta de la combinación de la conducción térmica y el desplazamiento del fluido. La presencia de un flujo en el fluido promueve el traspaso de calor desde el área sólida hacia el fluido. La convección puede ser forzada cuando el fluido es impulsado sobre el área mediante medios externos, como el ventilador o el viento. También se presenta la convección natural o libre cuando el desplazamiento del fluido es inducido por las diferencias de densidad que generan fuerzas de flotación (15).

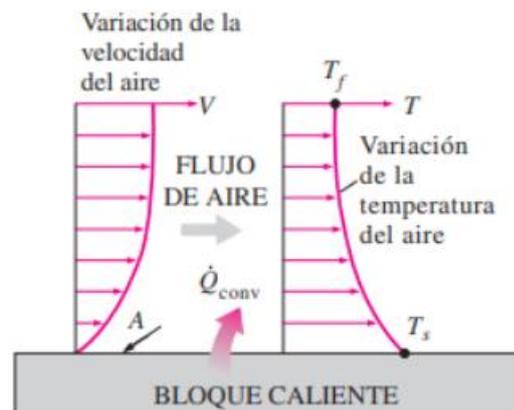


Figura 4. El traspaso de calor mediante convección desde un área caliente hacia el entorno circundante.

La ley de Newton de la congelación se utiliza para explicar la tasa de intercambio de calor convectivo, a menudo conocido como flujo de calor convectivo (denotada como Q_{conv}). (16).

$$\dot{Q}_{conv} = h * A * (T_s - T_f)$$

$$Q_{conv} = h \times A \times (T_s - T_f) \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

Q_{conv} : Representa la tasa de traspaso de calor por convección [en vatios (W)].

h : Corresponde al coeficiente de traspaso de calor por convección [en vatios por metro cuadrado por grado Kelvin ($W/m^2 \cdot K$)].

A : Indica el área de la sección transversal [en metros cuadrados (m^2)].

T_s : Es la temperatura de la superficie [en grados Kelvin (K)].

T_f : Es la temperatura del fluido [en grados Kelvin (K)].

Radiación. Es la manera en que la materia emite energía a través de ondas electromagnéticas, sin requerir un medio conductor. Este método de traspaso de energía es el más veloz y no sufre ninguna reducción en un espacio limpio. La radiación es un proceso tridimensional, y tanto los líquidos como los gases y los sólidos son capaces, en distintos grados, de emitir, absorber o transmitir radiación. (16).

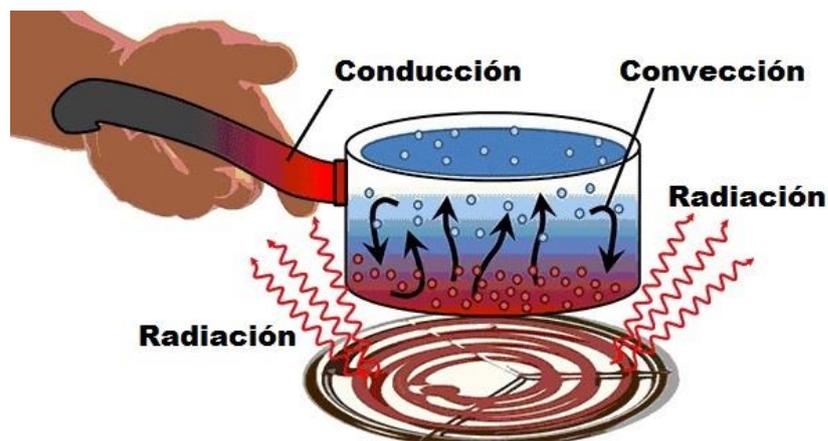


Figura 5. Diagrama que ilustra el proceso de transferencia de energía mediante radiación térmica

La ley de Stefan-Boltzmann define el valor máximo de la medida de radiación que puede ser emitida por un área a una temperatura absoluta. (15).

$$Q_{emitida} = \varepsilon * \sigma * A * T_s^4 \quad \text{Ecuación 5}$$

Dónde:

$Q_{emitida}$: Representa la máxima tasa de radiación [en vatios (W)].

ε : Indica la emisividad de la superficie.

σ : Es la constante de Stefan-Boltzmann [en vatios por metro cuadrado por grado Kelvin a la cuarta potencia ($W/m^2 \cdot K^4$)].

T_s : Corresponde a la temperatura absoluta [en grados Kelvin ($^{\circ}K$)].

2.2.3 Energía solar

La energía solar es un tipo de energía renovable que puede producirse captando y convirtiendo la radiación electromagnética del sol. El ser humano ha utilizado la radiación solar desde tiempos antiguos, empleando diversas tecnologías que han evolucionado con el tiempo. Hoy en día, podemos aprovechar la luz y el calor del sol utilizando equipos especializados, como células fotovoltaicas, helióstatos y colectores térmicos, que luego pueden convertirse en energía eléctrica o térmica. Esta fuente de energía se clasifica en energías renovables o limpias y puede contribuir a abordar problemas importantes que enfrenta la humanidad.

Las tecnologías solares pueden dividirse en dos categorías: pasivas y activas, y esta categorización se basa en que las tecnologías recogen, transforman y dispersan la energía solar. Las tecnologías activas incluyen paneles fotovoltaicos y colectores térmicos para recolectar la energía, mientras que las técnicas pasivas involucran aspectos como la posición de los edificios al Sol, la elección de materiales con propiedades térmicas adecuadas y estrategias de diseño que aprovechen la ventilación natural.

En 2011, la Agencia Internacional de la Energía subrayó las importantes ventajas a largo plazo del desarrollo de una tecnología solar limpia, barata e inagotable. Esto incluye una mayor seguridad energética al utilizar una fuente de energía local y renovable, una mayor sostenibilidad, una reducción de la contaminación, menores costos en la moderación de la variación climática y la prevención de aumentos excesivos en los precios de los combustibles fósiles. Estas ventajas son globales y justifican la inversión en la promoción y desarrollo de la energía solar

Actualmente, la energía solar fotovoltaica es la fuente de energía solar más desarrollada, y se estima que podría abastecer de electricidad a dos tercios de la población mundial para el año 2030, según informes de Greenpeace.

2.2.4 Usos de la energía solar

Aprovechando de manera efectiva la radiación solar, es posible obtener tanto calor como electricidad. Para obtener calor, se emplean captadores o colectores térmicos, mientras que la electricidad se produce mediante módulos fotovoltaicos. Estos dos procesos son independientes en términos de tecnología y aplicación.

El calor recolectado a través de los captadores tiene diversas aplicaciones, como suministrar agua caliente para uso doméstico o industrial. Además, el calor solar puede sorprendentemente utilizarse para refrigeración en épocas calurosas, cuando el sol es más abundante. Por ejemplo, en países árabes, los aires acondicionados aprovechan eficazmente la energía solar.

En el ámbito agrícola, la energía solar ofrece amplias posibilidades. Los invernaderos solares permiten obtener cosechas más abundantes y tempranas, mientras que los secaderos agrícolas requieren menos energía si se integran con sistemas solares. Además, se pueden llevar a cabo procesos de purificación y desalinización de agua sin necesidad de utilizar combustibles fósiles.

Por otro lado, las células solares fotovoltaicas, dispuestas en paneles solares, han sido utilizadas desde los primeros satélites espaciales para generar electricidad. En la actualidad, representan una solución definitiva para la electrificación rural, superando a otras alternativas debido a su falta de partes móviles, durabilidad a lo largo del tiempo, impacto ambiental mínimo, ausencia de ruido, independencia de combustibles y bajos requerimientos de mantenimiento. Aunque con una eficiencia reducida, incluso funcionan en días nublados al captar la luz que traspasa a través de las nubes.

La electricidad producida por las células fotovoltaicas puede utilizarse de diversas formas, como para extraer agua de pozos o para el riego mediante motores eléctricos. También, puede almacenarse en acumuladores para su uso durante la noche o inyectarse en la red eléctrica general, lo que resulta económicamente rentable tanto para el autoconsumo como para la venta. Cada vez más países valoran a los productores de electricidad fotovoltaica por su contribución ambiental.

Es posible que en la tercera década de este siglo el precio de los módulos solares haya alcanzado un mínimo histórico, al tiempo que se habrá potenciado su fabricación a gran escala, una parte significativa de la electricidad consumida en regiones con abundante radiación solar provenga de la conversión fotovoltaica. La energía solar puede complementarse eficazmente con otras fuentes de energía usuales para reducir el requerimiento de sistemas costosos de almacenamiento a gran escala.

2.2.4.1 Radiación solar en la región Junín

Según el estudio realizado por Llinet en 2022, en el diseño e instalación de equipos solares, es crucial tener en cuenta la apreciación de la radiación solar del lugar a instalar. En su investigación, se informa sobre la radiación solar promedio diaria mensual en la estación meteorológica del distrito Ingenio, provincia de Concepción, a lo largo de un año. Se encontró que las radiaciones solares son más altas en noviembre con 6,77 kWh/m²/día y más bajas en junio con 5,18 kWh/m²/día. A pesar de la menor radiación en junio, el estudio demuestra que es perfectamente viable utilizar la energía solar como una fuente rentable en equipos térmicos (17).

Tabla 1. *Estimación mensual media de la radiación solar global cotidiana utilizando el tipo empírico Bristow-Campbell de las estaciones meteorológicas ubicadas en Ingenio.*

Radiación solar global promedios diarios mensuales [kWh/m ² /día]													
Nº Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom.
4. Ingenio	6,49	6,13	5,80	5,64	5,41	5,18	5,39	5,93	6,28	6,59	6,77	6,46	6,01

Nota: Obtenido de Camayo et al. (6)

2.2.5 Funcionamiento de un secador solar

Los secadores solares generalmente incluyen una cámara de secado donde se ubica el material que se desea deshidratar. Esta cámara puede ser una habitación aislada que cuenta con conductos de entrada de aire caliente y conductos de salida de humedad. En muchas ocasiones, se emplean cámaras o estructuras similares para crear espacios secos. En la parte frontal de la carcasa, se encuentra un sistema de calentamiento de aire denominado colector solar, el cual constituye la primordial fuente de energía para el desarrollo. Esencialmente, estos dos elementos desempeñan un papel fundamental como agentes deshidratantes. Además, los conductos pueden desempeñar funciones adicionales, como proporcionar un suministro secundario de aire, operar ventiladores, facilitar la evacuación de humos, gestionar sistemas de control y medición, habilitar mecanismos de almacenamiento de energía o, en resumen, contribuir al calentamiento del aire o permitir su circulación.

Los secadores solares típicamente incluyen una cámara de secado donde se coloca el material a deshidratar. Se optó por diseñar un módulo adicional que comprende una etapa de captación solar, una cámara de drenaje o secado, un sistema de succión o chimenea, así como un sistema fotovoltaico destinado a alimentar sensores. Este módulo permite llevar a cabo el secado con un control conciso de la temperatura y la humedad.

Para asegurar el adecuado funcionamiento del secador solar indirecto, es esencial tener en cuenta la influencia de los tres componentes mencionados anteriormente: el colector de aire, que precalienta el líquido, la cámara de secado y la chimenea. Se parte del supuesto de que la temperatura dentro de cada sección de control asociada con el precalentador y la cámara es homogénea. El precalentador incluye siete secciones de control de distintas longitudes. Se asume que la cámara de secado mantiene una temperatura uniforme en su volumen central, y en la chimenea se emplea una única sección de control, considerando que la temperatura del aire no experimenta variaciones significativas a lo largo de su longitud.

Y para evaluar el desempeño del secador solar, es necesario adquirir información esencial, como:

Eficiencia del secador:

La eficiencia del proceso de secado se define como la relación entre la energía consumida y la suma de la energía disipada en el aire junto con la energía empleada en el proceso, según Earle y Early.

En la evaluación de dispositivos solares, la eficiencia se utiliza como la relación entre la cantidad de energía empleada para el secado y la cantidad de agua que se evapora durante el procedimiento. Esta relación se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$eficiencia = \frac{Agua\ evaporada(kg)}{Area\ secado * dias\ de\ secado}$$

La energía necesaria para deshacerse del producto no se incluye en esta frase para poder calcularla con precisión.

2.2.5.1 Desempeño del producto

El rendimiento del secado puede calcularse considerando como resultado el contenido de humedad original del producto, así como su contenido de humedad final. (17)

Ferrant, citando a Mendieta y Medina (1995), señaló que la investigación estableció esta proporción dividiendo la cantidad total de peso que se encontró al concluir el estudio entre el inicial y multiplicando el resultado obtenido por 100 (18)

Por este cálculo:

$$rendimiento = \frac{Wd}{W0} * 100$$

En otros términos, la eficacia de un artículo indica la cantidad beneficiosa que permanece después de completarse el procedimiento, que en este caso es el proceso de secado.

2.2.5.2 Curvas de secado

La curva de secado muestra cómo el sólido húmedo pierde humedad a lo largo del tiempo de secado. Antes de analizar cómo se comporta esta curva de secado, hay algunas ideas relacionadas con este desarrollo que se mencionan a continuación (2)

2.2.5.3 % Humedad base seca (CHs)

Esta está en función a la cantidad de agua en masa seca.

$$CHs = \frac{100 Ma}{Ms}$$

Dónde: CHs, porcentaje de humedad en base seca (%)

Ma: masa de agua (kg)

Ms: masa de materia seca (kg)

2.2.5.4 Velocidad de secado

$$N = \frac{LsdX}{A \cdot t}$$

Dónde: t, tiempo de secado

Ls: peso del solido seco (kg)

A: área de secado (m²)

2.2.5.5 Cálculo de la ratio de secado

Para calcular el índice de secado, se lleva a cabo mediante la determinación de la variación de pesos (m2 - m1) en un intervalo de tiempo (t2 - t1) y dividiendo ese cambio por la duración de dicho intervalo de tiempo:

$$r = \frac{m2 - m1}{t2 - t1} (g/min)$$

2.2.5.6 Cálculo de la humedad del aire

Si se tiene información sobre la humedad y la temperatura del entorno, así como la temperatura a la salida del colector, es posible calcular la humedad que ingresa a la cámara de la siguiente manera:

$$HR = HRamb \frac{Psat(Tamb)}{Psat(T)}$$

HR: Humedad relativa en la entrada de la cámara (%).

HRamb: Humedad relativa del entorno (%).

Psat (Tamb) y Psat (T): Presión de saturación a la temperatura ambiente y a la temperatura de entrada a la cámara, obtenida a partir de la siguiente tabla 2.

Tabla 2. Presión de saturación en función a la temperatura

Temperatura (°C)	Presión de saturación (Pa)
15	1227.5
20	1936.7
25	2642.5
30	3563.6
35	4753
40	6273.1
45	8197.3
50	10610
55	13611
60	17311

Nota. Obtenido de (7)

2.2.6 Proceso de preparación de la fruta para el deshidratado

Antes de iniciar el proceso de deshidratación de cualquier artículo, es imprescindible realizar una serie de acciones, que abarcan:

- i. *Recepción.* Implica la acogida de las frutas y su almacenamiento apropiado en un lugar idóneo para su preservación.
- ii. *Clasificación.* Involucra la separación de las frutas según su dimensión y modelo, con el fin que garantice una deshidratación uniforme.
- iii. *Pesaje.* Es necesario determinar el peso del producto antes de introducirlo en el proceso de deshidratación, con el objetivo de calcular la cantidad de materia prima empleada y evaluar el rendimiento del producto deshidratado.
- iv. *Limpieza.* Con el propósito de cumplir con las regulaciones de seguridad alimentaria, se lleva a cabo un procedimiento de lavado de las frutas para eliminar cualquier impureza presente en su superficie.
- v. *Colocación en bandejas.* Una vez completada la fase de limpieza, el producto se dispone de manera óptima en las bandejas de deshidratación, asegurando una distribución uniforme y un volumen similar.

2.2.7 Secado del aguaymanto

El aguaymanto ha sido sometido a un análisis que incluye 128 parámetros fisicoquímicos relevantes. Por otro lado, las otras muestras se dividieron en dos grupos: uno de ellos se sumergió en una conclusión de soda cáustica al 1.5 % a 80°C durante 5 segundos, mientras que el segundo grupo se sumergió en agua bajo las mismas condiciones. A continuación, cada grupo se dividió en otros dos subgrupos. El secado conectivo se realizó en uno de estos subgrupos a una temperatura de sesenta grados centígrados y a una velocidad de tres metros por segundo. Durante

el procedimiento de deshidratación osmótica que se realizó en el otro subgrupo, al que siguió el secado conectivo, se comprobó el peso cada diez minutos para garantizar la precisión. El secado se detuvo cuando el peso indicó indirectamente un contenido de humedad del 20 % en el fruto.

2.2.7.1 Análisis físico-químicos en aguaymanto fresco y deshidratado

Se llevaron a cabo análisis en el aguaymanto fresco, que incluyó la medición de la humedad, el volumen de cenizas mediante ignición en una mufla, la cantidad de vitamina C a través de titulación con 2,6 diclorofenol indofenol, el °Brix mediante una táctica indirecto utilizando un Brixómetro y el pH utilizando un pH metro. En el caso del aguaymanto deshidratado, se realizaron análisis de humedad y vitamina C. También, se realizó la deducción cinética como parte del estudio:

Humedad en base seca: se usó la siguiente expresión.

$$y = \frac{m - m_3}{m_3}$$

m: peso total (gramos)

m₃: peso del producto deshidratado (gramos)

Y: contenido de humedad en términos de peso de agua por peso de producto deshidratado (gramos de agua/gramos de producto deshidratado)

Difusividad efectiva: se llevó a cabo la aplicación de la solución de la ley de Fick para una esfera, tal y como sugería (19).

$$\Gamma = \frac{Y - Y_s}{Y_0 - Y_s} = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} e^{\left[\frac{-n^2 D_{ef} t}{r^2} \right]}$$

Γ: fuerza motriz

Y: capacidad de humedad en función del tiempo (gramos de agua por gramo de producto deshidratado)

Y₀: contenido de humedad inicial (gramos de agua por gramo de producto deshidratado)

Y_s: contenido de humedad en la superficie (gramos de agua por gramo de producto deshidratado)

n: número de término

D_{ef}: difusividad efectiva (metros cuadrados por segundo)

r: radio de la esfera (metros)

2.2.7.2 Aguaymanto (*Physalis peruviana*)

Según Vélezmore (2004), los incas conocían un fruto llamado aguaymanto, que científicamente pertenece al género *Physalis* familia de las solanáceas. El fruto está encerrado dentro de un cáliz o capacho, tiene una forma redonda y ovoide, y tiene el tamaño aproximado de una uva grande. Tiene una piel lisa, cetácea, lustrosa y de color amarillo, dorado, naranja o verde, según la variedad. Su pulpa es deliciosa, y las pequeñas semillas amarillas que pueden encontrarse en su interior son comestibles. Cuando el fruto ha alcanzado la madurez, tiene un sabor algo dulce y ligeramente ácido. Es rica en hierro y fósforo, así como en vitaminas A y C, y contiene una cantidad considerable de vitamina A. (20)



Figura 6. El aguaymanto (*Physalis peruviana*) Obtenido de: (21)

Según el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) en su informe de 2009, se hace referencia a la uvilla, también conocida como *Physalis peruviana*, la cual pertenece a la familia Solanácea. Esta fruta presenta una forma redonda u ovoide, similar en tamaño a una uva grande. Una piel sedosa, brillante y, según el tipo, puede ser de color amarillo, dorado, naranja o incluso verde. La piel también varía de color, del naranja al verde. Su carne es deliciosa, y en su interior hay pequeñas semillas amarillas que pueden comerse por su flexibilidad. Cuando la flor muere, el cáliz se expande y forma una capa o membrana muy fina que recubre el fruto. Esta es una de las características distintivas de la planta. Cuando ha alcanzado la plena madurez, la uvilla tiene un sabor dulce con un toque ácido.

2.2.7.3 Origen y distribución

Según lo planteado por Velezmore (20), el aguaymanto, cuyo nombre científico es *Physalis peruviana*, tiene sus orígenes en valles bajos de los Andes en Perú y Chile. Existen más de ochenta tipos de esta fruta que se hallan en su estado natural. Estas variaciones pueden identificarse por el hecho de que sus frutos están encerrados en un cáliz, también conocido como capacho.

Por otro lado, Velásquez y Mestanza (22) afirmaron que es originaria de la vertiente occidental de los andes, entre Perú y Ecuador, como otras especies de su género. Esta planta es de

origen silvestre y en pocos lugares se cultiva y se cuida debido a la alta estima que tienen los campesinos por sus frutos, conocidos por su sabor endulzado. Estos frutos se ingieren crudos o se utilizan en preparaciones de dulces. En la región de Cajamarca, las plantas de *Physalis peruviana* se encuentran dispersas en lugares como jardines, huertos de casas, parcelas, a menudo creciendo junto a otros frutos.

2.2.7.4 Clasificación científica

El aguaymanto se clasifica en lo siguiente:

Tabla 3. *Clasificación científica del aguaymanto*

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Solanales
Familia	Solanaceae
Subfamilia	Solanoideae
Tribu	Physaleae
Género	Physalis
Especie	Physalis peruviana L

Fuente: Morton (1997)

2.2.7.5 Composición nutricional del aguaymanto (*Physalis peruviana*)

Según las investigaciones de Peña y sus colegas en 2013, la uchuva, conocida como *Physalis peruviana* L, se destaca por ser un fruto con un sabor dulce con alto contenido de agregado bioactivos, que incluyen ácido ascórbico (vitamina C), β -caroteno (provitamina A) y fenoles. Estos componentes tienen la capacidad de mejorar así la defensa antioxidante del organismo

La combinación sinérgica de estas sustancias químicas puede potenciar los mecanismos de defensa antioxidante del organismo cuando se aplican de manera individual, como señalaron Encina y sus colegas en 2007, citados por Peña et al. en 2013. Además, se descubrió que una ración comestible de 100 gramos de capulí aporta aproximadamente 20 miligramos de ácido ascórbico y 0,2 miligramos de provitamina A, lo que equivale al 65 % y al 26 % de valores cotidiano de referencia (VDR) respectivamente, para una ración de 200 gramos, en cumplimiento de la legislación colombiana que fueron introducidos por el Ministerio de la Protección Social en el 2011, también citado por Peña et al. en 2013. Además de estos nutrientes, la uchuva también contiene minerales como calcio (equivalente al 2 % de los VDR por cada 200 gramos), hierro y fósforo.

De acuerdo con un estudio realizado por el National Research Council en 2003, se ha descubierto que el zumo de esta fruta tiene un alto contenido en pectinasa, lo que reduce los gastos asociados a la fabricación de mermeladas y otros productos similares. A continuación, se muestra en forma de tabla el perfil nutricional de la uchuva. Esta tabla también revela que la uchuva está asociada a diversas características curativas.

Tabla 4. *Estructura y valor nutricional del aguaymanto*

Factor Nutricional	Contenido por 100 g. de pulpa
Calorías (Kcal)	54
Agua (g)	79.6
Proteína (g)	1.1
Grasa (g)	0.4
Carbohidratos (g)	13.1
Fibra (g)	4.8
Ceniza (g)	1.0
Calcio (mg)	7.0
Fósforo (mg)	38
Hierro (mg)	1.2
Vitamina A (U.I.)	648
Tiamina (mg)	0.18
Riboflavina (mg)	0.03
Niacina (mg)	1.3
Ácido ascórbico (mg)	26

Fuente: Encina et al (2007)

Fuente: Encina et al (2007)

Tabla 5. *Valor nutricional del aguaymanto fresco por 100 g. de porción comestible*

Componentes	Contenido
Análisis colorimétrico	L* 61.42 ± 0.74
	a* 10.08 ± 0.55
	b* 36.52 ± 0.81
Actividad de agua (<u>aw</u>) medida a 19.4 °C	0.99 ± 0.01
Carotenos totales (mg de β-caroteno/100 g) Compuestos fenólicos (mg ácido clorogénico /100g)	1.77 ± 0.02

Nota: Obtenido de (15)

2.2.7.6 Descripción botánica

Según Morton (1997), la planta de aguaymanto, también conocida como *Physalis peruviana* en el mundo científico, fue caracterizada y nombrada por primera vez por Linneo en el año 1753. A lo largo de muchas décadas, este arbusto ha sido objeto de cultivo en las regiones de los andes

americanos. Se basa de una planta herbácea erguida que muestra características perennes en zonas tropicales y anuales en regiones templadas. Puede alcanzar alturas que oscilan entre 0.6 y 0.9 m, aunque existen registros de ejemplares que han crecido hasta 1.8 m. Sus ramas suelen presentar surcos y, ocasionalmente, adquieren tonalidades violáceas (23).

Las hojas se disponen en forma opuesta y tienen una forma que se asemeja a un corazón, midiendo entre 4 a 10 cm de ancho y 6 y 15 cm de largo. Esta planta produce flores de color amarillo con una corola que tiene forma de campana de color marrón-púrpura. Los frutos de esta planta son bayas de color amarillo anaranjado, de forma globosa y diámetro variable de 1,5 a 2 cm. Estos frutos tienen un sabor distintivo, que se caracteriza por ser agrídulce y agradable al paladar. Están cubiertos por un cáliz no comestible de textura papirácea.

2.2.7.7 Características nutricionales y terapéuticas del aguaymanto (*Physalis peruviana*)

El aguaymanto o *Physalis peruviana* se destaca por tener un alto porcentaje de provitamina A, con una cantidad de 3000 unidades internacionales (UI) de caroteno por cada 100 gramos, así como de vitamina C. Además, contiene algunas vitaminas del complejo B. Es notable que posee niveles excepcionalmente altos de proteína (0.3 %) y fósforo (55 %), lo cual es inusual para una fruta.

Actualmente, el aguaymanto se utiliza con fines terapéuticos, ya que se considera que contribuye a la purificación de la sangre, fortalece el nervio óptico y alivia problemas bucofaríngeos. Es recomendado para personas que padecen diabetes de cualquier tipo y puede ser beneficioso en el tratamiento de trastornos de la próstata debido a sus propiedades diuréticas. Además, se utiliza como un recurso natural para aliviar el estrés gracias a su contenido de flavonoides, como señalaron Encina y colaboradores en 2007.

Dopf mencionó que la cubierta natural del aguaymanto permite que el fruto se conserve fresco durante un largo período de tiempo, incluso semanas después de ser cosechado. Esta fruta es rica en vitaminas A, B y C, y su sabor agrídulce deja en el paladar un aroma sumamente agradable (24).

En cuanto al consumo, Morton señaló que el aguaymanto (*Physalis peruviana*) puede consumirse fresco, ya sea solo o acompañado con ensaladas, aportando un toque agrídulce a los platos. En algunos países, como Colombia, se ha comenzado a procesar para obtener productos como mermeladas, yogures, dulces, helados, conservas enlatadas y licores. Además, se utiliza como elemento decorativo, similar a una cereza que adornan pasteles. (23)

2.2.8 Frutas secas

2.2.8.1 Definición de frutas secas

De acuerdo con el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) en 2014, los frutos secos se caracterizan por tener una humedad naturalmente reducida en la porción que es comestible.

2.2.8.2 Definición de deshidratación de aguaymanto

Conforme a las directrices del Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) en 2015, se define la deshidratación como el proceso de eliminar la humedad utilizando métodos artificiales, y en ocasiones, complementados con el secado al sol.

