



**Implementación de un prototipo de deshidratador aplicando 250W de radiación
infrarroja como método de deshidratación de 250g de naranja, para la Empresa Grupo
Gorrion**

Moreno Rodríguez, Manuel Alejandro

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecánica

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico

Ing. Gutiérrez Gualotuña, Eduardo Roberto Mgtr.

1 de septiembre del 2023

Copyleaks

Plagiarism report

Deshidratador IR_A Moreno (3).pdf

Scan details

Scan time:
August 25th, 2023 at 20:12 UTC

Total Pages:
42

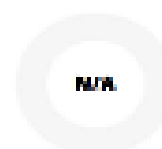
Total Words:
10487

Plagiarism Detection



Types of plagiarism		Words
Identical	1.3%	141
Minor Changes	0.2%	26
Paraphrased	1.6%	162
Omitted Words	0%	0

AI Content Detection



Text coverage

- AI text
- Human text

🔍 Plagiarism Results: (11)

🌐 **INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL - PDF Free Dow...** 1.4%

<https://docplayer.es/63766834-instituto-politecnico-nacional-...>

Iniciar la sesión ...

🌐 **Deshidratación - Utilización del método de deshidra...** 1%

<https://library.co/article/deshidrataci%3f%3n-utilizaci%3...>

...

🌐 **La industria alimentaria y la energía infrarroja - Evil...** 1%

<https://www.evila-projects.com/2021/06/18/la-industria-alime...>

gestor

+34 93 113 13 00 +34 91 196 53 92 info@evila-projects.com Sala Video ...



EDUARDO ROBERTO
CORTESACE CALCOMA



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecánica

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación: "Implementación de un prototipo de deshidratador aplicando 250W de radiación infrarroja como método de deshidratación de 250g de naranja, para la Empresa Grupo Gorrón" fue realizado por el señor Moreno Rodríguez, Manuel Alejandro; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Sangolquí, 01 de septiembre del 2023

Firma:



ING. EDUARDO ROBERTO GUTIÉRREZ GUALOTUÑA
INSTRUMENTO PÚBLICO

Ing. Eduardo Roberto Gutiérrez Gualotuña MSc.

C.C. 1711011385



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecánica

Responsabilidad de Autoría

Yo **Moreno Rodríguez, Manuel Alejandro**, con cédula de ciudadanía n° 1721816088, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Implementación de un prototipo de deshidratador aplicando 250W de radiación infrarroja como método de deshidratación de 250g de naranja, para la Empresa Grupo Gorrión** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 1 de septiembre del 2023

A handwritten signature in black ink, which appears to read 'Manuel Alejandro Moreno Rodríguez', is written over a horizontal dotted line.

Moreno Rodríguez, Manuel Alejandro

C.C. 1721816088



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecánica

Autorización de Publicación

Yo **Moreno Rodríguez, Manuel Alejandro**, con cédula de ciudadanía n° 1721816088, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Implementación de un prototipo de deshidratador aplicando 250W de radiación infrarroja como método de deshidratación de 250g de naranja, para la Empresa Grupo Gorrión** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 1 de septiembre del 2023

A handwritten signature in black ink, which appears to read 'Manuel Alejandro Moreno Rodríguez', is written over a horizontal dotted line.

Moreno Rodríguez, Manuel Alejandro

C.C. 1721816088

Dedicatoria

A la memoria de mi madre, quien con su tierno amor inspiro mis más grandes anhelos y metas, también fue participe de cada etapa de mi vida en mi formación como persona, con su ejemplo de dedicación y esfuerzo me enseñó a dar lo mejor de mí, aunque en mi etapa universitaria no pudo acompañarme la lleve siempre en mi corazón en cada paso que di aunque muchas veces quise renunciar su recuerdo me motivo para esforzarme y no darme por vencido hasta llegar a la culminación de esta etapa de mi vida, gracias mamita por todo lo que me brindaste hasta lo último y te dedico este trabajo a ti porque siempre fue uno de tus más grandes sueños que yo termine mi profesión.

A la memoria de mi padre, quien con su amor me brindo protección y me apoyo en todo lo que estuvo a su alcance, estuviste ahí en los momentos más difíciles que me toco pasar sé que a tu manera me quisiste y siempre deseaste lo mejor para mí y uno de tus más grandes anhelos fue verme terminar mi carrera universitaria y este trabajo lo dedico a ti también porque me brindaste todas las herramientas para continuar estudiando y poder terminar mi carrera.

Agradecimientos

Mi eterno agradecimiento a Dios por brindarme las oportunidades para poder estudiar a pesar de todas las dificultades que he atravesado me ha provisto los medios, instrumentos y las personas para poder continuar avanzando en cada etapa de mi vida.

Agradezco a mis padres que con su ejemplo, amor y apoyo en cada etapa de mi vida me brindaron todas las herramientas para poder estudiar y prepararme para la vida.

Agradezco a mis hermanos que me apoyaron incondicionalmente y me alentaron para terminar mis estudios, a pesar de todas las dificultades que tuvimos que pasar siempre tuvieron la buena predisposición de apoyarme.

Agradezco a mis amigos que me acompañaron en este proceso y me brindaron su afecto y apoyo.

Mi agradecimiento muy especial a mi hermano Jorge quien ha sido mi mayor ejemplo como persona, como profesional, como hermano y como amigo. Gracias por ser incondicional conmigo y acogerme en tu hogar cuando más lo necesite y ser como un padre para mí.

Índice de contenido

Resumen	16
Abstract	17
Capítulo I:	18
Generalidades	18
Antecedentes	18
Definición del problema	20
Objetivos	21
Objetivo General	21
Objetivos Específicos	21
Alcance del proyecto	21
Justificación	23
Capítulo II:	24
Marco teórico	24
Descripción botánica de la naranja	24
Propiedades de la naranja	26
Producción de naranja en Ecuador	27
Producción de fruta deshidratada en Ecuador	27
Deshidratación de alimentos	28
Generalidades sobre la deshidratación	28
Ventajas de la deshidratación de alimentos	29
Métodos utilizados para la deshidratación de alimentos	30
Principios básicos de la deshidratación	32
Deshidratadores de alimentos	34
Características de desempeño de un deshidratador de alimentos	34
Ventajas de usar un deshidratador de alimentos	36

Radiación infrarroja	36
Radiación infrarroja aplicada en alimentos	39
Capitulo III	41
Diseño del deshidratador infrarrojo	41
Diseño térmico.....	41
Análisis del proceso de secado de las rodajas de naranja.....	42
Método de determinación de la capacidad calorífica de la naranja	45
Determinación del coeficiente de convección del horno.....	45
Calor perdido por las paredes	48
Cálculo del calor útil.....	49
Calor perdido por cambios de aire	49
Calor perdido por el ventilador	50
Potencia térmica ganada por la bandeja.....	51
Potencia térmica del producto.....	52
Parámetros de operación de temperatura y humedad	53
Cálculos de diseño	54
Balance energético del lecho (fruto).....	67
Diseño del proceso de radiación térmica	69
Diseño mecánico.....	72
Elección de la estructura del deshidratador	72
Material de la estructura del deshidratador.....	74
Características y ensamble de los elementos principales del prototipo.....	75
Diseño del sistema de control.....	81
Modelado del funcionamiento del deshidratador	82
Piezas y accesorios electrónicos	89
Programación de la tarjeta Arduino Mega.....	97

	10
Programación de los sensores.....	97
Programación de la celda de carga.....	99
Capitulo IV.....	103
Implementación: pruebas y análisis de resultados	103
Preparación de la muestra	103
Preparación del prototipo para realizar las pruebas.....	104
Cálculo del número de pruebas a realizar	105
Pruebas de deshidratación de rodajas de naranja	106
Recomendaciones para la toma y registro de datos	106
Recopilación de datos aplicando 40°C, 50°C y 60°C	106
Recopilación de datos aplicando 40°C, 50°C y 60°C en una misma prueba.....	113
Análisis de resultados	113
Deshidratación de 250g de naranja a 60°C (T3)	113
Deshidratación de 250g de naranja a 50°C (T2)	115
Deshidratación de 250g de naranja a 40°C (T1)	116
Deshidratación de 250g de naranja regulando 60°C, 50°C y 40°C, en una misma prueba.....	117
Costos de diseño y construcción del prototipo	119
Costos directos	120
Costos indirectos	121
Mano de obra.....	121
Materia prima	122
Costo total.....	122
Capítulo V.....	123
Conclusiones y Recomendaciones	123
Conclusiones	123

Recomendaciones.....	124
Bibliografía	126
Apéndices.....	131

Índice de tablas

Tabla 1 Principales componentes para la construcción del prototipo de deshidratador	22
Tabla 2 <i>Propiedades nutritivas de la naranja: composición por 100g de porción comestible</i>	26
Tabla 3 <i>Valores experimentales de las temperaturas</i>	54
Tabla 4 <i>Características del acero quirúrgico tipo 430</i>	77
Tabla 5 <i>Pruebas de deshidratación de 250g de naranja a 60°C con respecto al peso</i>	107
Tabla 6 <i>Pruebas de deshidratación de 250g de naranja a 60°C con respecto a la humedad relativa</i>	108
Tabla 7 <i>Pruebas de deshidratación de 250g de naranja a 50°C con respecto al peso</i>	109
Tabla 8 <i>Pruebas de deshidratación de 250g de naranja a 50°C con respecto a la humedad relativa</i>	110
Tabla 9 <i>Pruebas de deshidratación de 250g de naranja a 40°C con respecto al peso</i>	111
Tabla 10 <i>Pruebas de deshidratación de 250g de naranja a 40°C con respecto a la humedad</i>	112
Tabla 11 <i>Aplicación de 60°C, 50°C y 40° en una misma prueba</i>	113
Tabla 12 <i>Resultados aplicando 40°C, 50°C y 60°C por separado</i>	117
Tabla 13 <i>Costos directos</i>	120
Tabla 14 <i>Costos indirectos</i>	121
Tabla 15 <i>Mano de obra</i>	121
Tabla 16 <i>Materia prima</i>	122
Tabla 17 <i>Costo total</i>	122

Índice de figuras

Figura 1 <i>Árbol o arbusto de naranjas</i>	24
Figura 2 <i>Partes de una naranja</i>	25
Figura 3 <i>Espectro electromagnético</i>	37
Figura 4 <i>Diámetro equivalente del sistema</i>	41
Figura 5 <i>Balance energético de lecho</i>	67
Figura 6 <i>Balance energético para la cámara de secado</i>	68
Figura 7 <i>Elección de la estructura del deshidratador: chasis de microondas</i>	73
Figura 8 <i>Cabina del deshidratador: chasis de microondas</i>	73
Figura 9 <i>Rejillas de ventilación del chasis de microondas</i>	74
Figura 10 <i>Puerta con ventana del chasis de microondas</i>	74
Figura 11 <i>Ventana del chasis de microondas</i>	75
Figura 12 <i>Bandeja de acero quirúrgico de 28cm x 23cm</i>	78
Figura 13 <i>Colocación del foco infrarrojo en la estructura</i>	79
Figura 14 <i>Colocación de la celda de carga Mack 711</i>	79
Figura 15 <i>Colocación del sensor de temperatura y de humedad</i>	80
Figura 16 <i>Ensamble de los elementos en la parte superior del chasis</i>	81
Figura 17 <i>Lectura de los parámetros de deshidratación en la pantalla LCD del equipo</i>	82
Figura 18 <i>Lectura de los parámetros de deshidratación a través de Arduino</i>	82
Figura 19 <i>Tarjeta Arduino Mega</i>	89
Figura 20 <i>Protoboard de media regleta</i>	90
Figura 21 <i>Módulo Dimmer AC con detector de cruce por cero</i>	90
Figura 22 <i>Reloj en tiempo real RTC</i>	91
Figura 23 <i>Celda de carga Mack 711</i>	91
Figura 24 <i>Potenciómetro</i>	92
Figura 25 <i>Buzzer</i>	92

Figura 26 <i>Pulsador</i>	93
Figura 27 <i>Resistencia 330 ohms</i>	93
Figura 28 <i>Pantalla LCD</i>	93
Figura 29 <i>Cables de conexión</i>	94
Figura 30 <i>Cable con enchufe para 110VAC</i>	94
Figura 31 <i>Boquilla de cerámica</i>	95
Figura 32 <i>Sensor de temperatura LM35</i>	95
Figura 33 <i>Sensor de humedad DHT11</i>	96
Figura 34 <i>Ventilador extractor 110 VAC</i>	96
Figura 35 <i>Programación del sensor de temperatura</i>	98
Figura 36 <i>Programación del sensor de humedad</i>	99
Figura 37 <i>Programación de la celda de carga</i>	100
Figura 38 <i>Calibración de la celda de carga</i>	102
Figura 39 <i>Naranja Valencia</i>	103
Figura 40 <i>Naranjas peladas y cortadas en rodajas de 5mm</i>	103
Figura 41 <i>Preparación del prototipo para hacer pruebas</i>	104
Figura 42 <i>Colocación de 250g de naranja en la bandeja</i>	104
Figura 43 <i>Encendido del foco infrarrojo e inicio del proceso de deshidratación</i>	105
Figura 44 <i>Pruebas de deshidratación de 250g de naranja a 60°C con respecto al peso</i>	107
Figura 45 <i>Pruebas de deshidratación de 250g de naranja a 60°C con respecto a la humedad relativa</i>	108
Figura 46 <i>Pruebas de deshidratación de 250g de naranja a 50°C con respecto al peso</i>	109
Figura 47 <i>Pruebas de deshidratación de 250g de naranja a 50°C con respecto a la humedad relativa</i>	110
Figura 48 <i>Pruebas de deshidratación de 250g de naranja a 40°C con respecto al peso</i>	111

Figura 49 <i>Pruebas de deshidratación de 250g de naranja a 40°C con respecto a la humedad</i>	112
Figura 50 <i>Pruebas de deshidratación de 250g de naranja a 60°C.....</i>	114
Figura 51 <i>Pruebas de deshidratación de 250g de naranja a 50°C.....</i>	115
Figura 52 <i>Pruebas de deshidratación de 250g de naranja a 40°C.....</i>	116
Figura 53 <i>Deshidratación de 250g de naranja regulando 60°C, 50°C y 40°C</i>	119

Resumen

La deshidratación de alimentos se utiliza principalmente como método de conservación debido a que por la pérdida de agua estos pueden almacenarse por largos periodos de tiempo. El método convencional utiliza energía calórica que es absorbida por el alimento desde la superficie del alimento. La radiación infrarroja, por el contrario, provoca vibración molecular desde el interior del alimento a través de las ondas electromagnéticas permitiendo que se invierta menos tiempo en el proceso de deshidratación y por ende menos consumo de energía. Debido a estas y otras ventajas, y por requerimiento de la empresa Grupo Gorrión, el objetivo del presente proyecto fue implementar un prototipo de deshidratador que utilice radiación infrarroja aplicada a 250g de naranja. Lo cual ha sido posible después de haber cumplido con un proceso de diseño y construcción que se basa en los principios de la termodinámica y transferencia de calor. Los factores de diseño que se han tomado en cuenta son, la temperatura (T) a manejar que en este caso son tres: T1 40°C, T2 50°C y T3 60°C, el tiempo (h/min) necesario para cumplir con el proceso de deshidratación, y la pérdida de peso (g) y humedad (H). Las pruebas con el prototipo para deshidratar rodajas de naranja de 5mm de espesor dieron como resultado: a 40°C tiempo aproximado de exposición 10 horas, a 50°C 5 horas 15 minutos, y a 60°C 3 horas 30 minutos. Observando el proceso de deshidratación y las características finales del producto se pudo determinar que a 50°C es la temperatura idónea para que el producto final conserve sus características organolépticas. Con respecto al valor del consumo energético es de 25 centavos de dólar por cada 6 horas de uso, lo que significa que es un modelo que cumple satisfactoriamente con las características solicitadas en cuanto a costo de diseño e implementación.

Palabras clave: deshidratación de alimentos, radiación infrarroja, termodinámica, transferencia de masa y energía.

Abstract

Food dehydration is mainly used as a preservation method because due to the loss of water, these can be stored for long periods of time. The conventional method uses heat energy that is absorbed by the food from the surface of the food. Infrared radiation, on the contrary, causes molecular vibration from inside the food through electromagnetic waves, allowing less time to be invested in the dehydration process and therefore less energy consumption. Due to these and other advantages, and at the request of the Grupo Gorrión company, the objective of this project was to implement a prototype dehydrator that uses infrared radiation applied to 250g of orange. Which has been possible after having complied with a design and construction process that is based on the principles of thermodynamics and heat transfer. The design factors that have been taken into account are the temperature (T) to be handled, which in this case are three: T1 40°C, T2 50°C and T3 60°C, the time (h/min) necessary for comply with the dehydration process, and the loss of weight (g) and humidity (H). The tests with the prototype to dehydrate 5mm thick orange slices resulted in: at 40°C approximate exposure time 10 hours, at 50°C 5 hours 15 minutes, and at 60°C 3 hours 30 minutes. Observing the dehydration process and the final characteristics of the product, it was possible to determine that 50°C is the ideal temperature for the final product to preserve its organoleptic characteristics. Regarding the value of energy consumption, it is 25 cents for every 6 hours of use, which means that it is a model that satisfactorily meets the requested characteristics in terms of design and implementation cost.

Keywords: food dehydration, infrared radiation, thermodynamics, mass and energy transfer.

Capítulo I:

Generalidades

Antecedentes

La deshidratación o el desecado es una de las técnicas más utilizadas para la conservación de alimentos a través de la historia. Antiguamente, se secaban al sol alimentos como frutas, granos, vegetales, carnes y pescado, para tener alimentos en épocas de escasez. Este método, aunque más lento, era apreciado por su capacidad de preservar el aspecto original del alimento seco. Por mucho tiempo los alimentos se colocaban en tendederos, zarzos de caña o cualquier sistema que permita una buena ventilación. Con este método los alimentos tardan varios días en secarse, por lo que es aconsejable guardarlos por la noche para evitar la humedad. (Michelis, 2018)

En 1881 se registró la primera patente de un secador y en el año 1901 Hausbrand realiza una publicación de lo que sería los fundamentos teóricos de la aplicación de los métodos de ingeniería al cálculo de deshidratadores (Gonzales, 2017). Durante el siglo pasado se desarrollaron técnicas industriales de alta eficiencia, pero que suelen perjudicar la calidad nutricional, dada las temperaturas utilizadas. Según numerosos estudios científicos, la temperatura ideal para deshidratar alimentos es desde 40°C a 65°C aproximadamente, si el calor es mayor, las enzimas de los alimentos, de gran importancia para la digestión, empiezan a desaparecer. Hoy en día existen deshidratadores solares, que aprovechan el principio de ascenso del aire caliente, también están los deshidratadores eléctricos que constan básicamente de resistencias y ventiladores, y que permiten un mayor control sobre la temperatura. (Berger, 2019)

En cuanto a las tecnologías de secadores industriales que se puede mencionar están: secado en bandejas, secadores indirectos al vacío con anaqueles, secadores continuos de túnel, secadores rotatorios, secadores de tambor y secadores por aspersión.

Mientras que para secadores caseros se conoce los siguientes: secadores solares directos que utilizan tendedores, esteras o charolas, secador por exposición a calor dentro de cuartos donde cuelgan los alimentos cerca de estufas, hornos o calefactores, y secador por sometimiento directo a calor sobre estufas

En cuanto a la utilización de energía infrarroja (IR) en el secado de alimentos está la energía radiante del sol como fuente natural y más antigua. Sin embargo, en la actualidad y después de su descubrimiento en el año 1800, la radiación infrarroja artificial es ampliamente utilizada en la industria de secado de láminas de textiles, papel, y pinturas.

Dado que el desarrollo por infrarrojos (IR) tiene ventajas de eficiencia energética, limpieza, conveniencia, respuesta rápida y baja inversión, la tecnología infrarroja se ha utilizado ampliamente en aplicaciones industriales: calentadores domésticos, hornos en proceso de forja, secado de pintura de automóviles y sistemas de soldadura. La industria alimentaria también tiene interés en la tecnología de calentamiento por infrarrojos, y la aplicación de esta al procesamiento de alimentos ha aumentado para los procesos de horneado, escaldado, secado, tostado, inactivación microbiana y descongelación. (EvilaProjects, 2021)

La empresa española IR Confort desarrolla sistemas de generación de calor por infrarrojos lejanos para procesos industriales, y ha logrado obtener equipos que van desde la calefacción orientada para proyectos avícolas, secado de pintura para la industria automotriz, y conservación de alimentos para el sector agrícola. Para el caso de conservación de alimentos se trata de equipos de deshidratado y equipos secaderos, mismos que son demandados en España por el sector agrícola para diferentes procesamientos de alimentos, debido a las grandes cantidades de producción que manejan. “Son equipos que utilizan la energía del infrarrojo para penetrar el producto desde las capas interiores del alimento, hasta las exteriores, lo cual beneficia a la conservación de sus propiedades nutricionales”. (IR Confort, 2022)

La información detallada hasta el momento, permite conocer que a nivel regional y a nivel nacional no existe un referente en cuanto a la aplicación de tecnología infrarroja en

alimentos. Con lo que se puede contar es con diferentes recomendaciones para la elección de deshidratadores industriales, los cuales pueden ser importados desde China, Alemania, México y España. Es decir, en Ecuador se puede mencionar que existe la fabricación de deshidratadores solares, y por otro lado está la posibilidad de importar equipos deshidratadores. Sin embargo, con respecto a la utilización de tecnología infrarroja en Ecuador, se la conoce por su implementación en el área de salud, debido a que se requiere en su mayoría de equipos para rehabilitación física, también se utiliza en tratamientos de Spa, en cámaras termográficas, y en mantenimiento de equipos. Pero hasta el momento en el país, la tecnología infrarroja no es aplicada en el desarrollo y fabricación de equipos para la industria alimentaria y que sirvan como un referente para el país y a nivel internacional.

Definición del problema

Existen varios métodos para la conservación de alimentos, que van desde la aplicación empírica de conocimientos y la experimentación, hasta la utilización de equipos, técnicas y sustancias; todos brindando diferentes propiedades a los alimentos después de ser sometidos a cada proceso. En el caso de la fruta deshidratada, hoy en día el modelo convencional de deshidratador más utilizado es aquel que emplea aire caliente, “el cual permite secar las frutas o alimentos desde el exterior, pero dificulta la expulsión del agua desde el interior, ya que la superficie se endurece; y a su vez genera que el proceso de deshidratación dure más tiempo” (Okamura, s.f.).

De acuerdo a Kuniyasu Okamura, quien en el año 2012 desarrolló un deshidratador por microondas al vacío en Japón, el tiempo y la temperatura deben ser determinados tomando en cuenta el tipo de alimento y el tipo de tecnología que se empleará para que los tejidos celulares no sufran daños. Es importante, además, que el tiempo que se requiere para obtener resultados no sea extenso, ya que eleva los costos de operación. Es decir, tanto la temperatura como el tiempo de deshidratación influyen en la calidad del producto (sabor y textura que se

comparan al del alimento en su forma original), debido a que, si el alimento no expulsa la cantidad de humedad requerida, el producto se daña antes del tiempo que se estima dure su conservación; y si el tiempo de deshidratado es demasiado extenso el equipo no se podría considerar eficiente en cuanto a costos. (Okamura, s.f.)

Objetivos

Objetivo General

Realizar la implementación de un prototipo de deshidratador aplicando 250W de radiación infrarroja como método de deshidratación de 250g de naranja, para la Empresa Grupo Gorrión.

Objetivos Específicos

- Determinar el diseño óptimo del prototipo de deshidratador infrarrojo tomando en cuenta los parámetros de operación y el cálculo de las variables que intervienen.
- Construir el prototipo de deshidratador infrarrojo mediante el ensamble de las piezas y elementos con la finalidad de ponerlo a prueba.
- Realizar las pruebas respectivas que permitan una adecuada implementación del prototipo de acuerdo al requerimiento de la empresa Grupo Gorrión.
- Determinar los costos de diseño y construcción del prototipo.

