



Diseño de un prototipo de secador de ajo por convección forzada, para la empresa Sabor y Sazón Ajo Boyacense S.A.S.

**Julieth Fonseca Basto
Joan Sebastián Pulido Nova**

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Tunja, Colombia
2021

Diseño de un prototipo de secador de ajo por convección forzada, para la empresa Sabor y Sazón Ajo Boyacense S.A.S.

**Julieth Fonseca Basto
Joan Sebastián Pulido Nova**

**Trabajo de grado para optar al título de
Ingeniero mecánico**

Director:
– Msc. Omar Franklin Rojas Moreno

Codirector:
M.I Jefferson David Salamanca Cárdenas

Línea de Investigación:
Eficiencia energética y transferencia de calor

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Tunja, Colombia
2021

Nota de aceptación

Este trabajo ha sido revisado y analizado encontrándose que reúne los requisitos de elaboración y presentación exigidos por la Universidad Antonio Nariño, por lo cual notificamos su aprobación

Director: Msc. Omar F. Rojas Moreno

Jurado 1: PhD. Carlos Ramón Batista R.

Jurado 2: Ing. Luis Enrique Arteaga N.

Tunja, mayo de 2021

Dedicatoria

A nuestros padres Elisa y Juan; y Myriam y Henry por guiarnos a lo largo de nuestra existencia, por los valores inculcados y la fortaleza entregada en momentos de debilidad, por confiar siempre en nosotros y ser los principales promotores de nuestros sueños.

A Sofía y Karen por cada consejo, por la paciencia y el apoyo moral que nos brindaron en esta y en cada una de las etapas de nuestras vidas.

Por ustedes logramos llegar hasta aquí y convertirnos en lo que hoy somos, y en lo que en un futuro seremos.

Gracias.

Agradecimientos

A Dios, por la vida, nuestra salud, darnos la fuerza de cumplir una meta más y estar siempre en cada momento de nuestras vidas.

Agradecemos a la UNIVERSIDAD por habernos aceptado a ser parte de ella y abierto las puertas de su seno científico para poder estudiar esta carrera, así como también a los diferentes docentes que brindaron sus conocimientos y estuvieron en cada paso de este proceso.

Agradecimiento especial los ingenieros Jefferson Salamanca y Omar Rojas quienes nos apoyaron con su tiempo y sus conocimientos durante el trascurso de la realización de la tesis de grado.

Finalmente agradecemos a nuestras familias, a Jenna y Caren por su apoyo en los momentos requeridos.

Resumen

En la búsqueda de implementar un proceso de producción más ágil y eficiente que contribuya a reducción del tiempo que conlleva realizar un ciclo y a su vez aumente las ventas actuales, el proyecto busca contribuir a la empresa Sabor y Sazón, Ajo boyacense a agilizar la obtención del ajo por medio del diseño de un prototipo de secador, para esto fue necesario caracterizar la curva de secado del ajo y dimensionar la máquina. Lo anterior se logró a través de dos diseños experimentales, el primero encaminado a encontrar la cantidad de humedad que debe perder el producto para ser pelado, el mencionado proceso se lleva a cabo al someter cierta cantidad del alimento al secado en una incubadora y contabilizar el tiempo que tarda en alcanzar la textura adecuada para ser sometido al pelado, llegando a un valor promedio de 6% de pérdida de humedad en peso y pudiendo así caracterizar la curva de secado. El segundo diseño experimental ayudó a encontrar que, usar 1,5 m/s como velocidad y 40°C como temperatura de secado por aproximadamente 210 minutos se consigue que el ajo no pierda coloración, además es así como se consigue la mayor eficiencia en el ciclo de secado.

Para el desarrollo del diseño se calculó la potencia necesaria para calentar el aire al interior de la máquina y la del ventilador para que fuese capaz de proporcionar una velocidad de 1,5 m/s, estos valores fueron 721,7 W y 1 W respectivamente, estos datos sirvieron de guía para buscar en las referencias existentes en el mercado los dispositivos adecuados para el uso que se le pretende dar a la máquina. Una vez decididos cada uno de los componentes del diseño se realizó un documento que compila las especificaciones técnicas, instrucciones de uso, precauciones y recomendaciones que se dan para un buen manejo del prototipo y así alargar su vida útil.

Palabras clave: Diseño, ajo, secador, convección forzada.

Abstract

In the search to implement a more agile and efficient production process that contributes to reducing the time it takes to carry out a cycle and in turn increases current sales, the project tries to help the company "Sabor y Sazón, Ajo Boyacense" to improve the production process through the design of a prototype dryer, for this it was necessary to characterize the garlic drying curve and size the machine. The above was achieved through two experimental designs, the first one aimed at finding the amount of moisture that the product must lose to be peeled, this process is carried out by subjecting a certain amount of the food to drying in an incubator and counting the time it takes to reach the proper texture to be subjected to peeling, reaching an average value of 6% moisture loss by weight and thus being able to characterize the drying curve. The second experimental design helped to find that, using 1.5 m / s as speed and 40 ° C as drying temperature for approximately 210 minutes, it is achieved that the garlic doesn't lose color, in addition, this is how the highest efficiency is achieved in the drying cycle.

In the design development process, the necessary power to heat the air inside the machine and that of the fan were calculated so that it was capable of providing a speed of 1.5 m / s, these values were 721.7W and 1W respectively, said the data served as a guide to search existing references on the market for the appropriate devices for the intended use of the machine. Once each of the design components had been decided, a document was made that compiles the technical specifications, instructions for use, precautions and recommendations that are given for a good handling of the prototype and thus extend its useful life.

Keywords: Design, dryer, garlic, forced convection.

Contenido

Lista de Tablas	10
Lista de Figuras	11
Nomenclatura	12
Introducción	13
Metodología	16
Objetivos	17
1. Marco teórico.....	18
1.1 El ajo	18
1.2 Composición química	19
1.3 Composición nutricional.....	20
1.4 El secado.....	20
1.5 Procesos de secado	22
1.5.1 Secado solar	22
1.5.2 Secado a base de calor o secado por evaporación superficial (Método convectivo)	23
1.5.3 Secado por radiación	23
1.6 Principales secadores usados en la agroindustria	24
1.6.1 Secadores directos o convectivos	24
1.6.2 Secadores indirectos	26
1.7 Conceptos.....	27
1.7.1 Entalpía	27
1.7.2 Transferencia de calor.....	28
1.7.3 Diseño experimental	28
1.7.4 Diseño experimental factorial.....	28
1.7.5 Análisis de varianza (ANOVA).....	29
2. Caracterización	30
2.1 Determinación de la humedad que debe perder el producto	30
2.1.1 Materiales	30
2.1.2 Procedimiento.....	31
2.2 Construcción de prototipo para pruebas	34
2.3 Diseño experimental y pruebas en prototipo	37
2.3.1 Procedimiento.....	37
3. Resultados experimentales.....	40
3.1 Pérdida de humedad	40
3.2 Diseño experimental	42
4. Diseño final	49

4.1	Diseño del prototipo final.....	49
4.1.1	Material.....	49
4.1.2	Aislante térmico.....	52
4.1.3	Cálculo y selección de la resistencia.....	54
4.1.4	Ventilador.....	58
4.1.5	Empaque para hermeticidad de la puerta.....	59
4.1.6	Vidrio.....	60
4.1.7	Materiales para la instalación electrónica.....	60
4.1.8	Eficiencia térmica.....	61
4.2	Parámetros principales del diseño final.....	64
4.2.1	Características de la estructura.....	64
4.2.2	Controles e instrucciones de uso.....	65
4.2.2.1	Controles.....	65
4.2.2.2	Instrucciones de uso.....	66
4.2.3	Precauciones.....	66
	Conclusiones.....	67
	Recomendaciones.....	69
	Anexos.....	70
	Anexo 1: Estructura del prototipo para pruebas.....	70
	Anexo 2: Conexión eléctrica del prototipo.....	71
	Anexo 3: Estructura del prototipo final.....	72
	Anexo 4: Lámina de la cámara.....	73
	Anexo 5: Puerta.....	74
	Anexo 6: Chapa.....	75
	Anexo 7: Bandeja para ajos.....	76
	Anexo 8: Soporte horizontal de lámina.....	77
	Anexo 9: Soporte vertical de lámina.....	78
	Anexo 10: Tapa superior.....	79
	Anexo 11: Tapa trasera.....	80
	Anexo 12: Explosionado.....	81
	Anexo 13: Diseño electrónico.....	82
	Anexo 14: Programa controlador de arduino.....	83
	Anexo 15: Especificaciones del ventilador.....	85
	Referencias.....	86

Lista de Tablas

<i>Tabla 1: Componentes químicos del ajo</i>	<i>19</i>
<i>Tabla 2: Contenido de vitaminas en el ajo.....</i>	<i>19</i>
<i>Tabla 3: Contenido de minerales en el ajo.....</i>	<i>20</i>
<i>Tabla 4: Resultados de las pruebas iniciales.....</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 5: Combinación de las pruebas</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 6: Datos de pruebas en prototipo</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 7: ANOVA</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 8: Análisis de regresión</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 9: Tiempo de secado variando el flujo de aire con temperatura constante de 40°C.....</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 10: Tiempo de secado variando el flujo de aire con temperatura constante de 50°C.....</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 11: Predicción del tiempo de secado.....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 12: Propiedades mecánicas y físicas del AISI 316Ti.....</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 13 Parámetros del diseño</i>	<i>64</i>

Lista de Figuras

Figura 1: Fases de la metodología	17
Figura 2: Componentes del ajo, <i>Allium Sativum</i>	18
Figura 3: Funcionamiento de un secador solar	23
Figura 4: Esquema de un secador de horno o estufa	25
Figura 5: Secador de bandejas o armario	25
Figura 6: Secador de túnel	26
Figura 7: Secador por sublimación	27
Figura 8: Horno de secado	30
Figura 9: Balanza de precisión	30
Figura 10: Ensayos en incubadora	33
Figura 11: Pelado de ajos secado a 40°C	33
Figura 12: Estructura del prototipo para pruebas preliminares	34
Figura 13: Prototipo con primera capa de pintura	35
Figura 14: Prototipo cableado	36
Figura 15: Prototipo terminado	36
Figura 16: Demostración del pesado del producto	38
Figura 17: Ajos pelados después del proceso de secado	39
Figura 18: Cinética de secado del ajo	40
Figura 19: Prueba a 60°C	41
Figura 20: Temperatura vs Tiempo con flujo de 0,5 m/s	42
Figura 21: Temperatura vs Tiempo con flujo de 1,5 m/s	42
Figura 22: Diagrama de Pareto	44
Figura 23: Comportamiento del tiempo al variar el flujo de aire a una temperatura de 40°C	45
Figura 24: Comportamiento del tiempo al variar el flujo de aire con temperatura constante de 50°C	46
Figura 25: Gráficas de residuos para la variable "Tiempo"	47
Figura 26: Aceros inoxidable más comunes	50
Figura 27: Estructura del diseño final	51
Figura 28: Fibra de vidrio	52
Figura 29: Especificación del espacio para aislante	53
Figura 30: Dimensiones de la resistencia	57
Figura 31: Dimensiones del ventilador	59
Figura 32: Empaque elegido para la puerta	60

Nomenclatura

X_h = *humedad en base húmeda*

X_s = *humedad en base seca*

M_A = *Masa de agua*

M = *Masa de sólido húmedo*

Q_{CA} = *Cantidad de potencia necesaria para calentar el aire [W]*

C_{pa} = *Calor específico del aire a la temperatura promedio $\left[\frac{kJ}{kg * ^\circ C} \right]$*

\dot{m}_a = *Flujo de masa de aire $\left[\frac{kg}{h} \right]$*

T_e = *Temperatura exterior [$^\circ C$]*

T_i = *Temperatura interior [$^\circ C$]*

$T_{promedio}$ = *Temperatura promedio*

D_H = *Diámetro hidráulico*

A_c = *Área de contacto*

Re_{DH} = *Número de Reynolds*

P_r = *Potencia mecánica suministrada por el ventilador*

P_{r0} = *Potencia mecánica inicial suministrada por el ventilador*

D_r = *Diámetro de la hélice*

D_{r0} = *Diámetro inicial de la hélice*

\dot{V} = *Flujo volumétrico*

v = *Velocidad del aire $\left[\frac{m}{s} \right]$*

A_v = *Área en la salida del ventilador*

Introducción

El ajo es conocido por ser una hortaliza que se utiliza para cocinar, como un condimento principalmente, el cual ayuda a regular el uso de la sal y se caracteriza por dar un olor y sabor fuerte a la comida, lo que hace que se recurra a este, en casi todos los platos preparados a diario en una casa o restaurante, el mismo puede llegar al usuario en distintas presentaciones, la más común es en forma fresca, comprado directamente en las plazas locales, pero también lo hay deshidratado y en pasta, siendo vendido frecuentemente en almacenes de cadena.

En distintas culturas, el ajo es usado para la realización de tratamientos caseros que buscan minimizar el riesgo de sufrir enfermedades cardiovasculares, haciendo que en los últimos años los estudios acerca de este tema se incrementen, a tal punto de que hoy en día existen numerosas investigaciones científicas que lo soportan. [1]

En un estudio realizado por Gaviria, se encontró que en el país se cuenta con una oferta total de 28,5 millones de toneladas de alimentos de las cuales se pierden un total de 9,76 millones, el 64% sucede en la producción, postcosecha, almacenamiento y procesamiento industrial, de estas, 2,9 toneladas corresponden a la pérdida de frutas y verduras. La región que más contribuye a estas pérdidas es la Centro-Oriental, entre las cuales se encuentra Boyacá. [2]

Varios estudios han demostrado que los procesos de secado son capaces de eliminar hasta en un 90% la cantidad de agua presente en los alimentos, esto con el fin de reducir el deterioro que se causa por la presencia de humedad y a su vez, minimizar los costos de transporte [3]. Es relevante mencionar que el secado de los productos agrícolas es complejo de modelar, ya que involucra transferencia de calor y masa, por esta razón, se pueden considerar tres tipos de modelos para describir este fenómeno, modelos teóricos, semi teóricos y experimentales. Los más sencillos de trabajar, pero que a su vez pueden ser los más costosos, son los experimentales, aunque de cierta manera son los que producen resultados con mayor seguridad y precisión. [4]

Debido a que el tema central de esta investigación es el proceso de secado, la forma en que se lleva a cabo es importante puesto que, teniendo en cuenta la correcta proporción entre factores como temperatura, tiempo y velocidad de flujo, se puede garantizar o no, que las propiedades nutritivas del ajo se conserven, por lo anterior, escoger la técnica adecuada es el primer paso, y, de hecho, el paso fundamental para cumplir las características apropiadas. Para esta la investigación, se escogió el secado por aire caliente, pues, es el más común en procesos de secado y deshidratación, no solo de ajos sino de vegetales en general, una desventaja es la pérdida de color, nutrientes o sabor en el producto [5], por lo que se deben controlar estrictamente los demás factores usados en el secado; YabinFeng demuestra que si se compara con otros métodos como el secado por congelamiento al vacío, en este, la decoloración es significativa, sin embargo se puede llevar a cabo en periodos relativamente cortos de tiempo y la dureza se conserva casi en su totalidad [6]. Resultados similares se obtuvieron en la investigación de Yuyuan Xu, en la que concluyen que, al ser un proceso de calentamiento débil, se consigue una gran calidad, con menor consumo, tanto de energía como de tiempo. [7]

Para parámetros como temperatura, flujo de aire y tiempo de secado, se citan las palabras de Gómez, N. G. en las que afirma que, una alternativa para asegurar la preservación de los nutrientes del ajo, es realizar el secado con temperaturas variables, por lo que en su estudio alternan las mismas entre los 40, 50 y 60°C, también argumentan que los rangos son estos debido a que la desnaturalización de la enzima alinasa y del ácido pirúvico que se encarga de dar ese olor y sabor fuerte tan característico en el ajo, es decir, con temperaturas mayores a estas, se generan los cambios en su estructura y la pérdida de sus proteínas. [8]

En un ejemplo más se evalúa la influencia de diferentes niveles de intensidad de radiación infrarroja y de velocidad de flujo de aire, sobre las características del secado de capas delgadas de ajo, con el fin de determinar la difusividad de la humedad y la energía de activación del proceso. Los ajos estaban sin pelar y su contenido de humedad fue determinado mediante el estándar AOAC (Association of Analytical Communities), las muestras se secaron a 70° C, durante 24 horas y bajo condiciones de vacío de 85 KPa. Se midieron porcentajes de humedad de entre 70 y 72.5 % en peso y los experimentos se llevaron a cabo hasta un porcentaje de humedad del 6 %, se obtuvo buen ajuste entre los valores experimentales y los modelos de Pabis y Henderson modificado, se encontró que

el secado se hace más rápido a mayores intensidades de radiación infrarroja y a menores velocidades de flujo de aire. [4]

Teniendo en cuenta las referencias citadas con anterioridad, en este proyecto, se propone el diseño de un secador de ajo por convección forzada, el cual tiene como principal fin reducir el tiempo empleado en los procesos de transformación del producto que realiza la empresa Sabor y Sazón Ajo Boyacense S.A.S., se espera que durante el desarrollo del mismo se obtenga una curva de secado del ajo decreciente, hasta alcanzar el valor de humedad que se ajustará a las especificaciones de la empresa, la cual está ubicada en el municipio de Cerinza Boyacá.

Planteamiento del problema

El problema que se plantea, yace en el deseo que tiene la empresa “Sabor y Sazón Ajo Boyacense S.A.S.” de ampliar su producción y reducir el tiempo que le conlleva realizarlo. La mencionada compañía realiza el secado del ajo al ambiente, aprovechando la luz solar, pero desaprovechando una gran facción de tierra que puede ser utilizada para aumentar la cosecha; de acuerdo con lo manifestado por los propietarios, para secar la hortaliza tardan aproximadamente 20 días y en este tiempo se logran conseguir 50 kilogramos del producto. Adicionalmente, al efectuar el proceso de esta manera, no siempre se logra obtener un secado uniforme del ajo, debido a que esto depende de las condiciones climáticas de la zona y la época del año, por lo que, al pasarlos a la peladora que tienen destinada al final del ciclo, quedan aproximadamente un 20% de rastros de cascara en los dientes, afectando de forma directa la calidad de la producción, dado que el valor agregado que ellos ofrecen es entregar el producto completamente pelado y fresco, por ende, la repercusión se ve reflejada en las utilidades y el crecimiento de la empresa.

Teniendo en cuenta lo descrito anteriormente, la pregunta que se plantea es, ¿De qué forma puede la empresa Sabor y Sazón Ajo Boyacense S.A.S. reducir el tiempo que le toma producir 50kg de ajo y la vez ampliar su capacidad de cosecha?

Alcance y resultados esperados

El proyecto busca contribuir a la automatización del secado que lleva actualmente la empresa, con un secador que propone un proceso que no solo es más uniforme, sino que se puede llevar a cabo en un tiempo menor, ayudará a que la producción se agilice y que, la empresa esté en capacidad de ampliar su portafolio de clientes y, por ende, la demanda de la misma, se estima que, si el secador cuenta con una capacidad de secar alrededor de 5 kg de ajo diarios, la producción se duplicaría.

Adicionalmente con el desarrollo del proyecto se pretende favorecer el desarrollo no solo de la empresa, sino el de la región en la que está ubicada, a consecuencia de que, si los demás agricultores deciden implementar estas tecnologías en sus micro o macro empresas, con cualquier tipo de producto, pueden lograr un alza en las ventas y teniendo en cuenta que muchos municipios de Boyacá viven de la agroindustria, causaría un gran impacto.

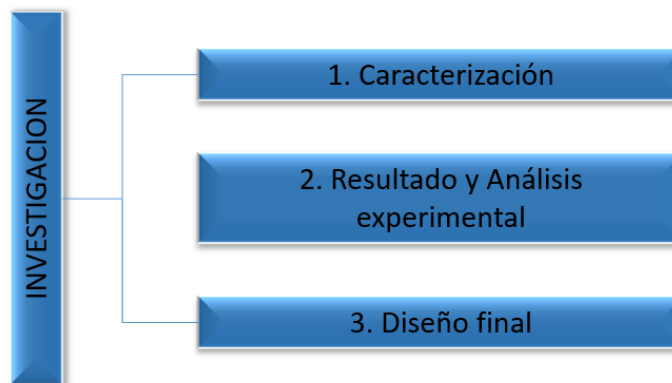
Metodología

El enfoque de la investigación es cuantitativo, debido a que en esta propuesta se llevan a cabo diferentes cálculos que ayudan a establecer las características de las variables a estudiar, y a su vez direccionar el dimensionamiento del secador

Tipo de investigación, el tipo de investigación empleado es tecnológico, puesto que la finalidad de esta investigación es encontrar una solución eficaz y eficiente para la empresa en el procesamiento del ajo, por medio del diseño de una secadora de ajo, tal diseño debe disminuir el tiempo de secado.

Método de investigación, este es deductivo por qué parte de las necesidades de la empresa de industrializar el procesamiento del ajo, así como de las características propicias para el secado, con esto se obtienen parámetros para el diseño de la secadora, sabiendo el costo beneficio que obtendrá la empresa. Esta metodología se dividirá en las fases señaladas en la Figura 1 y que conducirán al cumplimiento de los objetivos específicos.

Figura 1: Fases de la metodología



Fuente: Autor

Objetivos

Objetivo general

Diseñar un prototipo de secador de ajo por convección forzada para la empresa Sabor y Sazón ajo boyacense S.A.S.

Objetivos específicos

- Determinar los parámetros necesarios para realizar el diseño del prototipo de secador.
- Correlacionar los parámetros para dimensionar y obtener la forma del prototipo.
- Elaborar un documento técnico con las especificaciones del prototipo.

