



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**PROYECTO TÉCNICO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE**  
**INGENIERO MECÁNICO**

**TEMA:**

---

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PARA DESHIDRATAR ALFALFA PARA LA CORPORACIÓN ECUATORIANA PARA EL DESARROLLO INTEGRAL PRODUCTIVO CEDINP S.C.C.”**

---

**AUTOR: Diego Vinicio Guamanquispe Vaca**

**TUTOR: Ing. Mg. Gonzalo Eduardo López Villacís**

**AMBATO - ECUADOR**

**Septiembre - 2022**

## CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Proyecto Técnico, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, con el tema: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PARA DESHIDRATAR ALFALFA PARA LA CORPORACIÓN ECUATORIANA PARA EL DESARROLLO INTEGRAL PRODUCTIVO CEDINP S.C.C.”**, elaborado por el Sr. Diego Vinicio Guamanquispe Vaca, portador de la cédula de ciudadanía C.I: 1804615704, estudiante de la Carrera de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente proyecto técnico es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Esta concluido en su totalidad.

Ambato, Septiembre 2022



-----  
Ing. Mg. Gonzalo Eduardo López Villacís

**TUTOR**

## AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, **Diego Vinicio Guamanquispe Vaca**, con C.I. 1804615704 declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente proyecto técnico con el tema: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PARA DESHIDRATAR ALFALFA PARA LA CORPORACIÓN ECUATORIANA PARA EL DESARROLLO INTEGRAL PRODUCTIVO CEDINP S.C.C.”**, así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad, como autor del proyecto a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, Septiembre 2022



Diego Vinicio Guamanquispe Vaca

C.I. 1804615704

**AUTOR**

## **DERECHOS DEL AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Proyecto Técnico o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi Proyecto Técnico con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, Septiembre 2022

A handwritten signature in blue ink, consisting of stylized, overlapping loops and a long horizontal stroke extending to the right. Below the signature is a dashed horizontal line.

Diego Vinicio Guamanquispe Vaca

C.I. 1804615704

**AUTOR**

## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Proyecto Técnico, realizado por el estudiante Diego Vinicio Guamanquispe Vaca de la Carrera de Ingeniería Mecánica bajo el tema: “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PARA DESHIDRATAR ALFALFA PARA LA CORPORACIÓN ECUATORIANA PARA EL DESARROLLO INTEGRAL PRODUCTIVO CEDINP S.C.C.**”.

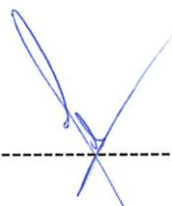
Ambato, Septiembre 2022

Para constancia firman:



-----  
Ing. Mg. Segundo Manuel Espín Lagos.

**MIEMBRO CALIFICADOR**



-----  
Ing. Mg. Luis Eduardo Escobar Luna

**MIEMBRO CALIFICADOR**

## DEDICATORIA

Para mi familia y en especial a mi padre que con infinito amor y absoluta paciencia a sabido guiarme en el camino del estudio que me ha permitido llegar a la culminación de este nivel de estudio superior para poder ser un individuo de bien y útil para la sociedad.

Este fruto de sacrificio y arduo trabajo constante que me ha permitido terminar con éxito la culminación de mi carrera universitaria es dedicado hacia él.

## AGRADECIMIENTO

Agradecido principalmente con Dios que me ha regalado buena salud para poder afrontar los diferentes aspectos que se vieron involucrados en este proceso y a todos y cada uno de los docentes de la FICM - UTA que de muchas y diferentes maneras me han brindado su conocimiento tanto teórico como práctico y a través de su experiencia empírica adquirida a lo largo de sus años de trabajo en esta carrera dotándome de la capacidad de afrontar los diferentes campos que influyen en el ámbito profesional.

## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

PORTADA.....	i
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	iii
DERECHOS DEL AUTOR .....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	v
DEDICATORIA .....	vi
AGRADECIMIENTO .....	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xii
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
<b>CAPÍTULO 1.....</b>	<b>1</b>
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Antecedentes Investigativos .....	1
1.2 Justificación.....	2
1.3 Objetivos .....	2
1.3.1 Objetivo General .....	2
1.3.2 Objetivos Específicos.....	2
1.4 Fundamentación teórica .....	3
1.4.1 La Alfalfa .....	3
1.4.2 Deshidratación de la alfalfa.....	4
1.4.3 Ventajas de la deshidratación.....	7
1.4.4 Desventajas de la deshidratación .....	8
1.4.5 Contenido de humedad.....	8



1.4.6	Transferencia de calor .....	9
1.4.7	Proceso de deshidratación .....	13
<b>CAPÍTULO 2</b>	.....	<b>15</b>
<b>2.</b>	<b>METODOLOGÍA .....</b>	<b>15</b>
2.1	Materiales .....	15
2.2	Métodos .....	18
2.2.1	Metodología .....	18
2.2.2	Nivel .....	18
2.2.2	Bibliográfico .....	19
2.2.3	Descriptivo .....	19
2.2.4	Experimental .....	19
2.2.5	Flujograma del proyecto .....	19
<b>CAPÍTULO 3</b>	.....	<b>22</b>
<b>3.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>22</b>
3.1	Análisis y discusión .....	22
3.1.1	Parámetros del diseño .....	22
3.2	Condiciones climáticas .....	23
3.3	Cámara de deshidratado .....	25
3.4	Cálculo de capacidad máxima de volumen del producto .....	26
3.5	Consumo energético .....	26
3.5.1	Cálculo de transferencia energética en el producto- Alfalfa.....	26
3.5.2	Cálculo de transferencia energética en la paredes del equipo - pérdidas. 28	
3.5.3	Consumo Energético total del sistema .....	30
3.6	Cálculo de transferencia energética en el aire. ....	30
3.7	Cálculo de cantidad de agua a evaporar .....	32

3.8	Cálculo de tiempo para la transferencia energética al deshidratar el agua del producto.....	33
3.9	Resistencia eléctrica .....	34
3.10	Caudal de aire del sistema .....	35
3.11	selección de ventilador.....	37
3.12	selección de resistencia.....	38
3.13	circuito electrónico de control de temperatura .....	38
3.14	construcción de equipo .....	41
3.15	Resultados de funcionamiento .....	44
<b>CAPITULO 4</b> .....		<b>50</b>
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	50
4.1	Conclusiones .....	50
4.2	Recomendaciones.....	50
	Referencias bibliográficas.....	52
	Anexos .....	55

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Requisitos de la harina de alfalfa deshidratada [6] .....	6
Tabla 2. Materiales utilizados en la estructura del equipo .....	15
Tabla 3. Equipos utilizados en la construcción .....	16
Tabla 4. Equipamientos elegidos para el sistema.....	17
Tabla 6. Presiones atmosféricas respecto a la altura en metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.). [9].....	23
Tabla 7. Propiedades de alimentos comunes. [11].....	27
Tabla 8. Consumo energético total.....	30
Tabla 9. Propiedades del agua a diferentes presiones. [9] .....	33
Tabla 10. Valores de 7 ensayos en gr.....	46
Tabla 11. Valores de humedad pérdida en % por cada hora.....	47
Tabla 12. Valores promedios de las humedades .....	49

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama de flujo del proceso .....	20
Figura 2 temperaturas mínimas, máximas y promedio de la ciudad de Ambato. ....	24
Figura 3 Humedad relativa promedio de la ciudad de Ambato. ....	24
Figura 4 Esquema teórico de circulación de aire en la cámara de secado. ....	25
Figura 5 Ecuaciones para coeficientes de transferencia de calor por convección. ....	29
Figura 6 Paso y cambio de aire a través de una resistencia eléctrica. ....	30
Figura 7 Datasheet del ventilador .....	37
Figura 8 Ventilador Sunon. ....	38
Figura 9 Características Serie SF12025AT P/N 2122HSL .....	38
Figura 10 Características Serie SF12025AT P/N 2122HSL .....	39
Figura 11 Circuito eléctrico de control de temperatura. ....	40
Figura 12 Termostato controlador de temperatura incubadora 12V .....	41
Figura 13 Diseño CAD .....	41
Figura 14 Planchas de acero AISI 304 L 0.7 mm. ....	42
Figura 15 (15-1, 15-2, 15-3) Armado de patas.....	42
Figura 16 Dobladora de acero. ....	43
Figura 17 (17-1, 17-2), Paredes y estructura del equipo. ....	43
Figura 18 Lana de vidrio. ....	44
Figura 19 Equipo ensamblado.....	44
Figura 20 Entrada de producto con humedad relativa del 80% .....	45
Figura 21 Curvas de secado de masa de agua por cada hora. ....	47
Figura 22 Porcentaje de humedad removido cada hora .....	48

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

Xd: Porcentaje de humedad contenida en el producto (%)

w: Masa de humedad (Kg)

Sd: Masa de un sólido seco (Kg)

Qs: Calor Sensible (KJ)

m: Masa a calentarse (Kg)

Cp: Calor específico (KJ/Kg °C)

$\Delta T$ : Diferencia de temperatura inicial y final (°C)

Ql: Calor latente (KJ)

$m_{evap}$ : Masa de agua a evaporarse (Kg)

$H_{fg}$ : Calor latente de vaporización (KJ/Kg)

Q: Caudal de flujo de aire  $\left(\frac{m^3}{s}\right)$

$\rho$ : Densidad  $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$

Cp: Calor específico  $\left(\frac{J}{kg \cdot K}\right)$

$\Delta T$ : Variación de temperatura (K)

$Q_{req}$ : Caudal de aire requerido  $\left(\frac{m^3}{s}\right)$

V: Velocidad de aire en el sistema  $\left(\frac{m}{s}\right)$

A: Área de flujo de aire en bandejas ( $m^2$ )

Hi: Humedad del producto de entrada o inicial. (%)

Hs: Humedad del producto de salida o final (%)

R: Rendimiento o factor de H2O deshidratado.

Ps: Peso final o de salida de producto. (Kg)

Pe: Peso inicial neto de producto a deshidratar o, peso de entrada. (Kg)

R: Resistencia eléctrica (Ohmio) ( $\Omega$ )

V: Variación del potencial (Voltios) (V)

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

Q: Calor generado (kW)

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

Cp: Calor específico a presión constante del aire. (KJ/ Kg K)

T2: Temperatura del aire a entrada. (K)

T1: Temperatura del aire a salida. (K)

$\dot{m}$ : flujo masico (Kg/s)

V: flujo volumétrico (m<sup>3</sup>/h)

$\rho$ : Densidad del aire  $\frac{kg}{m^3}$

M1: Dato 1 - Masa en la bandeja número 1. (Kg)

M2: Dato 1 - Masa en la bandeja número 2. (Kg)

M3: Dato 1 - Masa en la bandeja número 3. (Kg)

M4: Dato 1 - Masa en la bandeja número 4. (Kg)

M5: Dato 1 - Masa en la bandeja número 5. (Kg)

M6: Dato 1 - Masa en la bandeja número 6. (Kg)

M7: Dato 1 - Masa en la bandeja número 7. (Kg)

M11: Dato 2 - Pérdida de masa de H2O en % bandeja 1 (Kg)

M22: Dato 2 - Pérdida de masa de H2O en % bandeja 2 (Kg)

M32: Dato 2 - Pérdida de masa de H2O en % bandeja 3 (Kg)

M42: Dato 2 - Pérdida de masa de H2O en % bandeja 4 (Kg)

M52: Dato 2 - Pérdida de masa de H2O en % bandeja 5 (Kg)

M62: Dato 2 - Pérdida de masa de H2O en % bandeja 6 (Kg)

M72: Dato 2 - Pérdida de masa de H2O en % bandeja 7 (Kg)

## RESUMEN

La situación económica del sector agrícola a nivel nacional siempre ha sido un grave problema, debido a la corta vida útil y estacionalidad de muchos productos, por lo que los productores se ven obligados a vender sus productos al precio del mercado por el temor a que se deterioren; productos tales como legumbres, hortalizas y frutos tienen una vida útil de pocos días por lo que se deben consumir lo más pronto posible, es por este motivo que se propone en el presente proyecto técnico el diseño de un deshidratador de alfalfa, para lo cual en primer lugar se ha determinado los parámetros que influyen en el diseño tales como la cantidad de alfalfa a ser deshidratada, su humedad relativa al inicio y fin del proceso, temperatura ambiente, mediante un estudio bibliográfico se llegó a determinar temperatura promedio de secado, velocidad de circulación del aire caliente, utilizando parámetros físicos y térmicos del producto como densidad y calor específico; de igual manera, mediante un estudio termodinámico y criterios de transferencia de calor se llegó a determinar, tiempo de secado, potencia y energía necesaria para el proceso, con los parámetros anteriormente mencionados, se diseñó y construyó un sistema para deshidratar alfalfa al cual para garantizar un adecuado proceso se le instaló un sistema de control tanto para la temperatura como para el flujo de aire, sistema que permite deshidratar 15 kg de alfalfa a 40 grados centígrados en un tiempo de 8 horas.

**Palabras claves:** Aire de circulación, Alfalfa, Calor latente, Deshidratador de alfalfa, Humedad relativa, Secado por convección, Temperatura de deshidratación, Transferencia de calor y Velocidad del aire.

## ABSTRACT

The economic situation of the agricultural sector at the national level has always been a serious problem, due to the short useful life and seasonality of many products, for which the producers are forced to sell their products at the market price for fear of deteriorate; products such as legumes, vegetables and fruits have a shelf life of a few days so they should be consumed as soon as possible, it is for this reason that the design of an alfalfa dehydrator is proposed in this technical project, for which in In the first place, the parameters that influence the design have been determined, such as the amount of alfalfa to be dehydrated, its relative humidity at the beginning and end of the process, ambient temperature, through a bibliographic study, it was possible to determine the average drying temperature, speed of circulation of hot air, using physical and thermal parameters of the product such as density and specific heat; In the same way, through a thermodynamic study and heat transfer criteria, it was determined, drying time, power and energy necessary for the process, with the aforementioned parameters, of design and built a system to dehydrate alfalfa to which to guarantee an adequate process, a control system was installed for both temperature and air flow, a system that allows dehydration of 15 kg of alfalfa at 40 degrees Celsius and in a time of 8 hours.

**Descriptors:** Circulating air, Alfalfa, Latent heat, Alfalfa dehydrator, Relative humidity, Convection drying, Dehydration temperature, Heat transfer and Air speed.



## **CAPÍTULO 1**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **1.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS**

Para este proyecto técnico se ha tomado varias referencias:

Según [1], El contenido de humedad es la cantidad de agua evaporable que contiene un producto. Se expresa generalmente en términos de porcentaje, ya sea en relación con su masa total (contenido de humedad en base húmeda) o a su masa seca (contenido de humedad en base seca). El contenido en agua de la mayoría de planta aromáticas y medicinales en fresco oscila entre el 60- 80 % y la humedad final máxima admitida en el producto seco es del 6-18%.

Según [1], La temperatura es uno de los factores que controlan la velocidad de evaporación de un alimento. A mayor temperatura del aire, mayor velocidad de evaporación y mayor capacidad del aire para absorber la humedad liberada por el producto. El rango de temperatura utilizada para el secado de hierbas aromáticas es de 30 – 40 °C, aunque hay especies que admiten temperaturas mayores que pueden llegar a los 80°C

Según [1], Si no se conoce la forma en que varía la velocidad de secado decreciente, se puede obtener una expresión aproximada suponiendo que la variación es lineal, desde la humedad crítica hasta la humedad final del producto. La velocidad de secado recomendada para secado de flores, hojas y tallos es de 1 a 2 m/s.

Según [2], Los métodos de secado han sido utilizados desde la prehistoria, pero es solo hasta la segunda guerra mundial que se crea una necesidad real de llevar estos a un nivel de producción y de refinación, y buscar nuevos métodos mucho más eficientes que tarden un menor tiempo además de obtener la mejor calidad.

Según [2], La capacidad del aire para eliminar el agua de un alimento depende de su temperatura y del agua que contiene este, que se expresa como (humedad absoluta),

(HA) en kg; humedad relativa (HR) en porcentaje, que representan la relación existente entre la presión parcial del vapor de agua en el aire y la presión de vapor de saturación a la misma temperatura multiplicado por cien. El proceso implica simplemente el hacer pasar alrededor del alimento una corriente de aire caliente la cual elimina el agua que se encuentra dentro y en la superficie del alimento, en este proceso se debe tener presente que cada alimento presenta sus características especiales de trabajo y que sus índices de difusión del agua varían por lo cual hay ciertos productos que tardan bastante en secarse hasta un porcentaje óptimo de conservación; este tipo de estructuras y proceso es el menos complejo y uno de los más baratos por eso se hace tan aplicable a muchos tipos de producciones.

Según [3], Al hacer circular la corriente de la fuente, energiza los electrones en el aire que, al pasar por la resistencia, estos chocan con los elementos del material experimentando un efecto resistivo en el núcleo, el mismo que se manifiesta con un incremento de la temperatura.

## **1.2 JUSTIFICACIÓN**

Desde la antigüedad la conservación de los productos agrícolas ha tenido un papel fundamental en el aprovechamiento y consumo adecuado de alimentos, uno de los objetivos fundamentales es detener la actividad microbiana, existe una gran cantidad de procesos en la industria alimenticia para la conservación de alimentos, la deshidratación ha llegado a ser uno de los más utilizados ya que este proceso brinda un manejo de la planta para su almacenamiento y distribución.

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 OBJETIVO GENERAL**

- Diseñar y construir un sistema para deshidratar alfalfa para la CORPORACIÓN ECUATORIANA PARA EL DESARROLLO INTEGRAL PRODUCTIVO CEDINP S.C.C.

### **1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar y analizar los parámetros de diseño del sistema
- Diseñar el sistema para deshidratar alfalfa en función de los parámetros analizados

- Construir el sistema a partir del diseño
- Seleccionar y adquirir elementos auxiliares
- Realizar las pruebas pertinentes de funcionamiento del sistema construido
- Realizar un manual de operación y mantenimiento del sistema

#### **1.4 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

En este proyecto se precisa el concepto de deshidratación, la finalidad, ventajas y desventajas que presenta este proceso, se menciona brevemente las fuentes de energía para calentar el aire que rodea al producto a deshidratarse. Se cita los métodos de transferencia de calor (conducción, convección y radiación), se analiza el proceso de secado que transita en el producto dentro de la cámara de deshidratación durante un tiempo determinado, se considera los conceptos de las propiedades de calor latente. Se indica la clasificación de los principales deshidratadores de alimentos, además se menciona procesos que se realiza antes y después de la deshidratación de la alfalfa. Se describe aplicaciones y características de la resistencia eléctrica, que se instala en el deshidratador para calentar el aire en movimiento, se menciona los conceptos del ventilador centrífugo que se coloca en el horno deshidratador para mover el aire que llega a la cámara de deshidratación. Para finalizar se realiza el análisis de alternativas.

##### **1.4.1 LA ALFALFA**

La alfalfa es un tipo planta sativa perenne de entre 10-80 cm, herbácea que ha experimentado un importante desarrollo en los últimos años para los sistemas de producción intensivos donde se trata principalmente el ganado vacuno y la producción de leche. [4]

Nos referimos a una leguminosa perenne con un alto potencial productivo que ofrece excelentes cualidades nutricionales y puede perdurar hasta varios años si es manejado adecuadamente, siendo una excelente fuente de alimento para la temporada de verano.

Para Rebuffo (2005), el alto costo de implantación de la alfalfa hace necesario conocer las condiciones de manejo que determinan el normal crecimiento y persistencia del cultivo, las cuales resultan importantes para aprovechar una pastura de calidad en forma económica. Para lograr esto, la diagramación de un correcto esquema de

pastoreo es esencial, ya que lo que sucede en un año afectará el rendimiento de los cultivos en un futuro.