Alcance del proyecto

El prototipo de deshidratador ha sido solicitado por la Empresa Grupo Gorrión quien, en su interés por incursionar en la producción de fruta deshidratada, desea contar con un equipo que le permita elegir el tipo de fruta y la cantidad a deshidratar de acuerdo a sus requerimientos. En este caso el prototipo propuesto se enfoca en la deshidratación de 250g de naranja utilizando una lámpara infrarroja de 250W de potencia y temperaturas de 40°C, 50°C y

60°C. Se plantea estos parámetros con la finalidad de delimitar y ser lo más específicos en cuanto a las pruebas que se deben realizar, permitiendo así que la información que se proporcione a la empresa a través del análisis de resultados sea de fácil comprensión, y de esta manera puedan hacer uso del prototipo.

La tecnología que se ha elegido utilizar para la deshidratación de la naranja utiliza energía infrarroja, la cual en forma de ondas electromagnéticas es absorbida directamente por el alimento con menos pérdida de energía. Motivo por el cual la deshidratación por radiación infrarroja es capaz de presentar ventajas por sobre el deshidratado convencional de frutas y verduras. (López, 2020)

Los principales componentes a utilizar en la construcción del prototipo son:

Tabla 1

Principales componentes para la construcción del prototipo de deshidratador

Tarjeta Arduino Mega con cable USB	Potenciómetro
Protoboard de media regleta	Buzzer
Módulo Dimmer AC con detector de cruce por cero	Pulsadores
Reloj en tiempo real RTC DS1307	LCD i2c 16*2
Mack 711 con celda de carga de 1kg	Boquilla
Cable con enchufe para 100VAC	Sensor LM35
Bandeja de acero quirúrgico 430 de 0,4mm	Sensor DHT11
Tornillos, tuercas y arandelas	Foco infrarrojo
Chasis de microondas reciclado	Cautin
Resistencia 330ohm	Estaño
Cables de conexión	Base de acrilico A4
Ventilador extractor	Tabla triplex A3

Nota. Tomado de Perfil de proyecto de grado ESPE (p.15-18), por Alejandro Moreno, (2023).

Justificación

La deshidratación es una forma de conservar los alimentos mediante su extracción de agua. Es una técnica que se usa desde hace muchos años y que se aplica a toda clase de alimentos (fruta, verdura, carne, pescado, especias, etc), sería el equivalente a la técnica de dejar secar al sol, que se practicaba cuando no había neveras o congeladores. Se pueden secar al sol los alimentos, pero puede ser peligroso ya que la exposición a diferentes temperaturas y el ambiente donde se los seque, pueden estropear los alimentos. La mejor manera para obtener el resultado deseado de una manera estable, controlando el tiempo y la temperatura es con un deshidratador.

De acuerdo con la información proporcionada por la empresa española IR Confort (2022), única hasta el momento en la implementación de tecnología infrarroja en alimentos, los costos del proceso de deshidratación disminuyen significativamente al hacer uso de esta tecnología. Por lo tanto, se considera importante el desarrollo de este equipo porque, además de disminuir los tiempos de producción, se asegura la calidad del producto.

En Ecuador, tomando como referencia la información que se ha detallado hasta el momento, aún no se cuenta con un referente que se dedique a la fabricación de equipos para la industria alimentaria, y que además cumplan con funciones específicas como es la deshidratación de frutos. Por lo tanto y partiendo de este factor, el requerimiento de la Empresa Grupo Gorrión es el principal justificante de tipo técnico y académico del presente proyecto, ya que es una oportunidad para desarrollar un prototipo de deshidratador enfocado en la naranja, que le permita obtener un producto de calidad y a bajos costos, cumpliendo de esta manera su propósito para el crecimiento de la empresa, además de ser un aporte en pro del desarrollo de la Matriz Productiva del país.

Capítulo II: Marco teórico

Descripción botánica de la naranja

Las naranjas pertenecen a la familia Rutáceas y pertenecen al género Citrus. Las especies de este género crecen aproximadamente 12 metros de alto y 25 centímetros de diámetro, la raíz se hunde verticalmente en la tierra (pivotante) y cuenta con raíces primarias y secundarias, la corteza del tronco es áspero, leñoso, cuyas ramas tienen vellos y espinas. Sus hojas son simples, alternas, en forma ovalada. Sus flores blancas y los brotes se forman en las axilas de las hojas. Dependiendo de la especie produce de los 3 a 5 años tomando en cuenta si es semilla poliembrionica o injerto. (*Conocimientosweb.net, s.f.*)

Figura 1

Árbol o arbusto de naranjas



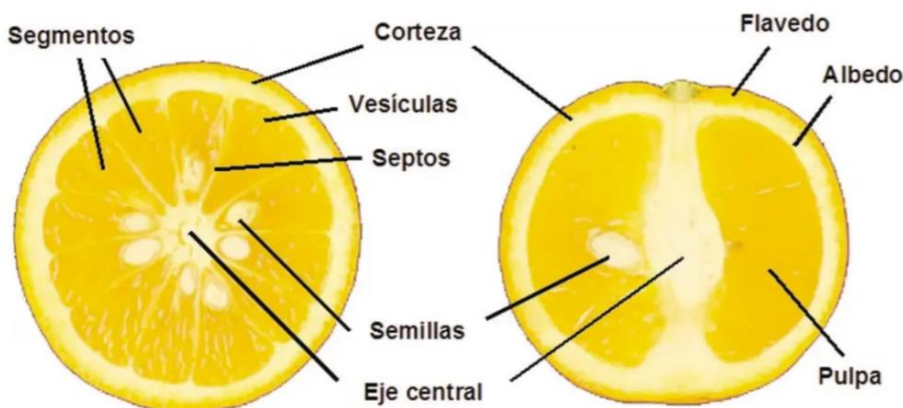
Nota. Tomado de Naranja (p.1), por Monografías México, (s.f.).

Al ser una especie subtropical no tolera las heladas (3-5°C) ya que la planta muere, lo que quiere decir que necesita una atmósfera y un suelo húmedo con suficiente precipitación (aproximadamente 1200mm). Necesitan luz para los procesos de floración y fructificación y es muy sensible al viento sufriendo pérdida de frutos debido a la vibración. La salinidad también le

afecta perjudicando el crecimiento por lo que hay que cuidar de la composición hídrica del suelo. (AGRI nova Science, s.f.)

Figura 2

Partes de una naranja



Nota. La fotografía representa una naranja con corte horizontal y vertical con la finalidad de conocer sus partes. Tomado de *Anatomía de una naranja*, por Naranjas DonGustó (2020).

- Parte exterior: exocarpo o flavedo

Es la corteza que está a la vista y cambia de color de verde a naranja cuando el fruto ya está maduro. Esta parte está compuesta por pequeñas vesículas que contienen aceites esenciales con los que se realizan perfumes y aromatizantes. (Técnico agrícola, 2020)

- Parte blanca: mesocarpo o albedo

Forma parte de la protección y está unida a la cáscara o flavedo. Es la parte blanca y esponjosa, misma que contiene pectinas y glucósidos, y se utiliza principalmente para la elaboración de mermeladas. (Técnico agrícola, 2020)

- Parte interior: endocarpo o pulpa

En esta parte se encuentran los ácidos orgánicos como la vitamina C, azúcares y agua. Es lo que se conoce como la pulpa, está separada en segmentos por membranas llamadas septos y contiene además semillas. (Técnico agrícola, 2020)

Propiedades de la naranja

La Sociedad Española de Nutrición Comunitaria (2019) menciona que algunos de los beneficios más relevantes de la naranja son:

- Posee cerca del 93% de vitamina C que el cuerpo humano requiere al día.
- Una naranja mediana puede aportar 60 calorías.
- Ayuda a combatir la obesidad, nivelar el colesterol y la presión arterial.

A continuación, se presenta un resumen de la composición nutricional de la naranja:

Tabla 2

Propiedades nutritivas de la naranja: composición por 100g de porción comestible

Propiedad	Cantidad
Calorías	42
Hidratos de carbono (g)	8,6
Fibra (g)	2
Agua (g)	86
Densidad (kg/m ³)	1030
Potasio (mg)	200
Magnesio (mg)	12
Calcio (mg)	36
Vitamina C (mg)	50
Ácido fólico (mcg)	37
Vitamina A: Eq. Retino (µg)	40

Nota. Tomado de *Naranja: Orange Citrus sinensis* (p.2), por Sociedad Española de Nutrición comunitaria (2019).

Por estos y otros beneficios es saludable incluirla en la dieta diaria. Para la conservar la fruta en su estado natural después de ser cosechada, se recomienda mantenerla lejos de la radiación directa del sol y si es posible en el área de refrigeración menos fría. (Sociedad española de nutrición comunitaria, 2019)

Producción de naranja en Ecuador

Las condiciones óptimas del suelo le permiten a Ecuador contar con aproximadamente 50000 hectáreas que se utilizan para cultivar naranja en el país. Las provincias con mayor producción son Manabí y Los Ríos, mientras que en la Sierra el producto se da preferentemente en Bolívar. Según el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) los agricultores producen de 50000 a 70000 unidades por hectárea. Cultivar una hectárea cuesta aproximadamente 600 dólares, todo depende de la fertilización y el cuidado, y el productor puede tener ingresos de hasta 900 dólares una vez cubiertos los gastos. El mayor problema que puede presentarse con la producción de esta fruta tan apetecida es el uso de suelo sin descanso y que los árboles ya tienen 40 años en rendimiento, lo que puede afectar tanto a la calidad de la naranja, como a la cantidad de producción y por ende a la economía ya que al menos 800 familias por cantón que se dedica a esta actividad, dependen de esta producción (El Comercio, 2022).

Producción de fruta deshidratada en Ecuador

En el año 2020, Ecuador se ubicó en el lugar número once con respecto al volumen de exportación de frutas deshidratadas en cuanto a América Latina y El Caribe. Para cumplir con la demanda, en especial internacional, de este segmento de alimentos deshidratados, en Ecuador se creó un consorcio de exportación de frutas y alimentos deshidratados (Ecuadehyd) cuyo objetivo es extender el mercado y afianzar el volumen de exportación. En la actualidad se registran 15 productores entre pequeños y medianos a escala nacional que se dedican a la producción de fruta deshidratada y en su mayoría exportan el producto, lo que indica que a nivel nacional el producto no es demandado como lo por ejemplo en Estados Unidos, Canadá y la mayoría de países de Europa. La empresa Agroapoyo en Ecuador indica que existe poca capacidad de producción de frutas deshidratadas en el país, sumado el reto de la tecnificación según manifiesta Cevera Fruits, factores que de ser atendidos se podría atender

la creciente tendencia de frutas deshidratadas, debido a que en la actualidad ya es reconocido el valor nutricional de este tipo de alimento y más aun tomando en cuenta que, Ecuador debido a sus pisos climáticos permite contar con producción orgánica de alimentos, lo que aporta valor nutritivo y permite conservar su sabor. (Líderes, 2019)

Deshidratación de alimentos

Se trata de un proceso de conservación, en el cual un alimento se expone a cierto tipo de energía calórica que le hace perder agua en su totalidad o parcialmente, dependiendo del uso que se le vaya a dar al alimento. La característica principal del alimento deshidratado es que es capaz de conservar los nutrientes y las propiedades organolépticas para el disfrute del consumidor. Consiste básicamente en la eliminación de humedad mediante la aplicación de calor artificial en condiciones controladas de temperatura, humedad y flujo de aire. (Muñoz, 2018)

Generalidades sobre la deshidratación

Existen alimentos altamente perecederos como son las frutas, mismas que contienen agua aproximadamente en un 90%, factor por el que la deshidratación fue un descubrimiento importante para la conservación de alimentos. Lo que hace la tecnología de deshidratación es reducir el contenido de humedad con la finalidad de disminuir la actividad enzimática y la capacidad de los microorganismos para desarrollarse sobre el alimento.

Cuando un sólido húmedo es sometido a un proceso de secado o deshidratado se da lugar a los siguientes subprocesos: (Krokida, 2012)

- Transferencia de la humedad interna del sólido hacia la superficie y su respectiva evaporación. El movimiento de la humedad, la temperatura que puede variar debido al ambiente al que está expuesto el alimento, y su contenido de humedad son funciones de la naturaleza de este tipo de sólidos.

- Transferencia de energía en forma de calor que proviene del ambiente en el que se encuentra el alimento y hace que la humedad se evapore. Este subproceso depende de la temperatura, humedad, flujo de aire, presión, área de exposición, y el tipo de equipo (secador o deshidratador) que se ocupe.

La eficiencia del transporte de humedad desde el alimento está determinada por la resistencia interna del tejido al movimiento del agua y una resistencia externa, que se presenta entre la superficie sólida y el fluido deshidratante, el cual en la mayoría de los casos es aire. Las principales variables que modulan la velocidad del movimiento del agua en el alimento son el tiempo y la temperatura. Conforme se incrementa la temperatura, la deshidratación se acelera, pero los atributos cualitativos iniciales del alimento cambian drásticamente. (Ochoa, 2008)

En general, la disminución de la temperatura de deshidratación alargará el tiempo de este proceso, pero el producto obtenido tendrá mejores atributos nutricionales, color, aroma, sabor y textura. Las temperaturas de secado inferiores a 65 °C permiten preservar el color y sabor de la mayoría de alimentos, y para las frutas se recomienda un rango entre 40°C y 60°C. A estas temperaturas se preservan mejor los compuestos. Además de la temperatura y el tiempo de deshidratado, el incremento en la superficie de contacto del alimento con el fluido deshidratante también incrementa la velocidad de movimiento del agua desde el alimento hacia el exterior del mismo. Esto se logra rebanando y perforando el alimento dependiendo de su tipo. (Rajkumar, 2007)

Ventajas de la deshidratación de alimentos

La deshidratación de alimentos es conocida principalmente porque permite conservar los alimentos. Esta es una técnica que se ha utilizado desde tiempos antiguos precisamente porque evita que los alimentos se dañen o desperdicien. Entre las ventajas que más sobresalen están las siguientes: (Porru, 2020)

- Se ha comprobado que las propiedades nutritivas del alimento no se pierden. Esto depende actualmente del método que se utilice para deshidratar y la temperatura a la que se somete el producto.
- El sabor se intensifica debido a que se concentra durante el proceso de deshidratación y podría ser considerado un tipo de snack saludable.
- Se requiere menor espacio para almacenar los alimentos deshidratados. Es decir, se puede almacenar mayor cantidad de alimentos en un mismo espacio.
- Facilita la pulverización para obtener nuevas y distintas preparaciones de alimentos.
- En ciertos casos se puede volver a su estado original hidratando de nuevo el producto.
- La manipulación es sencilla debido a que no existe la preocupación de que manche, resbale o se deshaga.
- Con respecto a su transportación, el peso es reducido, y evita la preocupación porque lleguen lo más pronto a destino ya que no hay riesgo de que el alimento se dañe.
- El tiempo de conservación es prolongado lo que evita el desperdicio, y permite encontrar este tipo de alimento en cualquier temporada del año. La conservación es más larga cuanto menos cantidad de agua se retenga.
- Cuando se realiza la deshidratación en el momento de madurez, de las frutas en especial, se consigue mejor calidad.

Métodos utilizados para la deshidratación de alimentos

Eduardo Dueñas (2016) en su investigación para control y automatización en procesamiento de alimentos, y Cesar Murillo (2007) en su investigación para el diseño de un deshidratador por convección para frutas y vegetales, manifiestan que los métodos de secado que utiliza la industria alimentaria pueden agruparse de la siguiente manera:

- Secado por aire o por contacto a la presión atmosférica

Se aporta aire caliente al alimento (convección) o mediante una superficie caliente (conducción). En cualquiera de los dos casos, el vapor de agua que se forma se mezcla con el aire el cual permite la expulsión del vapor (Dueñas, 2016). La capacidad para eliminar agua de un alimento depende de su temperatura y del agua que contiene, y se expresa como humedad absoluta (HA en kg) y humedad relativa (HR en %). Estos dos indicadores son el resultado de la relación entre la presión parcial de vapor de agua en el aire y la presión de vapor de saturación a la misma temperatura multiplicado por cien (Cesar Murillo, 2007).

- Crio-desección

Consiste en la transformación directa del hielo de un alimento congelado en vapor de agua. Este proceso permite conservar de mejor manera la estructura del alimento (Dueñas, 2016), y se consigue manteniendo la temperatura y la presión por debajo de las condiciones del punto triple (punto en el pueden coexistir los tres estados físicos, siendo el del agua $0,0098^{\circ}\text{C}$) (Cesar Murillo, 2007).

- Deshidrocongelación

Consiste en evaporar una parte del agua del alimento para luego congelarlo. (Dueñas, 2016)

- Secadores por radiación

El secado por radiación se lleva a cabo mediante radiación electromagnética cuya longitud de onda se entra dentro del espectro solar y microondas. Dentro de este tipo de secadores el más común es el secador solar que utiliza los rayos solares para lograr la evaporación de la humedad del alimento (UDLAP, s.f.). También se han desarrollado secadores por microondas y por infrarrojo, mismos que se pueden categorizar dentro de los más eficientes dependiendo del producto que se desee deshidratar.

- Secado bajo vacío o liofilización

Reducir la presión a la que se somete el alimento facilita la evaporación del agua. La transferencia de calor se realiza por conducción o por radiación (Dueñas, 2016). Es una técnica costosa que se prefiere solo para ciertos alimentos como la leche, la sopa, los huevos, la levadura, los zumos de frutas o el café. Consta de tres fases: congelación, desecación primaria y desecación secundaria (Cesar Murillo, 2007).

Principios básicos de la deshidratación

La deshidratación de alimentos consta de dos etapas:

- La emisión de calor al producto
- La extracción de humedad del producto

Es decir, es la combinación de las operaciones de transferencia de calor y transferencia de masa, y es la velocidad a la que ocurren ambas, sin estropear el alimento, lo que determina la eficiencia del proceso de deshidratación. Se toman en cuenta además los principios básicos de deshidratación para comprender y llevar a cabo este tipo de procesos en los alimentos.

Psicometría

A través de esta rama de la termodinámica se analiza y determina las propiedades de la mezcla aire – vapor. Dentro de las propiedades del aire se tiene el aire seco, el vapor de agua, y de esta mezcla, el aire húmedo. (Renedo, 2016)

Curvas de secado

Un proceso de secado es descrito por diagramas contruidos con las siguientes coordenadas: (Andrago, 2018)

- Contenido de humedad del material contra tiempo de secado (curva de secado)

- Velocidad de secado contra contenido de humedad del material (curva de velocidad de secado)
- Temperatura del material contra contenido de humedad (curva de temperatura)

Estas curvas son obtenidas bajo condiciones de laboratorio donde se mide el cambio de masa y temperatura con el tiempo a base de muestreo.

Periodo de velocidad constante

En este punto la velocidad de remoción de humedad del producto es limitada por la velocidad de evaporación del agua superficial sobre o dentro del producto. Esta sucede mientras la expulsión de la humedad sea más rápida que la evaporación que se lleva a cabo en la misma superficie. (Brennan, 2007)

Periodo de velocidad decreciente

Consiste cuando la velocidad de movimiento de la humedad desde el interior del producto hasta la superficie se reduce y la superficie empieza a secarse. A partir de este punto la temperatura de la superficie comienza a elevarse. (Brennan, 2007)

Área superficial de alimento en el deshidratador

Mientras más fina es la capa que se expone más se reduce la distancia que el calor tiene que recorrer a fin de llegar a la superficie y facilitar la transferencia de masa. Este factor indica que las capas de materia deben ser de hasta 5mm de espesor debido a que de esta manera se acelera la velocidad de secado. (Brennan, 2007)

Tiempo y temperatura

La variable tiempo se analiza debido a que cada alimento tiene su tiempo de deshidratación. El tiempo se registra también para determinar las características del producto

mientras avanza el proceso de deshidratación. A la par, la temperatura se mide para controlar que el producto no se estropee, debido a que, se considera que, si la temperatura es mayor a los 60°C para las frutas, estas podrían dañarse y perder la mayoría de sus propiedades.

(Cabascango, 2018)

Deshidratadores de alimentos

Los deshidratadores son aparatos, generalmente con forma de horno, que son diseñados y construidos con la finalidad de imitar la actividad de secar alimentos bajo el sol. Se han diseñado varios modelos utilizando lo que la tecnología en su constante innovación permite realizar. El modelo básico de deshidratador provoca que el interior del horno se caliente para evaporar el agua de los alimentos que se distribuyen en bandejas y con la ayuda de un ventilador se consigue la circulación de aire caliente. Además, debe contar con termostato, y en modelos más avanzados utiliza temporizador.

Con estos equipos se puede deshidratar una variedad de alimentos entre los que están las frutas, verduras, hierbas, entre otros. La energía que utilizan puede ser solar, eléctrica o combinada. El tamaño depende del requerimiento de quien guste producir alimentos deshidratados, pueden ser de tamaño industrial con más de 20 bandejas, pueden ser de hasta 10 bandejas adecuado para el pequeño y mediano empresario que maneja cantidades más pequeñas de producción, o pueden tener de una a tres bandejas debido a que es destinado al uso en el hogar.

Características de desempeño de un deshidratador de alimentos

Las características de desempeño son los aspectos principales que se debe tener en cuenta al momento de elegir el tipo de deshidratador. Cesar Murillo (2007) en su investigación menciona los siguientes puntos:

- Velocidad de secado: es la variable más relevante debido a que de esta depende el tiempo de deshidratación, y lo que se espera es que el proceso se realice en el menor tiempo posible. Por lo que se recomienda analizar el método a implementar para que el agua deje el interior y la superficie del alimento de manera eficiente.
- Capacidad: está determinada primero por el requerimiento de quien desea utilizar el deshidratador, es decir, depende de la cantidad que se desee procesar. De esta manera se puede determinar también el tiempo de secado y la continuidad del mismo.
- Temperatura de trabajo: se debe tomar en cuenta el rango de temperatura sugerida para cada tipo de alimento. Durante el proceso de deshidratación se debe verificar las condiciones de humedad para manejar una temperatura de trabajo.
- Tamaño: esta característica está determinada por la capacidad, es decir por la cantidad de producto que se desee deshidratar. Puede ser industrial, de mediana capacidad o para uso doméstico.
- Producto: esta es una de las variables principales, así como la velocidad y la temperatura, que se toma en cuenta para el diseño del deshidratador. Existen equipos que son fabricados para cualquier tipo de alimento, pero no siempre se consigue los resultados deseados, por lo que se recomienda elegir entre deshidratador para frutas o para legumbres y vegetales.
- Energía: cuando se trata de deshidratadores que funcionan con energía eléctrica lo que se mide es el consumo. Si un equipo realiza el proceso de deshidratación en 6 horas y existe otro que lleva a cabo el mismo proceso en 4 horas, manteniendo las características adecuadas del alimento, el más eficiente será el que haya completado el proceso en 4 horas.

Ventajas de usar un deshidratador de alimentos

El método tradicional para deshidratar alimentos consiste en exponerlos al sol, y pese a que se obtienen resultados, se debe tomar en cuenta que existe la variabilidad del clima, lo cual impide que el alimento se someta a un proceso de deshidratación controlado, en el que no cambie la temperatura, la humedad y la ventilación, y que además impida su exposición a otros factores que están en el ambiente natural. Es básicamente por esto que utilizar un equipo deshidratador tiene ciertas ventajas: (Villén, 2020)

- Se puede elegir el tiempo y la temperatura para deshidratar, lo que significa las condiciones se mantienen estables.
- Regulando la temperatura entre los 40°C y 65°C, las enzimas y vitaminas de los alimentos se mantienen intactas. Al igual que las proteínas, hidratos de carbono, grasas y minerales. Únicamente pierde agua.
- Se puede obtener diferentes texturas: láminas crujientes, chips, crackers, y hasta texturas blandas.
- Al utilizar potencias bajas el consumo eléctrico también es bajo.
- En caso de que haya alimentos que por la cantidad disponible se pueden echar a perder, se puede utilizar el deshidratador para evitar su descomposición. Es decir, genera una oportunidad de ahorrar por evitar desperdicios innecesarios.
- Si se cuenta con un deshidratador propio se puede garantizar que el alimento esté libre de compuestos que en ocasiones las empresas que producen alimentos deshidratado utilizan para mejorar la presentación del producto.