2.2.8.3 Requisitos de aguaymanto deshidratado

El aguaymanto deshidratado se caracteriza por lo siguiente:

- a. Los frutos deshidratados deben presentar un aroma y color que sean característicos de su variedad. Deben estar libres de cualquier olor ajeno y no deben mostrar rastros de olores provenientes de zanahorias, zapallos u otras uvillas fermentadas.
- b. En los productos alimentarios regulados por esta norma, está permitido el uso de antioxidantes y conservantes.
- c. Es necesario respetar los niveles máximos permitidos de contaminantes y plaguicidas en los productos sujetos a los requisitos de esta norma.
- d. Los productos deshidratados deben estar exentos de insectos vivos, ácaros, parásitos u hongos. Asimismo, deben estar sumamente libres de insectos, cualquier tipo de contaminación de origen roedor.
- e. La cantidad de materias extrañas, como tierra, residuos de piel, tallos, hojas, fragmentos de semillas y otros elementos ajenos, que puedan adherirse o no a la fruta, no debe superar el 1 % en relación a 100 gramos del producto.
- f. En el caso de los pomelos, se exige que los artículos deshidratados cumplan los parámetros de humedad y temperaturas de secado mencionados en la tabla que les corresponde.

Tabla 6. *Parámetros de humedad y temperatura*

Requisitos	Unidad	Mínimo	Máximo	Método de
Temperatura	°C	---	55	--
Humedad	% m/m	---	12	AOAC 934.06

Fuente: INEN (2015)

2.3 Definición de Términos Básicos

Colector solar. Es cualquier dispositivo diseñado con el propósito de captar la energía proveniente del sol y elevar la temperatura de una red para su posterior aprovechamiento (15).

Celdas fotovoltaicas. Son sistemas fotovoltaicos que transforman directamente una parte de la energía solar en electricidad.

Sensor de humedad. Un sensor de humedad es un instrumento utilizado para la medición de los niveles de humedad.

Energía térmica. Corresponde a la energía interna o la temperatura total de un objeto.

Deshidratado. Se trata de un procedimiento mediante el cual se consigue la eliminación o disminución del contenido de agua de un alimento mediante la aplicación de calor, sin que ello afecte los nutrientes, vitaminas y minerales del producto, y a la vez concentrando su sabor.

Anemómetro de hélice. Se utiliza para obtener medidas de velocidad del viento, convirtiendo la rotación de una hélice en una señal de voltaje directamente proporcional a la velocidad del aire. Esta señal de salida es adecuada para diversos lectores de señal y sistemas de adquisición de datos.

Biomasa. Referido a materia orgánica utilizada como fuente de energía. Esta categoría abarca una extensa gama de materiales orgánicos que se determina por su diversidad en términos de origen y naturaleza.

Nubosidad. La nubosidad se define como la fracción del cielo que se encuentra cubierta por nubes, las cuales pueden ser de diversos tipos, especies, variedades y alturas. Según la altura, se pueden clasificar en dos categorías principales: nubes bajas y nubes medias y altas.

Mufla. Una mufla es un tipo de horno utilizado comúnmente en el laboratorio para llevar a cabo la cocción de materiales cerámicos y la fundición de metales mediante la aplicación de calor. Además, se emplea para procesos de calcinación y secado de sustancias, así como para la realización de procedimientos de control.

Brixómetro. Un brixómetro es un refractómetro que dispone de una escala en grados Brix, donde 1 grado Brix equivale a 1 gramo de sacarosa contenido en 100 gramos de solución.

Piranómetro. Un dispositivo utilizado para la medición de temperatura en una superficie plana. Cuando se emplea junto a una pantalla que evita la radiación solar directa, su función se limita a la medición de la radiación difusa o dispersada por la atmósfera.

Acero inoxidable. Se trata de una aleación de acero que contiene un mínimo del 10 % al 12 % de cromo en términos de su masa. También puede incluir otros metales como molibdeno, níquel y tungsteno, y se caracteriza por su resistencia a la oxidación.

Aislante térmico. Su función es impedir la transferencia de calor de un lugar a otro, como se utiliza, por ejemplo, en hornos o refrigeradores.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Método, Tipo o Alcance de la Investigación

3.1.1 Enfoque de investigación

El enfoque de investigación empleado en este estudio es de naturaleza mixta, tal como lo describe Hernández. Este enfoque mixto engloba una serie de procedimientos que abarcan la recopilación, análisis y correlación de datos tanto cuantitativos como cualitativos en el contexto de una misma investigación o en una serie de investigaciones con el fin de abordar una problemática específica. Además, en el capítulo correspondiente se examinan las particularidades, características, posibilidades y ventajas asociadas a la aplicación de métodos mixtos (25).

Por lo tanto, este estudio se adscribe a la perspectiva mixta, ya que tiene la intención de describir variables de naturaleza cuantitativa. Esto implica que se llevarán a cabo análisis relacionados con los materiales de construcción, el rendimiento del secador solar y la capacidad de carga del diseño del secador solar, que será empleado en el proceso de deshidratación del aguaymanto.

3.1.2 Tipo de investigación

Esta investigación se clasifica como tecnológica, siguiendo la definición proporcionada por SINACYT, que la describe como el uso de resultados de investigación o cualquier otro conocimiento científico para la creación de materiales, productos, métodos, procesos o sistemas nuevos o significativamente mejorados, antes de su elaboración o uso comercial. Además, la guía de presentación de trabajos de investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Continental coincide al describir la investigación tecnológica, también conocida como desarrollo, que busca inventar dispositivos o procesos con el propósito de introducirlos en el mercado y obtener un provecho económico a partir de ellos (25).

Por lo tanto, esta investigación se adscribe al ámbito tecnológico, ya que su objetivo es la concepción y diseño de un secador solar con función al proceso de deshidratación del aguaymanto.

3.1.3 Alcance de investigación

Para Hernández, esta investigación se clasifica como descriptiva. Esto se debe a que se llevará a cabo el diseño detallado y la especificación de las propiedades y características del secador solar utilizado en el proceso de deshidratación del aguaymanto. Siguiendo la definición del autor, esta modalidad de investigación busca detallar y esclarecer las propiedades,

características y perfiles de elementos como individuos, grupos, comunidades, procesos, objetos u otros fenómenos que se someta a un análisis crítico (25).

3.1.4 Diseño de investigación

Conforme a la explicación de Hernández, la presente investigación se cataloga como no experimental, ya que no involucrará la manipulación deliberada de variables. En otras palabras, se caracteriza por llevarse a cabo sin la intención de modificar conscientemente las variables independientes para observar su influencia en otras variables. La investigación no experimental se centra en la observación de fenómenos en su contexto natural y posterior análisis (25).

Por lo tanto, este estudio se considera no experimental ya que no implica la manipulación de variables, sino que se limita a recopilar datos relacionados con el diseño del secador solar utilizado en el proceso de deshidratación del aguaymanto.

3.2 Metodología de diseño

Se usó la metodología VDI, que proporciona una comprensión de los requisitos del diseño, ya que antes de iniciar el proceso de diseño, es obligatorio abordar diversas interrogantes que se alineen con el objetivo del diseño. Siguiendo las pautas establecidas por la metodología VDI, se deben tener en cuenta los siguientes pasos previos al diseño.

3.2.1 Lista de exigencias

Se proporciona una enumeración de requisitos que documenta las especificaciones solicitadas por el cliente. Estos requisitos describen con precisión los objetivos y límites del proyecto, y sirven como evidencia de que el diseñador ha comprendido plenamente las demandas que deben ser atendidas. El nombre del cliente se coloca en la parte superior de esta lista de requisitos para distinguirla de otras listas que podrían estar siendo desarrolladas simultáneamente. Los distintos aspectos analizados se organizan en cuatro categorías, que se interpretan a continuación:

- i. *Fecha de modificación.* Este campo registra las alteraciones realizadas a lo largo del tiempo en los elementos de la lista, las cuales surgen durante las reuniones periódicas entre el diseñador y el cliente a lo largo del proceso.
- ii. *Preferencia o requisito.* En esta sección se enfatiza si el elemento abordado se trata de una condición que debe cumplirse de manera obligatoria o si, en cambio, es un aspecto deseado, pero no esencial para el funcionamiento futuro de la máquina. La tabla utiliza las letras “D” para denotar deseos y “E” para requisitos, según corresponda.
- iii. *Descripción.* En este campo se detallan las características específicas de cada elemento que deben ser consideradas durante el diseño y que la máquina (o máquinas) debe

poseer, ya sea en transcurso a la fase de ensamblaje o durante su operación. La elección de los encabezados de esta sección queda a cargo del diseñador, quien debe anticipar las diversas áreas del conocimiento que entrarán en juego durante el desarrollo del proyecto.

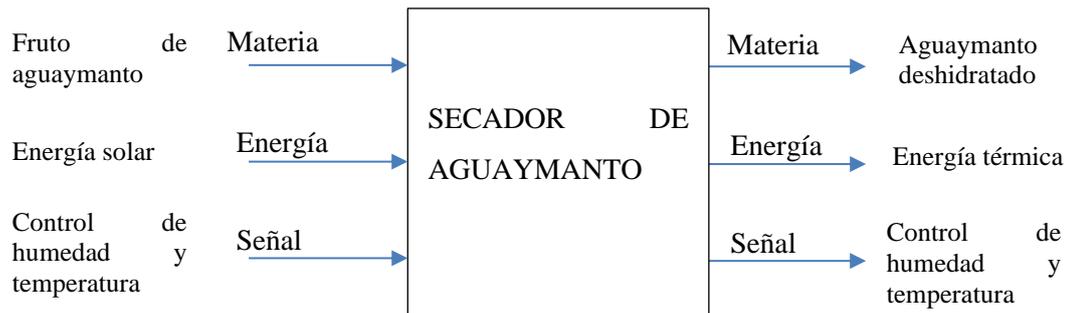
Tabla 7. Lista de exigencias del diseño del secador solar para deshidratado de aguaymanto

Lista de exigencias		Universidad Continental	Página: 1/2
Cliente:		Facultad de Ingeniería Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica	Fecha: 20/06/2023
Proyecto:		Diseño de secador solar para el deshidratado de aguaymanto	Autores: Jhon Alin Cayetano Ildelfonso Abimael Arturo Fernandez Marcelo
Fecha. (cambios)	Deseo o exigencia	Descripción:	Responsable
	E	Función principal: Secar frutos de aguaymanto, dentro de una cámara de secado, mediante traspaso de calor por convección forzada.	Jhon Cayetano Abimael Fernández
	E	Geometría: La cámara de secado podrá procesar hasta 100 kilos de fruto en cada corrida.	Jhon Cayetano Abimael Fernández
	E	Cinemática: La cámara contará con ventiladores que recircularan el aire dentro de la cámara para hacer llegar calor a los frutos y transportar la humedad de esta hacia el exterior.	Jhon Cayetano Abimael Fernández
	E	Fuerzas: El techo de la cámara deberá soportar el peso propuesto, así como la estructura debe estar diseñada para soportar el panel solar que accionará los ventiladores.	Jhon Cayetano Abimael Fernández
	E	Energía: La fuente de energía estará a cargo de un colector solar, el cual transferirá aire caliente hacia la parte interna de la cámara, por otro lado, se propone adicionar energía fotovoltaica, que permitirá la automatización del secador.	Jhon Cayetano Abimael Fernández
	E	Materia prima: El propósito del diseño es secar aguaymanto, sin embargo la utilidad del secador se extiende a diferentes productos, como pueden ser frutas, hierbas, hongos, etc.	Jhon Cayetano Abimael Fernández
	E	Controladores: El diseño contará con equipos de control de temperatura, humedad y tiempo, también se propone el uso de ventiladores, con los cuales se garantizará el buen funcionamiento del secador. .	Jhon Cayetano Abimael Fernández
	E	Seguridad: El secador solar no presentará riesgos durante su uso y es amigable con el medio ambiente.	Jhon Cayetano Abimael Fernández
	E	Ergonomía: El diseño cuenta con características amigables para el trabajo del personal operario, tanto para la carga de los productos, el proceso de control y la obtención del producto final.	Jhon Cayetano Abimael Fernández
	D	Construcción: los accesorio diferentes son necesarios para la construcción del secador son fáciles de conseguir tanto en la ciudad como en el país.	Jhon Cayetano Abimael Fernández
	D	Montaje: El secador se construirá en un taller y luego puede ser transportado y ensamblado en el lugar asignado para su funcionamiento.	Jhon Cayetano Abimael Fernández
	D	Uso: El secador será diseñado para que los productores de aguaymanto y le puedan dar un valor agregado a su producto.	Jhon Cayetano Abimael Fernández

3.2.2 Abstracción de la caja negra

En este apartado realizamos el análisis de las entradas y salidas en el diseño del secador.

El análisis de caja negra se preparó teniendo en cuenta la estructura de funciones que soportarán las pruebas realizadas, así como la lista de requisitos establecida en el capítulo anterior. En la estructura de funciones, la función principal se desglosa en múltiples funciones subsidiarias que, si se llevan a cabo con precisión, ayudarán a cumplir el objetivo fijado.



Como plantea la investigación, la materia prima está constituida por los frutos frescos de aguaymanto, la cual atraviesa por un proceso de secado usando energía solar y sin alterar las propiedades fisicoquímicas de la fruta, obteniendo como producto una fruta deshidratada rica en vitaminas.

3.2.3 Estructura de funciones (caja blanca)

A continuación, se organiza la secuencia de operaciones consideradas en el diseño de secador solar para el deshidratado de aguaymanto.

Dimensionamiento de la cámara de secado

El dimensionamiento de la cámara de secado se basa al tamaño y peso del producto que se secará, teniendo en cuenta una correcta circulación del aire para optimizar el secado.

Dimensionamiento del colector solar

El dimensionamiento de colector solar se basa al tamaño de la cámara y cuanto calor debe de almacenar para que sea trasportado a la cámara de secado y la base de espejos es dimensionado en función del colector, ya que es para optimizar la recolección del calor y aumentar la temperatura en la cámara de secado.

Dimensionamiento de los paneles solares

El dimensionamiento de los paneles solares es según la capacidad del lugar y artefactos electrónicos que se utilizaran el secador solar.

Dimensionamiento de ventiladores

El dimensionamiento de los ventiladores es para controlar la temperatura interna y cuando no se encuentre funcionando el colector solar entra los ventiladores para un secado continuo.

Y, por lo tanto, el diseño del secador solar consta de lo siguiente:

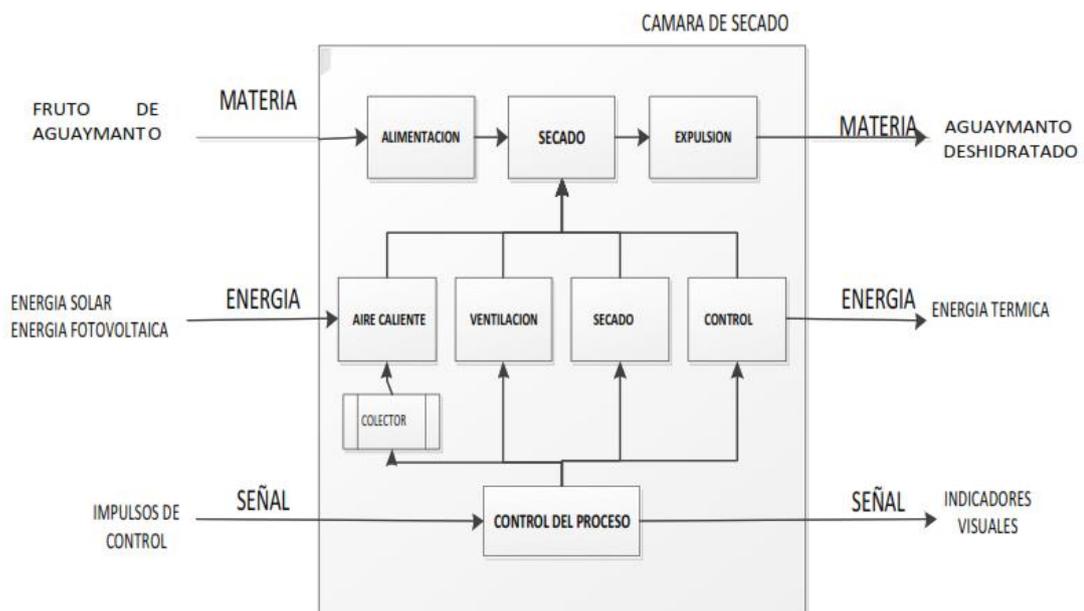
Parte mecánica del equipo:

- Recámara
- Recámara interna

- Campana
- Estructura de bandejas
- Estructura de ventiladores
- Estructura de filtros de aire
- Estructura de paneles
- Colector
- Base de espejos
- Soporte de paneles

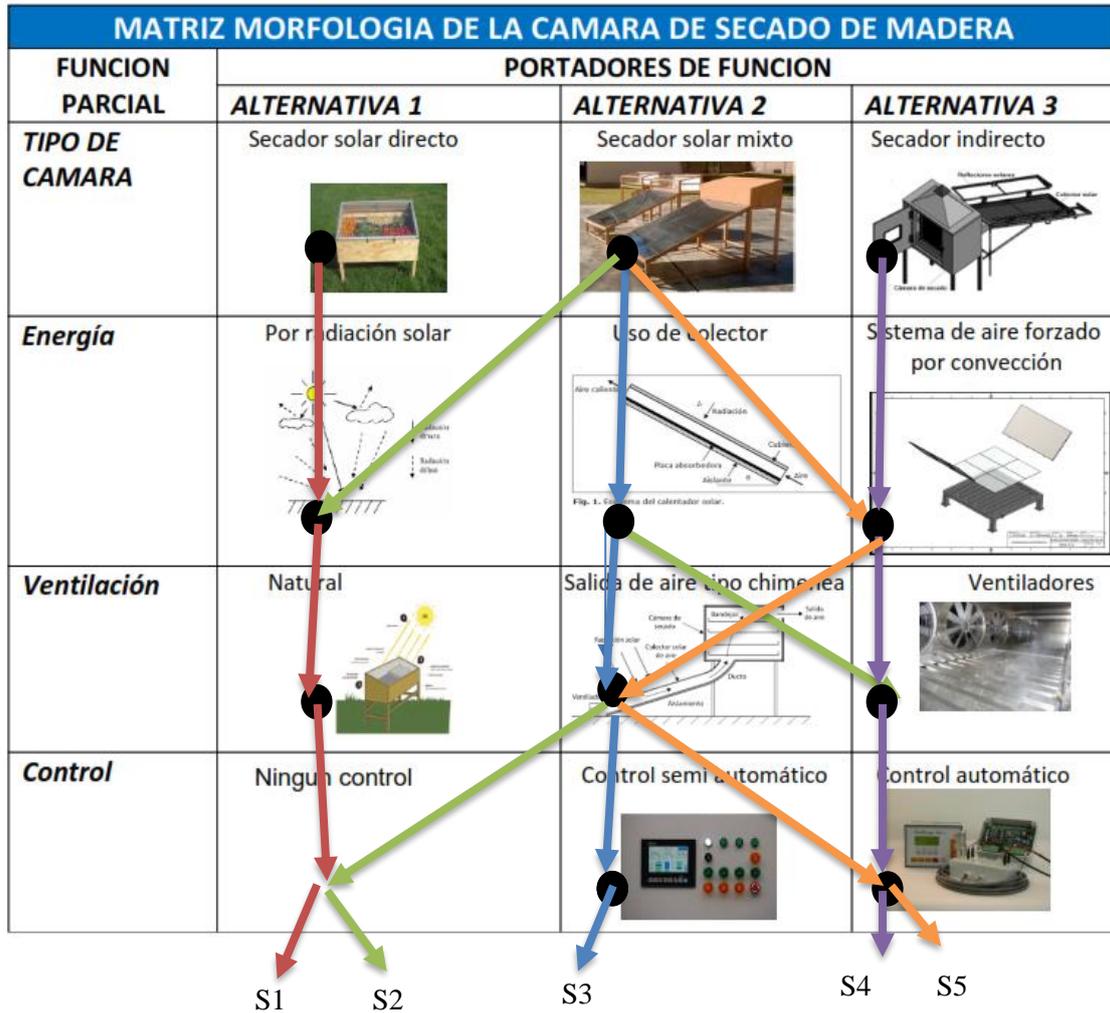
Partes del proceso de control

- El sistema de control se alimenta con 12 V
- Sensores
- Microcontrolador
- Mostfets
- Memoria SD de 4 GB



3.2.4 Matriz morfológica

Elaboración de la matriz morfológica con funciones parciales:



3.2.5 Evaluación de la matriz morfológica

A continuación, se muestra el análisis técnico de la matriz morfológica a partir de la lista de exigencias detallada en el primer punto del VDI, este análisis consiste en calificar cada una de las soluciones propuestas en una escala de 1 a 4, donde 1 represente el un puntaje mínimo y 4 el puntaje máximo.

DISEÑO MECANICO – EVALUACION DE PROYECTOS														UC			
VALOR TECNICO (Xi)																	
PROYECTO: DISEÑO DE SECADOR SOLAR PARA EL DESHIDRATADO DE AGUAYMANTO																	
p: Puntaje de 0 a 4 (escala de valores según VDI 2225)																	
0=No satisface, 1=Aceptable a las justas, 2=Suficiente, 3=Bien, 4=Muy bien																	
g: Peso ponderado y se da en función a la importancia de los criterios de evaluación																	
Criterios de evaluación para diseños en la fase de conceptos o proyectos																	
Variantes de Concepto/Proyecto			Solución			Solución			Solución			Solución			Solución		
			N°1			N°2			N°3			Ideal			N°5		
N°	Criterios de Evaluación		g	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp		
1	FUNCION		4	3	12	3	12	3	12	3	16	3	12	4	16		
2	DISEÑO		3	3	9	3	9	3	9	3	12	3	9	4	12		
3	EFICIENCIA DE SECADO		4	2	8	3	12	3	12	3	16	3	12	4	16		
4	CONSUMO DE ENERGIA ELECTRICA		4	2	8	3	12	3	12	3	16	1	4	4	16		
5	SEGURIDAD		3	2	6	2	6	2	6	2	12	2	6	4	12		
6	FACILIDAD DE CONSTRUCCION		3	2	6	2	6	3	9	3	12	3	9	4	12		
7	FACILIDAD DE OPERACION		3	2	6	3	9	2	6	3	12	2	6	4	12		
8	AUTOMATIZACION		3	3	9	3	9	2	6	3	12	2	6	4	12		
9	ASILAMIENTO TERMICO		4	2	8	3	12	3	12	3	12	3	12	4	16		
10	DISTRIBUCION DEL FLUJO DE AIRE		3	3	9	3	9	2	6	3	12	2	6	4	12		
11	VELOCIDAD		3	2	6	3	9	3	9	3	12	3	9	4	12		
12	MANTENIMIENTO		3	3	9	2	6	3	9	2	12	3	9	4	12		
13	PLAZOS		3	2	6	3	9	3	9	3	12	3	9	4	12		
14	CONTAMINACION		3	1	3	2	6	3	9	3	12	3	9	4	12		
PUNTAJE MAXIMO $\sum gp$			46		105		126		126		184	18					
VALOR TECNICO Xi			184		0.57	0.68	0.68		1.00		0.64			1.00			

De acuerdo con este análisis se observa que la solución 2 y 3 tienen la puntuación más alta respecto a la valorización de la lista de exigencias, seguido de la solución 5.

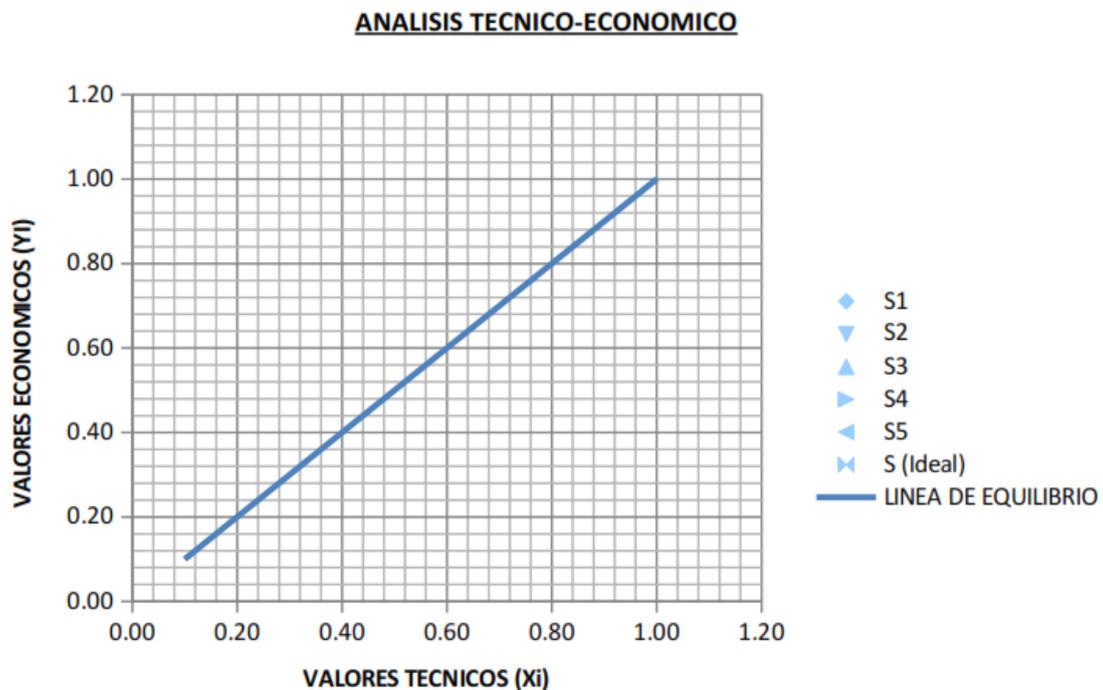
Análisis económico: en seguida, se muestra el efecto del análisis económico de las soluciones propuestas.

DISEÑO MECANICO – EVALUACION DE PROYECTOS													UC	
VALOR ECONOMICO (Yi)														
PROYECTO: DISEÑO DE SECADOR SOLAR PARA EL DESHIDRATADO DE AGUAYMANTO														
p: Puntaje de 0 a 4 (escala de valores según VDI 2225)														
0=No satisface, 1=Aceptable a las justas, 2=Suficiente, 3=Bien, 4=Muy bien(ideal)														
g: Peso ponderado y se da en función a la importancia de los criterios de evaluación														
Criterios de evaluación para diseños en la fase de conceptos o proyectos														
Variantes de Concepto/Proyecto			Solución		Solución		Solución		Solución		Solución		Solución	
			N°1		N°2		N°3		N°4		N°5		Ideal	
N°	Criterios de Evaluación	g	p	gp										
1	NUMERO DE ELEMENTOS	3	1	3	2	6	2	6	2	6	3	9	4	12
2	FACILIDAD DE ADQUISICION DE MATERIALES	3	2	6	3	9	3	9	3	9	2	6	4	12
3	COSTOS DE MATERIALES	4	2	8	2	8	1	4	3	12	3	12	4	16
4	FACILIDAD DE CONSTRUCCION	3	2	6	3	9	3	9	3	9	3	9	4	12
5	FACILIDAD DE MANTENIMIENTO	3	2	6	3	9	3	9	2	6	3	9	4	12
6	NUMERO DE OPERADORES	2	3	6	3	6	2	4	3	6	2	4	4	8
7	COSTO DE ENERGIA	3	2	6	2	6	2	6	2	6	1	3	4	12
8	COSTOS DE OPERACION	4	3	12	2	8	3	12	3	12	2	8	4	16
PUNTAJE MAXIMO $\sum gp$		25		53		61		59		66		60		100
VALOR ECONOMICO Yi				0.53		0.61		0.59		0.66		0.60		1.00

De acuerdo con el producto obtenido del análisis se percibe que la solución 4 y 2 son las soluciones más económicamente viables.