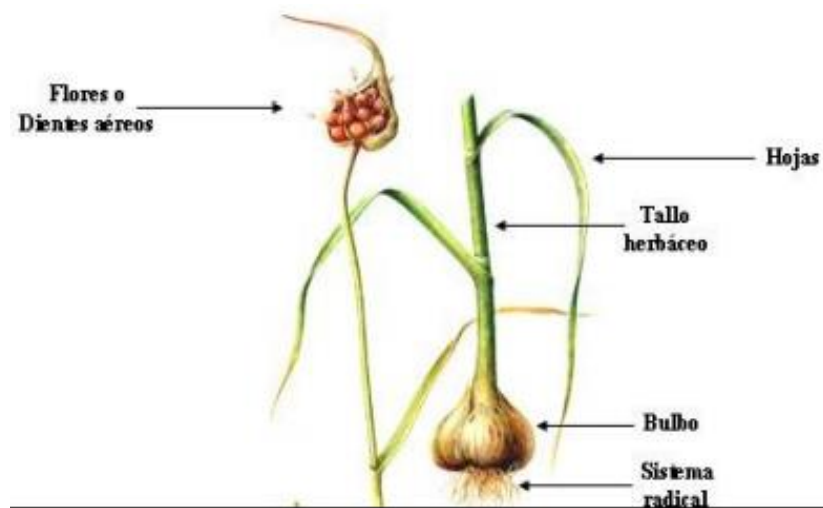
1. Marco teórico

1.1 El ajo

El ajo (*Allium sativum* L.) (*Figura 2*) pertenece a la familia Liliaceae, actualmente se clasifica en el grupo de amarilidáceas. Se ha utilizado en diferentes aplicaciones culinarias por sus múltiples propiedades medicinales. Se ha sometido a diferentes pruebas por lo que se consideró que es un fármaco eficaz en la prevención y tratamiento de la aterosclerosis, debido a su efecto positivo en la normalización de los valores de lípidos, la reducción moderada de la presión arterial y su actividad fibrinolítica y antiagregante plaquetario. [9]

El ajo se describe como una hierba perenne con bulbos o rizomas, con pelos simples; las raíces son típicamente contráctiles donde se compone de 6 a 12 dientes se constituye principalmente de un cuerpo redondeado donde se denomina cabeza de ajo, cada diente está recubierto por una membrana semitransparente, su color es blanco-amarillento una vez retirada la delgada capa que lo recubre. Esta película posee tonos que van desde el blanco al gris. cabe resaltar que el ajo se caracteriza por su intenso aroma y sabor. [10]

Figura 2: Componentes del ajo, Allium Sativum



Fuente: Offarm: farmacia y sociedad

1.2 Composición química

El ajo tiene distintos componentes, entre ellos, se encuentran el agua y los carbohidratos como la fructosa, compuestos azufrados, fibra y aminoácidos libres (*Tabla 1*). Contiene altos niveles de vitamina C y A y bajos niveles de vitaminas del complejo B (*Tabla 2*). Así mismo, posee un alto contenido de compuestos fenólicos, polifenoles y fitoesteroles. En cuanto a los minerales, tiene niveles importantes de potasio, fósforo, magnesio, sodio, hierro y calcio. También, presenta contenido moderado de selenio y germanio, pero la concentración de estos minerales va a depender del suelo donde crecen los bulbos (*Tabla 3*). [11]

Entre los compuestos azufrados que predominan en el ajo se encuentran: alixina, alicina, aliina, ajo en, adenosina, alil metano tiosulfonato, dialil disulfuro, dialil trisulfuro, alil metil trisulfonato, S-alil mercaptocisteína, 2-vinil-4H-1,2-ditiina y 5-alilcisteína.

En el ajo también se encuentran hormonas que actúan de manera similar a las hormonas sexuales masculinas y femeninas, otras sustancias como fermentos, colina, ácido hidrorodánico y yodo, además se han aislado hasta 17 aminoácidos entre los cuales se encuentran: ácido aspártico, asparagina, alanina, arginina, histidina, metionina, fenilalanina, leucina, serina, treonina, prolina, triptófano y valina5. [11]

Tabla 1: Componentes químicos del ajo

Análisis proximal	Cantidad
Agua	58,58 g
Energía	149 kcal
Proteína	6,36 g
Lípidos totales	0,5 g
Carbohidratos (por diferencia)	33,06 g
Fibra dietética	2,1 g
Azúcares totales	1 g

*100 g de ajo fresco

Fuente: Revista Salud y Administración,
vol. 3

Tabla 2: Contenido de vitaminas en el ajo

Vitaminas	Cantidad
-----------	----------

Vitamina C	31,2 mg
Tiamina	0,2 mg
Riboflabina	0,11 mg
Niacina	0,7 mg
Vitamina bó	1,235 mg
Folato	3 µg
Vitamina A	9 UI
Vitamina E	0,08 mg
Vitamina K	1,7 µg

*100 g de ajo fresco

Fuente: Revista Salud y Administración,
vol. 3

Mineral	Cantidad
Calcio	181 mg
Hierro	1,7 mg
Magnesio	25 mg
Fosforo	153 mg
Potasio	401 mg
Sodio	17 mg
Zinc	1,16 mg

*100 g de ajo fresco

Fuente: Revista Salud y Administración,
vol. 3

1.3 Composición nutricional

Es fuente de minerales como el yodo, fósforo, potasio y vitaminas como la vitamina B6. Las propiedades del ajo están basadas sobre todo en los componentes sulfurados que contiene (alicina, alil/dialil sulfidos). Los efectos que produce el ajo parecen manifestarse, sobre todo, cuando éste se ingiere crudo, sin embargo, ciertos autores señalan que mantiene sus propiedades tras el proceso de fritura o cocción. [12]

1.4 El secado

El secado de un producto consiste en extraer o disminuir la cantidad de agua del mismo, se realiza con la finalidad de aumentar la conservación del elemento en el tiempo. Es usado

desde la antigüedad, con técnicas artesanales como la exposición al sol y al viento. Como se menciona con anterioridad en este documento, el cálculo de este tipo de procesos involucra transferencia de calor y masa por lo que generalmente son difíciles de modelar, por ello, es necesario conocer las propiedades del alimento y del aire al que se va a someter.

Los parámetros encargados de controlar el secado van a depender de distintas adaptaciones que se le quieran hacer a la máquina o de la forma en que se requiera entregar el producto final, estos pueden ser características como dimensiones del alimento, contenido de humedad o temperatura a la que se va a secar. Adicionalmente, se debe tener en cuenta que el secado puede afectar el color, sabor, textura o los valores nutricionales del alimento. [13]

1.4.1 Cinética del secado

Cuando se habla de la cinética de secado en un material o alimento, se hace referencia a la pérdida de la humedad que estos contienen en un periodo determinado de tiempo, para caracterizar una curva de secado se tienen en cuenta factores como la temperatura y dimensiones de los equipos, aunque esto suele cambiar dependiendo del fin que se tenga en la investigación. [14]

Es por esto que los procesos que involucran evaporación de agua y las variables involucradas, son expresadas generalmente en términos de cinética de secado, con lo que se generará un modelo confiable que arroje las características propicias para el desarrollo del modelo experimental. [15]

1.4.2 Velocidad de secado

Para poder obtener el tiempo en el que se logra eliminar el contenido de humedad de los alimentos o productos y la interacción entre los parámetros que afectan el mismo, se deben conocer las características principales que se involucran en el proceso y también si se realiza de manera continua o por lotes, dependiendo las curvas de secado. [16]

1.4.3 Humedad en los alimentos

Es la cantidad de agua que poseen los materiales o alimentos, esta puede venir presente de dos formas, humedad en base húmeda (*Ecuación 1*) y humedad en base sólida

(Ecuación 2). La forma más común de representarla es *masa de agua / masa de sólidos secos*, siendo a su vez la más usada en los cálculos de secado. [13]

1.4.3.1 Humedad en base húmeda: Es el cociente entre la masa de agua contenida por el material y su masa total. [17]

$$X_h = \frac{M_A}{M} * 100 \frac{[kg \text{ agua}]}{[kg \text{ s.h}]} \quad \text{Ecuación 1}$$

1.4.3.2 Humedad en base seca: Es el cociente entre la masa de agua presente en el material y su masa seca. [17]

$$X_s = \frac{M_A}{M - M_A} \frac{[kg \text{ agua}]}{[kg \text{ s.s}]} \quad \text{Ecuación 2}$$

1.5 Procesos de secado

En un proceso de secado se busca reducir la humedad de manera eficiente, la mayoría de estos procedimientos se realizan a partir de una inyección de calor sobre el objeto el cual se desea secar.

Los procesos de secado desde la antigüedad se practican exponiendo el material a la radiación solar y a ventilación natural, la reducción de humedad ayuda a aumentar la conservación de alimentos en el tiempo. Sin embargo, estos procesos artesanales son complejos y pueden tardar hasta 20 días dependiendo de las condiciones climáticas.

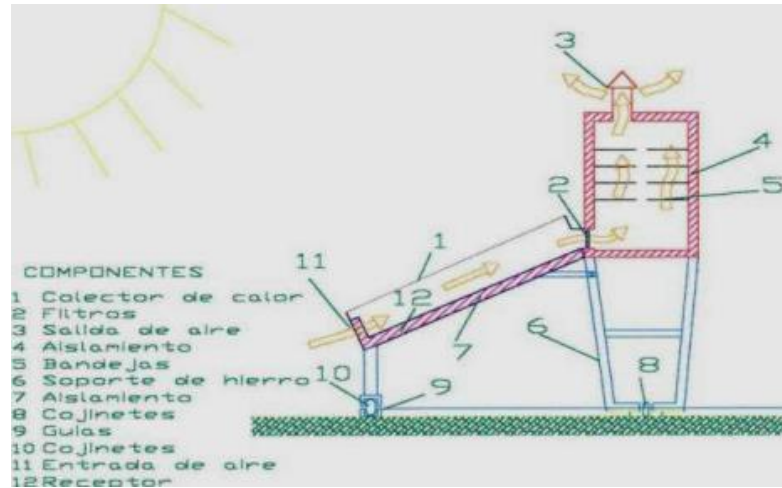
Con el paso del tiempo el secado de productos se fue mejorando, un ejemplo de ello es la construcción de invernaderos, los cuáles se han ido automatizando en sus procesos de control y secado. Algunos procesos de secado se presentan a continuación.

1.5.1 Secado solar

Para llevar a cabo este proceso, se exponen al aire libre, las frutas, vegetales o material a secar, este entra en contacto con la radiación solar directa o indirecta y por su causa lograr el secado. Es principalmente aprovechado en regiones en las que, se cuenta con un buen clima la mayor parte del año, actualmente en las zonas rurales es común por su bajo costo de construcción y su alta eficacia. En la Figura 3 se muestra a detalle su mecanismo y

funcionamiento. [18]

Figura 3: Funcionamiento de un secador solar



Fuente: Universidad Autónoma de Occidente

1.5.2 Secado a base de calor o secado por evaporación superficial (Método convectivo)

Este secado se realiza exponiendo el elemento a calor por conducción, normalmente se produce en hornos de vacío. Este método emplea bajas temperaturas ya que se basa en el principio de que el agua se evapora más rápidamente cuando se somete a bajas presiones, lo cual lo hace ideal para alimentos que expuestos a altas temperaturas se pueden descomponer.

En estos hornos o máquinas de secado al vacío el elemento se somete a una presión baja y de forma simultánea se expone al calor, ya sea realizando contacto con una pared o por radiación.

1.5.3 Secado por radiación

El secado por radiación se produce en hornos microondas, las frecuencias más empleadas a nivel comercial son entre 915 y 2450 MHz de modo que se evitan interferencias con bandas de radio y televisión. [19]

Al irradiar un producto, este recibe calor de forma uniforme, lo cual es ideal en algunos

procesos de deshidratación. Esto supone una disminución en costos ya que el producto se puede secar en cámaras estacionarias, sin embargo, estas cámaras son más pequeñas que las utilizadas en el secado por evaporación superficial y los operarios deben usar equipo especial para estar protegidos de los rayos emitidos por los hornos.

1.6 Principales secadores usados en la agroindustria

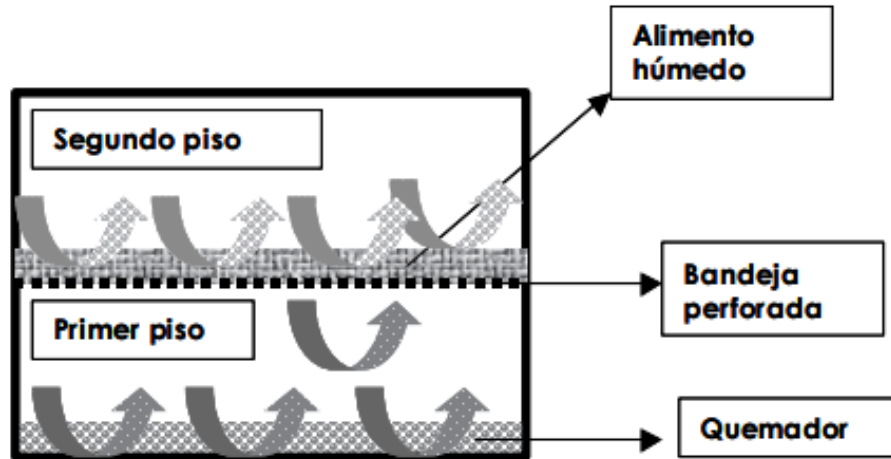
1.6.1 Secadores directos o convectivos

Este tipo de secadores tiene como característica principal el uso de gases calientes los cuales, al entrar en contacto con el sólido húmedo consiguen suministrar el calor necesario para llevar el líquido vaporizado fuera del secador. Los tipos de gases que usan pueden ser:

- Aire calentado por vapor de agua.
- Productos de la combustión.
- Gases inertes.
- Vapor recalentado.
- Aire calentado por radiación solar.

1.6.1.1 Secadores de horno o estufa: En esencia, constan principalmente de una cámara paralelepípedica de 2 pisos. Para su funcionamiento, en el piso inferior, por medio de un quemador, se calienta el aire el cual va a ascender por convección forzada o natural a la segunda planta, logrando secar el sólido con el flujo constante de gas caliente, y este abandona la cámara por el techo tal como se muestra en la Figura 4. [20]

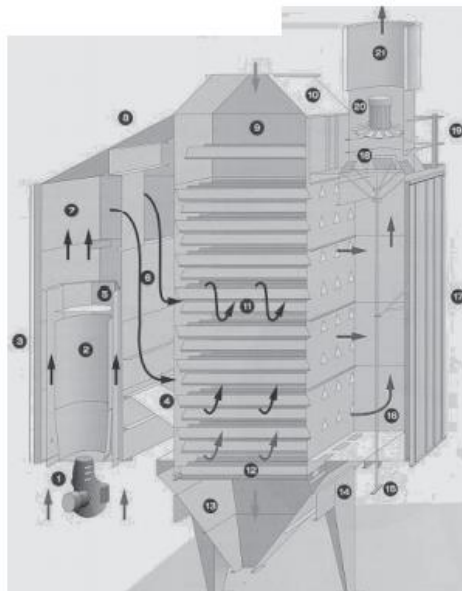
Figura 4: Esquema de un secador de horno o estufa



Fuente: Universidad Politécnica de Valencia

- 1.6.1.2 Secadores de bandejas o de armario:** Contiene dentro de la cámara unos soportes móviles sobre los que se apoyan los bastidores, en lo que se soportan las bandejas que se encargarán de contener los sólidos a secar. Cuenta con un ventilador integrado por lo que, la convección forzada hace que el aire pase a través del calentador constituido de tubos y de esta manera se genere una circulación constante de gas caliente y se logre secar el material. El sentido en que se mueve el gas está representado en la Figura 5. [20]

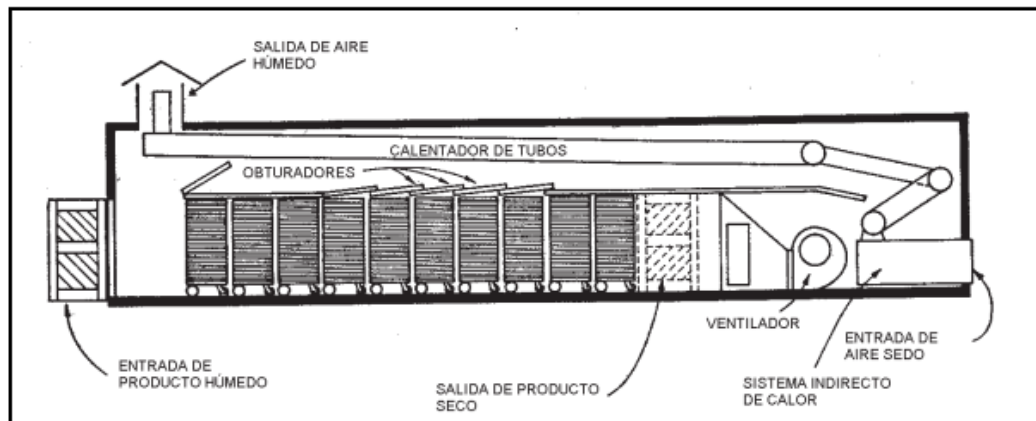
Figura 5: Secador de bandejas o armario



Fuente: Universidad Politécnica de Valencia

1.6.1.3 Secadores de túnel: Son similares al secador de bandejas, su diferencia radica en que estos tienen un tamaño considerablemente mayor, cuenta con un sistema de calefacción que hace que el aire caliente circule por la cámara de secado, a su vez, posee unos rieles que se encargarán de transportar los alimentos a lo largo del recinto y al finalizar su recorrido, este saldrá completamente seco, algunos proveedores de este tipo de máquinas como Stalam S.P.A, Multivac y Sormac B.V recomiendan “retirar una cantidad suficiente de agua con un sistema de aire Venturi que extraiga la mayor parte del agua libre” [21] , sus componentes principales y estructura se detallan en la Figura 6.

Figura 6: Secador de túnel



Fuente: Universidad Politécnica de Valencia

1.6.2 Secadores indirectos

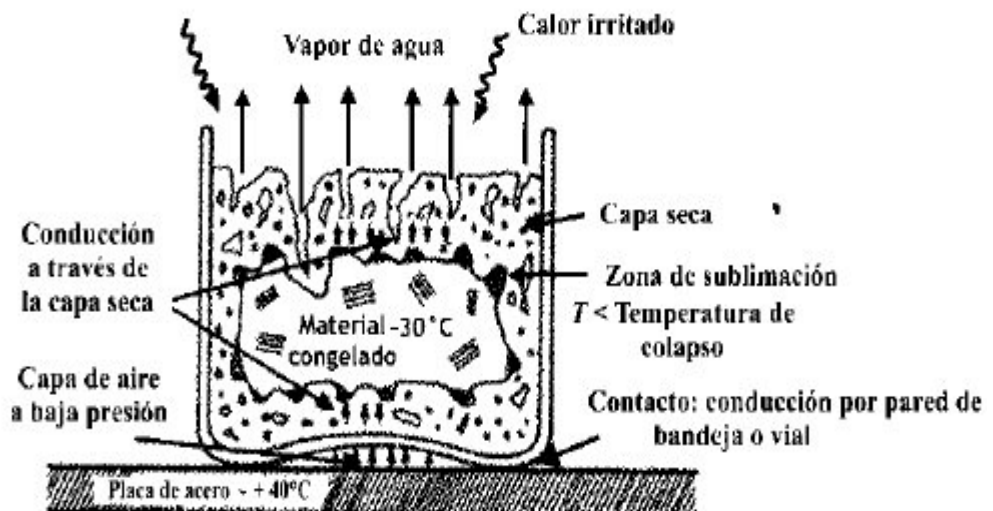
Independientemente del método de calentamiento, en este tipo de secadores la cantidad de agua evaporada depende de que tanto contacto se tenga entre el sólido y la superficie caliente, es por ello que también son llamados secadores de contacto o por conducción.

1.6.2.1 Secadores de bandejas a vacío: Posee gabinetes hechos de hierro o de acero colado y se deben diseñar con puertas que cierren de forma perfecta para evitar así pérdidas de calor [22]. Las bandejas que contienen el sólido a secar, están apoyadas en anaqueles perforados por los que circula agua tibia o vapor y de esta forma se consigue la temperatura necesaria para eliminar el agua del

material. [23]

1.6.2.2 Secadores por sublimación: Son usados principalmente en el secado de fármacos por el hecho de que difícilmente estos pueden ser elevados a temperaturas incluso iguales a la del ambiente, por lo que esta es una buena alternativa. Para lograr la evaporación de humedad el sólido se expone a aire muy frío para lograr que se congele, posteriormente se pone en una cámara al vacío en la que la humedad se sublima y con bombas mecánicas o eyectores de vapor se expulsa (*Figura 7*) [22].

Figura 7: Secador por sublimación



Fuente: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo [24]

1.7 Conceptos

1.7.1 Entalpía

En el libro Química, la ciencia central de Brown LeMay, definen la entalpía como “el flujo de calor en cambios químicos que se efectúan a presión constante cuando no se efectúa más trabajo que el trabajo presión-volumen” [25] y es igual a la energía interna del elemento más el producto de la presión y el volumen del mismo.

1.7.2 Transferencia de calor

En ingeniería, este término hace referencia a los métodos usados para el cálculo de velocidades de los intercambios de energía calorífica. Diversas ramas de la ingeniería usan estos métodos en el desarrollo de sistemas que involucran transferencia, sin embargo, en la ingeniería mecánica es altamente aplicado debido a que los sistemas de conversión de energía, como las centrales eléctricas de carbón o los calentadores de agua que utilizan la energía solar como fuente de alimentación, basan su funcionamiento en estos principios.

[26] Existen 3 formas principales en las que se da ésta fenómeno:

- Conducción
- Convección
- Radiación.

1.7.3 Diseño experimental

Cuando se habla de un diseño experimental se refiere al estudio de la ejecución, análisis de los datos y la interpretación de los resultados en una investigación, esto con el fin de encontrar detalles para procesos experimentales que se utilizaran posteriormente. Es importante asegurar que en cada uno de estos diseños se garantizan 3 principios que son básicos a la hora de llevar a cabo un experimento estos son: la aleatorización, el control local y las réplicas que se van a hacer. [27]

1.7.4 Diseño experimental factorial

Este tipo de diseños se realizan con el fin de analizar el comportamiento de dos o más variables, cómo se relacionan entre sí y cuáles son sus efectos en el experimento, para su realización se deben estudiar todas las posibles combinaciones entre los factores de manera completamente aleatoria. Se utilizan esta clase de ensayos con el fin principal de encontrar un modelo que se encargue de describir el comportamiento del fenómeno que se está estudiando y poder encontrar la combinación que logre optimizar al máximo la variable dependiente. [27]

1.7.5 Análisis de varianza (ANOVA)

Consiste en estudiar la interacción que puede haber entre una o más variables, esto con el fin de determinar los posibles efectos que se pueden causar a la variable independiente en un experimento. A su vez, un ANOVA se encarga de calificar por su nivel de importancia los factores descritos. [28]

2. Caracterización

2.1 Determinación de la humedad que debe perder el producto

2.1.1 Materiales

Para llevar a cabo este proceso, se utiliza aproximadamente 1 kilogramo de ajo (*Allium sativum* L.); este es comprado directamente en el mercado local, debido a que se busca asegurar la adquisición de un producto fresco, que sea similar al obtenido por la empresa.

A su vez, se hace uso de un horno de secado modelo BOV-D70 de la marca BIOBASE (*Figura 8*) cuyas características principales de uso son:

- Velocidad del aire: 1 m/s
- Temperatura máxima: 100°C
- Voltaje: 110V
- Potencia de entrada: 1100 W.