Radiación infrarroja

Conocida como rayos infrarrojos, es una forma de radiación que forma parte del espectro electromagnético, cuya longitud de onda está comprendida entre los 0,7 y los 1000

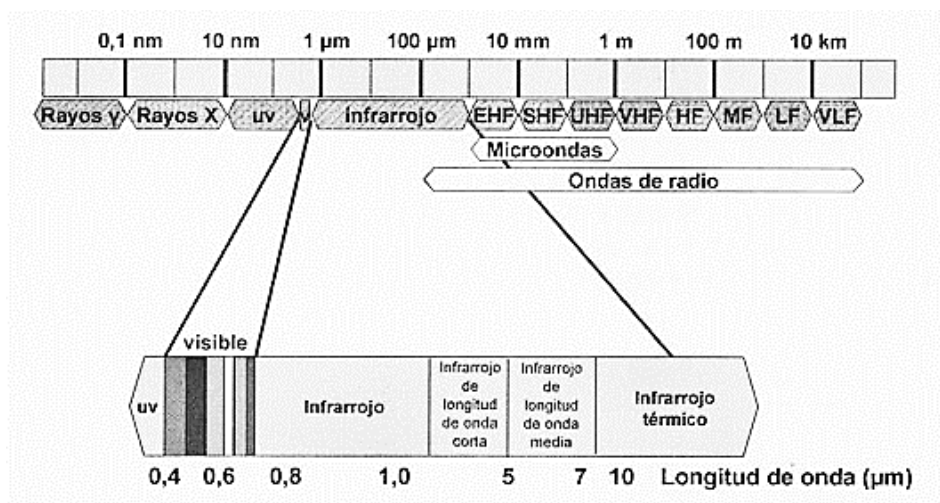
micrómetros. Se la percibe como calor, por ejemplo, cuando una persona se somete a la radiación del sol está recibiendo radiación infrarroja, además de que los seres vivos, en especial los mamíferos, emiten su propia cantidad de radiación infrarroja, debido al calor corporal.

En la Figura 3, se muestra el espectro electromagnético y las longitudes de onda de los distintos tipos de radiación. La radiación infrarroja (IR) se produce debido a que los electrones, átomos y moléculas que constituyen los objetos vibran, y se propaga con la velocidad de la luz, provocando que se caliente lo que se encuentra a su paso. Se debe tomar en cuenta que dependiendo de su ubicación dentro del rango de longitud de onda los rayos infrarrojos pueden ser de tres tipos: (Etecé, s.f.)

- Infrarrojo cercano: de 0,78 a 2,5 micrómetros (es el rango más cercano al espectro visible)
- Infrarrojo medio: de 2,5 a 50 micrómetros
- Infrarrojo lejano: de 50 a 1000 micrómetros

Figura 3

Espectro electromagnético



Nota. A la izquierda, a partir del UV no se emplea para calentamiento. Tomado de *Alimentación*, por Pascual Bolufer (2013).

La radiación electromagnética puede interactuar con la materia de tres formas: transmisión, absorción, o reflexión. La forma de interacción depende del tipo de materia con la que entra en contacto y la frecuencia de radiación. (Bolufer, 2013)

La irradiación sobre un material puede ser prolongada o momentánea, teniendo en cuenta aspectos como la distancia de los emisores al material, la velocidad de paso del material en el caso de las cadenas de producción, y la temperatura que se desee conseguir. La elección de la longitud de onda es básicamente por el espesor del material que se va a irradiar. Si se trata de un material de pocos milímetros, lo más aconsejable es utilizar emisores de infrarrojo de onda corta, mismos que no tienen inercia térmica, es decir, al momento que se conectan a la corriente eléctrica ya están en condiciones óptimas para usarse. Mientras que los de onda media o en especial onda larga se utilizan para materiales con más espesor que solo unos milímetros y tienen inercia térmica lo que hace que tarden hasta 4 minutos para poder ser usados. (Química.es, s.f.)

Otros aspectos a tomar en cuenta son los siguientes:

- “La temperatura de un objeto determina la longitud de onda de dicho objeto, por lo tanto, actuando sobre la temperatura se modifica la longitud de onda: hay que considerar que, si se aumenta la temperatura, se acorta la longitud de onda” (Infragas, s.f.).
- “La emisión de ondas cortas tiene una elevada penetración a través de los cuerpos y por lo tanto tiene la tendencia a atravesar la materia calentando de preferencia la parte interna de los cuerpos y no la superficie” (Infragas, s.f.).
- Todos los cuerpos emiten y absorben radiación de su entorno. Si el cuerpo está más caliente que su entorno, se enfriará, ya que la rapidez con que emite energía excede la rapidez con que la absorbe. Cuando alcanza el equilibrio térmico, la rapidez de emisión y la de absorción son iguales. Del mismo modo, dos cuerpos que se encuentran en el vacío y a distintas temperaturas, tienden a llegar al equilibrio dinámico a través de la radiación.

(Química.es, s.f.)

Los usos de la radiación infrarroja son numerosos, pero los que más relevancia tienen son: (Etecé, s.f.)

- Equipos de visión nocturna
- Mandos a distancia
- Transmisión digital por infrarrojo
- Estudio espectroscópico en astronomía
- Vigilancia y seguridad
- Secado en textiles, papelería, o en la industria automotriz

Radiación infrarroja aplicada en alimentos

La industria del alimento utiliza aún el calentamiento tradicional a base de fuego o termias (fuentes de calor) para ciertos procesamientos, sin embargo, se ha progresado al punto de preferir el calentamiento electromagnético, en el que se incluye el infrarrojo, el cual permite pasteurizar y esterilizar a menores temperaturas y tiempos más cortos que con la tecnología convencional térmica. (Bolufer, 2013)

Pascual Bolufer del Instituto Químico de Sarria (2013), en la entrevista realizada por la Revista Interempresas, menciona que la inactivación de patógenos es rápida y se ahorra energía utilizando radiación electromagnética, y además explica:

La interacción de la radiación electromagnética de una cierta longitud de onda con el alimento produce vibración, o rotación de las moléculas, lo que supone disipación de energía térmica, que es absorbida por el alimento. La radiación infrarroja abarca desde una longitud de onda de 0,8 micras hasta 20 micras, en el infrarrojo térmico, Esta radiación produce una cierta vibración en los enlaces intramolecular y extramolecular de las moléculas que forman parte de los alimentos, lo que supone fricción molecular y elevación de la temperatura. (Bolufer, 2013)

El calentamiento volumétrico que produce el infrarrojo hace el tratamiento térmico más rápido, más uniforme, y solo durante el tiempo necesario. Sin precalentar, la energía infrarroja reacciona rápidamente por lo que se puede controlar el tiempo necesario para emplearla, permitiendo en general lograr una mejor calidad del producto (Ruiz, s.f.). En cuanto al contenido nutricional se ha comprobado que los cambios cualitativos durante los procesos con microondas MW, radiofrecuencia RF y radiación infrarroja IR son inferiores a lo que ocurre con los procesos térmicos tradicionales. (Bolufer, 2013)

Algunas de las aplicaciones con calor infrarrojo son: (Ruiz, s.f.)

- Dorado de jamón, carnes de hamburguesa, pollo sin necesidad de utilizar grasa adicional.
- Los postres, las galletas, los pasteles que requieren mantener cierta temperatura pueden ser sometidos a calentamiento infrarrojo sin que esto signifique estropear el producto.
- Se puede dorar la pasta, y otras guarniciones en platos preparados.
- Preparaciones como la pizza se pueden pre-dorar, congelar y luego preparar sin invertir demasiado tiempo en su preparación debido a que está pre-cocido.
- Calentamiento de almendras antes de triturarlas
- Calentamiento de moldes antes de limpieza
- Desinfección de soportes de sustrato
- Reducción bacteriana antes de envasar el pan

Capítulo III

Diseño del deshidratador infrarrojo

Diseño térmico

En el diseño térmico del prototipo se detalla cómo actúan los principios básicos de la deshidratación de alimentos en el proceso de deshidratación de la naranja, con la finalidad de que al presentar resultados se pueda realizar el análisis respectivo tomando en cuenta la teoría con las pruebas realizadas.

Como primer paso se va a calcular el diámetro equivalente del sistema de deshidratación que se puede obtener con la siguiente expresión: (Corvalan, Horn, Roman, & Saravia, 1992)

$$De = \frac{4 * A}{PM}$$

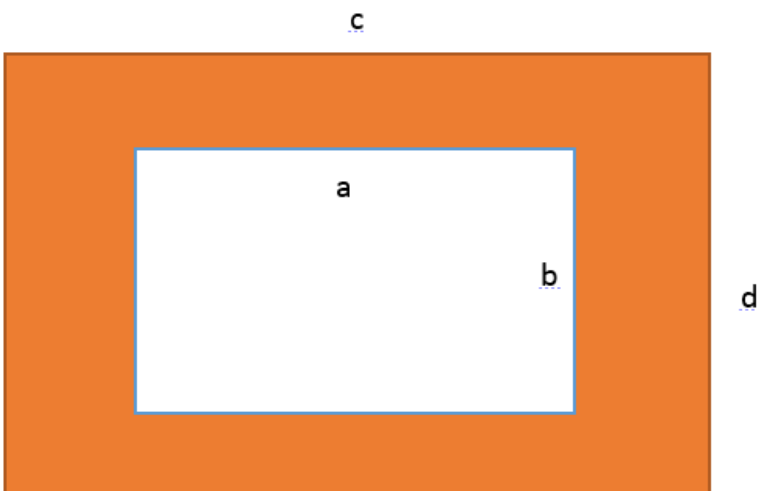
Donde:

$A = \text{Area libre [m}^2\text{]}$

$PM = \text{Perímetro Mojado [m]}$

Figura 4

Diámetro equivalente del sistema



Área Libre:

$$A = c * d - a * b$$

$c =$ longitud exterior [m]

$d =$ profundidad exterior [m]

$a =$ longitud interior [m]

$b =$ profundidad interior [m]

Perímetro Mojado:

$$PM = 2(a + b) + 2(c + d)$$

$$PM = 2(a + b + c + d)$$

A continuación; se va a determinar la Presión Atmosférica Local a la altura en que se encuentra situado el equipo con respecto del nivel del mar con la siguiente expresión: (Potter & Somerton, 2004)

$$P = P_o * \left[\frac{288 - 0,0065 * z}{288} \right]^{5,256}$$

Donde:

$P =$ Presión Atmosférica Local [Pa]

$P_o =$ Presión Atmosférica a ni vel del mar [Pa]

$z =$ Altura de referencia [m]

Análisis del proceso de secado de las rodajas de naranja

La tasa máxima de salida de agua se determina por: (Gerhartz, 1988)

$$\dot{m}_{max} = \frac{\alpha_{max} * (T_w - T_{bed})}{\Delta h_v}$$

$\dot{m}_{max} =$ Tasa máxima de salida de agua $\left[\frac{kg}{s} \right]$

$$\alpha_{max} = \text{Coeficiente global de transferencia de calor} \left[\frac{W}{m^2 * ^\circ C} \right]$$

$$T_w = \text{Temperatura de pared radiante} [^\circ C]$$

$$T_{bed} = \text{Temperatura de lecho (fruto)} [^\circ C]$$

$$\Delta h_v = \text{Entalpía de evaporación del agua} \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

El coeficiente global de transferencia de calor se puede determinar por:

$$\alpha_{max} = \alpha_r + \varphi_w + \frac{4\lambda}{d_n} * \left[\left(1 + \frac{2(l + \rho)}{d_n} \right) * \ln \left(1 + \frac{d_n}{2(l + \rho)} \right) - 1 \right]$$

Donde:

$$\alpha_r = \text{Coeficiente de radiación} \left[\frac{W}{m^2 * ^\circ C} \right]$$

$$\varphi_w = \text{Fracción de superficie calentada}$$

$$\lambda = \text{Conductividad térmica de las moléculas de vapor o de gas inerte} \left[\frac{W}{m * ^\circ C} \right]$$

$$d_n = \text{Diámetro de la rodaja de naranja} [m]$$

$$l = \text{factor de plano libre y de distribución de las rodajas} [m]$$

$$\rho = \text{rugosidad del producto}$$

A continuación, se da la expresión para calcular el coeficiente de radiación:

$$\alpha_r = 4 * \varepsilon_w * \sigma * T_m^3$$

Donde:

$$\varepsilon_w = \text{Emisividad de la pared del horno}$$

$$\sigma = \text{constante de Stefan – Boltzmann} \left[\frac{W}{m^2 * k^4} \right]$$

$$T_m = \text{Temperatura promedio} [K]$$

La temperatura promedio se obtiene de:

$$T_m = \frac{T_w + T_{bed}}{2}$$

Donde:

$T_w = \text{Temperatura de pared } [^{\circ}\text{C}]$

$T_{bed} = \text{Temperatura de lecho (fruto) } [^{\circ}\text{C}]$

El factor de plano libre y de distribución de las rodajas se obtiene con la siguiente expresión:

$$l = 2A * \left(\frac{2}{\gamma} - 1 \right)$$

Donde:

$A = \text{Plano libre de vapor } [m]$

$\gamma = \text{Coeficiente de distribución de las rodajas}$

Se determina también la masa seca que va a quedar al final del proceso de deshidratación con la siguiente expresión: (Gerhartz, 1988)

$$MS = MH * \left(\frac{100 - x_{wi}}{100} \right)$$

$MS = \text{Masa seca } [kg]$

$MH = \text{Masa húmeda } [kg]$

$x_{wi} = \text{Contenido de humedad inicial } [\%]$

A continuación, se obtiene el contenido de agua a remover del producto con la siguiente expresión:

$$\Delta W = MS * \left[\frac{x_{wi}}{100 - x_{wi}} - \frac{x_{wf}}{100 - x_{wf}} \right]$$

Donde:

$\Delta W = \text{Contenido de agua a remover del producto } [kg]$

$x_{wf} = \text{Contenido de humedad final } [\%]$

Método de determinación de la capacidad calorífica de la naranja

Dickerson (1969) propuso la siguiente expresión para productos cárnicos con un contenido de humedad entre el 20% y 100% y para zumos de frutas con contenidos de humedad mayores al 50% (Singh & Heldman, 1998).

$$c_p = 1,675 + 0,025 * \omega$$

Donde:

$$c_p = \text{capacidad calorífica} \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg} * ^\circ\text{C}} \right]$$

$$\omega = \text{Contenido de humedad inicial} [\%]$$

Sin embargo, para productos con composición química conocida se puede expresar la siguiente expresión:

$$c_p = 1,424m_c + 1,549m_p + 1,675m_l + 0,837m_a + 4,187m_m$$

Donde:

m_c = fracción en peso de carbohidratos

m_p = fracción en peso de proteína

m_l = fracción en peso de grasa

m_a = fracción en peso de cenizas

m_m = fracción en peso de humedad

Determinación del coeficiente de convección del horno

A continuación, se procede a calcular los coeficientes de convección y de radiación en la pared interna del horno. De acuerdo con Corvalan para secadores con convección forzada las velocidades del aire vienen de 0,3 a 2 (m/s); para sistemas radiactivos - convectivos sugiere velocidades del orden de 0,4 a 4 (m/s) (Corvalan, Horn, Roman, & Saravia, 1992).

$$v_i = \frac{v_{Ls} + v_{Li}}{2}$$

Donde:

$$v_i = \text{Velocidad media} \left[\frac{m}{s} \right]$$

$$v_{Ls} = \text{velocidad de límite superior} \left[\frac{m}{s} \right]$$

$$v_{Li} = \text{velocidad de límite inferior} \left[\frac{m}{s} \right]$$

Se va a determinar el número de Reynolds con la siguiente expresión (Çengel, 2004):

$$Re = \frac{v_i * D_e}{\gamma}$$

Donde:

Re = Número de Reynolds

$$v_i = \text{velocidad interior} \left[\frac{m}{s} \right]$$

D_e = Diámetro equivalente [m]

$$\gamma = \text{viscosidad cinemática} \left[\frac{m^2}{s} \right]$$

Cálculo del factor de fricción

Para encontrar el factor de fricción se toma la ecuación de Petukhov con el valor que resulte de encontrar el número de Reynolds (Çengel, 2004).

$$f = (0,790 * \ln(Re) - 1,64)^{-2}$$

Donde:

f = Factor de fricción

Para una mejor aproximación en la determinación del número de Nussell se utiliza la ecuación de Gnielinski que cumpla con las siguientes condiciones (Çengel, 2004):

$$3000 \leq Re \leq 5 * 10^6$$

$$0,5 \leq Pr \leq 2000$$

$$Nu = \frac{\left(\frac{f}{8}\right) * (Re - 1000) * Pr}{1 + 12,7 * \left(\frac{f}{8}\right)^{\frac{1}{2}} * \left(Pr^{\frac{2}{3}} - 1\right)}$$

Donde:

Nu = Número de Nussell

Pr = Número de Prandon

Con los valores obtenidos se puede determinar el coeficiente de convección del horno al despejar la siguiente ecuación:

$$Nu = \frac{h_{ci} * De}{k}$$

Despejamos:

$$h_{ci} = \frac{Nu * k}{De}$$

h_{ci} = coeficiente de convección en el interior $\left[\frac{W}{m^2 * ^\circ C}\right]$

k = conductividad térmica del fluido $\left[\frac{W}{m * ^\circ C}\right]$

Coefficiente global de transferencia de calor

Para el cálculo del coeficiente global de transferencia de calor se toma en cuenta los materiales y espesores que componen la pared del deshidratador.

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_{ci} + h_{ri}} + \frac{e_{Al}}{k_{Al}} + \frac{e_{aire}}{k_{aire}} + \frac{e_{inox}}{k_{inox}} + \frac{1}{h_e}}$$

Datos:

U = Coeficiente global de transferencia de calor $\left[\frac{W}{m^2 * ^\circ C}\right]$

h_{ri} = coeficiente de radiación en el interior $\left[\frac{W}{m^2 * ^\circ C}\right]$

e_{Al} = espesor del aluminio [m]

e_{aire} = espesor de aire [m]

e_{inox} = espesor del acero inoxidable [m]

k_{Al} = conductividad térmica del aluminio $\left[\frac{W}{m * ^\circ C}\right]$

k_{aire} = conductividad térmica del aire $\left[\frac{W}{m * ^\circ C}\right]$

k_{inox} = conductividad térmica del acero inoxidable $\left[\frac{W}{m * ^\circ C}\right]$

h_e = coeficiente de convección en el exterior $\left[\frac{W}{m^2 * ^\circ C}\right]$

Para paredes exteriores planas se utiliza la expresión de Wattmuff (Çengel, 2004):

$$h_e = 2,8 + 3 * v_{aire}$$

Donde:

v_{aire} = velocidad del aire $\left[\frac{m}{s}\right]$

Calor perdido por las paredes

Para encontrar el calor perdido por las paredes se utiliza la siguiente expresión:

$$Q_{pp} = U * A_{pr} * (T_i - T_{amb})$$

Donde:

Q_{pp} = Calor perdido en las paredes [W]

A_{pr} = área de las paredes internas [m²]

T_i = Temperatura en el interior [°C]

T_{amb} = Temperatura ambiente [°C]

$$A_{pr} = 2 * h * c + 2 * h * d + 2 * c * d$$

$$A_{pr} = 2(h * c + h * d + c * d)$$

Donde:

$h = \text{altura interior}$

Cálculo del calor útil

$$Q_u = \frac{MH * c_p * (T_{sec} - T_{amb})}{t_{sec}} + \frac{m_v * H_{fg}}{t_{sec}}$$

Donde:

$Q_u = \text{Calor útil [W]}$

$T_{sec} = \text{Temperatura de secado [°C]}$

$m_v = \text{masa de vapor [kg]}$

$H_{fg} = \text{Entalpía de vaporación [kJ]}$

$t_{sec} = \text{tiempo de secado [s]}$

Calor perdido por cambios de aire

Se puede utilizar la expresión dada por la sociedad americana en refrigeración de aire acondicionado (Amende, Keen, & Catlin, 2021):

$$Q_{PCA} = \frac{NCA}{t_{apertura}} * c_p * \rho * V_c * (T_i - T_{amb})$$

Donde:

$Q_{PCA} = \text{calor perdido por cambios de aire [W]}$

$NCA = \text{Número de cambios de aire}$

$\rho = \text{densidad del aire } \left[\frac{kg}{m^3} \right]$

$V_c = \text{volumen de cámara [m}^3\text{]}$

$t_{apertura} = \text{tiempo de apertura [s]}$

$$V_c = c * d * h$$

Calor perdido por el ventilador

$$Q_{PV} = \dot{m}_{aire} * (h_2 - h_1)$$

Datos:

$$Q_{PV} = \text{calor perdido por el ventilador [W]}$$

$$\dot{m}_{aire} = \text{Flujo de aire } \left[\frac{kg}{s} \right]$$

$$h_2 = \text{entalpia del aire en el punto 2 } \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

$$h_1 = \text{entalpia del aire en el punto 1 } \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

Área del ventilador:

$$A_{vent} = \frac{\pi * D_{vent}^2}{4}$$

Donde:

$$A_{vent} = \text{Area del ventilador [m}^2\text{]}$$

$$D_{vent} = \text{Diámetro del ventilador [m]}$$

Caudal

$$\dot{V} = A_{vent} * v_{vent}$$

Donde:

$$\dot{V} = \text{Caudal del flujo } \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

$$v_{vent} = \text{velocidad del ventilador } \left[\frac{m}{s} \right]$$

Flujo de aire

$$\dot{m}_{aire} = \rho * \dot{V}$$

Potencia térmica ganada por la bandeja

$$Q_s = \alpha_s * \varepsilon_l * A_s * \sigma * T_l^4$$

Donde:

Q_s = Potencia térmica ganada por la bandeja [W]

α_s = absortividad de la bandeja

ε_l = emisividad de la lámpara

A_s = Area de la bandeja [m²]

T_l = Temperatura de la lámpara [°C]

$A_s = a * b$

Factor de corrección

Área de bandeja expuesta a la radiación:

$$A_{be} = A_s - A_{Tp}$$

Donde:

A_{be} = área de bandeja expuesta a la radiación [m²]

A_{Tp} = área total del producto [m²]

$$A_{Tp} = n_r * \frac{\pi * d_n^2}{4}$$

Donde:

n_r = número de rodajas

$$Fc = \frac{A_{be}}{A_s}$$

Potencia térmica real de la bandeja:

$$Q_{s-real} = Fc * Q_s$$

Donde:

Fc = Factor de corrección

Potencia térmica del producto

$$Q_p = Q_{r,l-p} + Q_d$$

Donde:

Q_p = potencia térmica del producto [W]

$Q_{r,l-p}$ = potencia térmica de radiación de la lámpara al producto [W]

Q_d = flujo de potencia térmica máxima [W]

$$Q_{r,l-p} = \alpha_p * \varepsilon_l * A_p * \sigma * T_l^4$$

Donde:

α_p = absortividad del producto

A_p = área del producto [m²]

$$Q_d = n_r * m_l * \theta_o * k_p * A_{p1} * \tanh(m_l * L)$$

Donde:

m_l = factor de integración

θ_o = Temperatura de conducción [°C]

k_p = conductividad térmica del producto $\left[\frac{W}{m * ^\circ C} \right]$

A_{p1} = área de una rodaja [m²]

L = espesor de la rodaja [m]

$$\theta_o = T_s - T_i$$

$$m = \sqrt{\frac{\pi * d_n * h_i}{k_p * A_{p1}}}$$

$$h_i = h_{ic} + h_{ir}$$

Para determinar la conductividad térmica de frutos y vegetales con contenido de humedad mayor al 60% Sweat (1974) propone la siguiente expresión (Corvalan, Horn, Roman, & Saravia, 1992):

$$k_p = 0,148 + 0,00493 * \omega$$

Parámetros de operación de temperatura y humedad

- Temperatura de operación

Para el proceso de deshidratación de la naranja se ha planteado utilizar tres temperaturas diferentes que, según las fuentes bibliográficas revisadas, se encuentran dentro del rango que sirve para deshidratar alimentos sin estropear sus propiedades. Dichas temperaturas son: T1 40°C, T2 50°C y T3 60°C.