Comparando resultados

Solución	Valoración técnica	Valoración económica
Solución 1	57 %	53 %
Solución 2	68 %	61 %
Solución 3	68 %	59 %
Solución 4	100 %	66 %
Solución 5	60 %	60 %



De acuerdo con el análisis mostrado, se observa que la solución 4, muestra mejor porcentaje de aprobación, por lo tanto se decide que el diseño del secador tendrá los siguientes componentes:

- Tipo de camarada : Secador indirecto
- Energía : Colector por convección forzada
- Ventilación : Ventilador accionado por energía solar
- Control : Control automática

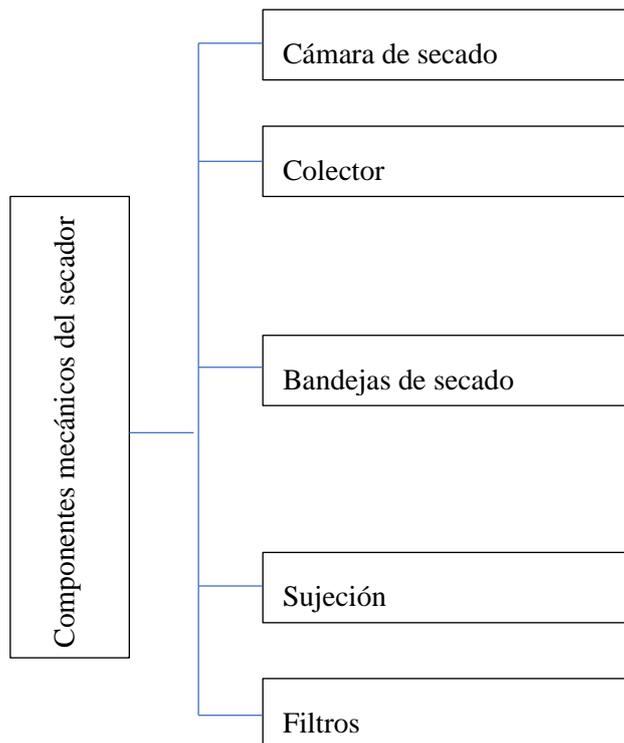
CAPÍTULO IV

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Cálculos pertinentes al diseño mecánico de la secadora de aguaymanto

4.1.1 Planteamiento del diseño mecánico del secador

En primer lugar, se estableció los componentes del secador solar:



4.1.2 Diseño del secador

Se creó un secador solar con convección de aire caliente con capacidad para secar hasta 100 kg de aguaymanto húmedo. Para ello se utilizó un colector de 5,62 m² debidamente aislado para evitar pérdidas de calor, una cámara de secado donde se deshidrata el producto y un sensor de temperatura acoplado al microcontrolador para medir la humedad en la cámara de secado, así como las temperaturas en la entrada y salida del colector, la entrada de la cámara de secado, las temperaturas de las bandejas y las temperaturas de la chimenea.

Diseño de la fuente de calor

Como línea base para realizar el cálculo se consideró la cantidad de agua o humedad que se debe eliminar. En ese sentido tenemos lo siguiente:

$$m_a = m_T * (H_n - H_s) \quad \text{Ecuación 6}$$

Tal como se mencionó líneas anteriormente la amplitud de la cámara de seca tendrá 100 kg, la humedad inicial del aguaymanto es del 80 %, esta humedad representa el valor crítico de la fruta, después del proceso este fruto debe contener 10 % de humedad, reemplazando tenemos lo siguiente:

$$m_a = 100 * (0.8 - 0.10)$$

$$m_a = 70 \text{ Kg}$$

Por lo tanto, después del proceso el producto tendrá:

$$m_{pd} = 100 - 70 = 30 \text{ Kg}$$

Luego se procede a calcular el valor del calor sensible Q_s

$$Q_s = m_a * C_p * (T_s - T_a)$$

Entonces, la masa de agua que debe eliminarse es igual a 70 kg. De tablas se tiene que el calor determinado del H₂O es $4180 \frac{J}{Kg * ^\circ C}$. Luego la T° de secado del Aguaymanto es a 50°C., la temperatura ambiente promedio de Huancayo es 15°C para el mes de febrero (11), por lo tanto:

$$Q_s = 70 \text{ kg} * 4180 \frac{J}{Kg * ^\circ C} * (50 - 15) ^\circ C$$

$$Q_s = 10241 \text{ KJ}$$

Posterior a este cálculo se procede a determinar el calor sensible de cuánto calor se necesitará para que un producto cambie de fase:

$$Q_l = m_a * (h_v - h_{liq})$$

Reiteramos que la masa de H₂O a remover es igual a 70 kg y la T° de secado máximo 50°C. Los valores de entalpía del estado de vapor del H₂O es $2592.1 \frac{KJ}{Kg}$ y del líquido $209.33 \frac{KJ}{Kg}$, reemplazando se tiene lo siguiente:

$$Q_l = 70 \text{ Kg} * (2592.1 - 209.33) \frac{KJ}{Kg}$$

$$Q_l = 70 \text{ Kg} * (2382.7) \frac{KJ}{Kg}$$

$$Q_l = 166.8 \text{ MJ}$$

Para determinar la potencia que necesita la fuente de calor, se parte de una duración máxima de 1 día y medio, es decir 36 horas aproximadamente, por lo tanto, nuestros controladores deben mantener una temperatura constante de 50°C durante este período de tiempo.

$$P = \frac{Q}{t}$$

$$P = \frac{166.8 \text{ MJ}}{36 * 3600 \text{ s}}$$

$$P = 36.2 \text{ W}$$

4.1.3 Diseño de la cámara de secado

Como se sabe, el diseño del secador solar se propuso para secar hasta 100 kg de aguaymanto. En ese sentido, tenemos la siguiente ecuación:

$$m_T = \delta * V$$

Considerando que la masa total a secar es de 100 kilos y un máximo de 3 kg por bandeja, así mismo se realizó el cálculo de la densidad del aguaymanto es igual a 1150 kg/m³.

Reemplazando tenemos lo siguiente:

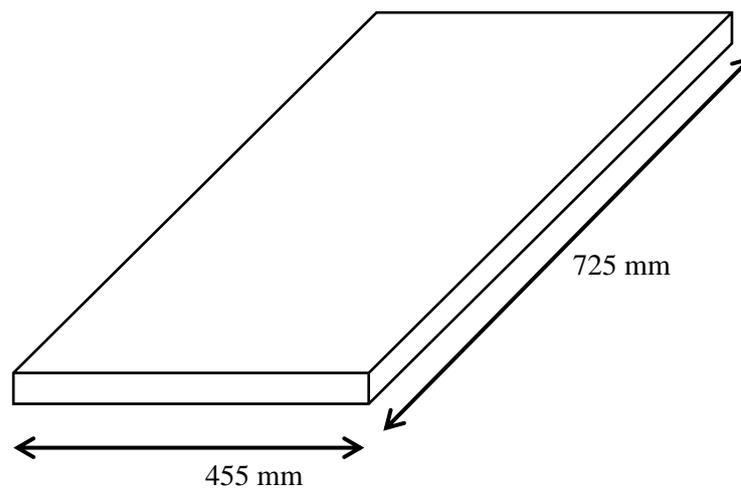
$$V = \frac{m_T}{\delta}$$

$$V = \frac{3 \text{ Kg}}{1150 \text{ Kg/m}^3}$$

$$V = \frac{3 \text{ Kg}}{1150 \text{ Kg/m}^3}$$

$$V = 0.026 \text{ m}^3$$

Por lo tanto, para el dimensionamiento de las bandejas se realizó los siguientes cálculos:



A continuación, las medidas de las bandejas de deshidratación están basadas en lo siguiente:

$$L_b = 725 \text{ mm}$$

$$A_b = 455 \text{ mm}$$

$$H_b = 26 \text{ mm}$$

$$H_u = 5 \text{ mm}$$

$$V_{Bandeja} = 0.00165 \text{ m}^3$$

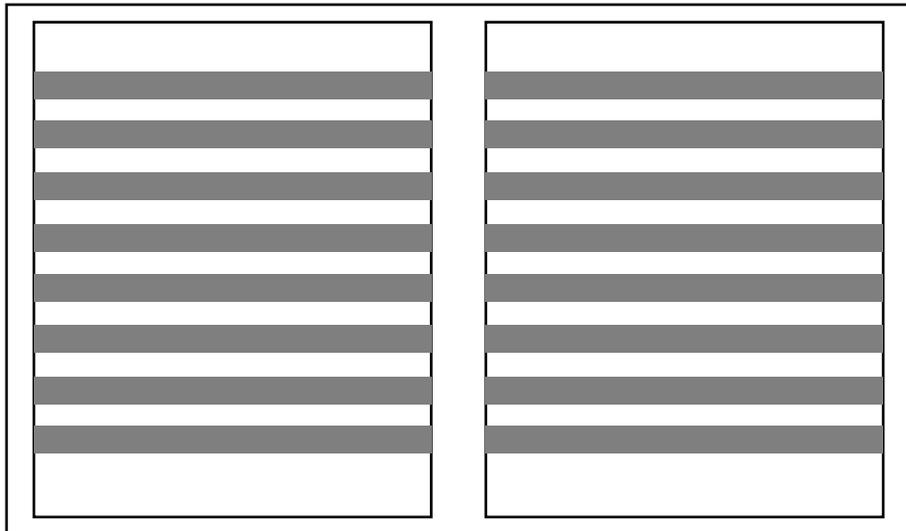
Con este resultado se procedió a realizar el cálculo del número de bandejas del secador:

$$\# \text{ Bandejas} = \frac{V_{m\acute{a}x}}{V_{Bandeja}}$$

$$\# \text{ Bandejas} = \frac{0.026 \text{ m}^3}{0.00165 \text{ m}^3}$$

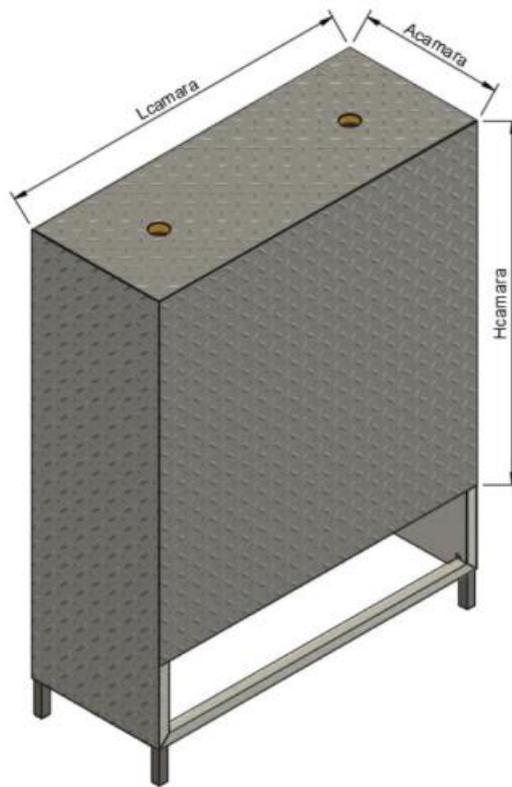
$$\# \text{ Bandejas} = 15.85 \cong 16 \text{ bandejas}$$

De acuerdo con los resultados, la cámara de secado dispondrá de 16 bandejas, en dos columnas se tiene en la siguiente figura.



Finalmente, en el diseño de la cámara de secado se tendrá en consideración, distribución de bandejas, espacio entre ellas y el soporte para las bandejas.

Tentativamente, mostramos el siguiente diagrama:



Dónde:

$L_{\text{cámara}}$ = Largo de la cámara

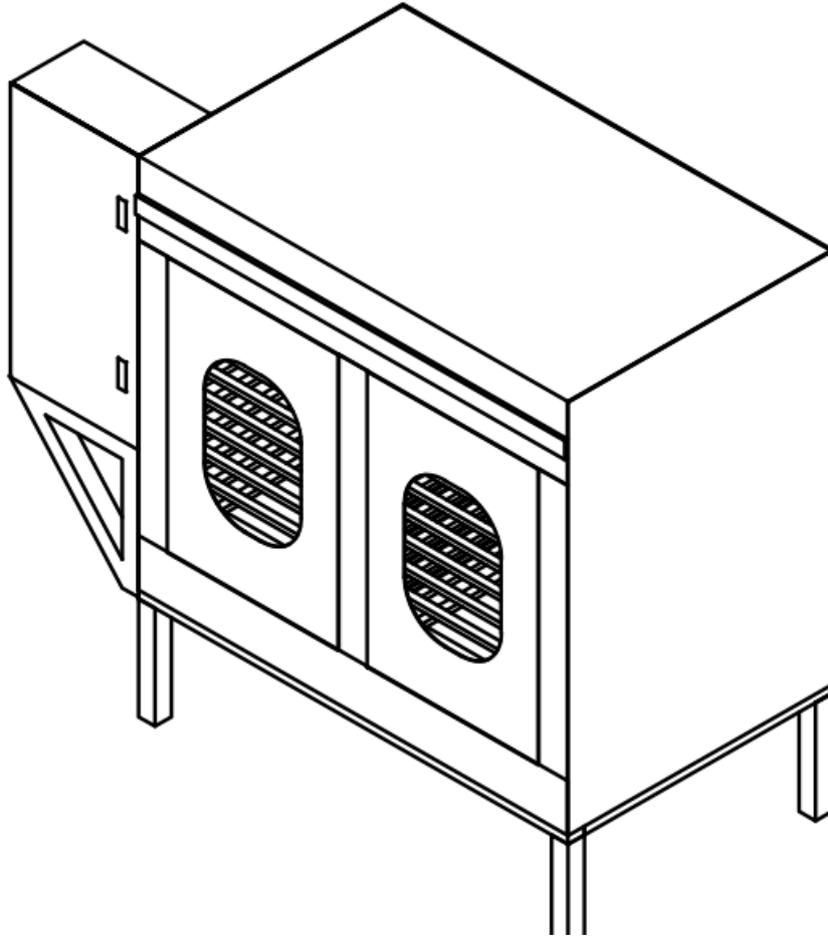
$A_{\text{cámara}}$ = Ancho de la cámara

$H_{\text{cámara}}$ = Altura de la cámara

Ancho del bastidor = Ancho del bastidor + 2 * ancho de tubo + 2 * anclaje de los bastidores

$A_{\text{cámara}} = 0.455 \text{ m} + 2 * 0.15 \text{ m} + 2 * 0.03 \text{ m}$

$A_{\text{cámara}} = 0.815 \text{ m}^2$



Cálculo de pérdida de calor en el aire:

Primero se calcula la pérdida de calor de la cámara de secado:

$$\dot{m}_{aire} = \frac{\dot{Q}_u}{C_{p-aire} * \Delta T}$$

Dónde:

\dot{m}_{aire} = El flujo de aire a granel del sistema $\frac{Kg}{s}$

\dot{Q}_u = Flujo de calor liberado en el aire [W]

ΔT = Disparidad de temperatura [°C]

C_{p-aire} = Calor específico del aire a condiciones de Huancayo

Propiedades del aire a 1 atm de presión				
Temp. $T, ^\circ\text{C}$	Densidad $\rho, \text{kg/m}^3$	Calor específico c_p $\text{J/kg} \cdot \text{K}$	Conductividad térmica $k, \text{W/m} \cdot \text{K}$	Difusividad térmica $\alpha, \text{m}^2/\text{s}$
-150	2.866	983	0.01171	4.158×10^{-6}
-100	2.038	966	0.01582	8.036×10^{-6}
-50	1.582	999	0.01979	1.252×10^{-5}
-40	1.514	1002	0.02057	1.356×10^{-5}
-30	1.451	1004	0.02134	1.465×10^{-5}
-20	1.394	1005	0.02211	1.578×10^{-5}
-10	1.341	1006	0.02288	1.696×10^{-5}
0	1.292	1006	0.02364	1.818×10^{-5}
5	1.269	1006	0.02401	1.880×10^{-5}
10	1.246	1006	0.02439	1.944×10^{-5}
15	1.225	1007	0.02476	2.009×10^{-5}

Figura 7. Valores de calor específico a 1 atm y 15 °C

Obtenido de: Cengel y Cimbala (2006) (14)

De acuerdo con la tabla el calor específico del aire a 1 atm y 15°C es igual a $1.007 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{K}}$

Por lo tanto la diferencia de temperatura es igual a:

$$\Delta T = T_{\text{máx}} - T_{\text{amb}}$$

De acuerdo con las condiciones de Huancayo la temperatura promedio es de 12.1 °C y la densidad del aire es igual a $1.23 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ (interpolando la tabla)

$$T_{\text{amb}}: 13 [^\circ\text{C}]$$

$$\delta_{\text{aire}} = 1.23 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Para hallar el caudal másico de aire a la temperatura máxima, se realizó finalmente un cálculo para el aguaymanto, siendo el calor útil $\dot{Q}_u = 1.262$ (kW)

$$\dot{m}_{\text{aire-aguaymanto}} = \frac{1.262}{1.007 * (60 - 12.1)}$$

$$\dot{m}_{\text{aire-aguaymanto}} = 0.0264 \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]$$

Finalmente se procede a realizar el cálculo de pérdida de Q en la cámara de secado:

$$\dot{Q}_{\text{perdido-aire}} = \dot{m}_{\text{aire sistema}} c_{p\text{-aire}} * \Delta T$$

Dónde:

$\dot{Q}_{perdido-aire}$ = Flujo de aire liberado en el aire (W)

$\dot{m}_{aire\ sistema}$ = El flujo de aire a granel del sistema $\left[\frac{kg}{s}\right]$

C_{p-aire} = Calor específico del aire en Huancayo $1.007 \frac{kJ}{kg^{\circ}K}$

El calor que se libera a la atmósfera tras la deshidratación del aguaymanto equivale, por tanto a lo siguiente:

$$\dot{Q}_{perdido-aire} = 0.0264 * 1.007 * 47.9$$

$$\dot{Q}_{perdido-aire} = 0.0264 * 1.007 * 47.9$$

$$\dot{Q}_{perdido-aire} = 1.273[kW]$$

Selección del material de fabricación

Acero inoxidable AISI 304

Todos los tipos de acero tienen una base de Fe y C, pero el acero inoxidable se diferencia por su contenido adicional de cromo, una aleación que le otorga su reconocida resistencia a la corrosión.

La situación se complica en este punto. El acero inoxidable se divide en varias categorías, cada una con atributos físicos algo distintos debido a las variaciones en la composición de la aleación.

El acero inoxidable debe contener como mínimo un 10,5 % de cromo. El cromo y otros elementos de aleación como el molibdeno, el níquel, el titanio, el aluminio, el cobre, el nitrógeno, el fósforo y el selenio pueden estar presentes en mayores cantidades, dependiendo del grado.

Por su resistencia superior a la corrosión y su rendimiento útil, el acero inoxidable de grado 304 es el que más se utiliza en todo el mundo. Tiene trazas de manganeso y carbono, y entre un 16 % y un 24 % de cromo y hasta un 35 % de níquel.

Para la fabricación de deshidratadores solares, el espesor ideal de las láminas y placas de acero inoxidable AISI 304 depende de varios factores, como la durabilidad requerida, el peso y la rigidez necesarios, así como las condiciones de operación. En general, se recomienda utilizar láminas con un espesor de entre 0.5mm y 1.5mm para la construcción de paredes, puertas y componentes internos del deshidratador, ya que ofrecen suficiente resistencia y durabilidad sin añadir un peso excesivo. Por otro lado, para la estructura de soporte, marcos y bases del deshidratador, se aconseja utilizar placas con un espesor de entre 2 mm y 3 mm, dado que estos

componentes requieren mayor rigidez y estabilidad. El acero inoxidable AISI 304 es altamente resistente a la corrosión, lo que es crucial en aplicaciones de deshidratadores donde puede haber exposición a humedad y condiciones variables. Además, espesores de 0.5mm a 1.5mm son relativamente fáciles de cortar, doblar y soldar, facilitando así la fabricación del deshidratador. Mantener el peso bajo es importante para la portabilidad y la facilidad de manejo del deshidratador, y las láminas más delgadas ayudan a reducir el peso total del equipo. En resumen, se recomienda utilizar láminas de 0.5 mm a 1.5 mm para los componentes como paredes y puertas, y placas de 2 mm a 3 mm para la estructura de soporte y marcos, asegurando así un equilibrio entre durabilidad, rigidez y facilidad de fabricación.

Por otro lado, el acero inoxidable 304 ofrece muchas ventajas, pero también tiene un inconveniente: se corroe fácilmente en entornos alcalinos, de agua salada o cuando se expone a soluciones de cloruro, como las regiones costeras. Los iones de cloruro pueden provocar “picaduras”, que es una corrosión localizada que afecta a las estructuras interiores bajo el revestimiento de cromo que las protege. El proceso de corrosión puede iniciarse en soluciones que contengan tan solo 25 partes por millón de cloruro sódico. (17).

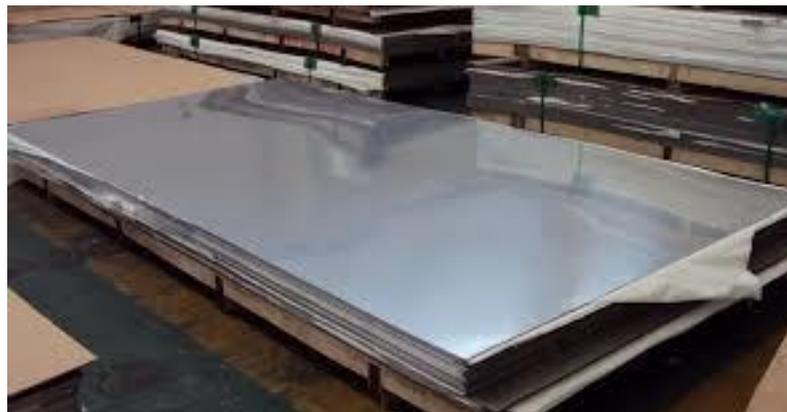


Figura 8. Acero inoxidable 304

Tipo de soldadura. Debido a que se trabajará con alimentos pelados que pueden interactuar de manera perjudicial con metales, se ha decidido fabricar la máquina deshidratadora utilizando acero inoxidable. En este contexto, la técnica de soldadura más apropiada sería la soldadura TIG, que se caracteriza por ser un proceso de fusión que prescinde del uso de material de aporte.

La soldadura TIG se emplea específicamente a unir componentes de acero inoxidable, generando un arco eléctrico entre el metal y un electrodo de tungsteno, no se consume durante el proceso. Al no requerir material de aporte, esta técnica logra una fusión de los materiales, calentándolos hasta que alcanzan un estado líquido y pueden fusionarse, notable en la figura 9.

Se destaca que la soldadura TIG es especialmente limpia y produce uniones de alta calidad, evitando la formación de escorias que requieran limpieza durante el proceso de soldadura. No obstante, es relevante mencionar que esta técnica se recomienda principalmente para materiales con un espesor que no supere los 7 mm, ya que su implementación puede resultar costosa en espesores mayores.

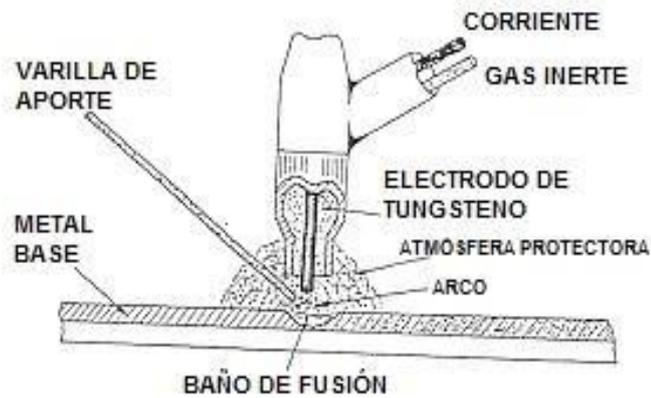


Figura 9. Soldadura TIG

4.1.4 Diseño del colector

Transformar la energía solar incidente en una fuente de energía útil es el trabajo del colector solar. No es un intercambiador de calor como los tradicionales porque no utiliza fluidos de alta tasa de transferencia térmica para intercambiar calor.

A la hora de analizar los colectores solares surgen dificultades particulares con los flujos de energía bajos y fluctuantes y la importancia de los fenómenos de radiación solar. La superficie de los colectores planos es la misma que la superficie expuesta a la radiación solar. Las temperaturas de las placas absorbentes con las que pueden funcionar estos colectores oscilan entre 40 °C y 130 °C. No solo pueden utilizar tanto la energía solar directa como la difusa, sino que además no necesitan sistemas de seguimiento solar y requieren muy poco mantenimiento. Los principales campos de aplicación son el aire acondicionado, la calefacción de edificios y el calentamiento de agua.

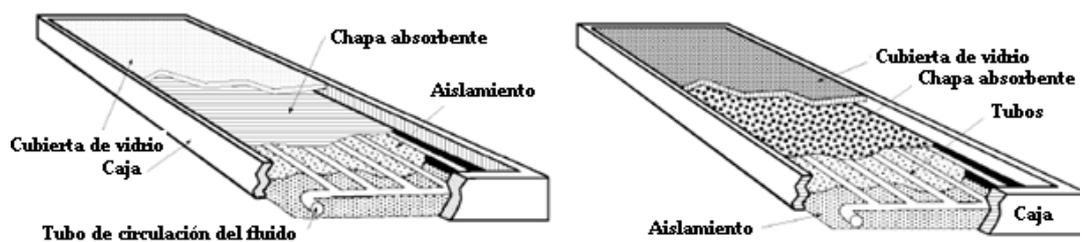


Figura 10. Componentes de un colector solar plano

Caja aislada. Este tipo de caja aísla los laterales y la parte trasera del colector. Puede construirse con materiales como madera, acero inoxidable o aluminio. Además de dar soporte estructural al colector, la función principal del aislamiento es detener la pérdida de calor hacia el exterior.

Placa de absorción. La placa absorbente, que es la parte principal del colector solar, tiene que encerrar completamente la abertura del colector solar. Sus tres funciones principales son las siguientes:

- Capturar la máxima cantidad de radiación solar incidente.
- Minimizar la emisión de calor hacia su entorno.
- Permiten que la radiación solar lo atraviese más fácilmente.

Cubierta. La tapa minimiza las pérdidas de calor por convección de la placa absorbente. Normalmente, se utiliza una cubierta transparente como el cristal. Esta cubierta tiene dos finalidades principales: impide que el viento del exterior enfríe la superficie del tejado y permite que la energía solar llegue a la placa absorbente, al tiempo que refleja la radiación térmica que esta emite.

Cálculos de diseño

Dado que es en el colector donde se capta la energía solar, su dimensionado es crucial y afecta directamente a la cantidad de energía necesaria para secar la fruta. Además, la eficiencia del colector y la radiación solar incidente tienen una relación inversa entre sí.