#### **1.4.2 DESHIDRATACIÓN DE LA ALFALFA**

Es un proceso que incluye la cosecha de la alfalfa verde, su acondicionamiento mecánico y el secado mediante ventilación forzada. [5]

El principal uso de la alfalfa deshidratada es como alimento de animales, principalmente especies destinadas a la producción de la leche y animales de alto rendimiento. Este forraje tiene el nombre científico de *Medicago sativa*, pertenece a la familia de las leguminosas forrajeras, producidas en toda la zona Mediterránea. [5]

El cultivo fue introducido por los persas en el siglo I a.C. y crece habitualmente en zonas de regadíos y zonas húmedas, con un rango de elevaciones bastante amplio, ya que aparece entre los 200 y los 2.000 metros de altitud. [5]

La producción de alfalfa tiene diversos destinos, a continuación, se detallan por orden de importancia, la deshidratación (más del 63%), henificado (25%), y el consumo en verde y ensilado (12%). [5]

##### **1.4.2.1 Proceso de deshidratación**

El proceso de deshidratación de la alfalfa se divide en varias etapas. Primero, el forraje sufre un presecado en el campo, hasta alcanzar el contenido óptimo de humedad, alrededor del 45 a 50%. Luego se procesa y se transporta a una planta de deshidratación, donde el forraje es secado mediante una maquina hasta alcanzar los niveles óptimos para el almacenamiento y embalado. [5]

Durante el secado artificial, el forraje se deposita en un cilindro o tambor horizontal, luego son transportados a través del aire caliente que permite una deshidratación gradual. Las hojas que se secan más rápido son empujadas por el viento hacia el colector, mientras que los tallos (más pesados y húmedos) tardan en alcanzar el punto de secado adecuado, por lo tanto, tardan más en ser cogidos en el colector. Tras alcanzar el óptimo punto de deshidratación, los forrajes son tratados según su uso previsto y finalmente almacenados. [5]

La deshidratación, como método de conservación del forraje, prácticamente no modifica su valor nutritivo, si se produce una ligera, aunque mínima, disminución de la digestibilidad de la materia orgánica (MO), pero ningún cambio en los valores de energía. Un detalle que cambia la digestibilidad como la ingestión del animal, es la forma de presentación del forraje deshidratado, debemos recordar que ésta puede ser: forma larga, corta o granular. Dependiendo de la presentación del forraje suministrado a los animales, el efecto sobre la dieta es diferente, ya que el tamaño de la partícula influye directamente en la digestión. [5]

#### **1.4.2.2 Diferencia entre henificación y deshidratado de alfalfa**

La ventaja de deshidratar mecánicamente el alimento sobre la henificación es que la deshidratación reduce las pérdidas de valor nutritivo (hojas, proteínas y vitaminas) durante el proceso de transformación. Además, permite un secado más homogéneo, controlado y con menores niveles de contaminación microbiana. [5]

El proceso térmico utilizado para la deshidratación reduce el tiempo que tarda en lograr los niveles de humedad deseados y elimina los factores antinutritivos presentes en la alfalfa en estado verde, como es el caso de los estrógenos. El control de todos los puntos del proceso, independientemente de las condiciones climáticas, permiten lograr un forraje estandarizado de alta calidad, valor energético y nutritivo. [5]

La deshidratación de la alfalfa, en comparación con el secado natural (henificación), reduce las pérdidas de valor nutritivo (hojas, proteína, vitaminas) y los riesgos de contaminación del suelo, además de evitar la humedad por lluvia o rocío que aumentarían la contaminación microbiana (Nogales & Ruiz, 2018). La alfalfa contiene aproximadamente un 50% de pared celular y una composición equilibrada de fibras (8% pectinas, 10% hemicelulosas, 25% celulosa y 7% lignina). [5]

#### **1.4.2.3 Normativa NTE INEN 1 645 – Norma para requisitos a cumplir para deshidratación de alfalfa**

Detalla los requisitos que debe cumplir la producción y el transporte de alfalfa. Los requisitos de comercialización son los siguientes:

- Color: La harina de alfalfa deshidratada debe presentar un color característico de la materia prima para indicar un proceso de fabricación adecuado.
- Olor: El producto debe tener el aroma característico a forraje verde, indicando frescura, buen almacenamiento y conservación.
- El producto debe estar libre de otros productos que alteren su valor nutricional y contaminantes de origen vegetal, animal o mineral.
- El nivel máximo tolerado de aflatoxinas para la harina de alfalfa es de 0,05 mg/kg de muestra (ver INEN 1 563).
- En caso de presentación en harina la granulometría, debe ser tal que el 97%, esta deberá pasar por un tamiz de 3,35 mm, el 90% deberá pasar a través del tamiz de 2,36 mm (ver INEN 154).
- Puede agregarse al producto, durante el proceso de fabricación, antioxidantes permitidos en la cantidad necesaria para evitar la oxidación de la clorofila y del caroteno, de acuerdo con las prácticas correctas de fabricación.
- La harina de alfalfa, ensayada de acuerdo con las normas ecuatorianas correspondientes debe cumplir, además, con los requisitos establecidos en la Tabla 1.
- Todos los valores de la Tabla 1 se expresarán sobre una base del 10% de humedad.
- El producto no debe contener residuos y sus metabolitos de productos agroquímicos usados en su tratamiento fitosanitario en cantidades superiores a las tolerancias máximas establecidas por las regulaciones vigentes. [6]

*Tabla 1. Requisitos de la harina de alfalfa deshidratada [6]*

REQUISITOS	UNIDAD	MIN.	MAX	Método de Ensayo
Humedad	%	-	10	INEN 540
Proteína cruda	%	18	-	INEN 543
Fibra cruda	%	-	29	INEN 542
Cenizas		-	12	INEN 544
Carotenos	%	0,013	-	INEN 1 844
Xantoféas	%	0,040	-	INEN 1 844

La alfalfa contiene aproximadamente un 50% de pared celular y una composición equilibrada de fibras (8% pectinas, 10% hemicelulosas, 25% celulosa y 7% lignina). A medida que la tecnología avanza, se producen varias formas de controlar las

variables de temperatura y humedad que faciliten el deshidratado, obteniendo un desempeño favorable para las empresas que ocupan este tipo de procesos [6].

### **1.4.3 VENTAJAS DE LA DESHIDRATACIÓN**

Los forrajes son alimentos esenciales para los rumiantes porque proporcionan la fibra necesaria para mantener el normal funcionamiento del rumen y la salud de los animales. La calidad del alimento o el valor nutritivo de un forraje se define como la capacidad para cubrir las necesidades nutritivas en animales para lograr que presenten un elevado rendimiento productivo, como es la producción de leche. [7]

La alfalfa es una leguminosa forrajera que se utiliza principalmente para aportar proteínas de alta calidad, macronutrientes, micro minerales y vitaminas de forma natural en la ración del ganado. Además, es una fuente importante de fibra efectiva necesaria para animales rumiantes. [7]

La deshidratación de la alfalfa se lleva a cabo por secado rápido a altas temperaturas, es el proceso de conservación que provoca menos pérdidas nutritivas al reducir las pérdidas por respiración entre la siega y la muerte de la planta. La deshidratación mejora la calidad higiénica al reducir la contaminación microbiana, lo que supone una mayor seguridad en la futura conservación. [7]

- La hierba deshidratada se conserva un largo periodo de tiempo; mientras menor sea la cantidad de agua en el producto, mayor será su tiempo de duración.
- Los nutrientes de la hierba deshidratada no se alteran drásticamente, cuando el proceso de deshidratación se lo realiza a temperaturas bajas y tiempos largos.
- El volumen de la hierba deshidratada es mucho menor que el volumen de la hierba sin procesarla, permitiendo con facilidad el almacenamiento en depósitos.
- Con este proceso se contribuye a conservar el excedente de la cosecha de la hierba.
- Aumenta la producción de la saliva, este efecto está relacionado con el anterior. La fibra de la alfalfa estimula la masticación y a su vez la salivación, de esta manera aumenta la cantidad de bicarbonato que llega al rumen a través de la saliva. Esto ayudara a controlar el pH, subiéndolo y evitando problemas en la rumia previniendo problemas de acidosis en los animales.

- Ayuda a enlentecer el tránsito de los alimentos en el rumen. Permitiendo que se aprovechen mejor otros alimentos como los concentrados proteicos y los cereales.
- Ayuda a mejorar la composición de la leche. En la situación actual del mercado de la leche donde se prima la proteína y la grasa de la leche, la alfalfa puede cambiar favorablemente la composición de la leche. El nivel de fibra y la forma física de las partículas de la fibra afectan la rumia y a la producción de AGV (Ácidos Grasos Volátiles) favoreciendo una mayor producción de ácido propiónico.
- Aumenta la ingestión del animal. La reducción del tamaño de las partículas de un forraje provoca automáticamente un aumento en las cantidades ingeridas, que unido a la gran digestibilidad de la alfalfa determinan ingestiones elevadas. Esto es muy interesante para animales de alta producción (vacas de leche, ovejas lecheras, ...) donde es importante aumentar su capacidad de consumo para aumentar la producción.
- Ayuda a controlar la caída del pH ruminal. El consumo de alfalfa previene la acidosis ruminal que provoca una disminución del pH en el rumen. [7]

#### **1.4.4 DESVENTAJAS DE LA DESHIDRATACIÓN**

En la deshidratación se presenta cambios organolépticos debido a la pérdida de componentes volátiles durante el proceso. La pérdida de nutrientes en una hierba deshidratada ocurre durante el proceso de preparación previo a la deshidratación (lavado), por lo que existen pocos inconvenientes en este proceso.

#### **1.4.5 CONTENIDO DE HUMEDAD**

La deshidratación de productos es la eliminación de su humedad, por lo tanto, existen algunos parámetros relacionados con el proceso de secado, los cuales son:

El contenido de humedad es la cantidad de agua presente en un material y generalmente se expresa como un porcentaje de base húmeda o base seca. [8]

##### **1.4.5.1 Contenido de humedad en el producto**

Es la relación de la masa de humedad presente en un producto, sobre la masa seca de dicho sólido.



$$Xd = \frac{w}{Sd} * 100\% \quad (1)$$

Donde:

Xd: Porcentaje de humedad contenida en el producto (%)

w: masa de humedad (Kg)

Sd: masa de un sólido seco (Kg)

Dado que la masa del solido permanece prácticamente constante, cambiando a lo largo del tiempo únicamente el contenido de humedad durante todo el proceso de secado, se recomienda expresar este contenido en base seca, para tener una idea exacta de la marcha de la desecación, generalmente, la humedad se expresa como un porcentaje de peso total de un producto húmedo, por lo tanto, es necesario expresar este contenido en base seca para tener una imagen precisa del proceso del secado, es recomendable preparar una expresión que asocie las dos formas de contenido de agua. [8]

La equivalencia entre las dos es:

$$Xd = \frac{100 * Xw}{100 - Xw} \quad (2)$$

#### **1.4.6 TRANSFERENCIA DE CALOR**

El calor puede transferirse de un lugar a otro por tres métodos diferentes:

Conducción en sólidos, convección en fluidos (líquidos o gases) y radiación a través de cualquier medio en ondas electromagnéticas. El método seleccionado en cada caso es el que resulta más eficiente. Si hay una diferencia de temperatura el calor siempre viajará del lugar más caliente al más frío. [8]

### **1.4.6.1 Conducción**

La conducción tiene lugar cuando dos objetos a diferentes temperaturas entran en contacto. El calor fluye desde el objeto más caliente hasta el más frío, hasta que los dos objetos alcanzan la misma temperatura. [8]

La conducción es el transporte de calor a través de la materia y ocurre como resultado de las colisiones de las moléculas. En el lugar donde los dos objetos se encuentran, las moléculas de movimiento rápido del objeto caliente chocan con las moléculas del objeto frío de movimiento lento. A medida que colisionan las moléculas rápidas dan algo de su energía a las más lentas. Estas a su vez chocan con otras moléculas en el objeto frío. Este proceso continúa hasta que la energía del objeto caliente se extiende por el objeto frío. [8]

Algunas sustancias conducen más calor que otras. Los sólidos son mejores conductores que los líquidos y los líquidos son mejores que los gases. El metal es un muy buen conductor del calor, mientras que el aire es muy mal conductor, se puede experimentar como el calor se transfiere por conducción siempre que se toca algo que está más caliente o frío que la piel, por ejemplo, cuando se lava las manos en agua caliente o fría. [8]

### **1.4.6.2 Convección**

En líquidos y gases la convección es prácticamente la forma más eficiente de transferir calor. La convección tiene lugar cuando áreas de fluido caliente ascienden hacia las regiones de fluido frío. Cuando esto sucede, el fluido frío desciende tomando el lugar del fluido caliente que ascendió. Este ciclo da lugar a una continua circulación en que el calor se transfiere a las regiones frías. [8]

Se puede apreciar cómo tiene lugar la convección cuando hierve agua en una olla. Las burbujas son áreas calientes de agua que ascienden en áreas más frías de la superficie. Probablemente usted esté familiarizado con la expresión: "el aire caliente sube y el frío baja", que describe el fenómeno de la convección en la atmósfera. El calor en este caso es transferido por la circulación del aire. [8]

### 1.4.6.3 Radiación

Tanto la conducción como la convección requieren la presencia de materia para transferir calor. La radiación es un método de transferencia de calor que no requiere contacto entre la fuente de calor y el receptor, por ejemplo, podemos sentir el calor del Sol incluso sin poder tocarlo. El calor se puede transferir a través de espacios vacíos en forma de radiación térmica. [8]

Esta, conocida también como radiación infrarroja, es un tipo de radiación electromagnética (o luz), por tanto, la radiación es un tipo de transporte de calor que consiste en la propagación de ondas electromagnéticas que viajan a la velocidad de la luz. No se produce ningún intercambio de masa y no se requiere ningún medio, cuando los electrones de alta energía caen a niveles de baja energía, el objeto emite una radiación. La energía perdida se emite en forma de luz o radiación electromagnética, la energía absorbida por los átomos hace que sus electrones "salten" a niveles de energía más altos. Todos los objetos absorben y emiten radiación. [8]

### 1.4.6.4 Calor sensible

Cuando se suministra energía por calentamiento a un cuerpo se produce un cambio en la velocidad de sus moléculas y la temperatura varía, mediante el cambio de fase la energía suministrada al cuerpo se emplea en cambiar las posiciones relativas de las moléculas entre sí para superar la fuerza de tensión entre ellas, de tal forma que la temperatura permanezca constante. [8]

En el primer caso los cambios de temperatura indican transferencia de energía. El efecto de calentamiento o enfriamiento del cuerpo se puede analizar observando la temperatura. El calor añadido de esta forma se llama calor sensible. [8]

La expresión que permite determinar el calor sensible es:

$$Q_s = m \times C_p \times \Delta T \quad (3)$$

Donde:

Qs: Calor Sensible (KJ)

m: masa a calentarse (Kg)

Cp: Calor específico (KJ/Kg °C)

$\Delta T$ : Diferencia de temperatura inicial y final (°C)

#### 1.4.6.5 Calor latente

En este tipo de calor, la temperatura permanece constante y no es posible probar la transferencia de calor por temperatura, le damos el nombre de calor latente a la energía empleada para el cambio de estado (“latente” significa “oculto”), cuando ocurre el cambio de estado líquido a vapor se emplea el calor latente de vaporización. [8]

La expresión que permite determinar el calor latente es:

$$Ql = m (H_{fg}) \quad (4)$$

Donde:

Ql: Calor latente (KJ)

m: Masa de agua a evaporarse (Kg)

$H_{fg}$ : Calor latente de vaporización (KJ/Kg)

#### 1.4.6.5 Calor específico

Se define como la energía requerida para elevar un grado de temperatura de una masa unitaria de una sustancia. [8]

En termodinámica interesan dos clases de calores específicos:

El calor específico a volumen constante  $C_v$  y el calor específico a presión constante  $C_p$ .

Físicamente el  $C_v$  puede considerarse como la energía requerida para elevar la temperatura de una unidad de masa de una sustancia en un grado, mientras su volumen se mantiene constante. La energía requerida para hacer lo mismo si la presión se mantiene constante es el  $C_p$ . [8]

El  $C_p$  siempre es mayor al  $C_v$  porque el sistema puede expandirse mediante una presión constante y la energía para este trabajo de expansión debe suministrarse al sistema.

Una unidad común para los calores específicos es el  $\text{KJ/Kg}^\circ\text{C}$  o  $\text{KJ/KgK}$ . [8]

#### **1.4.6.6 La potencia transferida al aire**

Se denomina potencia transferida al aire a:

$$N_a = \dot{Q}\rho C_p(\Delta T) \quad (5)$$

Donde:

Q: Caudal de flujo de aire  $\left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right)$

$\rho$ : Densidad  $\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$

$C_p$ : Calor específico  $\left(\frac{\text{J}}{\text{kg}^* \text{K}}\right)$

$\Delta T$ : Variación de temperatura (K)

#### **1.4.7 PROCESO DE DESHIDRATACIÓN**

Primero, se recibe y se pesa toda la alfalfa fresca para eliminar las partes dañadas y otros desechos, a continuación, las leguminosas son lavadas por inmersión en pozas con agua potable y un desinfectante de uso alimentario que no afecta su composición; después son colocadas en el deshidratador que controla parámetros como la velocidad del aire, el tiempo de secado y la temperatura.

La temperatura es un fenómeno físico utilizado en el proceso de fabricación del producto final, por lo que las industrias han visto la necesidad de automatizar este proceso que funciona midiendo la temperatura del medio a través de un sensor, el funcionamiento enviara una señal a un controlador el cual mediante comparaciones con valores previamente establecidos determinan si es necesario accionar o no un sistema para aumentar o disminuir la temperatura.

Al igual que el control de temperatura el sensor emite una señal eléctrica hacia un controlador, se compara la señal de entrada con un valor previamente establecido determinando si la humedad es la apropiada, caso contrario se accionará el sistema que controla esa variable.

**CAPÍTULO 2**  
**METODOLOGÍA**

**2.1 MATERIALES**

En las tablas 2 -3 y 4 se detallan los materiales y equipos que se utilizan en la construcción del proyecto.

*Tabla 2. Materiales utilizados en la estructura del equipo*

N. o	Denominación	Cant	Descripción	Imagen	Costo
1	Plancha acero Inoxidable	2	0.7mm		-
1	Soldadora	1	Para aluminio		-

*Tabla 2. Materiales utilizados en la estructura del equipo (Continuación)*

1	Soldadora	1	Para aluminio		-
---	-----------	---	---------------	--	---

*Tabla 3. Equipos utilizados en la construcción*



2	Soldadura Acero Inoxidable	-	Mano de obra - electrodo	-	-
3	Plegadora	1	Dobla metal		-



Tabla 4. Equipamientos elegidos para el sistema

N. o	Denominación	Ca nt	Descripción	Imagen	Costo
1	Fuente de voltaje	1	12V		7.99
2	Placa control de temperatura	1	AMS 1117 12V Termostato		15
3	Sensor de temperatura	1	De aire		6.99
4	Ventilador	2	12*12 mm		32

Tabla 4. Equipamientos elegidos para el sistema (Continuación)

5	Resistencia	1	Eléctrica para aire		10
6	Cables	-	Conexión eléctrica		10

## 2.2 MÉTODOS

### 2.2.1 METODOLOGÍA

La metodología utilizada para el desarrollo del presente Proyecto Técnico está basada en una revisión bibliográfica que nos permita adquirir el conocimiento necesario para el diseño del deshidratador de alfalfa, determinar las variables que influyen en el proceso y los factores y parámetros para el diseño del equipo, y por último construir ensamblar e instalar el equipo.

### 2.2.2 NIVEL

El nivel fue parte investigativo y parte de diseño lo que nos ha permitido alcanzar los objetivos planteados mediante la materialización del equipo adecuado para el deshidratado de alfalfa, es decir mediante la investigación se logró determinar los parámetros tales como humedad relativa del producto, temperatura de secado, tiempos requeridos, los mismos que nos han permitido dimensionar y seleccionar los materiales adecuados.

### **2.2.2 BIBLIOGRÁFICO**

Mediante la revisión bibliográfica se pudo entender el proceso de deshidratación del producto y determinar las variables que influyen en el mismo.