Debido a información proporcionada por investigaciones relacionadas a la deshidratación de alimentos se ha podido conocer que los alimentos en general comienzan a perder sus propiedades, principalmente enzimas y vitaminas, con temperaturas superiores a los 65 °C, es por ello que se han elegido dichas temperaturas dentro del rango recomendado.

- Humedad de operación

La humedad del producto tiene dos variables: la humedad inicial que corresponde a la cantidad de agua que contiene el alimento en su estado natural, y la humedad final que es aquella recomendable, en el caso de alimentos deshidratados, para evitar que se desarrollen microorganismos que estropeen el producto. La humedad final para alimentos deshidratados ha sido ya establecida por el Codex Alimentario de las Normas Alimentarias Internacionales, revisadas y aprobadas por la Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura (FAO) y la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Para el caso de la naranja la humedad inicial determinada por la cantidad de agua es del 86% y la cantidad de humedad relativa final recomendada por la FAO para productos deshidratados es del 10% al 12% (FAO, 2002).

Cálculos de diseño

Para los cálculos se tomaron de manera experimental las temperaturas relacionadas con el proceso de transferencia de calor para el desarrollo del diseño térmico:

Tabla 3

Valores experimentales de las temperaturas

Orden	Text	Tw	Tbed	Tbandeja	Tfoco	V ventilador
1	34	42,3	40,9	57,4	81,5	1,4
2	32,7	43,9	40,1	53,4	81,2	1,3
3	33,3	44,8	40	56,6	88,6	1,3
4	34,5	44,2	38,1	50,3	87,1	1,4
5	3,9	43,6	40,2	53,1	81,2	1,4
6	34,5	44,7	41,6	53,6	80,6	1,3
7	34,6	44,8	39,3	55,2	82,1	1,3
8	34,3	44,1	39,3	53,3	84,6	1,3
9	34,6	44,4	40,6	50,6	81,5	1,2
10	34,1	43,6	39,9	51,7	84,5	1,3
11	33,6	44,3	40,6	51,2	85,3	1,3
12	34,1	43,9	38,2	50,2	89,1	1,3
Total	378,2	528,6	478,8	636,6	1007,3	15,8
Media	31,52	44,05	39,9	53,05	83,94	1,32

Donde:

$$T_i = 31,52 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$T_w = 44,05 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$T_{bed} = 39,9 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$T_{band} = 53,05 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$T_l = 83,94 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$v_{vent} = 1,32 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Diámetro Equivalente

$$De = \frac{4 * A}{PM}$$

$$De = \frac{2 * (c * d - a * b)}{(a + b + c + d)}$$

Para valores:

$$c = 0,35 [m] \quad d = 0,35 [m] \quad a = 0,23 [m] \quad b = 0,28 [m]$$

$$De = \frac{2 * (0,35 * 0,35 - 0,23 * 0,28)}{0,23 + 0,28 + 0,35 + 0,35}$$

$$De = 0,096 [m]$$

Presión atmosférica local:

$$P = P_o * \left[\frac{288 - 0,0065 * z}{288} \right]^{5,256}$$

Para valores:

$$P_o = 101325 [Pa]$$

$$z = \text{Altura de referencia (Ciudadela Hospitalaria - Puente 7)} = 2530 [m]$$

$$P = 101325 * \left[\frac{288 - 0,0065 * 2530}{288} \right]^{5,256}$$

$$P = 74388,59 [Pa]$$

$$P = 74,388 [KPa]$$

Tasa máxima de salida de agua

$$\dot{m}_{max} = \frac{\alpha_{max} * (T_w - T_{bed})}{\Delta h_v}$$

Temperatura promedio:

$$T_m = \frac{T_w + T_{bed}}{2}$$

$$T_m = \frac{44,05 + 273 + 39,9 + 273}{2}$$

$$T_m = 314,975 [K]$$

Coeficiente de radiación:

$$\alpha_r = 4 * \varepsilon_w * \sigma * T_m^3$$

Para los valores:

$\varepsilon_w = 0,9$ Emisividad de pintura blanca (Çengel, 2004)

$$\sigma = 5,67 * 10^{-8} \left[\frac{W}{m^2 * K^4} \right]$$

$$\alpha_r = 4 * 0,9 * 5,67 * 10^{-8} * (314,975)^3$$

$$\alpha_r = 6,378 \left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$$

Factor de plano libre y de distribución de las rodajas:

$$l = 2A * \left(\frac{2}{\gamma} - 1 \right)$$

Para valores:

$$A = De = 0,096 [m]$$

$\gamma = 0,9$ Para aire o vapor de agua (Corvalan, Horn, Roman, & Saravia, 1992)

$$l = 2 * 0,096 * \left(\frac{2}{0,9} - 1 \right)$$

$$l = 0,2347 [m]$$

La rugosidad tiene valores que van desde los rangos (Corvalan, Horn, Roman, & Saravia, 1992):

$$0 < \rho \leq 10 [\mu m]$$

$$\rho = 10 * 10^{-6} [m]$$

El coeficiente global de transferencia de calor se puede determinar por:

$$\alpha_{max} = \alpha_r + \varphi_w + \frac{4\lambda}{d_n} * \left[\left(1 + \frac{2(l + \rho)}{d_n} \right) * \ln \left(1 + \frac{d_n}{2(l + \rho)} \right) - 1 \right]$$

Para valores:

$$\varphi_w = 0,8$$

$$\lambda = 0,0197 \left[\frac{W}{m * ^\circ C} \right]$$

$$d_n = 0,07 [m]$$

$$\alpha_{max} = 6,378 + 0,8 + \frac{4 * 0,0197}{0,07} * \left[\left(1 + \frac{2(0,2347 + 10 * 10^{-6})}{0,07} \right) * \ln \left(1 + \frac{0,07}{2(0,2347 + 10 * 10^{-6})} \right) - 1 \right]$$

$$\alpha_{max} = 6,442 \left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$$

$$\Delta h_v = 2404,6 * 10^{-3} \left[\frac{J}{kg} \right] \text{ Tabla A 15 (Çengel, 2004)}$$

$$\dot{m}_{max} = \frac{\alpha_{max} * (T_w - T_{bed})}{\Delta h_v}$$

$$\dot{m}_{max} = \frac{6,442 * (44,05 - 39,9)}{2404,6 * 10^{-3}}$$

$$\dot{m}_{max} = 1,1118 * 10^{-5} \left[\frac{kgW}{s * m^2} \right]$$

$$\dot{m}_{max} = 0,04 \left[\frac{kgW}{h * m^2} \right]$$

Masa seca

$$MS = MH * \left(\frac{100 - x_{wi}}{100} \right)$$

Para valores:

$$MH = 0,250 [kg]$$

$$x_{wi} = 86 [\%]$$

$$MS = 0,250 * \left(\frac{100 - 86}{100} \right)$$

$$MS = 0,035 [kg]$$

A continuación, se obtiene el contenido de agua a remover del producto con la siguiente expresión:

$$\Delta W = MS * \left[\frac{x_{wi}}{100 - x_{wi}} - \frac{x_{wf}}{100 - x_{wf}} \right]$$

Para valores:

$$x_{wf} = 12 \text{ [%]}$$

$$\Delta W = 0,035 * \left[\frac{86}{100 - 86} - \frac{12}{100 - 12} \right]$$

$$\Delta W = 0,2102 \text{ [kg]}$$

Determinación de la capacidad calorífica de la naranja

$$c_p = 1,424m_c + 1,549m_p + 1,675m_l + 0,837m_a + 4,187m_m$$

Donde:

$$m_c = 8,6 \text{ [%]} = 0,086$$

$$m_p = 0,7 \text{ [%]} = 0,007$$

$$m_l = 0,2 \text{ [%]} = 0,002$$

$$m_a = 0,48 \text{ [%]} = 0,0048$$

$$m_m = 86 \text{ [%]} = 0,86$$

$$c_p = 1,4,24 * 0,086 + 1,549 * 0,007 + 1,675 * 0,002 + 0,837 * 0,0048 + 4,187 * 0,86$$

$$c_p = 3,8094 \left[\frac{kJ}{kg * ^\circ C} \right]$$

Determinación del coeficiente de convección del horno

$$v_i = \frac{v_{Ls} + v_{Li}}{2}$$

Donde:

$$v_{Ls} = 4 \left[\frac{m}{s} \right]$$

$$v_{Li} = 0,4 \left[\frac{m}{s} \right]$$

$$v_i = \frac{4 + 0,4}{2}$$

$$v_i = 2,2 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Cálculo del número de Reynolds

$$Re = \frac{v_i * D_e}{\gamma}$$

La viscosidad cinemática del aire se obtiene con la tabla A9 de Çengel se interpola para la temperatura de 31,5y se obtiene (Çengel, 2004):

$$\gamma = 1,622 * 10^{-5} \left[\frac{m^2}{s} \right]$$

$$Re = \frac{2,2 * 0,096}{1,622 * 10^{-5}}$$

$$Re = 13025,446$$

Cálculo del factor de fricción

$$f = (0,790 * \ln(Re) - 1,64)^{-2}$$

$$f = (0,790 * \ln(13025,446) - 1,64)^{-2}$$

$$f = 0,02927$$

El número de Prandon y para la conductividad térmica se obtiene de la interpolación de la tabla A 15 de Çengel con la temperatura de 31,5 °C (Çengel, 2004):

$$Pr = 0,7278$$

$$k = 0,02602 \left[\frac{W}{m * ^\circ C} \right]$$

Número de Nussell

$$3000 \leq Re \leq 5 * 10^6$$

$$0,5 \leq Pr \leq 2000$$

$$Nu = \frac{\left(\frac{f}{8}\right) * (Re - 1000) * Pr}{1 + 12,7 * \left(\frac{f}{8}\right)^{\frac{1}{2}} * \left(Pr^{\frac{2}{3}} - 1\right)}$$

$$Nu = \frac{\left(\frac{0,02927}{8}\right) * (13025,446 - 1000) * 0,7278}{1 + 12,7 * \left(\frac{0,02927}{8}\right)^{\frac{1}{2}} * \left(0,7278^{\frac{2}{3}} - 1\right)}$$

$$Nu = 37,5254$$

Coefficiente de convección en el interior:

$$h_{ci} = \frac{Nu * k}{De}$$

$$h_{ci} = \frac{37,5254 * 0,02602}{0,096}$$

$$h_{ci} = 10,17 \left[\frac{W}{m^2 * ^\circ C} \right]$$

Coefficiente global de transferencia de calor

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_{ci} + h_{ri}} + \frac{e_{Al}}{k_{Al}} + \frac{e_{aire}}{k_{aire}} + \frac{e_{inox}}{k_{inox}} + \frac{1}{h_e}}$$

Para valores:

$$U = \text{Coeficiente global de transferencia de calor} \left[\frac{W}{m^2 * ^\circ C} \right]$$

$$h_{ri} = \alpha_r = 6,3784 \left[\frac{W}{m^2 * ^\circ C} \right]$$

$$e_{Al} = 0,002 [m]$$

$$e_{aire} = 0,03 [m]$$

$$e_{inox} = 0,001 [m]$$

$$k_{Al} = 120 \left[\frac{W}{m * ^\circ C} \right]$$

$$k_{aire} = 0,033 \left[\frac{W}{m * ^\circ C} \right]$$

$$k_{inox} = 16 \left[\frac{W}{m * ^\circ C} \right]$$

Para paredes exteriores planas se utiliza la expresión de Wattmuff (Çengel, 2004):

$$h_e = 2,8 + 3 * v_{aire}$$

Para valores:

$$v_{aire} = 0 \left[\frac{m}{s} \right]$$

$$h_e = 2,8 \left[\frac{W}{m^2 * ^\circ C} \right]$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{10,1674} + \frac{0,002}{6,3784} + \frac{0,03}{120} + \frac{0,03}{0,033} + \frac{0,001}{16} + \frac{1}{2,8}}$$

$$U = 0,7537 \left[\frac{W}{m^2 * ^\circ C} \right]$$

Calor perdido por las paredes

Para encontrar el calor perdido por las paredes se utiliza la siguiente expresión:

$$Q_{pp} = U * A_{pr} * (T_i - T_{amb})$$

Para valores:

$$T_i = 31,5 [^\circ C]$$

$$T_{amb} = 25 [^\circ C]$$

$$h = 0,22 [m]$$

$$A_{pr} = 2(h * c + h * d + c * d)$$

$$A_{pr} = 2(0,22 * 0,35 + 0,22 * 0,35 + 0,35 * 0,35)$$

$$A_{pr} = 0,553 [m^2]$$

$$Q_{pp} = 0,7537 * 0,553 * (31,5 - 25)$$

$$Q_{pp} = 2,7176 [W]$$

Cálculo del calor útil

$$Q_u = \frac{MH * c_p * (T_{sec} - T_{amb})}{t_{sec}} + \frac{m_v * H_{fg}}{t_{sec}}$$

Donde:

$$Q_u = \text{Calor útil [W]}$$

$$T_{sec} = 50 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$m_v = \Delta W = 0,2102 \text{ [kg]}$$

$$H_{fg} = 2404,6 \text{ [kJ] Tabla A 15 (Çengel, 2004)}$$

$$t_{sec} = 6 \text{ [h]} = 21600 \text{ [s]}$$

$$Q_u = \frac{0,250 * 3,8094 * (50 - 25)}{21600} + \frac{0,2102 * 2404,6}{21600}$$

$$Q_u = 0,024505 \text{ [kW]}$$

$$Q_u = 24,505 \text{ [W]}$$

Calor perdido por cambios de aire

Se puede utilizar la expresión dada por la sociedad americana en refrigeración de aire acondicionado (Amende, Keen, & Catlin, 2021):

$$Q_{PCA} = \frac{NCA}{t_{apertura}} * c_p * \rho * V_c * (T_i - T_{amb})$$

Para valores:

$$NCA = 1$$

$$\rho = 1,23 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

$$V_c = \text{volumen de cámara [m}^3\text{]}$$

$$t_{apertura} = 5 \text{ [s]}$$

$$c_p = 1007 \left[\frac{\text{J}}{\text{kg} * ^\circ\text{C}} \right]$$

$$V_c = c * d * h$$

$$V_c = 0,35 * 0,35 * 0,22$$

$$V_c = 0,02695 [m^3]$$

$$Q_{PCA} = \frac{1}{5} * 1007 * 1,23 * 0,02695 * (31,5 - 25)$$

$$Q_{PCA} = 43,5282 [W]$$

Calor perdido por el ventilador

$$Q_{PV} = \dot{m}_{aire} * (h_2 - h_1)$$

Área del ventilador:

$$A_{vent} = \frac{\pi * D_{vent}^2}{4}$$

Para valores:

$$D_{vent} = 0,1 [m]$$

$$A_{vent} = \frac{\pi * 0,1^2}{4}$$

$$A_{vent} = 0,00785 [m^2]$$

Para las entalpías se toman los valores de la tabla F1 de Potter para los valores de temperaturas de 31,5 °C y 25 °C (Potter & Somerton, 2004):

$$h_2 = 304,71 \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

$$h_1 = 298,03 \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

Caudal

$$\dot{V} = A_{vent} * v_{vent}$$

$$\dot{V} = 0,00785 * 1,32$$

$$\dot{V} = 0,01036 \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

Flujo de aire

$$\dot{m}_{aire} = \rho * \dot{V}$$

$$\dot{m}_{aire} = 1,23 * 0,01036$$

$$\dot{m}_{aire} = 0,0127 \left[\frac{kg}{s} \right]$$

$$Q_{PV} = \dot{m}_{aire} * (h_2 - h_1)$$

$$Q_{PV} = 0,0127 * (304,71 - 298,03)$$

$$Q_{PV} = 0,075745 [kW]$$

$$Q_{PV} = 75,745 [W]$$

Potencia térmica ganada por la bandeja

$$Q_s = \alpha_s * \varepsilon_l * A_s * \sigma * T_l^4$$

Donde:

$$\alpha_s = 0,42$$

$$\varepsilon_l = 0,95$$

$$T_l = 83,94 [^{\circ}C]$$

$$A_s = a * b$$

$$A_s = 0,23 * 0,28$$

$$A_s = 0,0644 [m^2]$$

$$Q_s = 0,42 * 0,95 * 0,0644 * 5,67 * 10^{-8} * (83,94 + 273)^4$$

$$Q_s = 23,6495 [W]$$

Factor de corrección

Área de bandeja expuesta a la radiación:

$$A_{be} = A_s - A_{Tp}$$

$$A_{Tp} = n_r * \frac{\pi * d_n^2}{4}$$

Donde:

$$n_r = 9$$

$$A_{Tp} = 9 * \frac{\pi * 0,07^2}{4}$$

$$A_{Tp} = 0,0346 [m^2]$$

$$A_{be} = 0,0644 - 0,0346$$

$$A_{be} = 0,0297 [m^2]$$

$$Fc = \frac{A_{be}}{A_s}$$

$$Fc = \frac{0,0297}{0,0644}$$

$$Fc = 0,4621$$

Potencia térmica real de la bandeja

$$Q_{s-real} = Fc * Q_s$$

$$Q_{s-real} = 0,4621 * 23,6495 [W]$$

$$Q_{s-real} = 10,9301 [W]$$

Potencia térmica del producto

$$Q_p = Q_{r,l-p} + Q_d$$

$$Q_{r,l-p} = \alpha_p * \varepsilon_l * A_p * \sigma * T_l^4$$

Donde:

Se toma el valor de absorptancia de los vegetales y frutas: (Corvalan, Horn, Roman, & Saravia, 1992)

$$\alpha_p = 0,56$$

$$\varepsilon_l = 0,95$$

$$A_p = 0,0346 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$Q_{r,l-p} = 0,56 * 0,95 * 0,0346 * 5,67 * 10^{-8} * (83,94 + 273)^4$$

$$Q_{r,l-p} = 16,9591 \text{ [W]}$$

Flujo de potencia térmica máxima

$$Q_d = n_r * m_l * \theta_o * k_p * A_{p1} * \tanh(m_l * L)$$

$$\theta_o = T_s - T_i$$

$$\theta_o = 53 - 31,5$$

$$\theta_o = 21,5 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$k_p = 0,148 + 0,00493 * \omega$$

$$k_p = 0,148 + 0,00493 * 86$$

$$k_p = 0,5719 \left[\frac{\text{W}}{\text{m} * ^\circ\text{C}} \right]$$

$$h_i = h_{ic} + h_{ir}$$

$$h_i = 10,167 + 6,378$$

$$h_i = 16,545 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 * ^\circ\text{C}} \right]$$

$$A_{p1} = \frac{A_p}{n_r}$$

$$A_{p1} = \frac{0,0346}{9}$$

$$A_{p1} = 0,003848 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$m_l = \sqrt{\frac{\pi * d_n * h_i}{k_p * A_{p1}}}$$

$$m_l = \sqrt{\frac{\pi * 0,07 * 16,545}{0,5719 * 0,003848}}$$

$$m_l = 40,675 \left[\frac{1}{m} \right]$$

$$L = 0,005 [m]$$

$$Q_d = n_r * m_l * \theta_o * k_p * A_{p1} * \tanh(m_l * L)$$

$$Q_d = 9 * 40,675 * 21,5 * 0,5719 * 0,003848 * \tanh(40,675 * 0,005)$$

$$Q_d = 3,469 [W]$$

$$Q_p = Q_{r,l-p} + Q_d$$

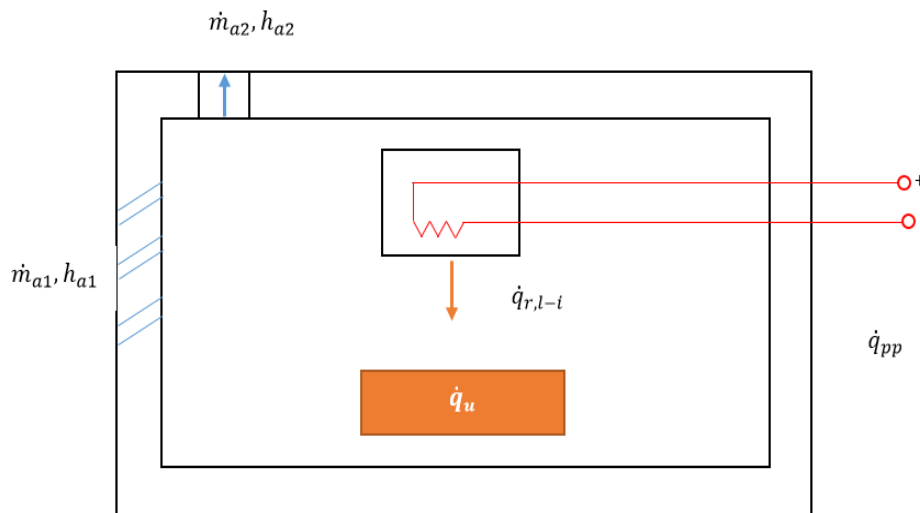
$$Q_p = 16,9591 + 3,469$$

$$Q_p = 20,4285 [W]$$

Balance energético del lecho (fruto)

Figura 5

Balance energético de lecho



$$\dot{q}_d + \dot{q}_{r,l-lecho} + \dot{q}_{r,l-b} = \dot{q}_r + \dot{q}_c + \dot{q}_e + \dot{q}_{b-i,r} + \dot{q}_{b-i,c}$$

$$n_r m_l \theta_o k_p A_{p1} \tanh(m_l L) + \varepsilon_l \alpha_p A_p \sigma T_l^4 + \varepsilon_l \alpha_b A_{bl} \sigma T_l^4$$

$$= \varepsilon_p \alpha_p A_p \sigma T_p^4 + h_{i,c} A_p (T_{bed} - T_i) + \frac{2500 * \Delta W}{t_{sec}} + \varepsilon_b \alpha_b A_{bl} \sigma T_b^4 + h_{i,c} A_{bl} (T_b - T_i)$$

Donde:

$\dot{q}_d =$ Flujo de potencia térmica máxima [W]

$\dot{q}_{r,l-lecho} =$ Potencia térmica de radiación de la lámpara al lecho [W]

$\dot{q}_{r,l-b} =$ Potencia térmica de radiación de la lámpara a la bandeja [W]

$\dot{q}_r =$ Potencia térmica de radiación [W]

$\dot{q}_c =$ Potencia térmica de convección [W]

$\dot{q}_e =$ Potencia térmica de evaporación [W]

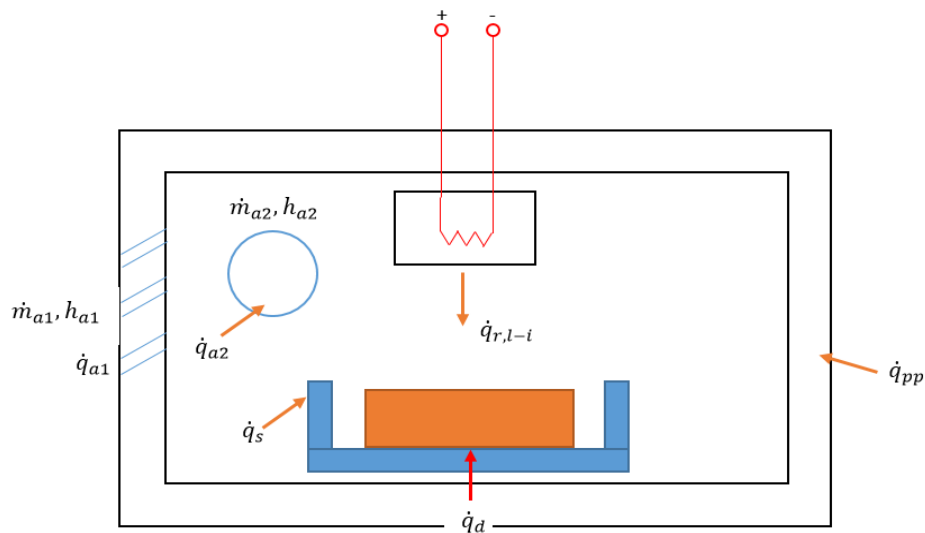
$\dot{q}_{b-i,r} =$ Potencia térmica de radiación de la bandeja al interior [W]