Utilizando esta ecuación:

$$A_c = \frac{Q_{u \text{ colector}}}{I * n}$$

Dónde:

A_c = Área del colector [m²]

$Q_{u \text{ colector}}$ = Calor útil del colector [kW]

I = Radiación solar global $\frac{kWh}{m^2 \text{ día}}$

n = Eficiencia 80 %

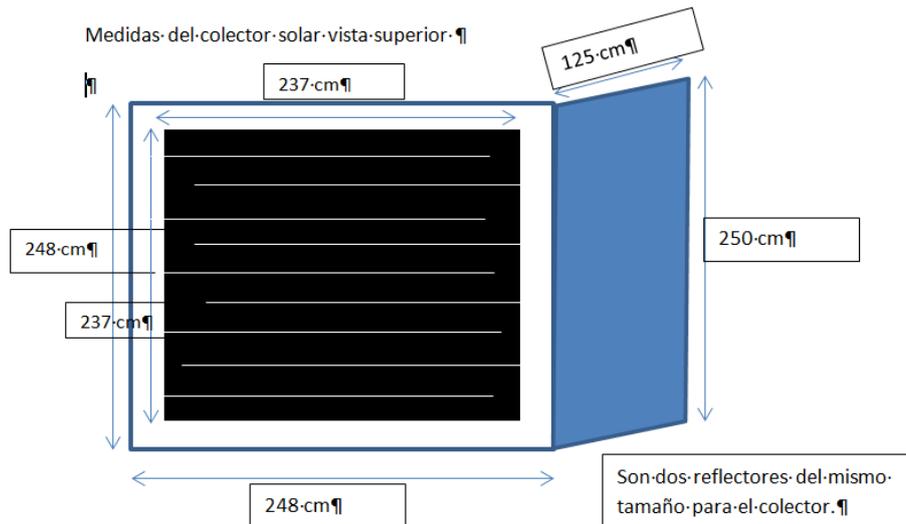


Figura 11. Dimensiones del colector solar

La radiación solar en Huancayo es igual 5.26 kW/m²día, lo cual garantiza una mayor eficiencia en el momento de deshidratar una fruta.

$$Q_{u \text{ colector}} = I * n * A_c$$

$$Q_{u \text{ colector}} = 5.26 * 0.8 * 5.62$$

$$Q_{u \text{ colector}} = 23.65 \left[\frac{kWh}{día} \times \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} \right]$$

$$Q_{u \text{ colector}} = 0.985 [kW]$$

Finalmente, el tiempo de secado es el siguiente:

$$\# \text{ días de secado} = \frac{Q_{\text{requerido}}}{Q_{u \text{ colector}}}$$

Donde el $Q_{\text{requerido}} = 1.273 + 1.6 = 2.873 [kW]$

Reemplazando:

$$\# \text{ días de secado} = \frac{2.873}{0.985}$$

$$\# \text{ días de secado} = 2.92 \text{ D.}$$

$$\# \text{ días de secado} \approx 3 \text{ D.}$$

Después que se realizó el cálculo de las dimensiones de los componentes del secador, se procedió a determinar los materiales a utilizar.

Tabla 8. *Propuesta de materiales para la construcción del colector*

Características	Selección
Cubierta	Vidrio templado
Placa interna	Hierro galvanizado pintado de negro
Aislamiento del colector	Fibra de vidrio
Sellado del vidrio al hierro	Silicona
Espejos	Acero inoxidable 304
Cuerpo del colector	Hierro galvanizado

Elección del vidrio

A la hora de seleccionar el vidrio que se va a utilizar, se comparan las dos variedades que existen actualmente en el mercado y se evalúan en función de sus características más importantes, como se muestra en el cuadro 9.

Tabla 9. *Se contraponen el vidrio templado y el vidrio normal.*

CARACTERÍSTICAS	CRISTAL COMÚN	CRISTAL TEMPLADO
DENSIDAD	APROXIMADO DE 2.5 G./CM ³ .	APROXIMADO DE 2.5 G./CM ³ .
FRACTURA	EN GRANDES FRAGMENTOS CON PUNTAS AGUDAS MUY PELIGROSAS DE FORMAS Y DIMENSIONES DIVERSAS	EN PEQUEÑAS PARTICULAS DE ARISTAS REDONDEADAS
RESISTENCIA AL IMPACTO	RESISTE EL IMPACTO DE UNA ESFERA DE ACERO DE 227 G. QUE SE DEJA CAER DESDE UNA ALTURA DE 0.70 M.	RESISTE EL IMPACTO DE UNA ESFERA DE ACERO DE 227 G. QUE SE DEJA CAER DESDE UNA ALTURA DE 3.00 M.
ESFUERZO TERMICO	RESISTE HASTA UN DIFERENCIAL DE TEMP. DE 40°C ENTRE SUS CARAS	RESISTE HASTA UN DIFERENCIAL DE TEMP. DE 250°C ENTRE SUS CARAS
RESISTENCIA A LA FLEXIÓN	RESISTE HASTA 37 KG. DE CARGA CONCENTRADA, CON UNA DEFLEXIÓN DE 11 MM.	RESISTE HASTA 170 KG. DE CARGA CONCENTRADA, CON UNA DEFLEXIÓN DE 69 MM. Y CON CAPACIDAD DE REGRESAR A SU ESTADO ORIGINAL AL RETIRAR LA CARGA
RESISTENCIA A LA FLEXION CON CARGA AL VIENTO	196 KG./ CM ² . POR PRESIÓN DE VIENTO	780 KG./ CM ² . POR PRESIÓN DE VIENTO

PRUEBAS HECHAS CON LAMINAS DE 0.30 X 0.30 M. EN 6 MM. DE ESPESOR

Al haber sido tratado térmicamente, el vidrio templado aumenta su resistencia a la flexión y se utiliza como vidrio de seguridad. El autor utilizó vidrio templado de 6 mm de grosor principalmente para este fin. Además, a diferencia del vidrio tradicional, que podría romperse porque no puede expandirse, este tipo de vidrio puede tolerar el calor producido por la máquina deshidratadora.



Figura 12. Modelo del colector a diseñar

4.1.1 Diseño de la parte electrónica y de control

Según las definiciones, un sistema de control es un conjunto de piezas que gestionan entre sí o su propio comportamiento para lograr un comportamiento predefinido que reduzca el riesgo de error y produzca el resultado previsto.

En este estudio, proponemos un sistema de control que permita recoger de forma ordenada los datos de monitorización necesarios, como la humedad, la temperatura, etc. La figura 9 muestra el diagrama de bloques del circuito.

Para hacer coincidir la resistencia del sensor con la de A. convertidor/D, los sensores de humedad y temperatura, en función de las condiciones atmosféricas en las que se encuentren, emiten una señal de tensión. Esta señal es captada por un circuito de conmutación, también conocido como amplificador operacional LM358.

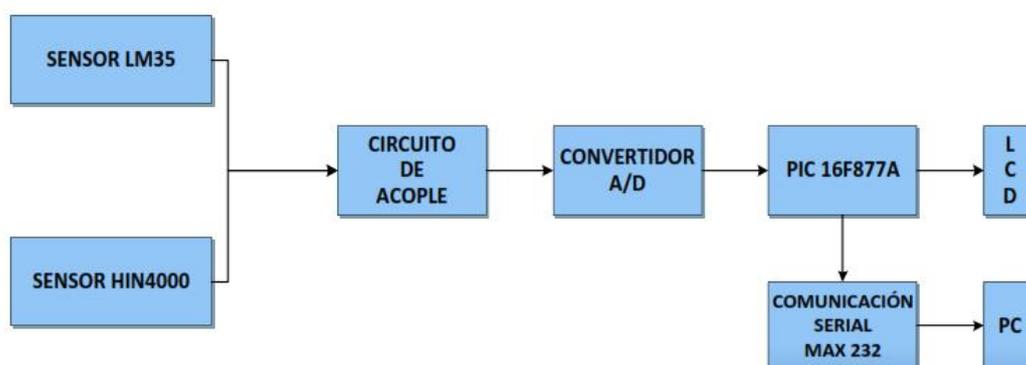


Figura 13. Esquema de un circuito

Tras su conversión de una señal analógica por el convertidor a una señal digital, el PIC16F877A almacena los datos digitales en su memoria EEPROM y nos muestra en la pantalla

LCD. Posteriormente, el PC puede descargar los datos del PIC a través de la comunicación serie MAX 232.

A partir del microcontrolador PIC, se crean las etapas de adquisición de datos, gestión de la temperatura e interfaz con el ordenador. También, se crean los circuitos eléctricos necesarios para modificar las señales procedentes de los distintos sensores. De acuerdo con las especificaciones esbozadas en el presente estudio, en la figura 10 se representa un sistema propuesto.

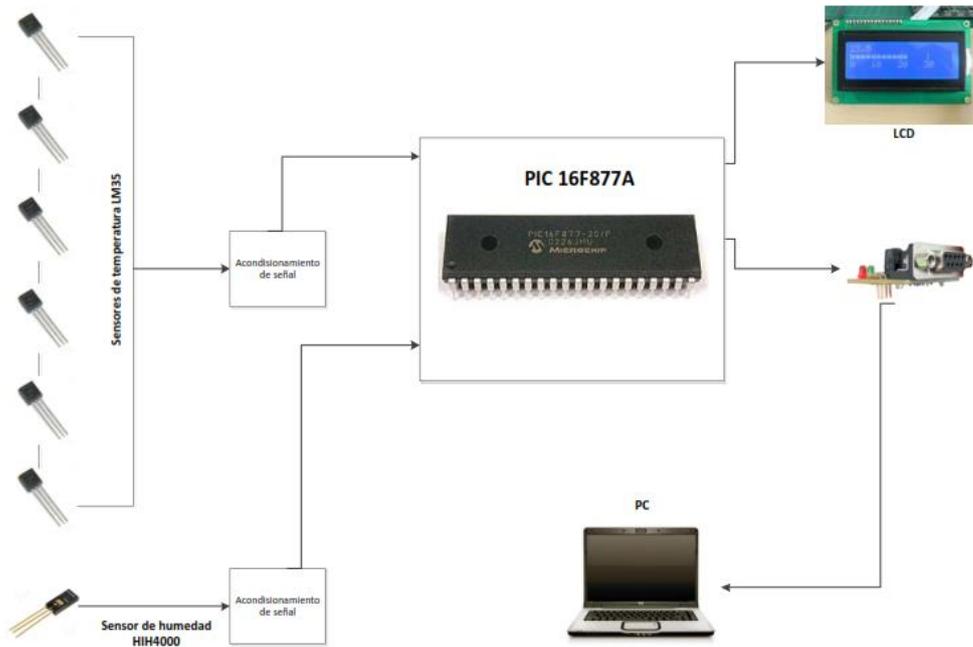


Figura 14. Esquema del sistema

A. Sensores de temperatura

La tensión de salida de debe de ser muy precisa con sensor de temperatura integrado, el LM35 varía linealmente con la temperatura, medida en grados Celsius. El LM35 tiene una gran ventaja sobre los sensores de temperatura lineales calibrados en Kelvin, ya que da la temperatura en grados Celsius sin necesidad de que el usuario deduzca una tensión continua considerable. Con una precisión de $\pm 1,4$ °C a temperatura ambiente y $\pm 3,4$ °C en el rango de temperaturas de -55 °C a 150 °C, este sensor funciona sin necesidad de calibración o ajuste externos.

El dispositivo se calibra y ajusta durante toda la producción para garantizar su precisión. Su salida lineal, baja impedancia de salida y calibración incorporada también permiten construir circuitos de control o lectura increíblemente básicos. El LM35 puede alimentarse con dos fuentes de alimentación o con una sola fuente de alimentación de tensión.

Requiere solo 60 μA de corriente y tiene un bajo coeficiente de auto calentamiento de menos de 0,1 $^{\circ}\text{C}$ en aire en calma. El LM35 está diseñado para operar de -55 $^{\circ}\text{C}$ a 150 $^{\circ}\text{C}$, mientras que el LM35C está diseñado para operar de -40 $^{\circ}\text{C}$ a 110 $^{\circ}\text{C}$ (más precisamente).

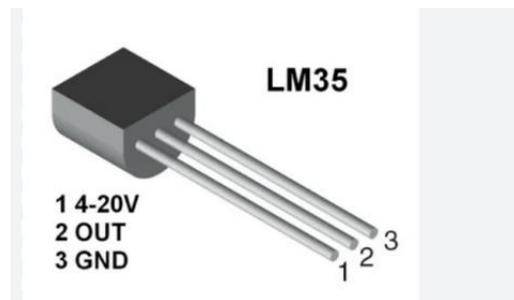


Figura 15. Sensor de temperatura LM35

Características del sensor

- Calibrado directamente en grados Celsius (Centígrados)
- Factor de escala lineal de +10 mV / $^{\circ}\text{C}$
- 0,5 $^{\circ}\text{C}$ de precisión a +25 $^{\circ}\text{C}$
- Rango de trabajo: -55 $^{\circ}\text{C}$ a +150 $^{\circ}\text{C}$
- Apropriado para aplicaciones remotas
- Bajo costo
- Funciona con alimentaciones entre 4V y 30V
- Menos de 60 μA de consumo
- Bajo auto-calentamiento (0,08 $^{\circ}\text{C}$ en aire estático)
- Baja impedancia de salida, 0,1W para cargas de 1Ma

Las mediciones de temperatura en la secadora se realizan mediante seis sensores de temperatura LM35, los cuales están calibrados en $^{\circ}\text{C}$ y tienen una escala lineal de 10 mV/ $^{\circ}\text{C}$. Para obtener lecturas precisas utilizando un microcontrolador, se debe realizar una sucesión de conexión y adaptación de la señal, y el esquema se configura en esta forma:

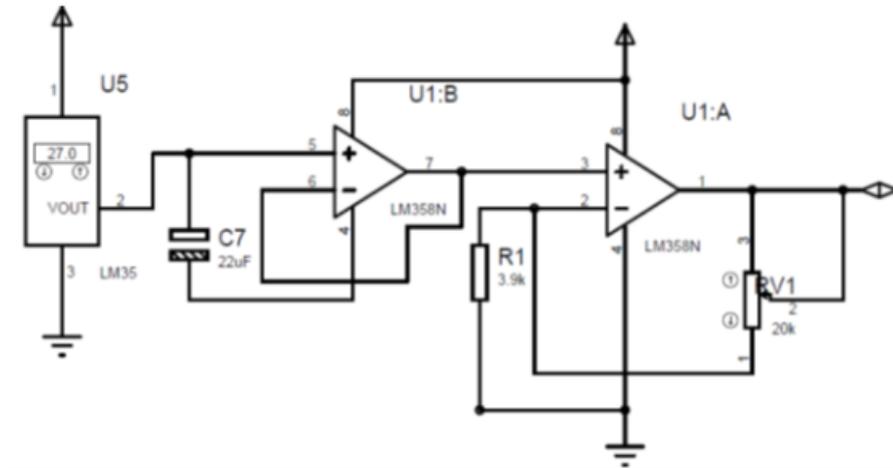


Figura 16. Circuito de acondicionamiento de señal

El sensor 1 está situado en la entrada del colector solar y nos ayudará a medir la temperatura. El sensor 2 está situado en la salida del colector y medirá la temperatura allí, así como en la entrada de la cámara de secado. La ubicación de los sensores de temperatura 3, 4 y 5 debe coordinarse con la ubicación del sensor de temperatura 6 a la salida de la cámara de secado.

B. Sensor de humedad

El sensor de humedad capacitivo HIH4000 es el que se utiliza. Muestra un comportamiento lineal bajo tensión, igual que el sensor LM35 que le precedió. Dos de los tres pines se utilizan para alimentar el sensor. La humedad de medición lineal y las tensiones de salida son proporcionales. La decisión sobre este sensor único está influenciada por Linear, su coste y la información disponible. El HIH400 tiene un rango de tensión de 0,8 V; puede conectarse directamente a la entrada de simulación del microcontrolador y solo cuando se utiliza la fase de ajuste de la resistencia y el filtro pasivo. La humedad relativa del aire que sale del secador se mide con el sensor de humedad HIH4000.



Figura 17. Sensor de humedad HIH4000

Características

- Moldeado de plástico termoestable vivienda
- La salida de tensión lineal a la humedad relativa
- Diseño de bajo poder
- Alta precisión
- Rápido tiempo de respuesta
- Estable
- Químicamente resistente

La humedad relativa de la secadora se mide con el sensor de humedad HIH4000. La selección de este sensor específico se basó en su asequibilidad, linealidad y disponibilidad comercial. Con solo quitar la etapa de adaptación de impedancia y el filtro de paso bajo (circuito de adaptación del sensor), el HIH4000 puede conectarse directamente a una de las entradas analógicas del microcontrolador y emitir un valor entre 0,8 V y 3,8 V.

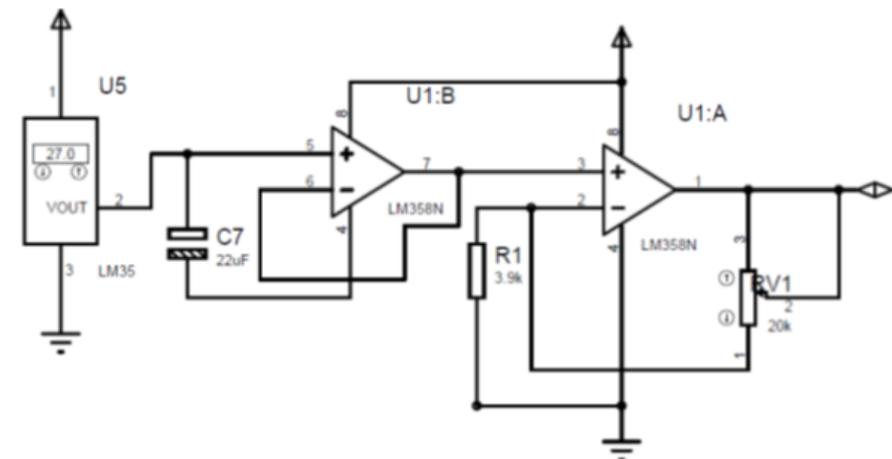


Figura 18. Circuito adaptación del sensor de humedad

C. Amplificadores operacionales

Todos los circuitos modernos o actuales cuentan con amplificadores operacionales, sin distinción que sean digitales o analógicos, representan la parte fundamental de todo diseño electrónico.

Podemos definir de manera informal a un amplificador operacional como un circuito electrónico, generalmente se obtiene en forma de circuito integrado o chip, que consta de dos entradas (V^+ y V^-) y una sola salida (V_{out}). Esta salida es la diferencia entre las dos entradas, multiplicada por un factor de potencia, que a lo largo de estas páginas llamaremos ganancias.

En consecuencia:

$$V_{out} = G \times (V^+ - V^-)$$

Esta explicación se ve considerablemente facilitada por la representación de los amplificadores operacionales en los circuitos electrónicos como cajas negras con atributos perfectos. No obstante, es fundamental comprender su funcionamiento para apreciar mejor sus limitaciones. Todos los amplificadores operacionales tienen una estructura interna que es esencialmente la misma y consta de tres etapas, aunque el diseño varía según el fabricante y el producto:

Amplificador diferencial. Su etapa de entrada presenta una alta impedancia de entrada y una baja ganancia de ruido. Su salida suele ser diferencial.

Amplificador de voltaje. Ofrece amplificación de la tensión.

Amplificador de salida. Posee la baja impedancia de salida, la capacidad de suministrar la corriente necesaria y la típica protección contra cortocircuitos.

D. Microcontroladores

- Un circuito integrado que puede programarse para controlar uno o varios procesos del sistema se denomina dispositivo. A continuación, se enumeran algunas ventajas de utilizar este dispositivo:
- Es ideal para una amplia gama de tareas gracias a su tamaño compacto y su facilidad de uso. La programación en PC es sencilla y los puertos USB suelen utilizarse para grabar.
- Hay muchos lenguajes de programación y *software* para la programación de microcontroladores como MPLAB o microcontroladores que se utilizarán en PIC C.

La principal ventaja es la facilidad con la que se pueden cambiar o reprogramar los parámetros del sistema de control, como la humedad y la temperatura. El PIC16F877A intermedio, que se representa en la figura 19, se seleccionó para este proyecto debido a sus diversas cualidades enumeradas en la tabla 11, que lo convierten en un dispositivo útil, adaptable y eficaz. Contiene conexión I2C para su uso con un sensor DHT22, además de ser un producto intermedio.



Figura 19. Aspecto exterior del PIC Fuente: Microchip PIC 16f87XA

Tabla 10. Principales características del PIC 16F877A

Parámetros	16F877A
Frecuencia máxima	20MHz
Memoria flash del programa	8KB
Memorias de datos (Bytes)	368
Memoria EEPROM (Bytes)	256
Puertos E/S	A, B, C, D y E
Número de pines	40
Interrupciones	14
Timers	3
Módulos CCP	2
Comunicaciones Serie	MSSP, USART
Comunicaciones paralelo	PSP
Arquitectura	Harvard
CPU	RISC
Canales PWM	2

Fuente: PIC 16F877A Microchip

E. Pantalla de cristal líquido

Este dispositivo permite lectura los valores de los sensores, es una pantalla LCD de 16 x 2 cm el cual muestra los valores en dos líneas y tiene la capacidad de mostrar hasta 16 caracteres.



Figura 20. LCD 16x2

4.1.5 Análisis de la parte electrónica

A. Análisis de la radiación solar de enero a marzo 2023

Las pruebas de secado se efectuaron en febrero y marzo 2023, se ingresó la carga de aguaymanto a las 11 de la mañana a una temperatura ambiente de 15°C.

En Huancayo, durante el mes de febrero respecto al clima, este se caracteriza por ser un mes lluvioso con temperaturas máximas de 21°C y temperaturas mínimas de 6°C.

En febrero, la media diaria de energía solar incidente de onda corta en Huancayo es bastante estable, manteniéndose dentro de 0,1 kWh de 5,6 kWh de media. En febrero, la media máxima diaria de energía solar incidente de onda corta es de 5,625 kWh.

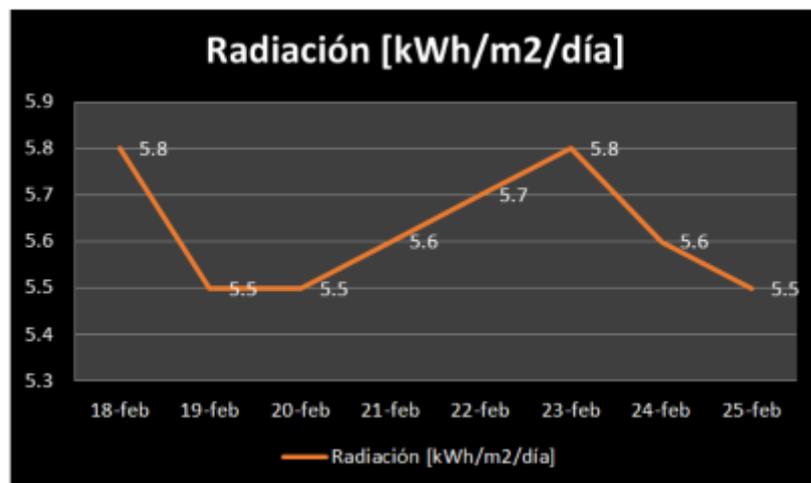


Figura 21. Energía solar media diaria incidente de onda corta de la ciudad de Huancayo en febrero. (18)

4.1.2 Diseño del sistema con paneles fotovoltaicos

Evaluación del nivel de radiación en Huancayo

Huancayo es la ciudad con mayor radiación solar a nivel nacional; según SENAHMI, la radiación en Huancayo puede alcanzar niveles muy altos y peligrosos para la salud.

Tabla 11

Coordenadas UTM Huancayo

	Latitud	Longitud
Coordenadas	-11.988762963860808	-75.18499286953457
Grados	11°59'19.547" (S)	75°11'5.974" (O)
Altitud		4064 m.s.n.m.

Nota: Disponible en GOOGLE-Maps en: <https://www.coordenadas-gps.com/>

Los datos fueron alcanzados de la estación de Ingenio ubicada en la provincia de Huancayo y proporciona información sobre los niveles de radiación en la ciudad.

Tabla 12. *Nivel de radiación durante el 2021*

Meses 2022	Radiación Solar Global kWh/m ² /día
Enero	5.90
Febrero	5.26
Marzo	5.87
Abril	5.73
Mayo	6.54
Junio	6.26
Julio	6.36
Agosto	6.68
Setiembre	6.69
Octubre	6.36
Noviembre	6.20
Diciembre	6.30
Promedio	6.20

Nota: Obtenido de <https://www.senamhi.gob.pe/main.php?dp=junin&p=radiacion-uv>

Según los datos de la tabla anterior, febrero es el mes de menor radiación, con un índice de 5,26 kWh/m²/día, mientras que septiembre es el de mayor radiación, con un valor de 6,69 kWh/m²/día. En consecuencia, creemos que esta es la cantidad mínima necesaria para garantizar el buen funcionamiento de nuestra maquinaria.

$$RTDD_{SH} = 5.26 \frac{kWh}{m^2 \times dia}$$

Calculando a la radiación efectiva:

$$HES = \frac{RTDD_{SH}}{1 \text{ sun}} = \frac{RTDD_{SH}}{1 \frac{kW}{m^2}}$$

$$HES = \frac{5.26 \frac{kWh}{m^2 \times dia}}{1 \frac{kW}{m^2}} = 5.26 \frac{h}{dia}$$

En teoría, se necesita una fuente de 14 V CC para mantener los ventiladores y los controladores funcionando las 24 horas del día, especialmente cuando la temperatura está por debajo de los 30 °C.

Para calcular el tamaño del panel solar, es necesario tener en cuenta los valores de radiación solar en sus niveles mínimo, máximo y medio:

Tabla 13. *Niveles de radiación en sus valores más altos, más bajos y más típicos*

Nivel de radiación solar	KWh / m²
Máximo	6.69
Mínimo	5.26
Medio	6.20

Al igual que con el índice de radiación, se considera el nivel mínimo.

A. Cantidad de energía por día

De acuerdo con las necesidades de los ventiladores se tiene lo siguiente:

Tabla 14. *Características de funcionamiento*

Carga	Potencia DC (W)	Uso (h/día)	Energía total (Wh/día)	Carga diaria total (Ah/día)
Ventiladores controladores	40	24	400	25
Factor de seguridad				1.10
Carga corregida (Factor de seguridad x carga diaria total)				25 x 1.10 = 27.50

Corriente pico del sistema (CPS):

$$CPS = \text{Radiación solar (mínima)} \times \text{Carga corregida}$$

$$CPS = \frac{27.5 \frac{Ah}{día}}{5.26 \frac{Kwh}{m^2}}$$

$$CPS = 5.22 A$$

Este valor nos permite dimensionar el tamaño del panel fotovoltaico a adquirir en el mercado.

B. Determinación del grado inclinación

Considerando la ubicación geográfica de Huancayo, se determina que el ángulo de inclinación es de 15°

Tabla 15. En función de la latitud, los paneles fotovoltaicos se inclinan

Latitud	Ángulo en invierno	Ángulo en verano
0 a 15 grados	15 grados	15 grados
15 a 25 grados	latitud	Latitud
25 a 30 grados	Latitud + 5 grados	Latitud - 5 grados
30 a 35 grados	Latitud + 10 grados	Latitud - 10 grados
35 a 40 grados	Latitud + 15 grados	Latitud - 15 grados
de 40 grados a más	Latitud + 20 grados	Latitud - 20 grados

En consideración a la tabla 15, será de 15°.