Y una balanza de precisión 0,0001 g de la marca Vibra (*Figura 9*). Los equipos descritos, pertenecen a la Universidad Antonio Nariño.

Figura 8: Horno de secado



Fuente: Biobase Biodustry

Figura 9: Balanza de precisión



Fuente: Grupo didacta

2.1.2 Procedimiento

Haciendo un amplio análisis de la doctrina, se encontró al respecto que en investigaciones previas, como las citadas en el prefacio, el secado del ajo en máquinas generalmente se llevaba a cabo bajo parámetros como el uso de temperaturas constantes entre los 40°C a 60°C por tiempos entre 4 y 6 horas, sin embargo, se observó en una guía encontrada que trata de los usos de secadores de alimentos publicada por la UNESCO [29], que la temperatura máxima tolerable para el ajo es de 55°C, de modo complementario y siguiendo las recomendaciones de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [30], las características que sirvieron de guía para saber que el ajo tuvo un proceso de secado favorable son:

- Que las plantas no posean olores extraños
- Que el follaje carezca de manchas
- Que el bulbo permanezca flexible y presente un color pajizo.

Teniendo en cuenta esta información se decide alternar el valor de la temperatura en las pruebas entre los 40°C, 50°C y 55°C.

Una vez elegidos los rangos de temperatura que se iban a usar, se inicia el proceso experimental; como el objetivo de este es poder encontrar la cantidad de humedad que debe perder el ajo para satisfacer las necesidades del productor, se pesan 200 g de ajo (valor que por la gran cantidad de desperdicios que causa se reduce a medida que las pruebas avanzan), esta cantidad se introduce en el horno, se gradúa a alguna de las temperaturas escogidas, se toma la hora a la que ingresan y se dejan a la exposición del aire caliente para iniciar el proceso de secado (*Figura 10*).

Para las primeras pruebas, pasados 10 minutos se pesa el ajo para evaluar la cantidad de agua evaporada en este periodo, pero debido a que el valor tomado es muy bajo, se decide ampliar los intervalos de tiempo entre cada medición a 30 minutos o una hora. Este procedimiento se repete hasta alcanzar las condiciones satisfactorias de secado nombradas con anterioridad (*Figura 11*).

Para controlar el porcentaje de pérdida de humedad en peso del producto se utiliza la Ecuación 1 la cual se rellena con los datos obtenidos progresivamente en las pruebas y con

los que se genera el seguimiento de los resultados que se muestran en la Tabla 4:

Tabla 4: Resultados de las pruebas iniciales

Prueba 1		Temperatura (°C)	40
		Peso inicial (gr)	38,1703
Lectura número	Tiempo (min)	Pérdida de peso (gr)	% de humedad perdida
1	60	0,6214	1,63%
2	140	1,4501	3,80%
3	220	2,278	5,97%

Prueba 2		Temperatura (°C)	40
		Peso inicial (gr)	91,8184
Lectura número	Tiempo (min)	Pérdida de peso (gr)	% de humedad perdida
1	60	1,24	1,35%
2	120	2,84	3,09%
3	200	4,6367	5,05%
4	260	6,0277	6,56%

Prueba 3		Temperatura (°C)	50
		Peso inicial (gr)	200
Lectura número	Tiempo (min)	Pérdida de peso (gr)	% de humedad perdida
1	30	1,5	0,75%
2	60	3,12	1,56%
3	120	6	3,00%
4	180	9,23	4,62%
5	240	12	6,00%

Prueba 4		Temperatura (°C)	50
		Peso inicial (gr)	200
Lectura número	Tiempo (min)	Pérdida de peso (gr)	% de humedad perdida
1	30	1,83	0,92%
2	120	5,72	2,86%
3	180	8,832	4,42%
4	247	12,3	6,15%

Prueba 5		Temperatura (°C)	55
		Peso inicial (gr)	34,938

Lectura número	Tiempo (min)	Pérdida de peso (gr)	% de humedad perdida
1	30	0,5	1,43%
2	80	1,3	3,72%
3	150	2,1	6,01%

Fuente: Autor

El promedio de porcentaje de humedad que debe alcanzar el ajo para poder procesarlo en la peladora es de:

$$\text{Promedio} = \frac{(5,97 + 6,56 + 6,00 + 6,15 + 6,01)\%}{5}$$

$$\text{Promedio} = 6,138\% \approx 6\%$$

Figura 10: Ensayos en incubadora



Fuente: Autor

Figura 11: Pelado de ajos secado a 40°C



Fuente: Autor

2.2 Construcción de prototipo para pruebas

Para el desarrollo del proyecto uno de los principales retos es la variación del flujo de aire, pues se busca que se pueda realizar un proceso de secado más ágil. Luego de indagar en las opciones, se toma la decisión de construir un prototipo cuyo principio de funcionamiento sea el elegido para el diseño final, en este prototipo se lleva a cabo la etapa experimental del proyecto.

La estructura empleada en el prototipo fue inicialmente una máquina incubadora, la que se encontraba en condiciones de deterioro, sin embargo, se decide rescatar debido a que está construida en acero inoxidable y tiene un elemento de aislamiento que permite mantener el calor dentro de las bandejas, adicional a ello, ya trae incorporada una resistencia que es capaz de obtener los parámetros de temperatura deseados. (Las dimensiones están detalladas en los Anexos 1 y 2.).

Para la recuperación de la estructura el primer paso consistió en limpiar, desinfectar, lijar y pintar las superficies (*Figuras 12 y 13*), esto con el fin de eliminar la corrosión que se había generado por la falta de uso, y adaptarla para ser usada en el secado de alimentos. También fue necesario adaptar llantas a la base para facilitar la movilidad de la máquina, además de elevarla del suelo, esto con el propósito de evitar procesos de corrosión dados por la humedad, el escaso flujo de aire y algunos otros factores.

Figura 12: Estructura del prototipo para pruebas preliminares



Fuente: Autor

Figura 13: Prototipo con primera capa de pintura



Fuente: Autor

A continuación, se empieza el proceso de ensamblaje de la parte eléctrica y electrónica que se encarga de la regulación de temperatura y flujo de aire (*Figura 14*). Para el funcionamiento se acopla un moto-ventilador obtenido del sistema de refrigeración de un vehículo Chevrolet DMAX de 25 cm de diámetro y una potencia de entrada de 11 W, el voltaje de trabajo pico es de 12 V, de modo que el circuito funciona regulando el voltaje desde 0 hasta 12 V y esto a su vez frena o impulsa el ventilador para que el flujo de aire sea menor o mayor. Para controlar la temperatura de aire se acopla una resistencia de 100 W, energizada por la red eléctrica, se realiza un proceso de regulación de voltaje con un potenciómetro, de modo que se pueda controlar el aumento o disminución de la temperatura, el proceso se vuelve automático al incluir en el circuito un sensor de temperatura y un controlador que ordena al regulador de voltaje encargado de la alimentación de la resistencia, se logra finalmente un control de temperatura en rango de 0 a 90 °C.

Figura 14: Prototipo cableado



Fuente: Autor

Una vez hecho el circuito correspondiente al control eléctrico (Anexo 2), se instala una puerta que asegura la hermeticidad necesaria para conservar el calor dentro de la máquina, y se obtiene el modelo final. (Figura 15).

Figura 15: Prototipo terminado



Fuente: Autor

2.3 Diseño experimental y pruebas en prototipo

Teniendo en cuenta que el promedio de pérdida de humedad para lograr las condiciones es de 6%, se realiza un diseño experimental encaminado encontrar el tiempo que tardará el producto en secarse, y escoger la combinación que entregue la mejor calidad y en el menor tiempo posible. Con base en la bibliografía consultada, se planea variar los flujos de aire y evaluar su influencia en el secado, para esto se construye un prototipo del cual se dan especificaciones en el numeral anterior, que cuenta con un control que permite la variación del flujo del aire siendo esta su característica principal, y a la vez, es esto lo que logra diferenciarlo del horno de secado utilizado en los primeros experimentos.

Por cuestiones de tiempo y disposición de los laboratorios se hace un diseño experimental factorial que cuenta solo con dos réplicas, se escogen los valores mínimos y máximos para cada parámetro así, para la temperatura 40 y 50 °C y para el flujo de aire de 0,5 y 1,5 m/s, las pruebas se realizaron aleatoriamente según lo arrojado por el programa Minitab en la Tabla 5.

Tabla 5: Combinación de las pruebas

Temperatura (°C)	Flujo (m/s)
40	0,5
50	1,5
50	0,5
40	1,5
50	0,5
40	1,5
50	1,5
40	0,5

Fuente: Autor

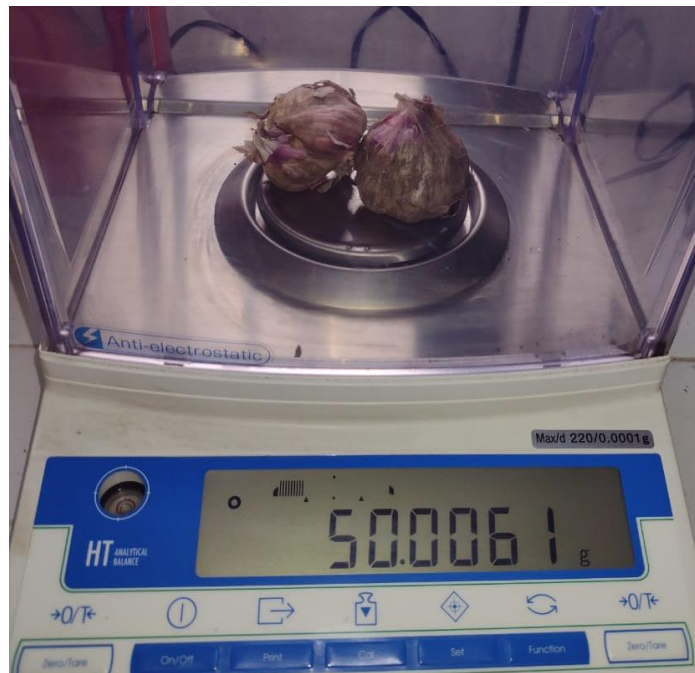
2.3.1 Procedimiento

Para esta parte de las pruebas se usan aproximadamente 50 g del producto, valor que se mantiene constante en cada ensayo (*Figura 16*), se realizan todas a la misma hora y con

producto procedente del mismo lote, lo anterior buscando controlar la mayor cantidad de variables que puedan afectar el parámetro a estudiar, en este caso ver que tanto influye al tiempo de secado y la variación del flujo de aire.

El procedimiento usado es muy similar al de los primeros experimentos, se precalienta la máquina con la temperatura y flujo estipulados, y una vez que se alcanzan dichas características, se depositan los ajos en una bandeja y se sitúan al interior de la máquina para iniciar el secado. Después de determinado tiempo se sacan del equipo, se pesan y se vuelven a introducir, repitiendo el proceso hasta alcanzar un porcentaje de pérdida de humedad en peso del 6%, lo que indica que se ha alcanzado el punto en que sus características permiten un pelado correcto. Los datos recolectados se muestran en la Tabla 6.

Figura 16: Demostración del pesado del producto



Fuente: Autor

Tabla 6: Datos de pruebas en prototipo

Temperatura (°C)	Flujo (m/s)	Tiempo (min)
40	0,5	270
50	1,5	183

50	0,5	210
40	1,5	212
50	0,5	219
40	1,5	210
50	1,5	180
40	0,5	253

Fuente: Autor

Cuando termina el proceso se pelan los ajos para verificar que su coloración no ha cambiado drásticamente (*Figura 17*), los mejores resultados se obtienen en las pruebas hechas a 40°C y 1,5 m/s.

Figura 17: Ajos pelados después del proceso de secado



Fuente: Autor

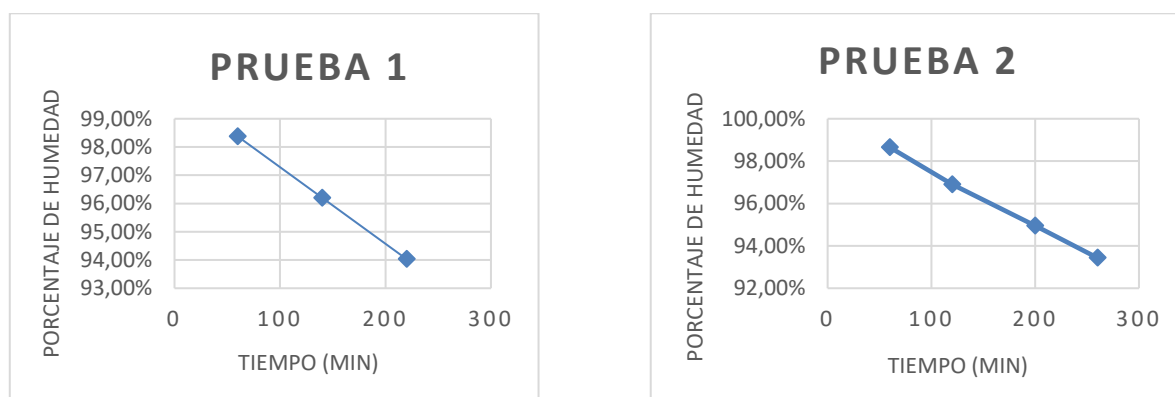
3. Resultados experimentales

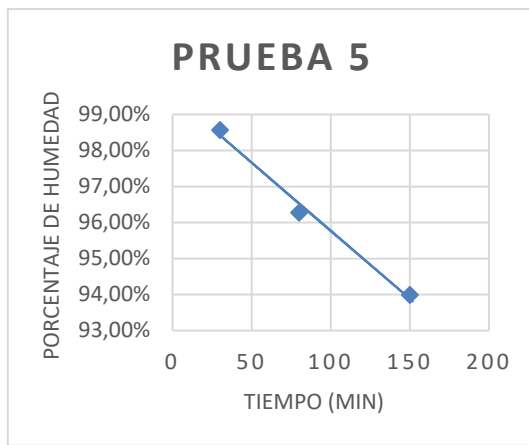
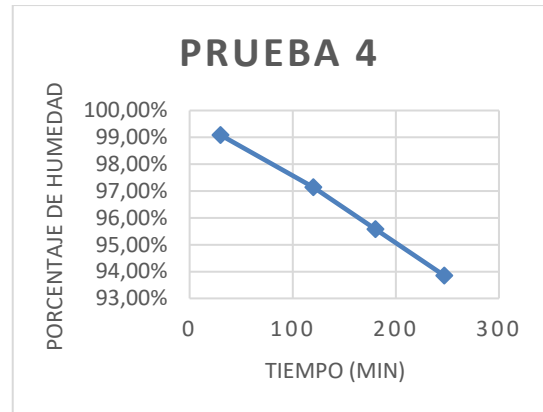
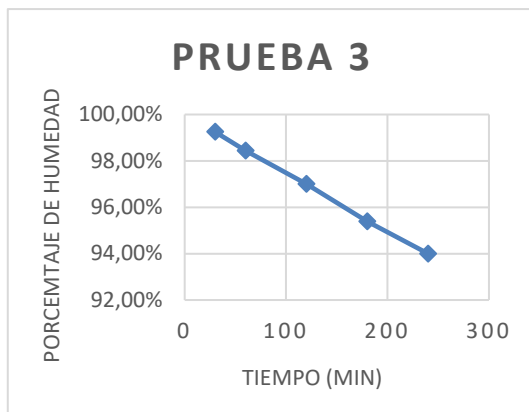
3.1 Pérdida de humedad

En la Tabla 4 se pueden observar los datos obtenidos en la primera prueba experimental, el promedio de humedad que debe perder el ajo es de 6%, al compararlo con los valores teóricos y los experimentales citados en la bibliografía se encuentra que este dato es mucho menor a los encontrados en los estudios mencionados, esto sucede porque el objetivo cambia drásticamente, en la mayoría de estos se pretendía deshidratar por completo el ajo con el fin de convertirlo en polvo y ser comercializado de esta manera, o demostrar cuál era la mayor cantidad de agua que se podía extraer sin alterar las propiedades del mismo, en el caso de este proyecto, se busca encontrar un valor que permita, en poco tiempo, retirar la humedad suficiente para facilitar su pelado, por lo que el valor va a ser mucho menor, tal y como se observó.

Al representar gráficamente la pérdida de humedad con respecto al tiempo (*Figura 18*), se obtienen las curvas de secado de cada una de las pruebas realizadas, de la misma manera que se esperaba. Se obtienen curvas decrecientes, esto significa que, a medida que el tiempo avanza el ajo pierde humedad, dando así el perfil característico de una cinética de secado.

Figura 18: Cinética de secado del ajo





Fuente: Autor

Adicionalmente y para comprobar los datos encontrados acerca de los límites de temperatura, se hace una prueba en la que se intenta secar el ajo a 60°C, obteniendo dientes con coloración distinta como se observa en la Figura 19, demostrando así que el producto no es capaz de soportar esas temperaturas, encontrando un parámetro límite que se tiene en cuenta para continuar con los demás ensayos realizados.

Figura 19: Prueba a 60°C

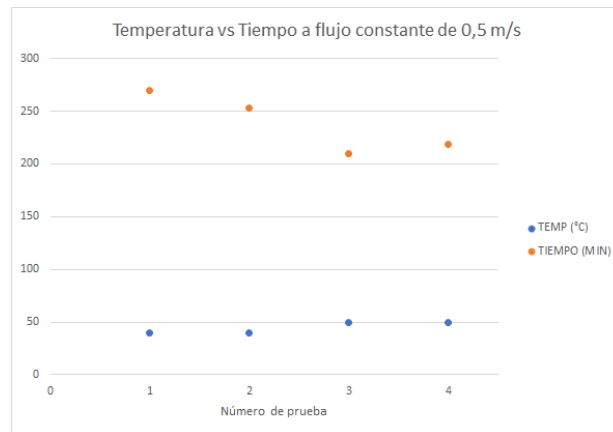


Fuente: Autor

3.2 Diseño experimental

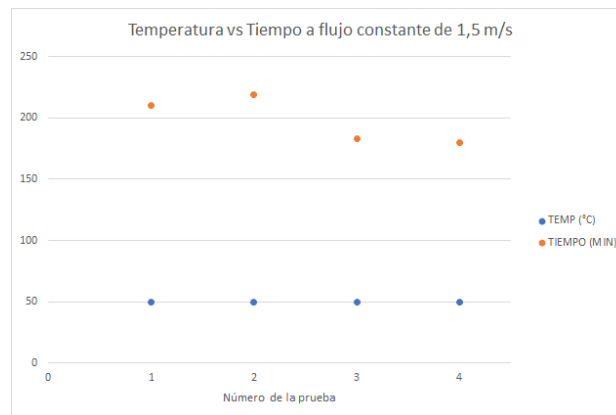
Con la intención de caracterizar los datos que den como resultado un proceso más eficiente, se efectúa una comparación de la cantidad de tiempo que tarda el producto en secar y la temperatura que se usa para ello, teniendo en cuenta los valores detallados en la Tabla 6 se clasificaron según el valor de flujo de aire utilizado tal como se muestra en las Figuras 20 y 21.

Figura 20: Temperatura vs Tiempo con flujo de 0,5 m/s



Fuente: Autor

Figura 21: Temperatura vs Tiempo con flujo de 1,5 m/s



Fuente: Autor

Tal como se evidencia, al mantener un flujo de aire constante de 0,5 m/s (Figura 20) y 1,5 m/s (Figura 21) la Temperatura y el Tiempo se convierten en variables inversamente proporcionales, es decir, a medida que aumenta la temperatura el tiempo que tarda en secar el ajo es menor.

Retomando los datos recopilados en la Tabla 6 y ayuda del programa Minitab, se realiza un análisis factorial del diseño experimental para el que se usa como respuesta el tiempo y, en el que se toman como factores interventores del proceso a la temperatura, el flujo de aire y la interacción entre estos dos. En la Tabla 7 se encuentra el análisis de varianza del diseño, este es importante por el valor de p el cual representa la probabilidad de que la relación entre variables en un análisis no sea casualidad, sino que la misma se cause por la interacción de factores dado esto es vital que este dato sea menor que 0,05. Como se puede notar en las variables lineales de temperatura y flujo se obtiene un p de 0,001, por lo que se deduce que estos dos valores son relevantes para el estudio y es necesario tenerlos en cuenta a lo largo del desarrollo del diseño final de la máquina. También, se puede ver que la interacción entre las dos variables no es significativa, por lo tanto, se puede considerar su no inclusión en el modelo final. Esto también se puede ver demostrado en el diagrama de Pareto (*Figura 22*) en el que AB se encuentra por debajo de la línea de referencia que muestra la significancia.

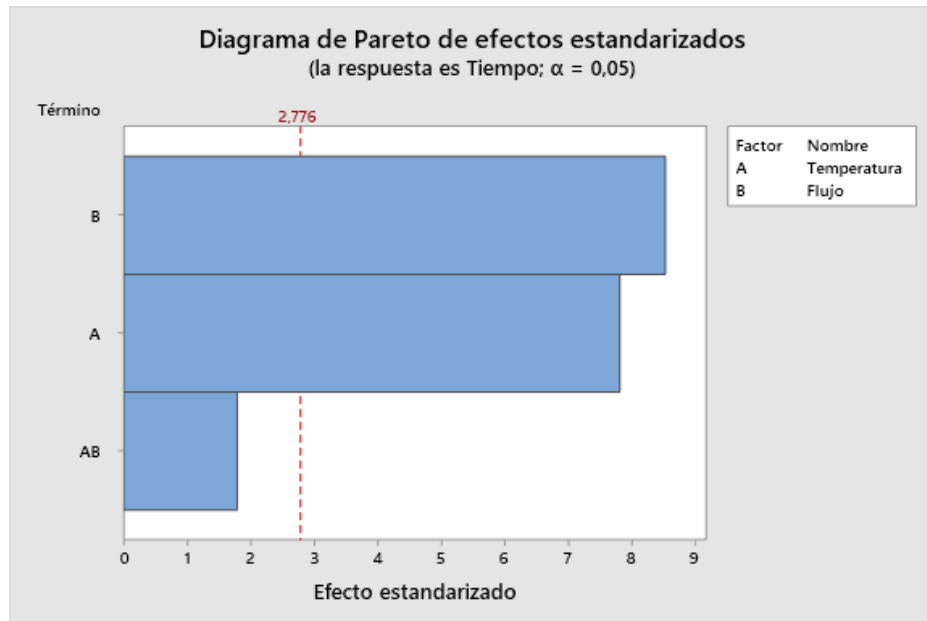
Tabla 7: ANOVA

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	3	6565,4	2188,46	45,71	0,001
Lineal	2	6412,3	3206,13	66,97	0,001
Temperatura	1	2926,1	2926,13	61,12	0,001
Flujo	1	3486,1	3486,13	72,82	0,001
Interacciones de 2 términos	1	153,1	153,13	3,20	0,148
Temperatura*Flujo	1	153,1	153,13	3,20	0,148
Error	4	191,5	47,88		
Total	7	6756,9			

Fuente: Minitab

Figura 22: Diagrama de Pareto



Fuente: Minitab

En el resumen del modelo (Tabla 8), R-cuadrado muestra que el modelo es capaz de explicar en un 97,17% la varianza en el tiempo, en otras palabras, se ve que este modelo se ajusta bastante bien a los datos.