$\dot{q}_{b-i,c} =$ Potencia térmica de convección de la bandeja al interior [W]

Balance energético para la cámara de secado

Figura 6

Balance energético para la cámara de secado



Se aplica la primera ley de la termodinámica dentro de la cámara de secado

$$\dot{q}_{ent} = \dot{q}_{sal}$$

$$\dot{q}_{r,l-i} + \dot{q}_{a1} = \dot{q}_{a2} + \dot{q}_{pp} + \dot{q}_s + \dot{q}_p + \dot{q}_{PCA}$$

Donde:

$\dot{q}_{r,l-i}$ = Potencia térmica de radiación de la lámpara al interior [W]

\dot{q}_{a1} = Potencia térmica del aire a la entrada [W]

\dot{q}_{a2} = Potencia térmica del aire a la salida [W]

\dot{q}_{pp} = Potencia térmica perdida por las paredes [W]

\dot{q}_s = Potencia térmica ganada por la bandeja [W]

\dot{q}_s = Potencia térmica real ganada por la bandeja [W]

\dot{q}_p = Potencia térmica ganada por el producto por radiación [W]

\dot{q}_{PCA} = Potencia térmica perdida por cambios de aire [W]

$\dot{q}_{p vent}$ = Potencia térmica perdida por el ventilador [W]

Potencia térmica necesaria

$$\dot{q}_{p vent} = \dot{q}_{a2} - \dot{q}_{a1}$$

$$\dot{q}_{r,l-i} + \dot{q}_{a1} = \dot{q}_{a2} + \dot{q}_{pp} + \dot{q}_s + \dot{q}_p + \dot{q}_{PCA}$$

$$\dot{q}_{r,l-i} = \dot{q}_{a2} - \dot{q}_{a1} + \dot{q}_{pp} + \dot{q}_s + \dot{q}_p + \dot{q}_{PCA}$$

$$\dot{q}_{r,l-i} = \dot{q}_{p vent} + \dot{q}_{pp} + \dot{q}_{s-real} + \dot{q}_p + \dot{q}_{PCA}$$

$$\dot{q}_{r,l-i} = 75,745 + 2,7176 + 10,9301 + 20,4285 + 43,5282$$

$$\dot{q}_{r,l-i} = 153,3498 \text{ [W]}$$

Diseño del proceso de radiación térmica

La radiación térmica que se desarrolla dentro del sistema de deshidratación consta de las siguientes expresiones:

$$\dot{q}_{r,l-lecho} = \varepsilon_l \alpha_p A_p \sigma T_l^4$$

$$\dot{q}_{r,l-b} = \varepsilon_l \alpha_b A_{bl} \sigma T_l^4$$

$$\dot{q}_r = \varepsilon_p \alpha_p A_p \sigma T_p^4$$

$$\dot{q}_{b-i,r} = \varepsilon_b \alpha_b A_{bl} \sigma T_b^4$$

$$\dot{q}_{r,l-i} = \dot{q}_{p \text{ vent}} + \dot{q}_{pp} + \dot{q}_{s-real} + \dot{q}_p + \dot{q}_{PCA}$$

Eficiencia de una lámpara infrarroja

Una lámpara infrarroja tiene una eficiencia elevada de al menos el 92% por lo que son muy buenas para el calentamiento de alimentos. (Phormalab, 2019)

$$\eta = \frac{\dot{q}_{salida}}{\dot{q}_{entrada}}$$

Donde:

$\eta = \text{Eficiencia}$

$\dot{q}_{salida} = \text{Potencia tèrmica a la salida}$

$\dot{q}_{entrada} = \text{Potencia tèrmica a la entrada}$

$$\dot{q}_{lamp} = \eta_{lamp} * P_e$$

Donde:

$\dot{q}_{lamp} = \text{Potencia tèrmica de la lámpara [W]}$

$\eta_{lamp} = \text{Eficiencia de la lámpara} = 92\% = 0,92$

$P_e = \text{Potencia elèctrica de la lámpara} = 250 \text{ [W]}$

$$\dot{q}_{lamp} = 0,92 * 250$$

$$\dot{q}_{lamp} = 230 \text{ [W]}$$

Por lo tanto:

$$\eta = \frac{\dot{q}_{r,l-i}}{\dot{q}_{lamp}}$$

$$\eta = \frac{153,3498}{230}$$

$$\eta = 0,6667$$

$$\eta = 66,67\%$$

La eficiencia del equipo se relaciona con la potencia necesaria que se obtuvo en el balance de energía de la cámara de secado con respecto a la potencia térmica de la lámpara infrarroja, lo cual da un valor de eficiencia del 66,67%, indicando que el prototipo aun cuando no está a plena carga ya es eficiente para los parámetros solicitados.

Gasto por consumo eléctrico

En cuanto al gasto por consumo eléctrico se toma como referencia que el prototipo va a trabajar aproximadamente 6 horas al día y que el valor por kilovatio-hora es de 17 centavos

$$E = P * t$$

Donde:

$$E = \text{Energía eléctrica} \left[\frac{\text{kw} - \text{h}}{\text{día}} \right]$$

$$P = \text{Potencia de la lámpara} = 250 [W] = 0,25 [kW]$$

$$t = \text{horas de trabajo diario} \left[\frac{\text{h}}{\text{día}} \right] = 6 \left[\frac{\text{h}}{\text{día}} \right]$$

Entonces:

$$E = 0,25 * 6$$

$$E = 1,5 \left[\frac{\text{kw} - \text{h}}{\text{día}} \right]$$

El valor del consumo diario del equipo se calcula a continuación:

$$C_d = E * C$$

Donde:

$$C_d = \text{Costo diario [centavos]}$$

$$C = \text{costo del kw - h local [centavos]} = 0,17 [\text{centavos}]$$

$$C_d = 1,5 * 0,17$$

$$C_d = 25,5 [\text{centavos}]$$

El costo diario de consumo de energía tiene un aproximado de 25 centavos de dólar, si se trabajara 20 días al mes, 6 horas diarias el valor del consumo mensual sería aproximadamente de 5 dólares con 10 centavos (\$5,10).

Diseño mecánico

El diseño mecánico del prototipo de deshidratador se encuentra adaptado a un chasis de microondas el cual cuenta con los principales requisitos que son, soportar temperaturas de hasta 110°C, reflejar las ondas irradiadas, y permitir la deshidratación de 250g de naranja.

Elección de la estructura del deshidratador

Para determinar la estructura a utilizar para el prototipo de deshidratador se tomó en cuenta los siguientes factores:

- La empresa Grupo Gorrión solicitó un equipo que no conlleve una inversión directa mayor a los 500 dólares.
- También solicitó tomar en cuenta que la cantidad de naranja a deshidratar no supere los 250g colocados en una sola bandeja, esto debido a que consideran que es una cantidad razonable para familiarizarse con el uso del equipo y el proceso de deshidratación.
- Y lo más importante para la elección de la estructura es que, la empresa indicó que requieren hacer uso de un artefacto que ya fue desechado para de esta manera cumplir con sus políticas de responsabilidad ambiental basadas en la reutilización de materiales.

Razones por las cuales, la estructura del deshidratador corresponde a un chasis de microondas reciclado, mismo que cumple con los requisitos de material de estructura que se necesita para trabajar con radiación infrarroja y con temperaturas de hasta 60°C o superiores.

Figura 7

Elección de la estructura del deshidratador: chasis de microondas



Nota. Model N° MS-1142DP, INPUT: 120V 14^a, 60HZ AC, OUTPUT frequency 2450MHz.

El chasis de microondas tiene una dimensión de 29cm de alto, 53cm de ancho, y 38cm de profundidad. Cuenta además con una cabina cuyas dimensiones son 22cm de alto, 34,7cm de ancho, y 34cm de profundidad.

Figura 8

Cabina del deshidratador: chasis de microondas



Para ventilación cuenta con 2 rejillas internas, una de 9cm x 7,5cm, y otra de 6,5cm x 6cm, ubicadas en las paredes laterales de la cabina, y también tiene una rejilla externa de 19cm x 6,5cm ubicada en una de las paredes externas del chasis.

Figura 9

Rejillas de ventilación del chasis de microondas



La puerta con la que cuenta el chasis de microondas mide 52cm de ancho y 28cm de alto, y tiene una ventana la cual facilita el observar lo que está al interior de la cabina.

Figura 10

Puerta con ventana del chasis de microondas



Material de la estructura del deshidratador

Entre los principales materiales de un chasis de microondas están el plástico, el acero inoxidable y aluminio. Los microondas fueron diseñados para actuar como una caja de Faraday cuya función principal es ser impermeable a las radiaciones.

La cabina y la puerta tienen un cierre hermético que impide la fuga de la microonda. La ventana que se encuentra en la puerta es de plástico o vidrio común, pero cuenta con una serie de resonadores circulares más pequeños que la longitud de onda de las microondas

(2,45GHz), hechos de material metálico, que a simple vista se podría decir que se trata de una rejilla incrustada en el vidrio, misma que permite la transparencia para poder ver el alimento, e impide que las microondas salgan de la cabina; esto debido a que la función de la malla en la ventana es transformar al cristal en una pared eléctrica que refleje y regrese las ondas a la cabina.

Figura 11

Ventana del chasis de microondas



Características y ensamble de los elementos principales del prototipo

En esta parte se detalla las características y el paso a paso sobre la colocación de los elementos en el chasis del microondas. Esto con la finalidad de colocarlos y conectarlos adecuadamente, tomando en cuenta el funcionamiento de cada elemento, para posteriormente realizar pruebas y poner en funcionamiento el sistema de control del deshidratador.

Bandeja

El deshidratador requiere de una bandeja en donde se coloque el producto a deshidratar y para ello se ha seleccionado como material adecuado el acero inoxidable tipo 430 de 0,4 mm de espesor.

A continuación, se detallan los parámetros que se han debido tomar en cuenta para el diseño de la bandeja:

- Volumen a deshidratar.

Se debe tomar en cuenta que la cantidad a deshidratar ya ha sido determinada previamente por solicitud de la empresa Grupo Gorrión. Sin embargo, ya que es posible presentar el cálculo respectivo se procede a realizarlo y de esta manera se sustenta que el proyecto se encuentra cumpliendo con los principios de las áreas de estudio que guían el tema de investigación.

$$m_D = 0,250 \text{ [kg]}$$

$$\delta_{naranja} = 1030 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

$$\delta_{naranja} = \frac{m_D}{V_{naranja}}$$

$$V_{naranja} = \frac{m_D}{\delta_{naranja}}$$

$$V_{naranja} = \frac{0,250}{1030}$$

$$V_{naranja} = 0,0002427 \text{ [m}^3\text{]}$$

- Volumen de la bandeja

La altura h para el volumen de la bandeja se referencia el espesor de la rodaja de la naranja para deshidratar y para este proyecto el espesor es de 5 mm.

$$l = 0,28 \text{ [m]}$$

$$a = 0,23 \text{ [m]}$$

$$h = 0,005 \text{ [m]}$$

$$V_{bandeja} = l * a * h$$

$$V_{bandeja} = 0,28 * 0,23 * 0,005$$

$$V_{bandeja} = 0,000322 \text{ [m}^3\text{]}$$

- Número de bandejas que se requiere

$$N^{\circ}_{Bandejas} = \frac{V_{naranja}}{V_{bandeja}}$$

$$N^{\circ}_{Bandejas} = \frac{0,0002427}{0,000322}$$

$$N^{\circ}_{Bandejas} = 0,7537$$

$$N^{\circ}_{Bandejas} \approx 1$$

- Material de la bandeja

Las bandejas para procesos de deshidratación son comúnmente de aluminio, acero, metal, y aluminio o acero galvanizado. A continuación, se presenta una tabla con las características del acero quirúrgico que para este tipo de procesos con alimentos es el más recomendado por la industria alimentaria.

Tabla 4

Características del acero quirúrgico tipo 430

Característica	Detalle
Forma del producto	Lámina
Aplicaciones comunes	Cubiertos Usos arquitectónicos Techos laterales Equipos para restaurantes
Densidad (libra/ pulg.^2) a RT	0,278
Calor específico (BTU/o F/libra)	32 a 212 °F (0 a 100 °C)
Conductividad térmica (BTU/h/pies^2/pies)	212 °F
Resistencia a la oxidación: Servicio continuo (°F)	1500
Conformación	Puede modelarse con facilidad
Soldadura	Puede soldarse mediante técnicas de fusión y resistencia comunes

Nota. Tomado de *Acero inoxidable 430*, por NKS de México (s.f.).

A través de los cálculos realizados se determina que la cantidad de 250g de naranja es la adecuada para una bandeja de 28 x 23cm con un borde a los 4 lados de 1cm de alto; y que el material más adecuado por su peso y propiedades es el acero quirúrgico 430 de 0,4mm de espesor.

Figura 12

Bandeja de acero quirúrgico de 28cm x 23cm

Foco infrarrojo

El foco infrarrojo a utilizar es de 250W de potencia y se ha considerado colocarlo en la parte central superior de la cabina, a 10cm de la bandeja, esto como resultado de haber comprobado que la luz llegue a todas las partes de la cabina. Este tipo de foco infrarrojo permite contar con una longitud de onda de 780 a 1400nm que corresponde al infrarrojo de onda corta (780nm – 2500nm), la cual es recomendada para tratar materiales con pocos milímetros, como en este caso las rodajas de naranja que se considera deben tener hasta 5mm de espesor.

Figura 13

Colocación del foco infrarrojo en la estructura



Celda de carga (balanza)

Para la balanza se ha de utilizar una celda de carga Mack 711 con capacidad de hasta 1kg, el cual se une a una pieza de acrílico y esta a su vez se encuentra sujeta a un costado de la base de la cabina.

Figura 14

Colocación de la celda de carga Mack 711

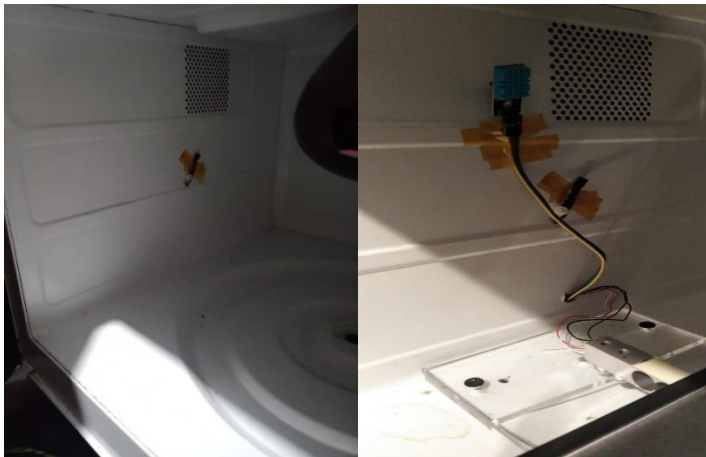


Sensor de temperatura y sensor de humedad

El sensor de temperatura LM35 se encuentra colocado en una de las paredes laterales de la cabina a 11cm de la base, y el sensor de humedad DHT11 se encuentra en la misma pared lateral de la cabina a 18cm de la base.

Figura 15

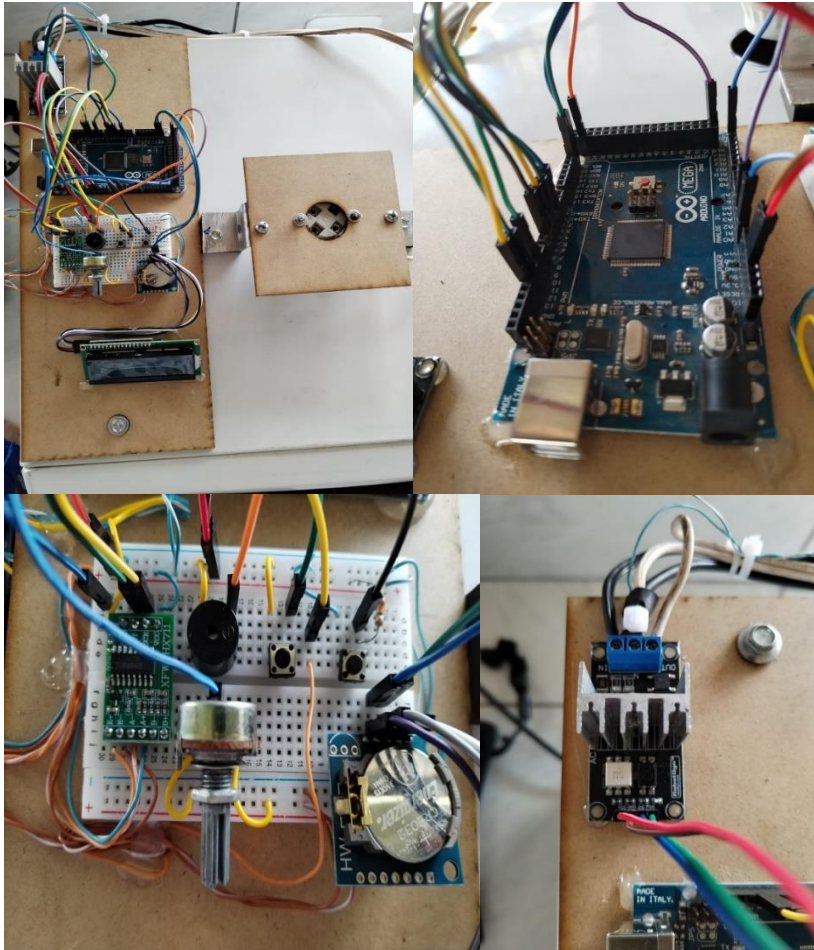
Colocación del sensor de temperatura y de humedad



Una vez que el foco, los sensores, y la celda de carga fueron colocados se comprobó la longitud requerida de los cables para que lleguen hasta la parte superior de la estructura donde se encuentra el Protoboard y la tarjeta Arduino, a los cuales fueron conectados los elementos mencionados siguiendo el circuito apropiado. El proceso del diseño mecánico concluye con las pruebas de funcionamiento de cada elemento por separado, esto para comprobar que estén bien conectados, que la potencia sea la adecuada y que den los valores correctos. Una vez comprobado el funcionamiento de las partes se procede a diseñar el código del sistema de control del prototipo.

Figura 16

Ensamble de los elementos en la parte superior del chasis



Diseño del sistema de control

En esta parte del proceso de diseño y construcción del prototipo se realiza principalmente la programación de la Tarjeta Arduino Mega para que se puedan observar en la pantalla LCD del equipo y en la pantalla de un ordenador los datos: Temperatura deseada (SP), Temperatura real al interior de la cabina (T), Peso real sobre la bandeja (P), y Temperatura Relativa (H).

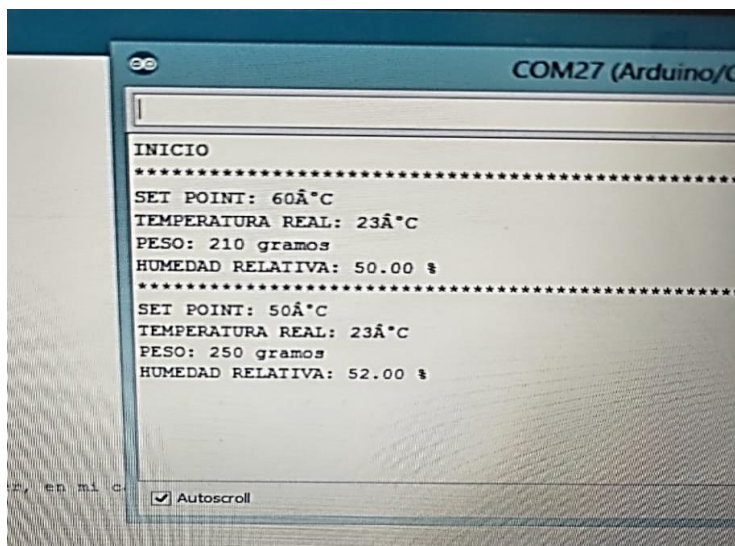
Figura 17

Lectura de los parámetros de deshidratación en la pantalla LCD del equipo



Figura 18

Lectura de los parámetros de deshidratación a través de Arduino



Modelado del funcionamiento del deshidratador

Análisis de la transferencia de calor por conducción en el producto

$$q_1 = -k_p A_p \frac{\partial T}{\partial x}$$

$$q_2 = -k_p A_p \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(-k_p A_p \frac{\partial T}{\partial x} \right) dx$$

$$q_3 = \pi d_o dx (T - T_i)$$

$$q_{acc} = \rho c_p A_p dx \frac{\partial T}{\partial t}$$

$$q_e - q_s = q_{acc}$$

$$q_1 - q_2 - q_3 = q_{acc}$$

$$-k_p A_p \frac{\partial T}{\partial x} - \left[-k_p A_p \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(-k_p A_p \frac{\partial T}{\partial x} \right) dx \right] - \pi d_o dx (T - T_i) = \rho c_p A_p dx \frac{\partial T}{\partial t}$$

$$k_p A_p \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - \pi d_o (T - T_i) = \rho c_p A_p \frac{\partial T}{\partial t}$$

$$T - T_i = \theta$$

$$k_p A_p \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} - \pi d_o \theta = \rho c_p A_p \frac{\partial \theta}{\partial t}$$

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} - \frac{\pi d_o \theta}{k_p A_p} = \frac{\rho c_p}{k_p} * \frac{\partial \theta}{\partial t}$$

$$m = \sqrt{\frac{\pi d_o}{k_p A_p}}$$

$$A_p = \frac{\pi d_o^2}{4}$$

$$\alpha = \frac{k_p}{\rho c_p}$$

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} - m^2 \theta = \frac{1}{\alpha} * \frac{\partial \theta}{\partial t}$$

Para el estado estacionario la variación de temperatura con respecto al tiempo es 0 de tal manera que:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = 0$$

Por lo tanto:

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} - m^2 \theta = 0$$

La tasa máxima de transferencia de calor en $x=0$ es:

$$q_x = 0 = -k_p A_p \left(\frac{\partial \theta}{\partial x} \right)_{x=0}$$

Resolviendo la ecuación diferencial:

$$\theta = e^{rt}$$

$$\theta' = r e^{rt}$$

$$\theta'' = r^2 e^{rt}$$

Reemplazando

$$r^2 e^{rt} - m^2 e^{rt} = 0$$

$$r^2 - m^2 = 0$$

$$r^2 = m^2$$

Por lo tanto

$$r = \pm m$$

$$\theta = C_1 e^{mx} + C_2 e^{-mx}$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial x} = m C_1 e^{mx} - m C_2 e^{-mx}$$

$$\left(\frac{\partial \theta}{\partial x} \right)_{x=0} = m C_1 e^0 - m C_2 e^{-0}$$

$$\left(\frac{\partial \theta}{\partial x} \right)_{x=0} = m C_1 - m C_2$$

$$\left(\frac{\partial \theta}{\partial x} \right)_{x=0} = m(C_1 - C_2)$$

Si:

$$q_{x=0} = -k_p A_p \left(\frac{\partial \theta}{\partial x} \right)_{x=0}$$

$$q_0 = -k_p A_p m(C_1 - C_2)$$

$$q_0 = k_p A_p m(C_2 - C_1)$$

$$\theta = C_1 e^{mx} + C_2 e^{-mx}$$

$$x = 0$$

$$\theta = \theta_0$$

$$\theta_0 = C_1 e^0 + C_2 e^0$$

$$\theta_0 = C_1 + C_2$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial x} = mC_1 e^{mx} - mC_2 e^{-mx}$$

$$\left(\frac{\partial \theta}{\partial x}\right)_{x=L} = 0 = mC_1 e^{mL} - mC_2 e^{-mL}$$

$$mC_1 e^{mL} = mC_2 e^{-mL}$$

$$C_1 e^{mL} = C_2 e^{-mL}$$

$$C_2 = C_1 e^{2mL}$$

Entonces:

$$\theta_0 = C_1 + C_1 e^{2mL}$$

$$C_1 = \frac{\theta_0}{1 + e^{2mL}}$$

Se obtiene:

$$C_2 = \frac{\theta_0}{1 + e^{2mL}} * e^{2mL}$$

$$C_2 = \frac{\theta_0}{e^{-2mL} + 1}$$

Para la expresión:

$$C_2 - C_1 = \frac{\theta_0}{e^{-2mL} + 1} - \frac{\theta_0}{1 + e^{2mL}}$$

$$C_2 - C_1 = \theta_0 \left[\frac{1}{e^{-2mL} + 1} - \frac{1}{1 + e^{2mL}} \right]$$

$$C_2 - C_1 = \theta_0 \left[\frac{1 + e^{2mL} - (e^{-2mL} + 1)}{(1 + e^{-2mL})(1 + e^{2mL})} \right]$$