### **2.2.3 DESCRIPTIVO**

Luego de entender y desarrollar el proceso de deshidratación se ha podido describir cada una de las etapas, así como también describir con claridad el equipo construido que fue uno de los objetivos planteados en el presente proyecto técnico, así como describir el proceso de mantenimiento del equipo, para lo cual se ha desarrollado un manual y conjunto de planos que será de mucha ayuda para el personal encargado del funcionamiento.

### **2.2.4 EXPERIMENTAL**

Comienza con el conocimiento del proceso de deshidratación y sus variables tales como humedad, masa, temperatura, tiempos, potencia y flujo volumétrico de aire caliente, para que durante la realización del presente proyecto se analice como influye cada uno de ellos en la obtención del producto final y así mejorar las propiedades de la alfalfa deshidratada, posteriormente se determina las características físicas del equipo con las que fue construido y finalmente se determinó la cantidad de humedad del producto final.

### **2.2.5 FLUJOGRAMA DEL PROYECTO**

El presente proyecto técnico tiene como finalidad la obtención de alfalfa con una humedad relativa adecuada para aumentar la vida útil del producto y mejorar la rentabilidad de los productores para lo cual se realizaron las actividades mostradas en el siguiente diagrama.

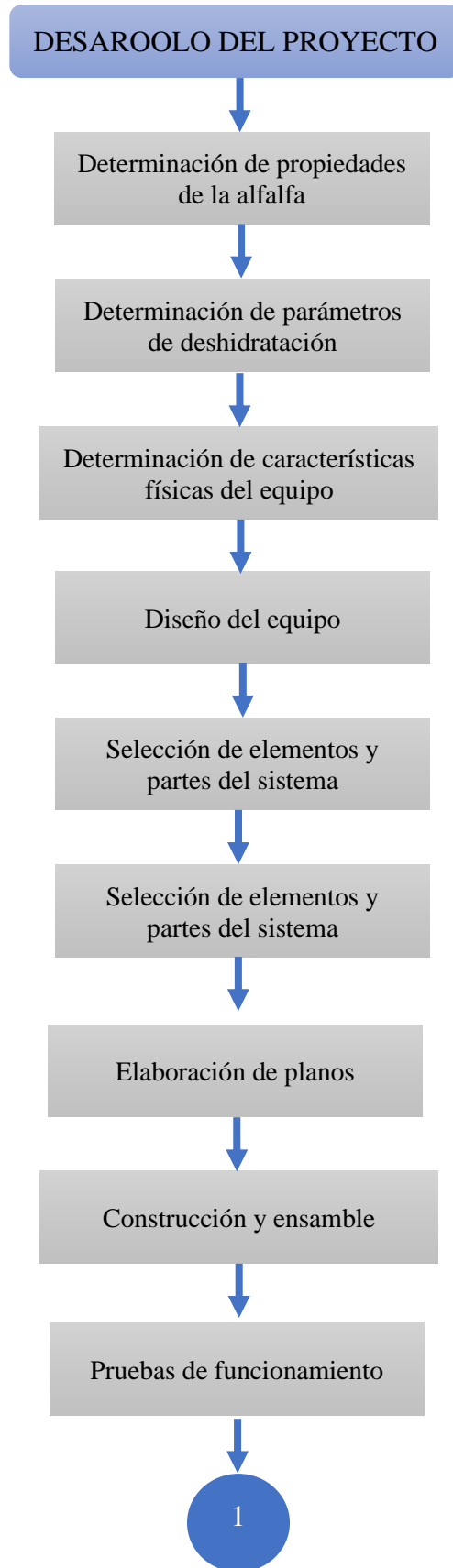
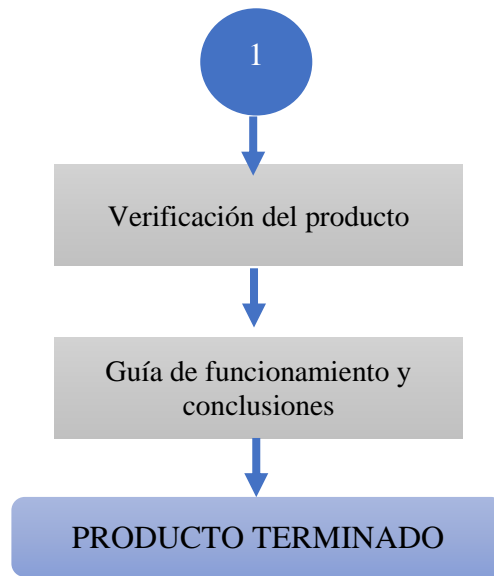


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso



*Figura 1. Diagrama de flujo del proceso (Continuación)*

## **CAPÍTULO 3**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **3.1 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN**

##### **3.1.1 PARÁMETROS DEL DISEÑO**

###### **Variables por controlar**

En la actualidad existe una variedad de sensores y controladores en el mercado por lo que no es un problema medir un sin número de variables físicas, para el estudio del deshidratador debemos tener en cuenta el control de las siguientes variables:

###### **Control de temperatura**

La temperatura es un fenómeno físico el cual se usa para procesos de elaboración de productos terminados, por lo que las industrias han visto la necesidad de automatizar este proceso, dicho proceso funciona midiendo la temperatura del medio a través de un sensor, los mismos enviaran una señal a un controlador el cual mediante comparaciones con valor previamente establecidos determina si es necesario accionar o no un sistema para aumentar o disminuir la temperatura.

###### **Control de humedad**

Al igual que el control de temperatura una medición permite un control con el cual se compara el peso de entrada con un peso previamente establecido determinando si la humedad es la adecuada, de lo contrario se medirá correctamente el tiempo que controla esa variable.

###### **Factores que influyen en el deshidratado de la alfalfa**

Los factores que influyen en el diseño del deshidratador son: la cantidad de material a ser deshidratado y la humedad de entrada del producto, con lo cual podemos dimensionar y determinar el tamaño de la cámara, así como la potencia necesaria del

sistema, también predeterminando la temperatura de secado podemos establecer el tiempo necesario para el proceso.

### 3.2 CONDICIONES CLIMÁTICAS

Se han tomado las propiedades ambientales en referencia a la ciudad de Ambato ubicada a 2577 m sobre el nivel del mar.

*Tabla 5. Presiones atmosféricas respecto a la altura en metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.). [9]*

Presión kPa	Altura (m.s.n.m)
101.325	0
89.88	1000
79.5	2000
54.05	5000
26.5	10000
5.53	20000

Utilizando los datos de la tabla de presiones atmosféricas respecto a la altura en metros sobre el nivel del mar se interpoló a una presión para la ciudad de Ambato con una altura de 2577 m sobre el nivel del mar dando como resultado una presión atmosférica de 74.60 kPa.

Para la temperatura y la humedad relativa promedio de Ambato se han tomado en cuenta los datos presentados por la Dirección de Recursos Hídricos y Conservación Ambiental de la red meteorológica de Tungurahua (estación aeropuerto Ambato - ubicación Izamba) en las siguientes graficas:

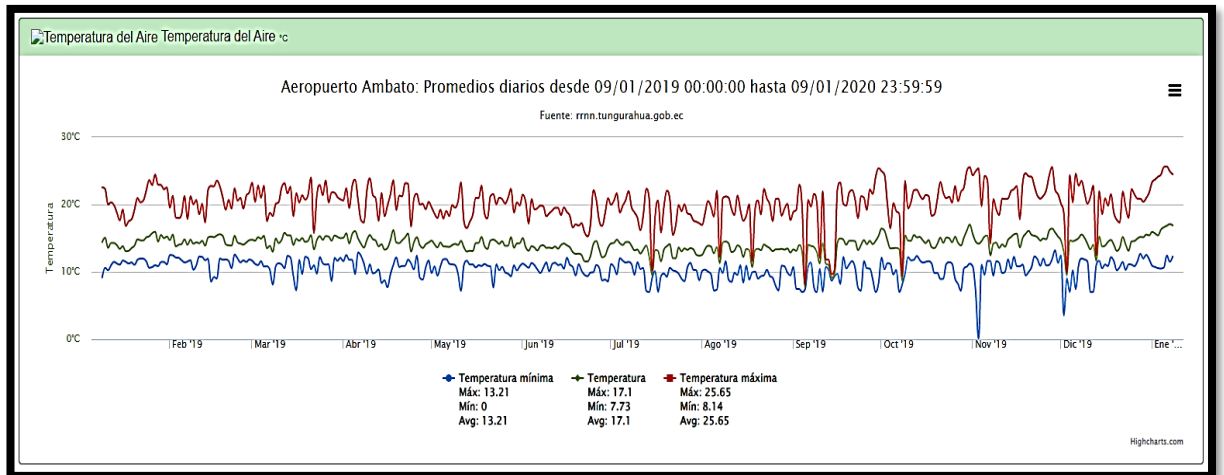


Figura 2. Temperaturas mínimas, máximas y promedio de la ciudad de Ambato. [10]

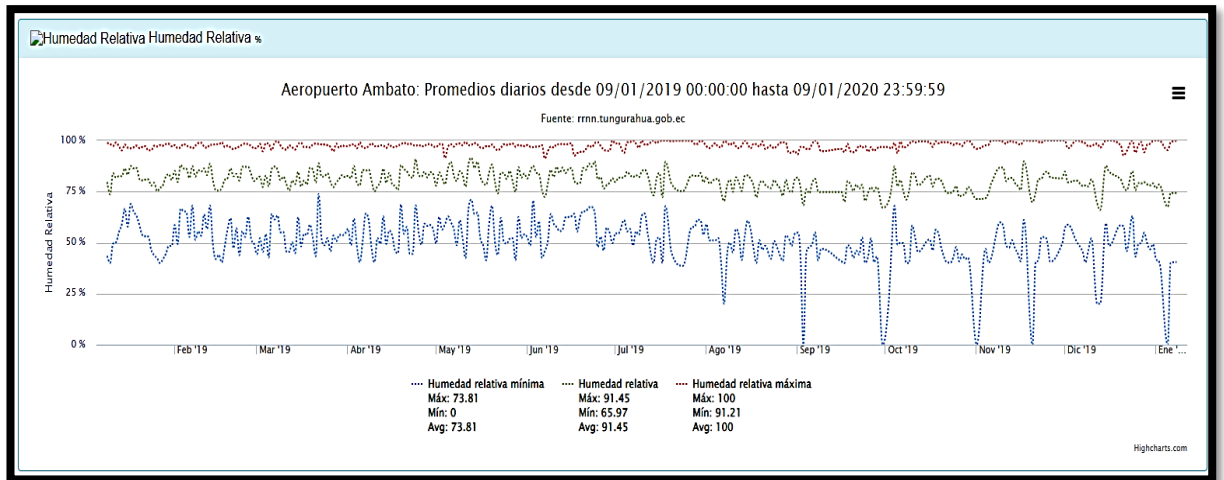


Figura 3. Humedad relativa promedio de la ciudad de Ambato. [10]

De los cuales pudimos obtener una temperatura promedio anual de 13 °C y una humedad relativa promedio de 79 %.

Para el diseño se considera una temperatura de 13 °C en el exterior y una temperatura de 40 °C en la cámara de deshidratado, debido a que el rango de temperaturas recomendado para el secado de tallos hojas y flores es de 30 a 40 °C. [1]

$$T1 = 40 \text{ } ^\circ\text{C} = 313.15 \text{ K}$$

$$T2 = 13 \text{ } ^\circ\text{C} = 286.15 \text{ K}$$



$$\Delta T = T_1 - T_2 \quad (6)$$

$$\Delta T = (313.15 - 286.15) K$$

$$\Delta T = 27 K$$

### 3.3 CÁMARA DE DESHIDRATADO

Acorde al diseño realizado para este proyecto se tiene como espacio de la cámara de deshidratado los siguientes datos:

- altura 106 cm
- profundidad 61 cm
- anchura 62 cm.

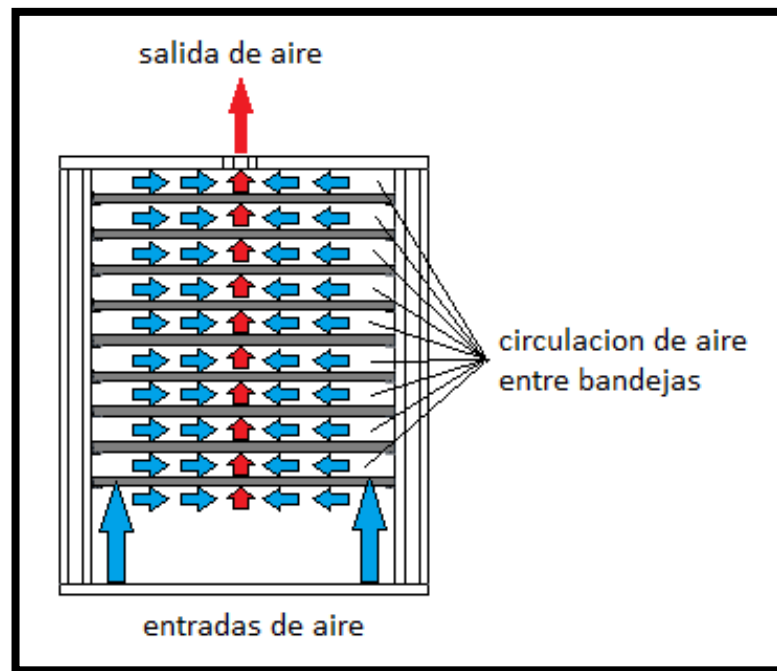


Figura 4. Esquema teórico de circulación de aire en la cámara de secado.

### 3.4 CÁLCULO DE CAPACIDAD MÁXIMA DE VOLUMEN DEL PRODUCTO

Calculamos el volumen total del deshidratador a partir del área de las bandejas multiplicado por 8 ya que son el número de bandejas que el diseño tiene y se toma como 0.05 m a la altura que ocupa la alfalfa en las bandejas.

$$V = 8 x y z \quad (7)$$

$$V = 8 (0,628) (0,61) (0,05) m^3$$

$$V = 0,15128 m^3$$

Una vez obtenido el volumen total procedemos a calcular la masa que ocupa el producto. Teniendo como densidad inicial de la alfalfa en hierba húmeda de aproximadamente 100 kg/m<sup>3</sup>.

$$m = \rho V \quad (8)$$

$$m = 100 \frac{Kg}{m^3} (0,15128 m^3)$$

$$m = 15.128 Kg$$

### 3.5 CONSUMO ENERGÉTICO

Consumo energético total del sistema total es igual a la suma de:

- Potencia consumida del producto
- Potencia consumida por pérdidas en las paredes
- Coeficiente de seguridad

#### 3.5.1 CÁLCULO DE TRANSFERENCIA ENERGÉTICA EN EL PRODUCTO- ALFALFA

Utilizando la fórmula de calor específico podemos determinar el valor de  $C_p$ , con un contenido de agua aproximadamente de 78% en el alfalfa. (Humedad)

Tabla 6. Propiedades de alimentos comunes. [11]

TABLA A-7						
Propiedades de alimentos comunes (conclusión)						
b) Otras propiedades						
Alimento	Contenido de agua, % (masa)	Temperatura, T °C	Densidad, ρ kg/m <sup>3</sup>	Conductividad térmica, k W/m · °C	Difusividad térmica, α m <sup>2</sup> /s	Calor específico, c <sub>p</sub> kJ/kg · K
<b>Frutas/Vegetales</b>						
Manzana, jugo de	87	20	1 000	0.559	0.14 × 10 <sup>-6</sup>	3.86
Manzanas	85	8	840	0.418	0.13 × 10 <sup>-6</sup>	3.81
Manzanas secas	41.6	23	856	0.219	0.096 × 10 <sup>-6</sup>	2.72
Chabacanos secos	43.6	23	1 320	0.375	0.11 × 10 <sup>-6</sup>	2.77
Plátanos frescos	76	27	980	0.481	0.14 × 10 <sup>-6</sup>	3.59
Brócoli	—	-6	560	0.385	—	—
Moras frescas	92	0-30	1 050	0.545	0.13 × 10 <sup>-6</sup>	3.99
Higos	40.4	23	1 241	0.310	0.096 × 10 <sup>-6</sup>	2.69
Toronja, jugo de	89	20	1 000	0.567	0.14 × 10 <sup>-6</sup>	3.91
Duraznos	89	2-32	960	0.526	0.14 × 10 <sup>-6</sup>	3.91
Ciruelas	—	-16	610	0.247	—	—
Papas	78	0-70	1 055	0.498	0.13 × 10 <sup>-6</sup>	3.64
Pasas	32	23	1 380	0.376	0.11 × 10 <sup>-6</sup>	2.48
<b>Carnes</b>						
Res, bistec de	67	6	950	0.406	0.13 × 10 <sup>-6</sup>	3.36
Res, carne magra de	74	3	1 090	0.471	0.13 × 10 <sup>-6</sup>	3.54
Res, carne grasosa de	0	35	810	0.190	—	—
Res, hígado de	72	35	—	0.448	—	3.49
Gatos, alimento para	39.7	23	1 140	0.326	0.11 × 10 <sup>-6</sup>	2.68
Pollo, pechuga de	75	0	1 050	0.476	0.13 × 10 <sup>-6</sup>	3.56
Perros, alimento para	30.6	23	1 240	0.319	0.11 × 10 <sup>-6</sup>	2.45
Bacalao	81	3	1 180	0.534	0.12 × 10 <sup>-6</sup>	3.71
Salmón	67	3	—	0.531	—	3.36
Jamón	71.8	20	1 030	0.480	0.14 × 10 <sup>-6</sup>	3.48
Cordero	72	20	1 030	0.456	0.13 × 10 <sup>-6</sup>	3.49
Puerco, carne magra	72	4	1 030	0.456	0.13 × 10 <sup>-6</sup>	3.49
Pavo, pechuga de	74	3	1 050	0.496	0.13 × 10 <sup>-6</sup>	3.54
Ternera	75	20	1 060	0.470	0.13 × 10 <sup>-6</sup>	3.56
<b>Otros</b>						
Mantequilla	16	4	—	0.197	—	2.08
Chocolate, pastel de	31.9	23	340	0.106	0.12 × 10 <sup>-6</sup>	2.48
Margarina	16	5	1 000	0.233	0.11 × 10 <sup>-6</sup>	2.08
Leche descremada	91	20	—	0.566	—	3.96
Leche entera	88	28	—	0.580	—	3.89
Olivo, aceite de	0	32	910	0.168	—	—
Cacahuete, aceite de	0	4	920	0.168	—	—
Agua	100	0	1 000	0.569	0.14 × 10 <sup>-6</sup>	4.217
	100	30	995	0.618	0.15 × 10 <sup>-6</sup>	4.178
Pastel blanco	32.3	23	450	0.082	0.10 × 10 <sup>-6</sup>	2.49

Fuente: Los datos se obtuvieron principalmente del *Handbook of Fundamentals* de la ASHRAE, versión en el SI (Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc., 1993), cap. 30, tablas 7 y 9. Usado con autorización.

La mayor parte de los valores específicos se calculan a partir de  $c_p = 1.68 + 2.51 \times (\text{contenido de agua})$ , lo cual es una buena aproximación en el rango de temperatura de 3 hasta 32°C. La mayor parte de las difusividades térmicas se calculan a partir de  $\alpha = k/\rho c_p$ . Los valores patentados dados son válidos para el contenido específico de agua.

$$C_p = 1,68 + 2,51(\text{contenido de agua}) \quad (9)$$

$$C_p = 1,68 + 2,51(0,78)$$

$$C_p = 3,6378 \text{ kJ/kgK}$$

Y reemplazando los valores en la ecuación de calor cedido al producto tenemos:

$$Q = mcp\Delta T$$

$$Q = 15.128 \text{ Kg} * 3,6378 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}\right) 27 \text{ K}$$

$$Q = 1485.9 \text{ KJ}$$

Con el valor del calor cedido al producto y un tiempo escogido de 25 minutos ya que 20 minutos es el mínimo tiempo recomendado para calentar tallos flores y hierbas (alfalfa) para deshidratado (Remache, 2020) y se requiere calentar el producto completo a su temperatura de secado tenemos.

$$\dot{Q} = 1485.9 \frac{\text{KJ}}{1500\text{s}}$$

$$P = 990 \text{ Watts}$$

### **3.5.2 CÁLCULO DE TRANSFERENCIA ENERGÉTICA EN LA PAREDES DEL EQUIPO - PERDIDAS.**

Para el diseño de este equipo se lo realizo con plancha de acero AISI 304 L con un espesor de 0,7 mm seguido de una pared aislante de fibra de vidrio de 4 cm de espesor. La conductividad térmica del acero inoxidable tipo 304 es de 20 W/(mK) y la conductividad térmica de la lana de vidrio es de 0,03 W/(mK).