Tabla 8: Análisis de regresión

Resumen del modelo

S	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
6,91918	97,17%	95,04%

Fuente: Minitab

Considerando los datos descritos anteriormente, se establece una ecuación de regresión realizada en el programa por medio del método de mínimos cuadrados, esta es idónea para el estudio puesto que muestra la relación entre las variables predictoras (flujo de aire y temperatura) y la variable de respuesta (tiempo).

$$Tiempo = 509,8 - 2,28 * Temperatura - 120,5 * Flujo + 1,750 * (Temperatura * Flujo)$$

Ecuación 3

Teniendo en cuenta que el estudio arroja que la interacción entre factores no afecta el tiempo de secado, al retirarlo de la ecuación la anterior expresión queda convertida en:

$$Tiempo = 431 - 3,825 * Temperatura - 41,75 * Flujo \quad \text{Ecuación 4}$$

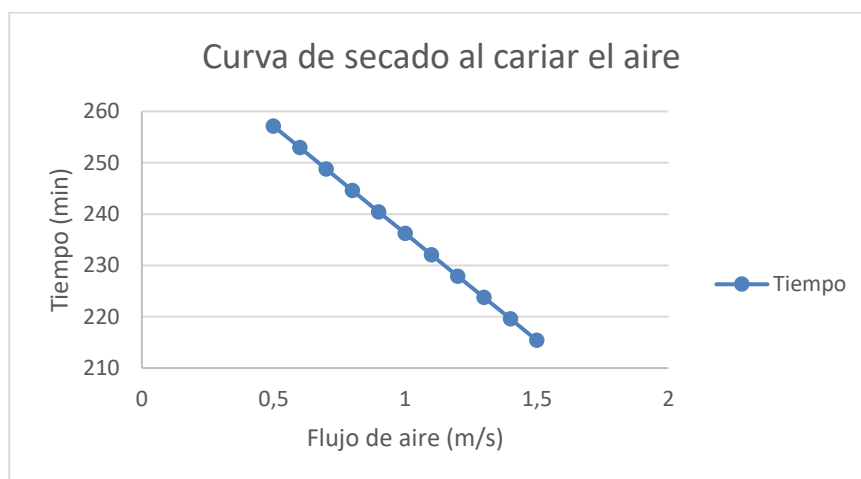
Por medio de la Ecuación 4 se puede hallar la variación del tiempo con respecto al cambio del flujo de aire cuando la temperatura se mantienen constante y así caracterizar la curva de secado que se genera, lo anterior se hace reemplazando en la ecuación mencionada con el valor de temperatura correspondiente y con intervalos de flujo entre 0,5 m/s y 1,5 m/s, estos valores se representan en la Tabla 9 para 40°C y Tabla 10 para 50°C.

Tabla 9: Tiempo de secado variando el flujo de aire con temperatura constante de 40°C

Temperatura	Flujo	Tiempo
40	0,5	257,125
	0,6	252,95
	0,7	248,775
	0,8	244,6
	0,9	240,425
	1	236,25
	1,1	232,075
	1,2	227,9
	1,3	223,725
	1,4	219,55
	1,5	215,375

Fuente: Autor

Figura 23: Comportamiento del tiempo al variar el flujo de aire a una temperatura de 40°C



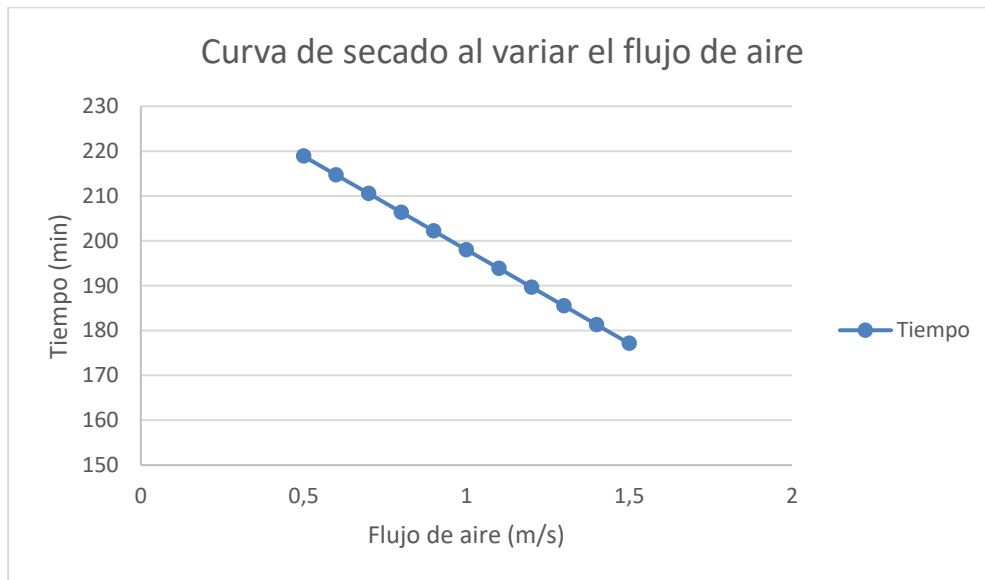
Fuente: Autor

Tabla 10: Tiempo de secado variando el flujo de aire con temperatura constante de 50°C

Temperatura	Flujo	Tiempo
50	0,5	218,875
	0,6	214,7
	0,7	210,525
	0,8	206,35
	0,9	202,175
	1	198
	1,1	193,825
	1,2	189,65
	1,3	185,475
	1,4	181,3
	1,5	177,125

Fuente: Autor

Figura 24: Comportamiento del tiempo al variar el flujo de aire con temperatura constante de 50°C



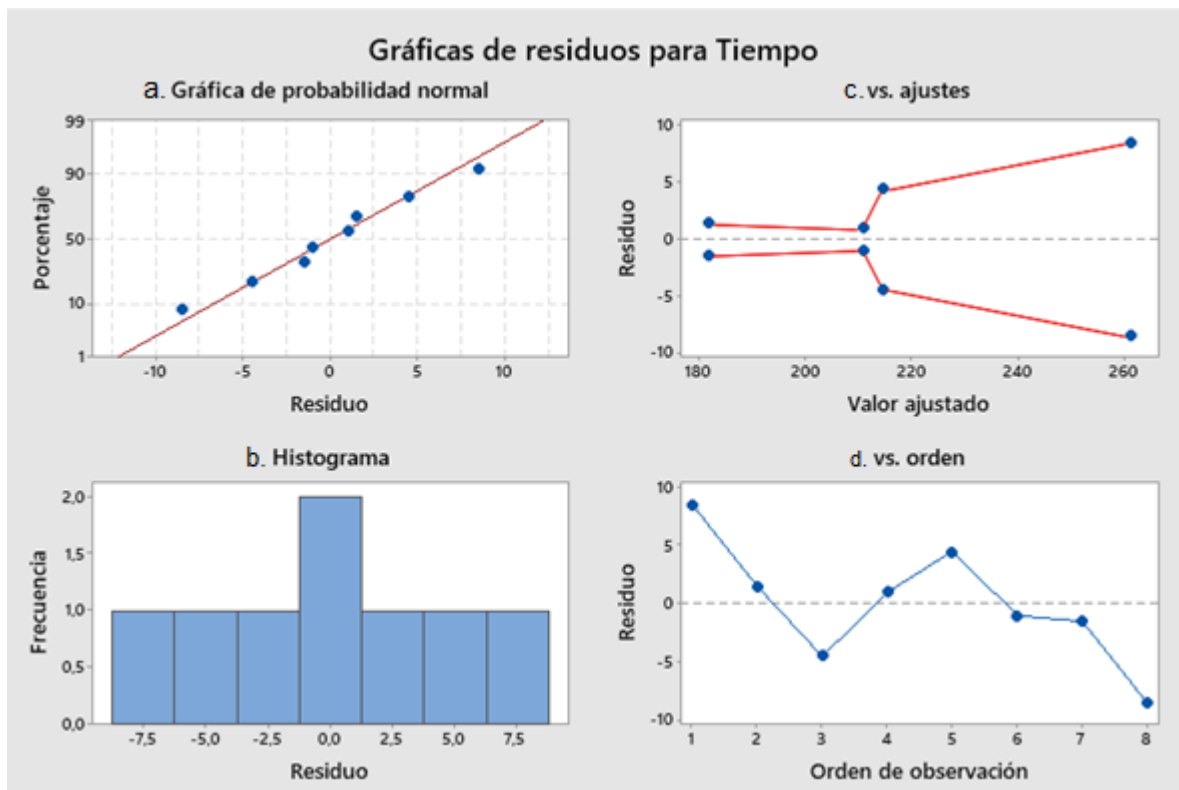
Fuente: Autor

En las Figuras 23 y 24 se puede notar que cuando el flujo de aire aumenta, el tiempo que tarda el secado del producto es considerablemente menor, en ambos casos la reducción es de 41,75 minutos por lo que se deduce y se confirma que aquel factor es relevante para el estudio tal y como se mencionó con anterioridad.

La gráfica de residuos para la variable independiente Tiempo (Figura 25) muestra la linealidad de los datos y su varianza normal en la gráfica de probabilidad (Figura 25-a), la

asimetría de los mismos en el histograma (*Figura 25-b*); en los diagramas de residuos vs ajustes (*Figura 25-c*) y vs orden (*Figura 25-d*) se ve la aleatoriedad de las muestras, este esquema ayuda a confirmar que no existe ningún problema con el modelo y que ponerlo en práctica arrojará resultados confiables para el estudio.

Figura 25: Gráficas de residuos para la variable "Tiempo"



Fuente: Minitab

Con el fin de comprobar la ecuación de regresión se realiza una predicción del modelo a una temperatura de 40°C y flujo de aire de 1,5 m/s. Tomando como referencia nuevamente el programa Minitab se obtuvo lo mostrado en la Tabla 11.

Tabla 11: Predicción del tiempo de secado

Predicción

Ajuste	EE de ajuste	IC de 95%	IP de 95%
211	4,89260	(197,416; 224,584)	(187,472; 234,528)

Fuente: Minitab

Tal y como se observa en la Tabla 11, el valor de IC arrojado da una media para el tiempo entre los 197,416 minutos y 224,548 minutos. La prueba fue de igual forma realizada con dichas condiciones en el prototipo de secador que se construyó para las pruebas y que está descrito en el Anexo 1, en este tarda 220 minutos en realizar el secado de 50 g de ajo.

Si bien el valor se encuentra dentro del intervalo dado por el programa estadístico, es necesario comprobar que el ajuste dado en la ecuación de regresión es correcto así:

Se reemplazan las condiciones ideales en la Ecuación 4:

$$Tiempo = 431 - 3,825 * Temperatura - 41,75 * Flujo$$

$$Tiempo = 431 - 3,825 * (40) - 41,75 * (1,5)$$

Se cuenta con los siguientes datos:

$$Tiempo = 215,375$$

$$Tiempo \text{ de la prueba} = 220 \text{ minutos}$$

$$Valor \text{ inferior de IC} = 197,416 \text{ minutos}$$

$$Valor \text{ superior de IC} = 224,548 \text{ minutos}$$

Con las que se realiza la siguiente diferencia:

$$Tiempo \text{ de la prueba} - Tiempo = 220 - 215,375 = 4,625$$

$$\frac{Valor \text{ superior de IC} - Valor \text{ inferior de IC}}{2} = \frac{224,548 - 197,416}{2} = 13,566$$

Como este último valor (13,566) es superior al de la diferencia entre el tiempo calculado por medio de la ecuación de regresión y el hallado en la prueba (4,625) se puede deducir que el ajuste es correcto y por ende la ecuación hallada en el programa Minitab.

4. Diseño final

4.1 Diseño del prototipo final

Para establecer el diseño del secador, es necesario seleccionar cuidadosamente cada uno de los componentes que lo van a conformar: el material, el aislante, el motor ventilador y la resistencia; una vez realizada la respectiva investigación, se escogen los factores que asegurarán un mejor funcionamiento del equipo, los cuales son descritos a continuación. El diseño se llevó a cabo tomando como referencia la incubadora usada en los experimentos iniciales del estudio y cuya referencia fue detallada con anterioridad.

4.1.1 Material

En la realización el diseño se deben analizar minuciosamente los tipos de aceros inoxidable, debido a que cada uno tiene una estructura cristalina diferente, estos se dividen en cuatro tipos:

- Aceros Martensíticos
- Aceros Ferríticos
- Aceros Austeníticos
- Aceros Austenoferríticos.

Teniendo en cuenta que el producto que se va a manejar (ajos) tiene propiedades considerables para generar corrosión, el acero inoxidable austenítico ofrece unas características mecánicas favorables y, en general, puede considerarse como uno de los grupos de materiales más resistentes desde el punto de vista de la corrosión, las principales aplicaciones de estos materiales se presentan en la industria automovilística, alimenticia y petroquímica. [31]

La Figura 26 muestra composición química (%) de los aceros inoxidable más utilizados en el mercado.

Figura 26: Aceros inoxidables más comunes

GRADO	304	304L	316	316L	316Ti	310	301	321	201	202	430	410
CARBONO (C) max.	0.08	0.035*	0.08	0.035*	0.08	0.25	0.08	0.08	0.10	0.07	0.12	0.15
MANGANESO (Mn) max.	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	9.25	7.2	1.00	1.00
FOSFORO (P) max.	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.045	0.04	0.045	0.085	0.05	0.04	0.04
AZUFRE (S) max.	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.01	0.07	0.03	0.03
SILICIO (Si) max.	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	1.50	0.75	1.00	0.38	0.35	1.00	1
CROMO (Cr) max.	18.0 a 20.0	18.0 a 20.0	16.0 a 18.0	16.0 a 18.0	18.0 a 20.0	24 a 26	17.0 a 20.0	17 a 19	15 a 17	16a 18	16 a 18	11.5 a 13,5
NIQUEL (Ni)	8.0 a 11.0	8.0 a 13.0	10.0 a 14.0	10.0 a 15.0	11.0 a 14.0	19 a 22	9.0 a 13.0	9 a 12	1.0 a 1.50	4 a 6	----	----
MOLIBDENO (Mo)	----	----	2.0 a 3.0	2.0 a 3.0	3.0 a 4.0	----	----	----	----	----	----	----
OTROS ELEMENTOS	----	----	----	----	----	----	Ti = 5xC min. y 0.70 max.	Ti=5x %c	Cu=1.7 N=0.13	Cu=1.7 N=0.08	----	----

Fuente: Universidad Complutense de Madrid (España)

Teniendo en cuenta lo descrito con anterioridad y de acuerdo al trabajo que realizará el equipo, se decide que es más adecuado usar AISI 316Ti y no 316L principalmente por la cantidad de temperatura que puede resistir el primero en comparación del otro. [32]

4.1.1.1 Acero inoxidable AISI 316Ti: La característica principal de este acero que hizo que se convirtiera en el material escogido para la construcción del prototipo, es su alta resistencia a la corrosión tanto general como a grietas o picaduras, también es capaz de soportar elevadas temperaturas por tiempos prolongados sin que esto comprometa sus características. En la Tabla 12 se enlistan sus propiedades mecánicas y físicas. [33]

Tabla 12: Propiedades mecánicas y físicas del AISI 316Ti

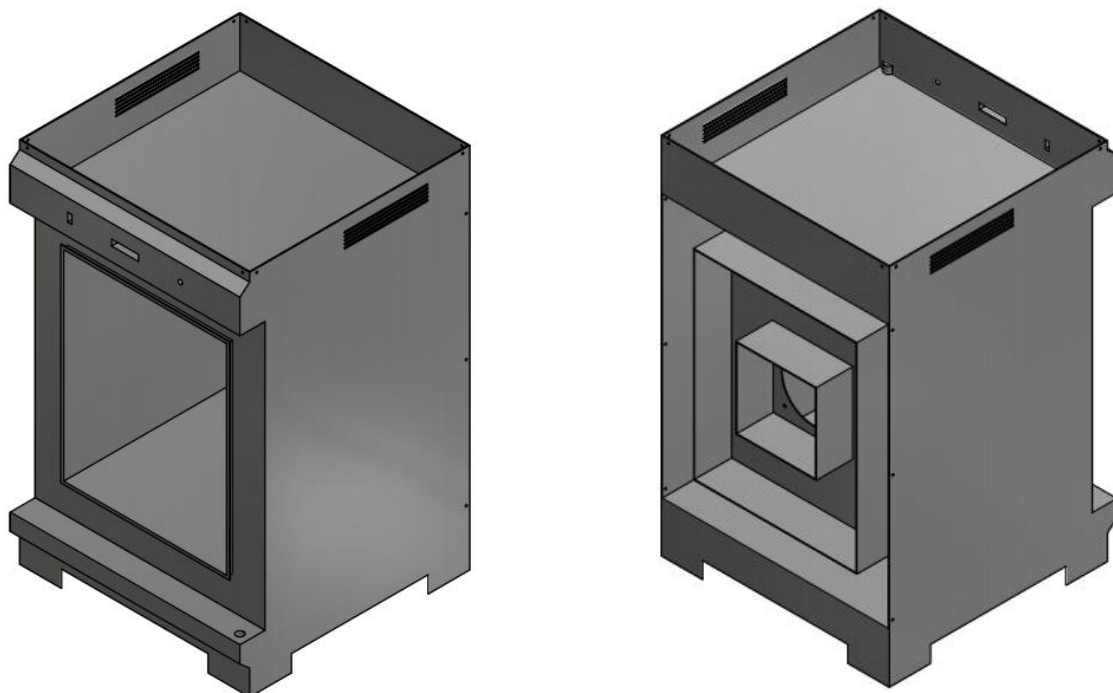
PROPIEDADES MECÁNICAS		
Temple	Recocido	
Tensión Rm	75	ksi(min)
Tensión Rm	515	Mpa(min)
R.p. 0.2% Producir	30	ksi(min)
R.p. 0.2% Producir	205	Mpa(min)
Alargamiento	35	%(min)

PROPIEDADES FÍSICAS		
Calor específico	500	J.kg-1. °k-1
Conductividad térmica	14,6	W.m-1. °k-1
Expansión térmica	16,5	µm/µm/°c
Modelo de elasticidad	193	Gpa
Resistividad eléctrica	7,4	µohm/cm
Densidad	7,99	g/cm3

Fuente: AMETEK

Con el acero AISI 316 Ti se deberá construir cada uno de los componentes de la máquina incluyendo su estructura (Figura 27), y para ello, se usarán láminas de 2 mm de espesor. (Las dimensiones se encuentran en el Anexo 3)

Figura 27: Estructura del diseño final



Fuente: Autodesk inventor - Autor

4.1.2 Aislante térmico

El aislante que se selecciona, debido a que cumple algunas especificaciones importantes, es la fibra de vidrio (*Figura 28*). El componente principal de este aislante es el vidrio, el cual se somete a un proceso de fundición, posteriormente se realiza el hilado y finalmente se convierte en una manta. Estos insumos son altamente inorgánicos, tienen muchos beneficios como la eficiencia térmica, en combustión, estabilidad dimensional, absorción de humedad, no corrosión, durabilidad, contenido de almidón, seguridad, entre otros. [34]

Figura 28: Fibra de vidrio



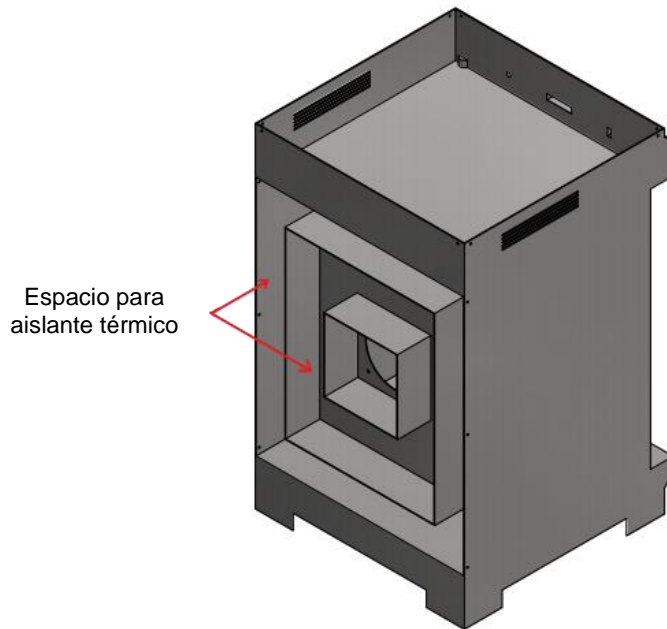
Fuente: Homecenter

Se tienen en cuenta las especificaciones de las normas que rigen estos procesos, algunas de ellas son:

- NRF-034-PEMEX-2004, Aislamientos Térmicos para altas temperaturas en equipos.
- ASTM C 1136, Aislamiento térmico flexible de baja densidad retardante al vapor Tipo I y II. ASTM C 795, Aislamiento térmico para el uso sobre acero inoxidable* Mil Spec.
- ASTM C 411, Método de prueba para el comportamiento de superficie caliente de aislantes térmicos para alta temperatura (Standard Test Method for Hot-Surface Performance of High-Temperature Thermal Insulation).
- ASTM E 96 Proc A, Método de prueba de transmisión de vapor de agua de materiales (Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials).
- ASTM D 781, Resistencia a la perforación en presentaciones ASJ y FSK.
- NOM-009-ENER, Eficiencia Energética en aislamientos térmicos industriales. [35]

Este aislamiento, se va insertar en medio de las paredes de la estructura en el espacio vacío que se genera al retirar la lámina existente en la parte de atrás de la estructura del secador y de la puerta, tal como se evidencia en la Figura 29.

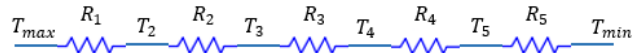
Figura 29: Especificación del espacio para aislante



Fuente: Autodesk inventor - Autor

Cálculo de las diferencias de temperatura interior y exterior

$$Q_P = \frac{\Delta T_{max}}{R_T} \tag{Ecuación 5}$$



Para obtener la temperatura T_2 requerida se despeja ΔT en la Ecuación 5 y procedemos a remplazar.

$$\begin{aligned} \Delta T_{max} &= Q_P * R_T \\ T_{max} - T_2 &= Q_P * R_2 \\ T_{max} &= 40^\circ\text{C} + 273.15 \\ T_{max} &= 313.15 \text{ K} \\ 313.15 \text{ K} - T_2 &= 1.05612(\text{w}) * 5.471496(\text{K/w}) \\ T_2 &= 313.15 \text{ K} - 1.05612(\text{w}) * 5.471496(\text{K/w}) \\ T_2 &= 307.3714436 \text{ K} - 273.15 \\ T_2 &= \mathbf{34.22^\circ\text{C}} \end{aligned}$$

Con este valor se concluye que la lámina interior de la recámara de secado va estar a una temperatura de 34°C aproximadamente.