Se resuelve:

$$(1 + e^{-2mL})(1 + e^{2mL}) = 2 + e^{-2mL} + e^{2mL}$$

$$(1 + e^{-2mL})(1 + e^{2mL}) = (e^{mL} + e^{-mL})^2$$

Entonces:

$$C_2 - C_1 = \theta_0 \left[\frac{e^{2mL} - e^{-2mL}}{(e^{mL} + e^{-mL})^2} \right]$$

$$C_2 - C_1 = \theta_0 \left[\frac{(e^{mL} - e^{-mL})(e^{mL} + e^{-mL})}{(e^{mL} + e^{-mL})^2} \right]$$

$$C_2 - C_1 = \theta_0 \left[\frac{e^{mL} - e^{-mL}}{e^{mL} + e^{-mL}} \right]$$

$$C_2 - C_1 = \theta_0 \tanh(mL)$$

De tal manera que se obtiene la expresión:

$$q_0 = k * A * m * \theta_0 * \tanh(mL)$$

Donde:

$$m = \sqrt{\frac{\pi d_o}{kA}}$$

Ley de Fourier

Se va analizar la conducción en la pared del deshidratador:

$$q_1 = -kA \frac{\partial T}{\partial x}$$

$$q_2 = -kA \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(-kA \frac{\partial T}{\partial x} \right) dx$$

$$q_{acc} = \rho c_p A dx \frac{\partial T}{\partial t}$$

$$q_1 - q_2 = q_{acc}$$

$$-kA \frac{\partial T}{\partial x} - \left[-kA \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(-kA \frac{\partial T}{\partial x} \right) dx \right] = \rho c_p A dx \frac{\partial T}{\partial t}$$

$$-kA \frac{\partial T}{\partial x} - \left[-kA \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(-kA \frac{\partial T}{\partial x} \right) dx \right] = \rho c_p A dx \frac{\partial T}{\partial t}$$

$$-kA \frac{\partial T}{\partial x} + kA \frac{\partial T}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} \left(-kA \frac{\partial T}{\partial x} \right) dx = \rho c_p A dx \frac{\partial T}{\partial t}$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(kA \frac{\partial T}{\partial x} \right) dx = \rho c_p A dx \frac{\partial T}{\partial t}$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) = \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t}$$

$$k \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t}$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{\rho c_p}{k} * \frac{\partial T}{\partial t}$$

Donde:

$$\alpha = \frac{k}{\rho c_p}$$

Entonces:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{1}{\alpha} * \frac{\partial T}{\partial t}$$

Donde:

$$\theta = xT$$

$$\theta' = x'T$$

$$\theta'' = x''T$$

$$\dot{\theta} = xT'$$

Se obtiene la siguiente expresión:

$$x''T = \frac{1}{\alpha} * xT'$$

$$\frac{x''}{x} = \frac{T'}{T} * \frac{1}{\alpha} = -\lambda^2$$

Entonces:

$$\frac{x''}{x} = -\lambda^2$$

$$x'' + x\lambda^2 = 0$$

$$\frac{T'}{T} * \frac{1}{\alpha} = -\lambda^2$$

$$T' + \alpha\lambda^2 T = 0$$

Donde:

$$\theta = e^{rx}$$

$$\theta' = re^{rx}$$

$$\theta'' = r^2 e^{rx}$$

Entonces:

$$r^2 e^{rx} + e^{rx} \lambda^2 = 0$$

$$r^2 + \lambda^2 = 0$$

$$r^2 = -\lambda^2$$

$$r = \pm\sqrt{\lambda}i$$

Solución de x:

$$x = A_0 e^{\sqrt{\lambda}ix} + B_0 e^{-\sqrt{\lambda}ix}$$

$$x = A \cos(\sqrt{\lambda}x) + B \sin(\sqrt{\lambda}x)$$

Donde:

$$T = e^{st}$$

$$T' = se^{st}$$

Entonces:

$$se^{st} + \alpha\lambda^2 e^{st} = 0$$

$$s + \alpha\lambda^2 = 0$$

$$s = -\alpha\lambda^2$$

Solución de T:

$$T = Ce^{-\alpha\lambda^2 t}$$

Si:

$$\theta = xT$$

Entonces:

$$\theta = (A \cos(\sqrt{\lambda}x) + B \sin(\sqrt{\lambda}x))Ce^{-\alpha\lambda^2t}$$

Esta expresión nos permite encontrar los perfiles de temperatura en estado transitorio.

Piezas y accesorios electrónicos

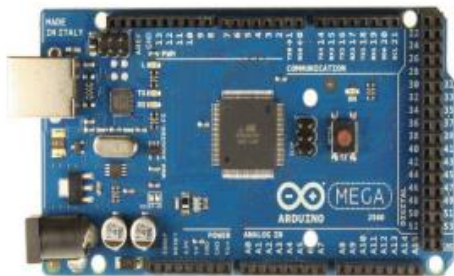
Los principales elementos para el diseño del sistema de control son los siguientes:

- Tarjeta Arduino Mega con cable USB

Como plataforma electrónica y de programación se plantea Arduino Mega debido al número de entradas y salidas tanto analógicas como digitales que permite también el control de motores de corriente directa y alterna.

Figura 19

Tarjeta Arduino Mega

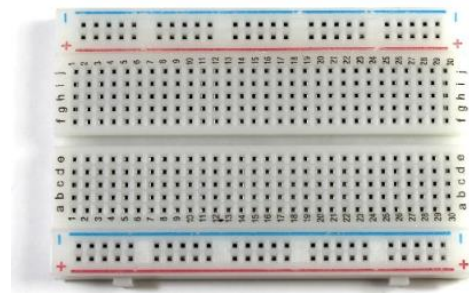


- Protoboard de media regleta

Debido a que el protoboard se utiliza comúnmente para pruebas y prototipos de circuitos, se ha de utilizar uno de media regleta tomando en cuenta los dispositivos electrónicos a los que se deben dar continuidad en el circuito.

Figura 20

Protoboard de media regleta



- Módulo Dimmer AC con detector de cruce por cero

Esta pieza permite el control regulado del voltaje entre 0 y 220V y de esta forma variar la intensidad de potencia del foco infrarrojo. Este paso se lo realiza a través del micro controlador Arduino Mega. El detector de cruce por cero indica cuando una señal cambia de polaridad, y permite ajustes del nivel de poder de la corriente eléctrica, especialmente cuando hay interrupción de corriente ya que esto podría ser dañino en aparatos digitales.

Figura 21

Módulo Dimmer AC con detector de cruce por cero



- Reloj en tiempo real RTC DS1307

El reloj que se requiere en el prototipo tiene la función de permitir la lectura de los datos en tiempo real, lo cual se ve detallado cuando el Monitor Serial del programa Arduino comienza a correr la recopilación de datos.

Figura 22

Reloj en tiempo real RTC



- Celda de carga Mack 711 de carga de 1kg

La celda de carga permite la lectura del peso que se coloque en la bandeja del deshidratador. Debe ser programada para su calibración y su respectivo uso en el proceso de deshidratación.

Figura 23

Celda de carga Mack 711



- Potenciómetro

Esta pieza permite al prototipo establecer la temperatura que se utilizará. El potenciómetro entrega valores de 0 a 5VDC, y al conectar con el Arduino en la programación se establece transformar de 35°C a 60°C. Esto debido a que para el proyecto se plantea manejar temperaturas desde los 40°C hasta los 60°C.

Figura 24

Potenciómetro

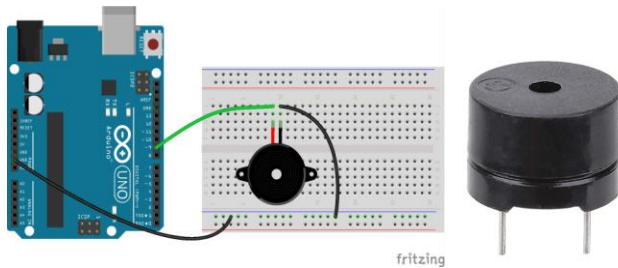


- Buzzer

También conocido como zumbador es un pequeño transductor que permite convertir la energía eléctrica en sonido. Para el prototipo de deshidratador su función está relacionada con los avisos para la calibración de la balanza.

Figura 25

Buzzer



- Pulsadores

Estos dispositivos tan pequeños que cumplen la función de un interruptor, son los responsables de permitir o interrumpir la corriente eléctrica y solo funciona mientras se lo mantiene presionado. Para el deshidratador se requieren dos pulsadores: uno para activar la calibración de la celda de carga y otro para dar inicio al proceso de deshidratación en la cabina.

Figura 26

Pulsador



- Resistencia 330 ohms

Las resistencias tienen varios usos, que pueden ser, limitar la corriente de un LED, divisor de voltaje, disipar la potencia en circuitos eléctricos y otros. Para el caso del proyecto se requiere de una resistencia la cual cumple la función de

Figura 27

Resistencia 330 ohms



- LCD I2C 16x2

La pantalla LCD tiene la función de mostrar los datos del equipo según la configuración que se haya realizado. En este caso se requiere de una pantalla LCD de 16x2cm la cual debe mostrar los principales datos de temperatura, peso y humedad.

Figura 28

Pantalla LCD

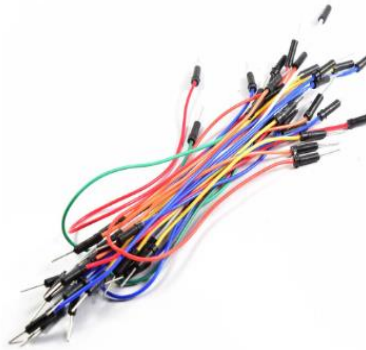


- Cables de conexión

Los cables Duppont se utilizan principalmente como cables puente en protoboards y para interconectar tarjetas de desarrollo con sensores, modulos, actuadores, etc.

Figura 29

Cables de conexión



- Cable con enchufe para 110VAC

Este cable con su contacto a tierra evita que la corriente eléctrica produzca daños durante su uso. Se caracteriza por tener 3 ranuras en el conector hembra y 3 clavijas en el conector macho.

Figura 30

Cable con enchufe para 110VAC



- Boquilla de cerámica

La boquilla de cerámica tiene una alta resistencia al desgaste y soportan temperaturas elevadas, razones por las que se ha elegido este tipo de boquilla donde se ha de colocar el foco infrarrojo.

Figura 31

Boquilla de cerámica



- Sensor de temperatura LM35

Su salida es analógica, es decir, proporciona un voltaje proporcional a la temperatura. Este tipo de sensor tiene un rango desde -55°C a 150°C. Se lo elige por la facilidad con la que se puede medir la temperatura con este diminuto dispositivo.

Figura 32

Sensor de temperatura LM35

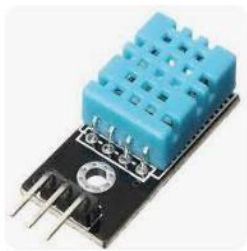


- Sensor de humedad DHT11

Utiliza un sensor capacitivo de humedad relativa de bajo costo y fácil uso. Está integrado por un capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire circundante. Y sus datos se muestran mediante una señal digital en el pin de datos.

Figura 33

Sensor de humedad DHT11



- Ventilador extractor 110V AC

Ideal para proyectos donde se requiera extraer aire o ventilar un espacio cerrado. Son fabricados con material de alta resistencia, durabilidad y operación silenciosa. Para el deshidratador se requiere uno el cual ha de ser colocado en la parte posterior de la cabina.

Figura 34

Ventilador extractor 110 VAC



Programación de la tarjeta Arduino Mega

El proceso de programación de la tarjeta Arduino comienza con una lectura de la señal de la corriente alterna de los 110V y muestrear cada vez que esta onda senoidal pasa por cero. Cada que vez que se da una lectura por cero se realiza un conteo de tiempo para poder accionar o desactivar el Triac o módulo Dimmer. Esto con respecto a la parte de control de potencia.

En cuanto al control PID, dentro del código hay fórmulas donde se realizan operaciones básicas para obtener la salida PID que luego es transformada a un rango de potencia. Todos los datos que se ingresan en esta parte de la programación se imprimen en la pantalla. Se realiza además la lectura de los sensores de temperatura y humedad y las comparaciones, comprobando la lectura del reloj en tiempo real para saber si el momento en el que se imprimen los mensajes es el correcto.

En el Anexo 1 se puede observar capturas de la programación realizada con Arduino para el proceso de deshidratación de la naranja.

Programación de los sensores

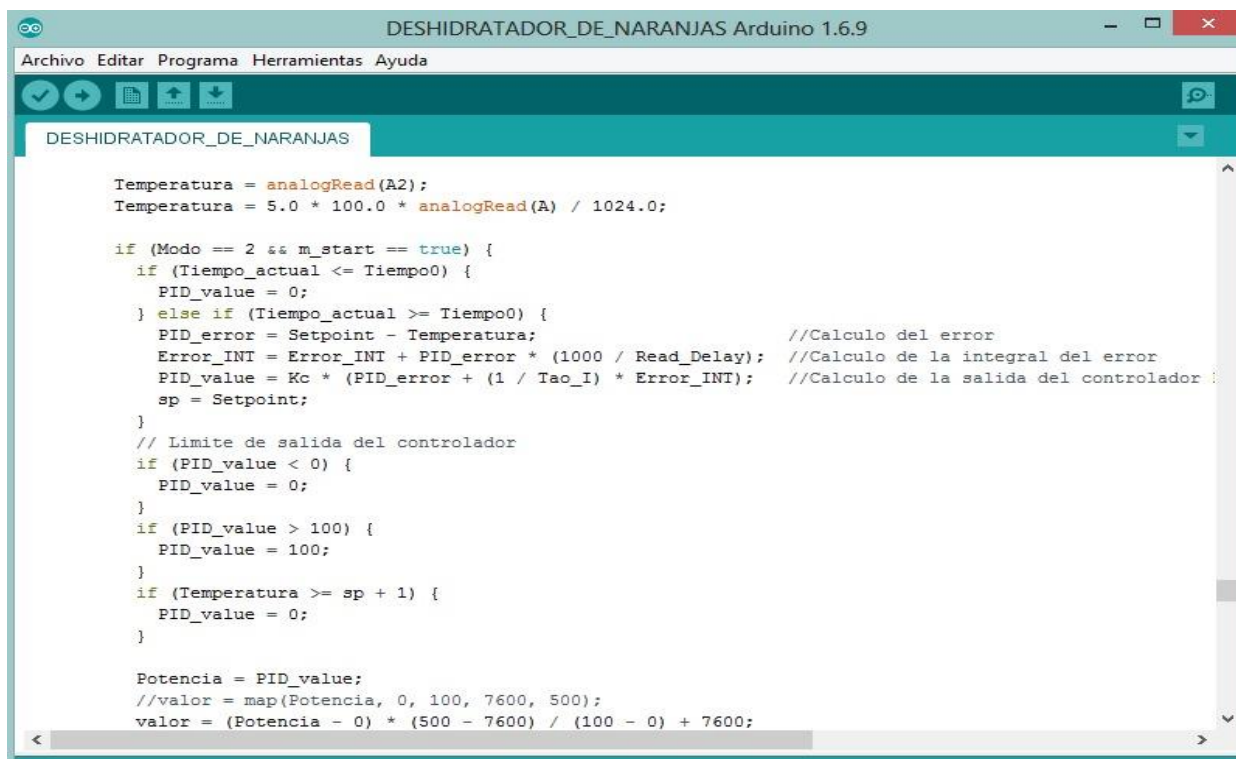
Sensor de temperatura

El sensor de temperatura entrega valores de voltaje al Arduino y es capaz de medir desde -55°C hasta 150°C . Como primer paso se debe descargar las librerías de Adafruit e instalarlas en el directorio Libraries de la instalación de Arduino.

Para el sensor de temperatura LM35 la salida de tensión será de $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$. El convertidor ADC de la placa Arduino tiene una resolución de 10bits, lo que da un rango de lectura de 0 a 1023, que por lo general la referencia de voltaje por defecto de la placa asocia 0 con GND y 1023 con 5V.

En el código se introduce una cláusula `#if` que se selecciona de acuerdo al valor del sensor que se va a usar. Para el caso del sensor LM35 es `#if 1`.

Figura 35

Programación del sensor de temperatura


```

DESHIDRATADOR_DE_NARANJAS Arduino 1.6.9
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
DESHIDRATADOR_DE_NARANJAS

Temperatura = analogRead(A2);
Temperatura = 5.0 * 100.0 * analogRead(A) / 1024.0;

if (Modo == 2 && m_start == true) {
  if (Tiempo_actual <= Tiempo0) {
    PID_value = 0;
  } else if (Tiempo_actual >= Tiempo0) {
    PID_error = Setpoint - Temperatura; //Calculo del error
    Error_INT = Error_INT + PID_error * (1000 / Read_Delay); //Calculo de la integral del error
    PID_value = Kc * (PID_error + (1 / Tao_I) * Error_INT); //Calculo de la salida del controlador
    sp = Setpoint;
  }
  // Limite de salida del controlador
  if (PID_value < 0) {
    PID_value = 0;
  }
  if (PID_value > 100) {
    PID_value = 100;
  }
  if (Temperatura >= sp + 1) {
    PID_value = 0;
  }

  Potencia = PID_value;
  //valor = map(Potencia, 0, 100, 7600, 500);
  valor = (Potencia - 0) * (500 - 7600) / (100 - 0) + 7600;

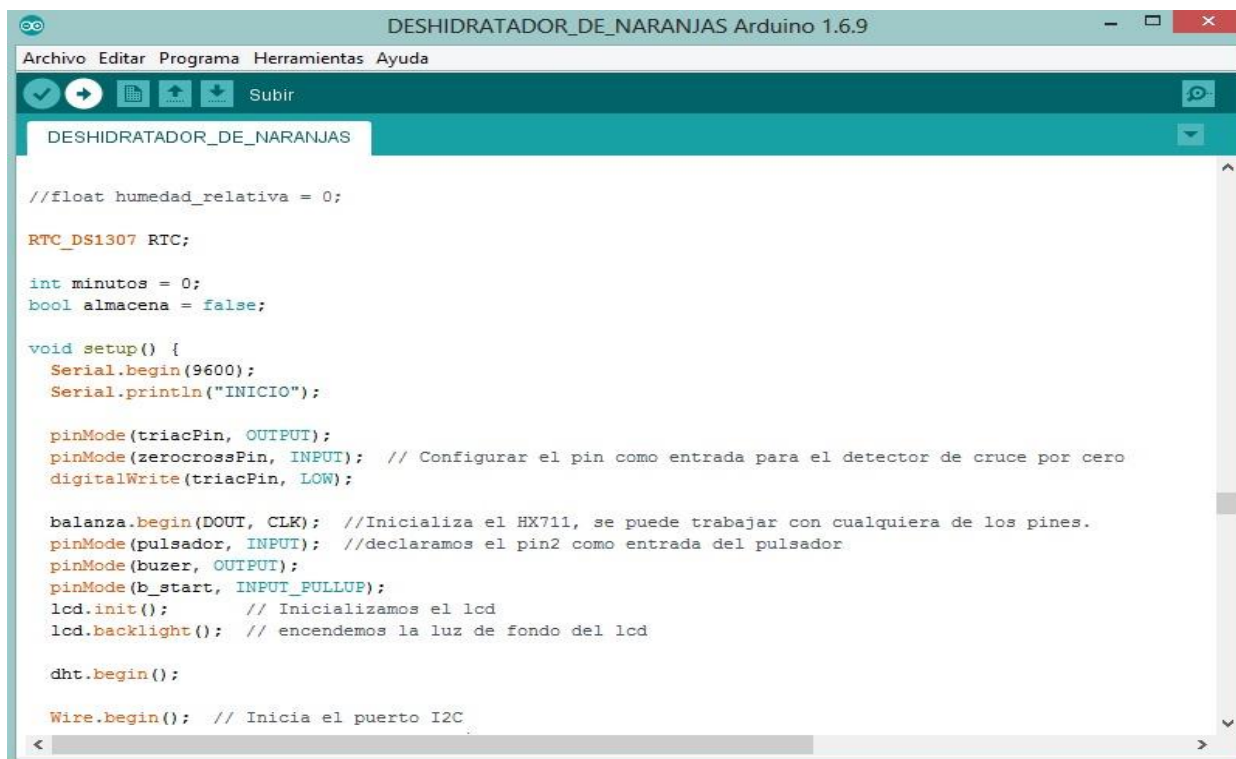
```

Sensor de humedad

El procedimiento de programación del sensor DHT11 se inicia también con la instalación de las librerías de Adafruit. Luego se define dos constantes, una indica el pin donde ha conectado el sensor y otra para indicar el tipo de sensor, DHT11. En la función `setup()` se inicia el monitor serie y el objeto `dht` con la secuencia `begin()`.

La humedad se obtiene llamando a la función `readHumidity()`. Finalmente la información que se proporcione se debe comprobar con la sentencia `isnan(...)`. Esto da verdadero si no es un número (`isnan`, Is Not a Number) y falso en caso contrario.

Figura 36

Programación del sensor de humedad


```

DESHIDRATADOR_DE_NARANJAS Arduino 1.6.9
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
Subir
DESHIDRATADOR_DE_NARANJAS

//float humedad_relativa = 0;

RTC_DS1307 RTC;

int minutos = 0;
bool almacena = false;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("INICIO");

  pinMode(triacPin, OUTPUT);
  pinMode(zeroCrossPin, INPUT); // Configurar el pin como entrada para el detector de cruce por cero
  digitalWrite(triacPin, LOW);

  balanza.begin(DOUT, CLK); //Inicializa el HX711, se puede trabajar con cualquiera de los pines.
  pinMode(pulsador, INPUT); //declaramos el pin2 como entrada del pulsador
  pinMode(buzer, OUTPUT);
  pinMode(b_start, INPUT_PULLUP);
  lcd.init(); // Inicializamos el lcd
  lcd.backlight(); // encendemos la luz de fondo del lcd

  dht.begin();

  Wire.begin(); // Inicia el puerto I2C

```

Programación de la celda de carga

Básicamente lo primero que se debe realizar es hallar el valor de la escala que se usará, es decir, hallar el factor de conversión para transformar el valor de lectura en un valor con unidades de peso, que en este caso es gramos (g).

Se debe conseguir un objeto cuyo peso esté dentro del rango de trabajo de la celda de carga (0g a 1kg), y se determina su peso real mediante el uso de balanza digital, en este caso se ha utilizado un objeto que pesa 170g. Este valor que se procede a registrar en los datos que se cargan en el Arduino 1.6.9, es el que servirá de referencia para realizar la calibración de la balanza.

La celda de carga cumple con la función de mostrar el peso inicial de la muestra en la bandeja, indicar el peso de la naranja mientras se deshidrata, y también dar por terminado el

proceso de deshidratación. Para esta última función se debe ingresar en el Arduino el peso en el que el proceso de deshidratación debe dar por finalizado, que para el caso del presente proyecto es 35g.

Se debe recalcar que los datos a ingresar en el Arduino se determinaron tomando en cuenta la información referenciada en los parámetros de diseño térmico, en los cuales se determina que el peso final de un alimento deshidratado debe estar relacionado con el porcentaje de humedad relativa aprobada por el Codex Alimentarius de la FAO.

Es decir que cuando se registre un peso de 35g a través de la celda de carga, el foco infrarrojo deja su encendido permanente y procede a parpadear, indicando que la temperatura descendió y que se debe proceder a desconectar y a retirar el producto deshidratado de la bandeja.