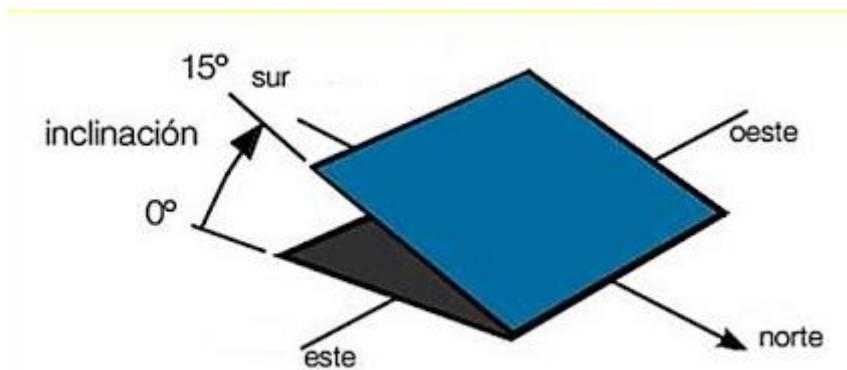


Figura 22. Ajuste de la inclinación del panel solar

C. Dimensión del acumulador de energía

Considerando los siguientes parámetros: días de funcionamiento, CPS, FCD

Utilizando la fórmula se tiene lo siguiente:

$$C_B = \frac{C_d \times A}{P_f} [Ah]$$

Dónde:

A = Funcionamiento automático cuando la radiación es mínima (3 días).

P_f = Reducción de descarga inferior al 80 % de uso.

C_d = Corriente corregida.

Reemplazando en la fórmula tenemos lo siguiente:

$$C_B = \frac{27.5 \times 3}{0.8} [Ah]$$

$$C_B = 103.12 [Ah]$$

El acumulador requerido es de 103.12 AH

En tal caso, el almacenamiento de energía debe ser de 103,12 Ah.

D. Cálculo del regulador de carga

El regulador de carga, que sirve de apoyo al acumulador de sobrecarga y cuyo valor puede determinarse mediante la siguiente ecuación:

$$I_r = \frac{W_p}{V_{max}} [A]$$

$$I_r = I_{PG} = N_p \times i_{PM}$$

Dónde:

I_r = Corriente del regulador

W_p = Potencia máxima generada por el panel fotovoltaico (W)

V_{max} = Voltaje máximo del panel (V)

I_{PG} = Corriente pico o máximo de todos los paneles (A)

i_{PM} = Corriente pico del módulo

N_p = Número de paneles

$$I_r = \frac{W_p}{V_{max}} [A]$$

$$I_r = \frac{150}{18.3} = 8.19 [A]$$

También tenemos lo siguiente:

$$I_r = N_p \times i_{PM} = 1 \times 8.19 = 8.19 A$$

De estos resultados el equipo más cercano accesible en el mercado es el controlador de 10 A.

E. Dimensionamiento de los conductores

La siguiente ecuación permitió determinar las dimensiones de los conductores:

$$S = \frac{2 \times I \times L}{\gamma \times \Delta V} [mm^2]$$

Dónde:

I = Corriente máxima que soporta el conductor (A)

L = Longitud del conductor

ΔV = Caída de tensión aceptable (%)

γ = Conductividad del cobre (Cu = 56)

Por ello, las secciones de los conductores deben ser inferiores al 2 %, lo que garantizará el mantenimiento del nivel de tensión del panel solar. Por lo tanto, el cálculo de la sección del cable desde el panel solar hasta el regulador se realiza de la siguiente manera:

$$S_{panel-regulador} = \frac{2 \times I \times L}{\gamma \times \Delta V} [mm^2]$$

$$S_{panel-regulador} = \frac{2 \times 8.19 \times 3}{56 \times 2 \%} [mm^2]$$

$$S_{panel-regulador} = 0.44 [mm^2]$$

Sección del regulador a la batería:

$$S_{regulador-bateria} = \frac{2 \times I \times L}{\gamma \times \Delta V} [mm^2]$$

$$S_{regulador-bateria} = \frac{2 \times 8.19 \times 1}{56 \times 1 \%} [mm^2]$$

$$S_{regulador-bateria} = 0.3 [mm^2]$$

Sección del regulador hacia el sistema de control:

$$S_{regulador-controlador} = \frac{2 \times I \times L}{\gamma \times \Delta V} [mm^2]$$

$$S_{regulador-controlador} = \frac{2 \times 8.19 \times 3}{56 \times 2 \%} [mm^2]$$

$$S_{regulador-controlador} = 0.438 [mm^2]$$

Dado que se recomienda utilizar un conductor de sección superior a 0,44 mm², se decidió adquirir un cable vulcanizado 2x14 AWG (2x2,5 mm²) para garantizar el correcto funcionamiento de los conductores.

4.1.3 Diagrama del sistema fotovoltaico

La figura 22 demuestra cómo debe montarse la instalación fotovoltaica en su totalidad.

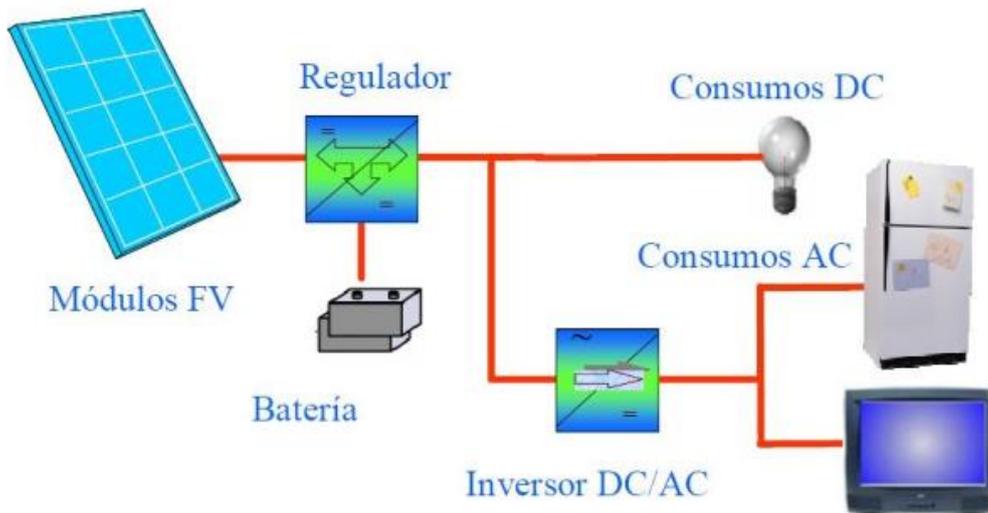


Figura 23. Diagrama del sistema fotovoltaico

El diagrama muestra el funcionamiento del panel solar.

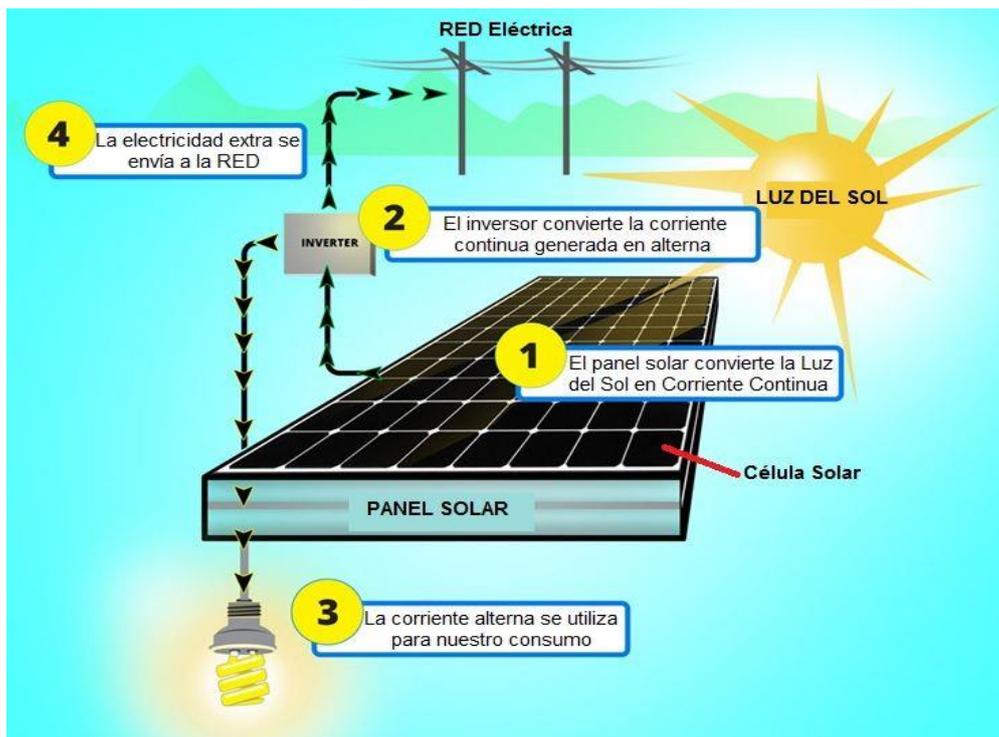


Figura 24. Funcionamiento del panel solar

4.1.4 Componentes del sistema fotovoltaico

A. Panel fotovoltaico

Después de llevar a cabo una serie de evaluaciones en los paneles solares disponibles en el mercado, se concluyó que el panel fotovoltaico más adecuado sería suministrado por “La

empresa SolarWorld AG de Alemania”. Esta empresa se destaca por la fabricación de paneles fotovoltaicos con una garantía de 25 años, empleando materiales altamente resistentes a las condiciones ambientales. Además, ofrecen servicio gratuitamente de asesoramiento para el mantenimiento de sus equipos. La descripción técnica que detalla las especificaciones del producto se encuentra adjunta en los anexos.

Tabla 16. *STC° significa “rendimiento en condiciones de ensayo estándar”.*

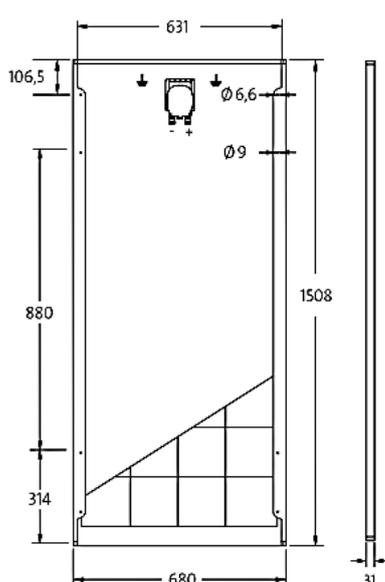
		SW 150
<i>Potencia en el punto de máx. potencia</i>	P_{max}	150 Wp
<i>Tensión en vacío</i>	U_{oc}	22,5 V
<i>Tensión a potencia máxima</i>	U_{mpp}	18,3 V
<i>Corriente de cortocircuito</i>	I_{sc}	8,81 A
<i>Corriente a potencia máxima</i>	I_{mpp}	8,27 A

Tolerancia de medición (P_{max}) de acuerdo con TÜV Rheinland: +/- 2% (TÜV Power controlled) *STC: 1000W/m², 25°C, AM 1.5

Tabla 17. *Actúa a 800 W/m2, NOCT, AM 1.5*

		SW 150
<i>Potencia en el punto de máx. potencia</i>	P_{max}	110,1 Wp
<i>Tensión en vacío</i>	U_{oc}	20,5 V
<i>Tensión a potencia máxima</i>	U_{mpp}	16,6 V
<i>Corriente de cortocircuito</i>	I_{sc}	7,17 A
<i>Corriente a potencia máxima</i>	I_{mpp}	6,62 A

Ligera reducción de la eficiencia en el comportamiento con carga parcial a 25°C: A 200 W/m² se alcanza el 100 % (+/- 2 %) de la eficiencia bajo condiciones estándar de prueba (1000 W/m²).



MATERIALES EMPLEADOS

Longitud	1508 mm
Ancho	680 mm
Altura	31 mm
Marco	aluminio anodizado plata
Peso	11,8 kg

MATERIALES EMPLEADOS

Células por módulo	36
Tipo de célula	policristalino
Medidas de la célula	156 mm x 156 mm
Parte anterior	vidrio reforzado (EN 12150)

PARÁMETROS TÉRMICOS CARACTERÍSTICOS

NOCT	46 °C
TC I_{sc}	0,051 %/K
TC U_{oc}	-0,31 %/K
TC P_{mpp}	-0,41 %/K

OTROS DATOS

Clasificación de la potencia	+/- 5 %
------------------------------	---------

PARÁMETROS TÉRMICOS CARACTERÍSTICOS

Tensión máxima del sistema clase II	1000 V
Carga máxima de corriente inversa	15 A
carga adicional / carga din.	5,4 / 2,4 kN/m ²
Cantidad de diodos de bypass	2
temperatura de servicio admisible	-40°C a +85°C

Figura 25. Estadísticas de construcción del panel solar SW150

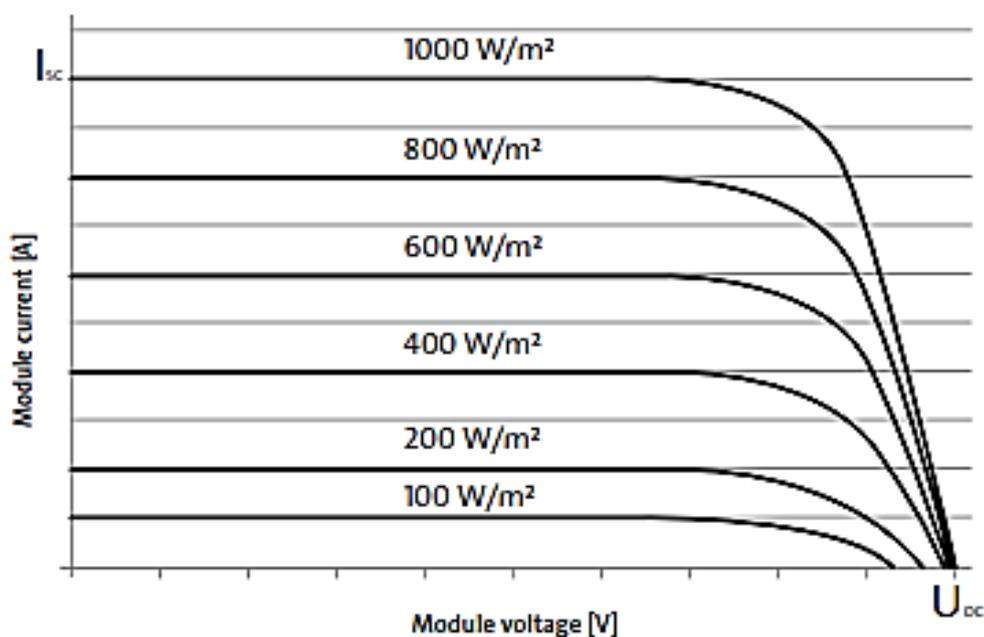


Figura 26. Curva I-V del módulo SW150

4.1.5 Batería

Se optó por utilizar una batería del tipo “VRLA tipo AGM” (Absorbed Glass Mat) en el proyecto. Este tipo de batería tuvo su origen en la aviación militar en medio del siglo pasado y se popularizó en los ochenta. A diferencia de las otras baterías de plomo-ácido, las baterías AGM se caracterizan por ser selladas herméticamente, lo que impide la pérdida de su contenido y elimina la necesidad de añadir agua destilada. Además, estas baterías utilizan separadores de fibra de

vidrio con boro silicato para impregnar el electrolito (ácido). Entre las características clave de las baterías AGM se encuentran las siguientes:

- Hermeticidad, lo que evita la pérdida de contenido.
- No requieren la adición de agua destilada.
- Regulación de presión mediante válvulas.
- Resisten las vibraciones.

Cuando una batería se carga o descarga, se produce una pérdida de energía que se manifiesta en forma de calor, esto se conoce como la resistencia interna de la batería. Las baterías AGM tienen una resistencia interna menor en comparación con otros tipos de baterías, lo que significa que pierden menos energía. Además, estas baterías son adecuadas para aplicaciones de carga flotante o en espera, que se mantienen con un voltaje más bajo que la carga normal. También, son aptas para aplicaciones cíclicas, donde se descargan y recargan. Sin embargo, es importante evitar la sobrecarga, ya que puede dañar la batería.

Los paneles solares son la fuente de carga de la batería AGM; estos paneles deben tener una capacidad de 18 V y estar controlados por un regulador de potencia para evitar que la batería se sobrecargue o se descargue hasta un nivel inseguro.

Beneficios de las baterías de tipo VRLA AGM

A continuación, se mencionan las cualidades más esenciales que posee este tipo de baterías: Poseen una resistencia interna reducida.

- Son completamente selladas herméticamente.
- Permiten una carga rápida.
- Funcionan de manera efectiva incluso en condiciones de extremo frío.
- Exhiben una notable resistencia a la descarga, siendo capaces de soportar niveles de descarga de hasta el 80 %.

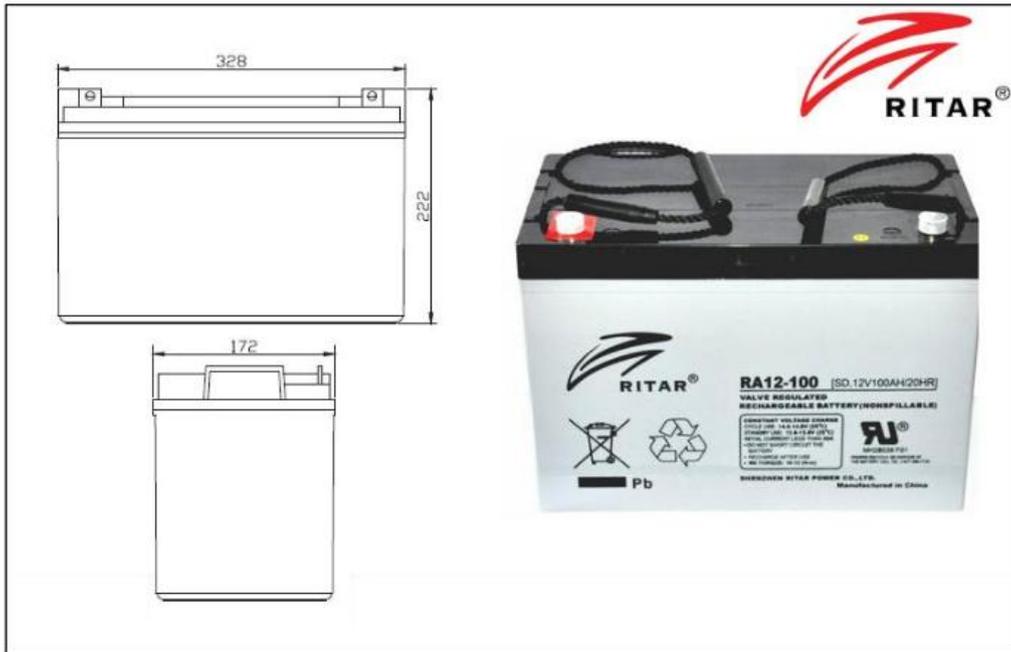


Figura 27. El tipo de batería, junto con sus medidas

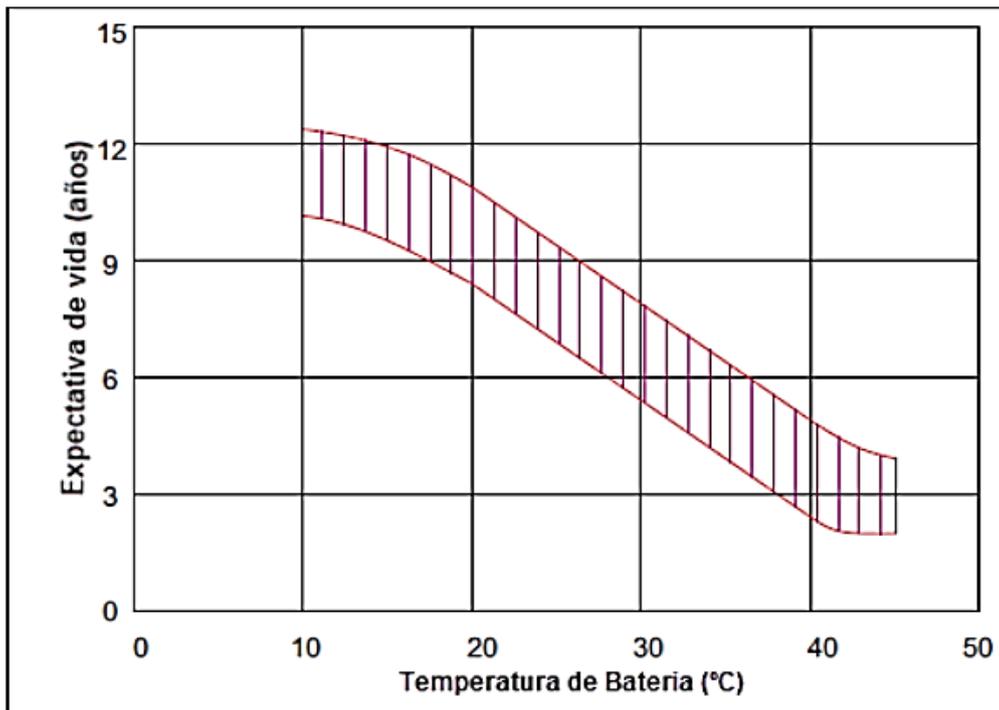


Figura 28. Influencia de la temperatura en la duración de la flotación durante un periodo prolongado.

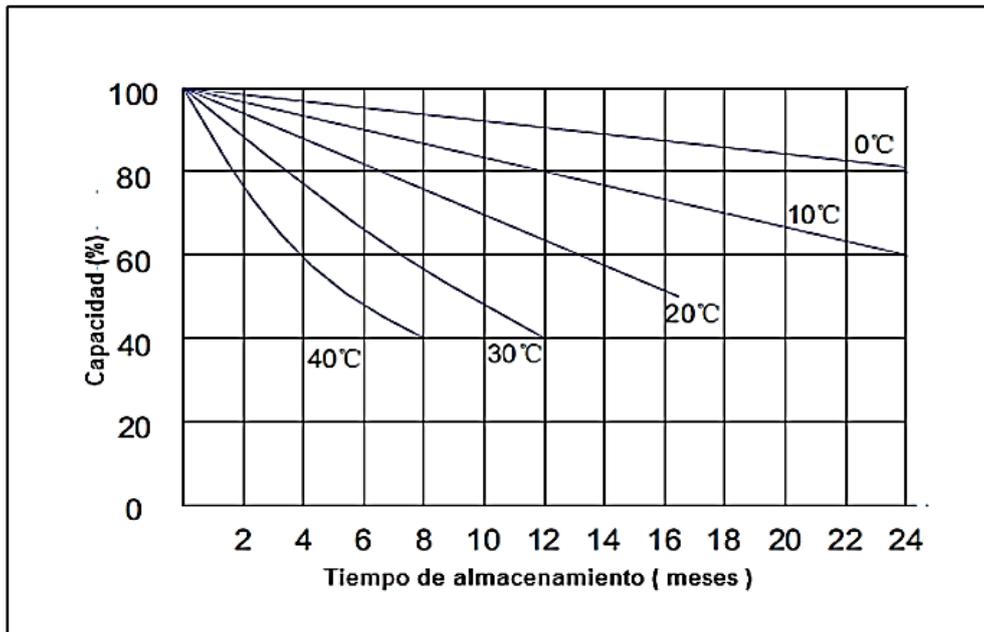


Figura 29. El impacto de la temperatura en las condiciones de almacenamiento

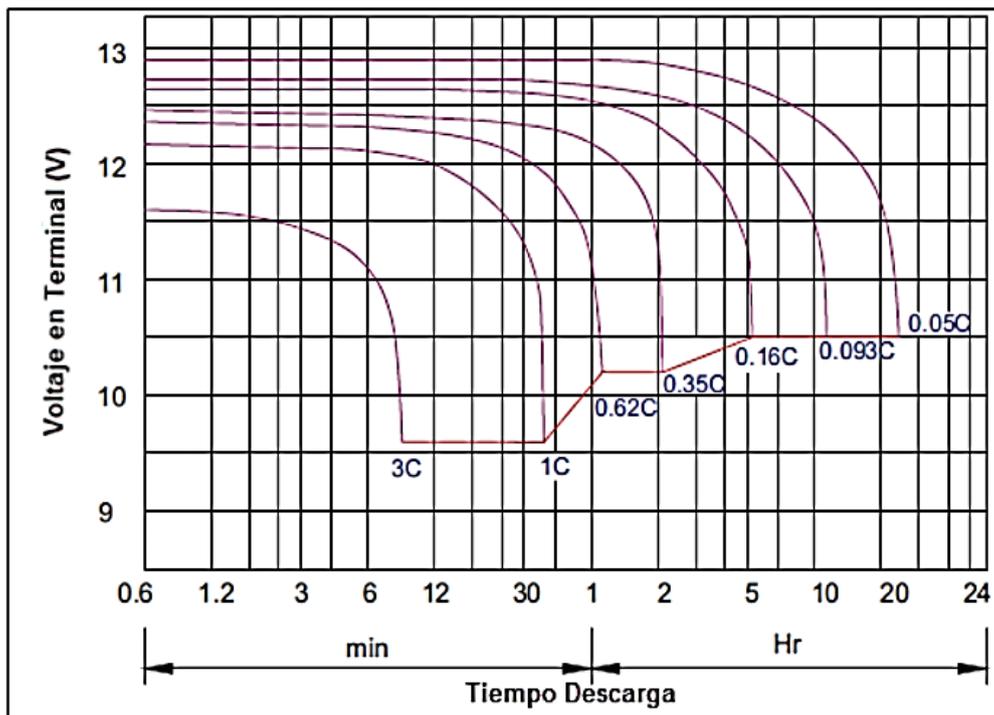


Figura 30. Curva que muestra las características de la descarga

4.1.6 Regulador de carga

En relación con el tipo de batería elegido y teniendo en cuenta que se necesita controlar el encendido constante del secador, se optó por utilizar el controlador de la marca LDSOLAR, específicamente el modelo LD2420C 10 A.

Este controlador LDSOLAR mantiene el alto nivel de éxito de uno de los controladores más ampliamente utilizados en sistemas solares domesticos (SHS).

Sus características destacadas incluyen lo siguiente:

- Precisión digital gracias a su microcontrolador y una pantalla LCD gráfica.
- Uso del control PWM (Modulación por Ancho de Pulso) para la gestión eficiente.
- Función de desconexión de carga basada en la operación de LVD (Descarga de Baja Tensión) accesible a través de un menú sencillo.
- Reconexión automática activable mediante un botón.
- Capacidad de funcionar tanto de día como de noche.
- Detección automática de voltaje para una adaptación precisa.

Además, el controlador ofrece una serie de funciones de protección electrónica esenciales, que comprenden:

- Protección contra sobrecarga.
- Salvaguardia contra descarga excesiva.
- Prevención de polaridad inversa del módulo solar.
- Desconexión automática de la batería en caso de sobretensión.