Las paredes interiores del equipo tienen dimensiones de (.61\*.62\*1.06) m. Tenemos áreas de las paredes y la puerta de:

- Paredes laterales =.61\*1.06 \* 2 secciones = 0.6466 m<sup>2</sup> \*2 = 1.2932 m<sup>2</sup>
- Pared trasera y puerta =.62\*1.06 \* 2 secciones = 0.6572 m<sup>2</sup> = 1.3144 m<sup>2</sup>
- Techo y base =.62\*.61 \* 2 secciones = 0.3782 m<sup>2</sup> = 0.7564 m<sup>2</sup>

Área total de transferencia de calor

$$At = 3.364 \text{ m}^2$$

Entonces tenemos el coeficiente de transferencia de calor por convección del equipo en un ambiente cerrado con una velocidad de entre 1 y 2 m/s de tabla de propiedades de materiales aislante:

Ecuaciones para coeficientes de transferencia de calor por convección			
Equation	Limits	Condition	Remarks/Sources
$h_c = 8.3V^{0.6}$ $h_c = 3.1$	$0.2 < V < 4.0$ $0 < V < 0.2$	Seated with moving air	Mitchell (1974)
$h_c = 2.7 + 8.7V^{0.67}$ $h_c = 5.1$	$0.15 < V < 1.5$ $0 < V < 0.15$	Reclining with moving air	Colin and Houdas (1967)
$h_c = 8.6V^{0.53}$	$0.5 < V < 2.0$	Walking in still air	$V$ is walking speed (Nishi and Gagge 1970)
$h_c = 5.7(M - 0.8)^{0.39}$	$1.1 < M < 3.0$	Active in still air	Gagge et al. (1976)
$h_c = 6.5V^{0.39}$	$0.5 < V < 2.0$	Walking on treadmill in still air	$V$ is treadmill speed (Nishi and Gagge 1970)
$h_c = 14.8V^{0.69}$ $h_c = 4.0$	$0.15 < V < 1.5$ $0 < V < 0.15$	Standing person in moving air	Developed from data presented by Seppänen et al. (1972)

Note:  $h_c$  in  $W/(m^2 \cdot K)$ ,  $V$  in m/s, and  $M$  in met, where 1 met =  $58.1 W/m^2$ .

Figura 5. Ecuaciones para coeficientes de transferencia de calor por convección. [12]

$$hc_{ext} = 3.1 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

La velocidad del ventilador es tomada de 1 m/s en este equipo teniendo el coeficiente de transferencia de calor por convección de:

$$hc_{int} = 8,3(V)^{0.6}$$

$$hc_{int} = 8.3 \frac{W}{m^2 K}$$

$$\dot{Q} = \frac{\Delta T}{R_{cond} + R_{conv}} = \frac{27}{\frac{L}{KA} + \frac{1}{h * A}} \quad (10)$$

Calculando la pérdida para las paredes del sistema tenemos:

$$Q_{\text{paredes}} = \frac{27}{\frac{0.007}{K_{\text{acero}} * At} + \frac{0.04}{K_{\text{Fibra}} * At} + \frac{1}{h_{\text{ext}} * At} + \frac{1}{h_{\text{int}} * At}}$$

$$Q_{\text{paredes}} = \frac{27}{\frac{0.007}{20 * 3.364} + \frac{0.04}{0.03 * 3.364} + \frac{1}{3.1 * 3.364} + \frac{1}{8.3 * 3.364}}$$

$$Q_{\text{paredes}} = 52 \text{ W}$$

### 3.5.3 CONSUMO ENERGÉTICO TOTAL DEL SISTEMA

$$Q_{\text{entrada}} = Q_{\text{prod}} + Q_{\text{perdidas}} \quad (11)$$

Tabla 7. Consumo energético total

Consumo Energético (calor)	Watts (W)
Producto	990
Perdidas en las paredes	52
<b>Total</b>	<b>1042</b>

### 3.6 CÁLCULO DE TRANSFERENCIA ENERGÉTICA EN EL AIRE.

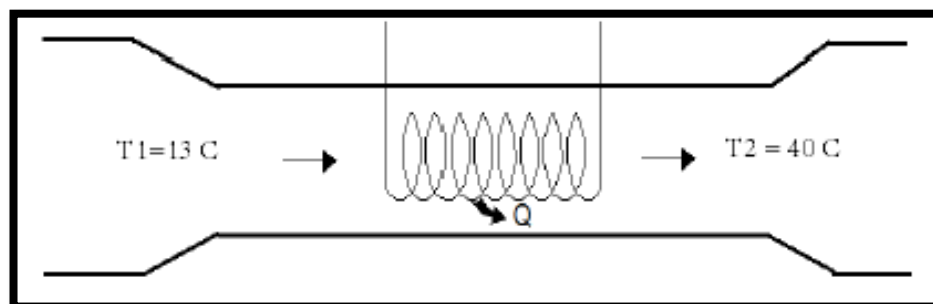


Figura 6. Paso y cambio de aire a través de una resistencia eléctrica.

$$N_a = Q * \rho * Cp * \Delta T$$

La densidad del aire para una temperatura inicial de 13 C a 2577 m.s.n.m es de 0.8889 Kg/m<sup>3</sup>.

El aire recorrerá el sistema por medio de bandejas perforadas cuyo tamaño es la octava parte del área total del espacio de bandejas  $(0.62*0.61) / 8 \text{ m}^2$  y se tomara como velocidad de aire para secado de entre 1 m/s y 2 m/s (recomendado para secado de flores hojas y tallos). Escogiendo 1 m/s para el sistema.

$$Q = V * A \quad (12)$$

$$A = (0.62 * 0.61) / 8$$

$$A = 0.047275 \text{ m}^2$$

$$V = 1 \text{ m/s}$$

$$Q = 1 \text{ m/s} * 0.047275 \text{ m}^2$$

$$Q = 0.047275 \text{ m}^3/\text{s}$$

Donde:

Q: caudal de aire requerido  $(\frac{\text{m}^3}{\text{s}})$

V: velocidad de aire en el sistema  $(\frac{\text{m}}{\text{s}})$

A: Área de flujo de aire en bandejas  $(\text{m}^2)$

Con una velocidad de 1 m/s el caudal calculado es de 0.047275 m<sup>3</sup>/s entonces:

$$N_a = 0.047275 * 0.8889 * 1.005 * 27$$

$$N_a = 1140.28 \text{ W}$$

La potencia para este diseño será igual a la potencia transferida al aire entre una eficiencia del sistema impuesta de 0.75.

$$N_d = \frac{N_a}{e} \quad (13)$$

$$N_d = 1520 \text{ W}$$

### 3.7 CÁLCULO DE CANTIDAD DE AGUA A EVAPORAR

El cálculo de factor de masa de agua se calcula de:

$$R = \frac{100 - H_i}{100 - H_s} \quad (14)$$

Donde:

$H_i$ : Humedad del producto de entrada o inicial. (78%)

$H_s$ : Humedad del producto de salida o final (20%)

$R$ : Rendimiento o factor de H<sub>2</sub>O deshidratado.

$$R = \frac{100 - 78}{100 - 20}$$

$$R = 0.275$$

Y para hallar el peso de salida del producto deshidratado tenemos que:

$$P_s = R * P_e \quad (15)$$

Donde:

$P_s$ : Peso final o de salida de producto. (Kg)

$P_e$ : Peso inicial neto de producto a deshidratar o, peso de entrada. (Kg)

Teniendo en cuenta que nuestra maquina admite una carga máxima de 15.128 kg de producto fresco tenemos:

$$P_s = 0.275 * 15.128 \text{ kg}$$

$$P_s = 4.1602 \text{ Kg}$$

Entonces la cantidad de agua a evaporar es igual a:

$$X_{H_2O} = (15.128 - 4.1602) \text{ Kg}$$



$$X_{H_2O} = 10.9678 \text{ Kg}$$

### 3.8 CÁLCULO DE TIEMPO PARA LA TRANSFERENCIA ENERGETICA AL DESHIDRATAR EL AGUA DEL PRODUCTO

Teniendo en cuenta la cantidad de agua contenida en la alfalfa a la temperatura de trabajo de 40° C podemos determinar la entalpia de trabajo necesaria por unidad de kilogramo de la tabla de agua saturada.

Tabla 8. Propiedades del agua a diferentes presiones. [9]

TABLA A-5												
Agua saturada. Tabla de presiones												
Pres., P kPa	Temp., sat., T <sub>sat</sub> °C	Volumen específico, m <sup>3</sup> /kg		Energía interna, kJ/kg			Entalpia, kJ/kg			Entropía, kJ/kg · K		
		Líquido, sat., v <sub>f</sub>	Vapor, sat., v <sub>g</sub>	Líquido, sat., u <sub>f</sub>	Evaporación, u <sub>g</sub>	Vapor, sat., u <sub>g</sub>	Líquido, sat., h <sub>f</sub>	Evaporación, h <sub>fg</sub>	Vapor, sat., h <sub>g</sub>	Líquido, sat., s <sub>f</sub>	Evaporación, s <sub>fg</sub>	Vapor, sat., s <sub>g</sub>
1.0	6.97	0.001000	129.19	29.302	2355.2	2384.5	29.303	2484.4	2513.7	0.1059	8.8690	8.9749
1.5	13.02	0.001001	87.964	54.686	2338.1	2392.8	54.688	2470.1	2524.7	0.1956	8.6314	8.8270
2.0	17.50	0.001001	66.990	73.431	2325.5	2398.9	73.433	2459.5	2532.9	0.2606	8.4621	8.7227
2.5	21.08	0.001002	54.242	88.422	2315.4	2403.8	88.424	2451.0	2539.4	0.3118	8.3302	8.6421
3.0	24.08	0.001003	45.654	100.98	2306.9	2407.9	100.98	2443.9	2544.8	0.3543	8.2222	8.5765
4.0	28.96	0.001004	34.791	121.39	2293.1	2414.5	121.39	2432.3	2553.7	0.4224	8.0510	8.4734
5.0	32.87	0.001005	28.185	137.75	2282.1	2419.8	137.75	2423.0	2560.7	0.4762	7.9176	8.3938
7.5	40.29	0.001008	19.233	168.74	2261.1	2429.8	168.75	2405.3	2574.0	0.5763	7.6738	8.2501
10	45.81	0.001010	14.670	191.79	2245.4	2437.2	191.81	2392.1	2583.9	0.6492	7.4996	8.1488
15	53.97	0.001014	10.020	225.93	2222.1	2448.0	225.94	2372.3	2598.3	0.7549	7.2522	8.0071
20	60.06	0.001017	7.6481	251.40	2204.6	2456.0	251.42	2357.5	2608.9	0.8320	7.0752	7.9073
25	64.96	0.001020	6.2034	271.93	2190.4	2462.4	271.96	2345.3	2617.5	0.8932	6.9370	7.8302
30	69.09	0.001022	5.2287	289.24	2178.5	2467.7	289.27	2335.3	2624.6	0.9441	6.8234	7.7675
40	75.86	0.001026	3.9933	317.58	2158.8	2476.3	317.62	2318.4	2636.1	1.0261	6.6430	7.6691
50	81.32	0.001030	3.2403	340.49	2142.7	2483.2	340.54	2304.7	2645.2	1.0912	6.5019	7.5931
75	91.76	0.001037	2.2172	384.36	2111.8	2496.1	384.44	2278.0	2662.4	1.2132	6.2426	7.4558
100	99.61	0.001043	1.6941	417.40	2088.2	2505.6	417.51	2257.5	2675.0	1.3028	6.0562	7.3589
101.325	99.97	0.001043	1.6734	418.95	2087.0	2506.0	419.06	2256.5	2675.6	1.3069	6.0476	7.3545
125	105.97	0.001048	1.3750	444.23	2068.8	2513.0	444.36	2240.6	2684.9	1.3741	5.9100	7.2841
150	111.35	0.001053	1.1594	466.97	2052.3	2519.2	467.13	2226.0	2693.1	1.4337	5.7894	7.2231
175	116.04	0.001057	1.0037	486.82	2037.7	2524.5	487.01	2213.1	2700.2	1.4850	5.6865	7.1716
200	120.21	0.001061	0.88578	504.50	2024.6	2529.1	504.71	2201.6	2706.3	1.5302	5.5968	7.1270
225	123.97	0.001064	0.79329	520.47	2012.7	2533.2	520.71	2191.0	2711.7	1.5706	5.5171	7.0877
250	127.41	0.001067	0.71873	535.08	2001.8	2536.8	535.35	2181.2	2716.5	1.6072	5.4453	7.0525
275	130.58	0.001070	0.65732	548.57	1991.6	2540.1	548.86	2172.0	2720.9	1.6408	5.3800	7.0207
300	133.52	0.001073	0.60582	561.11	1982.1	2543.2	561.43	2163.5	2724.9	1.6717	5.3200	6.9917
325	136.27	0.001076	0.56199	572.84	1973.1	2545.9	573.19	2155.4	2728.6	1.7005	5.2645	6.9650
350	138.86	0.001079	0.52422	583.89	1964.6	2548.5	584.26	2147.7	2732.0	1.7274	5.2128	6.9402
375	141.30	0.001081	0.49133	594.32	1956.6	2550.9	594.73	2140.4	2735.1	1.7526	5.1645	6.9171
400	143.61	0.001084	0.46242	604.22	1948.9	2553.1	604.66	2133.4	2738.1	1.7765	5.1191	6.8955
450	147.90	0.001088	0.41392	622.65	1934.5	2557.1	623.14	2120.3	2743.4	1.8205	5.0356	6.8561
500	151.83	0.001093	0.37483	639.54	1921.2	2560.7	640.09	2108.0	2748.1	1.8604	4.9603	6.8207
550	155.46	0.001097	0.34261	655.16	1908.8	2563.9	655.77	2096.6	2752.4	1.8970	4.8916	6.7886
600	158.83	0.001101	0.31560	669.72	1897.1	2566.8	670.38	2085.8	2756.2	1.9308	4.8285	6.7593
650	161.98	0.001104	0.29260	683.37	1886.1	2569.4	684.08	2075.5	2759.6	1.9623	4.7699	6.7322
700	164.95	0.001108	0.27278	696.23	1875.6	2571.8	697.00	2065.8	2762.8	1.9918	4.7153	6.7071
750	167.75	0.001111	0.25552	708.40	1865.6	2574.0	709.24	2056.4	2765.7	2.0195	4.6642	6.6837

$$Q_{H_2O} = 10.9678 \text{ Kg}_{H_2O} * 2278 \text{ KJ/Kg}$$

$$Q_{H_2O} = 26 380.84 \text{ KJ}$$

El calor requerido para eliminar el agua del producto en un periodo de tiempo en horas es igual a:

$$P = \frac{Q_{H2O}}{Tiempo} \quad (16)$$

$$1042 W = \frac{26380.84 KJ}{Tiempo}$$

$$Tiempo = \frac{26380.84 KJ}{1042 W}$$

$$Tiempo = 25317.5 s$$

$$Tiempo = 25317.5 s \frac{1h}{3600s}$$

$$Tiempo = 7.03 horas$$

Añadiendo el tiempo de calentamiento del producto de 25 minutos tenemos como tiempo total de deshidratado de alfalfa de 80% de humedad a 20%. Dando como resultado un tiempo de 7 horas y 27 minutos.

### 3.9 RESISTENCIA ELÉCTRICA

Este sistema es el que permitirá calentar el aire en el ambiente cerrado de deshidratación de la alfalfa conservando la temperatura y permitiendo la deshidratación. En este tipo de sistemas la humedad específica de aire se mantiene constante por la ley de conservación de masa en donde la cantidad de aire que entra al ducto es igual a la salida.

$$R = \frac{V}{I} \quad (17)$$

Donde:

R: Resistencia eléctrica (Ohmio) ( $\Omega$ )

V: Variación del potencial (Voltios) (V)

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

$$P = V \cdot I \quad (18)$$

$$1520 \text{ W} = 110 \text{ V} \cdot I$$

$$I = 13.82 \text{ A}$$

$$I = \frac{V}{R}$$

$$R = \frac{V}{I}$$

$$R = \frac{110}{13.82}$$

$$R = 8 \Omega$$

Con estos datos el escenario más factible es un circuito en paralelo ajustando la intensidad del circuito y su resistencia en los voltajes que se trabaja.

### 3.10 CAUDAL DE AIRE DEL SISTEMA

El caudal de aire del sistema está dado por el flujo de calor generado y el flujo de aire en el sistema completo y sabiendo que es un sistema constante, entonces:

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

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

$$\dot{m}_a = \frac{1042 \frac{\text{J}}{\text{s}}}{1005 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{K}} \cdot (27 \text{ K})}$$

$$\dot{m}_a = 0.0420 \frac{kg}{s}$$

Donde:

Q: Calor generado (kW)

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

Cp: Calor específico a presión constante del aire. (1.005 kJ/ kg K)

T2: Temperatura del aire a entrada. (286.15 K)

T1: Temperatura del aire a salida. (313.15K)

Y queriendo tener el flujo volumétrico lo despejamos de la ecuación:

$$\rho = \frac{\dot{m}}{\dot{V}} \quad (19)$$

Donde:

m: flujo masico (Kg/h)

V: flujo volumétrico (m<sup>3</sup>/h)

$\rho$ : Densidad del aire a 2577 m.s.n.m.= 0.8889  $\frac{kg}{m^3}$

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}}{\rho}$$

$$\dot{V} = \frac{0.0804 \frac{kg}{s}}{0.8889 \frac{kg}{m^3}}$$

$$\dot{V} = 0.0472 \frac{m^3}{s}$$

$$\dot{V} = 0.0472 \frac{m^3}{s} \frac{3600s}{1hora}$$

$$\dot{V} = 170.2 \frac{m^3}{h}$$

ó 100 CFM

### 3.11 SELECCIÓN DE VENTILADOR

Con el caudal del equipo y la necesidad del proceso de funcionar por varias horas se ha optado por seleccionar un ventilador de computador que puede funcionar el tiempo necesario de trabajo sin complicación y brinda el caudal requerido para el proceso en stock nacional de la marca “Sunon” y la serie “SF12025AT P/N 2122HSL”.