Tomando como referencia nuevamente la Ecuación 5 y sabiendo que en T_5 es $\Delta T = T_5 - T_{min}$ entonces:

$$T_5 - T_{min} = Q_p * R_2$$

$$T_{min} = 16^\circ\text{C} + 273.15$$

$$T_{min} = 289.15 \text{ K}$$

$$T_5 - 289.15 \text{ K} = 1.05612(w) * 7.1021(\text{K}/w)$$

$$T_5 = 1.05612(w) * 7.1021(\text{K}/w) + 289.15 \text{ K}$$

$$T_5 = 296.65 \text{ K} - 273.15$$

$$T_5 = 23.5^\circ\text{C}$$

Con estos datos se realiza la diferencia de temperatura con T_2 y T_5 sustituyendo en la Ecuación 6.

$$\Delta T = T_2 - T_5 \quad \text{Ecuación 6}$$

$$\Delta T = 34.22^\circ\text{C} - 23.5^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = 10.72^\circ\text{C}$$

Con estos datos se puede concluir que el espesor del aislamiento escogido es suficiente para que el operador no corra ningún daño físico por quemaduras al tener contacto con la superficie.

4.1.3 Cálculo y selección de la resistencia

Para escoger la resistencia adecuada se debe conocer cuánta energía es necesaria para calentar el aire dentro de la máquina, y que así se lleve a cabo el proceso de evaporización de agua y por ende el secado del producto.

Para realizar este cálculo, es imperioso conocer la velocidad a la que se va trabajar para tener un secado del ajo satisfactorio, tomando como referencia los datos obtenidos en el proceso experimental; se obtiene el flujo de aire ideal, y a su vez, con la diferencia de temperaturas, se buscan las propiedades específicas del aire, lo anterior se logra con base en la siguiente relación y datos:

$$Q_{CA} = C_{pa} * \dot{m}_a * (\Delta T) \quad \text{Ecuación 7}$$

Temperatura exterior (T_e): 16°C

Temperatura interior (T_i): 40°C

Base 0,4 m

Fondo 0,375 m

Altura 0,470 m

Diámetro del ventilado o aspas 0,15 m

Densidad del aire $1,127 \text{ kg/m}^3$.

Se realiza un cálculo de la temperatura promedio, con este valor se remitió a la Tabla A – 7 del libro Transferencia de calor de Anthony Mills

$$T_{Promedio} = \frac{T_e + T_i}{2} \quad \text{Ecuación 8}$$

$$T_{Promedio} = \frac{40 + 16}{2}$$

$$T_{Promedio} = 28 \text{ }^\circ\text{C}$$

Dado que en la Tabla A-7 la temperatura se encuentra en Kelvin, es necesario hacer la conversión de grados Celsius a esta unidad

$$K = \text{ }^\circ\text{C} + 273,15$$

$$K = 28 \text{ }^\circ\text{C} + 273,15$$

$$K = 301,15 \text{ }^\circ\text{K}$$

Para una temperatura de $K = 301,15 \text{ K}$ la Tabla A-7 da la siguiente información

$$K = 0,0268 \text{ (}^w/\text{mK)}$$

$$\phi = 1,17286 \text{ (}^{\text{kg}}/\text{m}^3)$$

$$C_p = 1,005069 \text{ (}^{\text{kJ}}/\text{kg} * \text{K)}$$

$$\mu = 18,4806 * 10^{-6} \text{ (}^{\text{kg}}/\text{m} * \text{s)}$$

$$v = \varepsilon = 15,7612 * 10^{-6} \text{ (}^{\text{m}^2}/\text{s)}$$

$$P_r = 0,69$$

Para obtener el valor \dot{m}_a se sustituye en la Ecuación 9

$$\dot{m}_a = V * D * A \quad \text{Ecuación 9}$$

Para hallar el área se usa el diámetro de las aspas del ventilador y se sustituye en la Ecuación 10

$$A = \pi * R^2 \quad \text{Ecuación 10}$$

$$A = \pi * (0,15 \text{ m})^2$$

$$A = 0.017 \text{ m}^2$$

$$\dot{m}_a = V * D * A$$

Ecuación 11

$$\dot{m}_a = 1,5 \text{ m/s} * 1,127 \text{ kg/m}^3 * 0,017 \text{ m}^2$$

$$\dot{m}_a = 0,02992 \text{ kg/s}$$

Retomando la Ecuación 7

$$Q_{CA} = C_{pa} * \dot{m}_a * (\Delta T)$$

$$Q_{CA} = (1,005069 \text{ (kJ/kg } ^\circ\text{C)}) * 0,02992 \text{ kg/s} * (40 - 16)^\circ\text{C}$$

$$Q_{CA} = 0,7217 \text{ kJ/s}$$

$$Q_{CA} = 0,7217 \text{ kW} = 721,7 \text{ W}$$

Este valor corresponde a la energía necesaria para realizar el proceso de calentamiento del aire dentro de la máquina.

Para el cálculo de la energía que pierde se utiliza la Ecuación 12 así:

$$D_H = \frac{4A_c}{\text{Perimetro}}$$

Ecuación 12

$$D_H = \frac{4(0,4 \text{ m} * 0,470 \text{ m})}{2(0,4 + 0,470)\text{m}}$$

$$D_H = 0,43218 \text{ m}$$

Teniendo en cuenta los datos obtenidos, se reemplaza en la Ecuación 13 para hallar así el número de Reynolds:

$$R_{eDH} = \frac{(m_a/A_c)D_H}{\mu}$$

Ecuación 13

$$R_{eDH} = \frac{(0,02992 \text{ kg/s} / 0,4 \text{ m} * 0,470 \text{ m}) 0,43218 \text{ m}}{18,4806 * 10^{-6} \text{ (kg/m} * \text{s)}}$$

$$R_{eDH} = 3721,794$$

Este valor indica que existe un flujo transitorio, sin embargo, como se aproxima a 4000 se considera flujo turbulento y se reemplaza en la Ecuación 14.

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

Ecuación 14

$$\text{para valores } 10^3 \leq R_e \leq 10^6$$

$$f = (0,790 \ln 3721,794 - 1,64)^{-2}$$

$$f = 0,042419$$

Teniendo en cuenta el tipo de flujo se procede a remplazar cada valor para determinar el número de Nusselt sustituyendo en la Ecuación 15 como se muestra a continuación:

$$N_u = \frac{(f/8)(R_e - 1000)P_r}{1 + 12,7(f/8)^{0,5}(P_r^{2/3} - 1)} \quad \text{Ecuación 15}$$

Para

$$0,5 \leq P_r \leq 2000$$

$$3 * 10^3 \leq R_e \leq 5 * 10^4$$

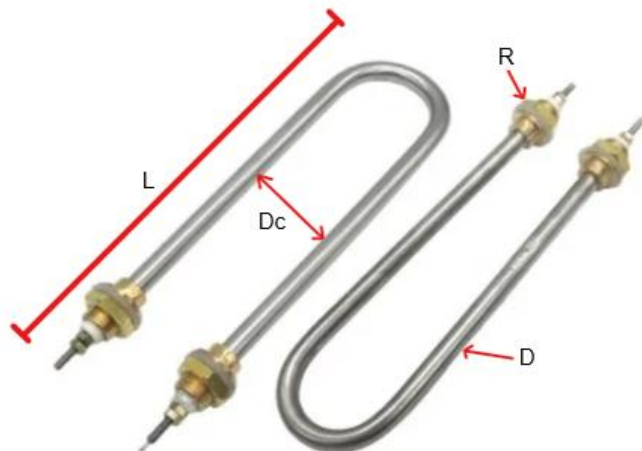
$$N_u = \frac{(0,042419/8)(3721,794 - 1000)0,69}{1 + 12,7(0,042419/8)^{0,5}(0,69^{2/3} - 1)}$$

$$N_u = \frac{9,9536}{0,7976}$$

$$N_u = 12,479$$

Con el cálculo anterior se establece que la potencia mínima que necesitará el secador es de 721 W, dado que es complejo encontrar una resistencia con ese valor, se busca una que asegurara una mayor potencia. Bajo esta precisión, se toma la decisión de usar una resistencia de acero inoxidable que maneja un voltaje de 220V/380V y entrega una potencia de 1 kW, el proveedor será QBIT Bogotá. Las dimensiones se especifican a continuación en la Figura 30:

Figura 30: Dimensiones de la resistencia



Fuente: QBIT - Mercadolibre

L = Longitud del tubo: 190 mm

Dc = Distancia central: 50 – 60 mm (ajustable)

R = Tamaño de la rosca: M16

D = Diámetro del tubo: 10 mm

La posición de esta será debajo del ventilador, en medio de la estructura y la lámina de la recámara de secado.

4.1.4 Ventilador

Por el dimensionamiento que se le dio a la máquina, se requiere que el ventilador tenga un diámetro de 150 mm, con este valor y el arrojado por el proceso experimental factorial indicando que lo más favorable es usar un flujo de aire de 1,5 m/s, se procede a hallar el caudal volumétrico mínimo que debe suministrar el ventilador para garantizar esta velocidad en la cual se reemplaza en la Ecuación 16.

$$\dot{V} = v * A \quad \text{Ecuación 16}$$

$$\dot{V} = \left(1,5 \frac{m}{s}\right) (\pi r^2)$$

$$\dot{V} = \left(1,5 \frac{m}{s}\right) (\pi (0,075m)^2)$$

$$\dot{V} = 0,0265 \frac{m^3}{s} * \frac{3600 s}{1 h}$$

$$\dot{V} = 95,426 \frac{m^3}{h}$$

Teniendo como referencia el ventilador usado en el prototipo descrito en el apartado 5.1 y usando la norma UNE 100-230-95 que enuncia que, si se desea usar un ventilador en condiciones que no son las usadas en los ensayos [36], en este caso las del prototipo, se pueden usar las ecuaciones dadas por las leyes de los ventiladores. Para el prototipo final es necesario adaptar un ventilador que al ser comparado con el del prototipo debe modificar sus dimensiones, teniendo esto en cuenta, se utilizó la Ecuación 17 que se encarga de arrojar un valor de potencia mínima necesaria para que el ventilador funcione con el cambio de diámetro:

$$\text{Potencia } P_r = P_{r0} * \left(\frac{D_r}{D_{r0}}\right)^5 \quad \text{Ecuación 17}$$

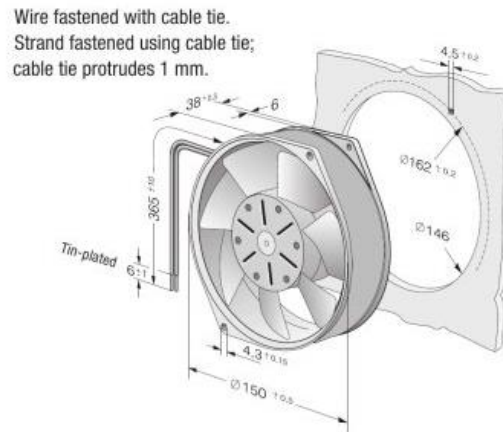
Al reemplazar los datos en la ecuación se obtiene:

$$P_r = 11W * \left(\frac{150 \text{ mm}}{250 \text{ mm}}\right)^5$$

$$P_r = 0,85536 \approx 1W$$

En el mercado es difícil encontrar ventiladores con los datos encontrados por lo que se escoge uno de la marca ebmpapst de la serie 7100 N, específicamente un ventilador axial modelo 7112 N (Anexo 15) de dimensiones 150 x 38 mm cumpliendo así con el diámetro requerido (*Figura 31*), tiene una potencia de hasta 12 W, además, es capaz de proporcionar un caudal de aire de hasta $300 \frac{m^3}{h}$. Para conseguir el flujo volumétrico hallado se instalará un conversor de voltaje que ayudará a graduar este factor.

Figura 31: Dimensiones del ventilador



Fuente: ebmpapst

4.1.5 Empaque para hermeticidad de la puerta

En el desarrollo, se debe tener en cuenta el sellado de la puerta con el objetivo de disminuir las pérdidas de calor, para esto se eligen tiras de sellado magnéticas, como las referenciadas en la Figura 32; este tipo de empaque por su características y propiedades es óptimo para el diseño que se plantea.

Figura 32: Empaque elegido para la puerta



Fuente: Orange Media Group

4.1.6 Vidrio

Es un material inorgánico duro, frágil, transparente y amorfo que se encuentra en la naturaleza, aunque también puede ser producido por el ser humano. [37] Este material se implementará como mecanismo visual para poder evidenciar el proceso de secado desde el exterior de la máquina, el espesor del vidrio será de 2 mm; se situarán dos vidrios en las ranuras diseñadas en el centroide de la puerta, la finalidad de implementar dos vidrios es generar un vacío entre ambos que limiten la pérdida de calor.

4.1.7 Materiales para la instalación electrónica

Para programar y realizar el circuito deseado con las características adecuadas se necesitan algunos componentes como:

4.1.7.1 Arduino

Es una plataforma de prototipos electrónica de código abierto (open-source) basada en hardware y software flexible y fáciles de usar [38]. En este caso se implementará un arduino 1 que se caracteriza por tener entradas analógicas y entradas digitales, estas últimas dan únicamente como respuesta un 0 (para desactivar) o un 5 (para activar), por el contrario, las entradas y salidas analógicas arrojan un valor de 0 a 5 dependiendo el fin deseado. Por su facilidad y características, los componentes electrónicos de la máquina irán conectados a un arduino como este.

4.1.7.2 Monitor LCD 16*2

Por medio de esta se plasmarán los datos que se requieren para el funcionamiento como la temperatura, flujo de aire, así como el estado de la resistencia (encendida o apagada).

4.1.7.3 Interruptor general

Es un mecanismo de encendido y apagado, su funcionamiento permite o corta la corriente en el circuito.

4.1.7.4 Potenciómetro

Es un sistema de control que tiene como función, variar el voltaje.

4.1.7.5 Fuente

Es un accesorio que ayuda a suministrar voltaje y corriente el sistema La placa contenedora del circuito se encontrará en la parte superior de la máquina, contará con re ventilación para evitar que se aumente la temperatura y pueda generar problemas en este elemento. El diseño electrónico está en el Anexo 13 y el programa que se encargará de controlar el mismo está en el Anexo 14, este último se realizó en el programa ARDUINO 1.8.13.

4.1.8 Eficiencia térmica

Si el valor de k es de $0,0268 \text{ (}^W/m^{\circ}k\text{)}$ para el aire, entonces se sustituye en la Ecuación 18

$$h_1 = \frac{N_u K}{D_H} \quad \text{Ecuación 18}$$

$$h_1 = \frac{12,479(0,0268 \text{ (}^W/mk\text{)})}{0,43218 \text{ m}}$$

$$h_1 = 0,7738 \text{ (}^W/m^2k\text{)}$$

4.1.8.1 Cálculo de las resistencias térmicas

Para la convección utiliza la Ecuación 19

$$R = \frac{1}{hA} \quad \text{Ecuación 19}$$

Para la lámina interior de la pared se tiene convección forzada:

$$Area_{pared} = 390 \text{ mm} * 480 \text{ mm} = 187200 \text{ mm}^2$$

$$Area_{pared} = 187200 \text{ mm}^2 \frac{1 \text{ m}^2}{1000000 \text{ mm}^2}$$

$$Area_{pared} = 0.1872 \text{ m}^2$$

$$R_1 = \frac{1}{h_1 A}$$

$$R_1 = \frac{1}{0,7738 \left(\frac{w}{m^2 k} \right) * 0.1872 \text{ m}^2}$$

$$R_1 = 5.471496 \left(\frac{k}{w} \right)$$

Para la conducción se emplea la Ecuación 20

$$R = \frac{\Delta L}{K_1 A}$$

Ecuación 20

Lámina Interior de la cámara de proceso, conducción:

$$K_1 = 14.6 \left(\frac{w}{m k} \right)$$

$$R_2 = \frac{\Delta L}{K_1 A}$$

$$R_2 = \frac{0.002 \text{ m}}{14.6 \left(\frac{w}{m k} \right) (0.1872 \text{ m}^2)}$$

$$R_2 = 7.3176 * 10^{-4} \left(\frac{k}{w} \right)$$

Fibra de vidrio entre las paredes de la cámara de proceso, conducción:

$$K_2 = 0.04 \left(\frac{w}{m k} \right)$$

$$R_3 = \frac{\Delta L}{K_2 A}$$

$$R_3 = \frac{0.076 \text{ m}}{0.04 \left(\frac{w}{m k} \right) (0.1872 \text{ m}^2)}$$

$$R_3 = 10.1495 \left(\frac{k}{w} \right)$$

Pared interior de la lámina exterior de la cámara de proceso, conducción:

$$K_4 = K_2$$

$$R_4 = \frac{\Delta L}{K_3 A}$$

$$R_4 = \frac{0.002 \text{ m}}{14.6 \left(\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}\right) (0.1872 \text{ m}^2)}$$

$$R_4 = 7.3176 * 10^{-4} \left(\frac{\text{K}}{\text{W}}\right)$$

Pared exterior de la lámina exterior del prototipo, convección natural: Si el valor de k es de 0,026049 ($\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$) para una temperatura 16 °C del aire entonces:

$$h_2 = \frac{N_u K}{D_H}$$

$$h_2 = \frac{12,479(0,026049 \left(\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}\right))}{0,43218 \text{ m}}$$

$$h_2 = 0,75215 \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}\right)$$

$$R_5 = \frac{1}{h_2 A}$$

$$R_5 = \frac{1}{0,75215 \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}\right) (0.1872 \text{ m}^2)}$$

$$R_5 = 7.1021 \left(\frac{\text{K}}{\text{W}}\right)$$

4.1.8.2 Cálculo de las pérdidas de calor, aplicando la Ecuación 21.

$$Q_{\text{perdidas}} = \frac{T_{\text{max}} - T_{\text{min}}}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5} \quad \text{Ecuación 21}$$

$$Q_{\text{perdidas}} = \frac{313.15 \text{ K} - 289.15 \text{ K}}{5.471496 \left(\frac{\text{K}}{\text{W}}\right) + 7.3176 * 10^{-4} \left(\frac{\text{K}}{\text{W}}\right) + 10.1495 \left(\frac{\text{K}}{\text{W}}\right) + 7.3176 * 10^{-4} \left(\frac{\text{K}}{\text{W}}\right) + 7.1021 \left(\frac{\text{K}}{\text{W}}\right)}$$

$$Q_{\text{perdidas}} = \frac{24 \text{ K}}{22.7245 \left(\frac{\text{K}}{\text{W}}\right)}$$

$$Q_{\text{perdidas}} = 1.05612 \text{ W}$$

4.1.8.3 Cálculo de la eficiencia energética utilizando la Ecuación 22.

$$\eta = 1 - \frac{\text{energía perdida}}{\text{energía de entrada}} \quad \text{Ecuación 22}$$

$$\eta = 1 - \frac{1.05612 \text{ W}}{1012 \text{ W}}$$

$$\eta = 0.998 \approx 99.8\%$$

4.2 Parámetros principales del diseño final

Tabla 13 Parámetros del diseño

Parámetro	Especificación
Dimensiones (Alto x Largo x Ancho)	880 mm * 550 mm * 550 mm
Rango de temperatura	0°C a 90°C
Voltaje de suministro	110 V
Caudal volumétrico (constante)	95,426 $\frac{m^3}{h}$
Velocidad de aire (constante)	1,5 $\frac{m}{s}$
Potencia de entrada	1000 W

Fuente: Autor

4.2.1 Características de la estructura

- Tanto la estructura como cada uno de los componentes serán hechos de Acero inoxidable 316Ti, este material garantiza una gran resistencia a la corrosión, además es capaz de soportar altas temperaturas por tiempos prolongados sin que esto afecte sus propiedades.
- Entre las paredes exteriores e interiores de la estructura se va a poner fibra de vidrio para que sirva como aislante térmico, minimizando así las pérdidas generadas por la transferencia de calor.
- Cuenta con dos vidrios en la puerta que permiten la vista al interior de la máquina

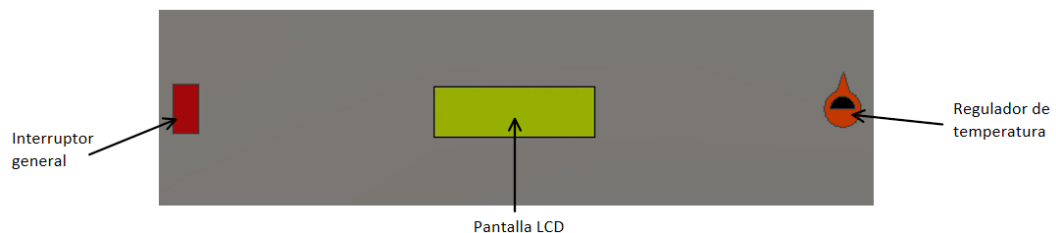
para supervisar el secado.

- Tiene un soporte que puede contener hasta 5 bandejas, cada una cuenta con capacidad máxima de 1 kg, entregando una cabida de 5kg de ajo.

4.2.2 Controles e instrucciones de uso

4.2.2.1 Controles

- En la parte delantera de la máquina, se encuentran los siguientes elementos:



- * Interruptor general: Se encarga del encendido y apagado de la máquina
 - * Pantalla LCD: Muestra los parámetros relevantes para el funcionamiento del prototipo y el estado de los mismos
 - * Regulador de temperatura: Varía la temperatura de la resistencia con valores entre los 1°C y 90°C.
- Una vez se enciende la máquina en la pantalla LCD se podrá ver lo siguiente:



- * TD: temperatura deseada
 - * TA: Temperatura del ambiente al interior de la máquina
 - * Vent ON: indica que el ventilador se ha encendido correctamente.
- Al graduar la temperatura deseada, la resistencia se encenderá y en la pantalla aparecerá el mensaje "RES ON" para indicarlo



- Cuando al interior de la máquina se condigue la temperatura deseada, la resistencia se apagará y mostrará el mensaje "RES OFF"



4.2.2.2 Instrucciones de uso

- Retirar del interior el soporte de bandejas y cerrar la puerta
- Por medio del interruptor general, encender la máquina e indicar la temperatura deseada para que inicie el calentamiento en el interior.
- Al tiempo que la máquina calienta, aliste los ajos y dispénelos en cada una de las bandejas cuidando que el peso en cada una de ella no supere 1 kg
- Una vez se alcance la temperatura indicada, abra la puerta de la máquina coloque el soporte de bandejas con los ajos en el interior y ciérrela nuevamente.
- Permita que los ajos se procesen por un tiempo entre 197 y 224 minutos, apague la máquina y retírelos.