Figura 31. Verificador 12 V 10 A LD2420C de LDSOLAR

Característica	Valor
Modelo	LD2420C
Tensión del sistema	12V / 24V
Max. Voltaje de entrada del panel solar	55V
Autoconsumo	≤12 mA
Max. Corriente de carga	10 A
Max. Corriente de descarga	10 A
LVD	11.0 V Ajustable 11.0~12.0V
LVR	12.6 V Ajustable 12.6~13.0V
Tensión de flotación	13.8 V Ajustable 13.0~14.0V
Rango de temperatura de Operación	-20 ~ 50 °C
Grado de protección	IP32
Dimensiones	168mmx92mmx41.5 mm
Peso neto	320 gr

Figura 32. Verificador 12 V 10 A LD2420C de LDSOLAR

Una de las características clave de este controlador es su amplia gama de funciones, entre las cuales se destaca la capacidad de programar la activación automática y constante de la carga. También, cuenta con un voltímetro incorporado que proporciona información sobre el voltaje tanto la batería como de los paneles solares.

4.1.7 Asignación del tablero de control

Las dimensiones de la caja que albergará los aparatos eléctricos de forma organizada y segura son 79,3 x 39,40 x 22,3 cm. Esta caja se utilizará para instalar el panel de control.



Figura 33. Foto del tablero de control del secador de aguaymanto

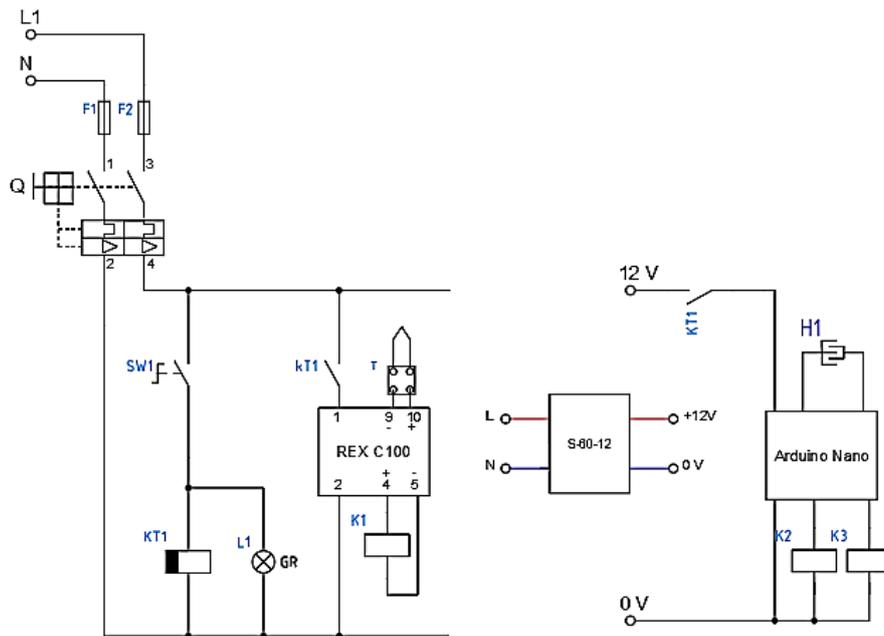


Figura 34. Esquema de cableado de control

Como medida de precaución, se colocan fusibles antes de que empiece a funcionar el sistema. A continuación, se utiliza un disyuntor conocido como Q para controlar el flujo de corriente eléctrica. El interruptor SW1 se utiliza para encender el temporizador, con el que se puede programar el tiempo de deshidratación del prototipo.

Una vez encendido el temporizador, el contacto kT1 se excitará, proporcionando alimentación tanto al controlador REX C100 como a la fuente de 12V. La señal se envía desde el sensor de temperatura T al controlador REX C100, que la utiliza para accionar una bobina K. Esta bobina es la responsable de regular el momento en que se permite el encendido del quemador. Esta bobina se encarga de regular cuándo se permite que el quemador empiece a arder y cuándo se apaga. Por otro lado, el Arduino se alimenta de la fuente de 12V, recibe una señal del sensor de humedad H1, y activa las bobinas K2 y K3 para hacer funcionar los extractores.

4.1.6 Simulación de secado de aguaymanto

Una vez terminado el diseño del prototipo del deshidratador, se hicieron las pruebas oportunas para comprobar que funcionaría de la manera más eficaz posible.

Estas pruebas se llevaron a cabo primero con una carga de muestra y después con la capacidad máxima, con el propósito de verificar todas las características de seguridad del sistema, incluyendo el tiempo de secado y el control de temperatura, entre otros.

En cuanto al control de temperatura durante la carga, previo al inicio de las pruebas de deshidratación de la fruta, para evaluar el funcionamiento del sistema de control de temperatura. En este sistema se utilizó un controlador REX C100 con un método de control ON-OFF. La temperatura inicial se encontraba aproximadamente a 13°C, y se estableció un punto de referencia de temperatura a 55°C. Se tomaron mediciones de temperatura en intervalos regulares durante un período de tiempo determinado.

Tabla 18. *Datos de control de temperatura*

Tiempo (s)	Temperatura (°C)
0	13
65	20
120	28
150	32
180	38
200	43
240	48
300	54
330	55
360	56
420	55
480	55
540	54
720	55
900	55

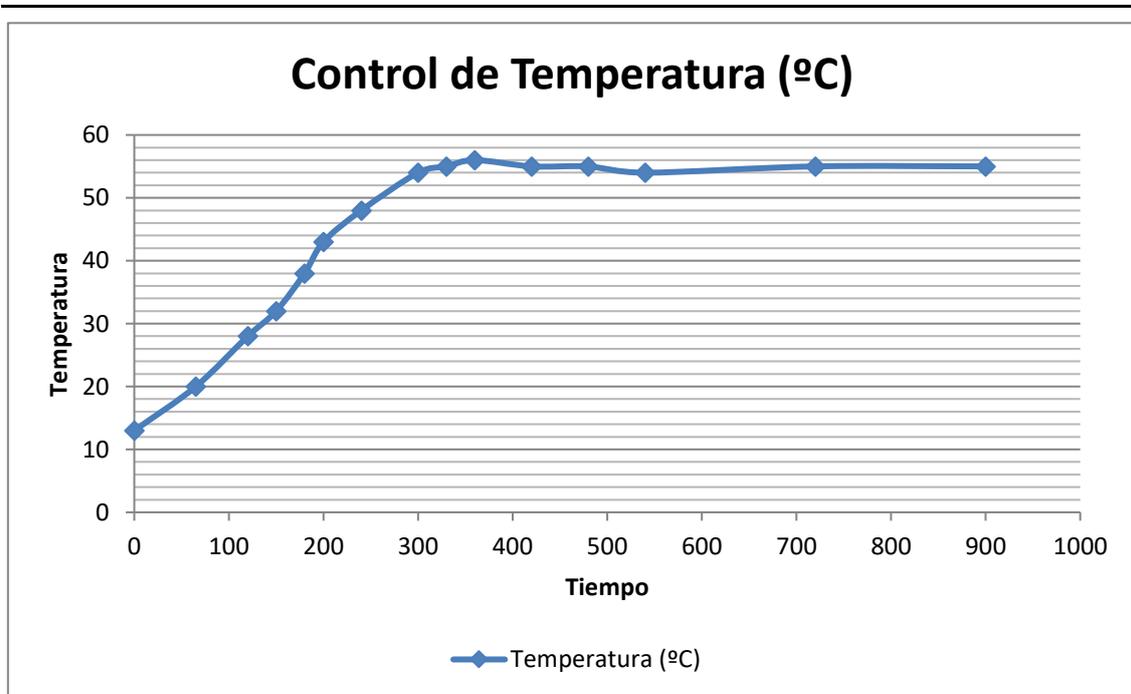


Figura 35. Control de temperatura

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1 Discusión de Resultados

De acuerdo con el objetivo general, la investigación logró diseñar un secador solar para el deshidratado del aguaymanto considerando las condiciones climáticas de Huancayo, así mismo amplió el rango de aplicación a otras frutas, en ese sentido considerando las condiciones iniciales de cálculo, como es la capacidad de 100 kilos, presión atmosférica de Huancayo 1 atm y temperatura promedio de 12.1°C.

Considerando estos datos básicos se realizó los cálculos necesarios para diseñar un secador solar con una capacidad de 100 kilos de fruta fresca, asimismo se consideró como parámetros iniciales la limitación de presión y temperatura del medio ambiente en Huancayo. En ese sentido se determinó que el secador requiere 16 bandejas, para contener los 100 kilos de aguaymanto, asimismo cada bandeja tendrá un diámetro de 72.5 x 45.5 cm, el colector tiene un área de 237 x 237 cm con espejos de 2250 x 125 cm el cual permitirá incrementar la temperatura en el colector. Por otro lado, se calculó el calor requerido para secar 100 kilos de aguaymanto, el cual se determinó que será 36 horas, a condiciones de Huancayo, considerando la eficiencia del equipo a un 80 %.

El producto se deshidrata hasta un nivel de humedad del 12 % en una media de 16 horas de sol y se seca en una media de tres días. Los datos de peso del producto se toman de 9.00 a 15.00 horas durante todo el proceso de secado.

A diferencia de lo encontrado en el estudio realizado por Camayo, et al. (6), el diseño del prototipo de secadero contempla las siguientes dimensiones para la cámara de secado: profundidad 0,60 m, anchura 1,40 m, altura 1,10 m, aislamiento 0,05 m; por tanto, las dimensiones exteriores son profundidad 0,70 m, anchura 1,50 m y altura 1,20 m. Para la instalación prevista de dos colectores solares se necesitarán dos reflectores de espejo plano con las siguientes dimensiones: 1,50 metros de anchura, 2,40 metros de longitud y 0,15 metros de altura. Se han seleccionado paneles solares con una potencia de 80W por panel para el sistema de ventilación forzada y el control del proceso. El uso de este secador solar eliminará el problema del deterioro posterior a la cosecha, lo que se traducirá en un aumento de las exportaciones gracias a la mejora de la calidad del producto y a su precio competitivo.

De acuerdo con los cálculos que se realizaron, el secador está compuesto por 16 bandejas, donde se pueden distribuir uniformemente los frutos que se van a deshidratar. Ante esto, la investigación que fue desarrollada por Vega et al. (2019) considera que el método de bandejas presentó mejores resultados en compuestos bio activos en la deshidratación de pitahaya.

Ayala-Aponte (2015) es otro investigador que también considera que el uso de charolas beneficia el proceso de deshidratación. Por el contrario, el método de microondas no funcionará porque generará fricción entre las moléculas de agua, lo que provocará un calentamiento desigual. El equipo de bandejas, en cambio, hace circular el flujo de aire caliente sobre el alimento a secar, lo que permite ajustar tanto el caudal de aire como la temperatura. Mientras que el enfoque del horno se centra en la evaporación del agua perdida en la comida, lo que conduce a una reducción de la cantidad de agua que contiene el propio alimento.

Asimismo, se diseñó un sistema de control de datos a través de sensores de humedad y temperatura. Se determinó que el tiempo de secado del aguaymanto a condiciones de Huancayo en el mes de febrero fue de 3 días, considerando un secador solar a convección forzada automatizada con panel solar, a condiciones de Huancayo, esta estimación concuerda con los resultados de Roa y Ortega que calcularon que el secado de café en promedio de 3 días, para ello tuvieron en cuenta el peso del producto y redujeron el nivel de humedad al 12 %.

La simulación del secado de aguaymanto en un secador solar mixto es un proceso que permite predecir y analizar cómo se comportará la fruta durante el proceso de secado.

i. *Definición del modelo.* Lo primero es definir el modelo matemático que describirá el comportamiento de la fruta durante el secado. Los modelos más comunes son los basados en balance de masa y energía, como modelo de difusión en capa delgada o el modelo Page. Estos modelos tienen en cuenta la transferencia de masa y calor que se produce cuando la sustancia se está secando.

En consideración a ello los parámetros iniciales para la simulación fueron los siguientes:

Tabla 19. *Parámetros medioambientales de diseño*

Parámetros	Valor
Temperatura de entrada	20°C
Velocidad del ventilador	1200 rad/s
Flujo de aire en la entrada del deshidratador	2.4m/s
Presión atmosférica (Huancayo)	69327.6 Pa

ii. *Recopilación de datos.* Se deben obtener los datos necesarios para alimentar el modelo, como las propiedades físicas de la fruta (densidad, calor específico, coeficiente de difusión), las condiciones climáticas (temperatura, humedad relativa, velocidad del viento) y los parámetros de operación del secador (temperatura del aire, velocidad del aire, tiempo de secado).

Tabla 20. *Parámetros iniciales del aguaymanto*

Parámetros	Valor
Densidad del aguaymanto	1150 kg/m ³
Peso a cargar	100 rad/s
Volumen del aguaymanto	0.026 m ³
Humedad inicial	80 %
Calor latente (Ql)	166.8 MJ
Temperatura de secado	50°C
Potencia	36.2 W

iii. *Implementación del modelo.* Utilizando el *software* de simulación adecuado, se implementa el modelo matemático con los datos recopilados. El *software* calculará cómo cambian la humedad y la temperatura de la fruta a lo largo del tiempo durante el proceso de secado.

Tabla 21. *Simulación de resultados con los datos ingresados*

Hora	Velocidad del viento	Temperatura de entrada al colector	Temperatura de ingreso a la cámara	Peso de ingreso Kg	% Humedad
0	2.4	15	50	100.0	80.00%
1	2.4	15	50	96.0	78.30%
2	2.4	15	50	94.0	75.00%
3	2.4	15	50	92.0	74.30%
4	2.4	15	50	91.0	71.80%
5	2.4	15	50	88.0	69.76%
6	2.4	15	50	86.0	67.72%
7	2.4	15	50	84.0	65.68%
8	2.4	15	50	82.0	63.64%
9	2.4	15	50	81.0	61.60%
10	2.4	15	50	78.5	59.56%
11	2.4	15	50	76.5	57.52%
12	2.4	15	50	74.6	55.48%
13	2.4	15	50	72.6	53.44%
14	2.4	15	50	70.7	51.40%
15	2.4	15	50	68.7	49.36%
16	2.4	15	50	66.8	47.32%
17	2.4	15	50	64.8	45.28%
18	2.4	15	50	62.8	43.24%
19	2.4	15	50	60.9	41.20%
20	2.4	15	50	58.9	39.16%
21	2.4	15	50	57.0	37.12%
22	2.4	15	50	55.0	35.08%
23	2.4	15	50	53.1	33.04%
24	2.4	15	50	51.1	32.10%
25	2.4	15	50	49.2	31.90%
26	2.4	15	50	47.2	31.66%
27	2.4	15	50	45.3	31.00%
28	2.4	15	50	43.3	30.81%
29	2.4	15	50	41.4	30.20%
30	2.4	15	50	39.4	29.96%
31	2.4	15	50	37.5	29.57%
32	2.4	15	50	35.5	29.18%
33	2.4	15	50	33.6	28.80%
34	2.4	15	50	31.6	28.42%
35	2.4	15	50	29.7	28.04%
36	2.4	15	50	27.7	27.66%

- iv. *Análisis de resultados.* Una vez que se completa la simulación, se analizan los resultados obtenidos. Esto puede incluir la generación de gráficos para visualizar cómo evoluciona la humedad de la fruta, la temperatura del aire y otros parámetros relevantes durante el secado.

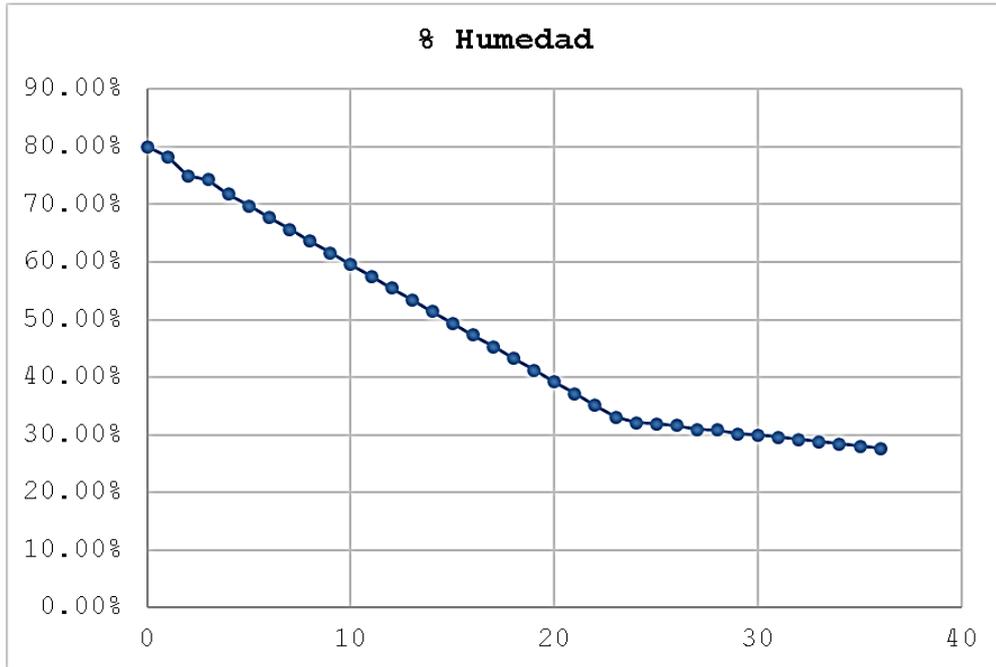


Figura 36. Simulación de secado a 36 horas a condiciones establecidas

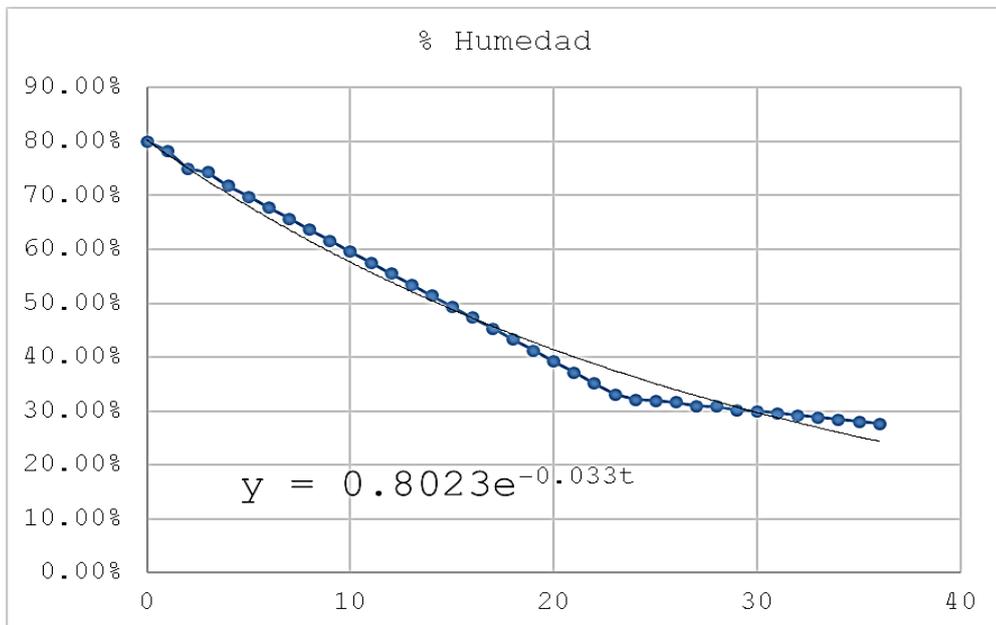


Figura 37. Gráfico del comportamiento de la humedad en función al tiempo y estimación del modelo matemático

v. *Optimización.* Si se dispone de varios parámetros de operación del secador, la simulación también puede ser útil para optimizar el proceso de secado y encontrar las condiciones óptimas que maximicen la eficiencia y la calidad del producto final.

Por lo tanto, para optimizar el diseño se tiene que adicionar un deshumidificador al colector tal como se presenta a continuación en el diagrama:

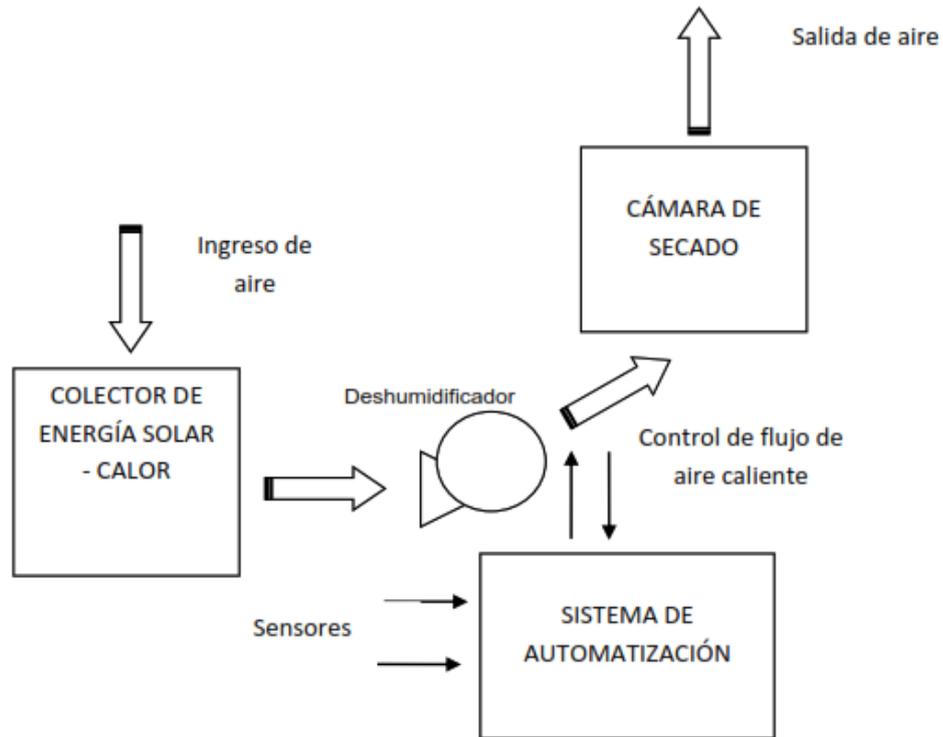


Figura 38. Propuesta de diseño

Es importante tener en cuenta que la precisión de la simulación depende en gran medida de la integridad de los datos de entrada y de la adecuación del modelo utilizado. Los modelos más sofisticados pueden tener en cuenta factores adicionales, como la geometría del secador y la distribución del aire, lo que mejora la precisión de la simulación. En resumen, la simulación del secado de frutas en un secador es una herramienta valiosa para entender y mejorar el proceso de secado, lo que puede conducir a una mayor eficiencia y calidad del producto final.

CONCLUSIONES

1. Después de una exhaustiva investigación se diseña un secador con las características técnicas adecuadas de cada componente (colector tiene una dimensión de 237 x 237 cm, la cámara tiene un área de 0.815 m², panel solar con una capacidad para producir 5.22 A) a condiciones solares que se encuentran en Huancayo a una eficiencia de 80 % a temperatura promedio anual de 12.1°C, y obtener una capacidad para secar 100 kg de aguaymanto seco.
2. Se logró determinar las características del panel solar adecuado para la zona de Huancayo ya que cuenta con temperaturas promedio. El valor obtenido de acuerdo con la investigación para un sistema fotovoltaico es de 5.22 A con un ángulo de inclinación de 15° al este, un acumulador de energía de 103.12 Ah, controlador de 10 A.
3. Para el sistema de control de datos se eligió una alternativa, la instalación de 6 sensores de temperatura LM35 y 2 sensores de humedad HIH4000, los cuales fueron elegidos por rendimiento y características funcionales.
4. Al obtener el diseño del secador solar se realiza la simulación para comprobar el funcionamiento idóneo. Para ello se considera una temperatura estimada de 13°C y un punto de ajuste de 55°C. Los datos se miden cada cierto tiempo de secado del aguaymanto a condiciones de Huancayo. En febrero, el tiempo de secado fue de 3 días.
5. Después de una exhaustiva investigación se diseña un secador con las características técnicas adecuadas de cada componente (colector tiene una dimensión de 237 x 237 cm, la cámara tiene un área de 0.815 m², panel solar con una capacidad para producir 5.22 A) a condiciones solares que se encuentran en Huancayo a una eficiencia de 80 % a temperatura promedio anual de 12.1°C, y obtener una capacidad para secar 100 kg de aguaymanto seco.

Bibliografía

1. FUNDACIÓN para la Innovación Agraria. Se prevé que el uso de fruta deshidratada aumente de aquí a 2020. [En línea] 17 de Noviembre de 2020. [Citado el: 23 de febrero de 2023.] <https://opia.fia.cl/601/w3-article-84714.html#:~:text=Seg> %C3 %BAn%20Global%20Industry%20Analysts%20(GIA,a%204|%20millones%20de%20tone ladas..
2. UNIVERSIDAD de Santiago de Chile. Fue la primera instalación comercial de deshidratación de fruta con energía solar del mundo. [En línea] 14 de Octubre de 2018. [Citado el: 22 de febrero de 2023.] <https://agroalimentando.com/nota/7276>.
3. ORGANIZACIÓN de las Naciones Unidas (ONU). Objetivos para un futuro ecológicamente sostenible. [En línea] 2015. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/education/>.
4. MINISTERIO DEL AMBIENTE [MINAM]. Estado del medio ambiente en Informe Nacional 2014-2019. [En línea] INEA, Julio de 2019. [Citado el: 25 de Marzo de 2023.] <https://sinia.minam.gob.pe/inea/informe/contexto-nacional/>.
5. SOBRADO, Á, y LUNA, E, *El desarrollo de un prototipo de secador al vacío, incluyendo su fabricación y posterior uso en el secado de aguaymanto. (Physalis peruviana)*. (Tesis para optar del grado de Ingeniero Agroindustrial). Universidad Nacional Hermilio Valdizán. Huánuco: s.n., 2017. pág. 90, Tesis.
6. CAMAYO, B., y otros. Concepción totalmente independiente del sistema solar térmico para la deshidratación indirecta del aguaymanto (*Physalis Peruviana L.*), Junín, Perú, *Revista La Granja*, 33. 2021. ISSN: 1390-3799; eISSN:1390-8596
7. ANZOLA, R. *Se llevó a cabo una investigación sobre el impacto que tiene el secado al sol en las propiedades fisicoquímicas del almidón de Achira. (Canna edulis Ker)*. (Tesis para optar del grado de Magíster en ingeniera de Biosistemas). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2021.
8. GUAMÁN, C. *Planificación y ejecución de la construcción de un deshidratador automatizado híbrido de fruta*. (Tesis para optar del grado de Ingeniero en Industrias Pecuarias). Repositorio institucional: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/25639/1/T-ESPE-044695.pdf>, Universidad de las Fuerzas Armadas. Sangolqui, Ecuador: s.n., 2021.
9. MOHAMEMD et al. The influence of conventional and enhanced sun drying techniques on the sensorial quality as well as the nutritional content of fruits: A case study of mangoes and pineapples, *Heliyon*, 6, 1-10, 2020. ISSN: 2405-8440 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04163>.