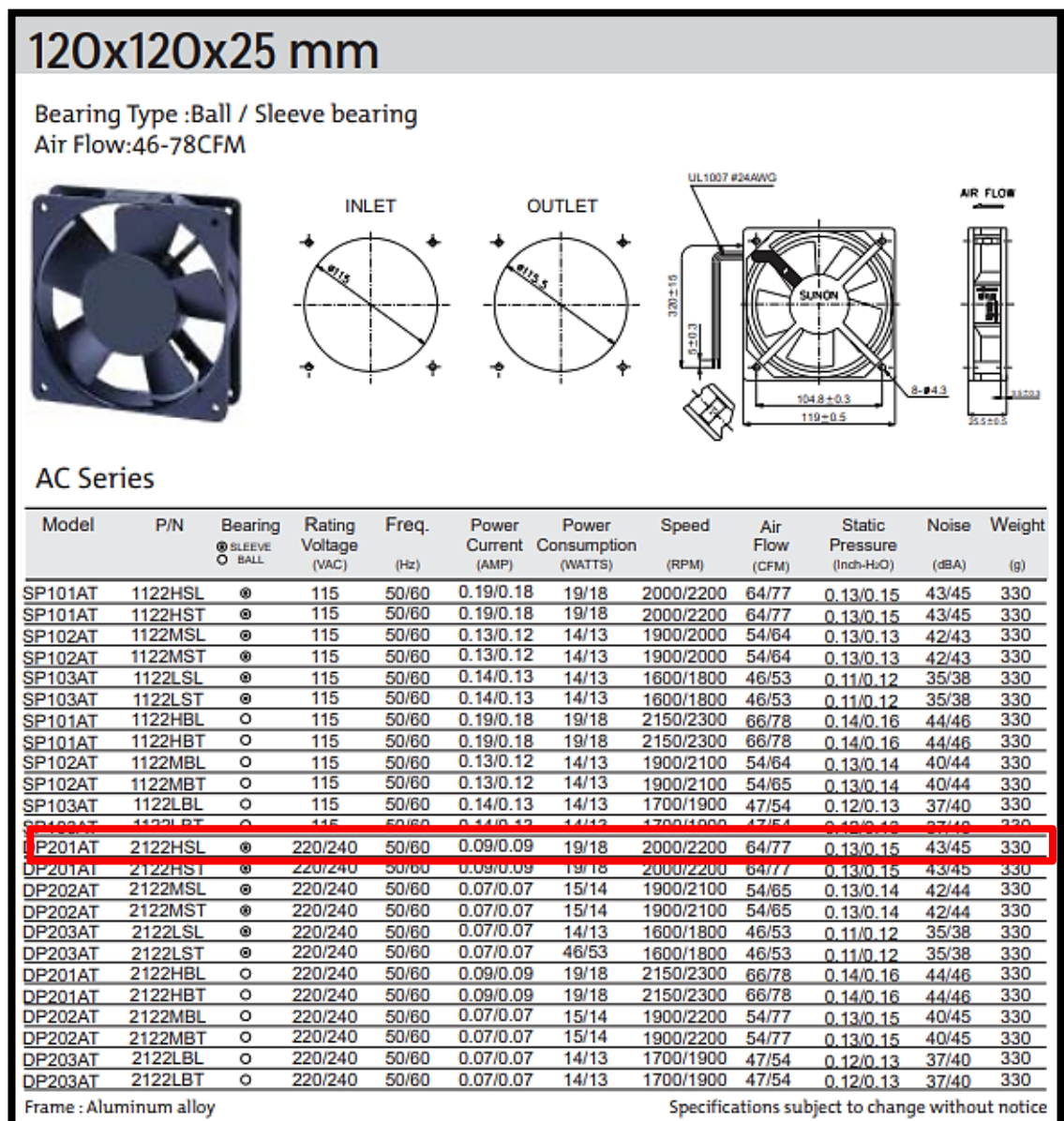


Figura 7. Datasheet del ventilador. [13]



Figura 8. Ventilador Sunon.

Información del producto			
Tensión Nominal AC:	220V a 240V	Flujo de Aire - CFM:	105CFM
Tensión de Alimentación V AC:	230V	Caudal de Aire - Métrico:	2.97m³/min
Tipo de Marco del Ventilador:	Cuadrado	Especificación de Ruido:	48dBA
Tipo de Tensión:	AC	Potencia Nominal:	20W
Tensión de Alimentación:	230VAC	Velocidad Nominal:	2550rpm
Tamaño del Marco del Ventilador:	120mm	Tipo de Conexión de Alimentación:	2 Cables Conductores
Profundidad Externa:	38mm	Corriente Nominal:	125mA
Tipo de Rodamiento:	Cojinete de Casquillo	Flujo de Aire - m3/min:	2.97m³/min
Rango de Flujo - Imperial:	105CFM	Gama de Producto:	DP

Figura 9. Características Serie SF12025AT P/N 2122HSL. [14]

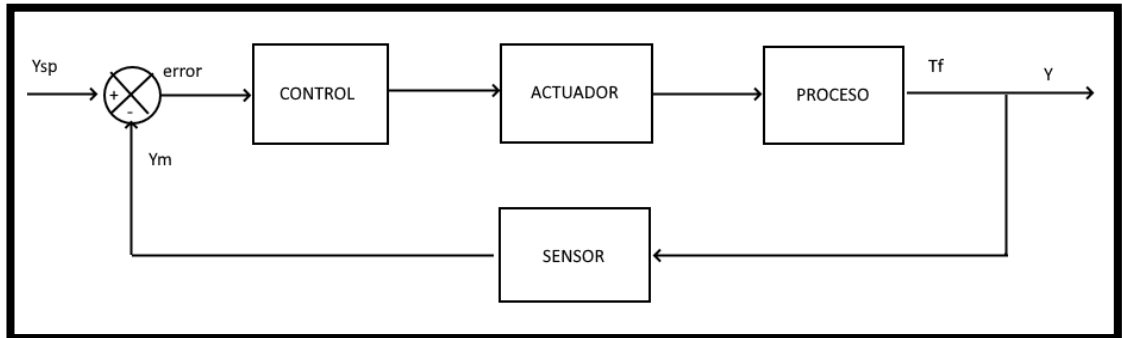
### 3.12 SELECCIÓN DE RESISTENCIA

Para la selección de este elemento se ha elegido según su potencia requerida teniendo como dato calculado un valor de 1500W.

### 3.13 CIRCUITO ELECTRÓNICO DE CONTROL DE TEMPERATURA

El control de temperatura se realiza mediante un sistema de lazo cerrado ON-OFF como el representado a continuación, en donde la variable Y es la temperatura, la cual es medida y transformada a voltaje en el bloque sensor, en el bloque de control mediante una medición del error envía una señal al bloque actuador para activar o desactivar el sistema mediante un dispositivo que puede ser un relé, en el bloque de

proceso mediante una niquelina se cambia las condiciones o variables del sistema que en este caso es la temperatura de funcionamiento de la cámara de secado.



*Figura 10. Diagrama en bloques del circuito de control.*

A continuación en la figura se representa el circuito de lazo cerrado llamado también todo o nada, en el circuito se puede observar en el sistema calefactor y el sensor de temperatura (1), un sistema amplificador o seguidor de voltaje (2), un sistema amplificador inversor (3), un potenciómetro (4), de donde sale un voltaje amplificado hacia el comparador (6), según el valor de voltaje que representa la temperatura en la cámara de secado (5) envía una señal al relé (7) y conecta o desconecta la niquelina calefactora a corriente alterna.

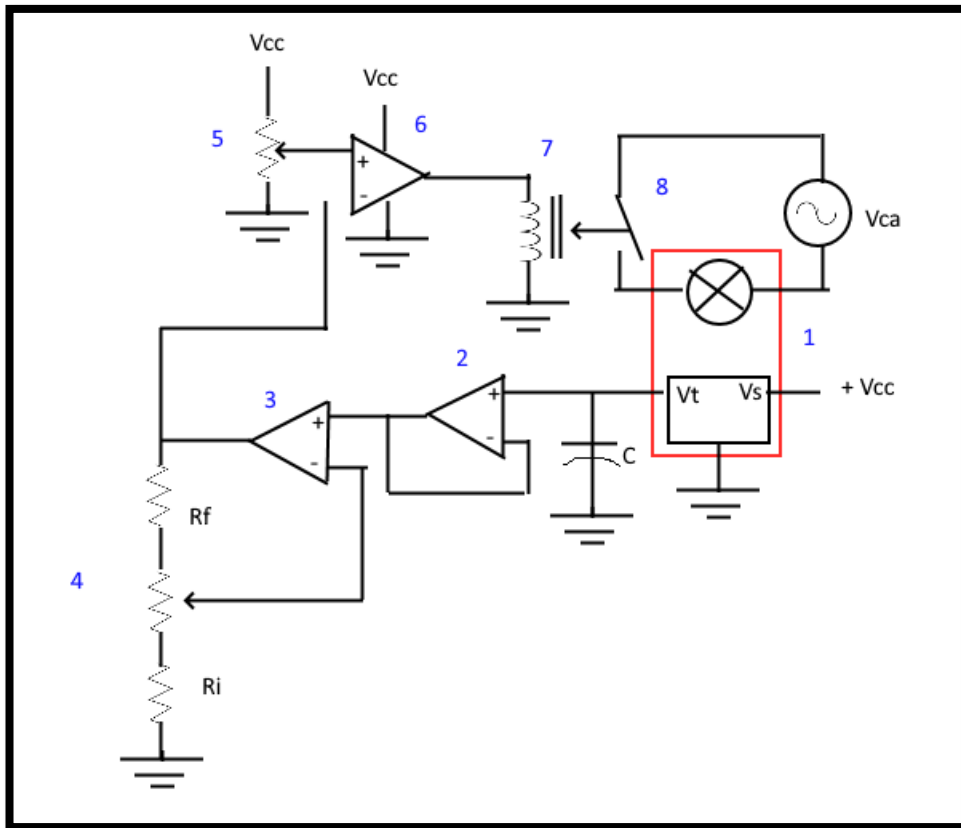
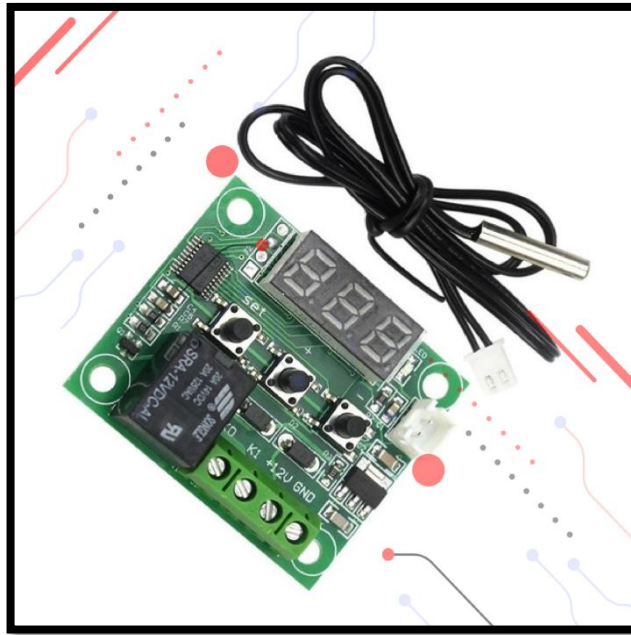


Figura 11. Circuito eléctrico de control de temperatura.

Con la variedad de elementos, dispositivos, circuitos y aparatos electrónicos que existen en la actualidad no es difícil el elegir e incorporar un control de temperatura que se adapte a las condiciones de trabajo elegidas para el equipo de deshidratación, en este proyecto se ha escogido un circuito básico con control de señal de temperatura y se ha calibrado el sistema para que el calor de la cámara de deshidratado no exceda el valor de temperatura de deshidratación.

Para el proyecto se ha seleccionado una placa de controlador electrónico para termostato de incubadora de 12V

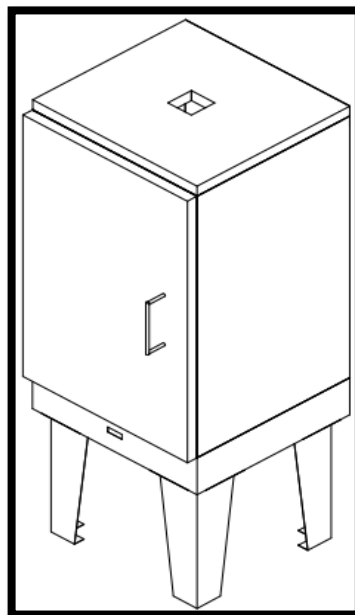




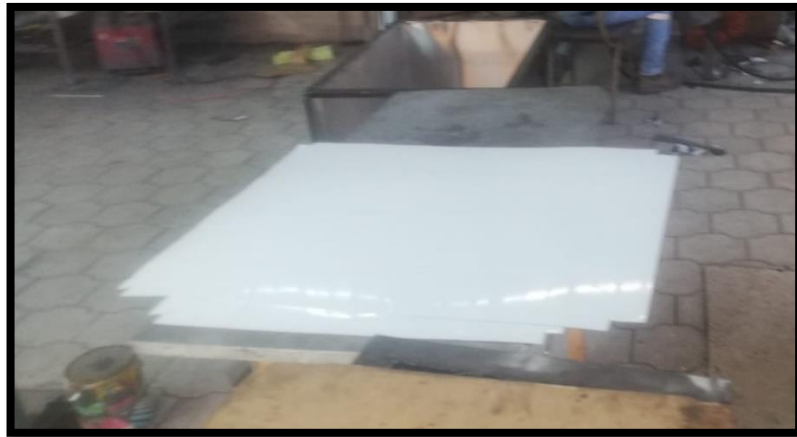
*Figura 12. Termostato controlador de temperatura incubadora 12V. [15]*

### **3.14 CONSTRUCCIÓN DE EQUIPO**

Para el proceso de construcción se ha elegido planchas metálicas de acero inoxidable AISI 304 L de 0.7 mm para la estructura y las paredes del equipo según el CAD previamente diseñado.

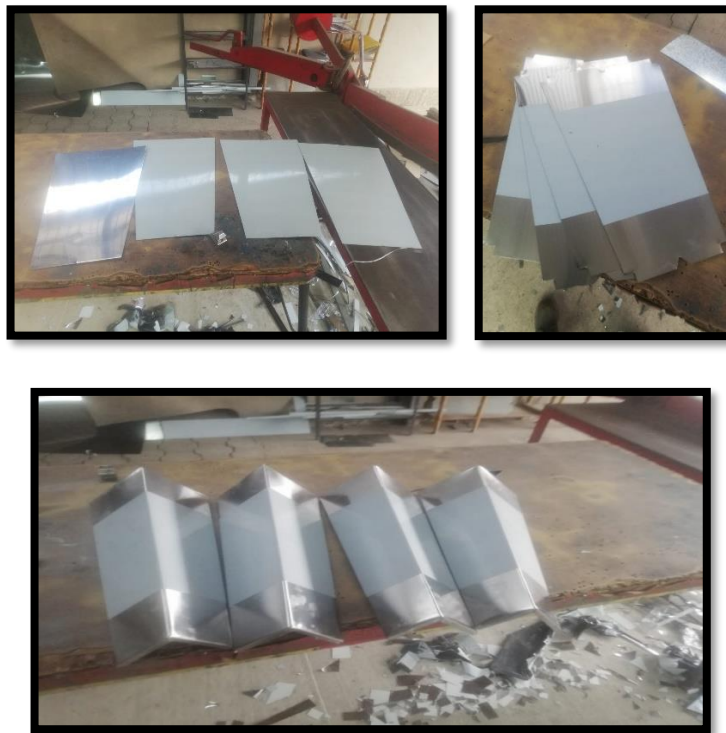


*Figura 13. Diseño CAD*



*Figura 14. Planchas de acero AISI 304 L 0.7 mm.*

Se realizó el corte de la laminas acorde los planos para el armado de las patas.



*Figura 15. (15-1, 15-2, 15-3) Armado de patas.*

Para las paredes la estructura y las patas se utilizó una dobladora de acero.



*Figura 16. Dobladora de acero.*

Resultando terminadas las estructuras de paredes y puerta.



*Figura 17. (17-1, 17-2), Paredes y estructura del equipo.*

Teniendo unidos todos los elementos de la estructura se procede a forrar el equipo con aislante térmico para evitar pérdidas de calor con el exterior en este caso lana de vidrio.



*Figura 18. Lana de vidrio.*

Con todos los elementos listos se procede al armado del equipo completo



*Figura 19. Equipo ensamblado.*

### **3.15 RESULTADOS DE FUNCIONAMIENTO**

Para los resultados de funcionamiento correcto del proceso de deshidratación se realizó varios ensayos los cuales arrojaron los siguientes datos representados de la siguiente manera.

Se colocaron diferentes masas de alfalfa en las bandejas que fueron sometidas al proceso de deshidratación, en este caso, por cada hora, se tomó el peso de cada bandeja reflejando el peso de masa perdida de H<sub>2</sub>O evaporada por el proceso.



*Figura 20. Entrada de producto con humedad relativa del 80%*

Tabla 9. Valores de 7 ensayos en gr.

No	Tiempo (horas)	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	Promedio
1	0	875,2	725,2	690,2	650,2	260,1	450,1	225,1	553,7
2	1	875	725	690	650	260	450	225	553,6
3	2	750	675	660	600	250	437	212	512,0
4	3	650	625	600	530	230	390	175	457,1
5	4	600	575	575	490	200	325	150	416,4
6	5	550	525	525	450	175	275	135	376,4
7	6	450	425	425	400	140	240	125	315,0
8	7	400	400	375	340	125	225	110	282,1
9	8	290	375	350	280	100	160	90	235,0
10	9	275	300	300	250	75	150	75	203,6

Donde:

M1: Dato 1 - Masa en la bandeja número 1.

M2: Dato 1 - Masa en la bandeja número 2.

M3: Dato 1 - Masa en la bandeja número 3.

M4: Dato 1 - Masa en la bandeja número 4.

M5: Dato 1 - Masa en la bandeja número 5.

M6: Dato 1 - Masa en la bandeja número 6.

M7: Dato 1 - Masa en la bandeja número 7.

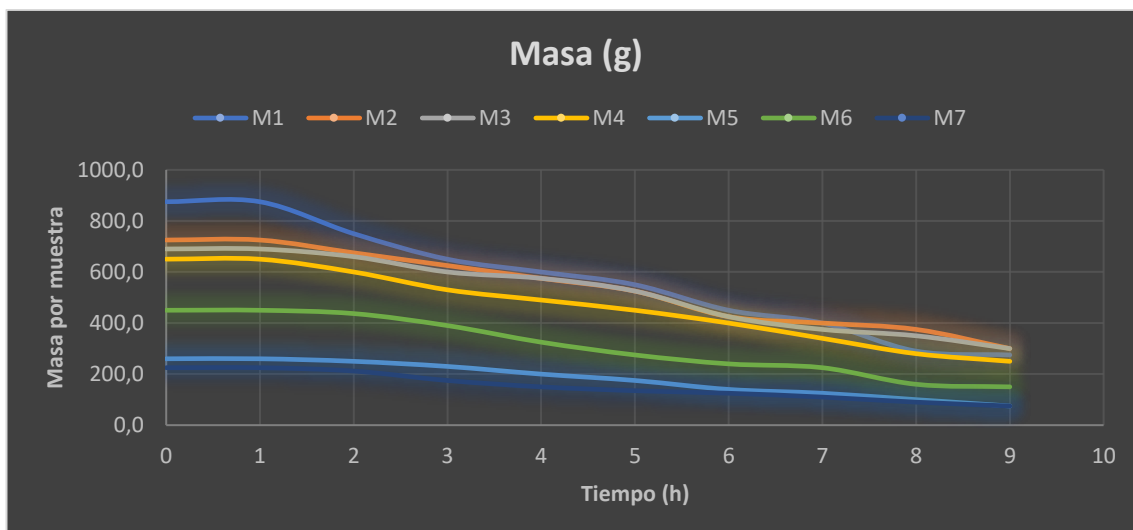


Figura 21. Curvas de secado de masa de agua por cada hora.

Con los datos obtenidos se pudo determinar el porcentaje de humedad removido de la alfalfa midiendo el peso perdido por hora de trabajo en cada bandeja.

Tabla 10. Valores de humedad pérdida en % por cada hora.