Figura 37

Programación de la celda de carga

```
#include "HX711.h"

const int DOUT=A1;
const int CLK=A0;

HX711 balanza;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  balanza.begin(DOUT, CLK);
  Serial.print("Lectura del valor del ADC: ");
  Serial.println(balanza.read());
  Serial.println("No ponga ningun objeto sobre la balanza");
  Serial.println("Destarando...");
  Serial.println("...");
  balanza.set_scale(439430.25); // Establecemos la escala
  balanza.tare(20); //El peso actual es considerado Tara.

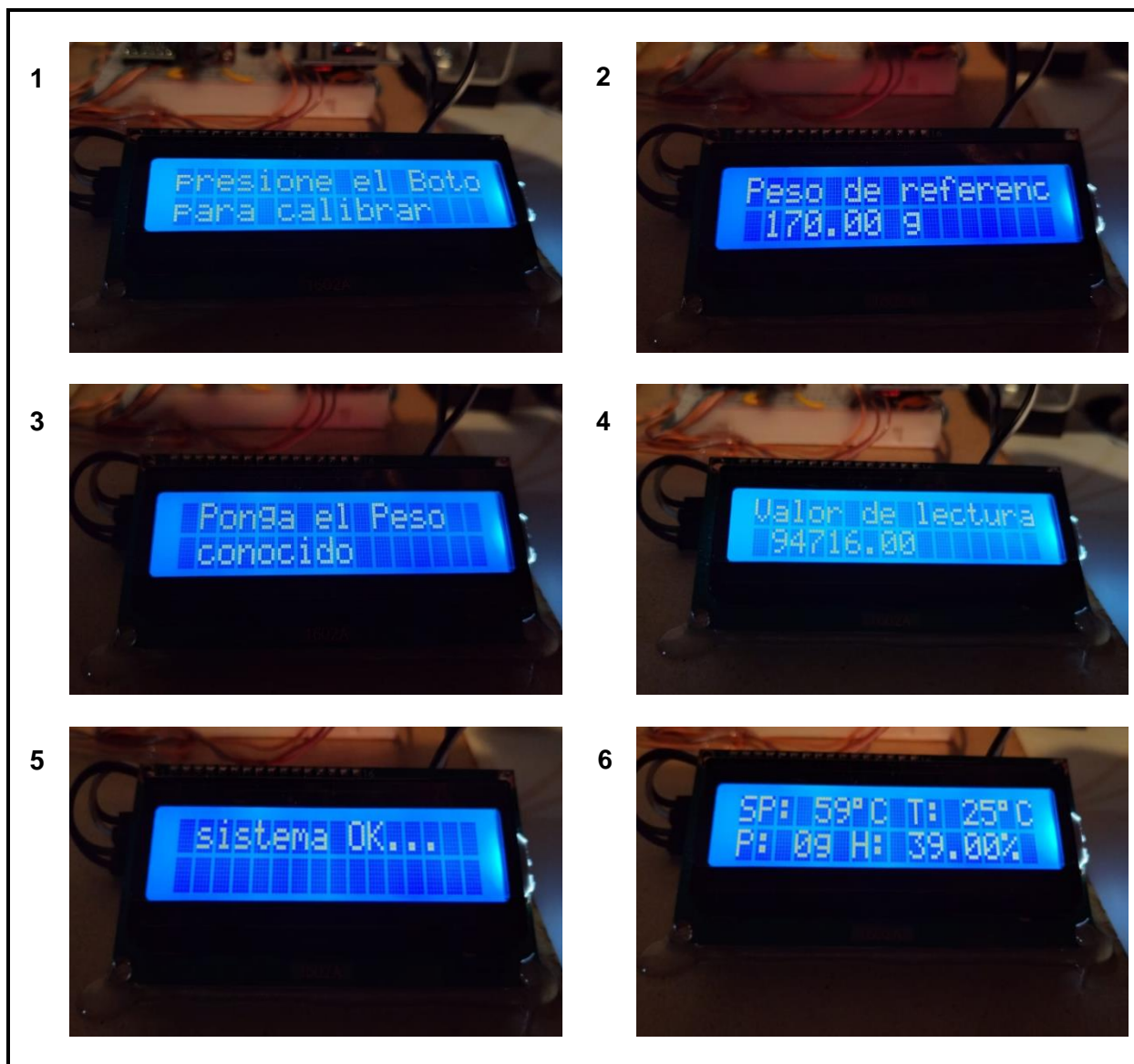
  Serial.println("Listo para pesar");
}

void loop() {
  Serial.print("Peso: ");
  Serial.print(balanza.get_units(20),3);
  Serial.println(" kg");
  delay(500);
}
```

Calibración de la celda de carga

En la tarjeta Arduino se programó la celda de carga para usar un peso referencial y de esta manera poder calibrar la balanza. Para este paso lo primero que se debe hacer es conectar el cable de datos de la tarjeta Arduino a la computadora, después abrir la opción "Monitor Serie" desde el programa Arduino 1.6.9. En la pantalla LCD se muestra como primer mensaje "Presione el botón para calibrar", el botón corresponde a uno de los pulsadores que envían una señal para indicar los siguientes mensajes que son:

- "Peso referencial 170.00g"
- Luego "ponga el peso conocido": en este momento debemos colocar el objeto que pese 170g
- Inmediatamente después de comprobar que el valor referencial de peso coincide con el valor del peso colocado en la bandeja aparece el mensaje "valor de lectura"
- Solicita "retire el objeto" y posteriormente aparece el mensaje "sistema OK"
- Finalmente, en la pantalla LCD se muestran los parámetros de temperatura deseada (SP), temperatura real (T), peso colocado en la bandeja (P) y humedad relativa (H).

Figura 38*Calibración de la celda de carga*

Capítulo IV

Implementación: pruebas y análisis de resultados

Preparación de la muestra

- Seleccionar naranjas de un tamaño similar es el primer paso. Se lava las naranjas y se procede a pelarlas para retirar la cáscara. Esto debido a que el deshidratado provoca que la cascara sea más amarga y más dura de lo normal. (Cabascango, 2018)

Figura 39

Naranja Valencia



- Cortar las naranjas en rodajas de aproximadamente 5mm de espesor es el siguiente paso. Se procede a reservarlas en un recipiente para posteriormente calcular el peso que se requiere colocar en la bandeja.

Figura 40

Naranjas peladas y cortadas en rodajas de 5mm



Preparación del prototipo para realizar las pruebas

- Primero, en la computadora se abre Arduino 1.6.9 con la respectiva programación realizada para la deshidratación de naranja. Una vez cargado el programa se procede a conectar la computadora con la tarjeta Arduino Mega a través del cable de datos. Esto permite que el equipo esté listo para calibrar la balanza.

Figura 41

Preparación del prototipo para hacer pruebas



- Una vez calibrada la balanza como se indica en la Programación de sensores del Capítulo III, se procede a colocar 250g de naranja en la bandeja.

Figura 42

Colocación de 250g de naranja en la bandeja



- Finalmente, ya que se haya comprobado que el peso en la bandeja es el requerido, se conecta a energía eléctrica el prototipo, y a través de uno de los pulsadores se da inicio al proceso de deshidratación. Esto se puede verificar observando que el foco infrarrojo se enciende y los datos en la pantalla LCD muestran los respectivos datos.

Figura 43

Encendido del foco infrarrojo e inicio del proceso de deshidratación



Cálculo del número de pruebas a realizar

Para conocer el número de pruebas que se debe realizar se toma la siguiente expresión:

$$\#ensayos = 3^n$$

Donde:

$\#ensayos = \text{número de ensayos}$

$n = \text{número de variables que intervienen en el ensayo} = 2$

$$\#ensayos = 3^2$$

$$\#ensayos = 9$$

El número de pruebas a realizar son 9 con cada opción que se plantee. En este caso son 3 opciones: T1 40°C, T2 50°C y T3 60°C, por lo tanto, el número de pruebas son 27.

Pruebas de deshidratación de rodajas de naranja

La realización de pruebas de funcionamiento de un equipo, para lo cual fue diseñado y construido, es la parte que permite recopilar datos para analizarlos y llegar a las conclusiones y recomendaciones necesarias sobre los resultados obtenidos. Los datos son aquellas cifras u observaciones que se registran durante el proceso de prueba, y los resultados obtenidos son la interpretación de los datos (análisis).

Para el presente proyecto los datos son los valores de temperatura deseada (SP), temperatura real (T), peso (P) y humedad relativa (H) que se registran en el Arduino. Y el análisis de resultados corresponde a la descripción e interpretación de cada tabla y gráfico donde constan los datos.

Recomendaciones para la toma y registro de datos

De acuerdo a investigaciones realizadas con respecto a deshidratación de frutas, se recomienda realizar la toma de datos y verificación del estado del producto cada 15 minutos.

En cada revisión podría ser necesario cambiar de lugar y/o voltear las rodajas de naranja, con la finalidad de revisar si la radiación IR se refleja en toda la cabina, así como también controlar que todo el producto se deshidrate de forma homogénea.

Recopilación de datos aplicando 40°C, 50°C y 60°C

Tomando en cuenta el número de pruebas que se deben realizar, que son 9 con cada temperatura, se determina el siguiente orden de pruebas:

- Bloque 1: 9 pruebas con 250g de naranja a 60°C (T3)
- Bloque 2: 9 pruebas con 250g de naranja a 50°C (T2)
- Bloque 3: 9 pruebas con 250g de naranja a 40°C (T1)

Tabla 5

Pruebas de deshidratación de 250g de naranja a 60°C con respecto al peso

	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6	Prueba 7	Prueba 8	Prueba 9
Tiempo (min)	Peso (g)	Peso (g)	Peso (g)	Peso (g)	Peso (g)	Peso (g)	Peso (g)	Peso (g)	Peso (g)
0	250	250	250	250	250	250	250	250	250
15	229	233	231	229	230	230	229	229	230
30	215	216	217	215	215	216	217	215	215
45	202	203	203	200	203	200	202	201	200
60	185	185	186	185	186	185	184	187	185
75	171	170	172	171	172	170	172	171	171
90	156	155	155	154	155	157	156	155	156
105	142	141	143	142	141	142	142	143	142
120	130	128	129	130	128	130	128	129	130
135	113	113	114	112	113	111	114	113	113
150	98	98	97	98	97	97	98	96	97
165	80	81	80	82	80	80	81	82	80
180	66	65	65	66	67	65	65	66	65
195	53	53	54	54	53	54	52	53	53
210	46	47	45	45	46	47	45	46	46
225	40	40	38	39	40	40	40	39	39
240	35	36	34	35	35	35	34	34	35

Figura 44

Pruebas de deshidratación de 250g de naranja a 60°C con respecto al peso

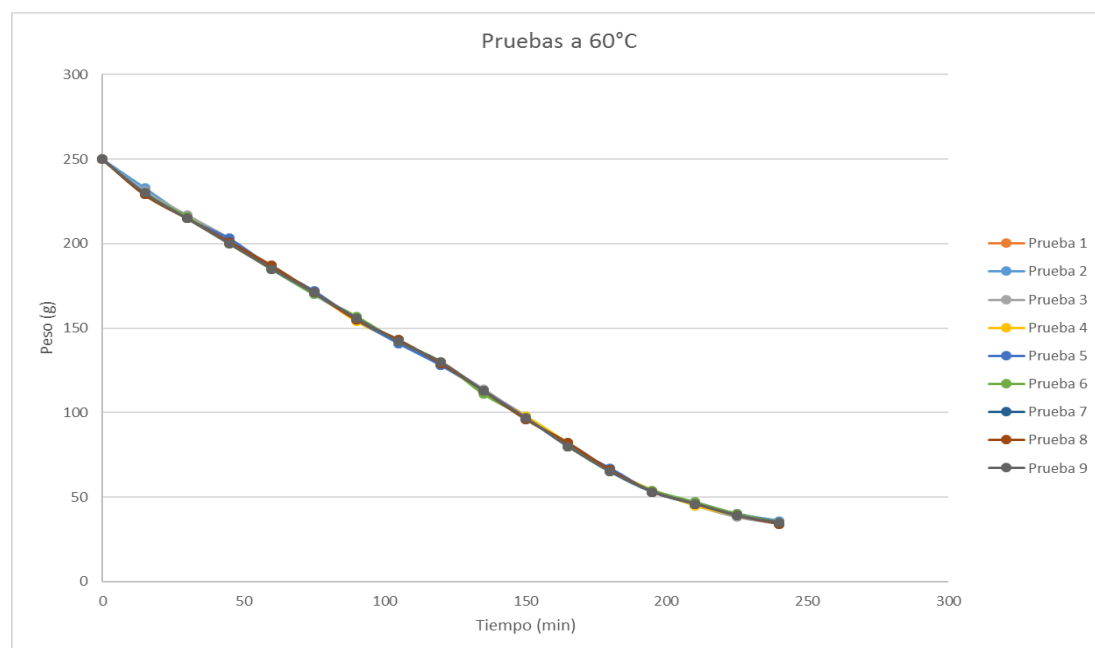


Tabla 7

Pruebas de deshidratación de 250g de naranja a 50°C con respecto al peso

	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6	Prueba 7	Prueba 8	Prueba 9
Tiempo (min)	Peso (g)	Peso (g)	Peso (g)	Peso (g)	Peso (g)	Peso (g)	Peso (g)	Peso (g)	Peso (g)
0	250	250	250	250	250	250	250	250	250
15	234	233	233	233	234	234	233	234	234
30	220	220	219	219	219	220	221	220	219
45	208	209	209	210	208	208	210	209	209
60	196	196	195	195	194	196	197	195	196
75	184	184	183	185	184	184	185	185	183
90	173	173	174	175	174	174	173	173	173
105	160	159	159	160	158	161	159	160	160
120	147	146	146	145	146	146	147	147	147
135	134	132	133	133	134	134	132	133	134
150	122	120	121	121	122	122	123	120	120
165	111	111	110	109	112	112	110	111	111
180	101	100	100	102	102	99	100	101	101
195	89	88	89	90	90	88	87	89	89
210	79	79	78	78	78	80	79	80	78
225	71	71	70	69	70	72	71	70	71
240	64	64	65	64	66	64	63	65	64
255	59	60	59	59	58	60	59	59	60
270	54	54	53	52	55	54	55	53	54
285	49	48	47	50	49	49	48	48	50
300	43	42	43	42	43	42	43	44	43
315	40	39	40	39	40	39	39	40	40
330	37	36	36	35	36	34	35	36	37

Figura 46

Pruebas de deshidratación de 250g de naranja a 50°C con respecto al peso

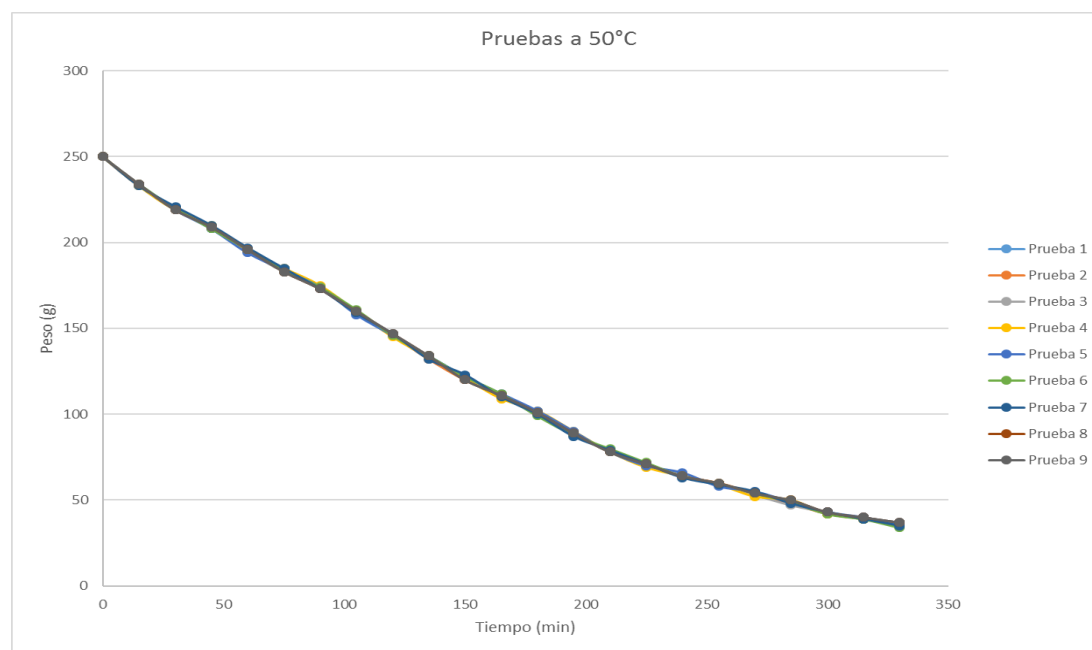


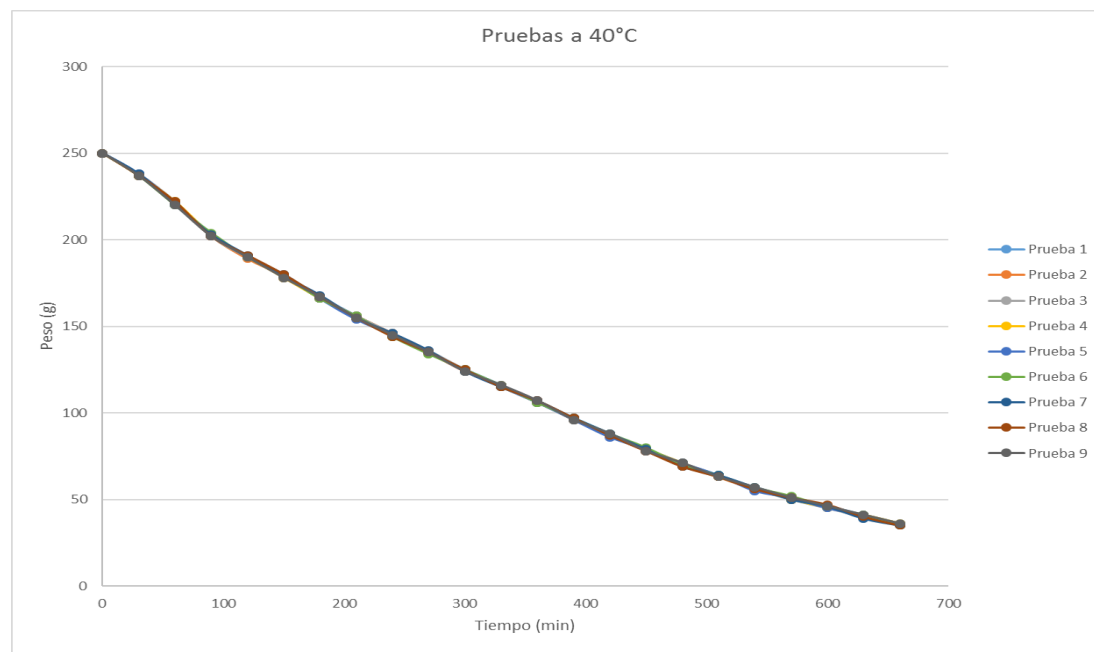
Tabla 9

Pruebas de deshidratación de 250g de naranja a 40°C con respecto al peso

	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6	Prueba 7	Prueba 8	Prueba 9
Tiempo (min)	Peso (g)	Peso (g)	Peso (g)	Peso (g)	Peso (g)	Peso (g)	Peso (g)	Peso (g)	Peso (g)
0	250	250	250	250	250	250	250	250	250
30	238	237	238	237	238	237	238	237	237
60	220	221	222	222	221	220	221	222	220
90	203	202	202	203	203	204	203	202	202
120	190	189	190	190	190	190	191	191	190
150	179	179	180	178	180	179	179	180	178
180	167	166	167	166	166	166	168	167	167
210	156	156	156	155	154	156	155	155	155
240	145	146	146	145	145	144	146	144	145
270	135	135	136	135	135	134	136	135	135
300	125	124	125	124	124	125	124	125	124
330	116	116	115	115	115	116	115	115	116
360	107	107	106	106	106	106	107	107	107
390	97	96	97	96	96	97	97	97	96
420	88	87	87	87	86	88	88	87	88
450	79	78	79	79	79	80	79	78	78
480	71	70	71	71	71	70	69	69	71
510	63	63	64	63	64	64	64	63	63
540	57	56	56	56	55	57	57	56	57
570	51	51	50	50	51	52	50	51	51
600	46	46	45	45	45	46	46	47	46
630	41	41	40	41	41	41	39	40	41
660	36	36	35	36	35	35	35	35	36

Figura 48

Pruebas de deshidratación de 250g de naranja a 40°C con respecto al peso



Recopilación de datos aplicando 40°C, 50°C y 60°C en una misma prueba

Después de haber realizado pruebas utilizando cada temperatura por separado, se consideró que al regular las temperaturas en una misma prueba, empezando por aplicar 60°C, después 50°C y finalmente 40°C, se podría contar con más información para determinar cuál sería el procedimiento idóneo de deshidratación.

- Prueba 1: 110g a 60°C, 60g a 50°C, y 45g a 40°C.
- Prueba 2: 120g a 60°C, 75g a 50°C, y 20g a 40°C.
- Prueba 3: 125g a 60°C, 70g a 50°C, y 20g a 40°C.

Tabla 11

Aplicación de 60°C, 50°C y 40° en una misma prueba

	Prueba 1			Prueba 2			Prueba 3		
Temperatura	60°C	50°C	40°C	60°C	50°C	40°C	60°C	50°C	40°C
Peso	110g	60g	45g	120g	75g	20g	125g	70g	20g
Tiempo	1h 5min	1h 15min	2h 10min	1h 20min	1h 30min	1h 15min	1h 25min	1h 25min	1h 10min

	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
Peso final	36g	36g	35g
Tiempo total	4h 30min	4h 5 min	4 horas

Análisis de resultados

En este punto se proporciona una interpretación de los datos que se encuentran recopilados y presentados en las tablas y figuras, juntamente con la descripción de lo observado en las pruebas de deshidratación de 250g de rodajas de naranja.

Deshidratación de 250g de naranja a 60°C (T3)

A 60°C el proceso de deshidratación se realiza en aproximadamente 4 horas. Es la temperatura con la que más rápido se obtiene el producto deshidratado. En la Tabla 5 se puede

observar que en los primeros 60 minutos pierde en promedio 65g, en la siguiente hora el peso de la muestra es 120g menos de su peso inicial y culmina el proceso de deshidratación con un peso final de 35g con una humedad relativa final del 12%.

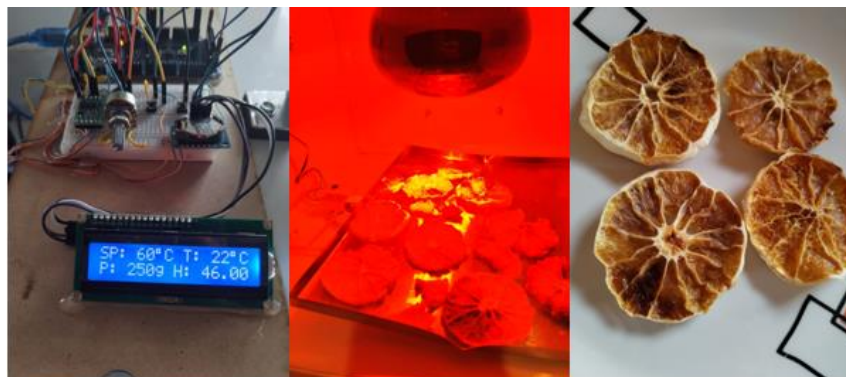
Con respecto a la verificación del estado de la de naranja durante el proceso de deshidratación se observó que, es necesario cambiar de lugar a las rodajas y/o a su vez darles la vuelta, ya que la superficie que está expuesta es la que más rápido muestra signos de resequead. Sin embargo, conforme avanza el tiempo de deshidratación, se pudo evidenciar que la eliminación de agua ocurre por igual en cada parte de las rodajas de naranja.

Se pudo determinar además que a 60°C en caso de no supervisar el proceso de deshidratación el producto podría estropearse sufriendo quemaduras, ya que esta temperatura ha demostrado que se puede contar con proceso rápido, pero no sería la más adecuada.