10. MURALI et al. Evaluation of the design and performance of a hybrid solar-liquefied petroleum gas dryer for the drying of shrimp. *Renewable Energy*, 1, 2417-2428. 2020. ISSN 0960 - 1481
11. SSEMWANGA et al. The impact of conventional and enhanced sun drying techniques on the perceptual quality as well as the nutritional profile of fruits: A study on mangoes and pineapples. *Heliyon*, 17, 1-10. 2020. ISSN: 2405-8440
12. BARRETO, M. y CRUZ, M. *En la provincia de Tarma, utilización de un secador solar automático para obtener manzanilla (Matricaria chamomilla) desecada.* (Tesis para optar del grado de Ingeniero Agroindustrial). Repositorio institucional: <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/6546>, Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo: s.n., 2020.
13. HERRERA, J. Utilización de un secador solar para eliminar la humedad del cedrón, controlando al mismo tiempo la temperatura y la humedad relativa del aire en el interior del colector. *Universidad y Sociedad*. 14(4), 579-587. 2022. ISSN 2218-3620
14. CENGEL, Y. y CIMBALA, J. *Mecánica de fluidos: Fundamentos y aplicaciones.* México: McGraw-Hill, 2006. ISBN139781456260941
15. CENGEL, Y. *Se transfirieron tanto calor como masa.* México: MacGraw Hill interamericana, 2007. ISBN-13: 978-970-10-6173-2
16. CENGEL, Y. y MICHEL, B. *Termodinámica.* México: McGraw Hill, 2007. ISBN 978-607-15-0743-3
17. FERRANT, G. *Desarrollo de un diseño y construcción de un secador solar específico para secar setas.* (Tesis para optar del grado de Maestro en Ingeniería Energética). Universidad Veracruzana. Veracruz, México: s.n., 2012. Repositorio institucional: <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/31562/ferranjimenezgerardo%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>,
18. MENDIETA, O. & Medina, M. Setas silvestres comestibles recogidas en la zona de San Martín y secadas con métodos naturales y al sol. *Folia Amazónica*, 07(08). 97 - 111. 1995. ISSN: 2410-1184
19. GARZA, S., IBARZ, A., PAGAN, J. and GINER, J. During the cooking process, browning of the peach puree that is not enzymatic. *Food Research International*, 32(5), 335 - 343. 1999, ISSN: 0963-9969
20. VELEZMORO, J. Perfil de mercado del aguaymanto. [En línea] 2004. [Citado el: 16 de Enero de 2022.] <http://www.sica.gov.ec/>.

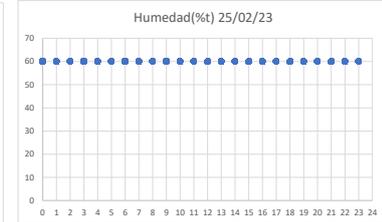
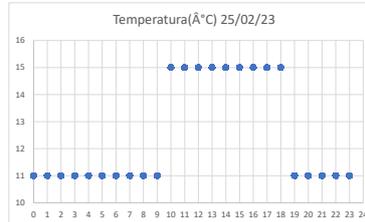
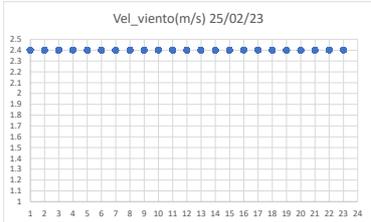
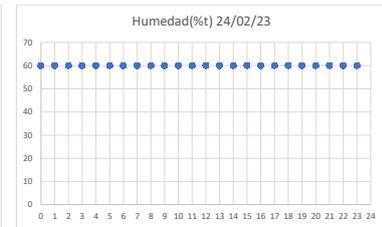
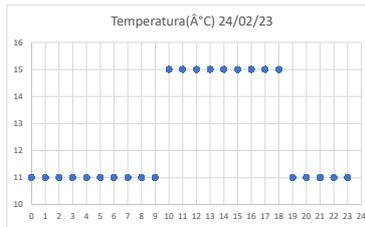
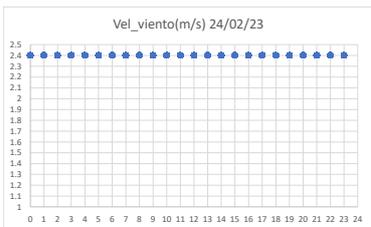
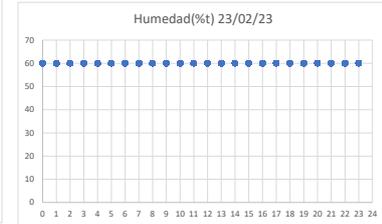
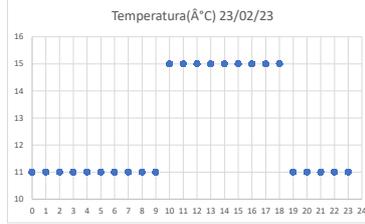
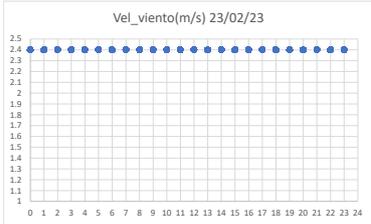
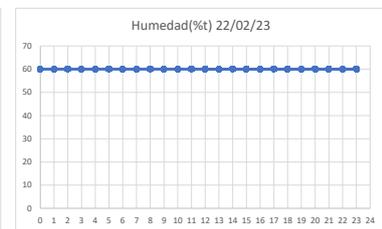
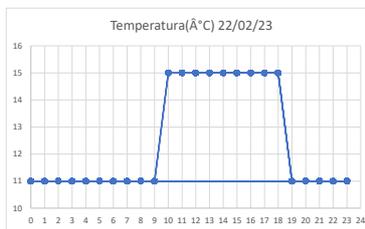
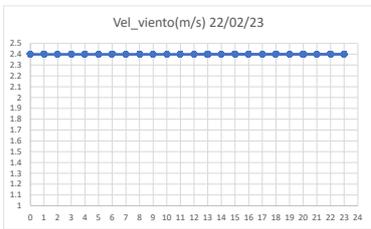
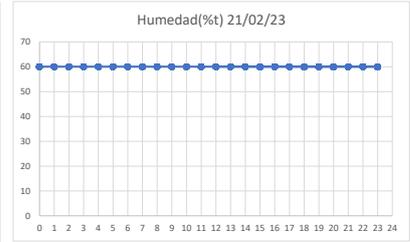
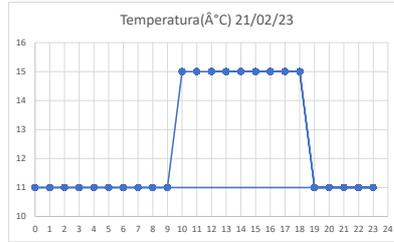
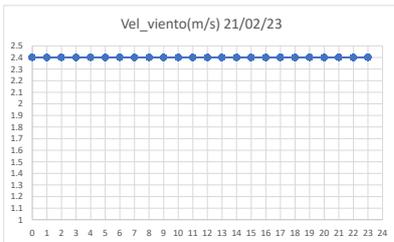
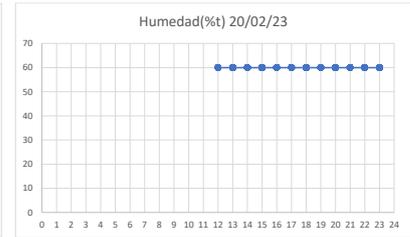
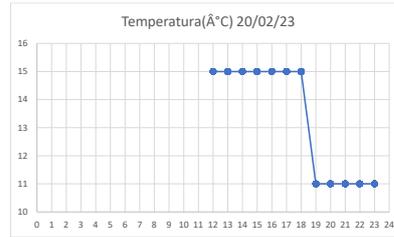
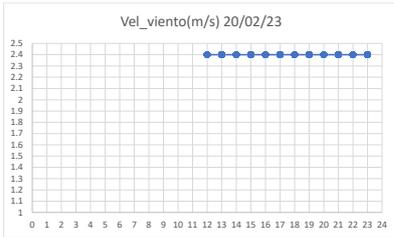
21. SOBRADO, Á. y LUNA, R. *El diseño y la construcción de un prototipo de secador al vacío, así como el uso del secador en el proceso de secado del aguaymanto. (Physalis peruviana)*. (Tesis para optar del grado de Ingeniero Agroindustrial). Universidad Nacional Hermilio Valdizan. Huánuco: s.n., 2017. Repositorio: <https://repositorio.unheval.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13080/2873/TAI%2000100%20S63.pdf?sequence=1&isAllowed=y>,
22. MESTANZA, VELÁSQUEZ &. Invención agraria. Producción, calidad y rentabilidad de tres ecotipos de aguaymanto. *Revista de la Estación Especulativa Baños del INIA-Inca Cajamarca*. 18(3), 2003. ISSN: 2414-1046
23. MORTON, J. *Aguaymanto (Physalis peruviana)*. [ed.] 1ra Edición. Editorial CEBAS CSIC., 47-120. 1997. ISSN: 430-434
24. DOPF, L. *Aguaymanto. Aceptabilidad del aguaymanto*, Huánuco: s.n., 2, 21 - 42. 1998. ISSN 2215-5449.
25. HERNÁNDEZ, R., FERNÁNDEZ, R. y BAPTISTA, P. *Metodología de la investigación*. México: Mc Graw Hill, 2018, ISBN: 978-1-4562-2396-0
26. COVERT, R. A. y ARTHUR H. T. *Organización para el Desarrollo del Acero Inoxidable 304 en Australia*. Australia: Assda, 2020. ISBN 1-877-789-3245
27. WEATHER, S. El tiempo en febrero en Huancayo. [En línea] Febrero de 2023. [Citado el: 02 de marzo de 2023.] <https://es.weatherspark.com/m/22257/2/Tiempo-promedio-en-febrero-en-Huancayo-Per%C3%BA>.
28. HERNÁNDEZ, R., FERNÁNDEZ, C. y BAPTISTA, P. *Metodología de la Investigación*. Quinta. México: McGrawHill, 2014. ISBN: 978-1-4562-2396-0
29. ORELLANA, J. *Un deshidratador solar con controles automatizados y programables*. (Tesis para optar del grado de Ingeniero Civil Electrónica). Valparaíso, Chile: Universidad Técnica Federico Santa María, 2017.
30. GUARDADO, S., REYES, W. y ROSA, G. *El grupo cooperativo “Frutales de El Salvador” nos encargó la creación de un plan de negocio para una empresa que se ubicaría en la zona central del país y se encargaría de la recolección, transformación y venta de frutas tropicales*. (Tesis para optar del grado de Ingeniero Industrial). Universidad de El Salvador. El Salvador: s.n., 2018. Repositorio: <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/15861/1/Dise%C3%B1o%20de%20empresa%20para%20el%20acopio%20procesamiento%20y%20comercializaci%C3%B3n%20de%20frutas%20tropicales%20en%20la%20zona%20central%20del%20pa%C3%ADs%20para%20la%20Asociaci%C3%B3n>,

31. ORREGO, A. *Procesamiento de alimentos*. Manizales: Universidad Nacional de Colombia, 2003. ISBN: 958-9322-80-8
32. RODRÍGUEZ, F, y otros. *Ingeniería de la industria alimenticia*. Madrid: Síntesis, 2002. ISBN 978-84-7738-830-2
33. DE LA VEGA, F. *Ara satisfacer las necesidades de los laboratorios de la facultad de ingeniería civil y mecánica, se diseñó y construyó un deshidratador de plátanos alimentado únicamente por energía solar pasiva*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2017. (Tesis para optar del grado de Ingeniero Mecánico).
34. INCRÓPERA, F. y DE WITT, D. *Fundamentos de transferencia de calor*. México: Prentice Hall, 1999. ISBN 970 - 17 -0170 - 4
35. LLINET, C. Predicción de la radiación solar mediante datos meteorológicos e inteligencia artificial. [En línea] Escuela Técnica Superior de Ingenieros en topografía, geodesia y cartografía, 2022. (Tesis para optar del grado de Doctor en Topografía, Geodesia y Cartografía). [Citado el: 26 de Marzo de 2023.] https://www.topografia.upm.es/Investigacion/Noticias?prefmt=articulo&fmt=detail&id=4e3cd2b4cb254810VgnVCM10000009c7648a_____.

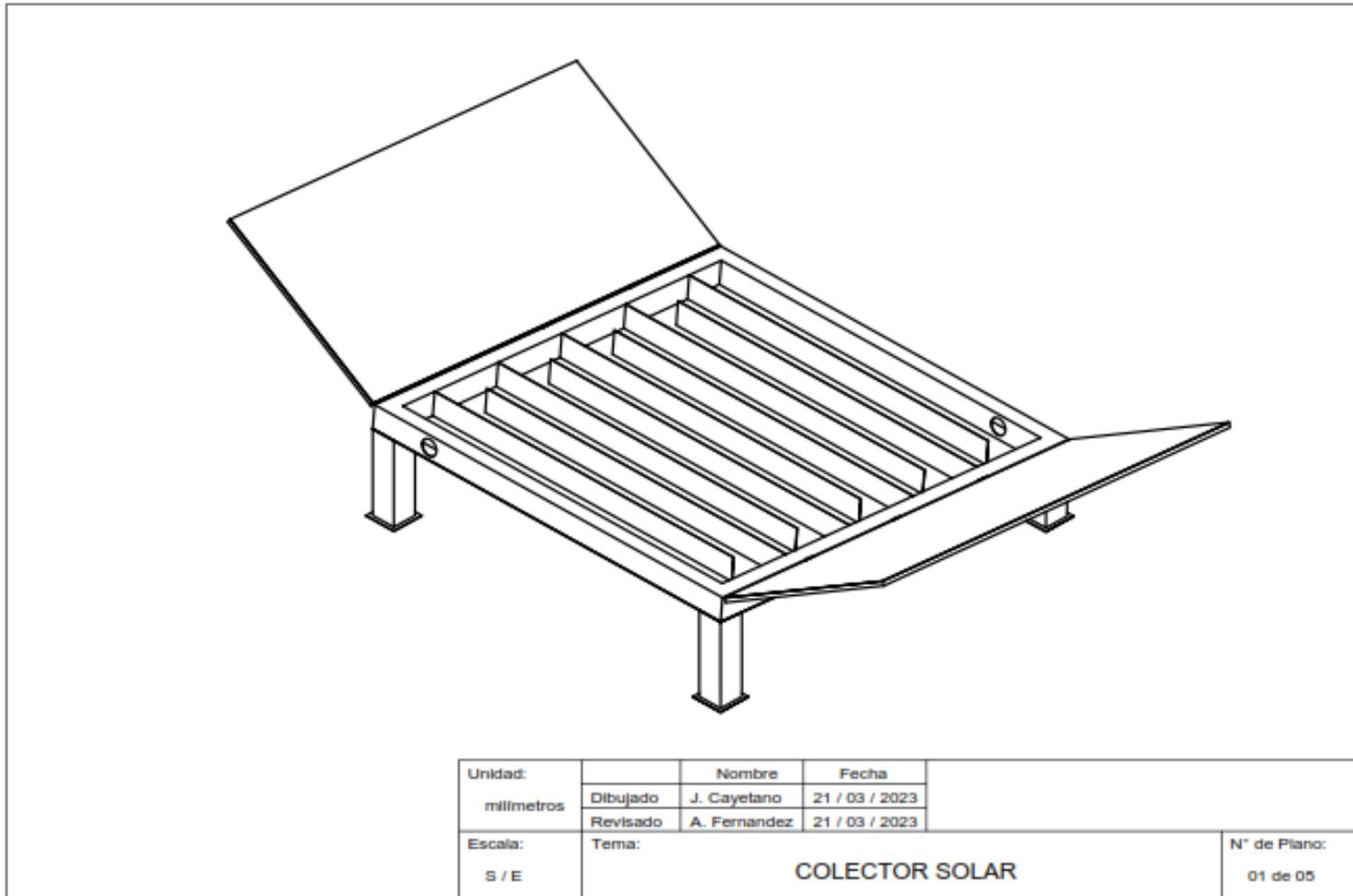
Anexo 1. Matriz de consistencia

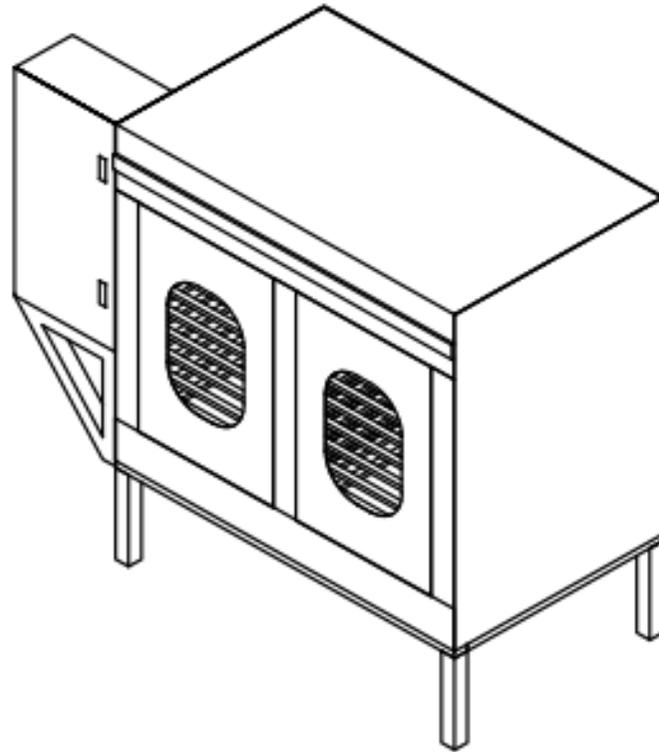
PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES Y DIMENSIONES	METODOLOGÍA
<p>PROBLEMA GENERAL ¿Cómo diseñar un secador solar para deshidratar aguaymanto a condiciones de Huancayo, 2023?</p> <p>Problemas específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuáles son las características técnicas para el diseño de un secador solar para deshidratar aguaymanto a condiciones de Huancayo, 2023? • ¿Cuáles son las condiciones para diseñar un secador solar a convección forzada automatizada con panel solar, a condiciones de Huancayo, 2023? • ¿Cómo diseñar un secador solar con sistema de control de datos a través de sensores colocados en la cámara de secado? • ¿Cómo será el funcionamiento del secador solar para deshidratar aguaymanto? 	<p>OBJETIVO GENERAL Diseñar un secador solar para el deshidratado del aguaymanto en Huancayo, 2023.</p> <p>Objetivos específico.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Establecer las características técnicas para el diseño de un secador solar para deshidratar aguaymanto a condiciones de Huancayo, 2023. • Determinar las condiciones para diseñar un secador solar a convección forzada automatizada con panel solar, a condiciones de Huancayo, 2023. • Diseñar un secador solar con sistema de control de datos a través de sensores colocados en la cámara de secado. • Simular el funcionamiento del secador solar para deshidratar aguaymanto a condiciones de Huancayo, 2023. 	<p>Hipótesis de investigación El diseño de un secador solar permitirá deshidratar aguaymanto y otros frutos a condiciones de Huancayo, 2023.</p>	<p>Variable independiente: Diseño de un secador solar</p> <p>El diseño del secador solar consta de: 3 colectores, donde la radiación calienta el aire, una cámara de secado, donde el producto es deshidratado por el aire caliente que la atraviesa, un sistema fotovoltaico que genera energía suficiente para poner en funcionamiento de un ventilador que alimenta de aire caliente a la cámara de secado.</p> <p>Variable dependiente: Aguaymanto deshidratado</p> <p>Es el producto obtenido después de la puesta en marcha del secador diseñado, la calidad del producto se puede medir De acuerdo con las características fisicoquímicas del fruto deshidratado.</p>	<p>TIPO DE INVESTIGACIÓN: Tecnológica</p> <p>NIVEL DE INVESTIGACIÓN: Descriptiva</p> <p>DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: Descriptivo transeccional</p> <p>POBLACIÓN Y MUESTRA: 100 Kilos de aguaymanto</p> <p>MÉTODO DE INVESTIGACIÓN: General: Científico Específico: Tecnológico</p>