4.2.3 Precauciones

- No dejar en lugares con exposición directa con agua, esto puede afectar el circuito dejando la máquina inservible.
- No poner en el interior de la máquina productos inflamables.
- Utilizar elementos de protección personal necesarios para el contacto directo con el alimento sin causar su contaminación.
- Al abrir y cerrar la puerta asegurarse de que la misma está completamente cerrada, así se garantiza la hermeticidad para no causar perdidas de calor en el interior.
- Una vez terminado el proceso de secado apagar la máquina y así evitar el daño a largo plazo del equipo.

Conclusiones

- Por medio de un proceso experimental se determinó la cantidad de humedad que debía perder el ajo para alcanzar condiciones óptimas de secado, así como bibliográficamente se encontraron parámetros de temperatura y tiempo necesarios para llevar a cabo el proceso.
- Con la elaboración de un prototipo que tenía como fin exclusivo facilitar y mejorar la ejecución de las pruebas mediante la variación del flujo de aire y temperatura, se realizó un diseño experimental factorial el cual resolvió que las mejores características del ajo se obtenían al usar un flujo de aire de 1,5 m/s y una temperatura de 40°C.
- Teniendo en cuenta las condiciones halladas en el proceso experimental y por medio de cálculos, se encontró que la potencia mínima necesaria que debía tener la resistencia era de 721,7 W. Partiendo de esto se halló una en el mercado que ofrecía una potencia de 1000W la cual ira conectada a un divisor de tensión (potenciómetro) que permite la variación de temperatura además de brindar las dimensiones que sirvieron de guía para el diseño de la recámara de secado.
- Haciendo uso de la velocidad de aire encontrada (1,5 m/s) se calculó el caudal volumétrico y la potencia que requería el ventilador para su uso. Tomando como referencia los catálogos de la marca ebmpapst se escogió el moto ventilador con las características y dimensiones adecuadas.
- Recopilando los datos hallados y los materiales escogidos para el diseño, se realizó una ficha técnica en la que se detallan las especificaciones de la máquina.
- Para el uso correcto de la máquina se elaboraron una serie de instrucciones en las que se precisan los controles y manejos adecuados que se deben tener con el prototipo tanto para su uso como para su cuidado.
- Al realizar el cálculo de la eficiencia electrónica del equipo, se evidencia que el porcentaje es demasiado alto, lo anterior, puede deberse a que no se tuvo en cuenta

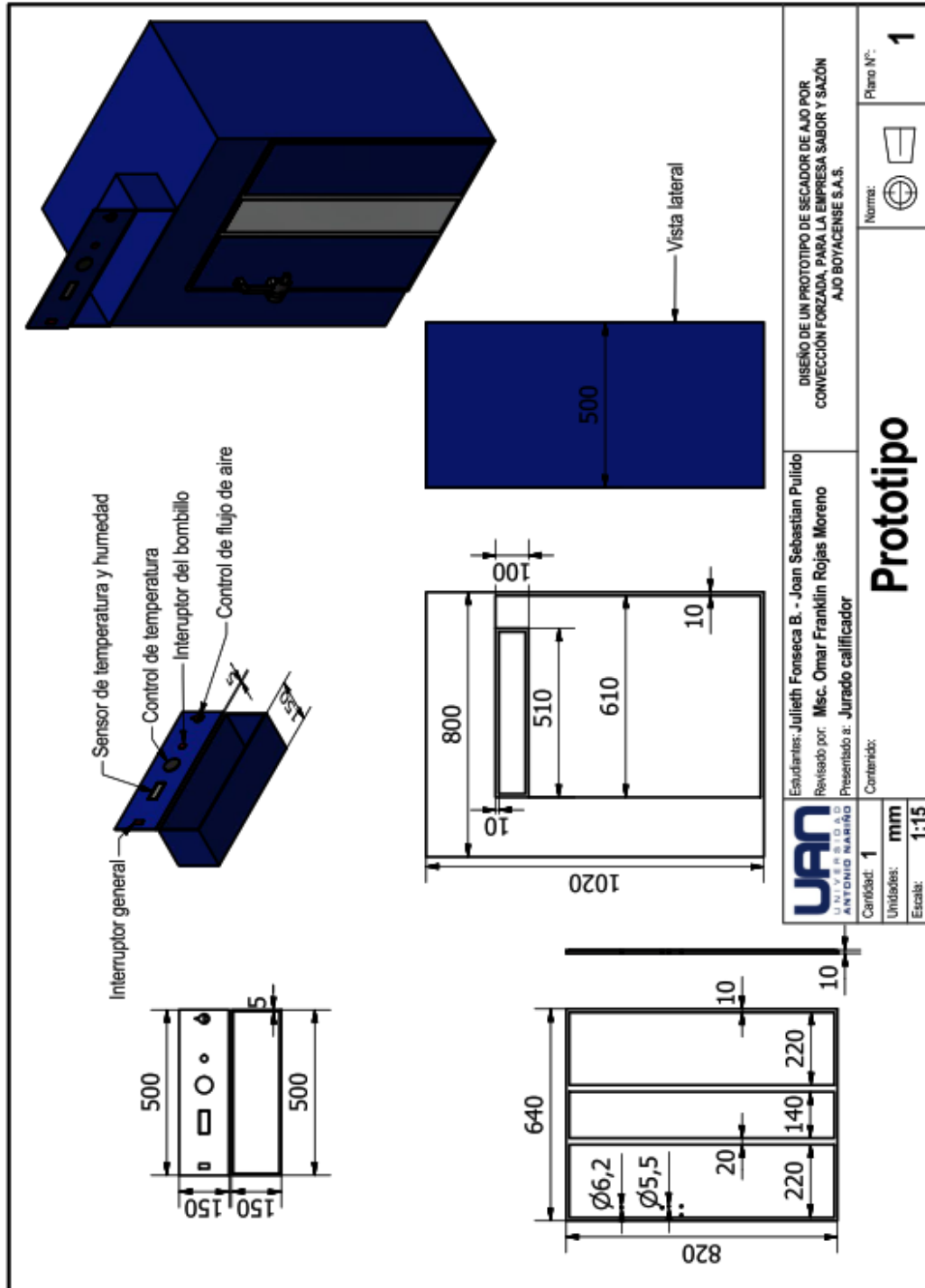
las pérdidas de calor generadas por el soporte y las bandejas contenedoras del ajo.

Recomendaciones

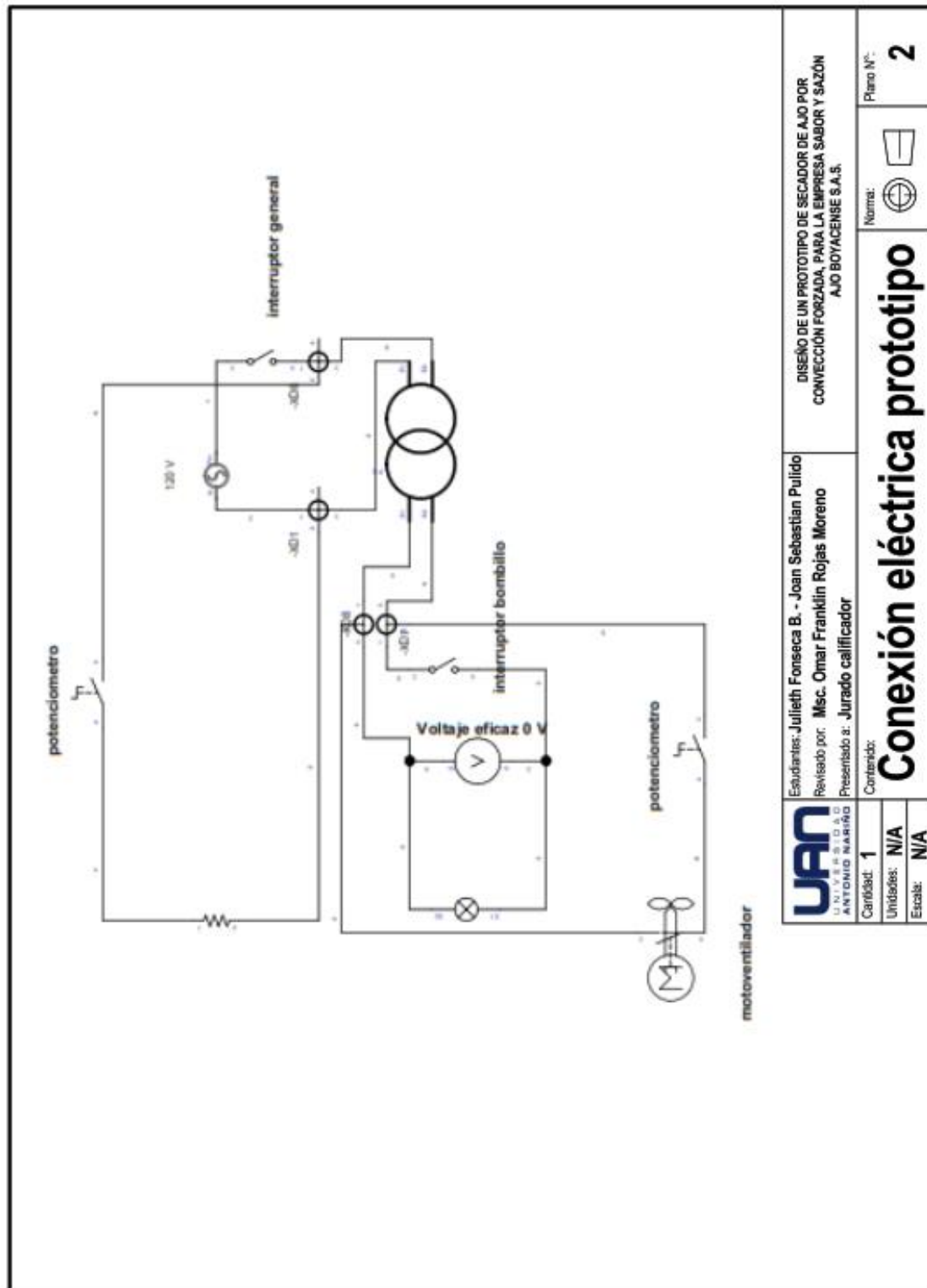
- Optimizar el control electrónico del prototipo para que este sea más autónomo, específicamente adicionar alguna herramienta que permita el monitoreo del tiempo.
- Agregar sensores de peso para medir de manera más precisa la cantidad de ajo que se agregará en las bandejas, esto con el fin de que no se supere el máximo permitido.
- Realizar un diseño experimental factorial con más de dos réplicas y que de esta manera los datos hallados puedan ser más precisos.
- Llevar a cabo pruebas en la planta de procesamiento del producto, así poder someter el ajo al pelador y garantizar que las características de secado sean las adecuadas.

Anexos

Anexo 1: Estructura del prototipo para pruebas

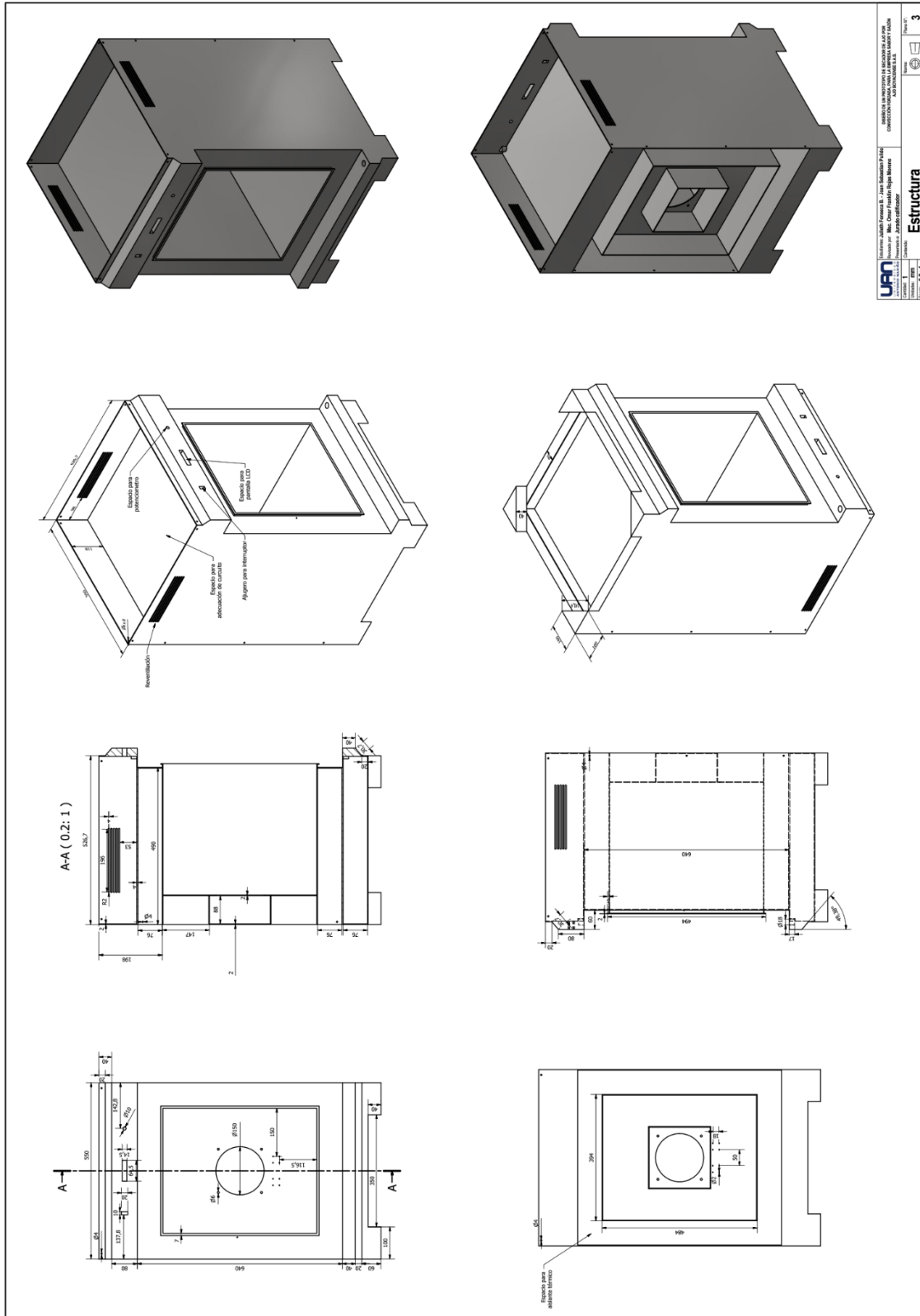


Anexo 2: Conexión eléctrica del prototipo

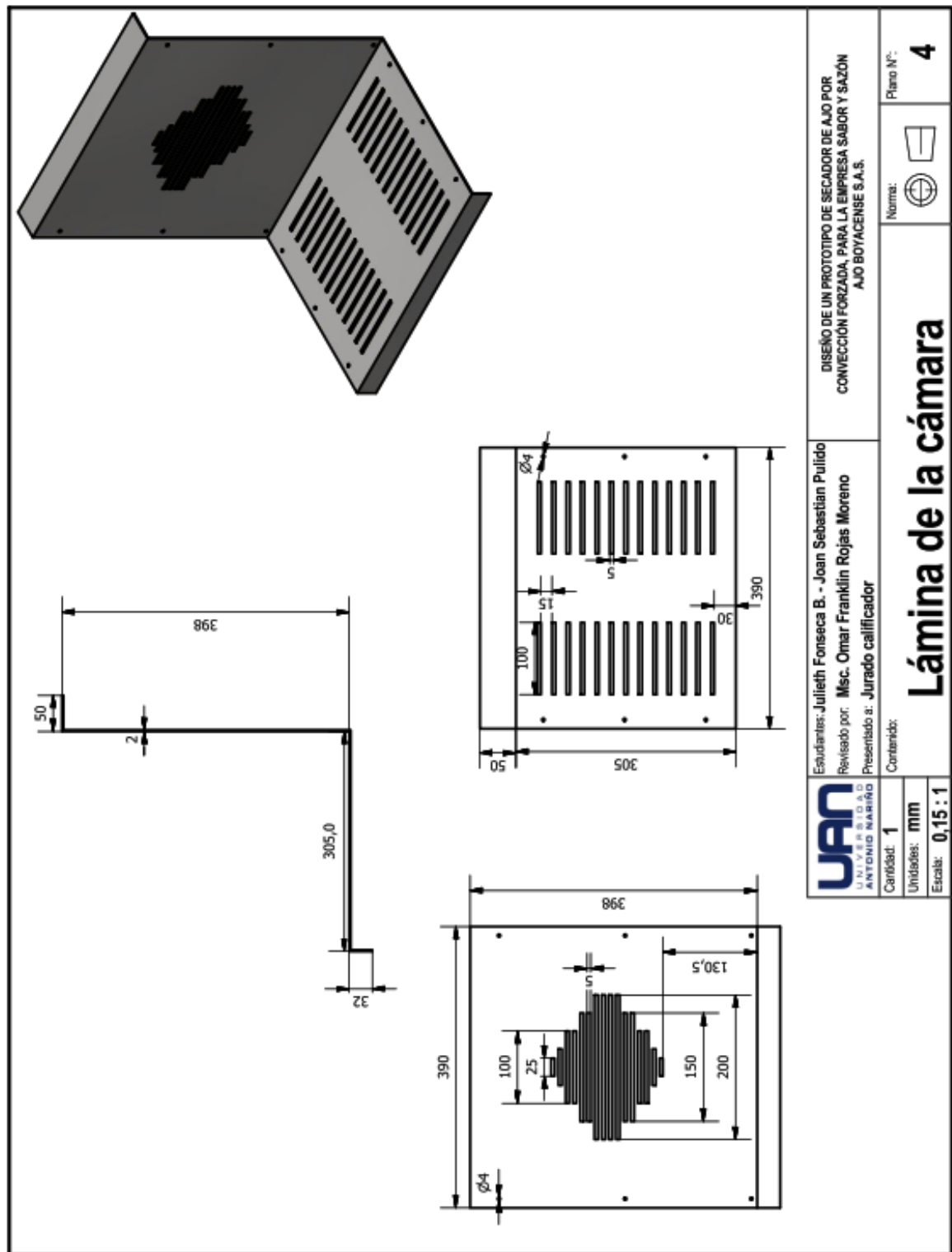


<p>UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO</p>	Estudiantes: Julieth Fonseca B. - Joan Sebastian Pulido Revisado por: Msc. Omar Franklin Rojas Moreno Presentado a: Jurado calificador	DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE SECADOR DE AJÓ POR CONVECCIÓN FORZADA, PARA LA EMPRESA SABOR Y SAZÓN AJÓ BOYACENSE S.A.S.	
	Cantidad: 1 Unidades: N/A Escala: N/A	Norma:	Plano N°:
<h1>Conexión eléctrica prototipo</h1>			