Es necesario también mencionar que conforme el producto perdía peso el foco funcionó de manera intermitente, esto como parte de la programación del Arduino con respecto a la celda de carga y a los sensores de humedad y temperatura. Conforme disminuye el peso se requiere que la potencia del foco también disminuya, por consiguiente, la temperatura también va a disminuir, y esto se debe a que si la potencia de irradiación infrarroja se mantuviese al mismo nivel en todo el proceso el producto se daña.

Figura 50

Pruebas de deshidratación de 250g de naranja a 60°C



Deshidratación de 250g de naranja a 50°C (T2)

Con una temperatura de 50°C el proceso de deshidratación se realiza en aproximadamente 5 horas 30 minutos. Como es de esperarse con esta temperatura el proceso dura más de tiempo y durante los primeros 60 minutos perdió en promedio 55g como se puede observar en la Tabla 7. En algunas de estas pruebas la intermitencia del foco infrarrojo se generó con menos frecuencia que en las pruebas a 60°C, debido a la misma razón ya expuesta, que es controlar la potencia del foco para que la temperatura en la cabina no supere los parámetros requeridos.

Con respecto a la verificación del estado de la de naranja durante el proceso de deshidratación se observó que a 50°C también es necesario cambiar de lugar a las rodajas y/o a su vez darles la vuelta, pero ya no cada 15 minutos sino cada 20 o 25 minutos.

Se determinó además que a 50°C con la velocidad que se deshidrata la muestra no corre riesgo de quemarse. Sin embargo, no se debe dejar el producto deshidratándose sin la supervisión respectiva.

Estas pruebas determinaron que es posible llegar a un peso final de 36g, con una humedad relativa final de 12%.

Figura 51

Pruebas de deshidratación de 250g de naranja a 50°C



Deshidratación de 250g de naranja a 40°C (T1)

Con la aplicación de radiación infrarroja a 40°C se registró ser necesarias 10 horas 30 minutos aproximadamente para deshidratar 215g de naranja. A simple vista la naranja deshidratada a 40°C es la que mejores características organolépticas posee, debido a que en el producto final no hay manchas por quemaduras y también se puede ver la cristalización de la pulpa casi del mismo color que el de la naranja en su estado natural. Lo que quiere decir que la temperatura de 40°C sería la más recomendable, de no ser porque el proceso lleva demasiado tiempo. Esto se puede verificar mediante la Tabla 9 donde consta que en los primeros 60 minutos pierde 30g en promedio.

Con respecto a la intermitencia del foco, esta ocurre con menor frecuencia que con T3 y T2 debido principalmente, a que la cantidad de humedad varía a una velocidad muy baja, lo que quiere decir que no necesita regular cada cierto tiempo la potencia del foco IR y la temperatura se mantiene entre 39°C y 40°C.

Con respecto a la verificación del estado de la de naranja durante el proceso de deshidratación, también es necesario cambiar de lugar a las rodajas y/o darles la vuelta, pero cada 30 o 40 minutos. Las pruebas determinaron que a 40°C se cuenta con un peso final de 35g aproximadamente y una humedad relativa promedio del 12%.

Figura 52

Pruebas de deshidratación de 250g de naranja a 40°C



En la siguiente tabla se muestra el resumen de los principales datos recopilados (peso final, tiempo, y humedad relativa final) de las pruebas realizadas aplicando cada temperatura desde el inicio hasta el final de cada proceso:

Tabla 12

Resultados aplicando 40°C, 50°C y 60°C por separado

	40°C	50°C	60°C
Peso final	35g	36g	35g
Tiempo	10h 30min	5h 30min	4 horas
Humedad relativa final	12%	12%	12%

Deshidratación de 250g de naranja regulando 60°C, 50°C y 40°C, en una misma prueba

Se decidió realizar pruebas utilizando cada temperatura para deshidratar un gramaje determinado, empezando por la temperatura más fuerte que es T3 60°C, luego aplicando T2 50°C y finalmente T1 40°C, hasta obtener 35g como peso final. Se consideró aplicar las tres temperaturas en ese orden debido a que, a 60°C por ser la temperatura más fuerte se puede aprovechar para eliminar la mayor cantidad de agua de las rodajas de naranja en el periodo de tiempo más corto de todo el proceso. La temperatura de 50°C se aplica después ya que continúa deshidratando la naranja a una velocidad considerable pero también cuida de que el producto no se queme. Y finalmente se aplica la tempera de 40°C ya ésta permite eliminar la humedad a una velocidad constante y le brinda al producto las características deseadas para culminar con el proceso de deshidratación.

- Prueba 1: 110g a 60°C, 60g a 50°C, y 45g a 40°C.

Aplicando 60°C a los primeros 110g a deshidratar, la prueba se realizó en 1 hora 5 minutos. Inmediatamente se aplicó 50°C a los siguientes 60g a deshidratar, lo cual se logró en

1 hora 15 minutos. Finalmente se aplicó 40°C a los restantes 45g a deshidratar, y se logró en 2 horas 10 minutos.

Es decir que regulando la temperatura de esta manera se logra un proceso de deshidratado, con 36g de peso final y 12% de humedad relativa final, en 4 horas 30 minutos aproximadamente. Las características de la naranja deshidratada son similares a las pruebas aplicando 40°C de temperatura.

- Prueba 2: 120g a 60°C, 75g a 50°C, y 20g a 40°C.

Con la anterior prueba se observó que se debe disminuir los gramos a deshidratar a 40°C ya que es la temperatura que más tarda en deshidratar. Por ende, se aplicó 60°C a 120g de naranja, lo cual se logró en 1 hora 20 minutos. Luego se aplicó 50°C a 75g, lo cual se logró en 1 hora 30 minutos. Y se aplicó 40°C a 20g lo cual se logró en 1 hora 15 minutos.

El proceso total de deshidratación en este caso duró 4 horas 5 minutos con un peso final de 36g y humedad relativa final del 13%.

- Prueba 3: 125g a 60°C, 70g a 50°C, y 20g a 40°C.

Observando las dos pruebas anteriores se determinó que, sería más eficiente si se deshidrata 125g a 60°C debido a que hasta esa cantidad con esa temperatura las rodajas de naranja se deshidratan sin señales de que se puedan quemar.

Por tanto, se procede a deshidratar 125g a 60°C lo cual se obtuvo en 1 hora 25 minutos. Seguido se deshidrató 75g a 50°C lo cual se obtuvo en 1 hora 25 minutos. Finalmente se deshidrató 20g a 40°C lo cual se logró en 1 hora 10 minutos. Determinando así que se requiere 4 horas para llegar a un peso final de 35g y humedad relativa final del 12%. Siendo así, este el proceso más eficiente de todos los evaluados.

Figura 53

Deshidratación de 250g de naranja regulando 60°C, 50°C y 40°C

**Costos de diseño y construcción del prototipo**

Dentro de los costos de diseño y construcción del prototipo de deshidratador infrarrojo se toma en cuenta los costos directos que son los materiales utilizados, los costos indirectos que son aquellos que intervienen tanto en el desarrollo de la investigación como en el diseño y realización de pruebas, materia prima que en este caso es la naranja, y mano de obra conformada por quienes participaron en el desarrollo de la investigación y brindando asesoría.

Costos directos

Los costos directos del proyecto son aquellos que intervienen netamente en la construcción del prototipo. Los cuales dan un total de \$140,00 dólares americanos.

Tabla 13

Costos directos

Materiales	Cantidad		Precio
Tarjeta Arduino Mega con cable USB	1	unidad	12
Protoboard de media regleta	1	unidad	2,5
Módulo Dimmer AC con detector de cruce por cero	1	unidad	20
Reloj en tiempo real RTC DS1307	1	unidad	2
Mack 711 con celda de carga de 1kg	1	unidad	15
Potenciómetro	1	unidad	1
Buzzer	1	unidad	1
Pulsadores	2	unidades	2
Resistencia 330ohm	3	unidades	1,5
LCD i2c 16*2	1	unidad	8
Cables de conexión	1	paquete	1,75
Boquilla	1	unidad	1
Cable con enchufe para 100VAC	1	unidad	5,5
Sensor LM35	1	unidad	2
Sensor DHT11	1	unidad	2,25
Ventilador extractor	1	unidad	7,5
Foco infrarrojo	1	unidad	35
Bandeja de acero quirúrgico 430 de 0,4mm	1	unidad	2,5
Tabla triplex A3	1	unidad	1
Tornillos, tuercas y arandelas	1	varios	1
Cautin	1	unidad	3,5
Estaño	1	unidad	2
Base de acrilico A4	1	unidad	2
Otro elementos secundarios	1	varios	8
Chasis de microondas reciclado	1	unidad	0
		SUBTOTAL	140

Costos indirectos

En la Tabla 13 se observa que el Software Arduino y la balanza digital no tienen un costo referencial, esto se debe a que son elementos existentes en la empresa Grupo Gorrión, y en cuanto al costo de servicios básicos se realizó una relación entre el valor de consumo habitual de la empresa con el consumo que se generó durante el desarrollo del proyecto.

Tabla 14

Costos indirectos

Detalle	Costo
Software Arduino	0
Luz eléctrica	10
Agua potable	2
Internet	5
Transporte	30
Impresiones	8
Balanza digital	0
SUBTOTAL	55

Mano de obra

La empresa Grupo Gorrión decidió destinar trescientos \$300,00 dólares americanos a pagar por investigación y asesorías relacionadas al desarrollo del proyecto.

Tabla 15

Mano de obra

Mano de obra	Cantidad	Valor	Total
Investigación y asesorías	1	300	300
	SUBTOTAL		300

Materia prima

La materia prima a utilizar es la naranja valencia que es el tipo de naranja más común producida en Ecuador. Este tipo de naranja, por unidad llega a pesar en promedio de 225g a 250g. El precio varía por temporada de producción, a la fecha está costando las 25 unidades 1 dólar americano, es decir de 4 a 5 centavos de dólar por unidad. Para el presente proyecto se compraron de 50 unidades con las que se realizaron las pruebas de deshidratación.

Tabla 16*Materia prima*

Materia prima	Cantidad	Precio
Naranja	50 unidades	4
SUBTOTAL		4

Costo total

En el costo total se realiza la suma de los subtotales correspondientes a materia prima, costos directos, costos indirectos, y mano de obra, dando un total de \$499,00 dólares americanos.

Tabla 17*Costo total*

Detalle	Cantidad	Valor	Total
Materia prima	1	4	4
Costos directos	1	140	140
Costos indirectos	1	55	55
Mano de obra	1	300	300
TOTAL			499

Capítulo V

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

Con respecto a la investigación bibliográfica realizada se ha determinado que las frutas se deben deshidratar en un rango de 40°C a 60°C con la finalidad de conservar las propiedades nutritivas del alimento. También se pudo conocer que el nivel de humedad recomendable en un alimento deshidratado, para que en él no se desarrollen microorganismos, es del 10% al 12% dependiendo del tipo de alimento. Con respecto a las variables que intervienen en la deshidratación de alimentos son cantidad de agua, temperatura, humedad y tiempo.

En cuanto al diseño y construcción del prototipo de deshidratador infrarrojo, éste se basó en la utilización de un chasis reciclado de microondas, lo cual es innovador, contribuye al cumplimiento de responsabilidad ambiental y permite deshidratar la cantidad de naranja establecida por la empresa Grupo Gorrión, que es 250g.

A través de las pruebas realizadas se determinó que a 60°C se requiere de 4 horas para el proceso de deshidratación, pero la muestra sufre pequeñas quemaduras, a 50°C se requiere de 5 horas 30 minutos consiguiendo buenas características en cuanto a olor, color, sabor y textura; y a 40°C el deshidratado se completa en 10 horas 30 minutos y las características organolépticas del producto final también son aceptables. Por lo cual se determina, que por el tiempo empleado y por las características obtenidas, la temperatura recomendable para deshidratar rodajas de naranja es 50°C.

También se debe mencionar que, aplicando las tres temperaturas, 60°C, 50° y 40°C en una misma prueba, se puede completar el proceso de deshidratación en cuatro horas, para lo cual se debe manejar una temperatura de 60°C en los primeros 125g a deshidratar, luego se debe regular la temperatura a 50°C para los siguientes 75g y finalmente se debe aplicar 40°C

en 20g. Permitiendo así obtener rodajas de naranja deshidratada en el menor tiempo y con las mejores características para el producto.

Mediante el cálculo de gasto por consumo eléctrico y posterior a las pruebas, también se determinó que el costo por utilización del prototipo es de 4,25 centavos la hora, lo cual es un valor que se considera razonable ya que, si el prototipo fuese utilizado 4 horas diarias, este generaría un costo de 17 centavos de dólar por día.

Finalmente se debe recalcar que efectivamente el costo total del desarrollo del prototipo de deshidratador infrarrojo fue cubierto por la empresa Grupo Gorrión quien, como solicitante del proyecto y comprometiéndose a auspiciar su desarrollo, indicó que disponía de quinientos dólares americanos con la finalidad de poder contar con un prototipo de deshidratador para naranja. Lo cual ha sido posible cumplir ya que el costo total fue de \$499,00 dólares americanos.

Recomendaciones

- En caso de ser necesario se podría aumentar el número de bandejas para que sea posible deshidratar más cantidad de fruta.
- Se podría utilizar una lámpara infrarroja de forma horizontal en caso de que se aumente el número de bandejas y de esa manera aprovechar el espacio.
- Colocar más termocuplas (sensores) para medir de manera óptima la temperatura del fruto, la temperatura de la bandeja y la temperatura de la salida del aire, permitirían contar con más datos para dar paso a una investigación complementaria.
- También se recomienda utilizar un sensor para medir la humedad en el fruto en caso de que se requiera profundizar la evaluación de las características del alimento.

- Con respecto al uso del equipo es necesario realizar una limpieza después de cada uso para evitar que se acumulen residuos al interior de la cabina, mismos que pueden ser causantes de bacterias.
- Se adjunta un manual de operación y de mantenimiento del prototipo con la finalidad de facilitar su uso y su cuidado, lo cual permitirá su correcto uso y por ende alargará la vida útil mismo.
- Se recomienda verificar que sus partes y elementos se encuentren conectados y colocados correctamente antes de dar inicio a cada uso del prototipo. Esto con la finalidad de evitar desperfectos y conseguir el producto final deseado.
- En cuanto a las características de las rodajas de naranja es necesario que todas sean de un mismo espesor, ya sea de 5mm, 4mm o 3mm, para poder contar con un deshidratado uniforme.
- En caso de tener dudas u olvidar la información proporcionada sobre la temperatura recomendada para un adecuado proceso de deshidratación, se recomienda revisar el informe de los resultados obtenidos en las pruebas, así se evitará dañar el producto y hacer mal uso del prototipo.
- Y no está por demás mencionar que, para manipular el alimento, en este caso la naranja, es necesario hacer uso de guantes de nitrilo para evitar la contaminación del producto.

Bibliografía

- AGRI nova Science. (s.f.). *El cultivo de las naranjas*. Obtenido de <https://www.infoagro.com/citricos/naranja.htm>
- Amende, k., Keen, J., & Catlin, L. (2021). Principles of heating, ventilating and air conditioning. ASHRAE.
- Andrago, R. (2018). *Proceso de secado*. Obtenido de http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/davila_n_jr/capitulo4.pdf
- Berger, N. (2019). *La deshidratación de alimentos, la forma más antigua y sana de conservación*. Obtenido de <https://www.naturarla.es/la-deshidratacion-la-forma-mas-antigua-y-sana-de-conservacion/>
- Bolufer, P. (15 de marzo de 2013). *Estabilización de alimentos por calentamiento no óhmico*. Obtenido de <https://www.interempresas.net/Alimentaria/Articulos/107082-Estabilizacion-de-alimentos-por-calentamiento-no-ohmico.html>
- Brennan, E. (2007). *Principios de deshidratación*. Obtenido de <file:///E:/DESARROLLO%20PROYECTO/MARCO%20TEORICO/Capitulo2.pdf>
- Cabascango, O. (2018). *Manual de deshidratación*. Obtenido de <https://www.ppd-ecuador.org/wp-content/uploads/2019/FondoBecas/SierraNorte/UTN-Omar-Uso-Deshidratador-solar-vf.pdf>
- Çengel, Y. (2004). *Transferencia de Calor*. McGrawHill.
- Cesar Murillo. (2007). Obtenido de *Diseño de un deshidratador de convección para frutas y vegetales*: <https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/6409/T04422.pdf;jsessionid=5287B539DE3FDB7AD3E54D13962C19C7?sequence=1>
- Conocimientosweb.net. (s.f.). *Características botánicas de las naranjas*. Obtenido de <https://conocimientosweb.net/dcmt/ficha14814.html>
- Corvalan, Horn, Roman, & Saravia. (1992). *Ingeniería del Secado*. CYTED-D.

Dueñas, E. (2016). *Innovación en deshidratación de alimentos*. México: IPN.

El Comercio. (20 de julio de 2022). *Cuatro cantones de Bolívar cultivan el 21% de naranjas que consume el país*. Obtenido de <https://www.elcomercio.com/actualidad/negocios/cantones-bolivar-cultivo-naranjas-consumo-nacional.html>

Etecé. (s.f.). *Rayos infrarrojos*. Obtenido de <https://concepto.de/rayos-infrarrojos/>

EvilaProjects. (18 de junio de 2021). *La industria alimentaria y la energía infrarroja*. Obtenido de <https://www.evilaprojects.com/2021/06/18/la-industria-alimentaria-y-la-energia-infrarroja/#:~:text=El%20calentamiento%20por%20infrarrojos%20se,%2C%20escaldado%2C%20pasteurizaci%C3%B3n%20y%20esterilizaci%C3%B3n.>

FAO. (2002). *Codex Alimentarius: International Food Standards*. Obtenido de <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/search/en/?cx=018170620143701104933%3Aqq82jsfba7w&q=tabla+de+contenido+residual+de+humedad&cof=FORID%3A9>

Gerhartz, W. (1988). *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Advisory Board.

Gonzales, M. (2017). *Antecedentes del deshidratador*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/432646129/antecedentes-deshidratador>

Hereter, R. (2018). *El comercio de las especias orientales desde la Antigüedad a las Cruzadas*. Obtenido de <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/665834/rohe1de1.pdf>

Infragas. (s.f.). *Energía Infrarroja: la solución térmica*. Obtenido de <https://infragas.es/tecnologia/energia-infrarroja/>

IR Confort. (2022). *Deshidratadoras de productos alimenticios*. Obtenido de <https://www.irconfort.com/productos/agro-2/>

Krokida. (2012). *Revisión bibliográfica: ¿Qué es el secado?* Obtenido de http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/leip/ortiz_a_bs/capitulo2.pdf

- Líderes. (3 de octubre de 2019). *La fruta deshidratada gana espacio*. Obtenido de <https://www.revistalideres.ec/lideres/fruta-deshidratada-negocios-ecuador-agronegocios.html>
- López, D. (2020). *Método de deshidratación: infrarrojo*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/476838672/Deshidratacion-Infrarrojo#>
- Michelis, A. d. (2018). *Deshidratación y desecado de alimentos*. Obtenido de https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_cartilla_secado.pdf
- Monografías México. (s.f.). *Naranja*. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/96291/Naranja_monografias.pdf
- Moreno, A. (2023). *Perfil de Proyecto de Grado: Carrera de Ingeniería Mecánica Industrial*. Quito: ESPE.
- Muñoz, M. (04 de marzo de 2018). *La deshidratación y desecación de los alimentos*. Obtenido de <https://consejonutricional.com/2015/03/04/la-deshidratacion-y-desecacion-de-los-alimentos/#:~:text=%E2%80%93%20En%20la%20deshidrataci%C3%B3n%20el%20proceso,mejor%20calidad%20que%20los%20desecados.>
- Murillo, C. (2007). *Diseño de un deshidratador de convección para frutas y vegetales*. Obtenido de <https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/6409/T04422.pdf;jsessionid=5287B539DE3FDB7AD3E54D13962C19C7?sequence=1>
- Naranjas DonGustó. (2020). *Anatomía de una naranja: las partes principales de este cítrico*. Obtenido de <https://naranjasdongusto.com/anatomia-de-una-naranja-las-partes-principales-de-este-citrico/>
- NKS Company. (s.f.). *Acero inoxidable 430*. Obtenido de <https://nks.com/es/distribuidor-de-acero-inoxidable/acero-inoxidable-430/#:~:text=El%20acero%20inoxidable%20Tipo%20430,la%20oxidaci%C3%B3n%20a%20temperaturas%20elevadas.>

- Ochoa, E. (2008). *Tecnologías de deshidratación para la preservación del tomate*. México: Biotecnia.
- Okamura, K. (s.f.). *Innovación puntera para una mejor deshidratación de los alimentos*.
Obtenido de https://www.japan.go.jp/_src/296515/newyear16es_26-27.pdf
- Phormalab. (12 de Julio de 2019). *Energy efficiency of infrared lamps*. Obtenido de <https://www.phormalab.it/en/energy-efficiency-of-infrared-lamps/>
- Porru, A. (23 de julio de 2020). *¿Conoces las ventajas y desventajas de los alimentos deshidratados?* Obtenido de <https://www.notasnaturales.com/ventajas-desventajas-alimentos-deshidratados/>
- Potter, M., & Somerton, C. (2004). *Termodinámica para Ingenieros*. Michigan: McGrawHill.
- Proceso de secado*. (s.f.). Obtenido de http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/davila_n_jr/capitulo4.pdf
- Química.es. (s.f.). *Radiación infrarroja*. Obtenido de https://www.quimica.es/enciclopedia/Radiaci%C3%B3n_infrarroja.html
- Rajkumar, H. (2007). *Secado y conservación del tomate*. Buenos Aires.
- Renedo, C. (2016). *Termodinámica y Mecánica de Fluidos*. Obtenido de <https://personales.unican.es/renedoc/Trasparencias%20WEB/Trasp%20Termo%20y%20MF/00%20GRADOS/TD%2007.pdf>
- Ruiz, D. (s.f.). *Infrarrojos para el procesamiento de alimentos*. Obtenido de https://www.heraeus.com/es/hng/industries_and_applications/infrared_heat/infrared_heat_for_food_processing.html#tabs-45790-5
- Singh, P., & Heldman, D. (1998). *Introducción a la ingeniería de alimentos*. Zaragoza: ACRIBIA.
- Sociedad española de nutrición comunitaria. (31 de diciembre de 2019). *Todo sobre la naranja*.
Obtenido de <https://www.spanishfruitsanddelicacies.com/blogs/news/la-naranja-fuente-de-salud>

Técnico agrícola. (6 de enero de 2020). *¿Cuáles son las principales partes de la naranja?*

Obtenido de <https://blog.lamejornaranja.com/cuales-son-las-principales-partes-de-la-naranja/>

UDLAP. (s.f.). Obtenido de Revisión bibliográfica: ¿qué es el secado?:

http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/leip/ortiz_a_bs/capitulo2.pdf

Villén, M. (1 de febrero de 2020). *Deshidratación, la forma más antigua y sana de conservar los*

alimentos. Obtenido de <https://www.conasi.eu/blog/consejos-de-salud/deshidratacion-la-forma-mas-antigua-y-sana-de-conservar-los->

[alimentos/#:~:text=Ventajas%20de%20la%20deshidrataci%C3%B3n&text=Mantiene%20](https://www.conasi.eu/blog/consejos-de-salud/deshidratacion-la-forma-mas-antigua-y-sana-de-conservar-los-alimentos/#:~:text=Ventajas%20de%20la%20deshidrataci%C3%B3n&text=Mantiene%20)

[0las%20propiedades%20nutricionales%20de,de%20almacenaje%2C%20manipulaci%C](https://www.conasi.eu/blog/consejos-de-salud/deshidratacion-la-forma-mas-antigua-y-sana-de-conservar-los-alimentos/#:~:text=Ventajas%20de%20la%20deshidrataci%C3%B3n&text=Mantiene%20)

[3%](https://www.conasi.eu/blog/consejos-de-salud/deshidratacion-la-forma-mas-antigua-y-sana-de-conservar-los-alimentos/#:~:text=Ventajas%20de%20la%20deshidrataci%C3%B3n&text=Mantiene%20)

Apéndices