Anexo 2: Datos de la simulación

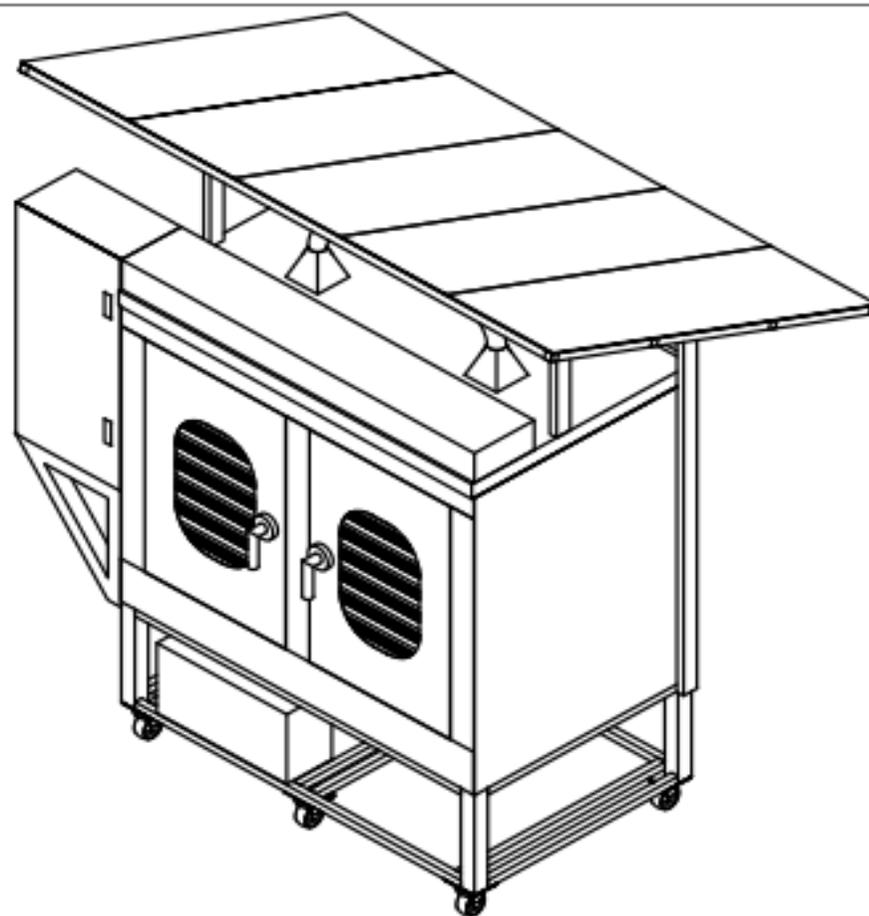


Anexo 3. Planos de diseño

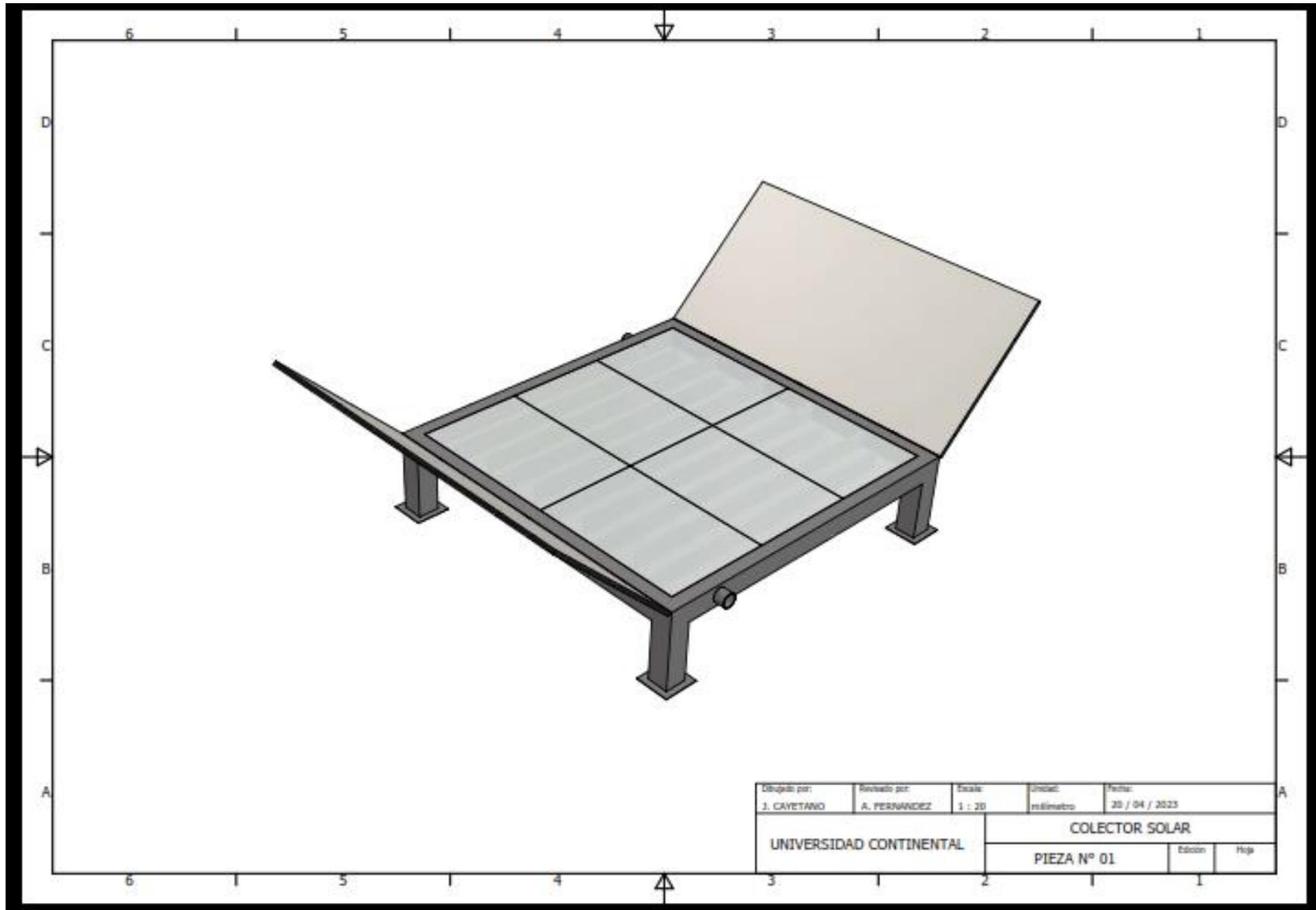


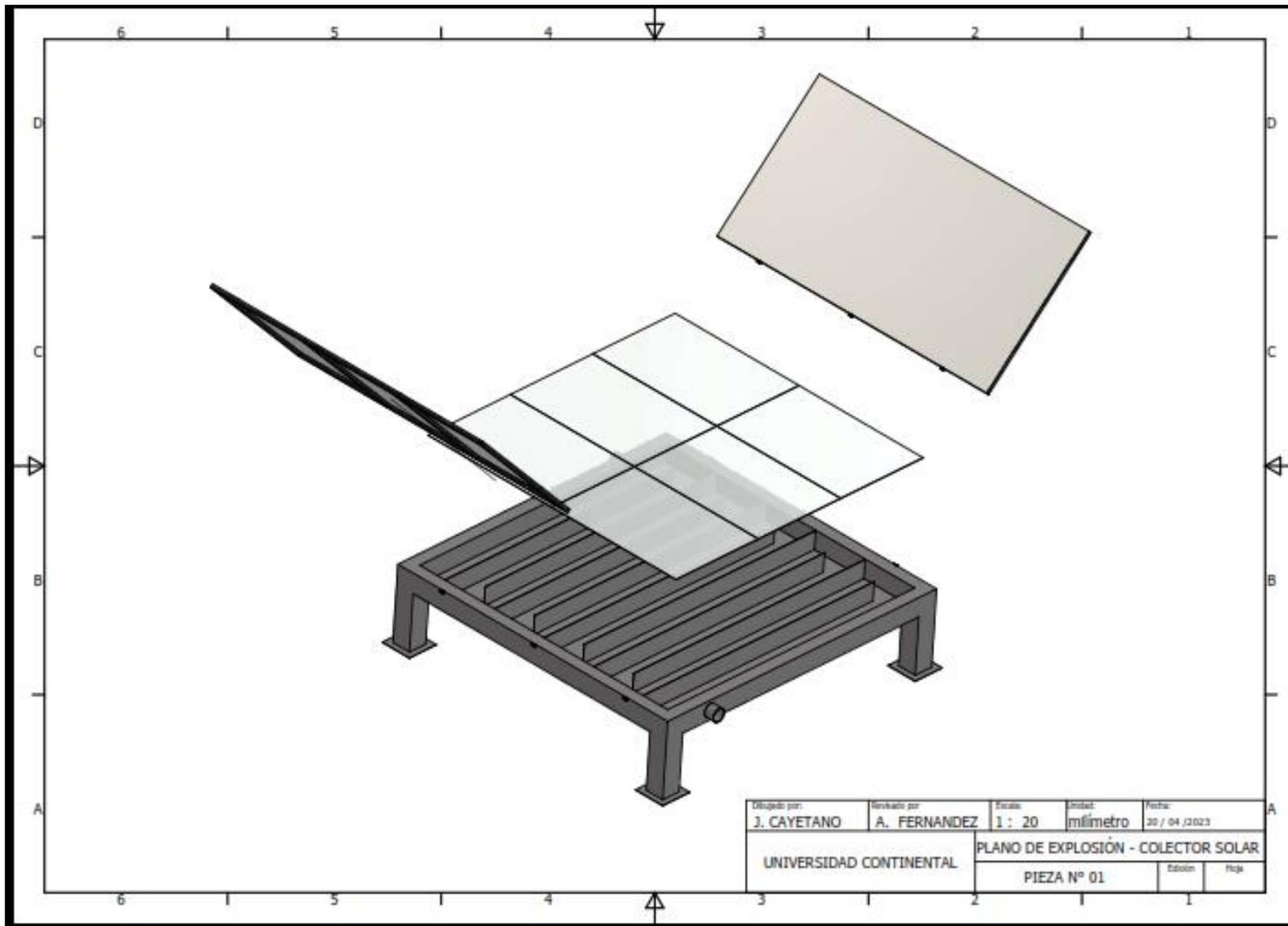


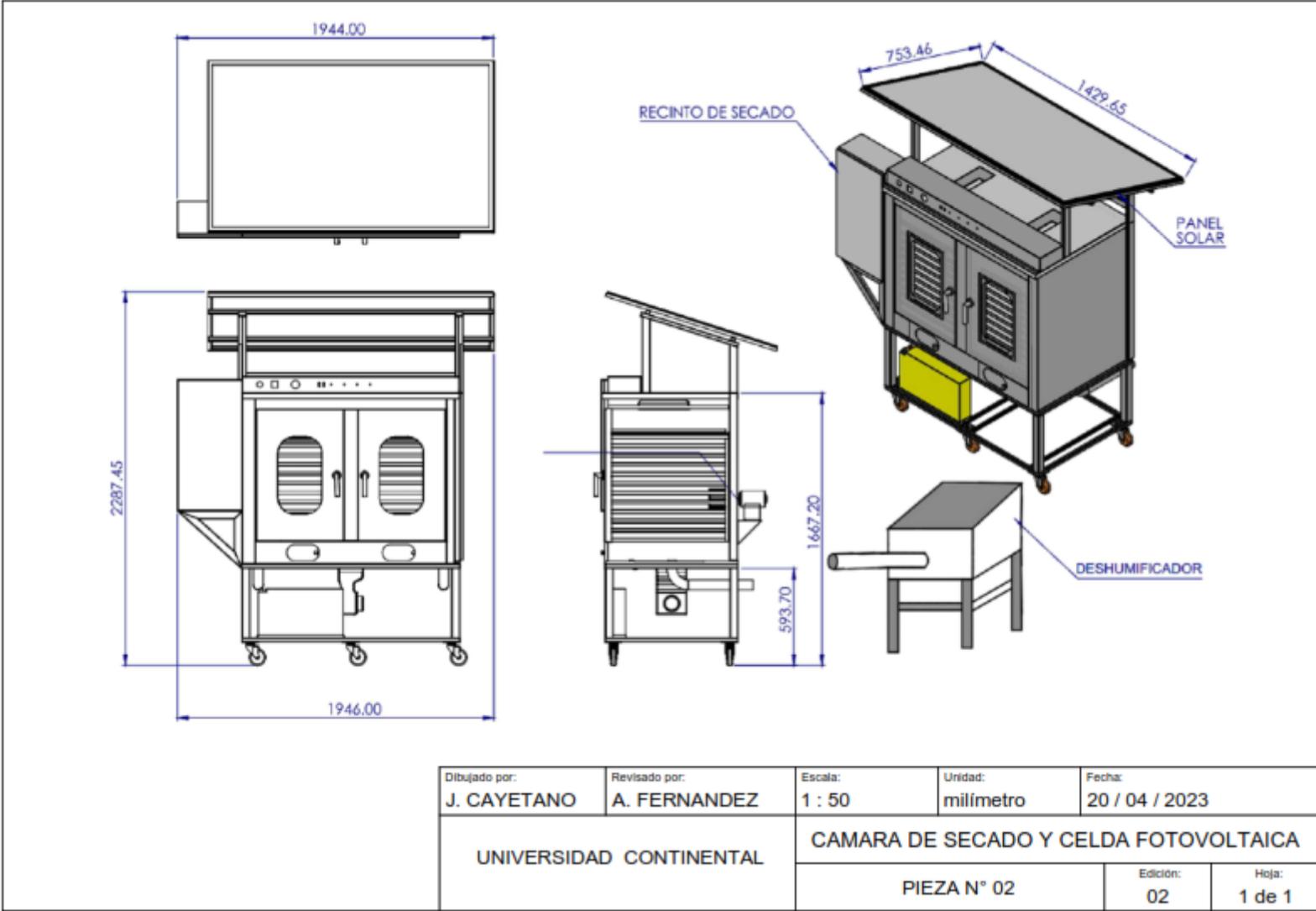
Unidad:		Nombre	Fecha	
milímetros	Dibujado	J. Cayetano	21 / 03 / 2023	
	Revisado	A. Fernandez	21 / 03 / 2023	
Escala:	Tema:			N° de Plano:
S / E	CAMARA DE SECADO			02 de 05



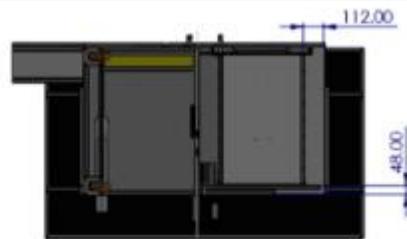
Unidad:		Nombre	Fecha	
milímetros	Dibujado	J. Cayetano	21 / 03 / 2023	
	Revisado	A. Fernandez	21 / 03 / 2023	
Escala:	Tema:			N° de Plano:
S / E	CAMARA DE SECADO			02 de 05



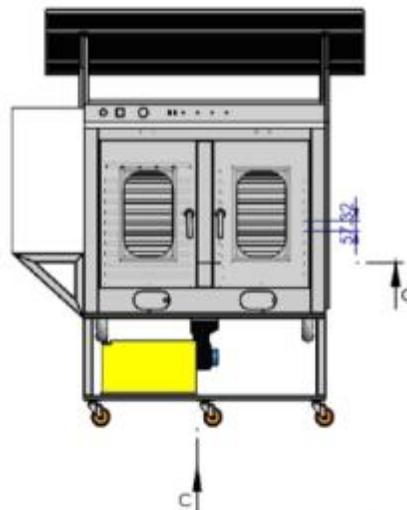
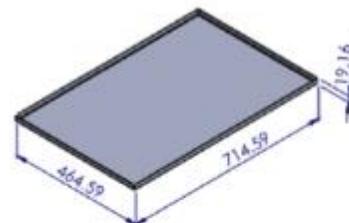




Dibujado por: J. CAYETANO	Revisado por: A. FERNANDEZ	Escala: 1 : 50	Unidad: milímetro	Fecha: 20 / 04 / 2023
UNIVERSIDAD CONTINENTAL		CAMARA DE SECADO Y CELDA FOTOVOLTAICA		
		PIEZA N° 02	Edición: 02	Hoja: 1 de 1



SECCIÓN C-C
ESCALA 1 : 20



CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
ANCHO INTERNO	0,754 m
ALTO INTERNO	0,750 m
LARGO INTERNO	1,128 m
VOLUMEN DE TRABAJO	0,637 m ³
CON CAPACIDAD PARA	16 BANDEJAS
ESPACIO ENTRE BANDEJA	57 mm

Dibujado por: J. CAYETANO	Revisado por: A. FERNANDEZ	Escala: 1 : 50	Unidad: milímetro	Fecha: 20 / 04 / 2023
UNIVERSIDAD CONTINENTAL		CAMARA DE SECADO Y CELDA FOTOVOLTAICA		
		PIEZA N° 02	Edición: 02	Hoja: 2 de 2

Anexo 4. Fichas técnicas

Fichas técnicas



Baterías Gel y AGM

Energía Sin Límites

www.victronenergy.com



AGM battery
12V 90Ah

1. La tecnología VRLA

VRLA son las siglas de Valve Regulated Lead Acid, lo que significa que la batería es hermética. Habrá escape de gas en las válvulas de seguridad únicamente en caso de sobrecarga o de algún fallo de los componentes. Las baterías VRLA no requieren ningún tipo de mantenimiento.

2. Las baterías AGM estancas (VRLA)

AGM son las siglas de Absorbent Glass Mat. En estas baterías, el electrolito se absorbe por capilaridad en una estera en fibra de vidrio situada entre las placas. Tal como se explica en nuestro libro "Energía Sin Límites", las baterías AGM resultan más adecuadas para suministrar corrientes elevadas durante periodos cortos que las baterías de Gel.

3. Las baterías de Gel estancas (VRLA)

En este tipo de baterías, el electrolito se inmoviliza en forma de gel. Las baterías de Gel tienen por lo general una mayor duración de vida y una mejor capacidad de ciclos que las baterías AGM.

4. Auto descarga escasa

Gracias a la utilización de rejillas de plomo-calcio y materiales de gran pureza, las baterías VRLA Victron se pueden almacenar durante largo tiempo sin necesidad de recarga. El índice de auto descarga es inferior a un 2% al mes, a 20°C. La auto descarga se duplica por cada 10°C de aumento de temperatura. Con un ambiente fresco, las baterías VRLA de Victron se pueden almacenar durante un año sin tener que recargar.

5. Extraordinaria recuperación tras descarga profunda

Las baterías Victron VRLA tienen una extraordinaria capacidad de recuperación incluso tras una descarga profunda o prolongada. Sin embargo, se debe recalcar que las descargas profundas o prolongadas frecuentes tienen una influencia muy negativa en la duración de vida de las baterías de plomo/ácido, y las baterías de Victron no son la excepción.

6. Características de descarga de las baterías

Las capacidades nominales de las baterías de Victron se indican para una descarga de 20 horas, es decir para una corriente de descarga de 0,05C (Gel 'long life': 10 horas).

La capacidad real disminuye en descargas más rápidas con intensidades elevadas (ver tabla 1).

La reducción de capacidad aún será más rápida con aparatos de potencia constante como por ejemplo los inversores.

Duración de descarga	Voltage Final V	AGM 'Deep Cycle' %	Gel 'Deep Cycle' %	Gel 'Long Life' %
20 horas	10,8	100	100	112
10 horas	10,8	92	87	100
5 horas	10,8	85	80	94
3 horas	10,8	78	73	79
1 hora	9,6	65	61	63
30 minutos	9,6	55	51	45
15 minutos	9,6	42	38	29
10 minutos	9,6	38	34	21
5 minutos	9,6	27	24	
5 segundos		8 C	7 C	

Tabla 1: Capacidad real en función de la capacidad de descarga.
(la última línea indica la corriente de descarga máxima autorizada durante 5 segundos).

Nuestras baterías AGM Deep Cycle (ciclo profundo) ofrecen excelentes resultados a alta intensidad y por ello se recomiendan para aplicaciones como el arranque de motores. Debido a su diseño, las baterías de gel tienen una capacidad real menor a alta intensidad. En cambio, las baterías de gel tienen mejor duración de vida en modo flotación y ciclos.

7. Efectos de la temperatura en la duración de vida

Las temperaturas elevadas tienen una influencia muy negativa en la duración de vida. La tabla 2 presenta la duración de vida previsible de las baterías de Victron en función de la temperatura.

Temperatura media de funcionamiento	AGM Deep Cycle años	Gel Deep Cycle años	Gel Long Life años
20°C / 68°F	7 - 10	12	20
30°C / 86°F	4	6	10
40°C / 104°F	2	3	5

Tabla 2: Duración de vida

8. Efectos de la temperatura en la capacidad

El siguiente gráfico muestra que la capacidad disminuye en gran medida a baja temperatura.

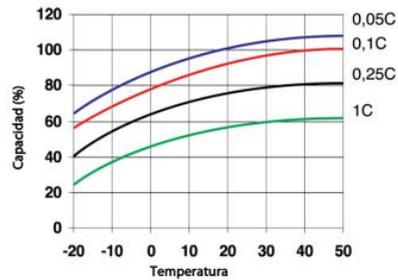


Fig. 1: Efectos de la temperatura en la capacidad

9. Duración de vida en ciclos de las baterías de Victron

Las baterías se gastan debido a las cargas y descargas. El número de ciclos depende de la profundidad de descarga, tal como muestra la figura 2.

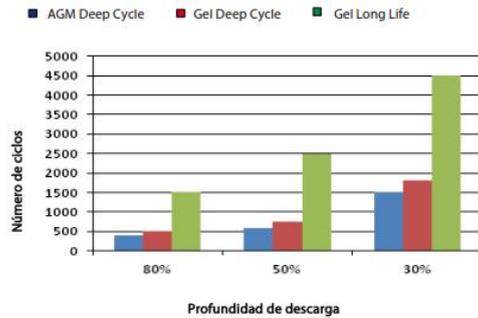


Fig. 2: Duración de vida en ciclos

10. Carga de la batería en modo de ciclos: La característica de carga en 3 etapas

El método de carga más corriente para las baterías VRLA utilizadas en ciclos es la característica en tres etapas, según la cual una fase de corriente constante (fase "Bulk") va seguida por dos fases con voltaje constante ("Absorción" y "Flotación"). Ver fig. 3.

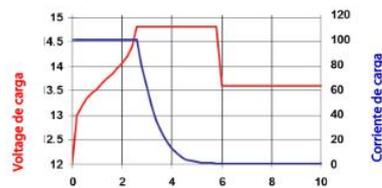


Fig. 3: Régimen de carga en tres etapas

Durante la fase de absorción, el voltaje de carga se mantiene a un nivel relativamente elevado para acabar de cargar la batería en un tiempo razonable. La tercera y última fase es la de mantenimiento (Flotación): el voltaje se reduce a un nivel justamente suficiente para compensar la autodescarga.

Inconvenientes de la carga tradicional en tres etapas:

- **Riesgo de gaseo**
Durante la fase de carga inicial, la corriente se mantiene a un nivel constante y a menudo elevado, incluso por encima del voltaje de gaseo (14,34V para una batería de 12V). Ello puede provocar una presión de gas excesiva en la batería. Puede escaparse gas por las válvulas de seguridad, lo que reduce la duración de vida y presenta un peligro.
- **Duración de carga fija**
El voltaje de absorción aplicado a continuación durante un tiempo fijo no tiene en cuenta el estado de carga inicial de la batería. Una fase de absorción demasiado larga tras una descarga poco profunda sobrecargará la batería, reduciendo una vez más su duración de vida, especialmente debido a la oxidación acelerada de las placas positivas.
- Nuestros estudios han revelado que la duración de vida de una batería se puede aumentar reduciendo más la tensión de flotación cuando no se utiliza la batería.

11. Carga de la batería: mejor duración de vida mediante la carga adaptable en 4 etapas de Victron

Victron Energy ha creado la carga adaptable en 4 etapas. Esta tecnología innovadora es resultado de muchos años de investigación y ensayos.

El método de carga adaptable de Victron elimina los 3 principales inconvenientes de la carga tradicional en 3 etapas:

- **Función BatterySafe**
Para evitar el gaseo excesivo, Victron ha inventado la función BatterySafe. La función BatterySafe reduce el aumento del voltaje de carga cuando se alcanza el voltaje de gaseo. Los estudios revelan que dicho procedimiento mantiene el gaseo interno a unos niveles sin peligro.
- **Duración de absorción variable**
El cargador Victron calcula la duración óptima de la fase de absorción en función de la duración de la fase de carga inicial (Bulk). Si la fase Bulk fue corta significa que la batería estaba poco descargada y la duración de absorción se reducirá automáticamente. Una fase de carga inicial más larga dará una duración de absorción también más larga.
- **Función de almacenamiento**
Una vez finalizada la fase de absorción, en principio, la batería está totalmente cargada y el voltaje se reduce hasta un nivel de mantenimiento (Flotación). A continuación, si no se utiliza la batería durante 24 horas, el voltaje se reduce aún más y el cargador de batería pasa al modo de "almacenamiento". Este voltaje de "almacenamiento" reduce al mínimo la oxidación de las placas positivas. Posteriormente, el voltaje aumentará en modo absorción una vez por semana para compensar la autodescarga (función Battery Refresh).

12. Carga en modo flotación: carga de mantenimiento con voltaje constante

Si una batería se descarga profundamente con poca frecuencia, es posible una curva de carga en dos etapas. Durante la primera fase, la batería se carga con una corriente constante pero limitada (fase "Bulk"). Una vez alcanzado un voltaje predeterminado, la batería se mantiene a este voltaje (fase de mantenimiento o "Flotación"). Este método de carga se utiliza en las baterías de arranque a bordo de vehículos y para los sistemas de alimentación sin cortes (onduladores).

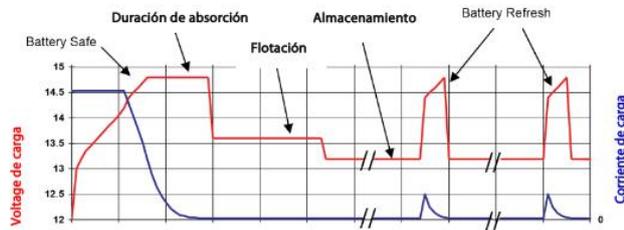


Fig. 4: Carga adaptable en 4 etapas de Victron

13. Voltajes de carga óptimos de las baterías VRLA Victron

La siguiente tabla presenta los voltajes de carga recomendados para una batería de 12V:

14. Efectos de la temperatura en el voltaje de carga

El voltaje de carga se debe reducir a medida que la temperatura aumenta. La compensación de temperatura es necesaria cuando la temperatura de la batería puede ser inferior a 10°C / 50°F o superior a 30°C / 85°F durante un periodo de tiempo prolongado. La compensación de temperatura recomendada para las baterías Victron VRLA es de -4 mV/elemento ($-24 \text{ mV/}^\circ\text{C}$ para una batería de 12V). El punto medio de compensación de temperatura es de 25°C / 70°F.

15. Corriente de carga

Preferentemente, la corriente de carga no debe superar 0,2 C (20 A para una batería de 100 Ah). La temperatura de una batería aumentará más de 10°C si la corriente de carga es superior a 0,2 C. Así pues, la compensación de temperatura resulta indispensable para corrientes de carga superiores a 0,2 C.

	Utilización en Flotación (V)	Ciclos Normal (V)	Ciclos Recarga rápida (V)
Victron AGM "Deep Cycle"			
Absorción		14,2 - 14,6	14,6 - 14,9
Flotación	13,5 - 13,8	13,5 - 13,8	13,5 - 13,8
Almacenamiento	13,2 - 13,5	13,2 - 13,5	13,2 - 13,5
Victron Gel "Deep Cycle"			
Absorción		14,1 - 14,4	
Flotación	13,5 - 13,8	13,5 - 13,8	
Almacenamiento	13,2 - 13,5	13,2 - 13,5	
Victron Gel "Long Life"			
Absorción		14,0 - 14,2	
Flotación	13,5 - 13,8	13,5 - 13,8	
Almacenamiento	13,2 - 13,5	13,2 - 13,5	

Tabelle 3: Voltajes de carga recomendados

12 Volt Deep Cycle AGM							Especificaciones generales
Referencia	Ah	V	Ixanxl mm	Peso kg	CCA @0°F	RES CAP @80°F	Tecnología: flat plate AGM Bornes: cobre, M8
BAT406225084	240	6	320 x 176 x 247	31	700	270	Capacidad nominal: descarga en 20h a 25 °C Dur. de vida en flotación: 7-10 años a 20 °C Dur. de vida en ciclos: 400 ciclos en descarga 80% 600 ciclos en descarga 50% 1500 ciclos en descarga 30%
BAT212070084	8	12	151 x 65 x 101	2,5			
BAT212120086	14	12	151 x 98 x 101	4,4			
BAT212200084	22	12	181 x 77 x 167	5,8			
BAT412350084	38	12	197 x 165 x 170	12,5			
BAT412550084	60	12	229 x 138 x 227	20	280	80	
BAT412600084	66	12	258 x 166 x 235	24	300	90	
BAT412800084	90	12	350 x 167 x 183	27	400	130	
BAT412101084	110	12	330 x 171 x 220	32	500	170	
BAT412121084	130	12	410 x 176 x 227	38	550	200	
BAT412151084	165	12	485 x 172 x 240	47	600	220	
BAT412201084	220	12	522 x 238 x 240	65	650	250	
BAT412124081	240	12	522 x 240 x 224	67	650	250	

12 Volt Deep Cycle GEL							Especificaciones generales
Referencia	Ah	V	Ixanxl mm	Peso kg	CCA @0°F	RES CAP @80°F	Tecnología: flat plate GEL Bornes: cobre, M8
BAT412550104	60	12	229 x 138 x 227	20	250	70	Capacidad nominal: 20 hr discharge at 25 °C Dur. de vida en flotación: 12 years at 20 °C Dur. de vida en ciclos: 500 ciclos en descarga 80% 750 ciclos en descarga 50% 1800 ciclos en descarga 30%
BAT412600100	66	12	258 x 166 x 235	24	270	80	
BAT412800104	90	12	350 x 167 x 183	26	360	120	
BAT412101104	110	12	330 x 171 x 220	33	450	150	
BAT412121104	130	12	410 x 176 x 227	38	500	180	
BAT412151104	165	12	485 x 172 x 240	48	550	200	
BAT412201104	220	12	522 x 238 x 240	66	600	220	
BAT412126101	265	12	520 x 268 x 223	75	650	250	

Otras capacidades y tipos de bornes: por encargo

Sunmodule® SW 150 poly R6A



Producción en Alemania, el país de la tecnología punta



TÜV Power controlled:
Las tolerancias de medida más bajas de la industria



Garantía de servicio lineal de 25 años y garantía de producto de 10 años



La empresa SolarWorld AG elige Alemania, el país de la tecnología, como sede de la producción de sus módulos solares, con lo que garantiza la calidad duradera de sus productos. inversión completo a largo plazo.

El símbolo de inspección Power controlled de TÜV Rheinland garantiza que la potencia nominal indicada de los módulos solares Plus se comprueba en periodos regulares para asegurar su mantenimiento. La desviación con respecto a TÜV no debe superar el 2 por ciento.

Con la garantía de servicio lineal de más de 25 años, SolarWorld garantiza una reducción de potencia máxima de 0,7% p.a., un claro valor añadido con respecto a las garantías habituales de dos etapas. El certificado técnico es, por tanto, un seguro de inversión completo a largo plazo.

www.solarworld.com



SOLARWORLD
Convertimos el sol en energía.

Sunmodule[®] SW 150 poly R6A

COMPORTAMIENTO BAJO CONDICIONES ESTÁNDAR DE PRUEBA (STC*)

		SW 150
Potencia en el punto de máx. potencia	P_{max}	150 Wp
Tensión en vacío	U_{oc}	22,5 V
Tensión a potencia máxima	U_{mpp}	18,3 V
Corriente de cortocircuito	I_{sc}	8,81 A
Corriente a potencia máxima	I_{mpp}	8,27 A

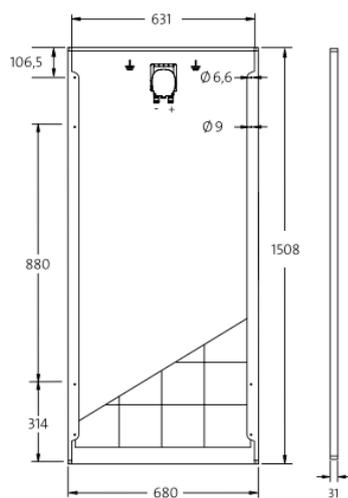
Tolerancia de medición (P_{max}) de acuerdo con TÜV Rheinland: +/- 2% (TÜV Power controlled)

*STC: 1000W/m², 25°C, AM 1.5

COMPORTAMIENTO A 800 W/m², NOCT, AM 1.5

		SW 150
Potencia en el punto de máx. potencia	P_{max}	110,1 Wp
Tensión en vacío	U_{oc}	20,5 V
Tensión a potencia máxima	U_{mpp}	16,6 V
Corriente de cortocircuito	I_{sc}	7,17 A
Corriente a potencia máxima	I_{mpp}	6,62 A

Ligera reducción de la eficiencia en el comportamiento con carga parcial a 25°C: A 200 W/m² se alcanza el 100 % (+/- 2 %) de la eficiencia bajo condiciones estándar de prueba (1000 W/m²).



MATERIALES EMPLEADOS

Longitud	1508 mm
Ancho	680 mm
Altura	31 mm
Marco	aluminio anodizado plata
Peso	11,8 kg

MATERIALES EMPLEADOS

Células por módulo	36
Tipo de célula	policristalino
Medidas de la célula	156 mm x 156 mm
Parte anterior	vidrio reforzado (EN 12150)

PARÁMETROS TÉRMICOS CARACTERÍSTICOS

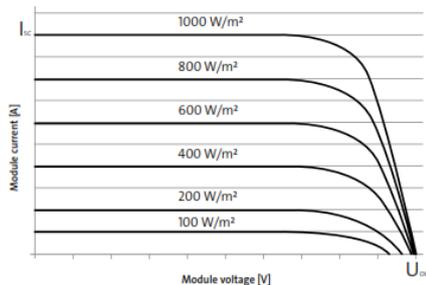
NOCT	46 °C
TC I_{sc}	0,051 %/K
TC U_{oc}	-0,31 %/K
TC P_{mpp}	-0,41 %/K

OTROS DATOS

Clasificación de la potencia	+/- 5 %
------------------------------	---------

PARÁMETROS TÉRMICOS CARACTERÍSTICOS

Tensión máxima del sistema clase II	1000 V
Carga máxima de corriente inversa	15 A
carga adicional / carga din.	5,4 / 2,4 kN/m ²
Cantidad de diodos de bypass	2
temperatura de servicio admisible	-40°C a +85°C



- Qualified, IEC 61215
- Safety tested, IEC 61730
- Periodic Inspection
- Blowing sand resistant



SolarWorld AG se reserva el derecho de cambiar las especificaciones. Esta hoja de datos satisface las exigencias de la norma EN 50380. Esta hoja de datos también está disponible en inglés.

01.08.2014 ES | KB 8508 | DRAFT

Anexo 5. Vistas fotográficas