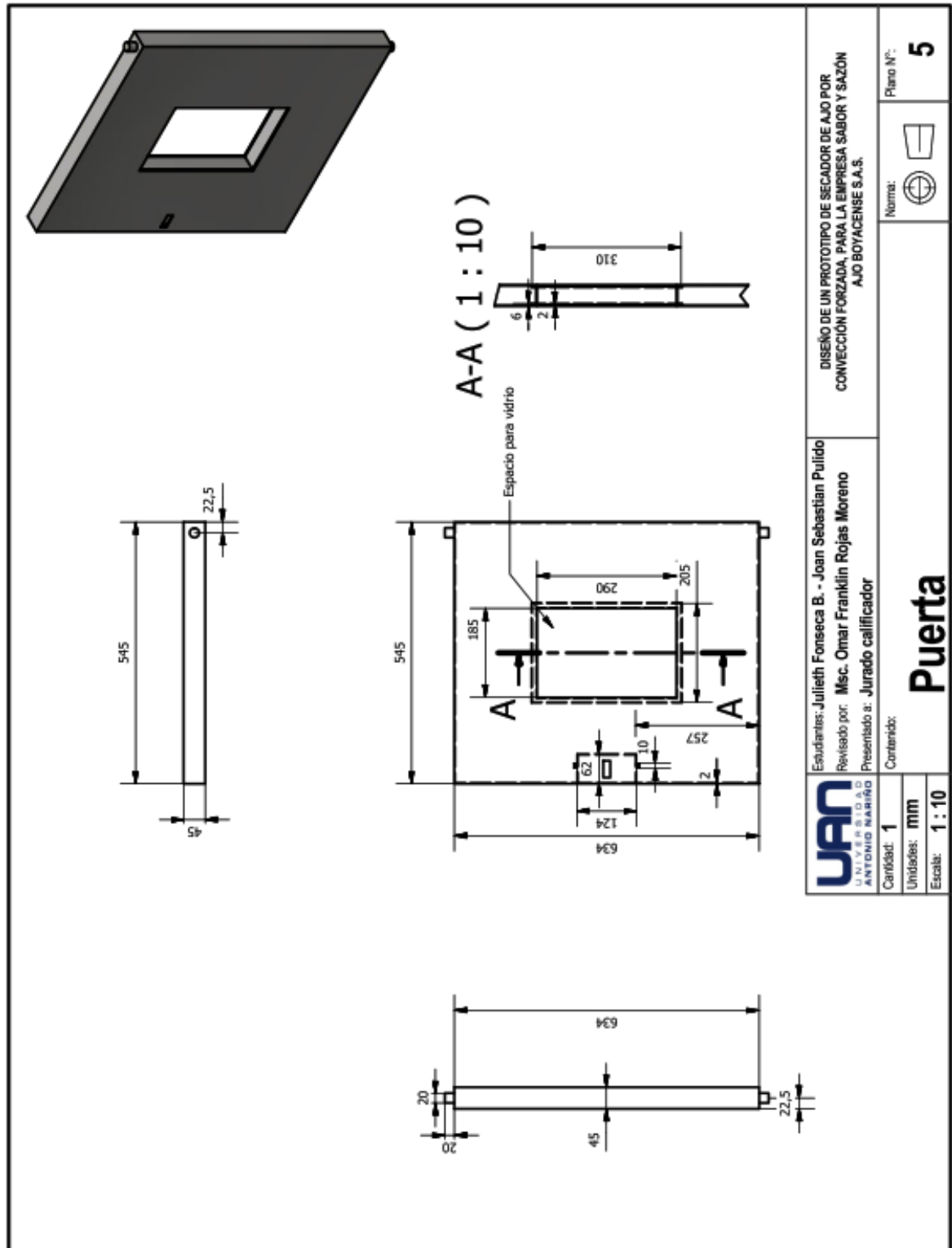
Anexo 3: Estructura del prototipo final



Anexo 4: Lámina de la cámara



Anexo 5: Puerta



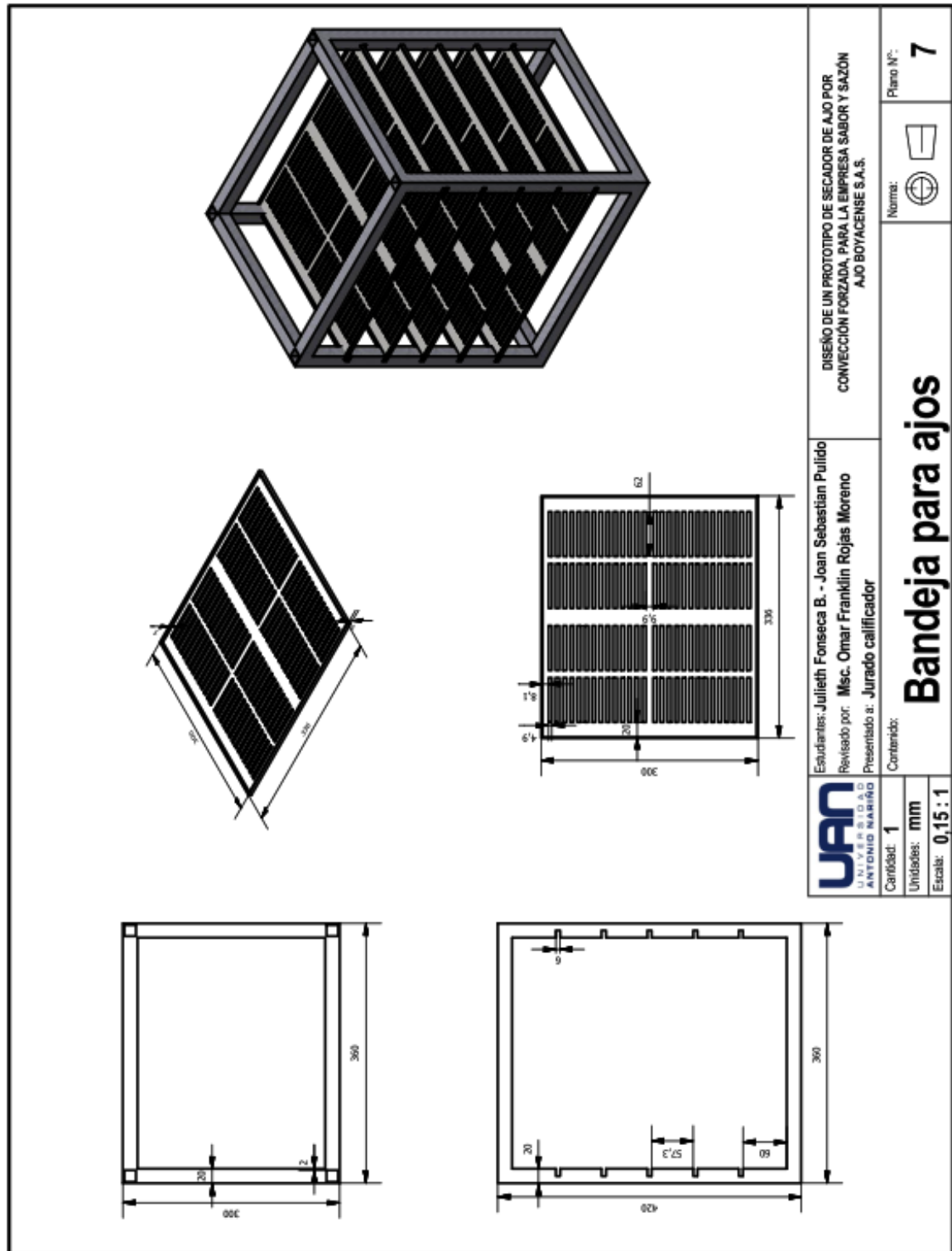
Anexo 6: Chapa

The technical drawing shows a rectangular plate with the following specifications:

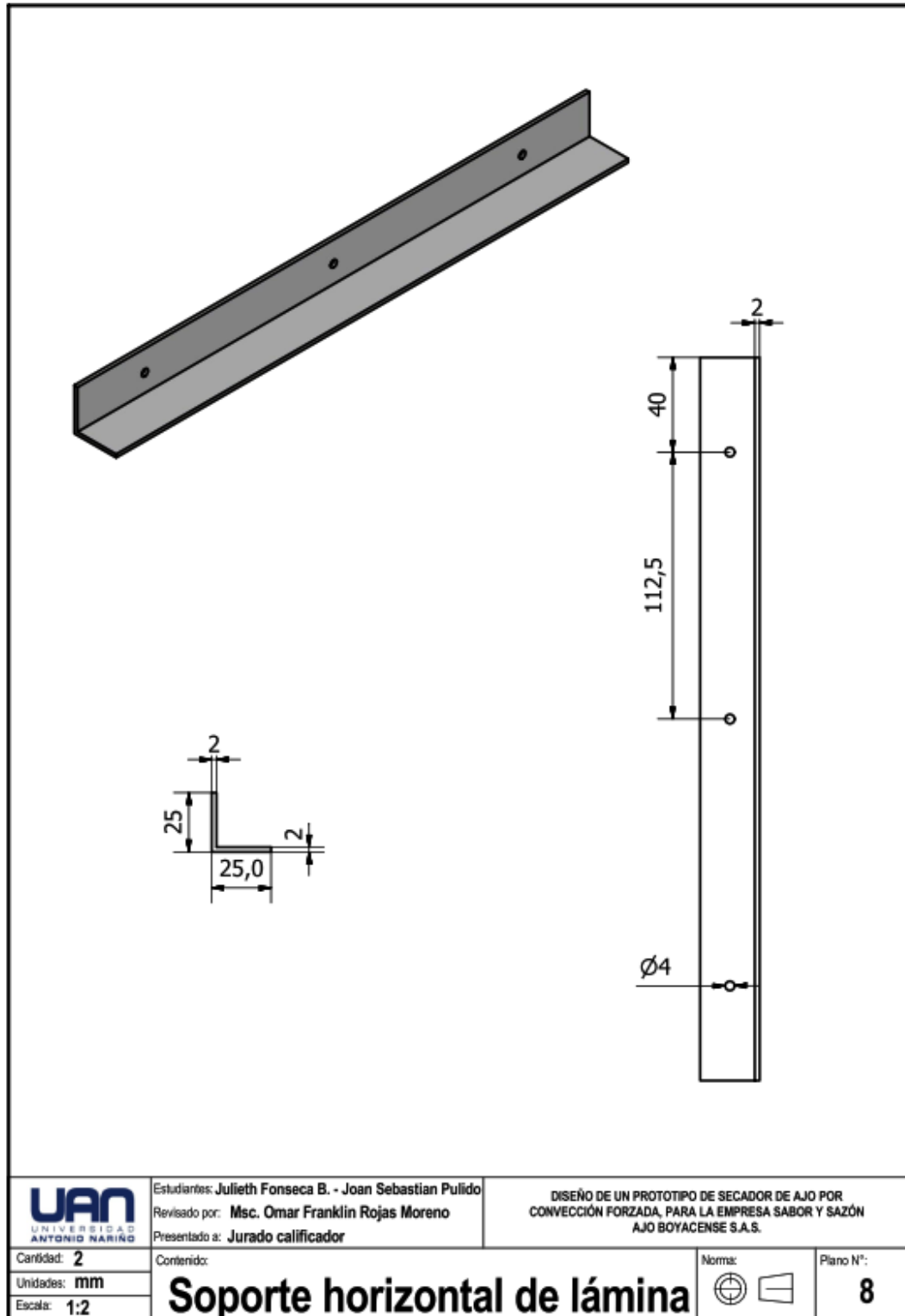
- Dimensions:** Length 115 mm, Width 65 mm, Thickness 12 mm.
- Top View:** Shows a hole with a diameter of $\varnothing 6$ mm, positioned 17 mm from the left edge and 42 mm from the top edge. The hole has a chamfered edge with a radius $R2$ and a chamfer angle of 78.7° . The chamfer width is 10 mm. The hole is surrounded by a raised section with a radius $R5$ and a thickness of 23 mm.
- Side View:** Shows the thickness of 12 mm and a chamfered edge with a radius $R2$.
- 3D Views:** Two perspective views of the plate showing the hole and the chamfered edges.



<p>UAN UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO</p>	Estudiantes: Julieth Fonseca B. - Joan Sebastian Pulido Revisado por: Msc. Omar Franklin Rojas Moreno Presentado a: Jurado calificador	DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE SECADOR DE AJO POR CONVECCIÓN FORZADA, PARA LA EMPRESA SABOR Y SAZON AJO BOYACENSE S.A.S.
	Cantidad: 1 Unidades: mm Escala: 1,5 : 2	Contenido: <h2 style="font-size: 2em; margin: 0;">Chapa</h2>

Anexo 7: Bandeja para ajos

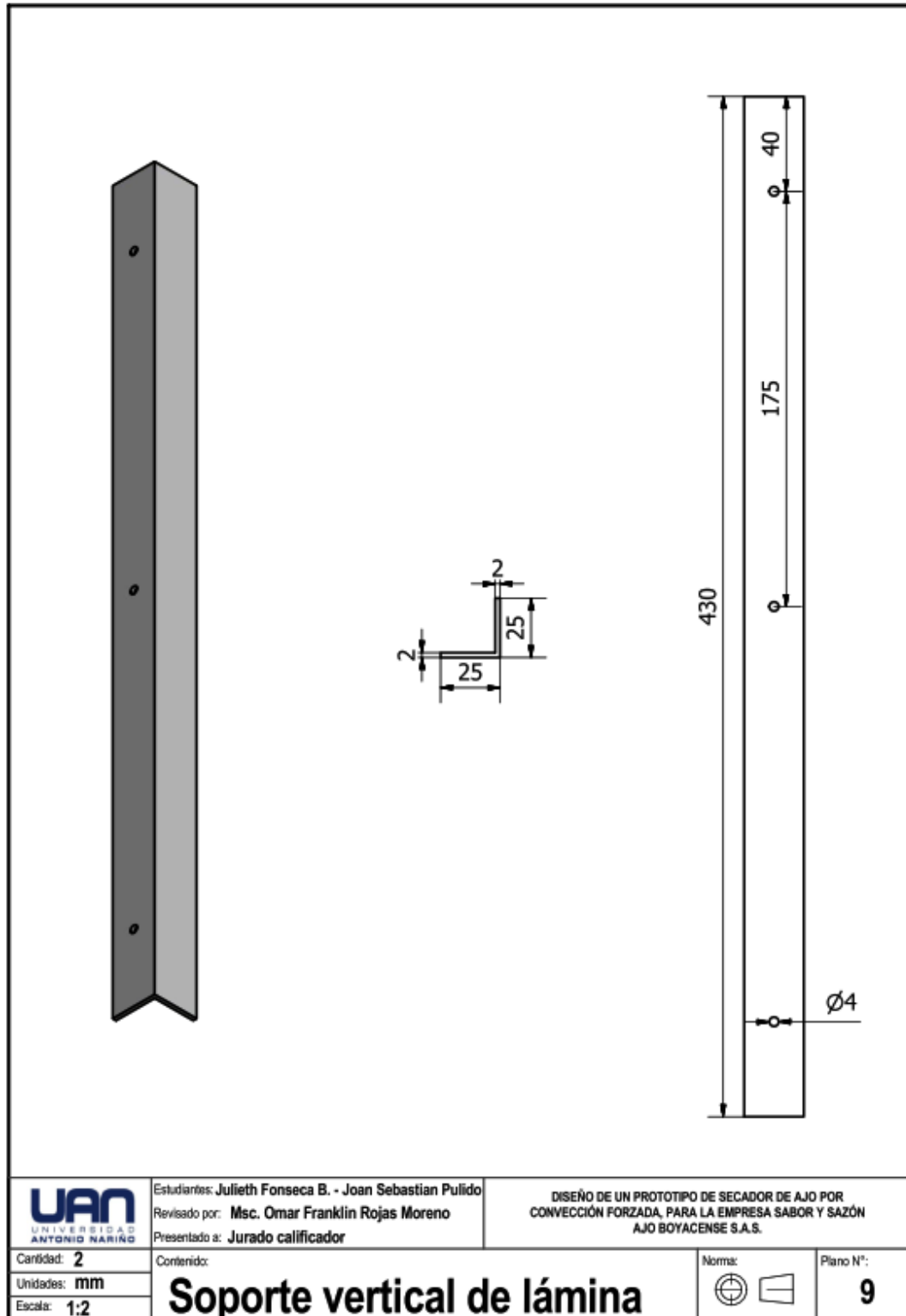


Anexo 8: Soporte horizontal de lámina

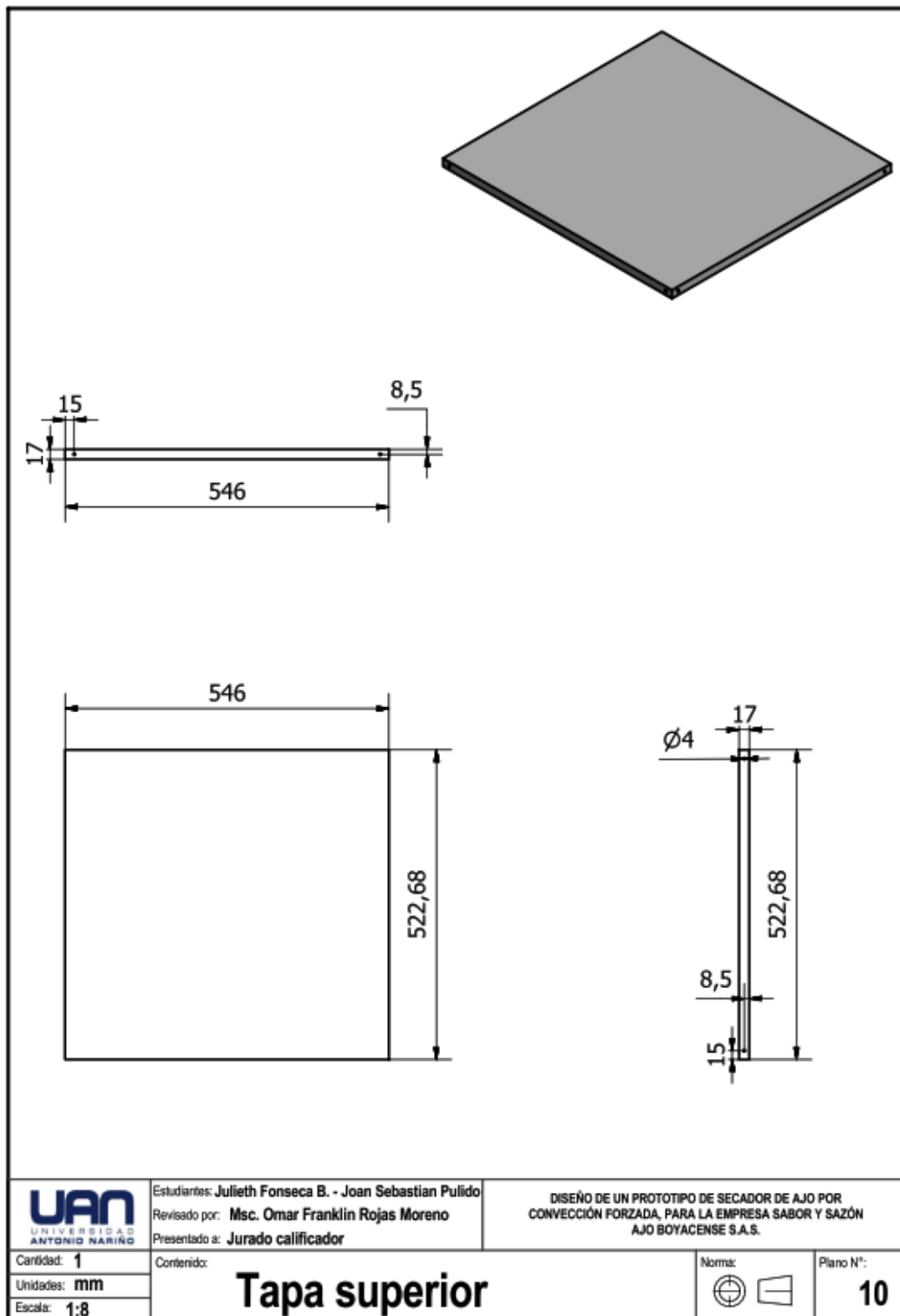


	Estudiantes: Julieth Fonseca B. - Joan Sebastian Pulido Revisado por: Msc. Omar Franklin Rojas Moreno Presentado a: Jurado calificador	DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE SECADOR DE AJO POR CONVECCIÓN FORZADA, PARA LA EMPRESA SABOR Y SAZÓN AJO BOYACENSE S.A.S.	
	Cantidad: 2 Unidades: mm Escala: 1:2	Contenido: <h3 style="text-align: center;">Soporte horizontal de lámina</h3>	Norma: 