No	T (h)	M11	M22	M32	M42	M52	M62	M72	Promedio2
1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	2	14,3	6,9	4,4	7,7	3,9	2,9	5,8	7,5
4	3	25,7	13,8	13,1	18,5	11,6	13,4	22,2	17,4
5	4	31,4	20,7	16,7	24,6	23,1	27,8	33,4	24,8
6	5	37,2	27,6	23,9	30,8	32,7	38,9	40,0	32,0
7	6	48,6	41,4	38,4	38,5	46,2	46,7	44,5	43,1
8	7	54,3	44,8	45,7	47,7	51,9	50,0	51,1	49,0
9	8	66,9	48,3	49,3	56,9	61,5	64,5	60,0	57,6
10	9	68,6	58,6	56,5	61,5	71,2	66,7	66,7	63,2

Donde:

M11: Dato 2 - Pérdida de masa de H<sub>2</sub>O en % bandeja 1

M22: Dato 2 - Pérdida de masa de H<sub>2</sub>O en % bandeja 2

M32: Dato 2 - Pérdida de masa de H<sub>2</sub>O en % bandeja 3

M42: Dato 2 - Pérdida de masa de H2O en % bandeja 4

M52: Dato 2 - Pérdida de masa de H2O en % bandeja 5

M62: Dato 2 - Pérdida de masa de H2O en % bandeja 6

M72: Dato 2 - Pérdida de masa de H2O en % bandeja 7

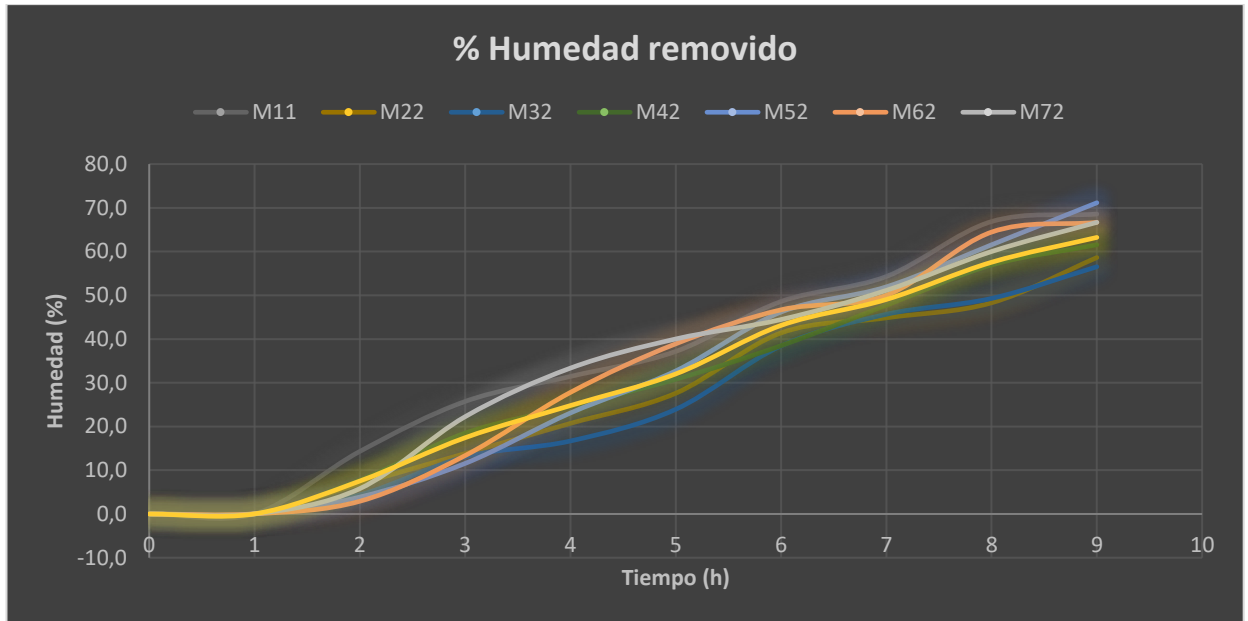


Figura 22. Porcentaje de humedad removido cada hora



Tabla 11. Valores promedios de las humedades

Tiempo (h)	Promedio2
0	0,0
1	0,0
2	7,5
3	17,4
4	24,8
5	32,0
6	43,1
7	49,0
8	57,6
9	63,2

Con un tiempo total de trabajo calculado de 7 horas y 30 minutos y con los valores de los resultados de funcionamiento se puede determinar que han removido aproximadamente 55% de peso en Humedad de H<sub>2</sub>O lo que refleja que de un valor inicial de 78% de agua en la alfalfa menos los 55% retirados en el proceso de deshidratación nos da como resultado un producto cuya humedad relativa final de salida de 23% siendo sumamente similar y análogo al 20% deseado mediante cálculos.

## **CAPITULO 4**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **4.1 CONCLUSIONES**

- Se pudo determinar los parámetros de diseño del sistema, es decir se llegó a determinar que, para deshidratar 15,128 Kg de alfalfa, el volumen del deshidratador es de 0,15128 m<sup>3</sup>, la temperatura de deshidratación es de 40 °C, la humedad inicial del producto fue de 80,81 %, y la humedad final de 20 %.
- En función de los parámetros mencionados se pudo diseñar el deshidratador el cual tiene, como ya se mencionó, un volumen de 0,15128 m<sup>3</sup>.
- Para la construcción del sistema se requería de acero 304L ya que iba a estar en contacto con productos alimenticio, se integró un sistema de generación de temperatura eléctrico y control de temperatura el cual se puede calibrar de acuerdo a los requerimientos.
- Para la selección de los elementos auxiliares se tomó en cuenta la disponibilidad en el mercado del material, niquelinas y sistema de control de temperatura.
- Durante las pruebas de funcionamiento se determinó que se debe dar un precalentamiento desde la temperatura ambiente hasta la temperatura de deshidratación de 40 °C, se determinó además que para bajar la humedad relativa de 80,81 %, hasta la humedad final de 20 %. Se requiere 7.56 h.
- En la elaboración del manual de mantenimiento de determino que los aspectos a tener en cuenta son la limpieza del deshidratador, verificar que exista una adecuada instalación eléctrica y la correcta calibración del sistema de control de temperatura.

#### **4.2 RECOMENDACIONES**

- Realizar un estudio para determinar la posibilidad de deshidratar otro tipo de productos.
- Analizar la posibilidad de diseñar sistemas con el propósito de industrializar el proceso.

- Se recomienda realizar un estudio para ver la posibilidad de mejorar la eficiencia del sistema, por lo tanto, disminuir el tiempo de deshidratación y costos.
- Determinar la posibilidad de usar otros sistemas tanto para la generación de calor como para el sistema de control de temperatura para industrializar el proceso.
- Tener en cuenta que se necesita controlar la temperatura de trabajo ya que al tratar de construir un sistema constante sin control de temperatura no arrojará datos similares ya que no es igual ejecutar el proceso de la máquina a las 7 a.m. con 15 °C ambiente a prender la máquina en el medio día donde la temperatura aumenta hasta un máximo de 22°C en la ciudad esto puede provocar un resultado diferente en un mismo tiempo de trabajo.
- Tener en cuenta las recomendaciones hechas en la guía de mantenimiento con el objetivo de alargar la vida útil del sistema.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] B. L. Remache Reinoso, «DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE DESHIDRATADOR DE FLORES Y HIERBAS AROMÁTICAS, APLICANDO UN CONTROL DE TEMPERATURA Y HUMEDAD,» Universidad Nacional de Loja, Loja, 2020.
- [2] C. A. Murillo Arias, «DISEÑO DE UN DESHIDRATADOR DE CONVECCION PARA FRUTAS Y VEGETALES,» Universidad Autonoma de Occidente, Santiago de Cali, 2007.
- [3] P. A. Llumiquinga Moromenacho y B. S. Suquillo Pulupa, «DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE DESHIDRATADOR DE FRUTAS DE CAPACIDAD DE 12 KG. CON CIRCULACIÓN DE AIRE FORZADO UTILIZANDO RESISTENCIAS ELÉCTRICAS.,» Universidad Politecnica Salesiana, Quito, 2015.
- [4] E. Zubiri y R. M. Canals, «Herbario de la universidad publica de Navarra,» 17 febrero 2003. [En línea]. Available: [https://www.unavarra.es/herbario/pratenses/htm/Medi\\_sati\\_p.htm](https://www.unavarra.es/herbario/pratenses/htm/Medi_sati_p.htm). [Último acceso: 12 Junio 2022].
- [5] A. Alfalfas, «Satanso.com,» Anso, 18 Enero 2012. [En línea]. Available: [http://www.satanso.com/deshidratacion\\_alfalfa.php/es](http://www.satanso.com/deshidratacion_alfalfa.php/es). [Último acceso: 10 Junio 2022].
- [6] N. t. E. obligatoria, «Requisitos de alfalfa deshidratada». Ecuador Patente Inen 1 645, 20 Mayo 1988.

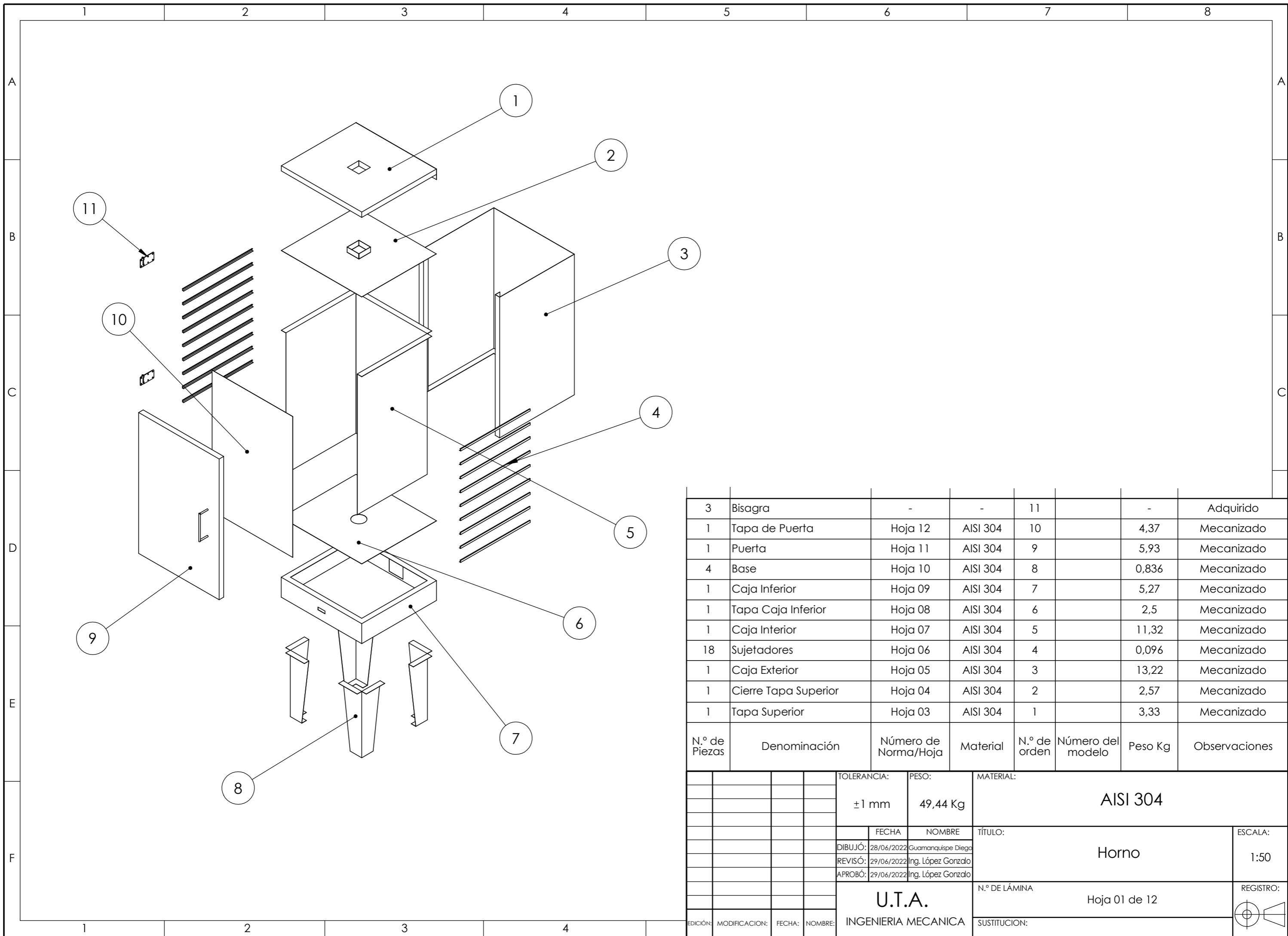
- [7] A. S. Cabreo, «Interempresas.net,» 30 Abril 2021. [En línea]. Available: <https://www.interempresas.net/Ganadero/Articulos/349860-alfalfa-deshidratada-supone-disminucion-de-perdidas-de-valor-nutritivo-del-forraje.html>. [Último acceso: 14 Junio 2022].
- [8] L. L. Macas Blacio y P. P. Palacio Jiménez, «Diseño y construcción de un Deshidratador de plantas medicinales,» Universidad tecnologica Equinoccial, Santo Domingo, 2012.
- [9] Y. A. Cengel, «Presiones atmosféricas respecto a la altura en metros sobre el nivel del mar,» de *Transferencia de calor y masa, 4ta Edición*, México, McGraw Hill, 2004, p. 36.
- [10] RRNN, «Red Hidrometeorológica de tungurahua,» Honorable gobierno provincial de tungurahua, Ambato, 2020.
- [11] Cengel y Ghajar, *Propiedades de los alimentos comunes*, México: McGraw Hill, 2011.
- [12] ASHRAE, «Ecuaciones para coeficientes de transferencia por convección,» HVAC&R, Georgia, 2017.
- [13] S. A. a. Fan, «docs.rs,» 15 Marzo 2004. [En línea]. Available: <https://docs.rs-online.com/d608/0900766b8078a107.pdf>.
- [14] Farnell, «DP201A/2122HSL.GN,» 2 Julio 2022. [En línea]. Available: <https://es.farnell.com/sunon/dp201a-2123hsl-gn/vent-120x120x38mm-230vca-85cfm/dp/9606254>.

[15] Electronics, «Electronics Tienda de robotica,» Electronics Ec, [En línea].  
Available: <https://www.electronicsecuador.com/producto/termostato-controlador-temperatura-incubadora-12v/>. [Último acceso: 28 Junio 2022].

## **ANEXOS**

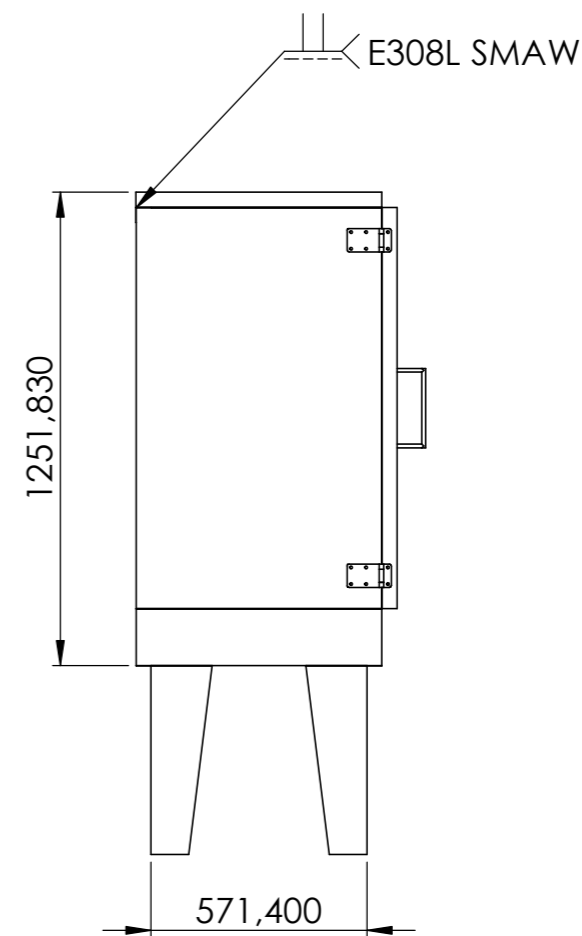
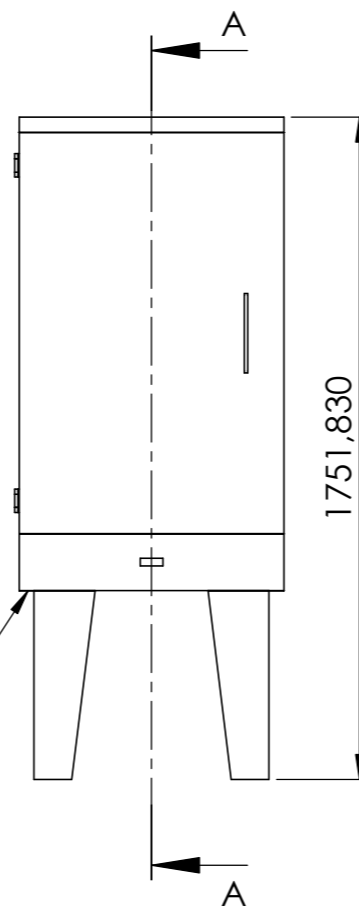
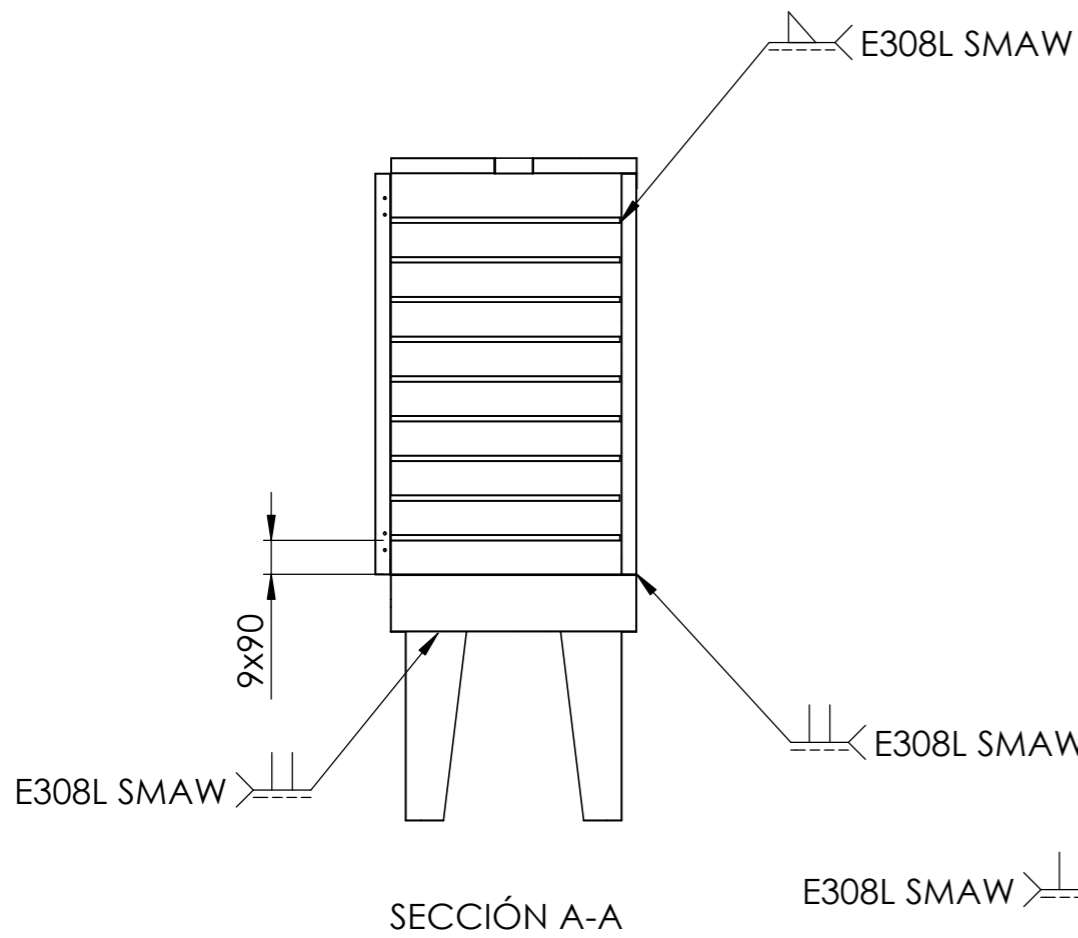
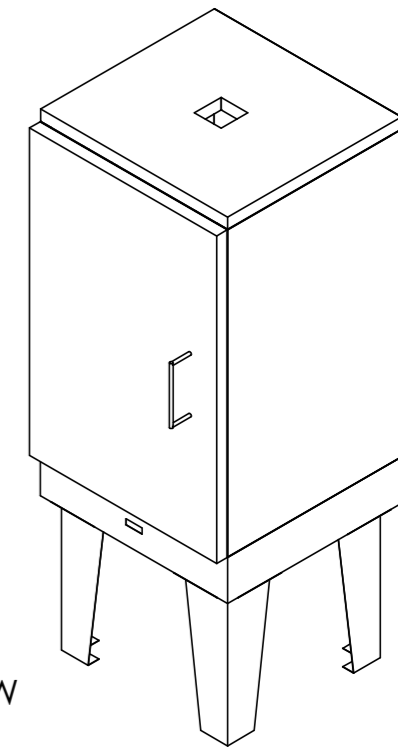
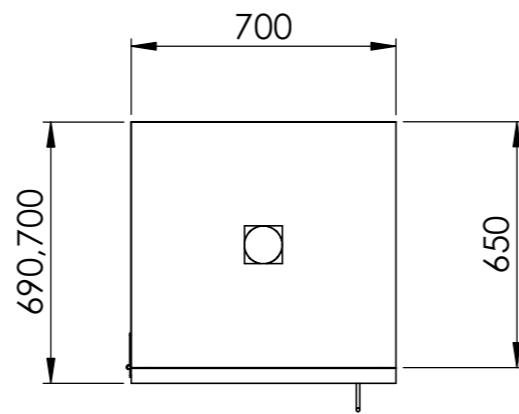
Anexo 1: PLANOS DE LA MÁQUINA