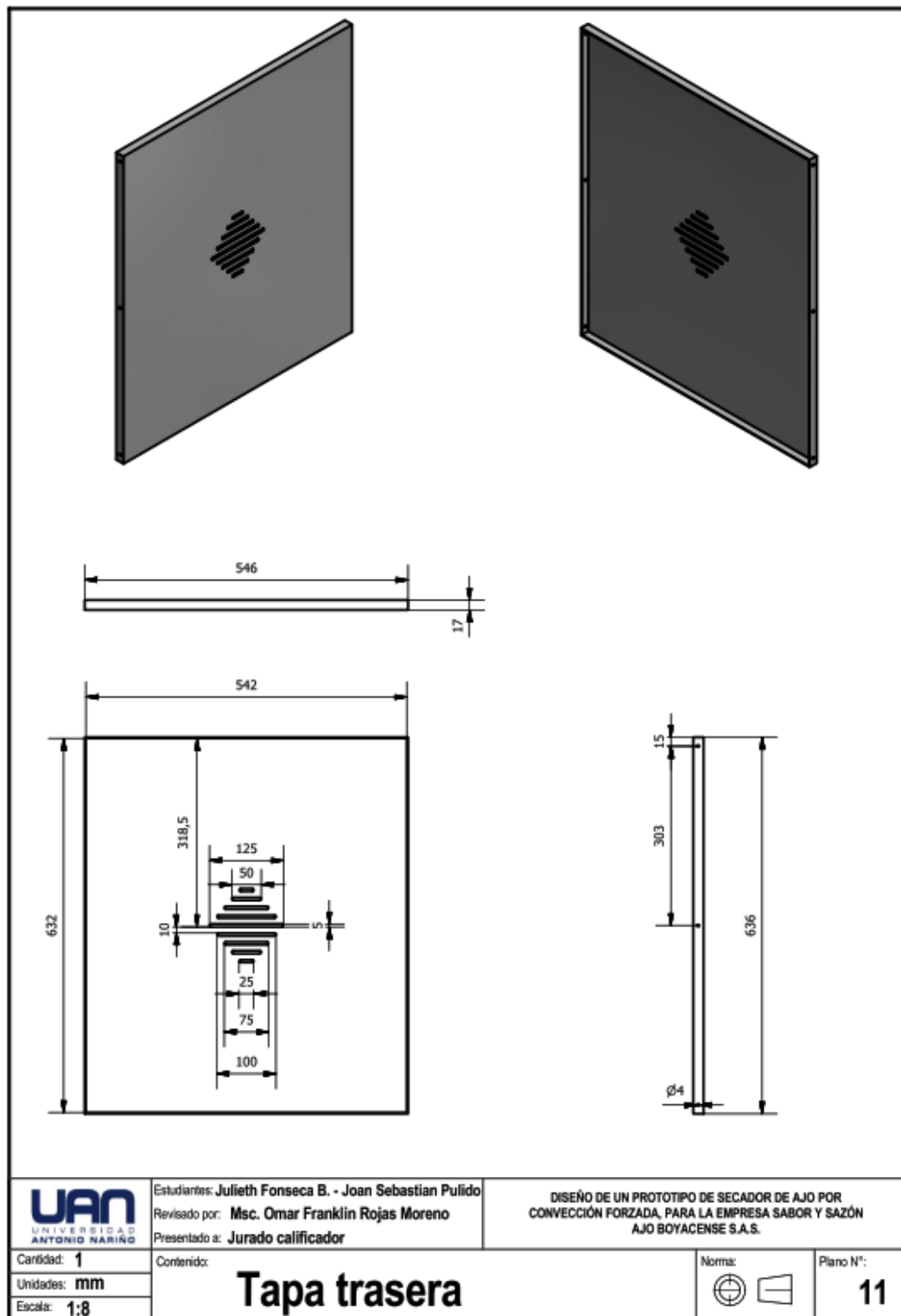
Anexo 9: Soporte vertical de lámina



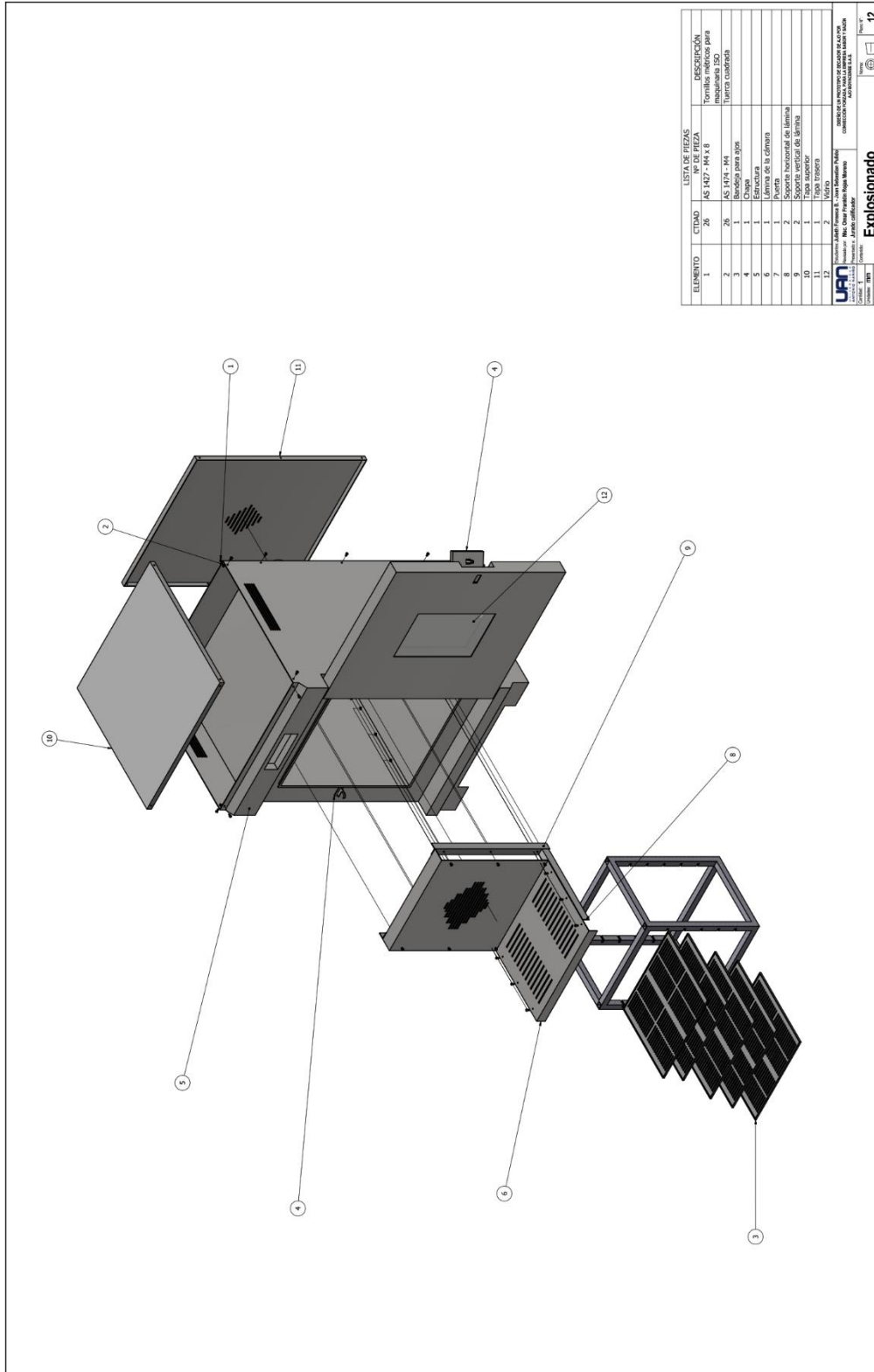
Anexo 10: Tapa superior



Anexo 11: Tapa trasera



Anexo 12: Explosionado



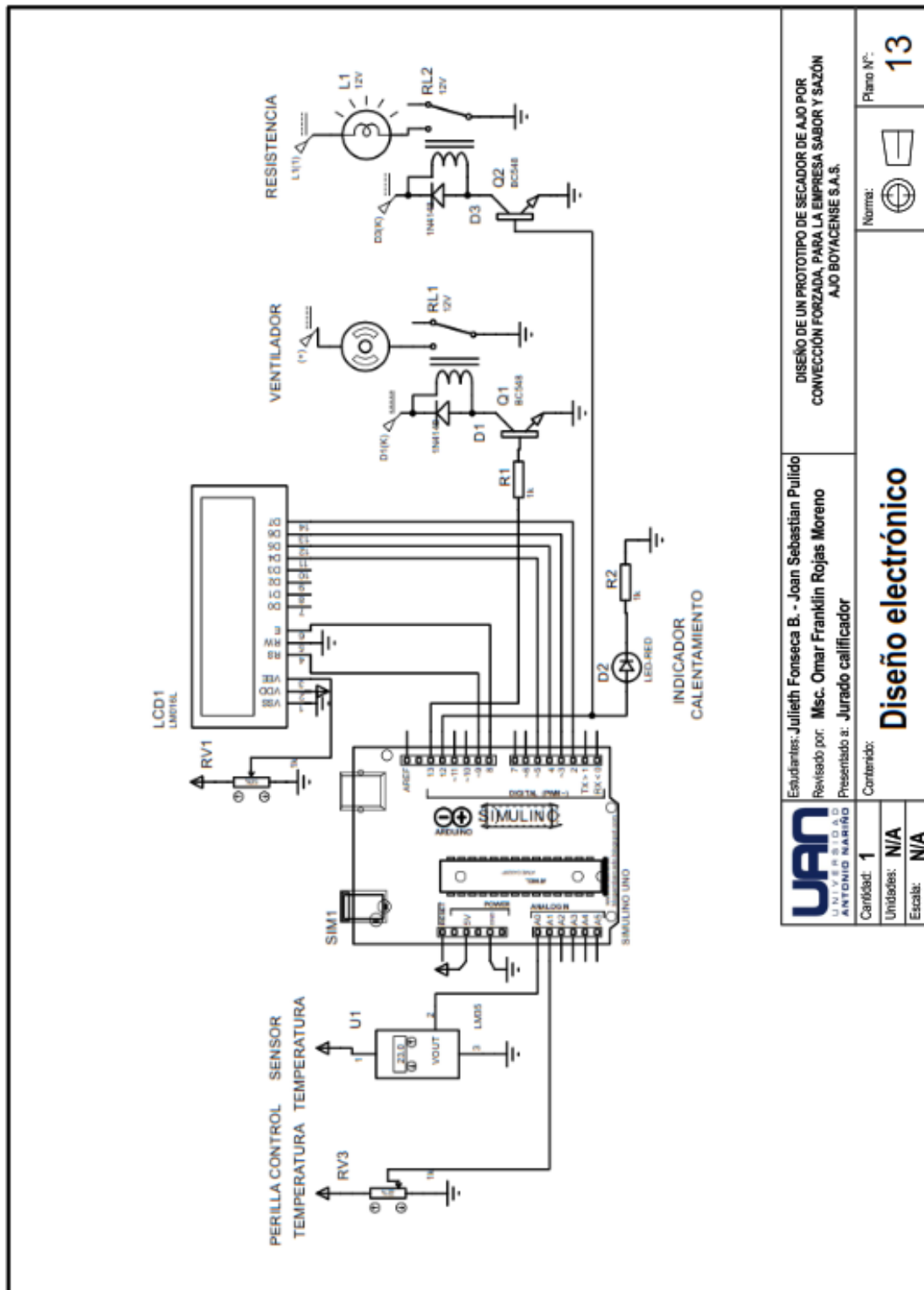
ELEMENTO	CANTIDAD	LISTA DE PIEZAS Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	20	AS 1407 - 1M x 8	Tubo de aluminio para montaje ISO
2	26	AS 1414 - 1M	Tuerca con tornillo para ISO
3	1	AS 1415 - 1M	Soporte para ISO
4	1	AS 1416 - 1M	Soporte para ISO
5	1	AS 1417 - 1M	Soporte para ISO
6	1	AS 1418 - 1M	Soporte para ISO
7	1	AS 1419 - 1M	Soporte para ISO
8	2	AS 1420 - 1M	Soporte para ISO
9	2	AS 1421 - 1M	Soporte para ISO
10	1	AS 1422 - 1M	Soporte para ISO
11	1	AS 1423 - 1M	Soporte para ISO
12	2	AS 1424 - 1M	Soporte para ISO

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS
CARRERA DE INGENIERÍA EN SISTEMAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN SISTEMAS DE TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN SISTEMAS DE CONTROL DE ENERGÍA ELÉCTRICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN SISTEMAS DE PROTECCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN SISTEMAS DE REPARACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN SISTEMAS DE MANTENIMIENTO DE ENERGÍA ELÉCTRICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN SISTEMAS DE OPERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN SISTEMAS DE MONITOREO DE ENERGÍA ELÉCTRICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN SISTEMAS DE ANÁLISIS DE ENERGÍA ELÉCTRICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN SISTEMAS DE SIMULACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN SISTEMAS DE OPTIMIZACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN SISTEMAS DE EVALUACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN SISTEMAS DE DISEÑO DE ENERGÍA ELÉCTRICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN SISTEMAS DE CONSTRUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN SISTEMAS DE MANTENIMIENTO DE ENERGÍA ELÉCTRICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN SISTEMAS DE OPERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN SISTEMAS DE MONITOREO DE ENERGÍA ELÉCTRICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN SISTEMAS DE ANÁLISIS DE ENERGÍA ELÉCTRICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN SISTEMAS DE SIMULACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN SISTEMAS DE OPTIMIZACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN SISTEMAS DE EVALUACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN SISTEMAS DE DISEÑO DE ENERGÍA ELÉCTRICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN SISTEMAS DE CONSTRUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Explosionado

Escala: 1:1

Anexo 13: Diseño electrónico



<p>UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO</p>	<p>Estudiantes: Julieth Fonseca B. - Joan Sebastian Pulido</p> <p>Revisado por: Msc. Omar Franklin Rojas Moreno</p> <p>Presentado a: Jurado calificador</p>	<p>DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE SECADOR DE AJO POR CONVECCIÓN FORZADA, PARA LA EMPRESA SABOR Y SAZÓN AJO BOYACENSE S.A.S.</p>
	<p>Cantidad: 1</p> <p>Unidades: N/A</p> <p>Escala: N/A</p>	<p>Contenido: Diseño electrónico</p> <p>Norma: </p> <p>Plano N°: 13</p>

Anexo 14: Programa controlador de arduino

```
// Proyecto final - Control de temperatura con LCD

#include <LiquidCrystal.h>
#include <Limits.h>

const int sensorTemp = 0; // Pin analógico en que el sensor de temperatura está
conectado

int fan = 13;      // Pin digital 13 para accionar ventilador
int res = 12;     // Pin digital 14 para accionar resistencia
int tempPin = 0;  // Pin analógico 0 para leer valor de sensor de temperatura
int potPin = 1;   // Pin analógico 1 para leer valor de temperatura deseada
int valorSensorTemp = 0; // Variable para valor temperatura
int valorTemp = INT_MAX; // Variable usada para almacenar el menor valor de
temperatura
int ctrlTemp = 0; // Variable usada para almacenar valor del control de temperatura

LiquidCrystal lcd(9, 8, 5, 4, 3, 2); // Crea un objeto LCD y lo atribuye a estos pines

void setup() {

  pinMode (fan, OUTPUT); // Pin 13 salida
  lcd.begin(16, 2);      // Define display con 16 columnas y 2 filas
  Serial.begin(115000); // Lectura a 115000 baudios para perilla de temperatura
}

void loop() {

  ctrlTemp = analogRead(potPin)/11.377;//lectura 0-1024 0-0C y 1024 -90C

  /*Para evitar las grandes variaciones de lectura del componente
  LM35 son hechas 6 lecturas y el menor valor leído prevalece*/
  valorTemp = INT_MAX; // Inicializando la variable con el mayor valor int posible
  for (int i = 1; i <= 6; i++) { // Lectura del sensor de temperatura

    valorSensorTemp = analogRead(sensorTemp);
    valorSensorTemp *= 0.54 ; // Transforma valor leído por sensor de temperatura en
    grados celsius

    // Manteniendo siempre la menor temperatura leída
    if (valorSensorTemp < valorTemp) {
      valorTemp = valorSensorTemp;
    }
    delay(100);
  }

  digitalWrite(fan, HIGH); // Enciende el ventilador
```

```
if(valorTemp < ctrlTemp) // Si tempeartura ambiente es menor que temperatura deseada
{
  lcd.setCursor(8,1); //Segunda línea LCD
  lcd.write("RES ON"); // Imprime RES ON
  digitalWrite(res, HIGH); // Enciende resistencia
}
else //Si no
{
  lcd.setCursor(8,1); //Segunda línea
  lcd.write("RES OFF");// Imprime RES ON
  digitalWrite(res, LOW);// Apaga resistencia
}
delay(2000);

lcd.clear(); // Limpiar LCD
lcd.print("TD:"); // Imprime un string en display de LCD
// lcd.print(valorTemp);//Imprime el valor de temperatura
lcd.print(ctrlTemp);//Imprime el valor de temperatura
lcd.write(B11011111); // Símbolo de grados Celsius
lcd.print("C");
lcd.print(" TA:"); // Imprime un string en display de LCD
lcd.print(valorTemp);//Imprime el valor de temperatura
lcd.write(B11011111); // Símbolo de grados Celsius
lcd.print("C");
lcd.setCursor(0,1); // Define columna 0, fila 1 en LCD
lcd.write("VENT ON"); // Imprime en LCD
delay(1000); // Aguarda 2 segundos
}
```

Anexo 15: Especificaciones del ventilador

Max. 360 m³/h

DC axial fans

Ø 150 x 38 mm

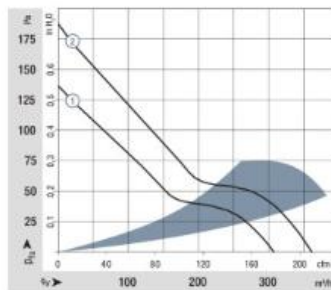


- **Material:** Housing: Die-cast aluminum
Impeller: painted sheet steel
 - **Direction of air flow:** Exhaust over struts
 - **Direction of rotation:** Counterclockwise, looking towards rotor
 - **Connection:** Via single wires AWG 22, TR 64
 - **Highlights:** Housing with grounding lug for screw M4 x 8 (Torx)
 - **Weight:** 620 g
- **Possible special versions:** (See chapter DC fans - specials)
 - Speed signal
 - Go / NoGo alarm
 - Alarm with speed limit
 - External temperature sensor
 - Internal temperature sensor
 - PWM control input
 - Analog control input
 - Moisture protection
 - Salt spray protection
 - Degree of protection: IP 54 / IP 68

Series 7100 N														
Nominal data	Air flow		Nominal voltage	Voltage range	Sound pressure level	Sound power level	Sinteric sleeve bearings Ball bearings	Power consumption*	Nominal speed	Temperature range	Service life L ₁₀ (40 °C) eom-papst standard	Service life L ₁₀ (T _{max}) eom-papst standard	Life expectancy L ₁₀ (p) (40 °C) see page 17	Curve
	m ³ /h	cfm												
7112 N	308	181	12	6...15	53	6.2	■	12.0	2 850	-25...+72	80 000 / 37 500	135 000	①	
7114 N	308	181	24	12...30	53	6.2	■	12.0	2 850	-25...+72	80 000 / 37 500	135 000	①	
7114 NH	360	212	24	12...26.5	58	6.7	■	19.0	3 350	-25...+72	75 000 / 35 000	127 500	②	
7118 N	308	181	48	24...60	53	6.2	■	12.0	2 850	-25...+72	80 000 / 37 500	135 000	①	

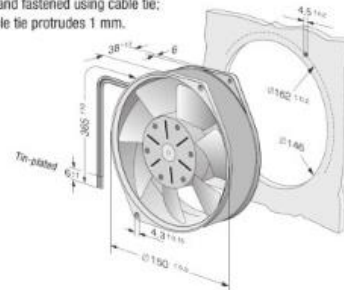
Subject to change

* Power consumption at free air flow. These values can be significantly higher in the operating point.



Air performance measured according to ISO 5801. Installation category A, without contact protection.
Note: Total sound power level L_{WA} ISO 10882 measured on a hemisphere with a radius of 2 m.
Sound pressure level L_{pA} measured at 1 m distance from fan axis.
The values given are applicable only under the specified measuring conditions and may differ depending on the installation conditions.
In the event of deviation from the standard configuration, the parameters must be checked after installation!
For detailed information see <http://www.ebmpapst.com/general-conditions>

Wire fastened with cable tie.
Strand fastened using cable tie;
cable tie protrudes 1 mm.



Referencias

- [1] L. J. García Gómez and F. J. Sánchez-Muniz, "Revisión: Efectos cardiovasculares del ajo (*Allium sativum*)," *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, vol. 50, pp. 219-229, 2000.
- [2] L. F. M. S. Gaviria, M. F. Castro, É. A. Gómez, and F. Castro, "Pérdida y desperdicio de alimentos en Colombia - Estudio de la Dirección de Seguimiento y Evaluación de Políticas Públicas," *Departamento Nacional de Planeación (DNP)*, 2016.
- [3] R. O. Lamidi, L. Jiang, P. B. Pathare, Y. D. Wang, and A. P. Roskilly, "Recent advances in sustainable drying of agricultural produce: A review," *Applied Energy*, vol. 233-234, pp. 367-385, 2019/01/01/ 2019.
- [4] M. Younis, D. Abdelkarim, and A. Zein El-Abdein, "Kinetics and mathematical modeling of infrared thin-layer drying of garlic slices," *Saudi Journal of Biological Sciences*, vol. 25, no. 2, pp. 332-338, 2018/02/01/ 2018.
- [5] T. Baysal, F. Icier, S. Ersus, and H. Yıldız, "Effects of microwave and infrared drying on the quality of carrot and garlic," *European Food Research and Technology*, vol. 218, no. 1, pp. 68-73, 2003/12/01 2003.
- [6] Y. Feng *et al.*, "Role of drying techniques on physical, rehydration, flavor, bioactive compounds and antioxidant characteristics of garlic," *Food Chemistry*, vol. 343, p. 128404, 2021.
- [7] Y. Xu *et al.*, "A comparative evaluation of nutritional properties, antioxidant capacity and physical characteristics of cabbage (*Brassica oleracea* var. capitata Var L.) subjected to different drying methods," *Food chemistry*, vol. 309, p. 124935, 2020.
- [8] N. G. Gómez, "CINETICAS DE ACIDO PIRUVICO DURANTE EL PROCESO DE SECADO CONSTANTE Y VARIABLE DEL AJO," *IPN. Oaxaca, México*, 2008.
- [9] M. T. L. Luengo, "El ajo, propiedades farmacológicas e indicaciones terapéuticas," *Offarm: farmacia y sociedad*, vol. 26, N°1 pp. 78-81, 2007.
- [10] "Ajo," *Fundación integra*, Recuperado de: <https://www.regmurcia.com/servlet/s.SI>, 2021.
- [11] H. R. Ramírez-Concepción, L. N. Castro-Velasco, and E. Martínez-Santiago, "Efectos terapéuticos del ajo (*Allium sativum*)," *Revista Salud y Administración*, vol. 3, no. 8, pp. 39-47, 2016.
- [12] "Ajo," *Fundación española de la nutrición*, Recuperado de: <https://www.fen.org.es/MercadoAlimentosFEN/pdfs/ajo.pdf>, 2021.
- [13] C. E. O. Alzate, *Procesamiento de alimentos*. Univ. Nacional de Colombia, 2003.
- [14] A. D. Giraldo-Zuniga, A. Arévalo-Pinedo, A. F. Silva, P. F. Silva, J. C. Valdes-Serra, and M. C. d. M. Pavlak, "Datos experimentales de la cinética del secado y del modelo matemático para pulpa de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) en rodajas," *Food Science and Technology*, vol. 30, pp. 179-182, 2010.
- [15] F. Guano and M. Grimaneza, "Determinación experimental de la cinética de secado de especias amazónicas (*Allium Schoenoprasum*, *Eryngium Foetidum* y *Mansoa Alliacea* L)," *Universidad Estatal Amazónica*, 2019.
- [16] A. Salazar Hincapie, "Desarrollo de un sistema de secado de productos agrícolas con recuperación de calor de los gases de escape de un electrogenerador diesel usando intercambiadores de calor con cambio de fase," 2019.
- [17] E. Martines and L. Lira, "Análisis y aplicación de las expresiones del contenido de humedad en sólidos," in *Simposio de metrología*, 2010, pp. 27-29.
- [18] C. J. Gallego Yanza, "Diseño de un horno por convección forzada para la deshidratación de frutas y hortalizas," *Universidad Autónoma de Occidente*, 2006.

- [19] H. J. Ciro Velásquez, J. E. Meléndez Rhenals, and J. E. Melendez Rhenals, "Modelación numérica de un proceso térmico por microondas con énfasis en alimentos," *Dyna*, 2006.
- [20] A. M. A. G. Pedro Fito Maupoey, José Manuel Barat Baviera, Ana María Alborn Sorolla, "Introducción al secado de alimentos por aire caliente," *Universidad Politécnica de Valencia*, Reimpresión, 2016, pp. 19 - 23, 2001.
- [21] "Túnel de secado por aire," *Sormac B.V.*, Consultado el 03 de abril de 2021 y recuperado de: <https://www.sormac.eu/es/maquinaria/tunel-de-secado-por-aire/>, 2021.
- [22] R. E. Treybal and A. García Rodríguez, *Operaciones de transferencia de masa*. 1988.
- [23] C. Geankoplis, "Procesos de transporte y operaciones unitarias. CECSA," *México, DF*, 1999.
- [24] H. Brito *et al.*, *DESIGN AND CONSTRUCTION OF A LYOPHYLIZER FOR THE DRYING OF SUGAR BEET (Beta vulgaris var. Saccharifera)*. 2016.
- [25] T. L. Brown, H. E. LeMay Jr, B. E. Bursten, and J. R. Burdge, *Química: la ciencia central*. Pearson educación, 2004.
- [26] A. F. Mills and S. Régules, *Transferencia de calor*. Irwin México, 1995.
- [27] H. Mendoza, Bautista, G., "Diseño Experimental," *Universidad Nacional de Colombia*, 2002.
- [28] MINITAB, "¿Qué es ANOVA?," *support minitab*, Recuperado de <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/19/help-and-how-to/statistical-modeling/anova/supporting-topics/basics/what-is-anova/>, 2019.
- [29] M. Almada *et al.*, "Guía de uso de secaderos solares para frutas, legumbres, hortalizas, plantas medicinales y carnes," ed: Fundación Celestina Pérez de Almada.
- [30] B. C. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Comporacion Colombiana de Investigación Agropecuaria (Colombia), "Cosecha de ajo," *AGROSAVIA* Recuperado de: <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/33748>, 2017.
- [31] M. V. U. Esteban, "Estudio de la resistencia a la corrosión en distintos medios agresivos de los aceros inoxidables AISI 304L y 316L preparados por vía pulvimetalúrgica," *Universidad Complutense de Madrid*, 1995.
- [32] "Clasificación de los aceros inoxidables según Norma AISI," *static.websguru.com*, Consultado el 20 de abril de 2021, recuperado de https://static.websguru.com.ar/var/m_6/65/65e/100190/1374415-clasificacionaceros.pdf.
- [33] AMETEK, "Stainless steel - Alloy 316Ti," *fineTUBES*, Consultado el 20 de abril de 2021, recuperado de https://www.finetubes.co.uk/-/media/ametefinetubes/files/products/materials/fine_tubes_-_alloy-316ti.pdf?la=en.
- [34] S.-. GOBAIN, "Conocimiento del producto - Aislamiento de fibra de vidrio," *CertainTeed*, Consultado el 25 de abril de 2021, recuperado de: <https://www.certainteed.com/resources/30-28-154.pdf>.
- [35] Fiberglas, "Aislamiento para Tubería," Consultado el 25 de abril de 2021, recuperado de: <http://www2.owenscorning.com/worldwide/mexico/pdfs/tuberia.pdf>.
- [36] S. Salvador Escoda, "Manual práctico de ventilación," *Catálogo técnico*, 2013.
- [37] X. E. Castells, *Residuos vitrificables: Reciclaje de residuos industriales*. Editorial Díaz de Santos, S.A., 2012.
- [38] R. E. Herrador, "Guía de usuario de Arduino," *Universidad de Córdoba*, vol. 13, 2009.