Anexo 2: MANUAL DE FUNCIONAMIENTO Y MANTENIMIENTO



3	Bisagra	-	-	11	-	Adquirido	
1	Tapa de Puerta	Hoja 12	AISI 304	10	4,37	Mecanizado	
1	Puerta	Hoja 11	AISI 304	9	5,93	Mecanizado	
4	Base	Hoja 10	AISI 304	8	0,836	Mecanizado	
1	Caja Inferior	Hoja 09	AISI 304	7	5,27	Mecanizado	
1	Tapa Caja Inferior	Hoja 08	AISI 304	6	2,5	Mecanizado	
1	Caja Interior	Hoja 07	AISI 304	5	11,32	Mecanizado	
18	Sujetadores	Hoja 06	AISI 304	4	0,096	Mecanizado	
1	Caja Exterior	Hoja 05	AISI 304	3	13,22	Mecanizado	
1	Cierre Tapa Superior	Hoja 04	AISI 304	2	2,57	Mecanizado	
1	Tapa Superior	Hoja 03	AISI 304	1	3,33	Mecanizado	
N.º de Piezas	Denominación	Número de Norma/Hoja	Material	N.º de orden	Número del modelo	Peso Kg	Observaciones
			TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:		
			±1 mm	49,44 Kg	AISI 304		
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:	
				DIBUJÓ: 28/06/2022	Guamanquispe Diego	Horno	
				REVISÓ: 29/06/2022	Ing. López Gonzalo	ESCALA:	
				APROBÓ: 29/06/2022	Ing. López Gonzalo	1:50	
				U.T.A.		N.º DE LÁMINA	REGISTRO:
				INGENIERIA MECANICA		Hoja 01 de 12	
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:	SUSTITUCION:			





				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:		
				±1 mm	49,44 Kg	AISI 304		
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:		ESCALA:
				DIBUJÓ: 28/06/2022	Guamanquispe Diego	Horno		1:20
				REVISÓ: 29/06/2022	Ing. López Gonzalo			
				APROBÓ: 29/06/2022	Ing. López Gonzalo			
				U.T.A.		N.º DE LÁMINA		REGISTRO:
				INGENIERIA MECANICA		Hoja 02 de 12		
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:	SUSTITUCION:				

1

2

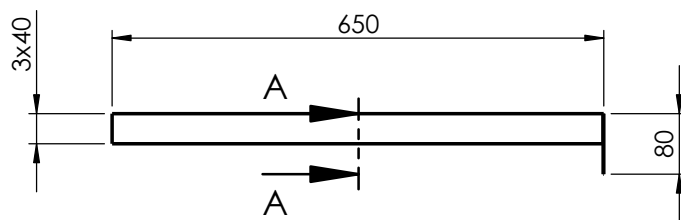
3

4

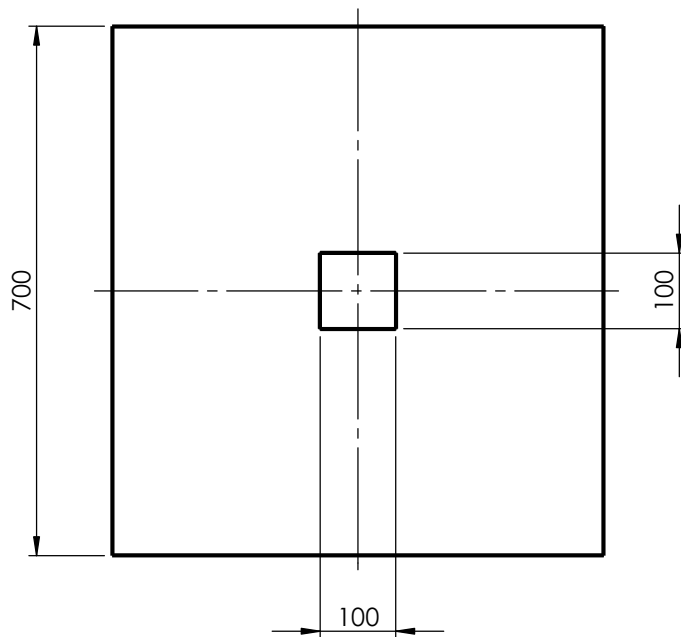
A

N7

B



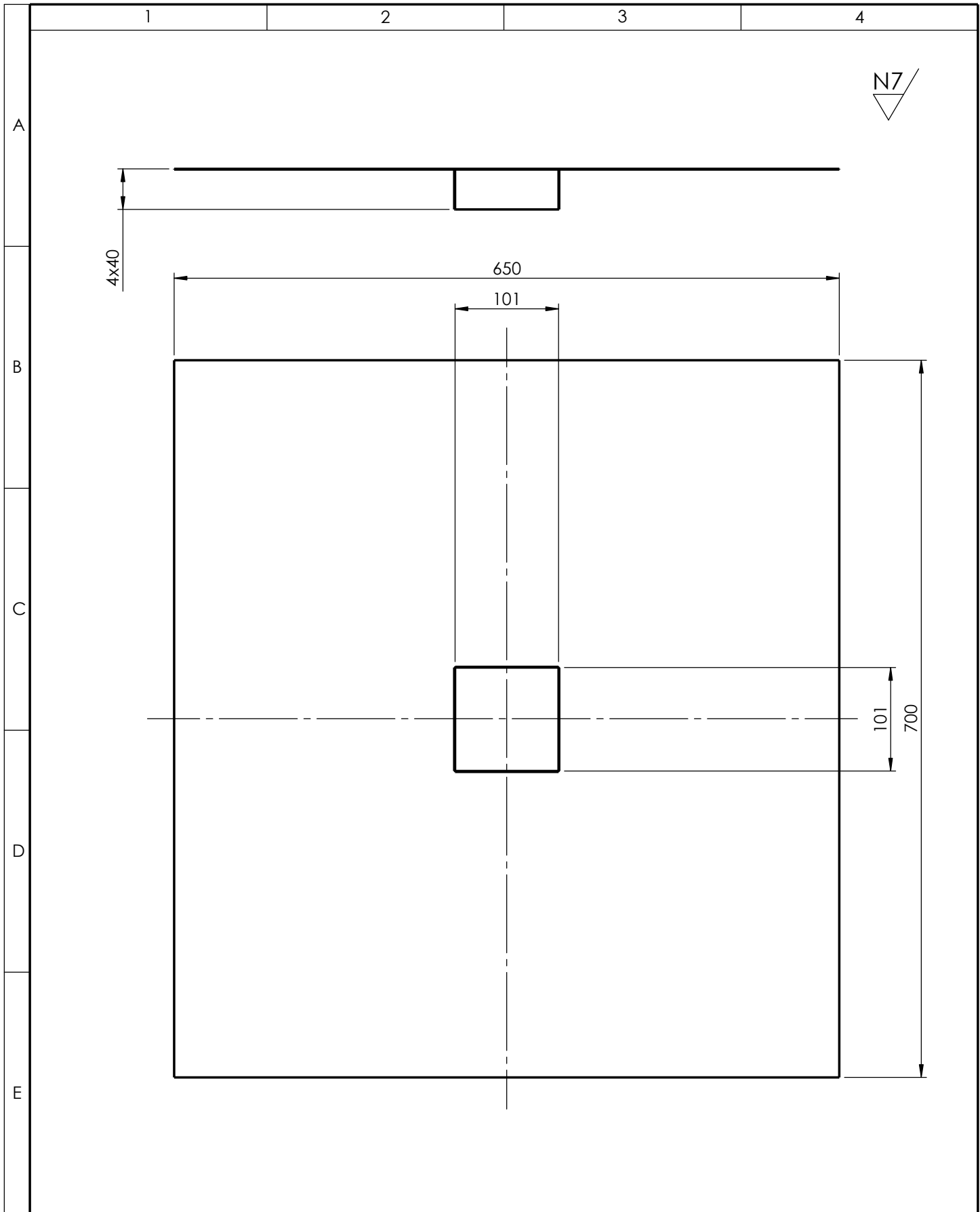
C



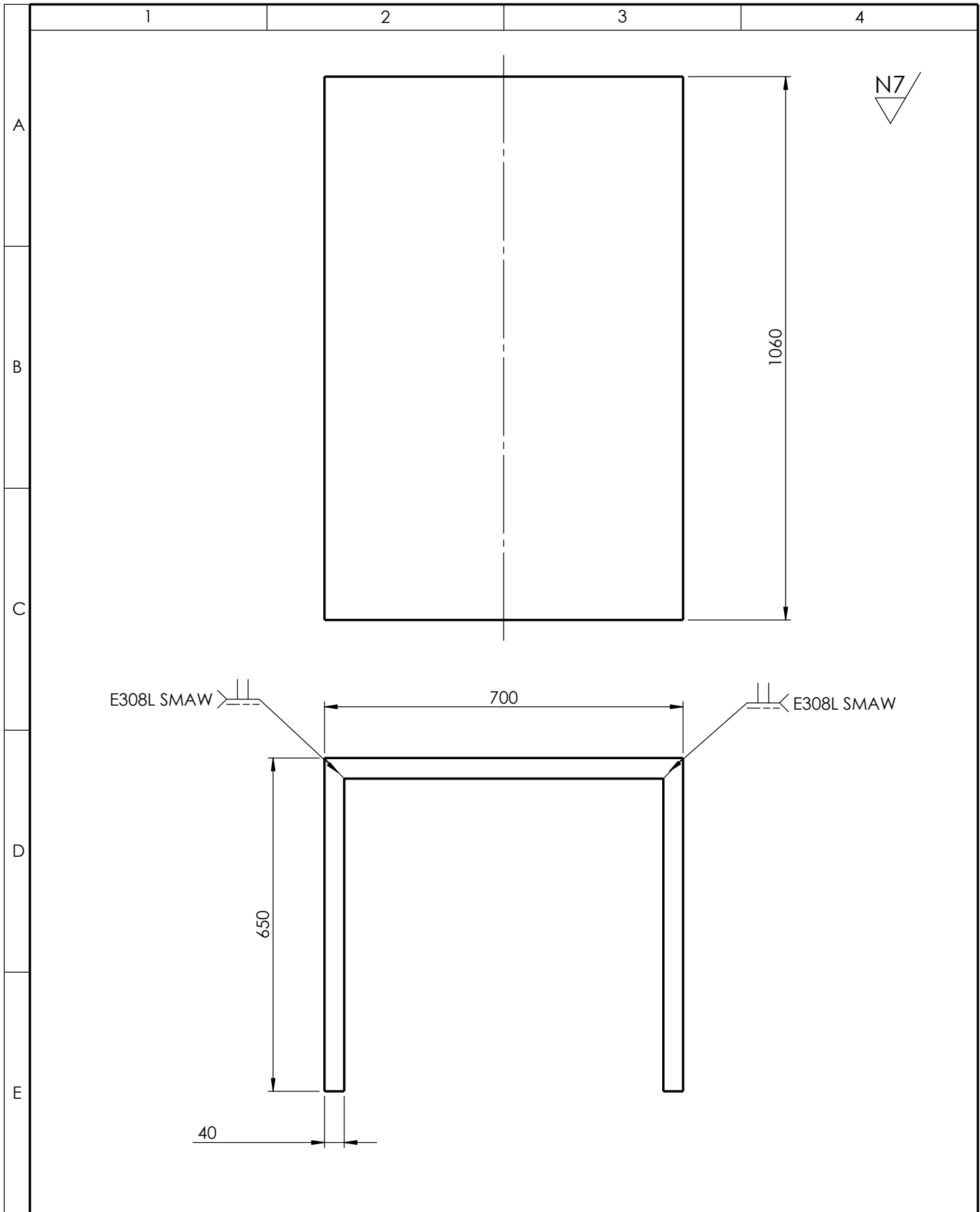
D

E

				Tolerancia: ±1 mm	Peso: 3,33 kg	Material: <b>AISI 304</b>	
				Fecha:	Nombre:	Denominación: <b>Tapa Superior</b>	Escala: 1:10
				Dibujó: 28/06/2022	Guamanquispe Diego		
				Revisó: 29/06/2022	Ing. López Gonzalo		
				Aprobó: 29/06/2022	Ing. López Gonzalo		
				<b>U.T.A.</b>		Número de Lámina: Hoja 03 de 12	Registro:
Edición:	Modificación:	Fecha:	Nombre:	INGENIERIA MECÁNICA		(Sustitución)	



				Tolerancia: ±1 mm	Peso: 2,57 kg	Material: <b>AISI 304</b>	
				Fecha:	Nombre:	Denominación:	Escala:
				Dibujó: 28/06/2022	Guamanquispe Diego	<b>Cierre Tapa Superior</b>	1:10
				Revisó: 29/06/2022	Ing. López Gonzalo		
				Aprobó: 29/06/2022	Ing. López Gonzalo		
				<b>U.T.A.</b>		Número de Lámina:	Registro:
						Hoja 04 de 12	
Edición:	Modificación:	Fecha:	Nombre:	<b>INGENIERIA MECÁNICA</b>		(Sustitución)	



				Tolerancia: ±1 mm	Peso: 13,22 kg	Material: <b>AISI 304</b>	
				Fecha:	Nombre:	Denominación: <b>Caja Exterior</b>	Escala: 1:10
				Dibujó: 28/06/2022	Guamanquispe Diego		
				Revisó: 29/06/2022	Ing. López Gonzalo		
				Aprobó: 29/06/2022	Ing. López Gonzalo		
				<b>U.T.A.</b> INGENIERIA MECÁNICA		Número de Lámina: Hoja 05 de 12	Registro: 
Edición:	Modificación:	Fecha:	Nombre:			(Sustitución)	

1

2

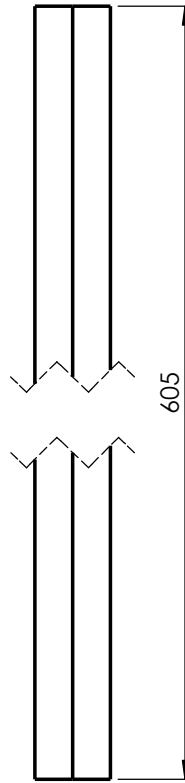
3

4

A

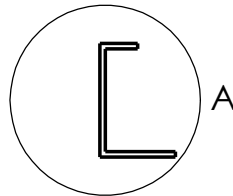


B

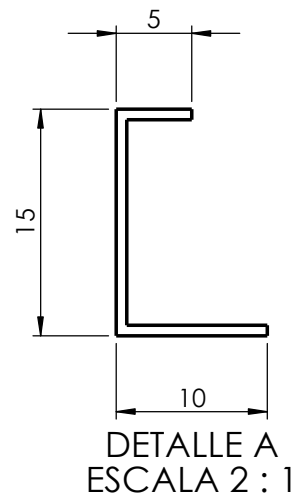


C

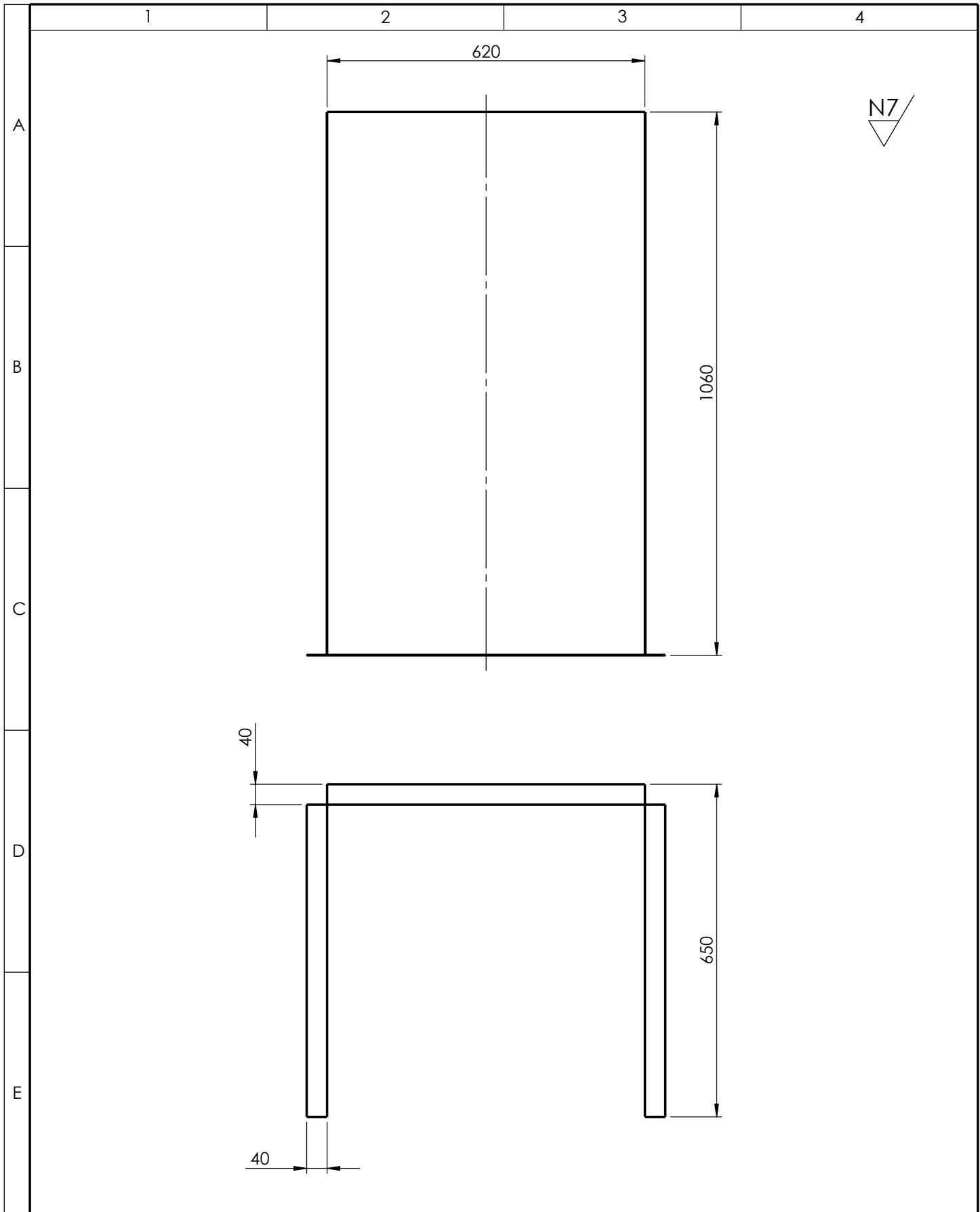
D



E



				Tolerancia: ±1 mm	Peso: 96,9 gr	Material: <b>AISI 304</b>	
				Fecha:	Nombre:	Denominación:	Escala:
				Dibujó: 28/06/2022	Guamanquispe Diego	<b>Sujetadores</b>	1:1
				Revisó: 29/06/2022	Ing. López Gonzalo		
				Aprobó: 29/06/2022	Ing. López Gonzalo		
				<b>U.T.A.</b>		Número de Lámina:	Registro:
						Hoja 06 de 12	
Edición:	Modificación:	Fecha:	Nombre:	<b>INGENIERIA MECÁNICA</b>		(Sustitución)	



				Tolerancia: ±1 mm	Peso: 11,32 Kg	Material: AISI 304	
				Fecha:	Nombre:	Denominación:	Escala:
				Dibujó: 28/06/2022	Guamanquispe Diego	Caja interior	1:10
				Revisó: 29/06/2022	Ing. López Gonzalo		
				Aprobó: 29/06/2022	Ing. López Gonzalo		
				U.T.A. INGENIERIA MECÁNICA		Número de Lámina: Hoja 07 de 12	Registro:
Edición:	Modificación:	Fecha:	Nombre:			(Sustitución)	

1

2

3

4

A

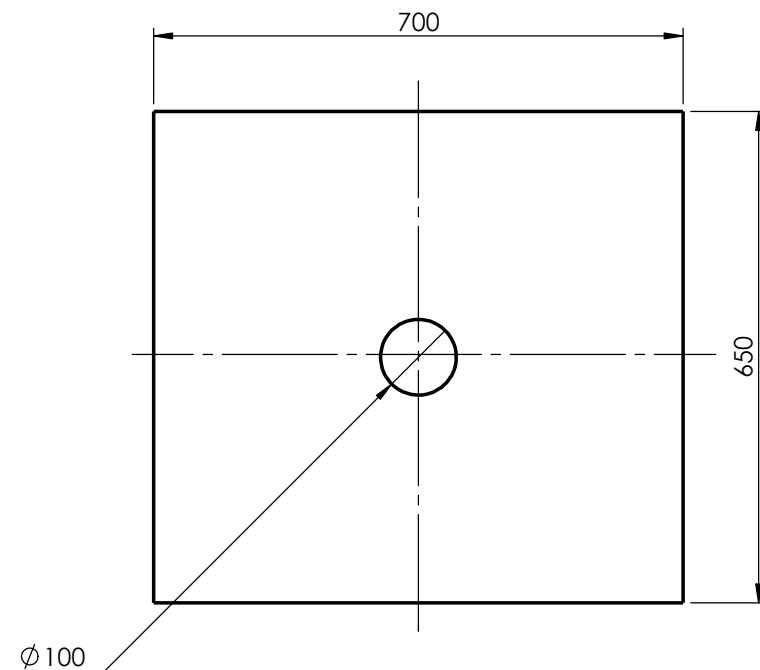
N7

B

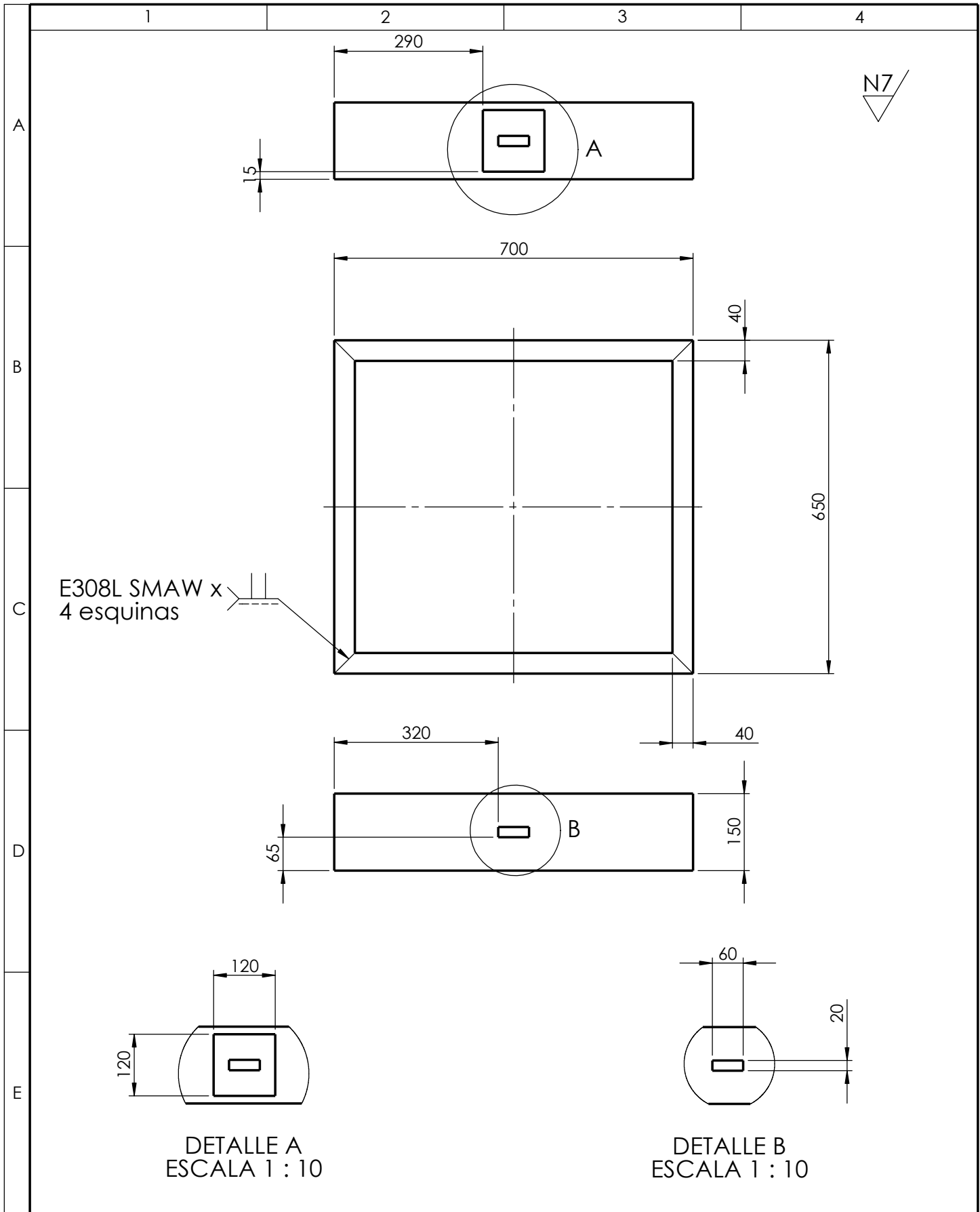
C

D

E



				Tolerancia: ±1 mm	Peso: 2,5 Kg	Material: AISI 304	
				Fecha:	Nombre:	Denominación:	Escala:
				Dibujó: 28/06/2022	Guamanquispe Diego	Tapa Caja Inferior	1:10
				Revisó: 29/06/2022	Ing. López Gonzalo		
				Aprobó: 29/06/2022	Ing. López Gonzalo		
				U.T.A. INGENIERIA MECÁNICA		Número de Lámina: Hoja 08 de 12	Registro:
Edición:	Modificación:	Fecha:	Nombre:			(Sustitución)	



E308L SMAW x  
4 esquinas

DETALLE A  
ESCALA 1 : 10

DETALLE B  
ESCALA 1 : 10

				Tolerancia: ±1 mm	Peso: 5,27 Kg	Material: AISI 304	
				Fecha: Dibujó: 28/06/2022	Nombre: Guamanquispe Diego	Denominación: Tapa Caja Inferior	Escala: 1:10
				Revisó: 29/06/2022	Ing. López Gonzalo		
				Aprobó: 29/06/2022	Ing. López Gonzalo		
				U.T.A. INGENIERIA MECÁNICA		Número de Lámina: Hoja 09 de 12	Registro: 
Edición:	Modificación:	Fecha:	Nombre:			(Sustitución)	



1

2

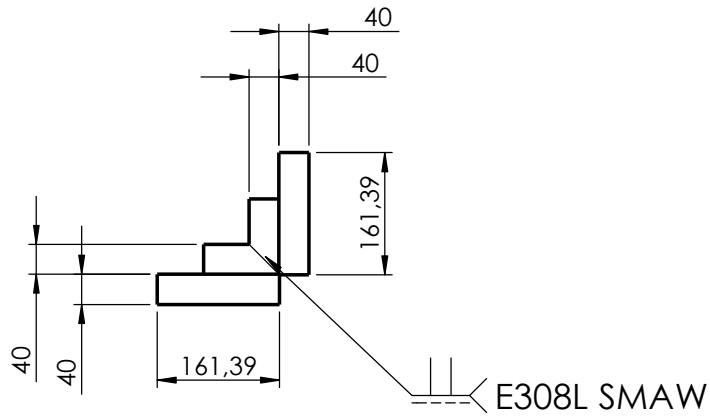
3

4

A

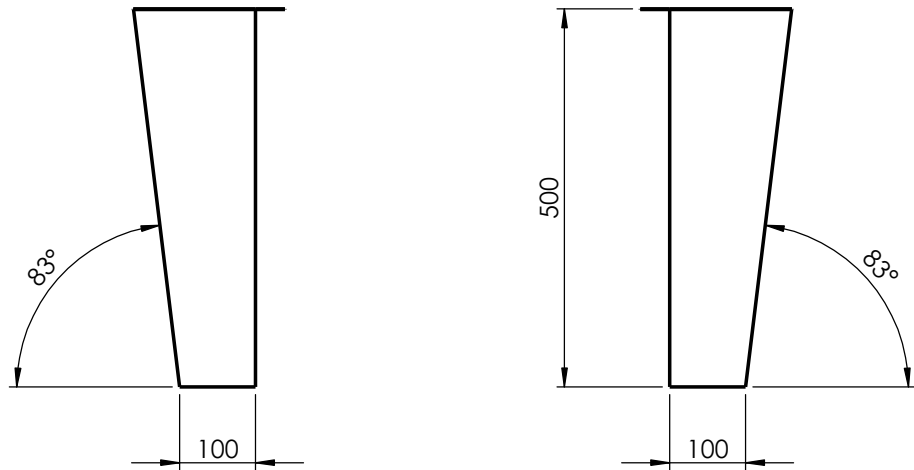
N7

B



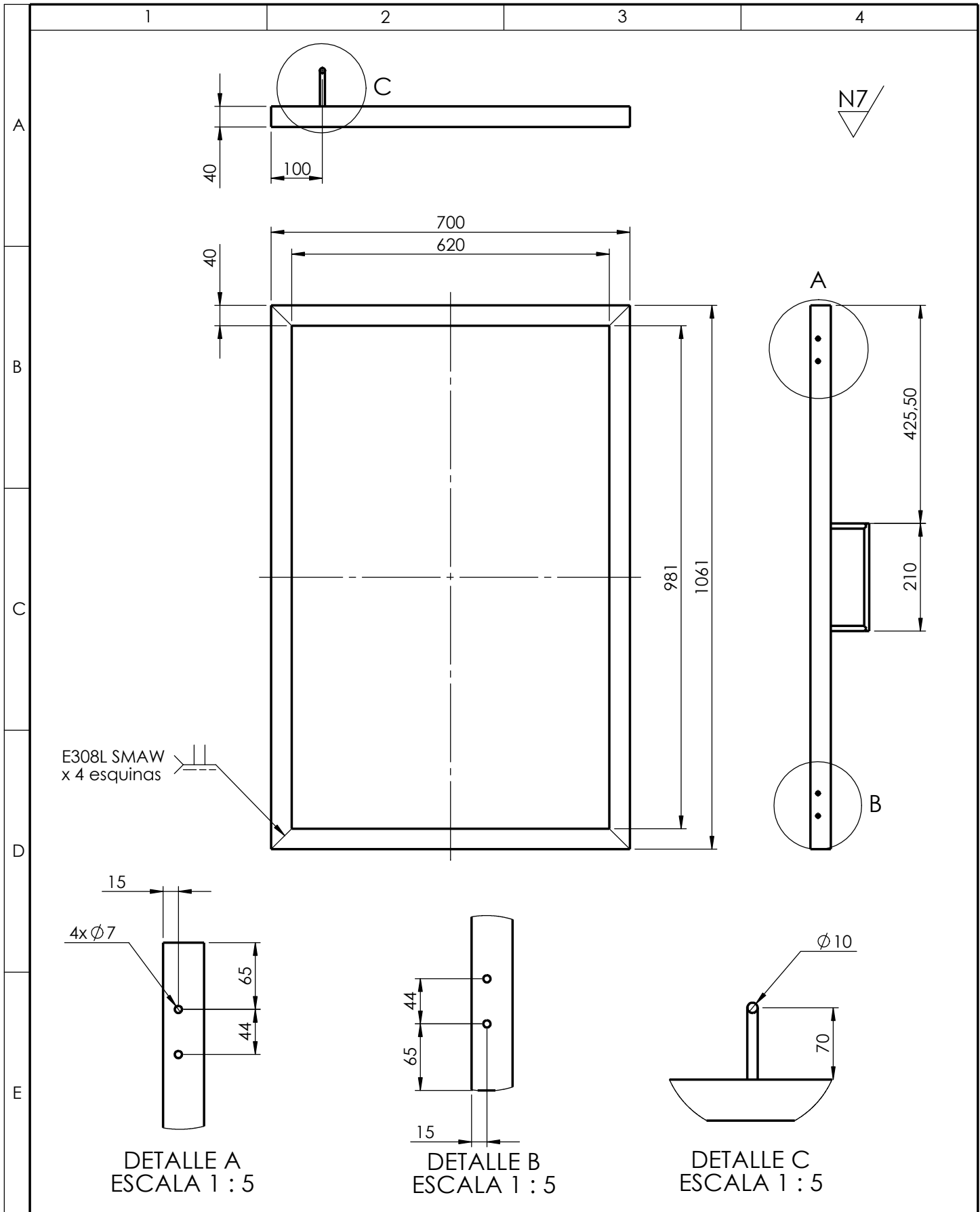
C

D

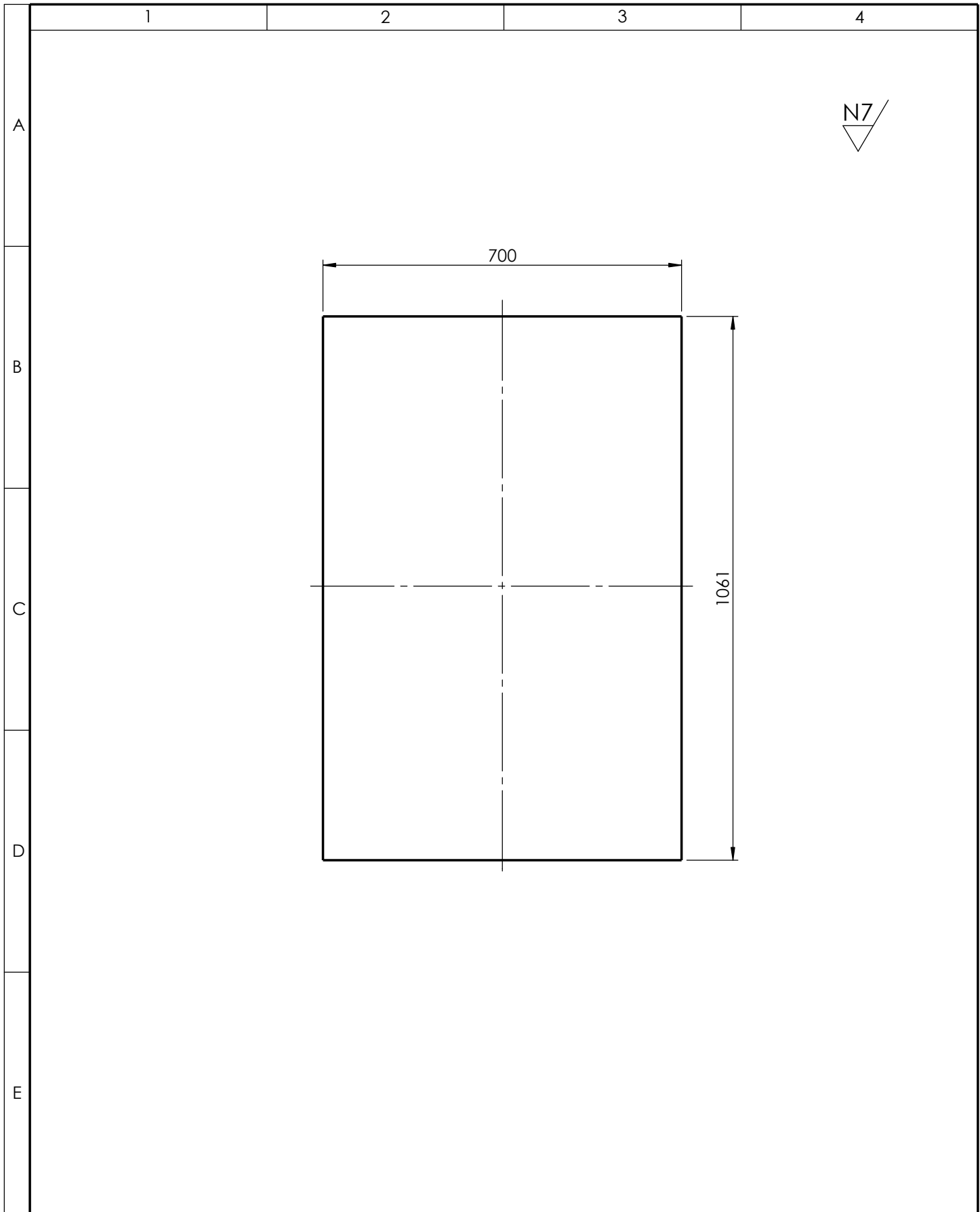


E

				Tolerancia: ±1 mm	Peso: 836 gr	Material: AISI 304	
				Fecha:	Nombre:	Denominación:	Escala:
				Dibujó: 28/06/2022	Guamanquispe Diego	Base	1:10
				Revisó: 29/06/2022	Ing. López Gonzalo		
				Aprobó: 29/06/2022	Ing. López Gonzalo		
				U.T.A.		Número de Lámina:	Registro:
				INGENIERIA MECÁNICA		Hoja 10 de 12	
Edición:	Modificación:	Fecha:	Nombre:			(Sustitución)	



				Tolerancia: ±1 mm	Peso: 5,93 Kg	Material: AISI 304
				Fecha:	Nombre:	Denominación:
				Dibujó: 28/06/2022	Guamanquispe Diego	Puerta
				Revisó: 29/06/2022	Ing. López Gonzalo	
				Aprobó: 29/06/2022	Ing. López Gonzalo	
				U.T.A. INGENIERIA MECÁNICA		Número de Lámina: Hoja 11 de 12
Edición:	Modificación:	Fecha:	Nombre:			(Sustitución)



		Tolerancia:		Peso:		Material:	
		±1 mm		4,37 Kg		AISI 304	
		Fecha:		Nombre:		Denominación:	
		Dibujó: 28/06/2022		Guamanquispe Diego		Tapa Puerta	
		Revisó: 29/06/2022		Ing. López Gonzalo			
		Aprobó: 29/06/2022		Ing. López Gonzalo			
		U.T.A.		Número de Lámina:		Registro:	
				Hoja 12 de 12			
Edición:	Modificación:	Fecha:	Nombre:	INGENIERIA MECÁNICA		(Sustitución)	

## Anexo 2

### Guía de funcionamiento

1. Cargar el producto en las bandejas sin exceder la capacidad máxima de esta en una altura de 5 cm máximo por bandeja
2. Encender el equipo con la puerta cerrada para que el funcionamiento del sistema sea el correcto
3. El tiempo puede variar de 7 a 8 horas dependiendo de la capacidad del producto.
4. Una vez acabado el proceso conservar el producto en un ambiente fresco y seco para evitar la humidificación de este nuevamente.
5. Verificar la calibración del medidor de temperatura antes de cada uso.

### Guía de mantenimiento

1. Una vez acaba el proceso de deshidratado, limpiar las bandejas para evitar que queden residuos secos de alfalfa, que puedan estorbar en un siguiente uso del equipo.
2. Una vez apagado el equipo esperar para dar limpieza ya que la resistencia de este puede llegar a sobrepasar los 80 °C.
3. Una limpieza al ventilador cada cierto limite de usos ayuda a mantener el flujo de aire necesario y alargar la vida útil de mismo.